

# O związkach między szczelnością budynków a mikroklimatem, komfortem wewnętrznym i zużyciem energii w budynkach niskoenergetycznych

Tomasz Kisilewicz

## 1. Mity dotyczące „oddychania przegród”

Często twierdzi się, że wszyscy ludzie znajdują się na medycynie i budownictwie. Są to dwie dyscypliny, które faktycznie dotyczą nas wszystkich i absorbują naszą uwagę, więc naturalną kolejną rzeczą są przedmiotem rozmów, dyskusji i różnych obiegowych opinii. Niestety, tak jak i w medycynie, tak też w budownictwie niektóre z tych opinii są albo powierzchowne, albo wręcz nieprawdziwe. Wynikać to może np. z niezrozumienia zjawiska fizycznego, cząstkowej obserwacji, nadmiernego uogólniania zjawisk itp. Część takich poglądów może być także produktem ubocznym akcji reklamowych i handlowej konkurencji.

Jednym z najlepiej wpojonych polskiemu społeczeństwu przez aktywny marketing poglądów na temat budownictwa jest konieczność tzw. „oddychania przegród”. Ten pogląd jest na tyle rozpowszechniony i obowiązujący, że raczej nikt, słysząc ten termin, nie odważy się pytać o jego znaczenie i nie próbuje go podważać, a niemal każdy twierdzi, że chciałby mieszkać w budynku „oddychającym”. Tymczasem, jeśli pada prośba o zdefiniowanie, co to jest „oddychanie”, to odpowiedzi nie są już tak jednoznaczne. Czasem wspomina się o wentylacyjnej wymianie powietrza w budynku, kiedy indziej jest mowa o przepuszczaniu przez „oddychające” ściany powietrza albo nawet dużych ilości pary wodnej i stabilizowaniu w ten sposób wilgotności powietrza w pomieszczeniu. Zawsze jest to jednak zjawisko traktowane jako bardzo pożądane i niezbędne w „zdrowym budynku”.

Konfrontacja poglądu o „oddychaniu przegród” z procesami fizycznymi zachodzącymi we wnętrzu budynku i jego obudowie zewnętrznej stwarza jednak całkowicie inny obraz zjawisk i warunków wilgotnościowych w budynkach.

## 2. Emisja wilgoci we wnętrzu budynku

We wnętrzu użytkowanego budynku mamy zawsze do czynienia z wewnętrzną emisją wilgoci, związaną np. z wydychaniem pary wodnej, odparowaniem wody z powierzchni skóry oraz wszelkimi formami używania wody. Ilość wytwarzanej w ten sposób pary wodnej jest ściśle zależna od ilości użytkowników, sposobu eksploatacji budynku czy nawyków jego użytkowników (tabela 1).

Należy się więc spodziewać, że warunki wilgotnościowe w konkretnych budynkach są w rzeczywistości bardzo silnie zróżnicowane, tak jak różne są sposoby życia mieszkańców, na-

wyki higieniczne czy kulinarne, a także np. ilość hodowanych roślin, rodzaj sprzętu domowego itp. Dodatkowo jeszcze emisja wilgoci będzie silnie zróżnicowana w czasie w związku z obecnością użytkowników.

Dla celów projektowania szacuje się więc, że np. w mieszkaniu 4-osobowej rodziny mamy do czynienia z ciągłą średnią emisją pary na poziomie od 300 g/h [2] do nawet 450 g/h [1].

Oprócz tzw. wilgoci użytkowej para wodna jest dostarczana do wnętrza wraz z powietrzem wentylacyjnym, może być także oddawana przez materiały budowlane przegród czy też pochodzić z opadów atmosferycznych. W efekcie więc utrzymanie wilgotności powietrza w pomieszczeniu na mniej więcej jednolitym poziomie wymaga stałego i odpowiednio intensywnego usuwania pary wodnej z wnętrza budynku. Bardzo istotna jest w tej sytuacji odpowiedź na pytanie, w jaki sposób można usuwać nadmiar pary wodnej z budynku i jak sterować tym procesem, aby użytkownicy mieli zapewniony komfort termiczny i wilgotnościowy.

Tabela 1. Emisja pary wodnej w budynkach [1]

Rodzaj czynności	Emisja pary wodnej [g/h]
Prysznic	2500 g/h
Kąpiel w wannie	1200 g/h
Suszenie prania (4,5 kg)	1800 g
Pranie w pralce automatycznej	2100 g/h
Prasowanie	400 g/h
Parzenie kawy w ekspresie	100 g/h
Gotowanie (3 posiłki)	1000 g
Smażenie na ruszcie (3000 W)	500 g/h
Zmywanie naczyń (3 posiłki)	600 g
Opiekanie pieczywa (500 W)	70 g/h
Suszenie włosów (suszarka 1000 W)	240 g/h
Mycie podłogi (12 m <sup>2</sup> )	1700 g
Schnięcie drewna do kominka	200 g/h
Proces spalania (kuchnie gazowe i inne urządzenia bez odprowadzania spalin)	1000 g/kg paliwa
Spalanie gazu potrzebnego do zagotowania czajnika z wodą	55 g

### 3. Wilgotność względna powietrza

Ilość pary wodnej, jaka może znajdować się w powietrzu, a w efekcie również ciśnienie cząstkowe wywierane przez parę są ograniczone tzw. stanem nasycenia. Przekroczenie tego stanu prowadzi do wykroplenia (kondensacji) nadmiaru pary wodnej. Ilość pary wodnej, jaka jest potrzebna do uzyskania stanu nasycenia, zależy jednak bardzo silnie od temperatury powietrza. Im wyższa jest temperatura powietrza, tym więcej może znajdować się w nim pary wodnej. Ciśnienie pary wodnej w przeciętnych warunkach rzeczywistych jest zwykle niższe od ciśnienia odpowiadającego stanowi nasycenia.

Warunki wilgotnościowe w budynku charakteryzuje używana powszechnie wielkość: wilgotność względna powietrza  $\varphi$ :

$$\varphi = \frac{p}{p_s} \cdot 100\% [\%]$$

gdzie:

$p$  – ciśnienie rzeczywiste pary wodnej [Pa];

$p_s$  – ciśnienie stanu nasycenia w danej temperaturze [Pa].

Mierząc więc wilgotność względną powietrza w pomieszczeniu i jego temperaturę, można używając podanego wzoru, w prosty sposób obliczyć ciśnienie rzeczywiste pary wodnej. Właśnie wartości rzeczywistego ciśnienia pary w budynku i w jego otoczeniu decydują o przebiegu zjawisk związanych z dyfuzją pary przez przegrody, tj. o kierunku, w jakim przebiega transport pary, oraz o jego intensywności.

### 4. Dyfuzja pary wodnej przez obudowę budynku

Różnica ciśnienia jest przyczyną dyfuzji (powolnego transportu) pary wodnej przez poszczególne porowate warstwy obudowy zewnętrznej budynku. Materiały budowlane różnią się zdecydowanie właściwościami związanymi z przepuszczalnością pary wodnej. Część z nich łatwo przepuszcza parę, jak np. wełna mineralna, lekkie betony czy porowata ceramika. Inne charakteryzują się większą szczelnością, jak np. beton zwykły, lekkie gatunki drewna czy mur ceglany. Są też wreszcie materiały o wysokiej szczelności, jak np. lżejsze odmiany kamieni naturalnych (wapień lub piaskowiec), pianka polietylenowa lub ciężkie gatunki drewna.

Właściwości materiałów związane z dyfuzją pary wodnej są charakteryzowane przez bezwymiarowy współczynnik oporu dyfuzyjnego  $\mu$  [4]. Wielkość ta pozwala porównać opór, jaki stawia dyfuzji pary wodnej materiał w porównaniu do warstwy powietrza o takiej samej grubości. Paroprzepuszczalność materiału zależy m.in. od jego składu chemicznego, struktury wewnętrznej, porowatości, ale także od wilgotności (tabela 2).

Dyfuzja pary wodnej przez obudowę budynku odbywać się może tylko od środowiska o wyższej wartości cząstkowego ciśnienia pary wodnej do środowiska o niższym ciśnieniu.

1. W warunkach zimowych znacznie wyższej temperaturze powietrza we wnętrzu budynku niż w jego otoczeniu odpowiada wyższe ciśnienie pary wodnej. Tak więc przy niskiej temperaturze zewnętrznej przepływ pary wodnej odbywa się od środowiska cieplejszego (wnętrze) do chłodniejszego (na zewnątrz).

Tabela 2. Wartości współczynnika oporu dyfuzyjnego przykładowych materiałów wg PN-EN 12524 [3]

Materiał	$\mu$	
	suchy	wilgotny
Beton średniej gęstości	100	60
Tynk wapienno-piaskowy	10	6
Marmur	10 000	10 000
Płyta wiórowa	50	10
Szkło/metale	$\infty$	$\infty$
Mur z cegły pełnej	5-10	5-10
Mur z cegły silikatowej drażonej	15	15
Beton komórkowy lekki	6	6
Maty z włókna szklanego	1	1
Wełna mineralna	1	1
Pianka poliuretanowa	60	60
Styropian	60	60
Drewno 500 kg/m <sup>3</sup>	50	20
Drewno 700 kg/m <sup>3</sup>	200	50

2. W trakcie lata, z powodu odwróconej różnicy temperatury, przepływ pary wodnej może odbywać się od zewnątrz do wnętrza.
3. Dyfuzja pary wodnej może również odbywać się w warunkach wyrównanej temperatury, ale przy zróżnicowanej wilgotności względnej powietrza z obydwu stron.

Jak pokazano wcześniej, utrzymanie stałych, poprawnych warunków wilgotnościowych w budynku wymaga ciągłego, dość intensywnego usuwania pary wodnej z pomieszczeń. Specyficzne funkcje i rozwiązania przegród zewnętrznych w budynkach sprawiają, że niektóre z nich mogą mieć niewielkie opory dyfuzyjne (np. ściany z betonu komórkowego czy poryzowanej ceramiki), a inne są zazwyczaj bardzo szczelne (np. ściany o konstrukcji betonowej, stropodachy z paroizolacją i hydroizolacją). Także podstawowe materiały izolacji termicznej zdecydowanie różnią się swoimi właściwościami dyfuzyjnymi. Stąd więc niepokój mieszkańców paroszczelnych budynków o jakość środowiska wewnętrznego. Niepokój ten jest podsycany przez reklamy podkreślające znaczenie „oddychania przegród” – rozumianego tu jako ich zdolność do przepuszczania pary wodnej. Żeby prawidłowo ocenić znaczenie dyfuzji pary wodnej dla bilansu wilgotnościowego wnętrza, warto wykonać proste obliczenia ilości pary wodnej, jaka przenika przez obudowę zewnętrzną budynku, wg algorytmu podanego w normie PN-EN 13788 [4]. Na ich podstawie szacuje się, że udział dyfuzji pary wodnej przez przegrody w bilansie wilgoci poprawnie funkcjonującego budynku zawiera się faktycznie w granicach tylko 1–3% całkowitej emisji pary wodnej [2], a więc jest pomijalnie mały. Właściwości obudowy budynku i materiałów użytych do ich wzniesienia nie mają więc żadnego praktycznego wpływu na bilans wilgoci w budynku, bowiem jedynym realnym sposobem usuwania nadmiaru pary wodnej z wnętrza budynku jest właściwa wentylacja.

## 5. Sorpcja wilgoci

Na marginesie wilgotnościowych aspektów funkcjonowania budynków warto wspomnieć o specyficznych właściwościach drewna. Drewno jest materiałem wykazującym bardzo silną sorpcję wilgoci, tj. zdolność do chłonięcia pary wodnej z powietrza, rys. 1. Praktycznym skutkiem wysokiego zawilgocenia sorpcyjnego są duże odkształcenia geometryczne, nazywane potocznie „pracą drewna”. Mniej znany jest natomiast fakt, że drewno jest materiałem o wysokiej, porównywalnej z betonem, paroszczelności (tabela 2). Niska wilgotność powietrza w budynkach drewnianych nie jest więc zasługą źle „oddychającego” drewna, ale raczej nieszczelności drewnianej obudowy i intensywnej wymiany powietrza przez otwory w tej ścianie.

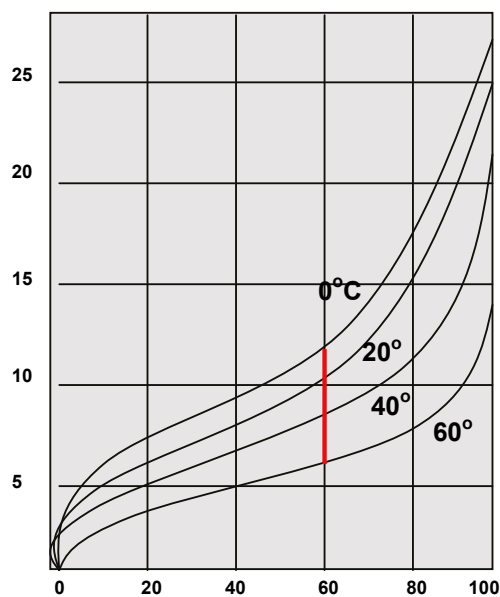
Zjawisko sorpcji wilgoci, wykazywane przez wszystkie materiały budowlane, ma natomiast istotne, pozytywne znaczenie dla komfortu wewnętrznego poprzez wygładzanie wahań wilgotności powietrza w budynkach. Akumulacja wilgoci w powierzchniowej warstwie przegród pozwala na ograniczenie wzrostu wilgotności powietrza przy dużej podaży pary wodnej (np. podczas suszenia prania). Przy spadku wilgotności powietrza, na skutek desorpcji, para wchłonięta wcześniej przez materiał jest oddawana ponownie do wnętrza budynku.

## 6. Szczelność powietrzna budynku

Bliższy prawdy jest pogląd, że „oddychanie” to wymiana powietrza pomiędzy budynkiem a jego otoczeniem. Od razu należy jednak stwierdzić, że ta wymiana nie powinna odbywać się poprzez ściany budynku, ale na drodze zorganizowanej wentylacyjnej wymiany powietrza.

Obudowa zewnętrzna budynku powinna charakteryzować się możliwie wysoką szczelnością na przenikanie powietrza. W świadomości społecznej budynek szczelny jest jednak negatywnie utożsamiany z „termosem”, mówi się także o syndromie „chorego budynku”. Ma to swoje uzasadnione źródła w błędnych realizacjach budynków z naturalną wentylacją i brakiem zrozumienia zasad jej działania. Wymiana powietrza w jakimkolwiek systemie wentylacyjnym jest możliwa tylko wtedy, gdy są otwory wlotowe i wylotowe oraz różnica ciśnienia. O ile w systemach grawitacyjnych otwory wywiewne były zawsze przedmiotem projektowania (kratki i pionki wentylacyjne), to dostawa powietrza odbywała się zwykle w sposób przypadkowy (nieszczelności stolarki). Zdarzało się więc, że uszczelnienie budynku podczas remontu albo wymiana stolarki na bardzo szczelną dezorganizowała działanie wentylacji naturalnej poprzez ograniczenie dopływu świeżego powietrza. Prowadziło to dalej do znacznego spadku jakości powietrza, wzrostu wilgotności względnej powietrza i stężenia zanieczyszczeń.

Trzeba więc jasno stwierdzić, że w nowoczesnych budynkach niskoenergetycznych konieczna jest wysoka szczelność powietrzna obudowy i jednocześnie sprawnie działający, możliwy do sterowania system wentylacji. Kosztem dodatkowych nakładów na specjalne materiały uszczelniające oraz zwiększonej uwagi wykonawców dąży się do wyeliminowania przypadkowych nieciągłości i otworów w obudowie, jednocześnie z wielką uwagą traktując system wentylacji naturalnej lub mechanicznej, otwory lub kanały służące do wymiany powietrza.



Rys. 1. Zależność sorpcyjnego zawilgocenia drewna od temperatury. Na osi pionowej masowa wilgotność drewna wyrażona w procentach suchej masy, na osi poziomej wilgotność względna powietrza

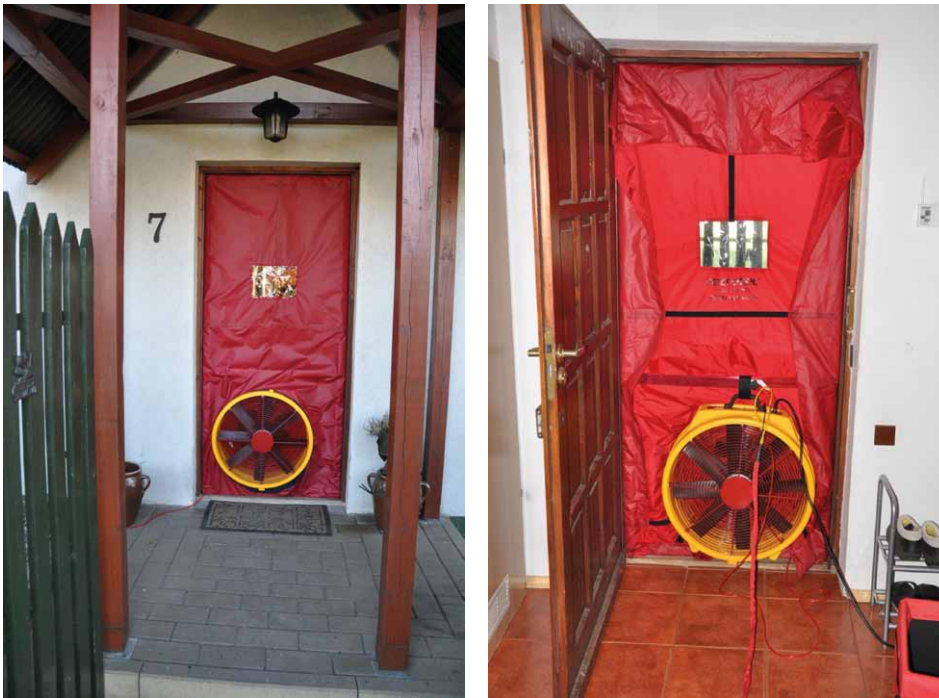
W ostatnich latach przepisy budowlane zmierzają w kierunku wysokiej szczelności całej obudowy, włącznie ze stolarką, i zapewnienia, także w przypadku wentylacji naturalnej, zorganizowanej dostawy powietrza poprzez specjalne otwory nawiewne [5]. Dzięki wysokiej szczelności obudowy uzyskuje się możliwość świadomego i stosownego do potrzeb sterowania wymianą powietrza, utrzymania jej na wymaganym poziomie i, co bardzo dziś istotne, ograniczenia w ten sposób do niezbędnego minimum wentylacyjnych strat ciepła. Dzieje się to bez uszczerbku dla warunków wilgotnościowych we wnętrzu i dla komfortu cieplnego. Tak więc budynek o dużej szczelności obudowy i z efektywną wentylacją nie ma nic wspólnego z „syndromem chorego budynku”.

Określenie faktycznej szczelności zewnętrznej obudowy budynku jest możliwe tylko poprzez specjalistyczne badania. Podstawowa metoda badawcza to tzw. metoda ciśnieniowa. Polega ona na wytworzeniu przy pomocy wentylatora (urządzenie nazywa się *blow-door*) zadanego nad- lub podciśnienia i pomiarze ilości powietrza tłoczonego w tych warunkach przez wentylator, potrzebnego do utrzymania różnicy ciśnień na stałym poziomie.

Ilość powietrza tłoczona przez wentylator jest odnoszona do kubatury badanego obiektu i określa następną jako tzw. krotność wymian, jednostka obliczeniowa to 1/h.

W nowelizacji Warunków Technicznych z 2008 [5] roku po raz pierwszy w naszym kraju podane zostały zalecenia dotyczące szczelności budynku. Wg nich krotność wymian przy standardowym badaniu różnicą ciśnień 50 Pa nie powinna przekraczać wartości 1,5 1/h w przypadku budynków z wentylacją mechaniczną i 3,0 1/h przy wentylacji grawitacyjnej. Opisywane wymagania są jedynie przedmiotem zalecanych, a nie obowiązkowych badań kontrolnych.

Natomiast w super izolowanych budynkach pasywnych wymagania związane ze szczelnością obudowy idą znacznie dalej. Wymiana powietrza w tych samych warunkach nie powinna



**Rys. 2.** Badania szczelności obudowy budynku jednorodzinnego przy użyciu tzw. *blow-door*, widok od zewnątrz i od wnętrza budynku

tam wynosić więcej niż 0,6 l/h. Tak wysoka szczelność wymaga już zastosowania specjalnych rozwiązań i materiałów uszczelniających, a także musi być przedmiotem badań kontrolnych podczas fazy wykończeniowej budynku, kiedy możliwa jest jeszcze korekta wykonania połączeń, detali itp.

Warto przy tej okazji zauważyć, że w Wielkiej Brytanii od początku 2009 roku badanie szczelności jest badaniem obowiązkowym dla każdego oddawanego do użytkowania budynku.

## 7. Wentylacja w budynkach niskoenergetycznych


Intensywność wentylowania wnętrza budynku w systemie wentylacji grawitacyjnej (naturalnej) jest zależna od różnicy temperatury we wnętrzu i otoczeniu budynku, a także od kierunku i prędkości wiatru. Nie jest więc ona funkcją faktycznych potrzeb użytkowych, ale przypadkowej kombinacji warunków klimatycznych wokół budynku. Możliwości sterowania wentylacją naturalną są w najlepszym przypadku ograniczone do zmiany wielkości otworów wentylacyjnych. Regulacja taka może odbywać się ręcznie lub przy użyciu prostych zazwyczaj mechanizmów zmieniających światło otworu wentylacyjnego zależnie od parcia wiatru, temperatury zewnętrznej czy wilgotności względnej powietrza wewnętrznego.

Bilans cieplny budynku energooszczędnego ma strukturę zdecydowanie inną niż budynki standardowe. Ograniczenie strat ciepłych przez przenikanie, dzięki efektywnej i bardzo grubej warstwie izolacji termicznej oraz stosowaniu okien o wielokomorowych szybach i dobrze izolowanych ramach, sprawia, że największy udział w bilansie mają straty wentylacyjne. Dalsze zmniejszanie zapotrzebowania na energię do ogrzewania budynku wymaga więc ograniczenia wymiany wentylacyjnej do poziomu gwarantującego odpowiednią jakość powietrza wewnętrznego, a idąc dalej, także odzyskiwania ciepła z usuwanego powietrza. Obydwa zabiegi można zrealizować jedynie stosując wentylację mechaniczną. Przy bardzo szczelnej obu-

downie budynku ilość powietrza wymienianego poza systemem wentylacji jest niewielka i możliwe jest wtedy dostosowanie jej intensywności do rzeczywistych potrzeb. Zebranie nawiewanego do budynku i usuwanego z budynku powietrza w jednym miejscu (w wymienniku ciepła) pozwala na odzyskanie ze zużytego powietrza znacznych ilości ciepła, które w systemie wentylacji grawitacyjnej byłoby bezpowrotnie oddane do otoczenia. Tylko w takim systemie powstaje możliwość sterowania jakością powietrza, poprzez kontrolowanie stężenia dwutlenku węgla, wilgotności, zanieczyszczeń lotnych itp.

## Literatura

- [1] Strona internetowa <http://ekoenergia.dzien-e-mail.org/wentylacja.html>, 2.XII.2014
- [2] POGORZELSKI J.A.: *Zagadnienia ciepłno-wilgotnościowe przegród budowlanych*, [w:] KLEMM P. (RED.): *Budownictwo Ogólne. Tom 2. Fizyka Budowli*. Arkady 2005.
- [3] PN-EN 12524 Materiały i wyroby budowlane – Właściwości ciepłno-wilgotnościowe – Tabelaaryczne wartości obliczeniowe.
- [4] PN-EN ISO 13788 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku – Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa – metody obliczania.
- [5] Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r., Dz. Ustaw Nr 75, poz. 690 z dnia 15 czerwca 2003 roku wraz z późniejszymi zmianami.

 **Tomasz Kisilewicz**  
Zakład Budownictwa i Fizyki Budowli  
Politechniki Krakowskiej

artykuł recenzowany