

dr inż. Katarzyna Nowak*
mgr inż. Katarzyna Nowak-Dzieszko*

Wpływ szczelności budynków na ich bilans energetyczny

Influence of buildings airtightness on their energy balance

Streszczenie. W artykule przedstawiono wpływ wyników pomiaru badań szczelności budynków na ich charakterystykę energetyczną. Wpływ infiltracji jest uwzględniany w analizie zapotrzebowania budynku na energię wraz ze stratami przez wentylację. W oparciu o przeprowadzone badania w budynkach jednorodzinnych przeprowadziliśmy analizę wpływu otrzymanych wyników na wartość zapotrzebowania budynku na energię.

Słowa kluczowe: szczelność budynków, metoda A, metoda B, n_{50} , bilans energetyczny, infiltracja.

Abstract. In the article influence of building airtightness test results on the energy certificate was presented. The influence of infiltration is included in the building energy need analysis together with ventilation losses. Based on the conducted tests in single-family buildings authors performed the analysis of influence of results on the building energy need.

Keywords: building airtightness, method A, method B, n_{50} , energy balance, infiltration.

Polskie ustawodawstwo nie narzuca obowiązku wykonywania badań szczelności budynków. Przepisy zalecają przeprowadzenie badania szczelności powietrznej budynku oraz określenie wartości wskaźnika n_{50} , określającego liczbę wymian powietrza na godzinę, która zachodzi przy różnicy ciśnienia 50 Pa. Wymagane wartości współczynnika n_{50} wynoszą w przypadku:

- budynków z wentylacją grawitacyjną $< 3,0 \text{ h}^{-1}$;
- budynków z wentylacją mechaniczną $< 1,5 \text{ h}^{-1}$.

W budynkach pasywnych wartość współczynnika n_{50} powinna być mniejsza niż $0,6 \text{ h}^{-1}$.

W Niemczech przeprowadzanie badań szczelności budynków jest obowiązkowe. Natomiast w krajach skandynawskich badania są dużo bardziej popularne niż w Polsce, choć wciąż nieobowiązkowe. Wykonywanie badań ma na celu wyeliminowanie nieszczelności konstrukcji na etapie wykonawstwa lub w trakcie użytkowania budynku.

W artykule przedstawimy, jaki wpływ mają badania szczelności na charakterystykę energetyczną budynku.

Szczelność budynków bada się zgodnie z normą PN-EN 13829 *Właściwości cieplne budynków. Określenie przepuszczalności powietrznej budynków. Metoda pomiaru ciśnieniowego z użyciem wentylatora*. Norma dopusz-

* Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej

cza dwie metody badań, w zależności od celu, w jakim są przeprowadzane: metoda A – badanie użytkowanego budynku oraz metoda B – badanie obudowy budynku.

Charakterystyka energetyczna budynku

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury w sprawie *metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej* z 6 listopada 2008 r., wskaźniki rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną EP i końcową EK wyznaczane są na podstawie analizy zysków i strat energii w budynku. W najprostszym przypadku uwzględnia się zyski: słoneczne i wewnętrzne oraz następujące straty energii: przez przenikanie przez przegrody zewnętrzne i przez wentylację. Zgodnie z metodologią przedstawioną w rozporządzeniu, straty spowodowane nieszczelnością obudowy budynku traktowane są jako składowe współczynniki strat ciepła przez wentylację. W przypadku budynków z wentylacją grawitacyjną poddanych próbie szczelności

$$V_{\text{inf}} = \frac{0,05 \cdot n_{50} \cdot \text{Kubatura wentylowana}}{3600}$$

natomiast bez próby szczelności

$$V_{\text{inf}} = \frac{0,2 \cdot \text{Kubatura wentylowana}}{3600}$$

Porównując oba wzory, widać, że w przypadku wartości $n_{50} = 4$, V_{inf} w obu przypadkach ma taką samą wartość. Wartość 4 przekracza jednak zalecaną w Warunkach Technicznych wartość $n_{50} = 3$. W przypadku budynków bez przeprowadzonej próby szczelności metodologia zakłada przekroczenie krotności wymian zalecanej w Warunkach Technicznych (WT).

Wyniki badań analizowanych budynków

Przeprowadzono analizę porównawczą wpływu szczelności na charakterystykę energetyczną dwóch różnych pod względem konstrukcji i izolacyjności budynków jednorodzinnych. Pierwszy z nich to budynek dwukondygnacyjny o konstrukcji tradycyjnej, mury (pustak + szczelina powietrzna + cegła), z nieogrzewaną piwnicą i nieużytkowym poddaszem (fotografia 1),



Fot. 1. Budynek jednorodzinny (wybudowany w 1986 r.) poddany badaniu szczelności

wybudowany w 1986 r. Znajduje się w nim 5 pokoiów, 2 kuchnie, 2 łazienki, 2 przedpokoje oraz klatka schodowa łącząca poszczególne kondygnacje. Kubatura wewnętrzna wynosi 530 m³, a pole powierzchni obudowy 465 m². Ogrzewanie centralne, kocioł węglowy, wentylacja grawitacyjna, otwory wentylacyjne w łazienkach, w kuchniach oraz w przedpokojach. W budynku zamontowane są dwuszybowe okna z PVC, a od strony południowej na parterze drewniane okna skrzynkowe.

Badanie wykonano dwiema metodami. W metodzie A, analizującej właściwości budynku w stanie użytkownika, nie zaślepiano otworów wentylacyjnych. W metodzie B wszystkie otwory wentylacyjne zostały zaślepione. Należy zaznaczyć, że ani metodologia wg rozporządzenia, ani Warunki Techniczne nie precyzują, którą metodą powinny być wykonywane badania. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki badania szczelności obudowy budynku metodą A oraz metodą B

Charakterystyka	Wyniki wg metody A	Wyniki wg metody B
Przepływ powietrza przy różnicy ciśnienia 50 Pa, V ₅₀ [m ³ /h]	2285	1985
Liczba wymian powietrza przy różnicy ciśnienia 50 Pa, n ₅₀ [h ⁻¹]	4,310	3,741

Wielkość wymiany powietrza przy różnicy ciśnienia 50 Pa wynosi n₅₀ = 3,741 [h⁻¹] w przypadku metody B oraz n₅₀ = 4,310 [h⁻¹] w przypadku metody A. Obie wartości przekraczają wartość zalecaną przez Warunki Techniczne n₅₀ = 3,0 [h⁻¹] o odpowiednio 25% oraz 43%.

Po przeprowadzonych badaniach sporządzono świadectwo charakterystyki energetycznej analizowanego budynku. Należy zwrócić uwagę, że nie jest on ocieplony; współczynnik przenikania ciepła ścian zewnętrznych wynosi U = 1,25 W/m²K, co niemal pięciokrotnie przekracza wartość dopuszczalną dla tego typu budynku, która zgodnie z obowiązującymi od 1 stycznia 2014 r. Warunkami Technicznymi wynosi U = 0,3 W/m²K.

Wartości Q_{Hnd} (roczne zapotrzebowanie energii użytkowej) oraz EP (roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną

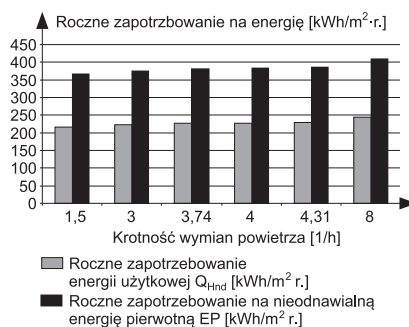
energiją pierwotną) wyznaczono przy współczynniku:

- n₅₀ = 1,5 [h⁻¹] – wg WT, wartość wymagana dla budynków z wentylacją mechaniczną;
- n₅₀ = 3,0 [h⁻¹] – wg WT, wartość wymagana dla budynków z wentylacją grawitacyjną;
- n₅₀ = 3,74 [h⁻¹] – wartość uzyskana w wyniku przeprowadzonego badania szczelności budynku metodą B;
- n₅₀ = 4,0 [h⁻¹] – wartość przyjmowana w metodologii w przypadku nieprzeprowadzania badań szczelności;
- n₅₀ = 4,31 [h⁻¹] – wartość uzyskana w wyniku przeprowadzonego badania szczelności budynku metodą A;
- n₅₀ = 8,0 [h⁻¹] – teoretycznie przyjęta wartość o 100% większa od zakładanej przez metodologię.

Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 2 oraz na rysunku 1. Wynika z nich, że wartość przepuszczalności powietrza n₅₀ tylko nieznacznie wpływa na parametry energetyczne budynku. W przypadku analizowanego budynku wartość rocznego zapotrzebowania na energię użytkową oraz rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię

Tabela 2. Wyniki obliczeń charakterystyki energetycznej analizowanego budynku

Przepuszczalność powietrza n ₅₀ [1/h]	Roczne zapotrzebowanie energii użytkowej Q _{Hnd} [kWh/m ² r.]	Roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną EP [kWh/m ² r.]
1,5	216,1	366,0
3	222,8	376,0
3,74	226,2	380,9
4	227,3	382,7
4,31	228,7	384,7
8	245,3	409,4



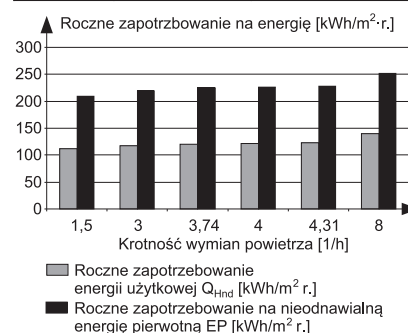
Rys. 1. Zależność rocznego zapotrzebowania energii użytkowej i pierwotnej od krotności wymian powietrza przez obudowę budynku dla analizowanego budynku o słabej izolacyjności cieplnej

pierwotną przy wartości n₅₀ = 3,74 [h⁻¹] jest tylko o 0,5% mniejsza od wartości otrzymanych przy założeniu braku badania szczelności budynku n₅₀ = 4,0 [h⁻¹], natomiast przy wartości n₅₀ = 4,31 [h⁻¹] o 0,6% większa. Gdyby warunek szczelności wymagany przez WT dla analizowanego budynku był spełniony, n₅₀ = 3,0 [h⁻¹], wówczas roczne zapotrzebowanie na energię użytkową oraz na nieodnawialną energię pierwotną zmniejszyłoby się o ok. 2%. Zwiększenie wartości n₅₀ do n₅₀ = 8,0 [h⁻¹] powoduje wzrost analizowanych wartości tylko o ok. 7 – 8%.

Jak już wspomniano, wartość współczynnika przenikania ciepła analizowanego budynku znacznie przekracza wartości dopuszczalne przez polskie przepisy. Jaki wpływ na charakterystykę energetyczną budynku miałyby poprawa izolacyjności przegród? W analizie przyjęto zastosowanie styropianu grubości 15 cm, co zmniejsza wartość U do 0,3 W/m²K. Wyniki przeprowadzonych obliczeń zapotrzebowania na energię budynku przy różnym poziomie szczelności zawiera tabela 3 oraz rysunek 2. Poprawa izolacyjności prze-

Tabela 3. Wyniki obliczeń charakterystyki energetycznej analizowanego budynku, przyjęto U ścian zewnętrznych wynoszące 0,3 W/m²K

Przepuszczalność powietrza n ₅₀ [1/h]	Roczne zapotrzebowanie energii użytkowej Q _{Hnd} [kWh/m ² r.]	Roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną EP [kWh/m ² r.]
1,5	111,2	210,0
3	117,7	219,6
3,74	120,9	224,4
4	122,0	226,0
4,31	123,3	228,0
8	139,4	251,9

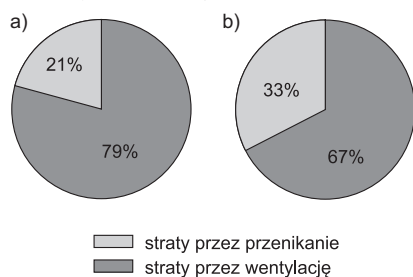


Rys. 2. Zależność rocznego zapotrzebowania energii użytkowej i pierwotnej od krotności wymian powietrza dla budynku o podwyższonej izolacyjności cieplnej obudowy

gród budynku znacznie zmniejszyła straty przez przenikanie, a w konsekwencji roczne zapotrzebowanie energii użytkowej zmniejszyło się o ok. 46%, z 227,3 kWh/m²r. do 122,0 kWh/m²r., a wartość EP o ok. 41%, z 382,7 kWh/m²r. do 226,0 kWh/m²r.

Okazuje się, że w przypadku budynku o niższym zapotrzebowaniu na energię wpływ badań szczelności na wartości Q_{Hnd} oraz EP jest nieco większy. Wartość rocznego zapotrzebowania na energię użytkową oraz rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną przy $n_{50} = 3,74$ [h⁻¹] jest o ok. 1% mniejsza (poprzednio tylko 0,5%) od wartości otrzymanych przy założeniu braku badania szczelności budynku ($n_{50} = 4,0$ [h⁻¹]), natomiast przy wartości $n_{50} = 4,31$ [h⁻¹] o 1% większa. W przypadku $n_{50} = 8,0$ [h⁻¹], wartość rocznego zapotrzebowania na energię użytkową wzrosła o 14% (poprzednio ok. 8%), natomiast wartość rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną wzrosła o ok. 11,5% (poprzednio ok. 7%). Ma to związek z procentowym udziałem strat ciepła przez wentylację (H_{ve}) oraz przez przenikanie (H_{tr}) w całkowitym współczynniku strat mocy cieplnej budynku. Udział ten w przypadku budynku rzeczywistego i zmodernizowanego przedstawia rysunek 3.

Drugim analizowanym budynkiem był dom jednorodzinny wybudowany w 2004 r. w technologii ścian murowanych (jednowarstwowe z betonu komórkowego), o powierzchni użytkowej 153 m², z wentylacją grawitacyjną. W budynku znajdują się 4 pokoje, kuchnia, 2 łazienki oraz pomieszczenia wentylowane: spiżarnia; garderoba i pomieszczenie gospodarcze; klatka schodowa oraz wiatrołap. Kubatura budynku to 416 m³, a powierzchnia zabudowy 328 m². Ogrzewanie centralne,



Rys. 3. Procentowy udział strat mocy cieplnej analizowanego budynku: a) przed ociepleniem ($U = 1,25$ W/m²K); b) po ociepleniu ($U = 0,3$ W/m²K)

kocioł gazowy. Podobnie jak w poprzednim przypadku badania przeprowadzono dwiema metodami A oraz B. Wyniki pomiarów przedstawia tabela 4.

Wielkość wymiany powietrza w warunkach różnicy ciśnienia 50 Pa wynosi $n_{50} = 8,275$ [h⁻¹] w przypadku metody B oraz $n_{50} = 8,795$ [h⁻¹] w przypadku metody A. Obie wartości znacznie przekraczają dopuszczaną w Warunkach Technicznych wartość $n_{50} = 3,0$ [h⁻¹]. W drugim analizowanym budynku współczynnik przenikania ciepła ścian zewnętrznych wynosi $U = 0,29$ W/m²K. Przeanalizowano wartości Q_{Hnd} oraz EP w przypadku, gdy nośnikiem energii był węgiel kamienny oraz gaz ziemny. Oba nośniki charakteryzuje ta sama wartość współczynnika nakładu energii nieodnawialnej $w_i = 1,1$. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 5 oraz na rysunku 4.

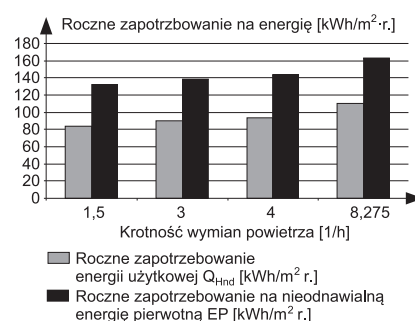
Tabela 4. Wyniki badania szczelności domu jednorodzinnego metodą A oraz metodą B

	Wyniki wg metody A	Wyniki wg metody B
Przepływ powietrza przy różnicy ciśnienia 50 Pa, V_{50} [m ³ /h]	4395	4140
Liczba wymian powietrza przy różnicy ciśnienia 50 Pa, n_{50} [h ⁻¹]	8,795	8,275

Tabela 5. Wyniki obliczeń charakterystyki energetycznej analizowanego budynku

Przepuszczalność powietrza n_{50} [1/h]	Roczne zapotrzebowanie energii użytkowej Q_{Hnd} [kWh/m ² r.]	Roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną EP [kWh/m ² r.]
1,5	84,18	132
3	89,83	138,9
4	93,62	143,6
8,275	109,96	163,6

W przypadku drugiego analizowanego budynku wartość rocznego zapotrzebowania na energię użytkową przy wartości $n_{50} = 8,275$ [h⁻¹] jest o 17% większa od wartości otrzymanej przy założeniu braku badania szczelności budynku $n_{50} = 4,0$ [h⁻¹], natomiast wartość rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną o 14% większa. Gdyby warunek szczelności analizowanego budynku, wymagany



Rys. 4. Zależność rocznego zapotrzebowania energii użytkowej i pierwotnej od krotności wymian powietrza dla analizowanego domu jednorodzinnego wybudowanego w 2004 r.

przez WT, był spełniony, $n_{50} = 3,0$ [h⁻¹], wówczas roczne zapotrzebowanie energii użytkowej zmniejszyłoby się o ok. 22%, natomiast zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną o ok. 18%. Przyczyną tak dużej wartości n_{50} analizowanego budynku jest nieszczelność na połączeniu konstrukcji dachu ze ścianą zewnętrzną (fotografia 2). Niedokładność wykonania miała znaczny wpływ na rzeczywiste wyniki badania szczelności. Oszacowanie faktycznych wpływów niedociągnięć wykonawczych na wartość wskaźnika n_{50} bez wykonania badania szczelności nie jest praktycznie możliwe.



Fot. 2. Nieszczelność w obudowie analizowanego budynku

Wykonane analizy wskazują na znaczny wpływ wyników badania szczelności na wartość zapotrzebowania na energię użytkową oraz na nieodnawialną energię pierwotną. Wpływ ten jest większy w przypadku budynków o niższym zapotrzebowaniu na energię oraz w przypadku budynków, w których występują znaczne nieszczelności w obudowie budynku.

Fotografie – Autorki