

## **WPLYW MIEJSKIEJ WYSPY CIEPŁA NA EFEKTYWNOŚĆ STOSOWANIA WENTYLACJI NOCNEJ**

**Jerzy SOWA**

*Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska, Zakład Klimatyzacji i Ogrzewnictwa  
ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa, e-mail: jerzy.sowa@is.pw.edu.pl*

**Streszczenie:** Pasywne chłodzenie dzięki nocnej wentylacji jest jedną z najbardziej obiecujących technik służących zmniejszeniu zapotrzebowania na energię do chłodzenia budynków biurowych w klimacie umiarkowanym. W artykule opisano problem związany z ograniczeniem stosowania wentylacji nocnej w centrach dużych miast, w których występuje miejska wyspa ciepła MWC. Niestety, MWC występuje głównie podczas letnich nocy, w czasie najbardziej interesującym dla wykorzystania wentylacji nocnej. Problem obniżonej efektywności wentylacji nocnej w takim przypadku został scharakteryzowany na podstawie analizy danych klimatycznych (współczynnik CPP/noc), jak również na podstawie symulacji efektywności działania wentylacji nocnej w budynku biurowym zlokalizowanym w Warszawie.

**Słowa kluczowe:** fizyka budowli, wentylacja nocna, miejska wyspa ciepła, zużycie energii.

### **1. WSTĘP**

Realizacja polityki UE w zakresie efektywności energetycznej, w tym konieczność wnoszenia od roku 2020 budynków o niemal zerowym zużyciu energii (nZEB) wymusza intensywne poszukiwania nowatorskich metod chłodzenia budynków. Tymczasem zgodnie z szacunkami UE zapotrzebowanie na energię użyteczną dla budynków biurowych w Polsce w roku 2009 było dość wysokie [20]: 35,2 PJ do ogrzewania pomieszczeń, 9,4 PJ do podgrzewania wody i 24,1 PJ do chłodzenia. Dodatkowo warto zauważyć, że tendencje i mody obowiązujące w projektowaniu budynków biurowych i innych obiektów użyteczności publicznej (m. in. silne przeszklenia) sprawiają, iż udział zapotrzebowania na energię do chłodzenia pomieszczeń w budynkach biurowych wybudowanych w ostatnim czasie rośnie.

W klimacie umiarkowanym jedną z najbardziej obiecujących metod ograniczających zapotrzebowanie na energię do chłodzenia pomieszczeń jest stosowanie wentylacji nocnej budynków. Jej atrakcyjność energetyczno-ekonomiczną potwierdzono w obiektach rzeczywistych zlokalizowanych w wielu krajach, między innymi USA (np.[6], [12]), Wielkiej Brytanii (np. [13]), Belgii i Danii [22], Francji (np. [4]), Grecji (np. [9]), czy w Chinach (np. [25], [26]). Niestety jest bardzo niewiele informacji na temat podobnych badań w warunkach polskich (np. [10], [23]).

### **2. WENTYLACJA NOCNA**

#### **2.1. Zasada działania wentylacji nocnej**

Przepływ powietrza przez budynek w ciągu nocy, gdy powietrze na zewnątrz jest chłodniejsze niż w budynku, obniża temperaturę wewnętrznych powierzchni przegród budynku. Prowadzi to do zwiększenia możliwości akumulowania ciepła w przegrodach i elementach konstrukcyjnych w dniu następnym. W wyniku tych zjawisk wzrost temperatury powietrza w pomieszczeniu wywołany przez zyskami ciepła (wewnętrzny oraz wywołany przez czynniki zewnętrzne) jest znacznie mniejszy niż w przypadku gdyby chłodzenia nocnego nie było. Gdy pojemność cieplna tych elementów nie jest dostateczną można rozważyć jej zwiększenie wnosząc masywne ścianki działowe lub stosując materiały zmiennofazowe. Możliwe jest nawet zapewnienie akceptowalnych warunków mikroklimatycznych bez mechanicznego chłodzenia. Do nocnej wentylacji pomieszczeń można wykorzystać systemy:

- wentylacji naturalnej (np. uchylanie okien na jednej lub – co jest bardziej korzystne - na dwóch przeciwległych fasadach)
- wentylacji hybrydowej (np. działanie wentylacji naturalnej jest wspomagane pracą wentylatorów zamontowanych w przewodach wywiewnych)
- wentylacji mechanicznej (np. wykorzystując do tego celu system wentylacji nawiewno-wywiewnej przewidziany do pracy w porze dziennej).

Efektywność wentylacji nocnej zależy od strumienia powietrza wprowadzanego od pomieszczenia z zewnątrz, jego temperatury, a także od powierzchni, grubości, gęstości i przewodności cieplnej elementów akumulujących ciepło. Ponieważ skuteczność tej technologii zależy od wielu parametrów, wentylacja nocna jest bardzo dobrym polem dla wykazywania korzyści płynących ze zintegrowanego podejścia do projektowania budynków. Współpraca specjalistów (np. architekta, konstruktora, fizyka budowli, projektanta instalacji HVAC) w ramach multidyscyplinarnych zespołów umożliwiająca dyskusje i dokonywanie ocen różnych koncepcji na wczesnym etapie projektowania jest bardzo ważna. Doświadczenia z realizacji projektów, w których zastosowano to podejście wskazują, że jakkolwiek koszty inwestycji mogą być nieznacznie wyższe (o ok. 5%), to roczne koszty eksploatacji są zdecydowanie mniejsze (nawet o 40-90%).

Analiza istniejących budynków wykorzystujących wentylację nocą wskazuje, że szansa na osiągnięcie zadowalających parametrów ekonomicznych zdecydowanie wzrasta, gdy w budynku dodatkowo spełnione są następujące warunki (na podstawie [11]):

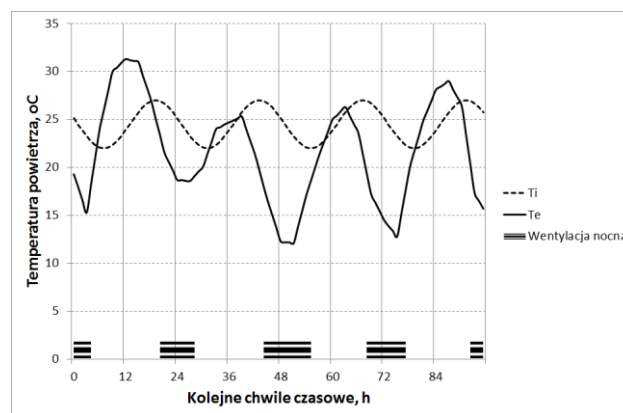
- procent przeszklenia fasady ok 30%
- efektywne urządzenia przeciwsłoneczne zamontowane od strony zewnętrznej,
- bardzo niska lub niska emisja zanieczyszczeń z materiałów wykończeniowych,
- wysokość pomieszczenia większa od 3 m,
- głębokość pomieszczenia nieprzekraczająca 6 m,
- duża pojemność cieplna pomieszczenia (masywne stropy i ściany),
- elementy masywne we wnętrzach nie powinny być przesłonięte (nie należy stosować sufitów podwieszonych, wykładzin dywanowych itp.),
- wewnętrzne zyski ciepła < 20 W/m<sup>2</sup>,
- drukarki, kopiarki i inny sprzęt biurowy, będący źródłem dużych zysków ciepła, powinien być umieszczany w wydzielonym pomieszczeniu.

## 2.2. Ocena potencjału do stosowania wentylacji nocnej w różnych warunkach klimatycznych

W celu scharakteryzowania wpływu klimatu na termiczne właściwości budynku, można odwołać się do tzw. wskaźnika CCP (cooling climatic potential) [1]. Jest on zdefiniowany, jako zliczana z krokiem godzinowym suma

różnic pomiędzy temperaturą budynku i powietrza zewnętrznego. Obliczenia te dokonywane są dla poszczególnych nocy i tylko dla przypadków, dla których różnica temperatury przekracza wartość minimalną uważaną za graniczną z punktu widzenia efektywności działania wentylacji nocnej (zwykle  $\Delta T_{crit} = 3$  K, patrz rys. 1). Oczywiście temperatura powietrza w różnych budynkach może się znacznie różnić. Dlatego na potrzeby oceny potencjału do stosowania wentylacji nocnej zakłada się, że temperatura powietrza w hipotetycznych pomieszczeniach zmienia się sinusoidalnie w okresie 24 godzin pomiędzy wartościami 22 a 27 °C. Przyjmuje się jednocześnie, że potencjalny czas pracy wentylacji nocnej możliwy jest od godziny 19 do 7 rano dnia następnego.

Analizy danych klimatycznych przeprowadzone dla całej Europy wykazują, że kraje Europy Północnej charakteryzują się wysokim potencjałem do stosowania wentylacji nocnej (średni wskaźnik CCP/noc dla lipca mieści się w zakresie 120-180 Kh/noc), a dla krajów Europy Środkowej i Wschodniej oraz niektórych regionów Europy Południowej potencjał ten może być uznany, jako znaczny (średni wskaźnik CCP/noc dla lipca mieści się w zakresie 80-140 Kh/noc) [1].



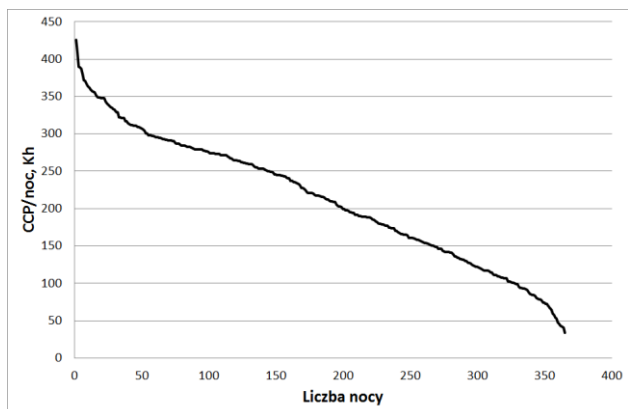
Rys. 1. Przyjęte okresy działania wentylacji nocnej na tle przebiegu temperatury powietrza zewnętrznego i wewnętrznego (fragment danych klimatycznych dla Warszawy).

Fig. 1. Assumed operation time of night ventilation on the background of the outdoor and indoor air temperatures (part of the climatic data for Warsaw).

Na rysunku 2 przedstawiono uporządkowany rozkład współczynnika CCP/noc dla Warszawy. Wykres opracowano na podstawie typowego roku meteorologicznego dla Warszawy, rekomendowanego przez Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju do obliczeń energetycznych budynków.

Na podstawie danych meteorologicznych ze stacji Warszawa-Okęcie można stwierdzić, że najniższa wartość współczynnika CCP/noc wynosi 33,5 Kh/noc. Wartość średnia dla całego roku wynosi 213 Kh/noc, a wartość średnia dla lipca 91,7 Kh/noc. Wartości współczynnika

CCP/noc < 50 Kh/noc występują przez 6 nocy w roku; < 60 Kh/noc przez 10 nocy w roku; < 70 Kh/noc przez 12 nocy w roku; < 80 Kh/noc przez 21 nocy w roku; < 90 Kh/noc przez 28 nocy w roku oraz < 100 Kh/noc 37 nocy w roku.



Rys. 2. Uporządkowany rozkład współczynnika CCP/noc dla Warszawy.

Fig. 2. Distribution of CCP/night coefficient for Warsaw (sorted).

Wskaźnik CCP/noc można wykorzystać do oszacowania jednostkowych zysków ciepła (w  $W/m^2$ ), jakie jest w stanie zakumulować budynek po uprzedniej nocnej wentylacji. Wyniki takich analiz przedstawiono w tabeli 1. W oszacowaniu założono, że pomieszczenie będzie miało wysokość 3 m, a czas jego wykorzystania będzie wynosił 8 godzin dziennie. Ponadto oszacowanie zakłada, że zapewniona zostanie odpowiednia pojemność cieplna pomieszczenia, aby zyski ciepła generowane w dzień były akumulowane w przegrodach budowlanych, a następnie usuwane z pomieszczenia dzięki wentylacji nocnej.

Tabela 1. Jednostkowe zyski ciepła ( $W/m^2$ ), które może zakumulować budynek po uprzedniej nocnej wentylacji.  
Table 1. Specific heat gains ( $W/m^2$ ), which building can accumulate after prior night ventilation.

| Liczba wymian powietrza | Wartość współczynnika CCP/noc |         |         |         |         |          |
|-------------------------|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|----------|
|                         | 50,0 Kh                       | 60,0 Kh | 70,0 Kh | 80,0 Kh | 90,0 Kh | 100,0 Kh |
| $h^{-1}$                |                               |         |         |         |         |          |
| 0,5                     | 3,1                           | 3,8     | 4,4     | 5,0     | 5,6     | 6,3      |
| 1                       | 6,3                           | 7,5     | 8,8     | 10,0    | 11,3    | 12,5     |
| 2                       | 12,5                          | 15,0    | 17,5    | 20,0    | 22,5    | 25,0     |
| 5                       | 31,3                          | 37,5    | 43,8    | 50,0    | 56,3    | 62,5     |

Analiza wyników prowadzi do wniosku, że w warunkach polskich wentylacja naturalna (liczba wymian ok  $0,5-1 h^{-1}$ ) nie jest w stanie odprowadzić znaczących zysków ciepła ( $< 12,5 W/m^2$ ). Zdolność do usuwania zysków ciepła spotykanych w budynkach biurowych (ok.  $50 W/m^2$  przy stosowaniu rozsądnych założeń dotyczących architektury i organizacji pracy) uzyskuje się dopiero przy intensywności wentylacji  $5 h^{-1}$  co zdecydowanie sugeruje

w tych budynkach stosowanie systemów mechanicznych do wentylowania budynków w porze nocnej.

Czynnikiem zmniejszającym efektywność stosowania wentylacji nocnej do pasywnego chłodzenia budynków jest dodatkowe zużycie energii do napędu wentylatorów. Nie występuje ono w przypadku wentylacji naturalnej, a dla wentylacji hybrydowej jest ono zazwyczaj niewielkie. Wykorzystując istniejące w budynku systemy wentylacji mechanicznej do wentylacji nocnej należy się liczyć z faktem, że przetłaczanie  $1 m^3/s$  ( $3600 m^3/h$ ) powietrza przez godzinę spowoduje zużycie energii wynoszące od 0,8 do 1,6 kWh.

### 2.3. Ograniczenia związane ze stosowaniem wentylacji nocnej

Wentylacja nocna poza niezaprzeczalnymi korzyściami ma także pewne ograniczenia. Wykorzystanie powietrza o niskiej temperaturze do chłodzenia może w niektórych przypadkach prowadzić do kondensacji wilgoci w pomieszczeniach. Ponadto, uchylanie okien w porze nocnej, co jest typowym działaniem przy stosowaniu wentylacji naturalnej do chłodzenia, stwarza problemy związane z akustyką (szczególnie w budynkach mieszkalnych), zanieczyszczeniem powietrza oraz brakiem bezpieczeństwa i prywatności [22].

W miastach o dużej liczbie mieszkańców dodatkowym czynnikiem ryzyka dla stosowania tej technologii jest zjawisko „miejskiej wyspy ciepła”. Jej obecność powoduje podwyższanie temperatury powietrza w okresie nocnym. W niektórych badaniach zwraca się uwagę na wysoką wrażliwość wyników symulacji komputerowych działania wentylacji nocnej na wcześniejszy sposób opracowania danych klimatycznych. Wykazano, że symulacje oparte na powszechnie stosowanych półsyntetycznych zestawach rocznych danych, takich jak DRY (Design Reference Year) lub METEONORM, mają tendencję do niedocenia stopnia przegrzania budynków w porównaniu do uzyskanych danych z obiektów rzeczywistych [2].

## 3. MIEJSKIE WYSPIE CIEPŁA NA TERENIE POLSKI

Najbardziej ewidentnym przejawem odrębności klimatu miasta jest tzw. miejska wyspa ciepła, czyli wzrost temperatury powietrza w przyziemnej warstwie atmosfery w stosunku do temperatury powietrza za miastem. Tworzenie się oraz intensywność miejskiej wyspy ciepła są wynikiem współdziałania szeregu zjawisk, do których najczęściej zalicza się [18]:

- specyficzny bilans radiacyjny miast,
- wysoką pojemność cieplną materiałów budowlanych, którymi pokryta jest znaczna część powierzchni miast

- silny antropogeniczny strumień ciepła generowany na terenach silnie zurbanizowanych,
- zmniejszoną ewapotranspirację,
- zmniejszony turbulencyjny transport ciepła.

Miarą miejskiej wyspy ciepła jest różnica minimalnej dobowej temperatury powietrza między miastem i terenem pozamiejskim. Przyjmuje się, że maksymalny wzrost temperatury na terenie miasta  $UHI_{mx}$  można oszacować na podstawie liniowej zależności od logarytmu z liczby mieszkańców  $P$  [17]. Uwzględniając współczynniki charakterystyczne dla miast europejskich równanie to przybiera postać

$$UHI_{mx} = 2,01 \cdot \log(P) - 4,06 \quad (1)$$

Zgodnie z tą zależnością, w przypadku dużych miast polskich, dobrze rozwinięta miejska wyspa ciepła powinna osiągać natężenie 5–8°C. Maksymalne zanotowane wartości są jednak wyższe. Wybrane charakterystyki intensywności wysp ciepła dla 5 największych miast Polski - opracowane na podstawie [5], [7], [8], [14], [16], [19], [24] - przedstawia tabela 2.

Tabela 2. Charakterystyka intensywności wysp ciepła w największych miastach Polski.

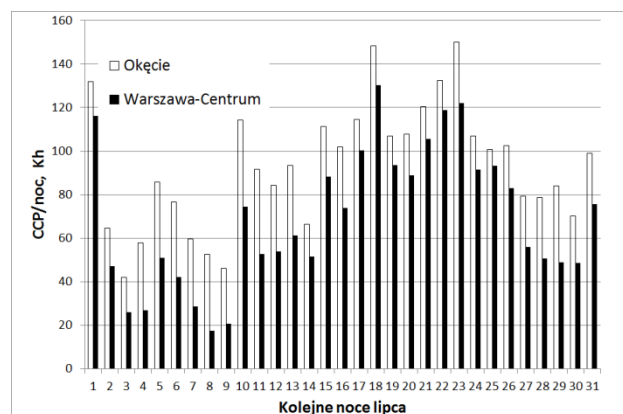
Table 2. Characteristics of the intensity of heat islands in major Polish cities.

| Miasto   | Liczba mieszk | Wartości maks. wzór (1) | Wartości maks. rzeczywiste | Średnie wartości roczne (w centrum) |
|----------|---------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| -        | mln           | °C                      | °C                         | °C                                  |
| Warszawa | 1,72          | 8,5                     | 10                         | 2,5                                 |
| Kraków   | 0,76          | 7,8                     | 7                          | 1,2                                 |
| Łódź     | 0,71          | 7,7                     | 12                         | ok.1                                |
| Poznań   | 0,63          | 7,6                     | 6                          | 0,74                                |
| Wrocław  | 0,55          | 7,5                     | 7                          | 1,0                                 |

Próbie ilościowego oszacowania wpływu miejskiej wyspy ciepła na działanie wentylacji nocnej przeprowadzono na przykładzie Warszawy. Warszawska wyspa ciepła nie tworzy się nad jednym, zwartym obszarem, ale występuje w postaci kilku odrębnych ognisk ciepła, związanych z terenami najgęściej zabudowanymi i przemysłowymi. Podwyższenie temperatury powietrza na skutek występowania wyspy ciepła obserwuje się najwyraźniej w godzinach porannych. Największe dodatnie odchylenia temperatury odczuwalnej występują wówczas w obrębie zwartej zabudowy Śródmieścia i Grochowa oraz na przemysłowym Żeraniu. Wyspa ciepła ( $\Delta T$ ) jest najintensywniejsza w lipcu, osiągając w części śródmiejskiej średnio ponad 3°C [24].

Na potrzeby niniejszego artykułu, modyfikując dane pogodowe stacji meteorologicznej Warszawa-Okęcie, wygenerowano możliwy przebieg temperatury powietrza zewnętrznego w centrum Warszawy w lipcu. Uzyskane

intensywności wyspy ciepła zawierają się w zakresie od 1 do 5,65 °C, a wartość średnia wynosi 3,36 °C. Porównanie wartości współczynnika CCP dla danych ze stacji Warszawa-Okęcie oraz danych wygenerowanych (Warszawa-Centrum) przedstawia rysunek 3. W porównaniu z danymi dla Okęcia średnia wartość współczynnika CCP/noc w lipcu dla centrum Warszawy zmniejszyła się z ok. 93 do 69 Kh/noc.



Rys. 3. Porównanie wartości współczynnika CCP dla danych ze stacji Warszawa-Okęcie oraz danych wygenerowanych (Warszawa-Centrum).

Fig. 3. Comparison of CCP coefficient for data from the station Warszawa-Okęcie and the data generated (centre of Warsaw).

## 4. OCENA WPLYWU MIEJSKIEJ WYSPY CIEPŁA NA EFEKTYWNOŚĆ STOSOWANIA WENTYLACJI NOCNEJ

### 4.1. Wykorzystany model obliczeniowy

Istnieje wiele prostych narzędzi symulacyjnych, zdolnych do wykonywania obliczeń energetycznych w budynkach z wentylacją nocną. W 1996 roku Balaras [3] przedstawił 16 uproszczonych modeli do oceny obciążeń chłodniczych budynku, biorących pod uwagę masę termiczną budynku. Od tego czasu nastąpił ogromny postęp w stosowaniu metod symulacyjnych, a niektóre modele zostały włączone do normy PN-EN ISO 13790:2009 [21]. Jedną z opisanych metod w tej normie, jest uproszczona metoda godzinowa wykorzystująca analogię między przepływem ciepła w budynkach a przepływem prądu w obwodach elektrycznych i nazwana z tego powodu metodą 5R1C (5 oporów cieplnych i 1 pojemność cieplna). W Politechnice Warszawskiej opracowano jej udoskonaloną wersję. Opory termiczne wentylacji kontrolowanej i niekontrolowanej infiltracji zostały rozdzielone. Ponadto model został zintegrowany z obliczeniami procesów klimatyzacyjnych (metoda 6R1C + AHU) [15].

## 4.2. Charakterystyka budynku poddanego analizie

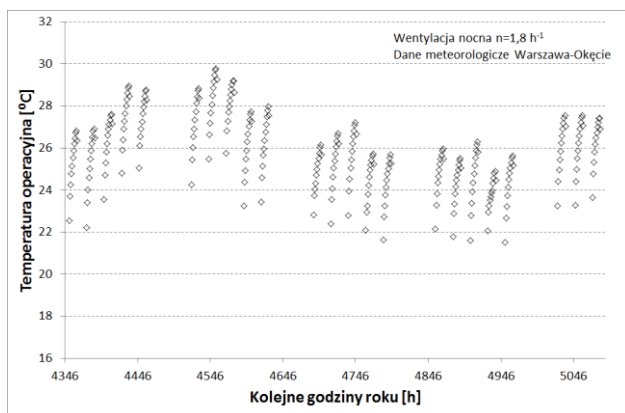
Porównawcze analizy energetyczne przeprowadzono dla wirtualnego budynku biurowego dla 400 osób. Jest to budynek 3 kondygnacyjny o powierzchni podłogi 3640 m<sup>2</sup> i kubaturze 10920 m<sup>3</sup>. Obciążenie cieplne pomieszczeń zostało określone zakładając zmieniającą się w ciągu doby (od 7:00 do 20:00) intensywność wykorzystania pomieszczeń. Uwzględniono także dni wolne i święta. Maksymalna wydajność centrali wentylacyjnej (wykorzystywanej także do wentylacji nocnej) wynosi 20000 m<sup>3</sup>/h. Założony poziom szczelności wynosi  $n_{50} = 2 \text{ h}^{-1}$ .

Używając oznaczeń stosowanych w PN-EN ISO 13790:2009 [21] analizowany budynek może zostać scharakteryzowany następującymi parametrami:

- Całkowita przewodność cieplna konstrukcji powłoki  $H_{tr\_op}$  1651 W/K
- Całkowita przewodność cieplna okien i drzwi  $H_{tr\_w}$  861 W/K
- Całkowita przewodność cieplna powierzchni wewnętrznej  $H_{tr\_is}$  56505 W/K
- Całkowita powierzchnia wewnętrzna strefy  $A_{tot}$  16378 m<sup>2</sup>
- Efektywna powierzchnia masy termicznej  $A_m$  9099 m<sup>2</sup>
- Całkowita pojemność cieplna  $C_m$   $6 \cdot 10^8 \text{ J/K}$

Do podstawowego modelu budynku wprowadzono wentylację nocną, która może być uruchomiona godzinę po opuszczeniu biura przez pracowników oraz wyłącza się najpóźniej na godzinę przed rozpoczęciem użytkowania biura przez pracowników. Dodatkowo zastosowano następujące ograniczenia temperaturowe:

- wentylacja nocna zostaje uruchomiona, gdy temperatura wewnętrzna powietrza na koniec dnia przekroczy 25°C,

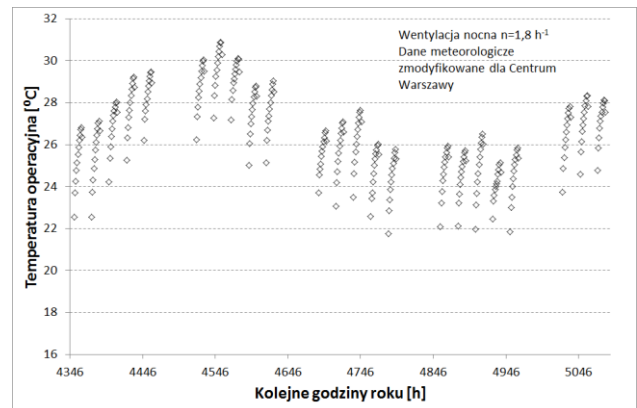


Rys. 4. Zmienność temperatury operacyjnej w analizowanym budynku dla lipca (wentylacja nocna  $n=1,8 \text{ h}^{-1}$ , dane meteorologiczne dla Warszawy-Okęcia).

Fig. 4. Variability of operative temperature in the analysed building in July (night ventilation  $n = 1.8 \text{ h}^{-1}$ , meteorological data for Warsaw-Okęcie).

- minimalna temperatura operacyjna w okresie letnim w godzinach użytkowania budynku wynosi 22 °C.

Zmiany temperatury operacyjnej w trakcie użytkowania budynku w lipcu przedstawiono na rysunku 4 (dla konwencjonalnych danych klimatycznych ze stacji Warszawa-Okęcie) oraz na rysunku 5 (dla danych zmodyfikowanych w celu uwzględnienia występowania w centrum Warszawy miejskiej wyspy ciepła).



Rys. 5. Zmienność temperatury operacyjnej w analizowanym budynku dla lipca (wentylacja nocna  $n=1,8 \text{ h}^{-1}$ , dane meteorologiczne zmodyfikowane dla Warszawy Centrum).

Fig. 5. Variability of operative temperature in the analysed building in July (night ventilation  $n = 1.8 \text{ h}^{-1}$ , meteorological data modified for Warsaw Centre).

## 5. PODSUMOWANIE

W artykule wykazano, że efektywność wentylacji nocnej w budynkach zlokalizowanych w centrach dużych miast, w których występuje miejska wyspa ciepła jest obniżona w porównaniu do lokalizacji podmiejskich. Obniżenie sprawności dotyczy głównie miesięcy letnich, kluczowych z punktu widzenia chłodzenia budynków. Wykazano, że w przypadku Warszawy występowanie miejskiej wyspy ciepła obniża średnią wartość współczynnika CCP/noc dla lipca o ok 25%. Przeprowadzona przykładowa symulacja parametrów powietrza w budynku bez mechanicznego chłodzenia, ale z wentylacją nocną wykazała, że w przypadku lokalizacji takiego budynku w centrum, wartości temperatury operacyjnej byłyby o ok. 1K wyższe niż w analogicznym budynku zlokalizowanym poza terenem występowania miejskiej wyspy ciepła. Intensywność wentylacji w przedstawionym przykładzie (liczba wymian powietrza  $n=1,8 \text{ h}^{-1}$ ) była jednak znacznie niższa od wartości rekomendowanych, otrzymanych z analizy wskaźnika CCP/noc ( $n=5 \text{ h}^{-1}$ ). Należy także pamiętać, że wyniki przedstawione w niniejszym artykule są uzależnione od szeregu parametrów analizowanego obiektu i nie można ich w prosty sposób przenosić na inne budynki.

## THE IMPACT OF URBAN HEAT ISLAND ON THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF NIGHT VENTILATION

**Summary:** Passive cooling by night ventilation is one of the most promising approaches to reduce cooling energy demand of office buildings in moderate climates. The paper describes the problem related to limitation in night ventilation use in centres of big cities that has an Urban Heat Island UHI. Unfortunately, UHI is observed basically during nights in summer, the most interesting time for night ventilation use. Problem of reduced effectiveness of night ventilation in such conditions has been characterised on the base of climatic data analysis (CPP/night coefficient), as well as on the simulation of night ventilation performance in office building located in Warsaw.

### Literatura:

- [1] Artmann N., Manz H., Heiselberg P. *Climatic potential for passive cooling of buildings by night-time ventilation in Europe*. Applied Energy 84 (2007), 187-201.
- [2] Artmann N., Manz H., Heiselberg P. *Parameter study on performance of building cooling by night-time ventilation* Renewable Energy 33.12 (2008): 2589-2598.
- [3] Balaras C. A. *The role of thermal mass on the cooling load of buildings. An overview of computational methods*. Energy and Buildings, 24(1), (1996), 1-10.
- [4] Blondeau P., Spérandio M., Allard F. *Night ventilation for building cooling in summer*. Solar Energy 61.5 (1997): 327-335.
- [5] Bokwa A. *Miejska wyspa ciepła na tle naturalnego zróżnicowania termicznego obszaru położonego we wklęsłej formie terenu (na przykładzie Krakowa)*. Prace Geograficzne IGiGP UJ, 122, (2009) 111-132.
- [6] Braun J. E., Montgomery K. W., Chaturvedi N. *Evaluating the performance of building thermal mass control strategies*. HVAC&R Research, 7(4), (2001). 403-428.
- [7] Dubicki A., Dubicka M., Szymanowski M. *Klimat Wrocławia*. W: Środowisko Wrocławia. Informator o stanie środowiska Wrocławia. Pr. zbior. Red. K. Smolnicki, M. Szykasiuk [online]. Wrocław. DFK, (2002). 9-25.
- [8] Fortuniak K. *Miejska wyspa ciepła. Podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź. (2003).
- [9] Geros V., i in. *On the cooling potential of night ventilation techniques in the urban environment*. Energy and Buildings 37.3 (2005): 243-257.
- [10] Górzeński R., Odyjas A., Wykorzystanie "nocnego chłodzenia" w klimatyzacji pomieszczeń. Chłodnictwo I Klimatyzacja, no 8, (2003), 39-43
- [11] Heiselberg P. K. Principles of hybrid ventilation. Aalborg Universitet, 2002.
- [12] Keeney K. R., Braun J. E. *Application of building precooling to reduce peak cooling requirements*. ASHRAE transactions, 103(1), (1997). 463-469.
- [13] Kolokotroni M., Aronis A. *Cooling-energy reduction in air-conditioned offices by using night ventilation*. Applied Energy 63.4 (1999): 241-253.
- [14] Kossowska-Cezak U. *Wpływ rozwoju terytorialnego Warszawy na warunki termiczne*. Acta Universitatis Lodzensis, Folia Geographica Physica 3, (1998), str 51-57
- [15] Narowski P. Mijakowski M. Sowa J. *Integrated calculations of thermal behavior of both buildings and ventilation and air conditioning systems*, Proceedings of the 9th International Healthy Buildings Conference and Exhibition. Eds.: Santanam, S., Bogucz, E.A., Peters, C, and Benson, T., Healthy Buildings 2009, Syracuse, NY, USA, Paper No: 628.
- [16] Nowak A. *Analiza miejskiej wyspy ciepła na obszarze Poznania*. Prace Geograficzne IGiGP UJ, 122, (2009). 99-110.
- [17] Oke T.R., *City size and the urban heat island*, Atmos. Env., 7, (1973), 769-779.
- [18] Oke T. R. *The heat island of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects*. In *Wind climate in cities* (1995). (pp. 81-107). Springer Netherlands.
- [19] Osińska-Skotak K., Madany A. *Wykorzystanie danych satelitarnych LANDSAT TM do określenia warszawskiej wyspy ciepła*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Inżynieria Środowiska, (26) (1998), 5-33.
- [20] Pardo N., i in. *Heat and Cooling Demand and Market Perspective*. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport, Publications Office, 2012.
- [21] PN-EN ISO 13790:2009, Energetyczne właściwości użytkowe budynków -- Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia, PKN
- [22] Santamouris M., *Night Ventilation Strategies*, Air Infiltration and Ventilation Centre, Ventilation Information Paper no. 4 March 2004
- [23] Sowa J., Mijakowski M., Kwiatkowski J., *Simulation of night ventilation performance as a support for an integrated design of buildings*, Proceedings of Joint Conference 35th AIVC Conference 35th AIVC Conference, 4th TightVent Conference, 2nd Venticool Conference, Poznań, 24-25 September 2014, pp.361-370.
- [24] Stopa-Boryczka M. i in., *Cykliczne zmiany miejskiej wyspy ciepła w Warszawie i ich przyczyny*. Prace i Studia Geograficzne, 47, (2011). 409-416.
- [25] Wang Z., Yi L., Gao, F. *Night ventilation control strategies in office buildings*. Solar Energy, 83(10), (2009), 1902-1913.
- [26] Yang L., Li Y. *Cooling load reduction by using thermal mass and night ventilation*. Energy and Buildings 40.11 (2008): 2052-2058.