



Katarzyna Nowak*, Katarzyna Nowak-Dzieszko*

***Badania in situ jakości cieplnej obudowy budynków –
czy mogą być pomocne dla dewelopera***

***Field measurements of the thermal quality of the building envelope –
importance for developers***

Działalność deweloperska na rynku polskim

Aktywność deweloperów w Polsce jest szczególnie duża na rynku mieszkaniowym. W większości dużych miast działają liczne firmy budujące mieszkania na sprzedaż. Pojęcie dewelopera jest łączone głównie z rynkiem mieszkaniowym, choć firmy deweloperskie często angażują się również w projekty o charakterze usługowym, handlowym czy przemysłowym. Dwie trzecie europejskiego rynku nieruchomości działa jednak w segmencie nieruchomości mieszkaniowych. Inwestorzy w coraz większym stopniu dostrzegają korzyści płynące z posiadania nieruchomości mieszkaniowych, które zwykle są odporne na inflację [1], [2].

Wysoki popyt – zwłaszcza w dużych miastach – sprawia, że często nabywca kupuje mieszkanie na podstawie wydanej decyzji o pozwoleniu na budowę i dopiero po oddaniu budynku do użytkowania następuje przeniesienie prawa własności do nieruchomości lokalowej.

Odbiór mieszkania to pierwszy moment, kiedy można zgłaszać wszelkie zauważone usterki. Między innymi należą do nich: rysy i uszkodzenia ścian oraz stolarki, pęknięcia tynków, nierówne powierzchnie ścian. Niestety część wad wykonawczych może zostać wykryta dopiero na etapie użytkowania budynku.

Zgodnie z art. 556 Kodeksu cywilnego [...] *sprzedawca jest odpowiedzialny względem kupującego, jeżeli rzecz sprzedana ma wadę zmniejszającą jej wartość lub użyteczność*

The operations of developers on the Polish market

The operations of developers in Poland are especially intensive in the housing market. A lot of companies building apartments for sale operate in most big cities. The term “developer” is associated mainly with the housing market, however, the property developers often also engage in services as well as commercial or industrial projects. Two thirds of the European property market operate, however, in the residential property segment. Investors see more and more often the benefits coming from owning residential property which is usually resistant to inflation [1], [2].

The high demand for apartments, especially in big cities is the reason why the purchasers often buy apartments on the basis of the granted planning decision and the ownership right to the residential property is transferred only after the building is handed over into operation.

The apartment handover is the first moment when all and any detected defects can be reported. They can include e.g. cracks and damage to the walls and window joinery, plaster cracks, uneven wall surface. Unfortunately, some workmanship defects can be detected only during the use of the building.

In compliance with Art. 556 of the Civil Code [...] *a seller is liable towards the buyer if a thing soled has a defect reducing its value or usefulness given the aim specified in the contract or arising from circumstances or from the purpose of the thing if the thing does not have the properties of which the seller has assured the buyer or if the thing was handed over to the buyer in an incomplete condition (implied warranty for physical defects) [3, p. 113].*

* Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej/Faculty of Civil Engineering, Cracow University of Technology.

ze względu na cel w umowie oznaczony albo wynikający z okoliczności lub przeznaczenia rzeczy, jeżeli rzecz nie ma właściwości, o których istnieniu zapewnił kupującego, albo jeżeli rzecz została kupującemu wydana w stanie niezupełnym (rękojmia za wady fizyczne) [3, s. 113].

Szczególną formą odpowiedzialności z tytułu rękojmi jest odpowiedzialność deweloperów za wady fizyczne sprzedanych przez nich nieruchomości. W przypadku wad w mieszkaniu roszczeń może dochodzić samodzielnie właściciel lokalu.

W prasie nie brakuje informacji o licznych procesach między firmami deweloperskimi a niezadowolonymi właścicielami lokali mieszkalnych. Większości z nich można by uniknąć, gdyby wykonawcy wyciągali wnioski z popełnionych wcześniej błędów, w czym z kolei mogłyby pomóc badania budynków in situ, wykonywane zarówno w trakcie procesu budowy, jak i w początkowym okresie użytkowania.

Współpraca dewelopera z klientem

Przy budowie nowych budynków oraz przebudowie istniejących oprócz zagadnień konstrukcyjnych uwzględniane są szczególnie wymagania związane z ograniczeniem strat przez przenikanie, czyli uzyskaniem wymaganej warunkami technicznymi [4] wartości współczynników przenikania ciepła poszczególnych elementów obudowy (U) oraz wymaganej wartości wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną (EP). Istotny jest fakt, że proces inwestycyjny łączy ze sobą zagadnienia interdyscyplinarne. Problematyka dotycząca fizyki budowli obejmuje kwestie związane z transportem ciepła i wilgoci w przegrodach budowlanych, oszczędnością energii, zapewnieniem komfortu cieplnego oraz odpowiedniego poziomu doświetlenia wnętrza, izolacyjnością akustyczną zarówno pomiędzy pomieszczeniami, jak i wydzielonymi lokalami, mieszkaniami.

W celu oceny jakości realizacji istniejących budynków przeprowadza się badania terenowe. Część z nich jest narzucona przez wymogi projektowe lub wytyczne do programów finansowania inwestycji. Bardzo często badania jakości nowych budynków wielorodzinnych przeprowadzane są na zlecenie użytkowników w celu wykazania niedociągnięć wykonawczych. Wyniki wykorzystywane są w procesach pomiędzy deweloperem a klientem. Badania in situ pozwalają na uwidocznienie błędów, które nierzadko umykają uwadze wykonawcy. Błędne wykonanie połączeń nie powoduje zwykle oszczędności w kosztach inwestycji.

W rzeczywistości badania mogą być pomocne w eliminowaniu podobnych wad w kolejnych inwestycjach danego dewelopera i w uzyskaniu zadowolenia u przyszłych klientów. Potencjalny nabywca lokalu mieszkalnego sugeruje się przy podjęciu decyzji o zakupie opiniami mieszkańców nieruchomości tego samego dewelopera [5].

Badania in situ jakości cieplnej obudowy budynków

Obecne możliwości technologiczne pozwalają w dużej mierze na przeprowadzenie bezinwazyjnych badań diagnostycznych jakości wykonania prac budowlanych.

The liability of developers for physical defects of the property sold by them is a special form of liability on account of implied warranty. In the case of defects in the apartment the owners of the apartment can pursue claims on their own.

The press describes numerous lawsuits between developers and unhappy owners of the residential units. Most of them could be avoided if the contractors drew conclusions from the mistakes made earlier, in which the examination of the buildings in situ conducted both during the construction and at the beginning of its use might help.

Cooperation between the developer and the client

What is especially taken into account apart from constructional issues when constructing new buildings and remodeling the existing ones is the requirements connected with the reduction of losses through leakage, that is achieving the thermal transmittance (U -value) of individual envelope elements required by technical conditions [4] and the required value of the primary energy (PE) demand. It is important for the investment process to include interdisciplinary issues. Structural physics comprises the issues connected with the transport of heat and moisture in the building envelope components, energy savings, providing comfort and proper level of interior daylighting, sound insulation of the rooms and separate units or apartments.

The quality of the construction of the existing buildings is evaluated by conducting field tests. Some of them are obligatory due to the design requirements or the guidelines for investment financing programs. The quality tests of new multi-family buildings are conducted very often at the request of the occupiers to demonstrate workmanship inconsistencies. The results are used in the lawsuits between the developer and the client. The field tests demonstrate the mistakes which are frequently missed by the contractors. The incorrectly made joints usually do not cut the investment costs.

Actually, the tests can be useful in eliminating similar defects in other construction projects of a given developer and in providing satisfaction of future clients. When making a decision to buy a residential unit, a potential purchaser follows the opinions of the inhabitants of the building constructed by the same developer [5].

Field tests of the thermal quality of the building envelope

At present it is to a large extent technologically possible to conduct non-invasive diagnostic tests of the construction workmanship quality. The following are the methods and issues regarding some tests conducted to evaluate the structures and units in respect of thermal protection.

Infrared camera tests

With the use of thermographic tests it is possible to evaluate for instance the insulation efficiency of the building envelope elements [6]–[8]. The tests can be applied to conduct a remote and touch-free analysis of the

Poniżej przedstawiono metodykę i problematykę niektórych badań pozwalających na ocenę obiektów i lokali pod względem ochrony cieplnej.

Badania termowizyjne

Metoda termografii pozwala między innymi ocenić stan izolacyjności przegród budowlanych [6]–[8]. Badania tą metodą umożliwiają zdalną i bezdotykową analizę rozkładu pola temperatury na powierzchni danego obiektu [9]. Polegają na pomiarze natężenia promieniowania cieplnego, które jest emitowane przez wszystkie ciała o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego 0 K ($-273,15^{\circ}\text{C}$).

Natężenie promieniowania cieplnego jest ściśle związane z temperaturą promieniącego obiektu (powierzchni). Im wyższa jest temperatura, tym wyższa jest intensywność promieniowania. Drugim ważnym parametrem mającym wpływ na intensywność promieniowania rozpatrywanej powierzchni jest współczynnik emisyjności. Wartości współczynnika są zawarte w przedziale $\langle 0,0-1,0 \rangle$. Ciała mające współczynnik emisyjności równy 1,0 to tzw. ciała doskonale czarne. Powierzchnia taka promieniuje najintensywniej ze wszystkich ciał mających tę samą temperaturę. Drugim skrajnym przypadkiem jest ciało (powierzchnia) doskonale białe – nieemitujące promieniowania cieplnego i całkowicie odbijające promieniowanie innych obiektów padające na tę powierzchnię. Ciała rzeczywiste nie osiągają podanych wartości skrajnych [9].

Efektom badań wykonanych kamerą termowizyjną jest graficzny obraz rozkładu pola temperatury powierzchni zapisany jako termogram.

Precyzyjna interpretacja termogramu wymaga dużego doświadczenia inżynierskiego, znajomości technik wznoszenia budynków i właściwości materiałów. Niezbędne jest również duże doświadczenie oraz wiedza z zakresu zasad i metodyki wykonywania badań termowizyjnych. Dużą pomocą jest coraz doskonalszy software pozwalający na dokładniejszą analizę termogramów.

W zakresie budownictwa pomiary termowizyjne najczęściej stosowane są do oceny jakościowej wykonania przegród. Pozwalają one na weryfikację prac budowlanych i na identyfikację miejsc o zbyt intensywnej wymianie ciepła. Mogą służyć do diagnozowania przyczyn wad oraz usterek konstrukcyjnych lub instalacyjnych budynku. Najbardziej powszechnym zastosowaniem metody jest ocena stanu obudowy budynku oraz detekcji mostków termicznych, będących efektem niewłaściwego wykonania połączeń, nieszczelnego ułożenia izolacji lub nieprawidłowego montażu stolarki.

Mostki cieplne to miejsca w obudowie zewnętrznej budynku, w których występuje znaczne obniżenie temperatury wewnętrznej powierzchni i wzrost gęstości strumienia cieplnego w stosunku do pozostałej części przegrody (np. przebicia warstwy izolacji cieplnej kotwami metalowymi, lokalne pocienienie warstwy termoizolacji), wprowadzenie w przegrodę materiału o wyższej przewodności cieplnej, połączenie ściany pełnej z oknem o niższej izolacyjności cieplnej. Obniżona temperatura może powodować lokalnie wzrost wilgotności względnej powietrza, a w połączeniu

temperature field distribution on the surface of a given object [9]. They consist in measuring the intensity of thermal radiation that is emitted by all objects whose temperature is higher than absolute zero 0 K ($-273,15^{\circ}\text{C}$).

The thermal radiation intensity is closely connected with the temperature of a radiating object (surface). The higher the temperature, the higher the radiation intensity. Another important parameter which can affect the radiation intensity of a given surface is the emissivity rate. The rate values are $\langle 0,0-1,0 \rangle$. The objects with the emissivity rate equal 1.0 are so called “ideal black bodies”. Such a surface radiates most intensively among all objects with the same temperature. The other extreme example is an ideal white object (surface) – that does not emit thermal radiation, completely reflecting the radiation of other objects falling on that surface. Real objects do not achieve those extreme values [9].

The tests conducted with the thermal imaging camera generate a graphic image of the temperature field distribution recorded as a thermogram.

A precise thermogram interpretation requires a lot of engineering experience, knowledge of building construction techniques and material properties. A lot of experience and knowledge of the principles and methods of conducting thermal imaging tests is also necessary. The software which is applied to analyze thermograms more precisely is also highly useful.

In respect of construction the thermal imaging tests are most frequently applied to assess the building envelope workmanship. They are used to verify the construction work quality and identify the places with excessive heat exchange. They can be also used in diagnosing the causes of defects and construction or installation faults in a building. The most common application of the method is the evaluation of the building envelope condition and detection of thermal bridges caused by incorrect joints, insulation leakages or incorrect joinery.

Thermal bridges are the places in the external building envelope with a significant decrease of internal temperature of the surface and an increase of density of the heat flux compared to the remaining part of the envelope component (e.g. thermal insulation pierced with metal anchors, locally thinner thermal insulation), introduction of a material with a higher thermal conductivity into the envelope component, joint between a solid wall and a window with a lower thermal insulation. A lowered temperature can cause local increase in relative humidity of air, and, when combined with a defective ventilation system, it can cause mold to appear on the surface of the envelope or even water vapor condensation. Incorrectly applied joint details can often cause mold efflorescence even in insulated buildings.

Figure 1 and 2 show examples of incorrectly joined frames which results in local decrease of surface temperature caused by excessive heat flow. All pictures were taken in a multi-family building located on one of the residential estates in Kraków. The block was commissioned and handed over in 2015.

Condensed water vapor visible in the corner of the window in Figure 3. The inhabitants of the unit in question



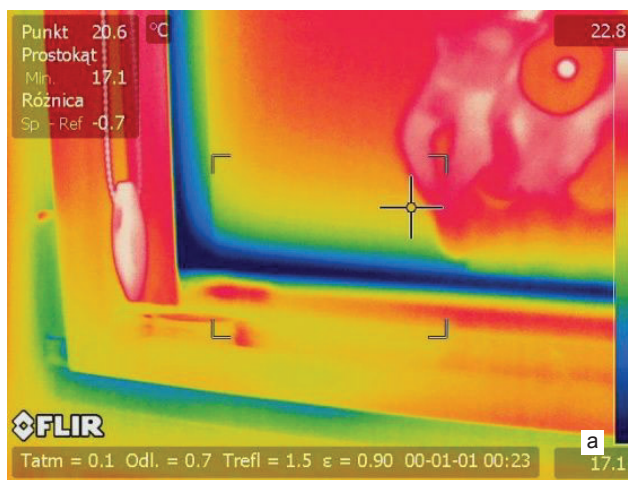
Il. 1. Wadliwy i nieuszczelny montaż okna powoduje znaczne obniżenie temperatury wokół stolarki okiennej

Fig. 1. Defectively fitted windows with air leakages cause a significant decrease of temperature around them



Il. 2. Mostki termiczne na połączeniu płyt balkonowych ze ścianą zewnętrzną (A). Dodatkowo widoczne niedociągnięcia ocieplenia elementów wieńca i nadproży (B)

Fig. 2. Thermal insulation at the joint of balcony slabs and the external wall (A). Insufficient insulation of bond beam and lintels is also visible (B)



Il. 3. Skroplona wilgoć w połączeniu układu szybowego z ramą: a) termogram oraz b) zdjęcie rzeczywiste

Fig. 3. Condensed humidity at the joint between the window glass and frame: a) thermogram and b) the real picture

z wadliwie działającym systemem wentylacji może powodować pojawienie się pleśni na powierzchni przegrody lub nawet wykraplania się pary wodnej. Często nawet w ocieplonych budynkach o wadliwie rozwiązanych detalach połączeń można obserwować pojawiające się wykwity pleśni.

Ilustracje 1 i 2 przedstawiają przykłady nieprawidłowego montażu stolarki. Takie rozwiązanie skutkuje lokalnym obniżeniem temperatury powierzchni, wynikającym ze zbyt intensywnego przepływu ciepła. Wszystkie zdjęcia zostały wykonane w budynku wielorodzinnym zlokalizowanym na jednym z krakowskich osiedli. Blok został oddany do użytkowania w roku 2015.

W narożniku okna przedstawionego na ilustracji 3 można zauważyć występowanie skroplonej pary wodnej. Mieszkańcy diagnozowanego lokalu skarżyli się na to zjawisko w odniesieniu do wszystkich okien. Badania wykazały, że zamontowane w oknach nawiewniki były cały czas szczel-

nie. Osoba, która zgłosiła problem, skarżyła się na to zjawisko w odniesieniu do wszystkich okien. Testy wykazały, że wentylatory zamontowane w oknach były cały czas szczelnie zamknięte. W rezultacie mechaniczny system wentylacji nie działał. Ten system, który jest popularny w budynkach wielorodzinnych, usuwa zanieczyszczony powietrze i wilgoć z pomieszczenia i jednocześnie dostarcza powietrze z zewnątrz przez wentylatory okienne. W tym przypadku wilgoć skroplona została spowodowana nieprawidłowym użytkowaniem systemu wentylacji mieszkań.

Leakage tests

Podstawowym dokumentem prawnym dotyczącym budynku, który jest to *Ordynacja o warunkach technicznych, których powinny spełniać budynki i ich otoczenie* [4], stanowi, że nieprzenikalność zewnętrznej powłoki, połączenia między powłokami i elementami powłoki, jak również połączenia między oknami i ramą w budynkach mieszkalnych, wielo-

nie zamknięte. Efektem był niedziałający system wentylacji mechanicznej wywiewnej. System ten powszechnie stosowany w budynkach wielorodzinnych usuwa zanieczyszczone powietrze oraz wilgoć z pomieszczenia przy jednoczesnym dostarczeniu powietrza z zewnątrz właśnie dzięki nawiewnikom w stolarze. W tym przypadku przyczyną kondensacji wilgoci było niewłaściwe użytkowanie systemu wentylacji lokalu mieszkalnego.

Badania szczelności

W podstawowym dokumencie prawnym dotyczącym budownictwa, to jest *Rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* [4], zamieszczono wytyczne, że w budynku mieszkalnym, zamieszkania zbiorowego, budynku użyteczności publicznej, a także w budynku produkcyjnym przegrody zewnętrzne nieprzezroczyste, złącza między przegrodami i częściami przegród oraz połączenia okien z ościeżami należy projektować i wykonywać pod kątem osiągnięcia ich całkowitej szczelności na przenikanie powietrza. Polskie ustawodawstwo nie narzuca jednak kategorycznego obowiązku wykonywania badań szczelności budynków.

Przepisy jedynie zalecają przeprowadzenie badania szczelności powietrznej budynku oraz pomiar wartości wskaźnika n_{50} , określającego ilość wymian powietrza na godzinę, która zachodzi przy różnicy ciśnień 50 Pa. Wymagane wartości współczynnika n_{50} (zgodnie z WT) wynoszą:

- 1) w budynkach z wentylacją grawitacyjną lub wentylacją hybrydową – $n_{50} < 3,0$ 1/h;
- 2) w budynkach z wentylacją mechaniczną lub klimatyzacją – $n_{50} < 1,5$ 1/h.

Jednocześnie zalecane jest, aby po zakończeniu budowy budynek mieszkalny, zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej i produkcyjny został poddany próbie szczelności przeprowadzonej zgodnie z polską normą dotyczącą określania przepuszczalności powietrznej budynków [10] w celu uzyskania zalecanej szczelności budynków.

Ze względu na znaczny udział w bilansie cieplnym budynku wymiany powietrza wysoka szczelność pozwala ograniczyć straty ciepłe oraz umożliwia pełne sterowanie wentylacją mechaniczną. Należy jednak pamiętać, że szczególnie w przypadku budynków z wentylacją grawitacyjną zbyt duża szczelność obudowy może spowodować, że system wentylacyjny przestanie poprawnie pracować. Zarówno wilgoć, jak i zanieczyszczenia nie są z pomieszczeń usuwane. Może to powodować zbyt wysoką wilgotność powietrza wewnątrz pomieszczeń, pojawienie się pleśni na powierzchniach przegród. W przypadku stosowania systemów gazowych z otwartymi komorami spalania może prowadzić do nagromadzenia tlenku węgla w pomieszczeniach, co jest groźne dla życia i zdrowia użytkowników.

Istotną informacją dla wykonawców budynków zarówno mieszkalnych, jak i użyteczności publicznej są wskazówki, w jaki sposób można osiągnąć wymagany poziom szczelności. Przeprowadzanie badań przez wykonawców pozwoliłoby tworzyć bazę zaleceń oraz katalogi rozwiązań pomocnych w kolejnych podobnych inwestycjach.

Infiltracja to niekontrolowany, przypadkowy przepływ powietrza przez nieszczelności występujące w przegrodach

apartment buildings, public utility buildings as well as production buildings should be designed and manufactured to provide complete air tightness. However, Polish legislature does not categorically require to conduct air leakage tests in the buildings.

The regulations only recommend conducting air permeability tests of the building and measuring the value of n_{50} rate which demonstrates the number of air exchanges per hour which take place when the pressure difference is 50 Pa. The required values of n_{50} rate (per Technical Guidelines) are as follows:

- 1) in buildings with natural ventilation or hybrid ventilation – $n_{50} < 3.0$ 1/h;
- 2) in buildings with mechanical ventilation or air conditioning – $n_{50} < 1.5$ 1/h.

Furthermore, it is recommended that a leakage test be conducted after the construction of residential buildings, multi-apartment buildings, public utility buildings as well as production buildings is completed in compliance with the Polish Standard regarding air permeability of the buildings [10] in order to achieve the recommended permeability of the buildings.

Due to the great share of the heat exchange in the building thermal balance high air tightness can limit heat losses and it is possible to completely control the mechanical ventilation. It should be kept in mind, however, that too high tightness of the envelope, especially in the case of buildings with natural ventilation, can result in the ventilation system malfunctioning. Both humidity and pollution will not be removed from the rooms. It can cause too high air humidity inside the rooms and emergence of mold on the envelope surfaces. The application of gas systems with open combustion chambers can cause the accumulation of carbon monoxide in the rooms, which is dangerous for life and health of the occupiers.

It is important that the contractors of the buildings, both residential and public utility ones, know how the required tightness level can be achieved. Conducting tests by the contractors would result in developing a list of recommendations and catalogs of solutions useful in other similar construction projects.

Infiltration is an uncontrolled, accidental air flow through leakages in the external building envelope components. Excessive infiltration contributes to bigger heat losses in winter months. The amount of air penetrating through the envelope is affected both by the design and the workmanship of individual elements of the structure, joints. The weather conditions, such as wind speed and direction are important too.

Achieving the proper tightness level can minimize uncontrolled and excessive cooling of the rooms in the winter and their overheating in the summer. The losses caused by the leakages in the building envelope negatively affect the energy efficiency of the buildings and the thermal comfort of their occupiers.

However, increasing the building envelope air tightness should not result in limiting the supply of the ventilated air to the rooms. The optimum supply of the external air in a planned way to the rooms and removing used air should be provided and controlled through the adequately designed ventilation system.



Il. 4. Drzwi nawiewne blower door zamocowane w drzwiach wejściowych do lokalu mieszkalnego
Fig. 4. Blower door sealed into the front door of a residential unit

zewnątrznych budynku. Nadmierna infiltracja przyczynia się do zwiększenia strat ciepła w miesiącach zimowych. Na ilość powietrza przeciekającego przez obudowę wpływa zarówno projekt, jak i jakość wykonania poszczególnych elementów konstrukcji, węzłów. Istotne są również warunki pogodowe, takie jak prędkość i kierunek wiatru.

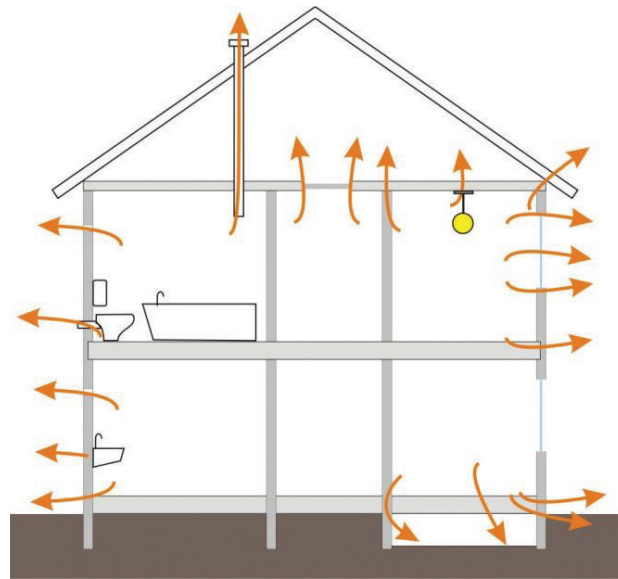
Uzyskanie odpowiedniego poziomu szczelności pozwoli zminimalizować niekontrolowane nadmierne wychłodzenie pomieszczeń w okresie zimowym oraz ich przegrzewanie w czasie lata. Straty spowodowane nieszczelnością obudowy wpływają negatywnie na efektywność energetyczną budynków oraz komfort cieplny ich użytkowników.

Jednak w ślad za zwiększeniem szczelności obudowy nie może iść ograniczenie dopływu powietrza wentylacyjnego do pomieszczeń. Optymalne dostarczenie powietrza zewnętrznego, doprowadzenie go w zaplanowany sposób do pomieszczeń i usunięcie powietrza zużytego powinno być zapewnione i kontrolowane przez odpowiednie zaprojektowanie systemu wentylacyjnego.

W jednej z metod badania szczelności obudowy zewnętrznej budynku wykorzystywane są drzwi nawiewne blower door z odpowiednim oprogramowaniem umożliwiającym analizę otrzymanych wyników pomiaru (il. 4).

Miejsc przecieków powietrza, które są powszechnie spotykane w budynkach (il. 5), można skutecznie uniknąć poprzez staranne projektowanie i dobrą jakość wykończeniowych prac budowlanych.

Wytwarzane przez wentylator warunki różnicy ciśnienia mogą zostać wykorzystane do diagnostycznego po-



Il. 5. Najczęstsze miejsca występowania nieszczelności w obudowie budynku (na podstawie [11])

Fig. 5. The most typical air leakage places in the building envelope (on the basis of [11])

One of the methods of testing the air tightness of the external building envelope applies a blower door test with special software to analyze the test results (Fig. 4).

The places of air leakages, which are plenty in buildings (Fig. 5), can be effectively avoided by careful designing and high quality of finishing works.

The pressure difference generated by the ventilator can be used to find the places of air leakage through the building envelope with the use of a micro-thermo-anemometer. Additional leakage monitoring can be conducted with the use of smoke generator. It is possible to use it in detecting mistakes in the way window and door frames were put in the outside walls (Fig. 6).

When performing leakage tests in the winter, it is possible to conduct a thermal imaging analysis of the building envelope. The analysis can be conducted during the construction process which can also eliminate any possible leakages. Figure 7 shows the thermal imaging analysis during the finishing works.

Thermal comfort tests

On the basis of design guidelines: [...] *the building and its heating, ventilation, and air-conditioning, as well as domestic hot water systems, and in the case of a public utility buildings also fixed lighting system, should be designed and built in such a way that the amount of heat, cold, and electric energy needed to use the building for its intended purpose could be maintained at a reasonably low level* [4, section X].

The surplus of solar radiation energy is a new parameter indicated in the requirements connected with energy saving and thermal insulation which have applied since January 1, 2009. They include for the first time the following information: the building should be designed and built

szukiwania miejsc przecieku powietrza przez obudowę zewnętrzną. Do tego celu stosowany jest mikrotermoanemometr. Dodatkowe monitorowanie przecieków może odbywać się przy użyciu generatora dymu. Pozwala ono na wykrycie błędów osadzenia zewnętrznej stolarki okiennej i drzwiowej (il. 6).

W trakcie badań szczelności w okresie zimowym można dokonać jednoczesnej analizy termowizyjnej obudowy budynku. Analiza może być przeprowadzana podczas procesu budowlanego, co pozwala również eliminować ewentualne nieszczelności. Ilustracja 7 przedstawia analizę termowizyjną w trakcie prac wykończeniowych.

Badania komfortu cieplnego

Na podstawie warunków technicznych: [...] *budynek i jego instalacje ogrzewcze, wentylacyjne i klimatyzacyjne, ciepłej wody użytkowej, a w przypadku budynku użyteczności publicznej również oświetlenia wbudowanego, powinny być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby ilość ciepła, chłodu i energii elektrycznej, potrzebnych do użytkowania budynku zgodnie z jego przeznaczeniem, można było utrzymać na racjonalnie niskim poziomie* [4, dział X].

Nowym parametrem wskazanym w wymaganiach związanych z oszczędnością energii i izolacyjnością cieplną obowiązujących od 1 stycznia 2009 r. jest nadmiar energii promieniowania słonecznego. Pojawia się po raz pierwszy informacja brzmiąca: budynek powinien być zaprojektowany i wykonany w taki sposób, aby ograniczyć ryzyko przegrzewania w okresie letnim.

W dokumentacji projektowej budynków aspekt i wymagania ochrony cieplnej są coraz rzetelniej uwzględniane. Niestety, praktyka projektowa bardzo rzadko uwzględnia wymagania związane z efektem przegrzania. Z tą problematyką w silny sposób łączy się zapewnienie odpowiednich warunków komfortu cieplnego pomieszczeń w szczególności w okresie letnim.

Wiele nowo projektowanych budynków mieszkalnych, biurowych oraz użyteczności publicznej charakteryzuje się dużymi powierzchniami przeszklonymi. Pomimo doboru poprawnej izolacyjności poszczególnych elementów bryły budynku, nadmierne przeszklenia generują zbyt duże, niepożądane zyski słoneczne w okresie letnim, a w konsekwencji bardzo niekomfortowe warunki użytkowania. Oceniając komfort cieplny pomieszczeń, nie wolno zapominać, że stworzony w budynku mikroklimat jest rezultatem końcowym pracy projektowej, wykonawczej, jak też sposobu eksploatacji pomieszczeń.

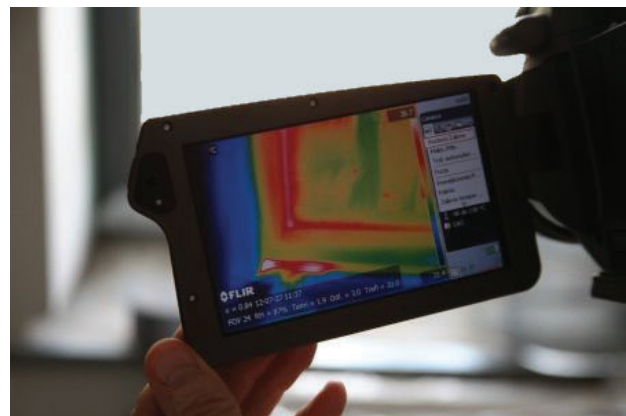
Komfort cieplny definiowany jako stan, w którym człowiek czuje, że jego organizm znajduje się w stanie zrównoważonego bilansu cieplnego, tzn. nie odczuwa ani ciepła, ani zimna, oceniany jest najczęściej dopiero na etapie użytkowania budynków [12].

Niepożądane dla człowieka są również zjawiska nagrzewania lub chłodzenia poszczególnych części ciała. Określanie więc uczucia komfortu cieplnego w całym pomieszczeniu jest sprawą dosyć indywidualną i subiektywną. Badania z tym związane podejmowano już kilkadziesiąt lat temu.



Il. 6. Monitorowanie przecieków przy użyciu anemometru

Fig. 6. Monitoring leakages with the use of an anemometer



Il. 7. Monitorowanie przecieków przy użyciu kamery termowizyjnej

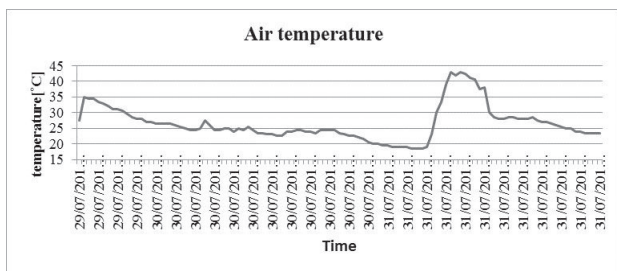
Fig. 7. Monitoring leakages with the use of a thermal imaging camera

in such a way that the risk of overheating in the summer time could be limited.

The aspect and the requirements of the thermal protection are taken into account more and more seriously in the design documentation of the buildings. Unfortunately, the design practice very rarely includes the requirements connected with the overheating effect. The provision of proper thermal comfort in the rooms, especially in the summer time, is strongly connected with those issues.

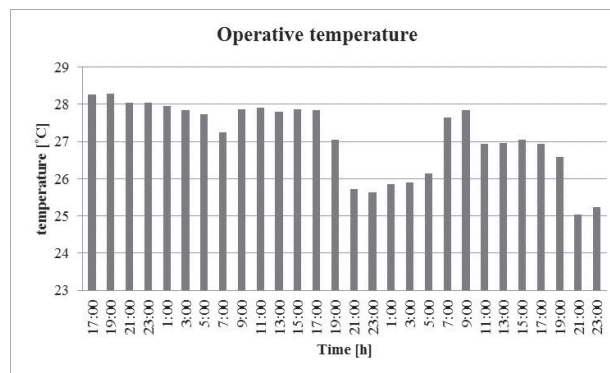
Many newly designed residential buildings, offices, and public utility buildings have large glazed surfaces. In spite of correctly selected insulation for individual elements of the building, excessively large glazed surfaces generate too large, undesirable solar energy gains in the summer time, and consequently very uncomfortable conditions of use. When evaluating the thermal comfort of the rooms, it should be kept in mind that the microclimate created in the building is the final result of the design as well as construction works and the use of the rooms.

Thermal comfort, defined as the state in which people feel that their organism is in a sustainable heat balance, that is when they feel no heat or cold, is evaluated usually only at the stage of the use of the building [12]. The heating or cooling of individual parts of the body are also undesirable for people. The determination of the feeling of thermal comfort in the whole room is then a rather



Il. 8. Rozkład temperatury zewnętrznej w dniach 29–31 lipca 2013 w Krakowie

Fig. 8. Outside temperature distribution on July 29–31, 2013 in Kraków



Il. 9. Rozkład wewnętrznej temperatury operatywnej w dniach 29–31 lipca 2013

Fig. 9. Inside operative temperature distribution on July 29–31, 2013

Europejska norma *Ergonomia środowiska termicznego. Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźnika PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego* [13] wskazuje metodę oceny komfortu cieplnego. Na ocenę komfortu cieplnego wpływa wiele czynników: aktywność fizyczna człowieka, izolacyjność odzieży oraz parametry otoczenia takie jak: temperatura powietrza, średnia temperatura promieniowania, prędkość przepływu powietrza oraz wilgotność względna powietrza. Wskaźnik określający odczuwanie ciepła przez ludzi PMV (*predicted mean vote* – statystyczny wskaźnik odczuwania ciepła) wyrażany jest w siedmiopunktowej skali: od wartości -3 do wartości $+3$. Zalecane jest, aby wartość powyższego wskaźnika mieściła się w zakresie: $-0,5 < PMV < +0,5$. Ocena komfortu cieplnego za pomocą normowych wskaźników PMV i PPD posługuje się metodą Fanger’a. W celu wyznaczenia wymienionych wskaźników konieczne do ustalenia i pomiaru są informacje o następujących parametrach: temperaturze powietrza, temperaturze promieniowania powierzchni, izolacyjności odzieży użytkowników pomieszczeń oraz ich aktywności fizycznej (wielkość metabolizmu). Tak duża liczba parametrów wpływających na wskaźniki komfortu oraz dyskomfortu cieplnego utrudnia projektantom zadanie oceny tych parametrów oraz zadanie analizy wpływu właściwości zewnętrznych przegród budynku na komfort cieplny projektowanych pomieszczeń.

Na etapie projektowania należałoby korzystać z zaawansowanych programów obliczeniowych analizujących warunki komfortu wewnątrz pomieszczeń.

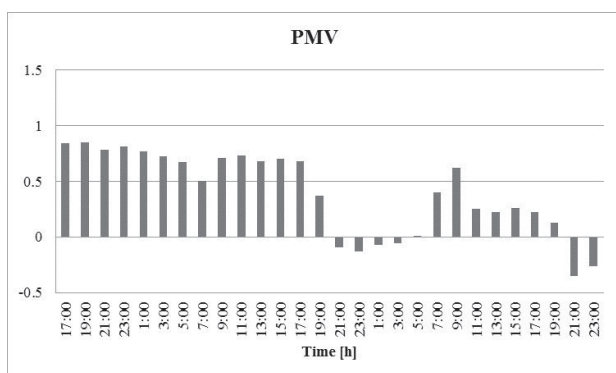
Po oddaniu budynku do użytkowania można dokonać pomiaru parametrów wpływających na komfort cieplny oraz wyznaczyć wartość wskaźnika PMV. Badania wykonywane są przy użyciu miernika mikroklimatu, umożliwiającego ciągły pomiar temperatury, wilgotności, temperatury promieniowania oraz prędkości przepływu powietrza. Na ilustracjach 8–11 przedstawiono wyniki pomiarów komfortu w lokalu mieszkalnym w Krakowie, zlokalizowanym na siódmym piętrze budynku wzniesionego w technologii wielkiej płyty. Badania wykonano w ciągu trzech dni, w miesiącu lipcu 2013. Ilustracje 8 i 9 przedstawiają rozkład temperatury na zewnątrz oraz wewnątrz lokalu w analizowanym okresie. Ilustracje 10 i 11 przedstawiają wartości wskaźnika PMV w przypadku użytkownika odpoczywającego oraz sprzątającego. Można zaobserwować, jak wyraźnie aktywność użytkownika wpływa na warunki odczuwalnego komfortu.

individual and subjective matter. Studies in this area were conducted already several dozen years ago.

The European standard *Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria* [13] provides a method of thermal comfort evaluation. A lot of factors affect the thermal comfort evaluation: physical activity, clothing insulation, parameters of the surroundings, such as: air temperature, average radiant temperature, air flow speed and relative air humidity. PMV (*Predicted Mean Vote*) is a statistical index describing human perception of heat with the use of a seven-point scale: from -3 to $+3$. It is recommended that the value of that index be between $-0.5 < PMV < +0.5$. The Fanger’s method applies standard indices PMV and PPD in evaluating the thermal comfort. It is necessary to determine and measure the following parameters in order to calculate those indices: air temperature, surface radiation temperature, occupiers’ clothing insulation and their physical activity (metabolism level). Such a large number of parameters which affect the indices of thermal comfort and thermal discomfort makes it difficult for the designers to evaluate those parameters and analyze the impact of the external building envelope properties on the thermal comfort in the designed rooms.

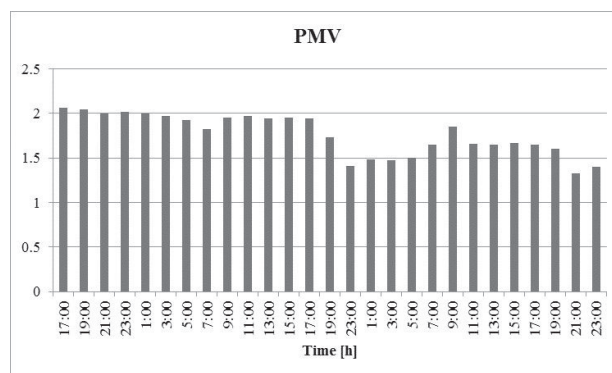
Advanced calculation programs, analyzing the comfort conditions inside the rooms, should be used at the designing stage.

After the building is commissioned and handed over into operation, the parameters affecting thermal comfort can be measured and the PMV index value can be determined. The tests are conducted with the use of a microclimate meter, measuring continuously the temperature, humidity, radiant temperature and air flow speed. Figures 8–11 present the results of comfort measurements in a residential unit in Kraków located on the seventh floor in a large concrete panel building. The tests were conducted over three days in July 2013. Figure 8 and 9 show the distribution of temperature outside and inside the unit in the analyzed period. Figure 10 and 11 show the value of PMV in the case when the occupiers were resting and when they were cleaning. It can be observed that the occupiers’ activity evidently influenced the perceivable comfort.



II. 10. Wskaźnik PMV – użytkownicy odpoczywający

Fig. 10. PMV index – resting occupiers



II. 11. Wskaźnik PMV – użytkownicy sprzątający

Fig. 11. PMV index – cleaning occupiers

Wnioski

Dzięki zaprezentowanym w artykule metodom pomiarów widać, że przeprowadzanie badań kontrolnych oceny jakości wykonania prac izolacyjnych przegród budowlanych, oceny szczelności obudowy zarówno całych budynków, jak i poszczególnych lokali i elementów jest możliwe, a w wielu przypadkach nawet konieczne na różnych etapach inwestycji.

Przeprowadzanie takich badań daje możliwość szybkiej reakcji na pojawiające się niedociągnięcia i błędy wykonawcze. Wyniki takich pomiarów mogłyby posłużyć do stworzenia katalogów błędów, których należałoby unikać na etapie wykonawczym, a jednocześnie wytycznych dla projektantów. Wiele badań przeprowadzonych przez autorów wskazuje podobne błędy w większości analizowanych obiektów. Pozwala to wnioskować, że doświadczenia te powinny zostać wykorzystane w celu ich eliminowania. Skutkami takiego podejścia do prac inwestycyjnych będą nie tylko prawidłowo rozwiązane i wykonane detale, ale również zadowolenie inwestorów oraz użytkowników obiektów.

Ilustracje zamieszczone w pracy wykonały autorki.

Conclusions

The measuring methods presented in the paper demonstrate that conducting control tests of the quality of the building envelope insulation works, of the building envelope leakage both in the whole buildings and in individual units as well as of the elements is possible and in many cases even necessary at different investment stages.

Conducting such tests allows for a quick reaction to the emerging deficiencies and workmanship mistakes. The results of such measurements might be used in developing the catalogs of mistakes which should be avoided at the construction stage and at the same time guidelines for designers. A lot of tests conducted by the authors indicate similar mistakes in most of the analyzed structures. It may be concluded that these experiences should be used to eliminate them. Such an approach to investment works should result not only in correctly designed and executed details but the satisfied investors and occupiers as well.

Translated by
Tadeusz Szalamacha

The figures in the paper were made by authors.

Bibliografia/References

- [1] *Inwestowanie w nieruchomości w Polsce*, www.reas.pl [accessed: 15.01.2017].
- [2] www.reas.pl – raporty odnośnie do rynku nieruchomości w Polsce [accessed: 15.01.2017].
- [3] *Ustawa z dnia 23 kwietnia 1964 r. Kodeks Cywilny*, Dz.U. 1964, nr 16, poz. 93.
- [4] *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*, Dz.U. 2016, poz. 124.
- [5] Bryx M., *Rynek nieruchomości, system i funkcjonowanie*, Poltext, Warszawa 2008.
- [6] Wróbel A., *Termografia w pomiarach inwentaryzacyjnych obiektów budowlanych*, Wydawnictwo AGH, Kraków 2010.
- [7] Wróbel A. (red.), *Ilościowe określanie cieplnych właściwości przegród budowlanych z wykorzystaniem techniki termograficznej*, Wydawnictwo AGH, Kraków 2011.
- [8] Nowak H., *Zastosowanie badań termowizyjnych w budownictwie*, Oficyna Wydawnicza PWr, Wrocław 2012.
- [9] Kruczek T., *Kamery termowizyjne – zasada działania i zastosowania w diagnostyce instalacji*, „Chłodnictwo i Klimatyzacja” 2013, 05, <http://www.chlodnictwoiklimatyzacja.pl/artykuly/213-wydanie-05-2013/2733-kamery-termowizyjne-zasada-dzialania-i-zastosowania-w-diagnostyce-instalacji.html> [accessed: 15.01.2017].
- [10] PN-EN 13829 sierpień 2002 r. „Właściwości cieplne budynków. Określenie przepuszczalności powietrznej budynków. Metoda pomiaru ciśnieniowego z użyciem wentylatora”, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- [11] www.nhbc.co.uk – NHBC Air leakage testing information [accessed: 15.01.2017].
- [12] Nowak K., *Modernizacja budynków a komfort cieplny pomieszczeń*, „Energia i Budynek” 2011, 11(54), 29–33.
- [13] PN-EN ISO 7730:2006 „Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria”, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.

Streszczenie

W artykule opisane zostały bezinwazyjne metody badań budynków in situ: badania termowizyjne, testy szczelności budynków oraz badania komfortu cieplnego wewnątrz pomieszczeń. Przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych przez autorów, jak również metodykę i problematykę wykonywania niektórych badań pozwalających na ocenę obiektów i lokali pod względem ochrony cieplnej.

Pomiary termowizyjne najczęściej stosowane są do oceny jakościowej wykonania przegród budowlanych. Pozwalają one na weryfikację prac budowlanych, jak i identyfikację miejsc o zbyt intensywnej wymianie ciepła. Mogą służyć do diagnozowania przyczyn wad oraz usterek konstrukcyjnych lub instalacyjnych budynku. Najbardziej powszechnym zastosowaniem metody jest ocena stanu obudowy budynku oraz detekcji mostków termicznych, będących efektem niewłaściwego wykonania połączeń, nieszczelnego ułożenia izolacji lub nieprawidłowego montażu stolarki. Badania szczelności obudowy budynku przy jednoczesnej detekcji miejsc przecieku powietrza przez obudowę umożliwiają poprawę jakości wykonawczych prac budowlanych. W trakcie przeprowadzania badań szczelności w okresie zimowym można dokonać jednoczesnej analizy termowizyjnej obudowy budynku.

Przeprowadzanie badań daje możliwość szybkiej reakcji na pojawiające się niedociągnięcia i błędy wykonawcze. Wyniki badań mogłyby posłużyć do stworzenia katalogów błędów, których należałoby unikać na etapie wykonawczym, a jednocześnie wskazówek dla projektantów.

Słowa kluczowe: badania szczelności, komfort cieplny, badania termowizyjne, deweloper

Abstract

The article describes the noninvasive test methods of buildings in situ: thermal imaging, airtightness tests of buildings and internal thermal comfort analysis. The results of researches conducted by the authors were presented as well as the methodology and the problems in conducting some tests allowing for the thermal assessment of buildings.

Infrared measurements are commonly used to assess the qualitative performance of building partitions. They allow for the verification of the quality of construction work, as well as the identification of too intense heat exchange. They can be used to diagnose the causes of defects and faults in design or installation of the building. The most common method is to assess the condition of the building envelope and the detection of thermal bridges, which are the result of improper performance of connections, leaky insulation or incorrect installation of windows. Airtightness tests connected with the simultaneous detection of leaks allow for improvement of construction works. During the winter season the infrared analysis of the building envelope can be conducted.

The results of the researches could be used to create a catalog of errors that should be avoided at the execution stage, and also tips for designers.

Key words: airtightness tests, thermal comfort, infrared tests, developer