

## KOMIN SŁONECZNY JAKO PRZYKŁAD PASYWNEGO SYSTEMU CHŁODZENIA BUDYNKU

Magdalena NAKIELSKA\*, Krzysztof PAWŁOWSKI

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, al. prof. S. Kaliskiego 8, 85-796 Bydgoszcz, Polska

**Streszczenie:** Obecnie ogólnosiwiatowym trendem w kształtowaniu budynków jest poszukiwanie nowych rozwiązań, które umożliwiają komfortowe użytkowanie obiektów budowlanych w zgodzie ze środowiskiem naturalnym i zapewniając spadek zużycia energii. W artykule przedstawiono problematykę wentylacji obiektów budowlanych, które nie generują zwiększenia kosztów eksploatacyjnych obiektu. Na podstawie dostępnej literatury, zaprezentowano kilka przykładowych rozwiązań umożliwiających obniżenie temperatury w pomieszczeniach w sposób inny niż montaż instalacji klimatyzacyjnej. Przedstawiono opis stanowiska badawczego i wykonane badania potwierdzające zasadność stosowania kominu słonecznego w celu intensyfikacji wymiany powietrza w pomieszczeniu z jednoczesnym przewietrzeniem nocnym pomieszczeń w okresie letnim.

*Słowa kluczowe:* komin słoneczny, wentylacja naturalna, pasywny system chłodzenia.

### 1. Wprowadzenie

Od kilku lat obserwuje się w Polsce ciągły wzrost liczby instalowanych systemów klimatyzacyjnych, które poprawiają poziom komfortu cieplnego w pomieszczeniach w okresie letnim. Pomimo, że czas działania urządzeń chłodzących w odniesieniu do liczby dni w roku nie jest długi, można zauważyć zwiększenie zużycia energii w tym okresie. Zmniejszenie zapotrzebowania na moc chłodniczą do celów obniżenia temperatury w pomieszczeniu można osiągnąć między innymi poprzez wprowadzenie chłodniejszego powietrza z zewnątrz, bezpośrednie chłodzenie przegród budowlanych lub ochładzanie powietrza wentylacyjnego za pomocą wymienników ciepła (Oszczak, 2009).

Aktualne przepisy prawne w „Krajowym planie mającym na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii” (M.P. z 2015r. poz. 614) wymieniają konkretne rozwiązania do eliminacji lub znacznej redukcji mocy układów chłodniczych klimatyzacji korzystających z agregatów chłodniczych. A mianowicie należy:

- ograniczyć zyski ciepła (redukcja zysków słonecznych przez ochronę przeciwsłoneczną i ograniczenie zysków wewnętrznych);
- dostosować strumienie powietrza do rzeczywistego obciążenia;
- wykorzystać alternatywne metody chłodzenia (chłodzenie nocne, wykorzystanie energii gruntu, *free cooling*, chłodzenie pasywne).

Celem artykułu jest prezentacja stanowiska badawczego jakim jest komin słoneczny, wraz z analizą wykonanych badań, potwierdzających zasadność stosowania kominu słonecznego w celu intensyfikacji wymiany powietrza w pomieszczeniu z jednoczesnym przewietrzeniem nocnym pomieszczeń w okresie letnim.

### 2. Naturalne chłodzenie pomieszczeń oparte na procesie wentylacji

W związku z tym, że człowiek coraz więcej czasu spędza w pomieszczeniach zamkniętych, należy dążyć do zapewnienia komfortu cieplnego a jednocześnie do minimalizacji kosztów utrzymania obiektu. Dodając do tego czynnik ludzki, jakim jest dążenie do życia w zgodzie z naturą, można stwierdzić, że naturalne klimatyzowanie budynków jest coraz bardziej pożądanym przez użytkowników sposobem utrzymywania komfortowego mikroklimatu wnętrza. Wentylacja naturalna jest skutecznym sposobem pozbycia się ogrzanego powietrza z wnętrza budynku. O jej efektywności decydują następujące czynniki: wiatr, temperatura powietrza zewnętrznego i wewnętrznego, a także wielkość i rozmieszczenie otworów cyrkulacyjnych. Przepływ powietrza może się odbywać przez otwory umieszczone w ścianach lub dachu, warunkując wentylację wyporową lub wentylację poprzeczną.

Wentylacja wyporowa zwana także grawitacyjną, polega na wykorzystaniu efektu kominowego, czyli

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: magdalena.nakielska@utp.edu.pl

niewymuszonego przepływu ciepłych mas powietrza ku górze i „zasysania” chłodniejszego u dołu. Powietrze dostaje się do pomieszczenia przez nieszczelności lub nawiewniki okienne, a wydostaje przez kanały wentylacyjne.

Wentylacja poprzeczna może zachodzić wówczas, gdy dwie różne ściany zewnętrzne budynku posiadają przynajmniej po jednym otworze cyrkulacyjnym, dzięki czemu zapewniony jest bezpośredni przepływ powietrza pomiędzy nimi. Wielkość otworów cyrkulacyjnych i ich usytuowanie wpływają na prędkość ruchu powietrza. Istotna jest też obecność pionowych przegród wewnętrznych. Brak przegród lub ustawienie ich równoległe do kierunku przepływu strumienia powietrza może spowodować zbyt dużą prędkość przepływu powietrza. Jeżeli przegrodę wewnętrzną ustawi się prostopadle do kierunku przepływu strumienia powietrza, to będzie ona stanowiła barierę i może wpływać na niedostateczne przewietrzanie przestrzeni wewnętrznej.

Wietrzanie nocne ma bezpośredni wpływ na obniżenie temperatury powietrza wewnętrznego, poprzez wtłoczenie chłodniejszego powietrza zewnętrznego. Przyczynia się także do zmniejszenia zakumulowanego ciepła w elementach konstrukcyjnych obiektu. Fakt ten powoduje także obniżenie temperatury powietrza wewnętrznego. Zakumulowany w masywnych przegrodach chłód ulega wypromieniowaniu w ciągu dnia.

### 3. Komin słoneczny jako system wspomagający chłodzenie pomieszczeń

Zasada działania komina słonecznego jest podobna do działania komina tradycyjnego z tą różnicą, że doprowadzany jest dodatkowy strumień ciepła do powietrza usuwanego z pomieszczenia, w celu zmniejszenia jego gęstości w przeszklonej przestrzeni komina. W wyniku tego wzrasta różnica gęstości powietrza usuwanego pomiędzy wlotem a wylotem z komina, a tym samym wzrasta różnica ciśnień, co powoduje zwiększenie tak zwanego „efektu kominowego”. W dni słoneczne komin wystający ponad dach budynku i jego ciemna barwa sprawiają, że w górnej części komina powietrze silnie się nagrzewa oraz następuje proces akumulacji ciepła w ścianach komina. W ciągu nocy ściany oddając ciepło podwyższają temperaturę powietrza w kominie słonecznym, co powoduje że powietrze z pomieszczenia jest szybciej usuwane na zewnątrz (Chalamoński i Nakielska, 2015).

Komin słoneczny znalazł zastosowanie jako element pomocniczy systemu chłodzenia budynku. Badania doświadczalne, mające na celu ocenę pasywnego systemu chłodzenia z wykorzystaniem idei komina słonecznego, przeprowadzone w Tajlandii opublikowali Chungloo i Limmeechokchai (2007). Stanowisko badawcze wyposażono w dwa takie same obiekty budowlane o wymiarach: 3,8 m × 2,8 m × 2,4 m. Jeden z nich stanowił jednostkę badaną, drugi – jednostkę kontrolną. Ściany obiektów o konstrukcji szkieletowej drewnianej wypełniono styropianem o grubości 0,076 m. Dach

nachylono pod kątem 45°, podzielono na dwie części: północną i południową. Część południowa składa się z płyty gipsowej o grubości 0,15 m po wewnętrznej stronie, warstwy powietrza i dachówki jako warstwy zewnętrznej. Północny dach na badanej jednostce składał się z dwóch warstw: zewnętrznej wykonanej z blachy ocynkowanej, w której umieszczono regulowane żaluzje, oraz wewnętrznej – wykonanej z blachy płaskiej, gdzie zamontowano przewody z wodą (ang. *water springer*). Północny dach jednostki kontrolnej pokryto dachówką, a od wewnątrz płytami gipsowymi. Obydwa obiekty wyposażono w komin słoneczny z wlotami powietrza na stronie południowej (ang. *solar chimney outlet*).

Badania na wyżej wymienionych obiektach prowadzono wielokierunkowo. Jednym z zagadnień było określenie temperatur powietrza i wpływu promieniowania słonecznego na przepływ powietrza dla trzech okresów w roku: lipiec-sierpień, wrzesień-październik, luty-marzec. Autorzy wykazali, że komin słoneczny może zmniejszyć temperaturę wewnętrzną od 1°C do 3,5°C w porównaniu do temperatury otoczenia i o 1,0-3,5°C w stosunku do jednostki kontrolnej, w zależności od temperatury otoczenia i intensywności promieniowania słonecznego. Innym zagadnieniem było sprawdzenie wpływu natrysku wodą. Ustalono, że natryskiwanie wody na dachu wraz z działaniem komina słonecznego może przyczynić się do zmniejszenia temperatury wewnętrznej o 2-6,2°C w stosunku do temperatury otoczenia, a o 1,4-3,0°C w odniesieniu do jednostki kontrolnej.

Tan i Wong (2012) przedstawili mechanizm działania komina słonecznego w budynku trzykondygnacyjnym w Singapurze. Zmodernizowany w 2009 roku budynek zyskał miano zeroenergetycznego. Zadaniem komina słonecznego miało być zwiększenie intensywności wentylacji grawitacyjnej w wydzielonym na cele badań pomieszczeniu. Znajdowało się ono na pierwszej kondygnacji i było połączone kanałami z górną kondygnacją, na której znajdował się wylot komina słonecznego. Badania, które trwały około 120 dni, wykazały iż system sprawdza się nawet w chłodne dni, kiedy obserwowano małe natężenie promieniowania słonecznego. Dokonano oceny warunków wewnątrz dwóch pomieszczeń: jednego z kominem słonecznym, drugiego bez komina. W upalny dzień w pomieszczeniu z kominem użytkownicy określili warunki jako „ciepłe do zaakceptowania”, natomiast w pomieszczeniu bez komina przeważały odpowiedzi, iż jest za gorąco. Badania te potwierdzają skuteczność działania komina słonecznego jako wspomagającego wentylację naturalną.

### 4. Opis stanowiska badawczego – komina słonecznego

W celu oceny działania systemu wentylacji naturalnej z kominem słonecznym, wykonane zostało stanowisko badawcze usytuowane na budynku 3.1 Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy przy ulicy Kaliskiego 7. Na istniejących kanałach wentylacyjnych została wykonana nadbudowa, stanowiąca komin

słoneczny, o wymiarach zewnętrznych  $0,47\text{ m} \times 1,75\text{ m}$  i wysokości  $1,46\text{ m}$ . Trzy ściany wykonano z betonu B20 zbrojonego prętami  $\phi 10$  co  $15\text{ cm}$ . Czwartą ścianę o orientacji południowej stanowi przeszklenie o powierzchni  $1,88\text{ m}^2$ , wykonane z szyby bezpiecznej Pilkington Optilam 6,4, której grubość wynosi  $6,38\text{ mm}$ , o całkowitej przepuszczalności energii słonecznej  $79\%$  i współczynnika przenikania ciepła  $5,7\text{ W/m}^2\text{K}$ . W ciągu dnia stanowisko badawcze jest w naturalny sposób ogrzewane przez słońce, co doprowadza do powstania podciśnienia między wlotem a wylotem, jednocześnie wymuszając przepływ powietrza cieplejszego ku górze, w stronę otworu wylotowego. Dodatkowo, w ścianach zostaje zmagazynowana energia, która w okresie nocnym przy braku nasłonecznienia zostanie uwolniona. Żelbet, jako materiał do budowy komina słonecznego, został wybrany po przeanalizowaniu licznych publikacji dotyczących akumulacyjności ciepła materiałów budowlanych. Potwierdzeniem zastosowania betonu zbrojonego jest publikacja Zegardły i Halickiej (2011), w której zaprezentowano wyniki badań laboratoryjnych dziesięciu próbek z różnych materiałów. Analizie poddano nagromadzoną w próbkach energię cieplną, która została wyemitowana w czasie stygnięcia. Przygotowane próbki umieszczono w suszarce na trzy godziny, gdzie panowała maksymalna temperatura  $230^\circ\text{C}$ . Następnie wyciągnięto i zbadano temperaturę na ich powierzchni, przez określony czas. Z otrzymanych wyników obliczono zdolność materiału do oddawania zgromadzonej energii w określonym czasie ( $9000\text{ s}$ ). Najwyższą moc osiągnęła próbka stalowa  $8,874\text{ W}$ , niższą betony  $5,3\text{--}6,6\text{ W}$ , cegła ceramiczna  $3,72\text{ W}$ , a najniższą beton komórkowy  $1,616\text{ W}$  oraz cegła szamotowa ( $2,408\text{ W}$ ).

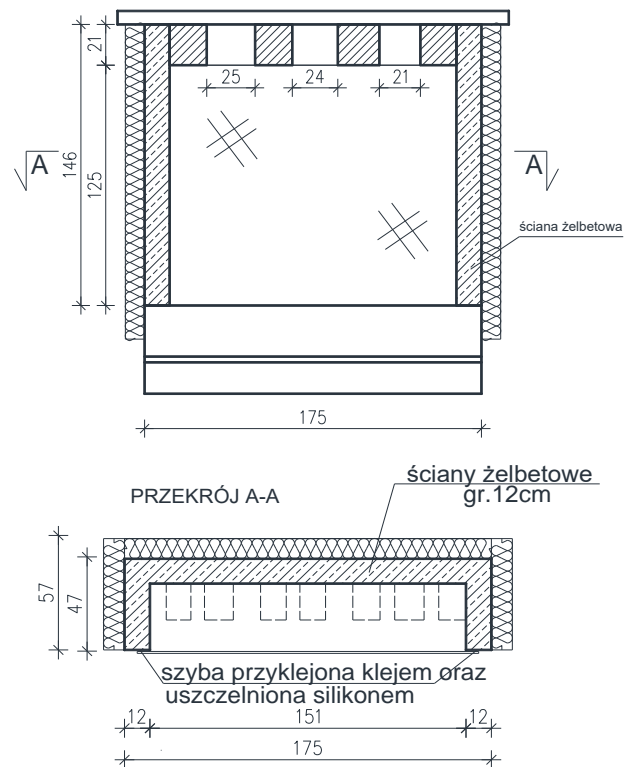
W celu wzmocnienia efektu kominowego, trzy ściany żelbetowe komina słonecznego, pomalowano wewnątrz na kolor czarny, zaizolowano styropianem ESP 70-0,037 o grubości  $10\text{ cm}$  i otynkowano. Górę komina słonecznego stanowi płyta żelbetowa, pokryta warstwą papy. Zdjęcia stanowiska badawczego przedstawia rysunek 1. Na rysunku 2 zaprezentowano konstrukcję komina słonecznego.

W sali dydaktycznej, nad którą wybudowano komin żelbetowy, znajduje się 5 krutek wentylacyjnych, o wymiary zewnętrznych  $16,8\text{ cm} \times 16,8\text{ cm}$ . Powierzchnia netto krutek wewnątrz sali, przez którą wydostaje się powietrze, wynosi  $0,0620\text{ m}^2$ .

Do przeprowadzenia badań wybrano okres letni, kiedy panują wysokie temperatury w ciągu dnia, a nocą temperatura się obniża. Do pomiarów wybrano dni bezwietrzne: 6-7 lipca, 19-20 lipca, 9-10 sierpnia 2014 roku. Aparatura użyta do badań to: termohigrometr C3120 i termoanemometr TA 430.



Rys. 1. Komin słoneczny – strona południowa, strona północna



Rys. 2. Komin słoneczny – rysunek konstrukcyjny

Pomiarów dokonywano co dwie godziny w cyklu 24 godzinnym, mierząc następujące parametry:

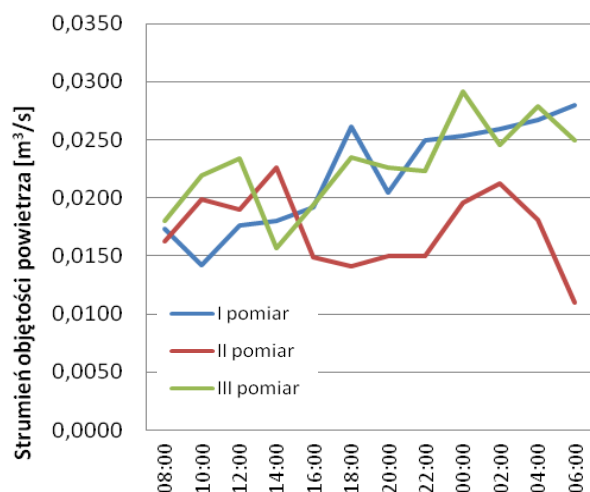
- prędkość powietrza na poziomie kratki nawiewnych,
- temperaturę i wilgotność powietrza wewnątrz pomieszczenia,
- temperaturę i wilgotność powietrza na zewnątrz pomieszczenia.

Z otrzymanych wyników pomiarów obliczono strumień objętości powietrza w poszczególnych godzinach według wzoru:

$$\dot{V} = P \cdot w_{pow} \quad (1)$$

gdzie:  $P$  jest powierzchnią wlotu powietrza, a  $w_{pow}$  sumą średnich prędkości powietrza mierzoną w  $m \cdot s^{-1}$ .

Wyniki z trzech cykli pomiarowych naniesiono na wykres zaprezentowany na rysunku 3. Wartość strumienia objętości powietrza w ciągu doby zmienia się w każdym z trzech cykli pomiarowych. Wartości te od godziny 8.00 do godziny 16.00 wykazują niewielkie wahania w zakresie od 0,015 do 0,023  $m^3/s$ . Jest to czas bezpośredniego oddziaływania promieni słonecznych na przeszklenie, znajdujące się na stronie południowej komina słonecznego. Od godziny 16.00 do 4.00 mają tendencję wzrostową, a następnie zauważamy spadek wartości. Wyniki otrzymane z pomiaru I i III wykazują zbieżność co do otrzymywanych wartości strumienia objętości powietrza. Natomiast wartości otrzymane z pomiaru II, od godziny 16.00 wykazują spadek wartości, po czym o godzinie 22.00 zauważamy wzrost strumienia objętości powietrza do godziny 2.00 w nocy. Po tej godzinie, do końca cyklu pomiarowego, wartości mają tendencję spadkową.



Rys. 3. Wykres strumienia objętości powietrza

## 5. Podsumowanie i wnioski

Wobec konieczności ograniczania ilości zużywanej energii elektrycznej na cele chłodzenia obiektów

budowlanych, potrzeba wprowadzania alternatywnych rozwiązań w tym zakresie jest i będzie coraz większa.

W Polsce działanie komina słonecznego jako elementu systemu wentylacji naturalnej nie zostało jeszcze dostatecznie zbadane. Zamieszone w artykule badania wykonane na jednym stanowisku badawczym obrazują zasadność stosowania takiego rozwiązania. W godzinach nocnych we wszystkich trzech cyklach badawczych zaobserwowano zwiększenie strumienia objętości powietrza. Wynika to ze wzmożonej wymiany powietrza w pomieszczeniu. Ciepłe powietrze, które dostało się do pomieszczenia w ciągu dnia, zostało wymienione na chłodniejsze powietrze nocne.

## Literatura

- Uchwała nr 91 Rady Ministrów z dnia 22 czerwca 2015 r. w sprawie przyjęcia „Krajowego planu mającego na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii”. M.P. z 2015 r., poz. 614.
- Chungloo S., Limmeechokchain B. (2007). Application of passive cooling systems in the hot and humid climate: the case study of solar chimney and wetted roof in Thailand. *Building and Environment*, Vol. 42, Is. 9, 3341-3351.
- Chalamoński M., Nakielska M. (2015). Badanie Wydajności Komina Słonecznego. W: *Budownictwo ogólne: zagadnienia konstrukcyjne, materiałowe i cieplno-wilgotnościowe w budownictwie*. Wydawnictwo Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, Bydgoszcz.
- Oszczak W. (2009). Ogrzewanie Domów z Zastosowaniem Pomp Ciepła, *Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ*, Warszawa.
- Tan A.Y.K., Wong N.H. (2012). Natural ventilation performance of classroom with solar chimney system. *Energy and Buildings*, Vol. 53, 19-27.
- Zegardło B., Halicka A. (2011). Analiza właściwości cieplnych betonu z kruszywem z odpadów ceramiki sanitarnej. *Budownictwo i Architektura*, Vol. 9, No. 2, 39-49.

## SOLAR CHIMNEY AS EXAMPLE OF PASSIVE COOLING SYSTEM IN BUILDING

**Abstract:** Nowadays, searching new solutions is a worldwide trend in creating buildings. Those solutions enable a comfortable use of building structures in harmony with natural environment and ensure reducing energy consumption. The article presents the issues connected with the ventilation of building structures which do not generate a rise of the maintenance costs in building. Based on the available literature, some exemplary solutions that make it possible to reduce the temperature in rooms in a way other than by installing air conditioning systems were shown. The description of a research stand and conducted research, confirming the legitimacy of using a solar chimney in order to intensify the air exchange in a room in parallel with a night ventilation of the room in the summer time, were presented.