

5. BADANIE WYDAJNOŚCI KOMINA SŁONECZNEGO

1. WPROWADZENIE

Podążając za trendami światowej gospodarki, której celem jest zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii między innymi w budownictwie, poszukuje się nowych rozwiązań technologicznych z zakresu ogrzewania, chłodzenia czy wentylacji. Z ekologicznego punktu widzenia energia słoneczna jest najbardziej atrakcyjna spośród energii odnawialnych. Jej pozyskiwanie nie powoduje żadnych skutków ubocznych, nie zubaża zasobów naturalnych oraz nie powoduje szkodliwych emisji. Urządzenia wykorzystujące energię słoneczną nie zmieniają otaczającego nas krajobrazu naturalnego, ponieważ montowane są przeważnie na obiektach budowlanych. Przykładem takiego rozwiązania są kominy słoneczne, wspomagające wentylację grawitacyjną pomieszczeń.

2. KOMIN SŁONECZNY JAKO ELEMENT SYSTEMU WENTYLACJI GRAWITACYJNEJ

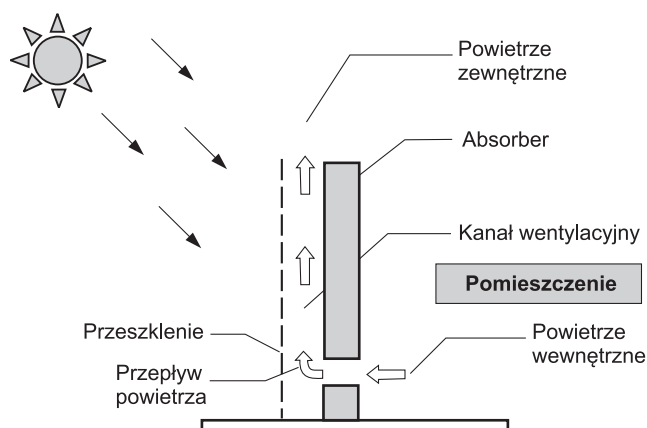
Wentylacja pomieszczeń jest procesem, podczas którego z pomieszczeń usuwane jest powietrze wewnętrzne, a w jego miejsce dostarczane świeże powietrze zewnętrzne. Proces ten może przebiegać w sposób naturalny (grawitacyjny) lub mechaniczny. W wentylacji grawitacyjnej czynnikiem umożliwiającym wymianę powietrza jest różnica temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego. Jeśli temperatura powietrza wewnętrznego będzie wyższa od temperatury powietrza zewnętrznego, powstanie tzw. ciąg kominowy (Δp), który umożliwi w sposób naturalny usuwanie powietrza z pomieszczenia.

$$\Delta p = (\rho_1 - \rho_2) \cdot g \cdot H \quad (1)$$

gdzie:

- ρ_1 – gęstość powietrza wewnątrz budynku,
- ρ_2 – gęstość powietrza na zewnątrz budynku,
- H – wysokość komina,
- g – przyspieszenie ziemskie.

Kominy słoneczne mogą być ulokowane na obrzeżach budynku – w obrębie ich elewacji lub wewnątrz bryły budynku. Ulokowanie komina słonecznego we wnętrzu budynku, tj. jako elementu „przebijającego” jego bryłę, stanowi efektywne wentylowanie wnętrza, gdyż obejmuje swoim działaniem przybrzeżne części przestrzeni wewnątrz budynku, a nawet te głębiej usytuowane (rys. 1).



Rys. 1. Schemat komina słonecznego (opracowanie własne)

Fig. 1. Schematic diagram of solar chimney (own scientific description)

Zasada działania komina słonecznego polega na doprowadzeniu dodatkowego strumienia 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, powodując zwiększenie tzw. „efektu kominowego”. W dni słoneczne komin wystający ponad dach budynku i jego ciemna barwa sprawiają, że w górnej części komina powietrze silnie się nagrzewa. Schłodzone w ciągu nocy ściany wypromieniowują chłód na zewnątrz. Następnie zużyte i ciepłe powietrze zostaje wyprowadzone za pośrednictwem ścian kominowej na zewnątrz.

Kominy słoneczne znajdują zastosowanie w systemach wentylacji obiektów mieszkalnych, biurowych i inwentarskich oraz do wymuszania przepływu powietrza przez gruntowy wymiennik ciepła.

3. WARUNKI KLIMATYCZNE A EFEKTYWNOŚĆ WENTYLACJI GRAWITACYJNEJ

Do parametrów klimatu zewnętrznego, od których zależy intensywność działania wentylacji naturalnej, należą m.in.: natężenie promieniowania słonecznego, usłonecznienie, temperatura powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, wiatr. Warunki atmosferyczne zmieniają się w ciągu roku, co powoduje zmienność efektywności działania instalacji wentylacyjnej.

Polska leży w strefie klimatu umiarkowanego. Roczna wartość sumy energii promieniowania słonecznego w Polsce waha się w granicach 950-250 kWh/m², w zależności od położenia rozpatrywanego obszaru. Warunki te są porównywalne z warunkami panującymi m.in. w Niemczech, Czechach, Słowacji, północnej Francji, południowej Anglii, północnych regionach USA i Kanady. Na południu Europy w Hiszpanii czy Włoszech do jednego m² dociera rocznie blisko 2 000 kWh energii słonecznej. Natomiast w krajach północnej Europy, takich jak Norwegia czy Szwecja, wartość ta waha się w od ok. 500 kWh/m² do 900 kWh/m². W krajach tych od wielu lat z powodzeniem stosuje się rozwiązania wspomagające działanie wentylacji naturalnej oparte na energii słonecznej.

Wentylacja grawitacyjna działa sprawnie wtedy, gdy występuje duża różnica temperatur na zewnątrz i wewnątrz budynku. Taka sytuacja występuje zimą. Wentylacja naturalna działa prawidłowo tylko wtedy, gdy temperatura na zewnątrz jest niższa niż wewnątrz budynku. Związane jest to z różnicą gęstości powietrza, która przede wszystkim zależy od temperatury. Gdy gęstość powietrza wewnątrz budynku jest mniejsza niż na zewnątrz, wtedy ciąg jest prawidłowy. Przy niewielkiej różnicy temperatur, siła ciągu może być zbyt mała, aby była skuteczna. W niektórych przypadkach może dojść do odwrócenia kierunku przepływu powietrza przez kanały wentylacyjne. Powietrze z zewnątrz będzie tłoczone do pomieszczeń przez kratki wentylacyjne. Latem wentylacja naturalna działa najczęściej w stopniu niezadowalającym użytkowników. Zatem wskazane jest zastosowanie urządzeń, które zintensyfikują wymianę powietrza w pomieszczeniu w sposób grawitacyjny.

Kolejnym parametrem wpływającym na pracę instalacji wentylacyjnej jest wiatr. Czynniki, który z jednej strony może sprzyjać powstawaniu ciągu kominowego, a z drugiej powodować zaburzenia układu. Silne wiatry mogą powodować zamknięcie wylotu komina i w konsekwencji zanik ciągu kominowego. Prędkość i kierunek wiatru wraz z wielkością i szczelnością okien, decydują o strumieniu powietrza, który zostanie dostarczony do pomieszczeń. Aby wentylacja naturalna działała prawidłowo, do budynku musi się dostać odpowiedni strumień powietrza.

4. KONSTRUKCJA BADANEGO KOMINA SŁONECZNEGO

Badany komin słoneczny jest usytuowany na budynku 3.1 Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy przy ulicy Kaliskiego 7. Został on nadbudowany na istniejące kanały wentylacyjne. Badany komin słoneczny jest zbudowany z cegły (murowany), jego wewnętrzna dłuższa ściana jest pomalowana na czarno, strona południowa została przeszklona. W ciągu dnia jest podgrzewany przez słońce, co doprowadza do powstania podciśnienia między wlotem a wylotem, co wymusza przepływ powietrza cieplejszego ku górze razem z wszelkiego rodzaju zanieczyszczeniami panującymi w wentylowanej sali. Dodatkowo w ścianach magazynuje się energia, która podczas braku słońca lub w nocy jest uwalniana. Materiał, z którego wykonano komin, dobrano po przeanalizowaniu literatury związanej z akumulacyjnością ciepła przez dane materiały. Potwierdzeniem zastosowania cegły ceramicznej jest publikacja [5], w której zaprezentowano wyniki badań laboratoryjnych dziesięciu próbek z różnych materiałów budowlanych. Tematem badań była nagromadzona w różnych próbkach energia cieplna, która emitowana była w czasie ich stygnięcia. Omawiane próbki wykonano z takich materiałów, jak: stal, beton komórkowy, cegła wapienno-piaskowa, cegła ceramiczna, cegła szamotowa, granit, beton na kruszywie żwirowym na cemencie portlandzkim, beton na kruszywie żwirowym na cemencie glinowym, beton na kruszywie ceramicznym na cemencie portlandzkim oraz beton na kruszywie ceramicznym na cemencie glinowym. Próbkę umieszczono w suszarce na trzy godziny, gdzie panowała maksymalna temperatura 230°C. Następnie wyciągnięto je i zbadano temperaturę na ich powierzchni, przez określony czas. Z otrzymanych wyników obliczono zdolność materiału do oddawania zgromadzonej energii w określonym czasie (9000 s). Najwyższą moc osiągnęła próbka stalowa 8,874 W, niższą betony 5,3-6,6 W, cegła ceramiczna 3,72 W, a najniższą beton komórkowy 1,616 W.

Wymiary zewnętrzne nadbudowy stanowiącej komin słoneczny: 1,86 m x 0,47 m. Szyba, której grubość wynosi 6,38 mm, całkowita przepuszczalność energii słonecznej 79%, współczynnik przenikania ciepła 5,7 W/m²K. Powierzchnia przeszklenia wynosi 2,02 m². Ściany murowane zostały zaizolowane styropianem ESP 70-0,037 o grubości 10 cm, otynkowane i pomalowane. Górę komina słonecznego stanowi płyta żelbetowa, pokryta warstwą papy. Wysokość komina wynosi 2 m powyżej płaskiego dachu, co zwiększa prędkość wywiewanego powietrza oraz różnicę ciśnień pomiędzy wlotem i wylotem powietrza. W sali znajduje się pięć kratek wywiewnych o przekroju 165 x 165 mm na wysokości 2,5 m od posadzki. Posiadają oczka wywiewne o szerokości 0,5 cm i długości 3,5 cm. Ilość tych oczek w jednej kratce wynosi 30, odległość między nimi w pionie wynosi 0,5 cm, zaś w poziomie 0,6 cm. Powierzchnia jednego oczka wynosi 1,75 cm². Powierzchnia łączna, przez którą wydostaje się powietrze, dla 5 kratek wynosi 260,0 cm² (0,0260 m²).

Poniżej przedstawiono zdjęcia badanego komina słonecznego (rys. 2) oraz wlotowych kratek wentylacyjnych w pomieszczeniu (rys. 3).



Rys. 2. Widok badanego komina słonecznego

Fig. 2. View tested the solar chimney



Rys. 3. Widok kratek wentylacyjnych

Fig. 3. View the ventilation grilles

5. APARATURA UŻYTA W BADANIACH

Przyrządy, które zostały użyte do pomiarów parametrów komina słonecznego mają certyfikaty zgodności i kalibracji. Pomiar wilgotności oraz temperatury powietrza w kominie oraz na kratkach wywiewnych wykonano termohigrometrami (rys. 4):

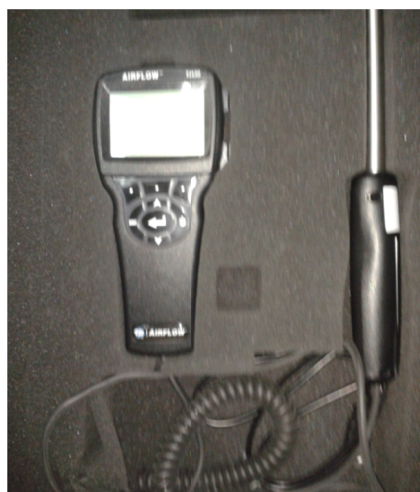
- dla wilgotności: 0,1%,
- dla temperatury: 0,1°C.



Rys. 4. Termohigrometry

Fig. 4. Termohygrometers

Do pomiarów prędkości powietrza użyto termoanemometru (rys. 5) wyposażonego w teleskopową sondę.



Rys. 5. Anemometr

Fig. 5. Anemometer

6. WYNIKI BADAŃ WYDAJNOŚCI KOMINA SŁONECZNEGO

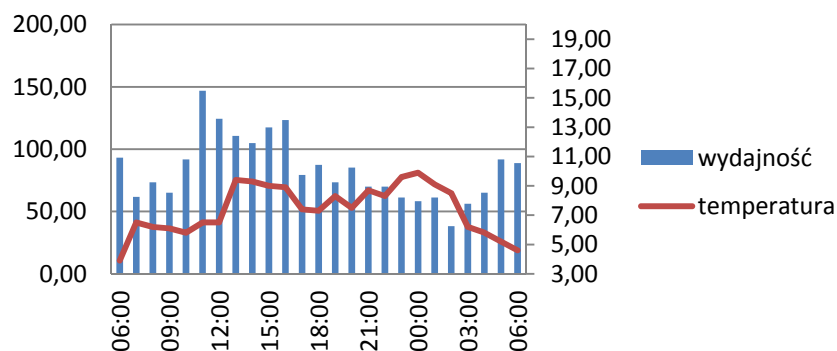
Do przeprowadzenia badań wybrano okres jesienny, tj. 16-17 listopada oraz 18-19 listopada 2013 roku. Pomiarów dokonywano co godzinę przez 24 godziny. Mierzone następujące parametry:

- prędkość powietrza na poziomie kratki nawiewnych,
- prędkość powietrza na poziomie wylotu z komina słonecznego,
- temperaturę i wilgotność powietrza wewnątrz pomieszczenia,
- temperaturę i wilgotność powietrza na zewnątrz pomieszczenia.

Pierwszy cykl pomiarowy odbył się w dniach 16-17 listopada w godzinach od 6:00 do 6:00. Warunki panujące danego dnia: temperatura zewnętrzna: $0\pm 6^{\circ}\text{C}$, średnie ciśnienie atmosferyczne 1023 hPa, zachmurzenie umiarkowane, średnia prędkość wiatru: 3,09 m/s.

Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 6.

Wykres 1. Dzień 1. Wydajność komina oraz temperatura panująca w kominie

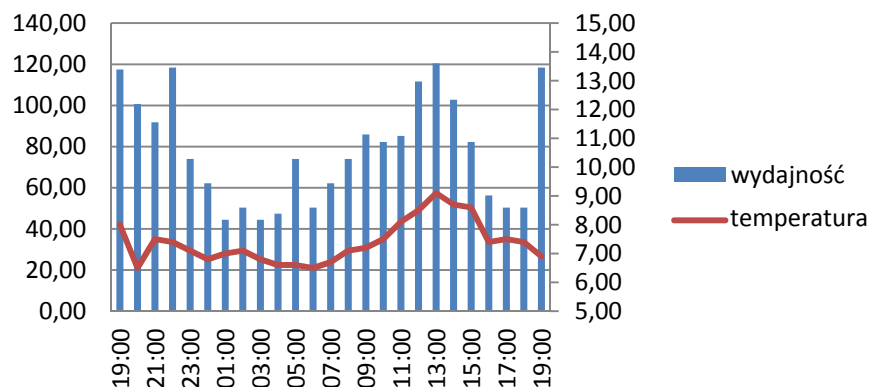


Rys. 6. Wydajność komina słonecznego [$\text{m}^3/\text{godz.}$] oraz temperatura powietrza na wylocie z komina słonecznego [$^{\circ}\text{C}$] – pierwszy cykl pomiarowy

Fig. 6. Performance the solar chimney [m^3/h] and the outlet temperature of the solar chimney [$^{\circ}\text{C}$] – a first measurement cycle

Drugi cykl pomiarowy odbył się w dniach 18-19 listopada w godzinach od 19:00 do 19:00. Warunki panujące danego dnia: temperatura zewnętrzna: $2\text{--}8^{\circ}\text{C}$, średnie ciśnienie atmosferyczne 1008 hPa, zachmurzenie umiarkowane, średnia prędkość wiatru: 0,83 m/s.

Wykres 2. Dzień 2. Wydajność komina oraz temperatura panująca w kominie



Rys. 7. Wydajność komina słonecznego [$\text{m}^3/\text{godz.}$] oraz temperatura powietrza na wylocie z komina słonecznego [$^{\circ}\text{C}$] – drugi cykl pomiarowy

Fig. 7. Performance the solar chimney [m^3/h] and the outlet temperature of the solar chimney [$^{\circ}\text{C}$] – second measurement cycle

7. WNIOSKI

Główną zaletą kominu słonecznego, zainstalowanego dla wspomaganie wentylacji grawitacyjnej, jest intensyfikacja wymiany powietrza w pomieszczeniach (w porównaniu ze zwykłą wentylacją naturalną), dzięki czemu zostają spełnione wymagania zapotrzebowania na świeże powietrze w pomieszczeniu zamkniętym wg wskazań normy PN-83/B-03430 „Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej”.

Innym aspektem jest oszczędność energii elektrycznej w stosunku do wentylacji mechanicznej. Komin słoneczny można budować podczas budowania obiektu, w którym taka wentylacja będzie użytkowana. Różnica temperatur między salą wykładową a kominem słonecznym waha się między 8 a 15°C, co daje pięciokrotny wzrost ciągu kominowego.

Badania wykazały istotną zależność pomiędzy temperaturą panującą we wnętrzu kominu a ilością powietrza wywiewanego z pomieszczenia. Zależność ta widoczna jest wyraźnie w dzień (rys. 6 i 7) kiedy następuje akumulowanie ciepła w kominie. Nocą zakumulowane ciepło jest oddawane i wspomniana zależność jest mniej widoczna.

Badając komin słoneczny, nie możemy zapominać o wadach. Jedną z nich jest to, że nie można precyzyjnie wyregulować powietrza wywiewanego, jak i nawiewanego. Inną wadą jest wzrost strat ciepła w pomieszczeniu, w którym stosuje się wentylację grawitacyjną wspomaganą kominem słonecznym.

LITERATURA

- [1] Chałamoński M., 2014. Wykorzystanie kominów słonecznych w wentylacji. Tuchola.
- [2] Opaliński S., Rabczak S., 2003. Wentylacja grawitacyjna, wyd. 1. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej.
- [3] Pełech A., 2011. Wentylacja i klimatyzacja, wyd. 3. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- [4] Pluta Z., 2007. Słoneczne instalacje energetyczne, wyd. 1. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- [5] Zegardło B., Halicka A., 2011. Analiza właściwości cieplnych betonu z kruszywem z odpadów ceramiki sanitarnej. Budownictwo i Architektura 9, 39-49.

STUDY THE PERFORMANCE OF THE SOLAR CHIMNEY

Summary. Natural ventilation reduces the energy which is needed to exchange air in rooms. Many persons from different countries were interested of solar chimneys affecting the gravitational ventilation. This paper presents the preliminary results of the solar chimney located on the property of the University of Technology and Life Sciences in Bydgoszcz.