

Wpływ nasady kominowej na poprawę sprawności użytkowej wentylacji grawitacyjnej

Mgr inż. Romana Antczak-Jarząbska, dr hab. inż. Maciej Niedostatkiwicz
Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

1. Wprowadzenie

Tradycja budowlana i realia ekonomiczne preferują w zakresie budownictwa mieszkaniowego jako optymalny z punktu widzenia inwestycyjnego (najtańszy, a jednocześnie najszybszy w realizacji), system wentylacji w postaci wentylacji grawitacyjnej, zwanej też powszechnie wentylacją naturalną. Mechanizmami wymuszającymi przepływ powietrza w systemach wentylacji grawitacyjnej są różnice ciśnień wywołane różnicami temperatur powietrza (mechanizm nr 1 – tzw. mechanizm temperaturowy) oraz porywami wiatru (mechanizm nr 2 – tzw. mechanizm wiatrowy) [1–2].

Różne temperatury ośrodka powodują zmiany gęstości powietrza wewnątrz pomieszczeń. Ciepłe powietrze unosi się i przepływa w kierunku kanałów wentylacyjnych i dalej kanałami wylotowymi na zewnątrz. Różnice ciśnień powodują napływ świeżego powietrza przez otwory wlotowe, które są zwykle ulokowane ponad otworami okiennymi. Wentylacja grawitacyjna działa najwydajniej, gdy jest duża różnica pomiędzy temperaturą powietrza zewnętrznego a wewnętrznego [3]. Wyrównywanie temperatury powietrza zewnętrznego i wewnętrznego powoduje zmniejszenie różnic gęstości powietrza i w konsekwencji siły wyporu w kanałach wentylacyjnych stają się zbyt małe, aby skutecznie usuwać powietrze z pomieszczeń [4]. Mechanizm nr 1 (mechanizm temperaturowy) bywa najbardziej skuteczny w okresie grzewczym, który umownie przyjęło się za miesiące wrzesień-kwiecień. W tym przedziale czasu najczęściej występującym mechanizmem wymuszającym ruch powietrza w budynku będzie mechanizm nr 1.

W przypadku gdy różnica ciśnień pomiędzy powietrzem zewnętrznym a wewnętrznym jest niewystarczająca, żeby utrzymać wydajność wentylacji grawitacyjnej, istotną rolę odgrywa prędkość wiatru. Dominującą cechą wiatru, podobnie jak innych parametrów klimatu, jest zmienność i nieregularność jego prędkości w czasie [5]. Przy niekorzystnej różnicy wiatru i ukształtowaniu terenu budynek może być narażony na negatywny wpływ wiatru. To wiąże się z problemem właściwej wentylacji pomieszczeń,

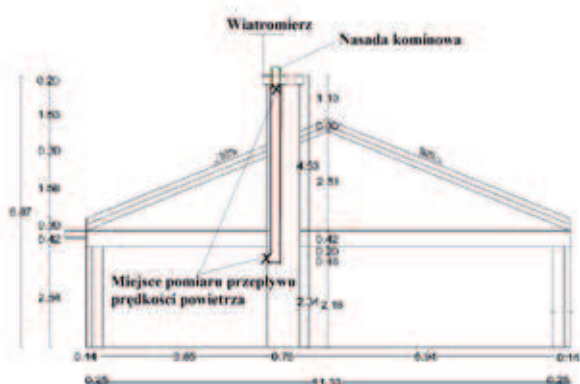
możliwością powstawania ciągu wstecznego. Taka sytuacja może skutkować pogorszeniem komfortu, pojawieniem się wilgoci, wychładzaniem pomieszczeń, w ostateczności może spowodować powstawanie uszkodzeń cieplno-wilgotnościowych zarówno wewnątrz, jak również na powierzchni trzonów kominowych [6]. O wpływie mechanizmu nr 2 na wentylację grawitacyjną w budynku mówimy dopiero wtedy, gdy prędkość wiatru przekracza 4,0 m/s. Wydajność mechanizmu nr 2 będzie różna w każdym miejscu w Polsce – najsilniej i najczęściej wiatr wieje w północnej części kraju, stąd też można się spodziewać, że dla tych lokalizacji mechanizm nr 2 będzie mieć większy wpływ na wentylację grawitacyjną niż mechanizm nr 1. Natomiast część południowa kraju cechuje się częstym występowaniem wiatru, który wieje z prędkością 2–4 m/s. Ten przedział prędkości zaliczamy do bardzo słabego wiatru i dla tych lokalizacji wpływ mechanizmu nr 2 na wydajność wentylacji grawitacyjnej jest zdecydowanie mniejszy.

Problemy związane z brakiem właściwej wydajności wentylacji grawitacyjnej mogą być spowodowane niekorzystnymi warunkami pogodowymi (meteorologicznymi), negatywnym wpływem sąsiedniej zabudowy (lokalizacja w tzw. strefie martwego ciągu) lub niewłaściwą konstrukcją trzonu kominowego, w tym brakiem jego zabezpieczenia przez wychłodzeniem. W praktyce na obniżenie siły ciągu i krotności wymiany powietrza w pomieszczeniach jednoczesny wpływ ma większość z wymienionych wcześniej składników, jednak ich ilościowy udział jest zawsze zróżnicowany i każdorazowo wymaga indywidualnej analizy.

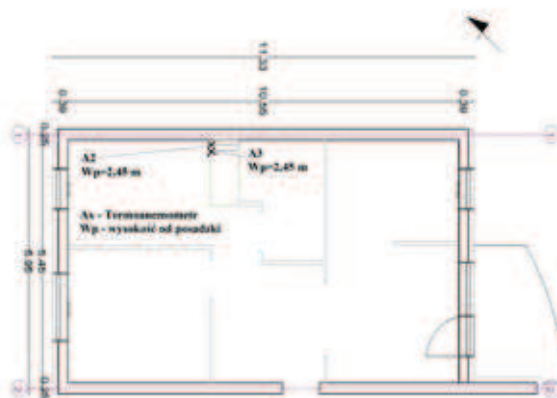
Nasady kominowe dzięki swojej budowie, osłaniając przewód kominowy przed wiatrem, wytwarzają podciśnienie i w ten sposób wpływają na ruch powietrza wentylacyjnego w kanale. W artykule przedstawiono wpływ nasady kominowej typu obrotowego na poprawę systemu wentylacji naturalnej, grawitacyjnej. Badania charakterystyki przepływu powietrza wentylacyjnego i parametrów klimatu zewnętrznego przeprowadzono za pomocą długoterminowych pomiarów wielkości fizycznych. Pomiar wielkości fizycznych charakteryzujących

Tabela 1. Opis zastosowanych czujników pomiarowych

| Symbol | Nazwa czujnika | Mierzona wartość | Opis usytuowania czujnika |
|--------|----------------|--|---|
| W | Wiatromierz | Prędkość v [m/s] | Czujnik umieszczony na połaci dachowej budynku |
| | | Kierunek k [°] | |
| H | Termohigrometr | Temperatura t [°C] | |
| A1 | Termoanemometr | Prędkość v [m/s] Temperatura t [°C] | Czujnik umieszczony w świetle rury montażowej połączonej z nasadą kominową na połaci dachowej |
| A2, A3 | Termoanemometr | Prędkość v [m/s] | Czujnik umieszczony w świetle kratki wentylacyjnej w kuchni lokalu mieszkalnego |
| | | Temperatura t [°C] | |



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia czujników pomiarowych na dachu budynku



Rys. 2. Rzut mieszkania oraz schemat rozmieszczenia czujników pomiarowych

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 trzykondygnacyjnego.

2. Dane ogólne

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 grubości 25 cm, a stropy międzykondygnacyjne jako masywne, żelbetowe 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 grubości 14 cm. Więźba dachowa została zrealizowana jako dach drewniany stromy, wielospadowy o konstrukcji jętkowej.

Dokumentacja projektowa przewidywała następujący układ warstw stropu nad III piętrzem (od góry):

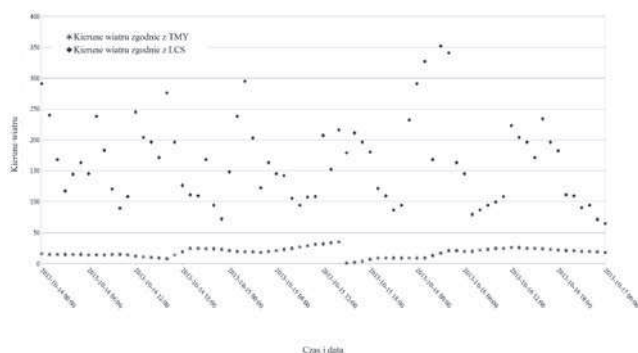
a) folia zbrojona paroprzepuszczalna,

- 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) łąty 5,0×6,0 cm,
- c) kontrłąty 2,5×5,0 cm,
- d) krokwie 8×16 cm,
- e) folia dachowa zbrojona niskiej paroprzepuszczalności.

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



Rys. 3. Porównanie kierunku wiatru według LCS (pomiar bezpośredni) z TMY (wartości katalogowe)

3. Opis usterek systemu wentylacji grawitacyjnej

W okresie eksploatacji budynku mieszkańcy zaobserwowali zjawiska, które wskazywały na nieprawidłowe funkcjonowanie systemu wentylacyjnego. Obserwacje dotyczyły:

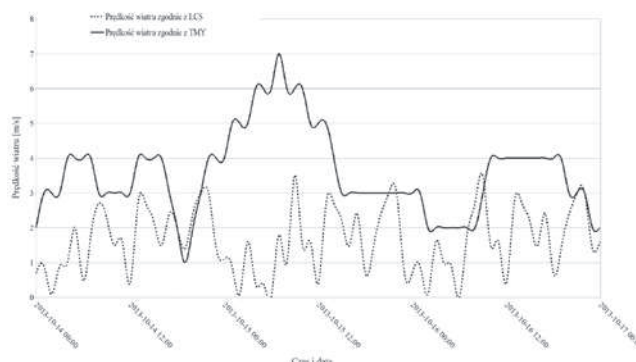
- okresowego odwrócenia ciągu w kratkach wylotowych systemu wentylacyjnego,
- bardzo dużych prędkości przepływu powietrza w kratkach wylotowych systemu wentylacyjnego po odwróceniu ciągu oraz
- znacznego obniżenia temperatury powierzchni trzonów kominowych.

4. Opis stanowiska badawczego

Opisane powyżej utrudnienia eksploatacyjne wskazywały na występowanie niekorzystnej różnicy wiatrów w obszarze budynku. W celu poprawy wentylacji naturalnej w budynku zamontowano nasady kominowe typu obrotowego. Analizie wpływu nasady kominowej na sprawność wentylacji grawitacyjnej poddano mieszkanie zlokalizowane na ostatnim piętrze budynku.

Ocenę działania systemu wentylacji naturalnej w budynku dokonano w oparciu o ciągłe pomiary prędkości (v [m/s]), temperatury (t [°C]) oraz kierunku wiatru (k [°]). Pomiary wykonywano przez 4 dni (14.10.13–17.10.13) z częstością próbkowania 60 s. Do badań wykorzystano specjalistyczny sprzęt firmy Lab-el, w skład którego wchodzi i wiatromierz LB-747, termohigrometr LB-710R, czujnik przepływu powietrza LB-801C, i koncentrator zbierania danych LB-487.

Pomiary wykonano w październiku, podczas prac pomiarowych nie wystąpiły anomalie pogodowe, zarówno w zakresie temperatury, jak również ciśnienia oraz kierunku i prędkości wiatru. Podczas pomiarów w bezpośrednim sąsiedztwie budynku nie były prowadzone jakiegokolwiek działania, które mogłyby mieć wpływ



Rys. 4. Porównanie prędkości wiatru według LCS (pomiar bezpośredni) z TMY (wartości katalogowe)

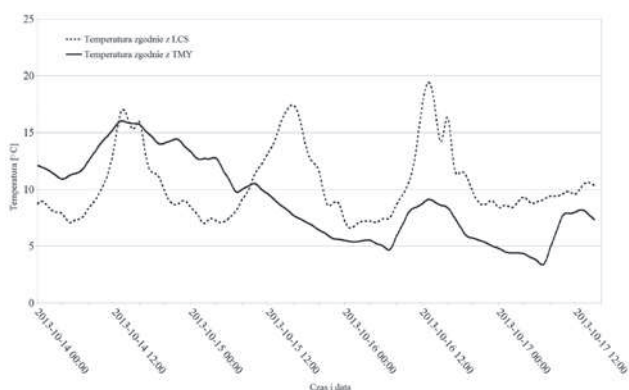
na zmianę warunków meteorologicznych. Do wykonania badań zastosowano system pomiarowy z czujnikami mającymi potwierdzone właściwości metrologiczne zgodnie z [9]. Schemat rozmieszczenia czujników na zewnątrz budynku przedstawia rysunek 1, natomiast w lokalu mieszkalnym przedstawia rysunek 2. Objasnienia czujników przedstawia tabela 1.

5. Porównanie metod LCS i TMY

Skuteczność wentylacji grawitacyjnej i jej wydajność zależy w dużym stopniu od właściwego projektu systemu wentylacyjnego. Kluczową kwestią dla projektowania wentylacji naturalnej są realistyczne dane klimatyczne z lokalnych warunków klimatycznych (*Local Climate Station* – LCS). Niestety planowanie budowy nie uwzględnia dodatkowych kosztów związanych z realizacją lokalnej stacji klimatycznej (LCS) na potrzeby projektowania wentylacji grawitacyjnej. Istnieją dwa różne podejścia na uzyskanie informacji o warunkach klimatycznych: już wspomniane **pomiary terenowe na budowie** lub **dane klimatyczne z Typowego Roku Meteorologicznego** (*Typical Meteorological Year* – TMY). Najczęstszą praktyką jest stosowanie na etapie projektowania systemu wentylacyjnego danych z TMY dla najbliższej stacji meteorologicznej.

5.1 Prędkość i kierunek wiatru

Dla analizowanego przypadku najbliższa stacja klimatyczna była położona w miejscowości odległej około ~55 km od miejsca prowadzonych badań. Dla tak oddalonych od siebie miejsc jest oczywiste, że warunki klimatyczne będą się istotnie od siebie różniły. W tym celu na rysunkach 3 i 4 przedstawiono kierunek k i prędkość v wiatru dla lokalnych warunków klimatycznych LCS oraz dla TMY. Z badań wynika, że bazując na typowym podejściu, czyli na TMY analizowany budynek cechowałby się małą zmiennością kierunku wiatru k . Tymczasem na podstawie własnych badań z LCS widać (rys. 3),



Rys. 5. Porównanie temperatury według LCS (pomiaru bezpośredniego) z TMY (wartości katalogowe)

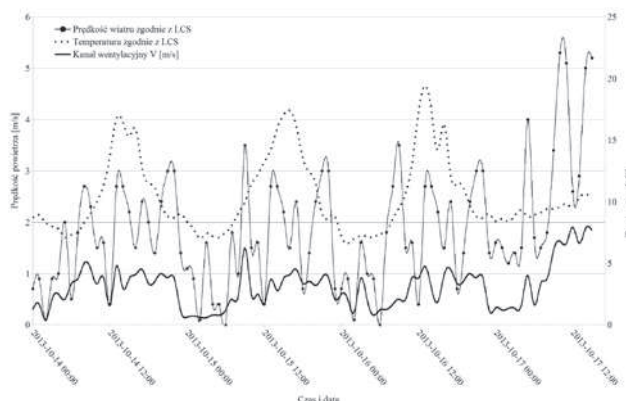
że analizowany budynek narażony jest na intensywne zmiany kierunku wiatru k .

Prawdopodobnie związane to było ze specyficznym ukształtowaniem terenu, na którym usytuowany był budynek (teren pagórkowaty).

Natomiast porównanie pomiaru prędkości wiatru v (rys. 4) wskazuje na dużo słabsze poddmuchy wiatru podczas pomiarów rzeczywistych niż dla prognoz z TMY. W większości mierzonego czasu pomiar rzeczywisty wskazywał średnie wartości wiejącego wiatru. Najwyższe chwilowe prędkości wiatru v dla LCS w poszczególnych dniach wahały się od 3,1 do 3,6 m/s. Dla tego samego okresu przewidywane wartości w TMY sięgały nawet 7,0 m/s. Na rysunku 4 widać, że w analizowanym przedziale czasu wartość z prognozy TMY miałyby większy wpływ na wynik związany np. z wpływem nasady kominowej na wentylację naturalną.

5.2 Temperatura powietrza zewnętrznego

Przebieg zmienności temperatury powietrza zewnętrznego t przedstawia rysunek 5. Porównano wynik uzyskany podczas prowadzonych badań LCS z wartościami przewidywanymi w TMY. Można zauważyć, że maksymalna różnica podczas czterodniowego pomiaru dla wartości zmierzonych na budowie, jak i dla wartości przewidywanych wynosiła około $\sim 12\text{--}13^\circ\text{C}$, natomiast średnia temperatura powietrza zewnętrznego t podczas pomiarów wynosiła 11°C , podczas gdy średnia wartość przewidywana nie przekroczyła 8°C . Taki zakres temperatur, jak podczas prowadzonych pomiarów może być niesprzyjający w poprawnym działaniu systemu wentylacyjnego. Zgodnie z [10] przyjmuje się, że przy wzroście temperatury powietrza zewnętrznego t do około $\sim 12^\circ\text{C}$ kierunek przepływu powietrza może ulec odwróceniu lub przepływ może zostać zatrzymany. Średnia temperatura zgodnie z LCS była blisko limitu prawidłowego funkcjonowania wentylacji naturalnej.



Rys. 6. Wpływ wiatru na prędkość przepływu powietrza w kanale wentylacyjnym z nasadą kominową

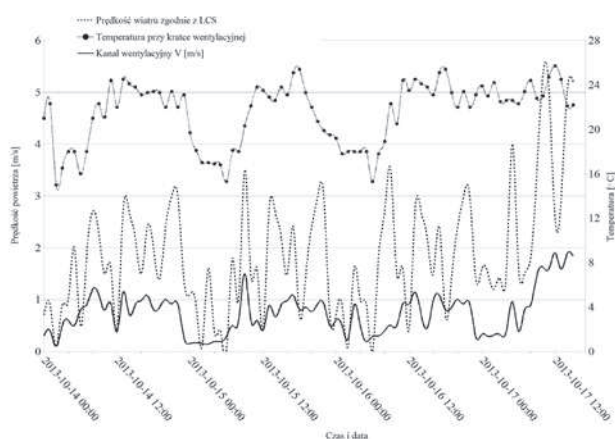
6. Analiza wyników z nasadą kominową

Bazując na wynikach z TMY widać, że w czasie prowadzonych pomiarów głównym mechanizmem wymuszającym ruch powietrza wentylacyjnego w mieszkaniu będzie siła wiatru (mechanizm nr 2). W mniejszym stopniu niż przewidywano, potwierdziły to wyniki z LCS. Ponieważ badano wpływ nasady na poprawę sprawności wentylacji grawitacyjnej, dlatego wybrano taki przedział czasu, w którym wiatr miał największy wpływ na ruch powietrza wentylacyjnego w pomieszczeniu.

Należy zauważyć, że nasady kominowe można określić jako urządzenia montowane na kominach, w części wyprowadzonej ponad połac dachową. Głównym zadaniem stawianym nasadom kominowym jest wspomaganie ciągu kominowego. Do najbardziej popularnych rozwiązań nasad kominowych należą 3 rodzaje nasad: stałe (1), samonastawne (2) – przeznaczone do przewodów spalinowych oraz obrotowe (3) – przeznaczone do przewodów wentylacyjnych. W dalszej części artykułu zamieszczono wyniki dla przewodu kominowego z zamontowaną nasadą typu obrotowego (3).

Analiza wpływu nasady kominowej na poprawę wentylacji naturalnej w mieszkaniu obejmowała pomiar (rys. 6): prędkości wiatru v (LCS), powietrza w kanale wentylacyjnym z nasadą oraz temperatury powietrza zewnętrznego t (LCS). Na jednym wykresie zestawiono wyniki prędkości wiatru v i temperatury t (rys. 6) w celu wskazania mechanizmu decydującego za ruch powietrza podczas prowadzonych badań. Zbliżony przebieg zmienności powietrza wentylacyjnego w kanale do prędkości wiatru v i zależności od tego mechanizmu przedstawia rysunek 6.

Wyniki pomiarów prędkości przepływu powietrza w nasadzie kominowej wskazują na wyraźny wpływ wiatru na pracę nasady kominowej, co miało przełożenie na wynik temperatury mierzonej w kratce wentylacyjnej w pomieszczeniu (rys. 7). Przez większość analizowanego czasu widać, jak wraz z prędkością wiatru (v) zmienia się prędkość w kanale wylotowym w miejscu umieszczenia



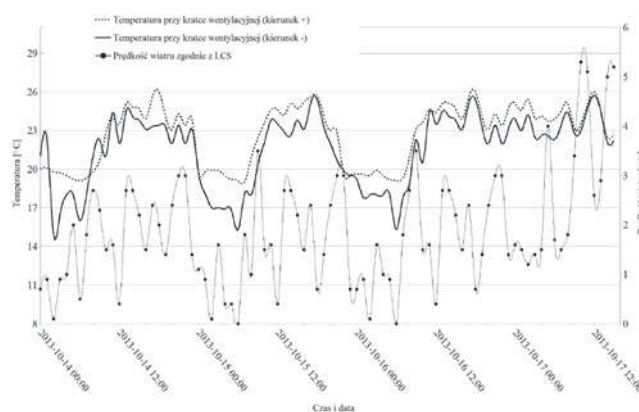
Rys. 7. Wpływ nasady kominowej na temperaturę powietrza przy kratce wentylacyjnej

nasady, a to wpływa na wynik temperatury (rys. 7). Zastanawiające są jednak momenty, w których prędkość wiatru spada do zera, a wraz z nią spada prędkość powietrza w kanale wentylacyjnym i spada wartość temperatury przy kratce w mieszkaniu. Sytuacja ta występowała zwłaszcza w godzinach porannych (5:00–6:00) i powtarzała się w każdym dniu (w różnym stopniu) prowadzonych badań. Prawdopodobnie w tych okresach mogło dochodzić do chwilowego odwrócenia kierunku przepływu powietrza wentylacyjnego.

W celu sprawdzenia możliwości wystąpienia ciągu odwróconego prowadzono równoległe dwa pomiary temperatury przy kratce wentylacyjnej w pomieszczeniu. W odległości około ~5 cm od siebie umieszczono dwa czujniki w celu określenia przedziału czasu, w którym nastąpił ciąg odwrócony w pomieszczeniu. Na rysunku 8, który przedstawia przebieg zmienności temperatury powietrza przy kratce wentylacyjnej, widać wyraźnie, że temperatura mierzona dwoma czujnikami różniła się między sobą o kilka stopni zwłaszcza w godzinach porannych (5:00–6:00). Najprawdopodobniej w czasie, kiedy temperatury różniły się o ponad 4°C mógł występować odwrócony ciąg powietrza w miejscu pomiaru. W celu potwierdzenia powyższych założeń dodano do wykresu prędkość powietrza zewnętrznego. W tym czasie również średnia prędkość wiatru była na niskim poziomie (0,8 m/s). Na rysunku 8 widać przedziały czasu, w których występuje wyraźne osłabienie wiatru (od 1 m/s do 2 m/s – wiatr słaby), a to wpływa na pogorszenie wydajności wentylacji naturalnej, ponieważ nasada w tym czasie nie działa. Na podstawie pomiaru temperatur przy kratce wentylacyjnej widać, że podczas osłabienia siły wiatru wzrasta ciąg wsteczny w kanale.

7. Podsumowanie

Wyniki pomiarów pozwalają stwierdzić, że budynek zlokalizowany był na terenie o szczególnym mikroklimacie, który mógł obniżyć wydajność systemu wentylacyjnego.



Rys. 8. Zjawisko odwróconego ciągu wentylacyjnego na podstawie LCS (pomiarów bezpośrednich)

W ciągu dnia wzrost prędkości wiatru powodował wzrost prędkość powietrza w kanale wylotowym. W godzinach porannych zaobserwowano spadek prędkości wiatru i pojawienie się odwróconego ciągu w kanale. Zastosowana nasada kominowa pozwoliła zmienić energię wiatru na podciśnienie w kominie, które wytwarzało i stabilizowało ciąg kominowy. Należy jednak pamiętać, że w praktyce żadna z nasad kominowych, nie licząc nasad hybrydowych (z silnikiem elektrycznym), nie wytworzy ciągu kominowego, gdy nie ma wiatru i nigdy nie może zastąpić wentylatorów. Tym samym problemy z brakiem ciągu kominowego, które występują przy bezwietrznej pogodzie, nie mogą być usunięte poprzez montaż nasady.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Etheridge D., Sandberg M., Building Ventilation: Theory and Measurement. John Wiley and Sons; 1996
- [2] 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
- [3] Santamouris M., Wouters P., Building Ventilation: The state of the art. Earthscan; 2006
- [4] Etheridge D., Natural Ventilation of Buildings: Theory, Measurement and Design. John Wiley&Sons 2011; ISBN: 9780470660355
- [5] Gratia E., Bruyere I., De Herde A., How to use natural ventilation to cool narrow office buildings. Building and Environment 2004; 39: 1157–1170
- [6] Lau J., Chen Q., Energy analysis for workshops with floor-supply displacement ventilation under the US climates. Energy and Buildings 2006; 38: 1212–1219
- [7] Ustawa Prawo Budowlane z dnia 7 lipca 1994 (Dz.U. nr 89 wraz z późniejszymi zmianami)
- [8] 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 późniejszymi zmianami)
- [9] ISO-IEC 17025 Ogólne wymagania dotyczące laboratoriów badawczych i wzorcujących
- [10] PN-B-03430:1983 wraz z późniejszymi zmianami Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej – wymagania