

# **MOŻLIWOŚCI STABILIZACJI WARUNKÓW PRZEPIYU POWIETRZA W SYSTEMACH WENTYLACJI GRAWITACYJNEJ**

## **STRESZCZENIE**

Niniejsza praca dotyczy zagadnienia przepływu powietrza w kanale wentylacyjnym. W pracy poddano szczegółowej analizie mechanizmy wentylacji grawitacyjnej, która wykorzystuje zjawisko zwane efektem kominowym. Polega ono na powstawaniu ciągu powietrza w kanale wentylacyjnym na skutek różnicy gęstości powietrza zewnętrznego i wewnętrznego. W pracy rozpatrzone zostały trzy przypadki trzonu kominowego, w którym znajdował się poddany analizie przewód wentylacji grawitacyjnej – przypadki te charakteryzowały się odmiennymi parametrami geometrycznymi i materiałowymi, prowadzącymi do różnic w intensywności przepływu powietrza wentylacyjnego. Wspólnym mianownikiem przypadków było pomieszczenie z wlotem i wylotem powietrza do kanału wentylacyjnego. Różnice pomiędzy przypadkami doświadczalnymi dotyczyły samego kanału, a dokładnie jego części wystającej ponad połac dachową. Pierwszy przypadek doświadczalny dotyczył kanału wentylacyjnego wykonanego w sposób tradycyjny jako murowany z cegły ceramicznej pełnej. Drugi przypadek doświadczalny dotyczył obudowania części wyprowadzonej ponad połac dachową przesłaną transparentną (ze szkła), w dalszej części pracy nazwano ten przypadek kominem słonecznym. Natomiast w trzecim przypadku doświadczalnym na kominie zamontowano nasadę kominową typu obrotowego w celu poprawy wydajności wentylacji grawitacyjnej. Przypadek z kominem tradycyjnym i z kominem słonecznym został wykorzystany do walidacji modeli numerycznych. Następnie modele numeryczne poddane zostały parametryzacji.

Konkludując w ramach niniejszej pracy wykonano następujące badania i obliczenia:

1. Pomiary klimatu zewnętrznego i wewnętrznego wraz z określeniem wydajności wentylacji grawitacyjnej dla przypadku komina tradycyjnego,
2. Pomiary klimatu zewnętrznego i wewnętrznego wraz z określeniem wydajności wentylacji grawitacyjnej dla przypadku komina słonecznego.

3. Pomiary klimatu zewnętrznego i wewnętrznego wraz z określeniem wydajności wentylacji grawitacyjnej dla przypadku komina z nasadą kominową.
4. Budowa modelu numerycznego komina tradycyjnego za pomocą komercyjnego oprogramowania typu Ansys CFX.
5. Budowa modelu numerycznego komina słonecznego za pomocą komercyjnego oprogramowania typu Ansys CFX.
6. Parametryzacja modelu numerycznego z kominem tradycyjnym poprzez zmianę grubości ocieplenia części komina wystającego ponad połac dachową. Określeniem wydajności wentylacji grawitacyjnej.
7. Parametryzacja modelu numerycznego z kominem słonecznym poprzez zmianę szerokości pustki powietrznej w części obudowanej przegrodą transparentną. Określeniem wydajności wentylacji grawitacyjnej.

W Rozdziale 1 pt. „Wprowadzenie” przedstawia stan wiedzy dotyczący poruszanej problematyki, a przede wszystkim przedstawia argumenty, które wpłynęły na wybór omawianego tematu. Sformułowano cele pracy oraz przedstawiono główną tezę rozprawy. Zaprezentowano również zakres pracy. Zdefiniowano główne zagadnienie jakim jest wentylacja naturalna, w tym grawitacyjna, oraz wydajność wentylacji grawitacyjnej. Ze względu na charakter pracy w rozdziałach nr 2, 3 i 4 omówiono literaturę, natomiast w rozdziałach 5, 6, 7, 8 skoncentrowano się na szczegółach pracy.

W Rozdziale 2 pt. „Modele do szacowania przepływu powietrza w budynku - przegląd literatury” przedstawiono kilka istotnych zagadnień dotyczących modeli służących do predykcji naturalnej wymiany powietrza w budynkach bazując na dostępnej literaturze. Natomiast zastosowanie omówionych modeli znajduje się w Rozdziale 6 pt. „Badania numeryczne przepływu powietrza wentylacyjnego”.

Rozdział 3 pt. „Wykorzystanie energii słonecznej oraz wiatrowej w budownictwie – przegląd literatury” dotyczy wykorzystania energii słonecznej i wiatrowej w Polsce, szczególnie w budownictwie. Rozdział ten jest uzasadnieniem podjętych kroków w pracy doktorskiej. Przegląd literatury z zakresu energii słonecznej i wiatrowej został wykorzystany w Rozdziale 5 pt. „Badania doświadczalne własne przepływu powietrza wentylacyjnego”, Rozdziale 7 pt. „Praktyczne efekty zastosowanych rozwiązań poprawiających ciąg kominowy”.

Rozdział 4 pt.: „Sposoby intensyfikowania naturalnej wentylacji w budynkach – przegląd literatury„ to przedstawienie technicznych możliwości intensyfikowania naturalnej wentylacji w budynkach. Rozdział ten jest wprowadzeniem do zakresu badań doświadczalnych, które zostały w pracy wykonane i opisane w Rozdziale 5 pt. „Badania doświadczalne własne przepływu powietrza wentylacyjnego”. Rozdział 4 jest także wprowadzeniem do treści Rozdziału 7 pt. „Praktyczne efekty zastosowanych rozwiązań poprawiających ciąg kominowy”.

Rozdział 5 pt.: „Badania doświadczalne własne przepływu powietrza wentylacyjnego” poświęcony jest zagadnieniom dotyczącym pracy doświadczalnej przeprowadzonej w budynku testowym z wentylacją grawitacyjną. Szczegółowo opisano specjalnie zaprojektowane i zbudowane unikalne stanowisko pomiarowe, na którym wykonana została eksperymentalna część pracy. W tej części przedstawiono budynek testowy, układ systemu wentylacyjnego przyjętego do analizy oraz system pomiarowy wykorzystany do wyznaczania parametrów klimatu zewnętrznego, wewnętrznego oraz wydajności wentylacji grawitacyjnej. W części tej skoncentrowano się również na wyznaczeniu wydajności wentylacji dla różnych przypadków komina za pomocą pomierzonych doświadczalnie wartości.

W Rozdziale 6 pt.: „Badania numeryczne przepływu powietrza wentylacyjnego” przedstawiono obliczenia wykonane metodą objętości skończonych bezpośrednio rozwiązując pełny, trójwymiarowy, niestacjonarny układ równań Naviera-Stokesa (tzw. DNS–Direct Numerical Simulation) oraz stosując pół-empiryczny model turbulencji  $k-\epsilon$ , wykorzystujący dekompozycję Reynoldsa, wprowadzającą podział prędkości i ciśnienia na wartości średnie i ich fluktuacje (tzw. RANS – Reynolds-Averaged Navier Stokes equations). Symulacje DNS dostarczyły dokładnych informacji o chwilowych rozkładach temperatur oraz o chwilowych polach prędkości dla całego układu wentylacyjnego (pomieszczenie i kanał). Obliczenia wykorzystujące model RANS pozwoliły wyznaczyć wartość prędkości średniej. Opisane wcześniej obliczenia wykonano dla komina tradycyjnego i komina słonecznego, przyjmując jako dane wejściowe uzyskane w badaniach doświadczalnych. W celu poprawnej interpretacji wyników przeprowadzono walidację dwóch modeli numerycznych. Ostatnia część Rozdziału 6 koncentruje się na przeprowadzonej parametryzacji modeli numerycznych z końcowym wyznaczeniem wydajności wentylacji grawitacyjnej.

Rozdział 7 pt.: „Praktyczne efekty zastosowanych rozwiązań poprawiających ciąg kominowy” to część, w której skoncentrowano się na ekonomicznym i technicznym uzasadnieniu wybranych rozwiązań służących do intensyfikowania wentylacji grawitacyjnej. W tym rozdziale przedstawiono również najbardziej popularne metody poprawy wentylacji grawitacyjnej stosowane powszechnie na terenie województwa pomorskiego.

W Rozdziale 8 przedstawiono wnioski końcowe.

Ostatnia część pracy zawiera spis literatury.

Oryginalnymi elementami, które wnosi niniejsza praca, są:

- przeprowadzenie na rzeczywistym obiekcie mieszkalnym zlokalizowanym w klimacie umiarkowanym (Gdańsk) badań doświadczalnych dotyczących parametrów klimatu zewnętrznego, wewnętrznego i wydajności wentylacji w układzie grawitacyjnym.
- budowa komina słonecznego na rzeczywistym obiekcie oraz przeprowadzenie szeregu badań doświadczalnych w tym monitorowanie wydajności wentylacji grawitacyjnej.
- budowa modelu numerycznego i walidacja w oparciu o rzeczywiste pomiary doświadczalne.

Słowa kluczowe: wentylacja grawitacyjna, nasada kominowa, komin słoneczny, wydajność (ACH), pomiary doświadczalne w budynku.

# **POSSIBILITIES OF STABILIZING AIR FLOW CONDITIONS IN GRAVITATIONAL VENTILATION SYSTEMS**

## **SUMMARY**

This work concerns the issue of air flow in a ventilation system in building. The work analyzes the mechanisms of gravitational ventilation, which uses chimney effect. It involves the formation of an air flow in the ventilation system due to the difference in density of the external and internal air. In the paper three cases of the chimney with the gravity ventilation was analyzed. These cases were characterized by different geometrical and material parameters, leading to differences in the intensity of ventilation air flow. The common denominator of the cases was the room with the air inlet and outlet to the ventilation system. The differences between the experimental cases concerned the chimney canal itself, and more precisely its part protruding above the roof slope. The first experimental case concerned a ventilation canal made in the traditional way as made of solid ceramic brick. The second experimental case concerned the part led out above the roof slope with a transparent (glass) barrier, in the further part of the study it solar chimney was called. In the third experimental case, a rotary type chimney cap was installed on the chimney to improve the efficiency of gravity ventilation. The case with a traditional chimney and a solar chimney was used to validate numerical models. Next, the numerical models were parameterized.

In conclusion, the following tests and calculations were performed as part of this work:

1. Measurements of external and internal climate along with determining the efficiency of gravitational ventilation for the case of a traditional chimney.
2. Measurements of the external and internal climate together with the determination of the efficiency of gravitational ventilation for the solar chimney.
3. Measurements of the external and internal climate together with the determination of the efficiency of gravitational ventilation for the chimney cap.
4. Construction of a numerical model of a traditional chimney using commercial Ansys CFX software.

5. Construction of a numerical model of a solar chimney using commercial Ansys CFX software.
6. Parameterization of a numerical model with a traditional chimney by changing the insulation thickness of the chimney part above the roof slope. Determining the efficiency of gravitational ventilation.
7. Parameterization of a numerical model with a solar chimney by changing the width of the air gap in part of the transparent partition. Determining the efficiency of gravitational ventilation.

In Chapter 1 "Introduction" presents the state of knowledge and presents the arguments that influenced the choice of the topic under discussion. The aims of the work were formulated and the main thesis of the dissertation was presented. The scope of work was also presented. The main issue was defined, which is natural ventilation, including gravitational, and the efficiency of gravitational ventilation. Due to the nature of the work, chapters 2, 3 and 4 discuss literature, while chapters 5, 6, 7, 8 focus on the details of the work.

In Chapter 2 "Models for estimating air flow in a building - a review of the literature" presents some important issues regarding models for predicting natural air exchange in buildings based on available literature. While, the discussed models is use in Chapter 6 "Numerical test of ventilation air flow".

Chapter 3 "The use of solar and wind energy in building - a literature review" concerns the use of solar and wind energy in Poland, especially in construction. This chapter justifies the steps taken in the doctoral dissertation. A review of literature on solar and wind energy was used in Chapter 5 "Experimental research on ventilation air flow", Chapter 7 "Practical effects of the solutions used to improve the chimney draft".

Chapter 4 entitled: "Ways to intensify natural ventilation in buildings - a review of the literature" is a presentation of technical possibilities to intensify natural ventilation in buildings. This chapter is an introduction to the scope of experimental research, which was carried out at work and described in Chapter 5 "Own experimental research on ventilation air flow". Chapter 4 is also an introduction to the content of Chapter 7 entitled "Practical effects of the solutions used to improve the chimney draft".

Chapter 5: "Own experimental research on ventilation air flow" is concerned to issues related to experimental work carried out in a test building with gravity

ventilation. The specially designed and built unique measuring station, in which the experimental part of the work was performed, was described in detail. This part presents the test building, the layout of the ventilation system adopted for analysis and the measuring system used to determine the parameters of the external and internal climate and the efficiency of gravitational ventilation. This section also focuses on ventilation performance for different chimney cases using experimentally measured values.

In Chapter 6 entitled: "Numerical studies of ventilation air flow", calculations made using the finite volume method are presented, directly solving the full, three-dimensional, non-stationary system of Navier-Stokes equations (DNS-Direct Numerical Simulation) and using the semi-empirical model of turbulence  $k-\epsilon$ , using Reynolds decomposition, introducing the division of velocity and pressure into average values and their fluctuations (the so-called RANS - Reynolds-Averaged Navier Stokes equations). DNS simulations provided accurate information about instantaneous temperature distributions and instantaneous velocity fields for the entire ventilation system (room and channel). Calculations using the RANS model allowed to determine the average velocity value. The calculations described above were made for a traditional chimney and solar chimney, taking as input data obtained in experimental research. In order to correctly interpret the results, two numerical models were validated. The last part of Chapter 6 focuses on the parameterization of numerical models with the final determination of the efficiency of gravitational ventilation.

Chapter 7 entitled: " Practical effects of the solutions used to improve the chimney draft" is the part in which the focus is on the economic and technical justification of the selected solutions used to intensify gravitational ventilation. In this chapter presents the most popular methods of improving the gravitational ventilation commonly used in the Pomeranian Voivodeship.

Chapter 8 presents the final conclusions.

The last part of the work contains a list of literature and a summary.

The original elements contributed by this work are:

- performing on a real residential object located in temperate climate (Gdańsk) experimental tests regarding parameters of the external and internal climate and ventilation efficiency in the gravitational system.

- construction of a solar chimney on a real object and performing a series of experimental tests, including monitoring of the efficiency of gravitational ventilation.
- building a numerical model and validation based on real experimental measurements.

Keywords: gravitational ventilation, chimney cap, solar chimney, efficiency (ACH), experimental measurements in the building.