

Krzysztof Pawłowski<sup>1</sup>, Magdalena Nakielska<sup>2</sup>

## ANALIZA WYBRANYCH CZYNNIKÓW KSZTAŁTUJĄCYCH ENERGOCHŁONNOŚĆ WSPÓŁCZESNYCH BUDYNKÓW

### Wprowadzenie

Od wielu lat na całym świecie dużą uwagę zwraca się na energochłonność budynków. Polityka energetyczna państw ukierunkowana jest na zmniejszenie ilości energii potrzebnej do funkcjonowania obiektów budowlanych wraz z wdrożeniem nowoczesnych rozwiązań z zakresu kształtowania budynków, ich obudowy oraz nowoczesnych rozwiązań instalacyjnych. Dyrektywa 2002/91/WE [1] zobowiązuje wszystkie kraje członkowskie do poprawy jakości energetycznej budynków poprzez egzekwowanie obowiązku posiadania przez budynki świadectw energetycznych oraz narzuca obowiązek kontroli energetycznej instalacji grzewczo-klimatyzacyjnych. Zobowiązuje także projektantów do wykorzystywania systemów opartych na niekonwencjonalnych źródłach energii. Brak takiego certyfikatu uniemożliwia oddanie nowego budynku do użytkowania, zaś budynki już istniejące nie mogą być sprzedane lub wynajmowane. Wprowadzenie zmian w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/EU [2] w sprawie charakterystyki energetycznej budynków wiąże się z kolejnymi, wyższymi wymaganiami w zakresie ochrony cieplnej budynków.

W Polsce 13 sierpnia 2013 r. opublikowano w Dzienniku Ustaw Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [3]. W tym akcie prawnym określono m.in. niższe wartości maksymalne współczynnika przenikania ciepła  $U_{c(max)}$  [ $W/(m^2 \cdot K)$ ] dotyczące przegród zewnętrznych budynków oraz niższe wartości graniczne wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną  $EP_{(max)}$  [ $kWh/(m^2 \cdot rok)$ ], zmieniające się w okresie 2014-2016, 2017-2020 i po 2021 roku.

<sup>1</sup> Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, e-mail: krzypaw@utp.edu.pl

<sup>2</sup> Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, e-mail: magdalena.nakielska@gmail.com

Według przepisów prawnych, od 1 stycznia 2017 roku będą obowiązywały m.in. nowe /niższe/ wartości graniczne  $U_{c(max)}$  [ $W/(m^2 \cdot K)$ ] dla pojedynczych przegród. Natomiast „Krajowy plan wsparcia” [4] zawiera rekomendowaną do stosowania w praktyce krajową definicję: „budynek o niskim zużyciu energii” to taki budynek, który spełnia wymogi związane z oszczędnością energii i izolacyjnością zawarte w przepisach techniczno-użytkowych, o których mowa w art. 7 ust. 1 pkt 1 ustawy - Prawo budowlane [5], tj. w szczególności dział X oraz załącznik 2 do rozporządzenia [3] obowiązujące od 1 stycznia 2021 roku (w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością - od 1 stycznia 2019 r.).

Na podstawie analiz przepisów prawnych opracowano schemat kryteriów oceny przegród zewnętrznych i złączy budynków w aspekcie wymagań cieplno-wilgotnościowych (rys. 1).

KRYTERIUM OSZCZĘDNOŚCI ENERGII I OCHRONY CIEPLNEJ	
• I - zaprojektowanie budynku o zapotrzebowaniu na energię pierwotną EP [ $kWh/(m^2 \cdot rok)$ ] o wartości spełniającej wymagania W.T.-2014	
• II - zaprojektowanie przegród w budynku, aby wartości współczynników przenikania ciepła $U_C$ [ $W/(m^2 \cdot K)$ ] przegród zewnętrznych, okien, drzwi oraz technika instalacyjna odpowiadały wymaganiom W.T.-2014	
• III - wymagania w zakresie oporu cieplnego izolacji obwodowej dla przegrody stykającej się z gruntem $R_{min}$ [ $(m^2 \cdot K)/W$ ]	
• IV - wymagania w zakresie ochrony przed przegrzewaniem pomieszczeń w okresie letnim $g$ [-]	
KRYTERIUM WILGOTNOŚCIOWE	
• I - ryzyko rozwoju kondensacji powierzchniowej - obliczenie czynnika temperaturowego $f_{Rsi}$ [-]	
• II - ryzyko rozwoju kondensacji międzywarstwowej	

Rys. 1. Schemat oceny jakości cieplno-wilgotnościowej przegród zewnętrznych i złączy budynków

## 1. Identyfikacja czynników kształtujących budownictwo niskoenergetyczne

Projektowanie budynków niskoenergetycznych jest procesem złożonym i wymaga zaangażowania grupy specjalistów-projektantów w zakresie architektury, budownictwa, inżynierii środowiska oraz inżynierii odnawialnych źródeł energii. Do podstawowych czynników kształtujących budownictwo niskoenergetyczne można zaliczyć:

- **architekturę budynku:** usytuowanie budynku względem stron świata, zwarta bryła budynku (minimalny współczynnik kształtu  $A/V$ ), wielkość i usytuowanie przegród przezroczystych, rozmieszczenie pomieszczeń w budynku w zależno-

- ści od obliczeniowych temperatur powietrza wewnętrznego, geometria dachu, roślinność na działce budowlanej,
- **rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe przegród zewnętrznych i ich złączy (obudowa budynku):** stosowanie materiałów wysokiej jakości, stosowanie nowoczesnych materiałów termoizolacyjnych (płyty z pianek poliuretanowych PIR, PUR, aerożele, izolacje próżniowe, izolacje transparentne), szkoła projektowania złączy budowlanych w aspekcie cieplno-wilgotnościowym przy zastosowaniu programów numerycznych, dobór przegród przezroczystych o maksymalnej wartości współczynnika przenikania ciepła  $U \leq 0,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  oraz w zakresie ograniczenia przegrzewania pomieszczeń w okresie letnim,
  - **rodzaj i sprawność systemu wentylacji:** wentylacja hybrydowa lub mechaniczna z odzyskiem ciepła, wentylacja mechaniczna z gruntownym wymiennikiem ciepła, wspomaganie istniejących systemów wentylacji naturalnej - stosowanie kominów słonecznych, wysoka sprawność systemów powyżej 70%,
  - **rodzaj i sprawność systemów instalacji c.o. i c.w.u., zastosowanie odnawialnych źródeł energii:** wysoka sprawność systemów powyżej 70%, wspomaganie systemów c.o. i c.w.u. odnawialnymi źródłami energii (energia słoneczna, energia wiatrowa, energia geotermalna),
  - **integralne zarządzanie budynkiem w zakresie produkcji energii.**

## 2. Kształtowanie układów materiałowych przegród zewnętrznych i ich złączy

Zasadniczym celem projektowym w zakresie obudowy budynku (przegrody zewnętrzne i ich złącza) jest odpowiedni dobór układów materiałowych w aspekcie cieplno-wilgotnościowym, akustycznym i przeciwpożarowym. Dla przegród zewnętrznych należy prowadzić obliczenia w zakresie spełnienia podstawowego kryterium ochrony cieplnej  $U_c \leq U_{c(\max)}$ . Należy także zwrócić uwagę na złącza budowlane w celu minimalizacji strat ciepła, wyrażonych w postaci liniowego współczynnika przenikania ciepła  $\Psi [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$  oraz wyeliminowania ryzyka kondensacji powierzchniowej. Podane wartości maksymalne współczynników przenikania ciepła  $U_{c(\max)}$ , wg rozporządzenia [3], odnoszą się do izolacyjności cieplnej ścian zewnętrznych, dachów, podłóg oraz okien i drzwi bez różnicy na typ przegrody (wielo- czy jednowarstwowa) oraz przeznaczenia obiektu (mieszkalny, użyteczności publicznej, magazynowy, gospodarczy itp.). Należy także podkreślić, że nie uwzględniają przepływów ciepła w polu dwuwymiarowym (2D) i trójwymiarowym (3D) - czyli dodatkowych strat ciepła wynikających z występowania liniowych i przestrzennych mostków cieplnych. Ich udział uwzględnia się przy wyznaczaniu współczynnika strat ciepła przez przenikanie  $H_{Tr} [\text{W}/\text{K}]$ .

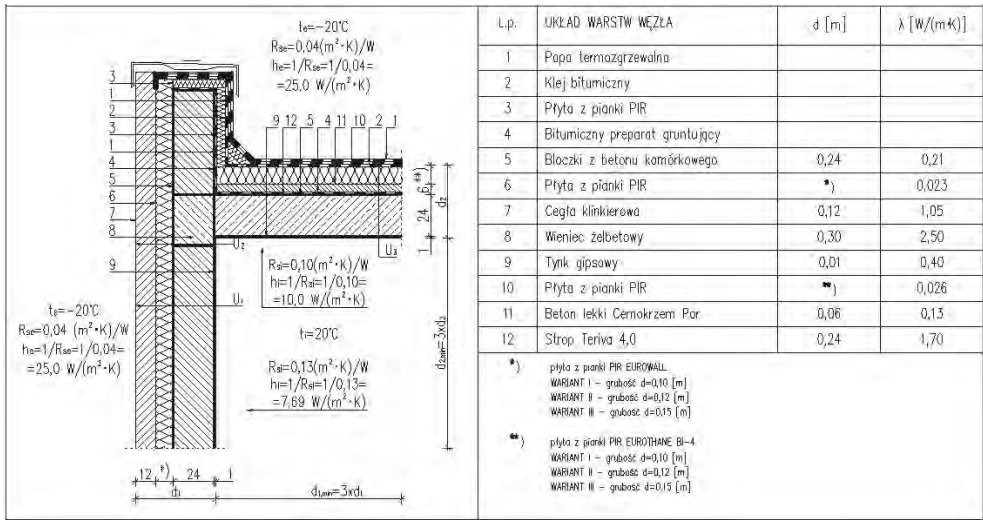
Jakość cieplna elementów budynków jest określana także w postaci czynnika temperaturowego złączy w przegrodach budynku dla potwierdzenia wymagania:  $f_{Rsi} \geq f_{Rsi(\text{kryt})}$ . Sprawdzenia wymagają wszystkie złącza (w zależności od ich rodzaju),

poprzez obliczenie ich w układzie dwu- lub trójwymiarowym (2D i 3D) i stanowią o istocie realizacji warunku niedopuszczenia do kondensacji powierzchniowej pary wodnej na przegrodach osłaniających budynki. Określenie czynnika temperaturowego  $f_{Rsi}$  w analizowanym złączu przegród zewnętrznych wymaga określenia temperatury minimalnej na wewnętrznej powierzchni przegrody oraz w miejscu mostka cieplnego, przy założeniu odpowiednich temperatur powietrza wewnętrznego ( $\theta_i$ ) i zewnętrznego ( $\theta_e$ ) i dla mostków cieplnych zastosowania przestrzennego modelu przegrody wg PN-EN ISO 10211:2008 [6]. Natomiast wymaganą wartość granicznego czynnika temperaturowego  $f_{Rsi,(kryt.)}$  ustala się w funkcji temperatury  $t_i$  oraz wilgotności względnej powietrza  $\phi_i$  [%] pomieszczenia, którego dotyczy. Wymienione parametry (temperatura wewnętrzna oraz wilgotność powietrza w pomieszczeniu) przesądzają o wartości czynnika temperaturowego  $f_{Rsi,(kryt.)}$ , decydującej granicy w ocenie poprawności rozwiązań konstrukcyjnych złącza. Według normy PN-EN ISO 13788:2003 [7], czynnik temperaturowy  $f_{Rsi,(kryt.)}$  oblicza się lub przyjmuje w zależności od zastosowanego w budynku rodzaju wentylacji (wentylacja grawitacyjna - dominująca w budownictwie mieszkaniowym lub wentylacja mechaniczna, będąca często składnikiem systemów klimatyzacyjnych, pozwalających w prawie dowolny sposób kształtować właściwości mikroklimatu wnętrza). W rozporządzeniu [3], mimo uznania normy PN-EN ISO 13788 [7] za obowiązującą w projektowaniu, istnieje odstępstwo od jej wymagań, polegające na przyjęciu średniej miesięcznej wilgotności względnej powietrza wewnętrznego w stałej wartości  $\phi_i = 0,50$  (50%) (punkt 2.2.2 Załącznika nr 2 [3]) dla pomieszczeń z temperaturą wewnętrzną równą co najmniej 20°C. Równocześnie dopuszczono (bez obliczeń) dla tych pomieszczeń przyjmowanie wartości czynnika  $f_{Rsi,(kryt.)} = 0,72$ , co praktycznie oznacza rezygnację z ustalania klas wilgotności pomieszczeń zaopatrzonych w wentylację grawitacyjną.

W ramach pracy określono parametry fizyczne wybranego złącza budowlanego (połączenia stropodachu pełnego ze ścianą zewnętrzną trójwarstwową) z ociepleniem w postaci płyty z pianki poliuretanowej PIR przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO, zgodnie z zasadami opisanymi w PN-EN ISO 10211:2008 [6] oraz pracy [8]. Charakterystykę materiałową analizowanych złączy przedstawiono na rysunku 2.

Wykonanie szczegółowych obliczeń, przy zastosowaniu programu komputerowego, pozwala na uzyskanie miarodajnych wyników parametrów fizycznych. Ich wartości zależą od zastosowanego materiału budowlanego (konstrukcyjnego), rodzaju i grubości izolacji cieplnej oraz ukształtowania struktury materiałowej analizowanego złącza. Posługiwanie się wartościami przybliżonymi i orientacyjnymi, np. na podstawie kart katalogowych R1+R12 (dotyczących stropodachów) wg normy PN-EN ISO 14683:2008 [10], staje się nieuzasadnione, ponieważ nie uwzględniają one zmiany układów materiałowych oraz rodzaju i grubości izolacji cieplnej.

Wyniki obliczeń parametrów fizycznych złączy stropodachów zestawiono w tabeli 1.



Rys. 2. Charakterystyka materiałowa połączenia stropodachu pełnego ze ścianą zewnętrzną trójwarstwową [9]

TABELA 1

Wyniki obliczeń parametrów fizycznych złącza stropodachu pełnego ze ścianą zewnętrzną [9]

Wariant	$U_{c(s.)}/U_{c(śc.)}$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	$\Phi$ [W]	$\Psi_{i(s.)}$ [W/(m·K)]	$\Psi_{i(śc.)}$ [W/(m·K)]	$\Psi_i$ [W/(m·K)]	$\theta_{si,min}$ [°C]	$f_{Rsi}$ [-]
<b>A<sub>(10)</sub></b>	0,18/0,22	25,93	0,10	0,04	0,14	14,88	0,87
<b>B<sub>(12)</sub></b>	0,15/0,19	23,39	0,09	0,03	0,12	15,45	0,89
<b>C<sub>(15)</sub></b>	0,13/0,15	20,65	0,08	0,03	0,11	15,95	0,90

$U_{c(s.)}$  - współczynnik przenikania ciepła stropodachu,  $U_{c(śc.)}$  - współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej,  $\Phi$  - wielkość strumienia cieplnego przepływającego przez złącze,  $\Psi_{i(s.)}$  - liniowy (gałęziowy) współczynnik przenikania ciepła w odniesieniu do górnej części złącza (stropodachu), określony wg wymiarów wewnętrznych,  $\Psi_{i(śc.)}$  - liniowy (gałęziowy) współczynnik przenikania ciepła w odniesieniu do dolnej części złącza (ściany zewnętrznej), określony wg wymiarów wewnętrznych,  $\theta_{si,min}$  - temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego,  $f_{Rsi}$  - czynnik temperaturowy, określany na podstawie temperatury  $\theta_{si,min}$

Połączenie stropodachu ze ścianą zewnętrzną generuje dodatkowe straty ciepła w postaci liniowego współczynnika przenikania ciepła  $\Psi$  [W/(m·K)] oraz obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody  $\theta_{si,min}$  (tab. 1). Zasadne staje się więc określenie wartości granicznych liniowego współczynnika przenikania ciepła  $\Psi_{max}$  w rozporządzeniu [3] na poziomie 0,05÷0,10 W/(m·K) w zależności od specyfiki analizowanego złącza. Natomiast analizując złącza ścian zewnętrznych (tab. 1), można stwierdzić, że nie występuje ryzyko kondensacji powierzchniowej pary wodnej, ponieważ obliczone wartości czynników temperaturowych  $f_{Rsi}$  [-] są

większe od wartości granicznej czynnika temperaturowego  $f_{Rsi,(kryt.)}$  [-]. Wartość graniczna (krytyczna) czynnika temperaturowego, przy uwzględnieniu parametrów powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, analizowanych wariantów obliczeniowych wynosi  $f_{Rsi,(kryt.)} = 0,778$ .

### 3. Kształtowanie parametrów mikroklimatu wnętrza budynku

Mikroklimat wewnątrz to zespół wszystkich parametrów fizycznych i chemicznych danego pomieszczenia, wywierający wpływ na organizm człowieka oraz na budynek. Do głównych parametrów mikroklimatu zaliczyć można: temperaturę powietrza, średnią temperaturę powierzchni przegród, prędkość ruchu powietrza, wilgotność względną powietrza. Zespół czynników pozatermicznych to: zanieczyszczenie powietrza, jonizacja powietrza, poziom hałasów, oświetlenie itp.

Od czasów wprowadzenia systemów instalacyjnych do budownictwa kształtowanie mikroklimatu wewnętrznego pomieszczeń stało się zadaniem łatwiejszym. Istnieją jednak problemy, na które należy zwrócić szczególną uwagę. W pracy skupiono się na problemie wilgotności powietrza i wpływu tego parametru na budynek.

Duże wahania wilgotności względnej (w granicach o 30÷70%) nie są uciążliwe dla człowieka. Inaczej jest w przypadku przegród budowlanych. Wysoka wilgotność względna, zwłaszcza w zimie, może powodować wykraplanie się wody na powierzchni szyb w oknach i na ścianach zewnętrznych. Zjawisko to może wywołać pojawienie się pleśni i grzybów na przegrodach budowlanych, szczególnie w miejscu występowania mostków cieplnych. Problem nadmiernej wilgotności względnej występuje od momentu wprowadzenia na rynek i montażu szczelnych okien, bez możliwości dostarczenia wymaganej ilości powietrza zewnętrznego do pomieszczenia. Technologia produkcji okien cały czas ulega zmianie i aktualnie montowane okna muszą posiadać nawiewniki okienne. I tu pojawia się problem odpowiedniego użytkowania obiektów budowlanych. Często użytkownicy w celach oszczędności nieprawidłowo korzystają z zamontowanych nawiewników, co powoduje pogorszenie warunków mikroklimatu wewnątrz pomieszczeń. Rozwiązaniem problemu jest zaprojektowanie prawidłowo działającego systemu wentylacyjnego, który nie będzie zwiększał energochłonności obiektu, a jednocześnie zapewni komfortowe warunki w budynku. Jednym z rozwiązań jest stosowanie wspomagannej wentylacji grawitacyjnej.

Zgodnie z rozporządzeniem [3], wentylacja powinna zapewniać odpowiednią jakość środowiska wewnętrznego, w tym wielkość wymiany powietrza, jego czystość, temperaturę, wilgotność względną, prędkość ruchu powietrza w pomieszczeniu. Zalecenia te należy spełnić przy zachowaniu wszystkich obowiązujących przepisów dotyczących wymienionej instalacji. Instalacja wentylacyjna może być projektowana jako mechaniczna lub grawitacyjna w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi, w pomieszczeniach bez otwieranych okien, a także w innych pomieszczeniach, w których ze względów zdrowotnych, technologicznych lub

bezpieczeństwa, konieczne jest zapewnienie wymiany powietrza. Biorąc pod uwagę ilość zużytej energii w systemach wentylacji mechanicznej, warto zwrócić uwagę na rozwiązania alternatywne, pozwalające jednak na zachowanie obowiązujących przepisów i zapewnienie komfortowych warunków w pomieszczeniach. Pierwsze zagadnienie związane z systemem wentylacji to ilość powietrza wentylacyjnego, którą należy dostarczyć do pomieszczeń wg PN-83/B-03430/Az3:2000 [11].

W rozporządzeniu [3] zawarta jest także dodatkowa informacja na temat wielkości strumienia powietrza zewnętrznego doprowadzanego do pomieszczeń. Strumień powietrza w mieszkaniach powinien wynikać z wielkości strumienia powietrza wywiewanego i nie może być mniejszy niż  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  na osobę. Z uwagi na fakt dążenia do zrównoważonego rozwoju w architekturze i budownictwie, w celu dostarczenia odpowiedniej ilości powietrza, wskazane jest stosowanie rozwiązań, które pozwolą na oszczędność energii w czasie eksploatacji budynków. W związku z tym w pracy przedstawiono rozwiązania dotyczące wspomagania systemu wentylacji grawitacyjnej.

W rozporządzeniu [3] został uregulowany sposób dostarczenia odpowiedniej ilości powietrza zewnętrznego do budynku. §155 ust. 3: „W przypadku zastosowania w pomieszczeniach innego rodzaju wentylacji niż wentylacja mechaniczna nawiewna lub nawiewno-wywiewna, dopływ powietrza zewnętrznego, w ilości niezbędnej dla potrzeb wentylacyjnych, należy zapewnić przez urządzenia nawiewne umieszczone w oknach, drzwiach balkonowych lub w innych częściach przegród zewnętrznych”. Uszczegółowienie tego przepisu znajduje się w załączniku 2 wyżej wymienionego rozporządzenia. Współczynnik infiltracji powietrza dla okien otwieranych i drzwi balkonowych powinien wynosić nie więcej niż  $0,3 \text{ m}^3 \cdot (\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{daPa}^{2/3})^{-1}$ , jednocześnie zaleca się, aby szczelność budynku z wentylacją grawitacyjną wynosiła  $n50 \leq 3,0 \text{ h}^{-1}$ . Przyjęło się uważać, że podstawowymi „urządzeniami nawiewnymi” doprowadzającymi powietrze do pomieszczeń są nawiewniki montowane na ramach ościeżnic i skrzydeł okna.

Rozwój budownictwa spowodował uszczelnienie budynków, co pogorszyło przepływ powietrza w pomieszczeniach, jednocześnie zmieniły się potrzeby użytkowników. Spowodowało to wzrost wymagań i poszukiwanie prawidłowych rozwiązań systemu wentylacji grawitacyjnej. Wśród licznych sposobów wspomagania wentylacji grawitacyjnej wymienić można:

- **Nasady kominowe**, których podstawowym zadaniem jest zwiększenie podciśnienia w kanale wywiewnym, wykorzystując prędkości wiatru. Przy bardzo małej prędkości wiatru osłony i wywietrzaki powodują dodatkowy opór przepływającemu powietrzu. Wzrost prędkości wiatru przyczynia się do wzrostu wartości ciśnienia całkowitego. Wpływ na nie ma różnica gęstości powietrza oraz wywołane w obudowie wywietrzaka podciśnienie, co skutkuje większą intensywnością wentylacji w obiekcie.
- **Podwójnie szklane ściany** (ściany dwupowłokowe), które pod wpływem promieniowania słonecznego powodują podwyższenie temperatury powietrza w przestrzeni międzywarstwowej. Warstwa zewnętrzna dodatkowo pełni funkcję

osłony przeciwwiatrowej i ekranu akustycznego; pustka powietrzna występująca pomiędzy warstwami szkła pełni funkcję kanału cyrkulacyjnego. Ogrzane w przestrzeni międzywarstwowej powietrze cyркуluje ku górze i zostaje wyprowadzone na zewnątrz budynku. Występujący ku górze ciąg powietrza wyprowadza zużyte, ciepłe powietrze, zasysając w dolnej części chłodne powietrze z zewnątrz.

- **Przeszkłone atria i pasażę**, zlokalizowane w wewnętrznej strefie budynku. Powietrze ogrzane w górnej części atrium wyprowadzone jest na zewnątrz przez otwory cyrkulacyjne, które znajdują się w części dachowej. Powstające podciśnienie powoduje wystąpienie tzw. efektu kominowego, którego skutkiem jest zasysanie powietrza z dolnych partii budynku. Przepływ powietrza do góry powoduje, że powietrze świeże z dolnej części zostaje wprowadzone do środka budynku. Jest ono wprowadzane przez znajdujące się w elewacjach otwierane okna. Przeszkłone atrium to system wentylacji poprzeczno-wyporowej. Wprowadzane przez okna powietrze przepływa poprzecznie przez pomieszczenia. Następnie, po ogrzaniu wędruje do góry w przestrzeni atrialnej, aby zostać wyprowadzonym na zewnątrz budynku.
- **Kominy słoneczne**, urządzeniem wspomagającym wentylację grawitacyjną w budynku może być komin słoneczny, w którym wykorzystano efekt konwekcji powietrza podgrzanego energią słoneczną.

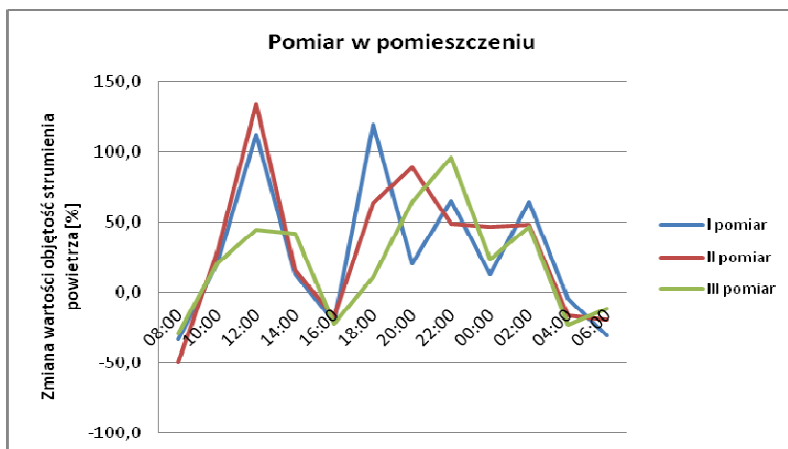
Zasada funkcjonowania kominów słonecznych jest podobna do działania kominów tradycyjnych. Charakterystyczną cechą jest wzmocnienie naturalnej wentylacji wyporowej przy wykorzystaniu pasywnego ogrzewania energią słoneczną. Pozyskiwanie energii promieniowania słonecznego odbywa się w sposób naturalny, dzięki zjawiskom wymiany ciepła i masy. Wydajność kominu słonecznego zależy od temperatury powietrza w przewodzie kominowym. Bezpośredni wpływ na wartość temperatury ma ilość przenikającego ciepła z promieniowania słonecznego, a to wiąże się z kątem podania promieni słonecznych na powierzchnię. Dlatego kąt nachylenia kominu słonecznego jest bardzo ważnym parametrem, pozwalającym określić intensywność wentylacji naturalnej. Od lat 90. prowadzi się na ten temat badania. Naukowcy próbują różnymi metodami określić optymalne wartości kątów. Jest to jednak zagadnienie bardzo złożone, gdyż na proces przepływu powietrza ma wpływ nie tylko nasłonecznienie, ale także inne czynniki, np. prędkość wiatru, wilgotność powietrza.

W celu sprawdzenia zasadności stosowania kominów słonecznych w klimacie umiarkowanym na budynku 3.1 Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy przy al. prof. S. Kaliskiego 7 zostało wykonane stanowisko badawcze w formie kominu słonecznego. Stanowi on element systemu wentylacji grawitacyjnej w pomieszczeniu sali audytoryjnej. W sali zamontowana jest stara stolarka, dzięki której łatwo można stworzyć rzeczywiste warunki pozwalające na ocenę funkcjonowania systemu wentylacji naturalnej. Pierwszy pomiar kontrolny został wykonany 9-10 lipca 2013 roku przed budową stanowiska testowego. Pomiaru zostały wykonane w cyklu 24-godzinnym z odczytem parametrów co 2 godziny.



Komin słoneczny wykonany został z cegły pełnej, południową ścianę stanowi przeszklenie, pomiary zostały wykonane w okresie letnim w następujących dniach: 6-7 lipca, 19-20 lipca, 9-10 sierpnia 2014 r.

Na rysunku 3 przedstawiono procentową zmianę objętości powietrza w pomieszczeniu po zamontowaniu kominu słonecznego. Zaprezentowane w niniejszym artykule wyniki badań potwierdzają zasadność stosowania kominów słonecznych w celu intensyfikacji wymiany powietrza w pomieszczeniu.



Rys. 3. Zmiana wartości objętości strumienia powietrza w pomieszczeniu

### Podsumowanie

Energochłonność budynku kształtuje wiele czynników z zakresu architektury, budownictwa, inżynierii sanitarnej oraz inżynierii odnawialnych źródeł energii. Na podstawie prowadzonych badań i analiz można sformułować następujące wnioski:

- Odpowiednie kształtowanie układów materiałowych przegród zewnętrznych i ich złączy pozwala na ograniczenie strat ciepła przez przenikanie (współczynnik przenikania ciepła  $U_c$   $W/(m^2 \cdot K)$  dla pełnych przegród zewnętrznych, liniowy współczynnik przenikania ciepła  $\Psi$   $W/(m \cdot K)$  dla złączy budowlanych - mostków cieplnych) oraz uniknięcia ryzyka występowania kondensacji powierzchniowej (ryzyko rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych) i kondensacji międzywarstwowej.
- Istotne informacje na temat określenia niezbędnej ilości powietrza oraz sposobu dostarczenia i odprowadzenia z pomieszczenia wpływają na energochłonność obiektu budowlanego i pozwalają na dobór optymalnego systemu wentylacji wraz z określeniem parametrów powietrza wewnętrznego.
- Dobór odnawialnych źródeł energii powinno się przeprowadzać po wykonaniu szczegółowej analizy parametrów fizykalnych przegród zewnętrznych i ich złączy oraz parametrów technicznych projektowanych instalacji w budynkach.

- Obliczanie parametrów charakterystyki energetycznej budynków (wskaźniki EU, EK, EP) powinno opierać się na jasnych procedurach obliczeniowych wg jednoznacznej metodologii bez odsyłania do wielu norm przedmiotowych, które elementy bilansu energetycznego budynku traktują w sposób uproszczony, a niektóre wskaźniki przyjmowane są jako orientacyjne. Autorzy zalecają sformułowanie wymagań w rozporządzeniu [3] w zakresie wartości granicznej wskaźnika zapotrzebowania na energię użytkową EU [ $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ ] dla analizowanego budynku lub jego części, który odzwierciedla jego energochłonność.

## Literatura

- [1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2002/91/WE z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (Dz.Urz. L 1 z 4.01.2003).
- [2] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (Dz.Urz. L 153 z 18.06.2010).
- [3] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowania (Dz.U. z 2013 r., poz. 926). /Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2015, poz. 1422).
- [4] Uchwała Rady Ministrów z dnia 22 czerwca 2015 r. w sprawie przyjęcia „Krajowego planu mającego na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii”.
- [5] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane (Dz.U. z 2013 r., poz. 1409 z późn. zm.).
- [6] PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
- [7] PN-EN ISO 13788:2003 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej umożliwiająca uniknięcie krytycznej wilgotności powierzchni wewnętrznej kondensacji. Metody obliczania.
- [8] Pawłowski K., Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle aktualnych warunków technicznych dotyczących budynków. Obliczenia ciepłno-wilgotnościowe przegród zewnętrznych i ich złączy, Grupa Medium, Warszawa 2016.
- [9] Ciuba J., Studium projektowe złączy stropodachów pełnych w świetle nowych wymagań cieplnych, Praca dyplomowa magisterska napisana pod kierunkiem dr. inż. K. Pawłowskiego, UTP, Bydgoszcz 2016.
- [10] PN-EN ISO 14683:2008 Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.
- [11] PN-83/B-03430/Az3:2000 Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej.

## Streszczenie

Energochłonność budynku określa się jako ilość energii (m.in. cieplnej, elektrycznej) dostarczonej do budynku z zewnątrz w związku z poprawną eksploatacją budynku w ciągu roku. Określana jest za pomocą różnych wskaźników wyrażonych w  $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ : wskaźnik energii użytkowej - EU, wskaźnik energii końcowej - EK, a w świadectwach charakterystyki energetycznej ocenia się budynki w odniesieniu do wskaźnika nieodnawialnej energii pierwotnej EP. Większość użytkowników uważa,

że energochłonność zależy od systemu grzewczego, dlatego koncentrują się tylko na poszukiwaniu supernowoczesnego i taniego w eksploatacji systemu produkującego ciepło na potrzeby c.o. i c.w.u. Kształtowanie energooszczędnego budynku (o niskiej energochłonności) to złożony proces, w którym należy wziąć pod uwagę różne elementy wpływające na ilość zużytej energii. Jednocześnie obiekty budowlane należy projektować tak, aby możliwe było komfortowe użytkowanie tych budynków, zapewniając odpowiednie parametry mikroklimatu wnętrza. W pracy przedstawiono analizę wpływu parametrów fizykalnych przegród zewnętrznych i ich złączy oraz systemu wentylacji na energochłonność budynku.

**Słowa kluczowe:** zużycie energii w budynku, budynek energooszczędny, ściany zewnętrzne, naturalna wentylacja

### **Selected factors analysis of shaping energy consumption of modern buildings**

#### **Abstract**

Energy consumption of a building is defined as the amount of energy (e.g. thermal, electric) supplied to the building from the outside in connection with a proper building operation during a year. It is determined by means of different indicators expressed in kWh (m<sup>2</sup>·year): applied energy indicator (EU), final energy indicator (EK), and in power engineering characteristics certificates buildings are evaluated in relation to non-renewable primary energy (EP). The majority of consumers think that energy consumption depends on a heating system, therefore, they focus only on looking for a modern and low-maintenance system that produces heat for the needs of a central heating and hot service water. Shaping an energy efficient building (of low energy consumption) is a complex process, in which one is to take into consideration various elements that impact the amount of energy that has been consumed. Simultaneously, building structures should be constructed in order to utilize them comfortably by providing adequate microclimate parameters of the interior. This thesis presents an analysis of the impact of physical parameters of external wall barriers and their joints, and a ventilation system on energy consumption of a building.

**Keywords:** energy consumption of a building, energy efficient building, external wall barriers, natural ventilation