



# Zwiększenie wydajności wentylacji naturalnej poprzez stosowanie nasady kominowej

Mgr inż. Romana Antczak-Jarząbska,  
dr hab. inż., prof. nadzw. PG Maciej Niedostatkiwicz, Politechnika Gdańska

## 1. Wprowadzenie

Tradycja budowlana i realia ekonomiczne w Polsce od lat preferują najtańszy z punktu widzenia inwestycyjnego system wentylacji, czyli wentylację naturalną (grawitacyjną), która opiera się wyłącznie na siłach natury. Mechanizmem sprawczym wywołującym przepływ powietrza w mieszkaniach, jak również między wnętrzem budynku a otoczeniem jest różnica ciśnień wywołana różnicą temperatury powietrza oraz siłą wiatru [5–8]. Różne temperatury przenoszą się na różnicę gęstości powietrza zewnętrznego (zimnego) i powietrza wewnątrz pomieszczeń (ciepłego). Ciepłe powietrze, jako lżejsze, wypierane jest kanałami wentylacyjnymi przez grawitacyjny napływ zimnego cięższego powietrza zewnętrznego. Wentylacja naturalna działa najlepiej, gdy temperatura na zewnątrz jest zdecydowanie niższa niż w budynku [9–11], jeśli jest zbliżona do tej we wnętrzu, siła ciągu w kanałach wentylacyjnych staje się zbyt mała, aby skutecznie usuwać powietrze z pomieszczeń. Wentylacja jest konieczna, ponieważ powietrze we wszystkich pomieszczeniach stale ulega zanieczyszczeniu [12]. W artykule skupiono się przede wszystkim na ocenie wpływu nasady kominowej na ciąg kominowy w kanale wentylacyjnym. Nasady kominowe osłaniając przewód kominowy przed wiatrem, wytwarzają podciśnienie i tym samym wpływają na ruch powietrza wentylacyjnego w kanale. Analiza została wykonana na podstawie przeprowadzonych badań poligonowych. Podczas badań monitorowano wielkości fizyczne charakteryzujące wymianę powietrza w pomieszczeniu oraz parametry klimatu zewnętrznego. Pomiar wielkości fizycznych charakteryzujących przepływ powietrza w budynku wykonano w mieszkaniu, które było zlokalizowane w najmniej korzystnym miejscu w budynku, z punktu widzenia wydajności systemu wentylacyjnego, czyli na ostatnim piętrze budynku 3-kondygnacyjnego. W artykule przedstawiono wpływ nasady kominowej typu obrotowego na poprawę siły ciągu w kanale. Dodatkowo rozpatrując powyższy problem jako studium przypadku zaproponowano analityczny sposób uwzględniania wpływu nasady kominowej podczas wyznaczania parametrów ciągu kominowego.

## 2. Charakterystyka budynku referencyjnego

Budynek, w którym przeprowadzono pomiary, zrealizowany został jako czterokondygnacyjny, całkowicie podpiwniczony, w technologii tradycyjnej udoskonalonej. Mury zewnętrzne zaprojektowane zostały z bloków wapienno-piaskowych 6NFD W+W klasy 15 o grubości 25 cm, a stropy międzykondygnacyjne jako masywne, żelbetowe o grubości 20 cm. Ocieplenie murów zewnętrznych w poziomie kondygnacji nadziemnych zaprojektowane zostało z zastosowaniem technologii BSO (Bezspoinowy System Ocieplania) z materiału termoizolacyjnego – polistyrenu ekspandowanego (styropianu) FS-20 o grubości 14 cm. Więźba dachowa została zrealizowana jako dach drewniany stromy, wielospadowy o konstrukcji jętkowej.

Dokumentacja projektowa przewidywała następujący układ warstw stropu nad III piętrem, od góry: a) folia zbrojona paroprzepuszczalna, b) wełna szklana 24 cm, c) folia paroprzepuszczalna, d) strop żelbetowy 18 cm, e) tynk gipsowy maszynowy 1 cm. Dach drewniany stromy został zaprojektowany dla następującego układu warstw, od góry: a) blachodachówka, b) łaty 5,0 × 6,0 cm, c) kontrłaty 2,5 × 5,0 cm, d) krokwie 8 × 16 cm, e) folia dachowa zbrojona o niskiej paroprzepuszczalności (rys. 1).

Budynek wyposażony był w system wentylacji naturalnej (grawitacyjnej), który został zaprojektowany i wykonany zgodnie z obowiązującymi przepisami i normami [13–14]. Przewody wentylacji grawitacyjnej zaprojektowano i wykonano z pustaków ceramicznych 19 × 19 cm o przekroju przewodu  $\varnothing 15$  cm, które zostały obmurowane ścianami o grubości 8 cm z kształtki ściennej silikatowej klasy 7,5 na zaprawie cementowo-wapiennej marki M5. Powyżej ostatniej kondygnacji, w części wprowadzonej ponad połac dachową, wszystkie przewody obmurowane zostały ściankami grubości 12 cm z cegły silikatowej pełnej klasy 7,5 na zaprawie cementowo-wapiennej marki M5.

## 3. Opis problemu

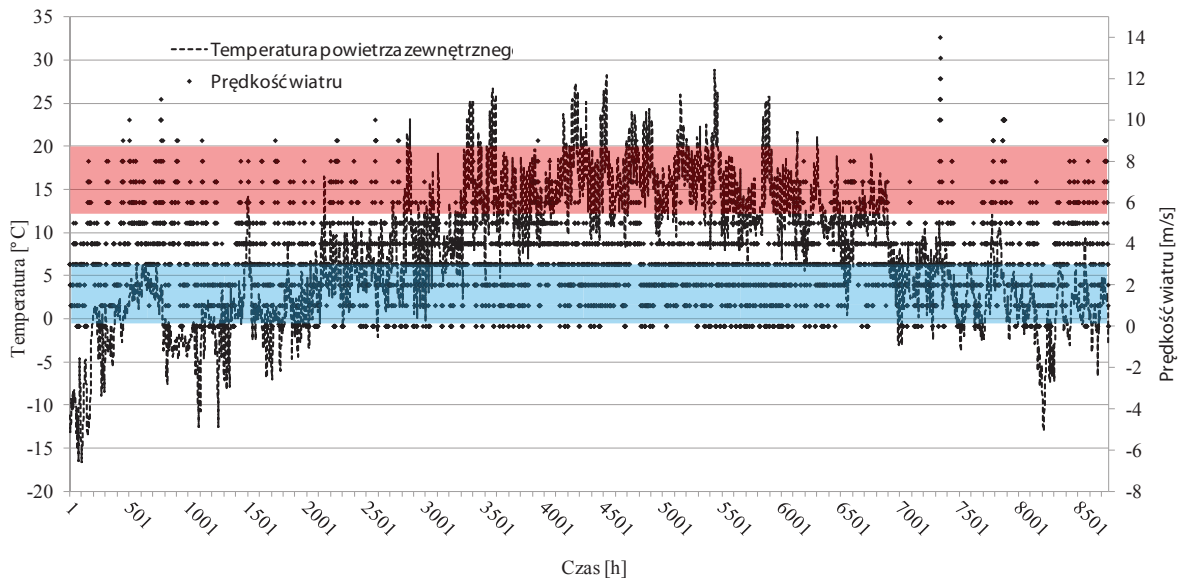
Jak zostało to wcześniej wspomniane, wentylacja naturalna (grawitacyjna) działa, jeżeli występują siły wymuszające ruch powietrza wentylacyjnego w pomieszczeniu,



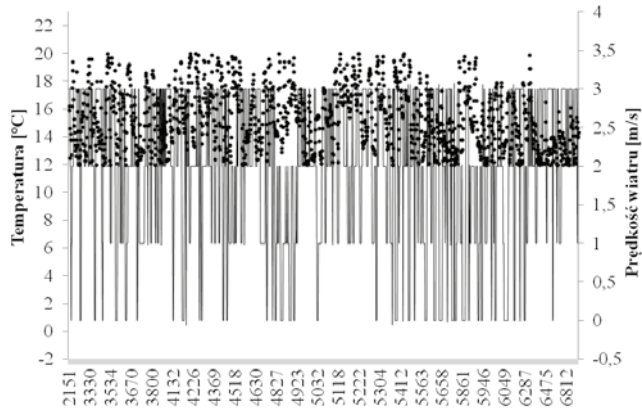


**Tabela 1.** Opis zastosowanych czujników pomiarowych

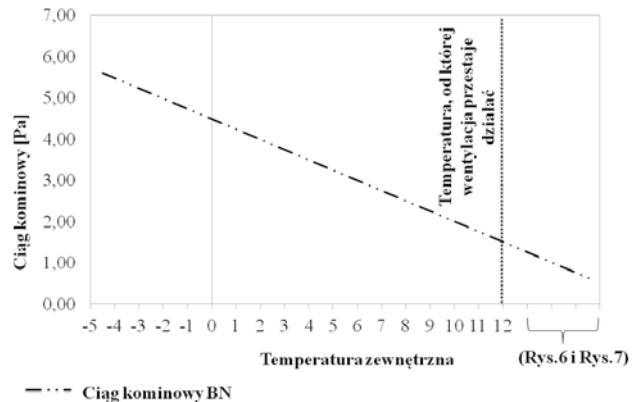
Symbol	Nazwa czujnika	Mierzona wartość	Opis usytuowania czujnika
W	Wiatromierz	Prędkość $V_w$ [m/s]	Czujnik umieszczony na połaci dachowej budynku
	Wiatromierz	Kierunek K [°]	
H	Termohigrometr	Temperatura T [°C]	Czujnik umieszczony na połaci dachowej budynku
A1	Termoanemometr	Prędkość $V_{N, BN}$ [m/s]	Czujnik umieszczony w świetle rury montażowej połączonej z nasadą kominową na połaci dachowej
	Termoanemometr	Temperatura $T_{KN}$ [°C]	
A2	Termoanemometr	Prędkość $V_{N, BN}$ [m/s]	Czujnik umieszczony w świetle kartki wentylacyjnej w kuchni lokalu mieszkalnego
	Termoanemometr	Temperatura $T_{KW}$ [°C]	



**Rys. 3.** Roczna charakterystyka prędkości wiatru  $V_w$  i temperatury powietrza zewnętrznego  $t_e$  dla przypadku objętego analizą. Obszary czerwony (odpowiadający okresowi wiosennemu) i niebieski (odpowiadający okresowi jesiennemu) wyznaczają szacunkowy czasokres możliwości występowania problemów z wentylacją grawitacyjną



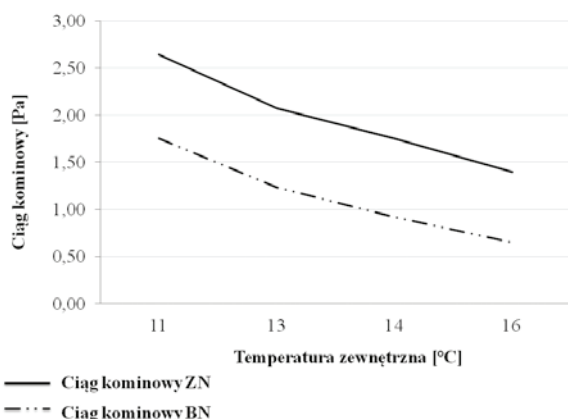
**Rys. 4.** Szczegóły czasowe okresu możliwości występowania problemów z wentylacją grawitacyjną podczas całego roku kalendarzowego



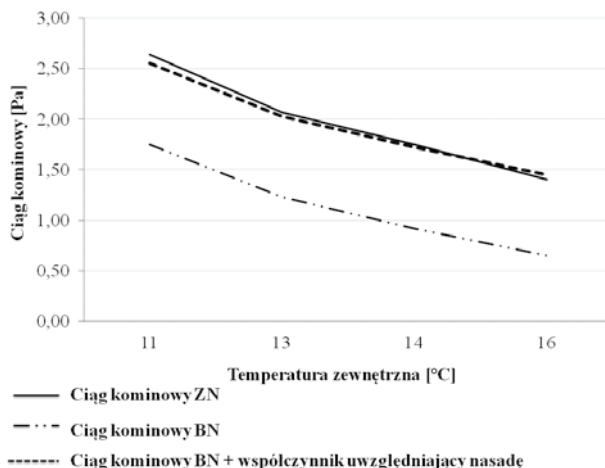
**Rys. 5.** Ciąg kominowy w analizowanym mieszkaniu – przypadek pomierzony bez nasady kominowej (BN) oraz wyznaczony na podstawie wzoru (2)

działania, które mogłyby mieć wpływ na zmianę warunków meteorologicznych. Do wykonania pomiarów zastosowano system pomiarowy z czujnikami pomiarowymi, które były skalibrowane zgodnie z wytycznymi z normy

[18]. Schemat rozmieszczenia czujników przedstawia rysunek 1, natomiast objaśnienia czujników przedstawia tabela 1.



**Rys. 6.** Porównanie wyników pomierzonego ciągu kominowego bez nasady (BN) i z zamontowaną nasadą (ZN)



**Rys. 7.** Kalibracja propozycji wzoru analitycznego do obliczeń ciągu kominowego obejmująca współczynnik uwzględniający montaż nasady kominowej

## 5. Ocena ciągu kominowego na podstawie istniejących przybliżeń analitycznych

Podstawowym równaniem określającym wartość ciągu w kanale wentylacyjnym jest:

$$P_s = g h (\rho_z \rho_w) \quad (1)$$

gdzie:

- $P_s$  – ciąg kominowy [Pa],
- $g$  – przyspieszenie ziemskie [ $m/s^2$ ],
- $h$  – wysokość komina [m],
- $\rho_z$  – gęstość powietrza zewnętrznego [ $kg/m^3$ ],
- $\rho_w$  – gęstość powietrza wentylacyjnego [ $kg/m^3$ ].

Do obliczeń wykonanych na potrzeby niniejszego opracowania przyjęto  $h = 4,53$  [m], gęstość powietrza obliczono na podstawie wzoru:

$$\rho = pM / RT \quad (2)$$

gdzie:

- $p$  – ciśnienie,
- $M$  – efektywna masa molowa dla powietrza,
- $R$  – uniwersalna stała gazowa,
- $T$  – temperatura w skali bezwzględnej.

Na podstawie wzoru (1) sprawdzono siłę ciągu kominowego dla mieszkania referencyjnego bez nasady. Badania testowe prowadzone były w okresie zimowym (luty). Miały one na celu wykazanie ogólnej charakterystyki ciągu w kanale wentylacyjnym (rys. 5). Na podstawie wykresu nr 4 stwierdzono, że siła ciągu w mieszkaniu referencyjnym jest na niskim poziomie (5,5 Pa dla  $t_e = -4,5^\circ C$ ) [19]. Natomiast dla wartości granicznej, czyli dla temperatury zewnętrznej  $12^\circ C$  siła ciągu jest na poziomie 1,5 Pa. Wynik jest poprawny, ponieważ wraz ze wzrostem temperatury zewnętrznej zwykle wartość

ciągu kominowego maleje [19]. Wzór (1) nie uwzględnia wpływu siły wiatru, która często w przypadku dodatnich temperatur jest jedynym mechanizmem napędzającym ruch powietrza. W związku z tym w dalszej części artykułu podjęto próbę uwzględnienia wpływu wiatru w postaci nasady kominowej.

## 6. Analiza wyników pomiarów ciągu kominowego

Pomiar ciągu wykonano najpierw dla przypadku ciągu bez nasady, a później z nasadą kominową. Ponieważ badanie dotyczyło dwóch różnych przedziałów czasu w związku z tym porównano jedynie wyniki, w których wystąpiły takie same warunki klimatu zewnętrznego. Do analizy wyników ciąg kominowego bez nasady (BN) i z nasadą (ZN) wykorzystano przedział czasu, w którym jedynym czynnikiem wspomagającym ruch powietrza wentylacyjnego w pomieszczeniu był wiatr. Interesującym nas zakresem jest temperatura powietrza zewnętrznego powyżej  $12^\circ C$  i prędkość wiatru w granicach 1–3 m/s. Dla powyższych założeń sporządzono porównanie wyników dla ciągu kominowego BN i ZN (rys. 6). Z przeprowadzonych badań wynika, że nasada kominowa typu obrotowego zwiększa efekt kominowy dla temperatury zewnętrznej  $11$ – $16^\circ C$  i prędkości wiatru 1–3 m/s średnio o 0,83 Pa. Dla skrajnego przypadku nasada kominowa poprawia ciąg w kanale wentylacyjnym o nawet 90%.

## 7. Nasada kominowa

Przeprowadzone badania w zakresie pomiaru siły ciągu kominowego należy traktować jako studium przypadku. Dla tych konkretnych badań zaproponowano uwzględnienie w sposób analityczny wpływu nasady kominowej na wartość ciągu kominowego. Biorąc pod uwagę następujące warunki brzegowe: zakres temperatury

zewnątrznej 11–16°C i prędkości wiatru 1–3 m/s zaproponowano do wzoru (1) współczynnik uwzględniający wpływ nasady (rys. 7). Dla powyższych założeń wzór (1) zmienia postać na:

$$P_s = (g h (\rho_z - \rho_w) + W_s) \quad (3)$$

gdzie:

$W_s$  – współczynnik uwzględniający wpływ nasady kominowej na ciąg kominowy.

Dla przypadku trzonu kominowego objętego pomiarami wartość bezwymiarowa współczynnika korekcyjnego występowała w przedziale 0,8–0,9.

## 8. Podsumowanie

Uzyskane wyniki pomiarów pozwoliły stwierdzić, że czas, w którym wentylacja naturalna może nie działać w sposób zgodny z wymogami przepisów szczegółowych, jest w okresie roku niewielki, ponieważ wynosi zaledwie około 12% roku kalendarzowego. Analiza wyników pokazała, że dla prędkości wiatru nieprzekraczającej wartości 3 m/s zastosowanie nasady kominowej typu obrotowego poprawia ciąg kominowy. Przeprowadzone badania, które należy uznać za studium przypadku wykazały, że zastosowana nasada kominowa pozwoliła zmienić energię wiatru na podciśnienie w kominie, które wytwarzało i zwiększyło ciąg kominowy. Wyniki badań potwierdziły, że zastosowanie nasady może nawet o 90% zwiększyć efekt kominowy. W artykule zaproponowano uwzględnienie w sposób analityczny wpływu nasady na ciąg kominowy w postaci współczynnika  $W_s$ . Należy pamiętać, że zaproponowane obliczeniowe uwzględnienie nasady jest jedynie propozycją wstępną, właściwą dla konkretnych warunków klimatu zewnętrznego i lokalizacji, jak również parametrów technicznych obiektu budowlanego. Badania dotyczące wzoru umożliwiającego analityczne szacowanie wpływu nasady kominowej dla zróżnicowanych przypadków lokalizacji obiektów budowlanych będą kontynuowane.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] LBNL, 2007, EnergyPlus Engineering Reference, listopad 6, 2007 str. 384 i 381
- [2] Gładyszewska-Fiedoruk K., Gajewski A., Effect of wind on stack ventilation performance. Energy and Buildings 2012; 51: 242–247
- [3] Fitzgerald S.D, Woods A.W., The influence of stacks on flow patterns and stratification associated with natural ventilation, Energy and Buildings 43 (2008), str. 1719–1733
- [4] Nazaroff WW., Inhalation intake fraction of pollutants from episodic indoor emissions. Building and Environment 2008;43 (3): 269–277
- [5] Etheridge D., Sandberg M., Building Ventilation: Theory and Measurement, John Wiley and Sons, 1996
- [6] Mochida A., Yoshino H., Takeda T., Kakegawa T., Miyauchi S., Methods for controlling airflow in and around a building under cross ventilation to improve indoor thermal comfort. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 2005; 93: 437–449
- [7] Santamouris M., Wouters P., Building Ventilation: The state of the art. Earthscan, 2006
- [8] Etheridge D., Natural Ventilation of Buildings: Theory, Measurement and Design, John Wiley&Sons 2011, ISBN: 9780470660355
- [9] Gratia E., Bruyere I., De Herde, How to use natural ventilation to cool narrow office buildings. Building and Environment 2004; 39: 1157–1170
- [10] Lau J., Chen Q., Energy analysis for workshops with floor-supply displacement ventilation under the U.S. climates. Energy and Buildings 2006, 38: 1212–1219
- [11] Chu C.R., Chiu Y.H., Wang Y.W., An experiment study of wind-driven cross ventilation in partitioned buildings. Energy and Buildings 2010, 42: 667–673
- [12] Ustawa Prawo budowlane z dnia 7 lipca 1994 (Dz.U. nr 89 wraz z późn. zm.)
- [13] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z 12 kwietnia 2002 (Dz.U. nr 1157 z dnia 15 czerwca 2002 r. wraz z późn. zm.)
- [14] Krajcik M., Simone A., Tomasi R., Olesen BW., Radiant Floor Cooling Combined with Mixing Ventilation in a Residential Room Thermal Comfort and Ventilation Effectiveness. Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, report, 2013
- [15] Gładyszewska-Fiedoruk K., Gajewski A., Effect of wind on stack ventilation performance. Energy and Buildings 2012, 51: 242–247
- [16] PN-B-03430:1983 wraz z późniejszymi zmianami: Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej-wymagania
- [17] Antczak-Jarząbska R, Niedostatkiewicz M, Badania termowizyjne ciągu wentylacyjnego, Dachy 2016;1:10–15
- [18] ISO-IEC 17025: Ogólne wymagania dotyczące laboratoriów badawczych i wzorcujących
- [19] Koper K, Prawidłowy ciąg w kominie cz. 1, kominek.pl

Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa Oddział Wrocławski  
Komisja Rewaloryzacji, Modernizacji i Remontów Budowlanych  
zapraszają na

**XV Jubileuszową Konferencję Naukowo-Techniczną REMO 2017**

**Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych**

**6–9 grudnia 2017 r., Kudowa Zdrój**

[www.pzityb.wroclaw.pl/remo](http://www.pzityb.wroclaw.pl/remo)