

Zakres komfortowych parametrów powietrza dla przebywania człowieka na zewnątrz w okresie lata

Range of comfortable air parameters for humans to stay outside during the summer

EWELINA DEC, ROBERT SEKRET

DOI 10.36119/15.2020.8.1

Artykuł prezentuje zakres parametrów powietrza zewnętrznego, które odpowiadają warunkom komfortu cieplnego w okresie letnich upałów na potrzeby projektowania systemów chłodzenia stref zewnętrznych przebywania człowieka. Fale upałów to jedno z zagrożeń, które będzie nasilać się wraz z postępowaniem kryzysu klimatycznego. Stworzenie warunków komfortu cieplnego na otwartej przestrzeni w strefach dłuższego pobytu człowieka przy ekstremalnie wysokich temperaturach powietrza, szczególnie na obszarach miejskich, zaczyna stanowić istotny problem, który nie był brany pod uwagę z punktu widzenia zdrowia człowieka. W przeprowadzonej analizie uwzględniono wskaźnik temperatury efektywnej pozwalający na zmniejszenie zużycia energii na proces chłodzenia powietrza. Otrzymane wyniki zaprezentowano na wykresie Moliera, który dobrze obrazuje zmiany parametrów powietrza, również w przypadku stref zewnętrznych. Do ochładzania przestrzeni poza budynkiem, konieczne jest opracowanie nowych instalacji, innych niż standardowe systemy chłodzenia przeznaczone dla pomieszczeń zamkniętych. Ich kluczowym elementem może być wykorzystanie alternatywnych źródeł energii do produkcji chłodu, np. energii promieniowania słonecznego, czy ciepła odpadowego z miejskich sieci ciepłowniczych.
Słowa kluczowe: komfort cieplny, temperatura odczuwalna, chłodzenie stref zewnętrznych, energia słoneczna, ciepło odpadowe

The aim of the article was to define the scope of parameters of the outside air, which will create conditions of thermal comfort during the summer heatwaves for the purpose of designing cooling systems for external zones of human presence. Heatwaves are one of the threats that will get worse as the climate crisis progresses. The creation of thermal comfort conditions in an open space at extremely high air temperatures, especially in urban areas, is a significant problem that has not yet been developed in scientific materials. The analysis considers the effective temperature (TE) indicator, which will allow to reduce energy consumption for the air-cooling process. The obtained results are presented in the Molière diagram, which illustrates well the changes in air parameters also in the case of external zones. To cool the space outside the building, it is necessary to develop systems other than standard indoor cooling systems. Their key element may be the use of alternative energy sources for the production of cold, e.g. solar radiation energy or waste heat from municipal heat networks.

Keywords: thermal comfort, perceived temperature, cooling of external zones, solar energy, waste heat

Wprowadzenie

Obecnym zmianom klimatu towarzyszą coraz częściej występujące, gwałtowne i niebezpieczne dla człowieka zjawiska pogodowe, do których można zaliczyć m.in. wysokie temperatury, czy nawalne deszcze. Powodzie, podtopienia i susze to bezpośrednie zagrożenia dla bezpieczeństwa ludzi i ich sytuacji mieszkaniowej [1,2]. Zmiany klimatu niosą za sobą również przyrost liczby dni z ekstremalnie wysokimi temperaturami powietrza, które

coraz częściej występują w postaci dłuższych ciągów dni, tworząc tzw. fale upałów [3,4]. Powszechnie wiadomo, że wysokie temperatury powietrza w środowisku przebywania człowieka mają negatywny wpływ na jego komfort, wydajność pracy, jakość odpoczynku, często również i zdrowie. W ogólnodostępnej literaturze krajowej i zagranicznej nie znajdziemy wiele informacji na temat komfortu cieplnego w strefie zewnętrznej (poza budynkiem). Opisanie badania, które dotyczy zewnętrznych przestrzeni przebywania

ludzi, opierają się głównie na warunkach komfortu cieplnego zdefiniowanego dla pomieszczeń wewnętrznych. Na otwartej przestrzeni, o poziomie komfortu decydują przede wszystkim czynniki atmosferyczne. W celu zdefiniowania komfortowych warunków zewnętrznych przebywania ludzi, przeprowadzono przykładową analizę parametrów powietrza, takich jak: temperatura, wilgotność względna oraz prędkość wiatru, występujących w ostatnich latach na obszarze Rzeszowa [5,6]. Określono charakterystykę ich występowania

mgr inż. Ewelina Dec, <https://orcid.org/0000-0003-3953-6788> – Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, Rzeszów

prof. dr hab. inż. Robert Sekret, <https://orcid.org/0000-0003-4694-2717> – Politechnika Częstochowska, Wydział Infrastruktury i Środowiska, Częstochowa. Adres do korespondencji/Corresponding author: rsekret@is.pcz.czest.pl

oraz wzajemne zależności. Wskazują one, że w ostatnim czasie zaobserwowano wzrost liczby dni upalnych i gorących oraz wydłużanie się czasu trwania ciągów dni z maksymalną dobową temperaturą powyżej 30°C [5]. Stan ten nie jest komfortowy z punktu widzenia człowieka przebywającego na zewnątrz, a nawet może prowadzić do utraty zdrowia. Na szczególną uwagę zasługują obszary miejskie, gdzie odczuwanie gorąca jest potęgowane przez niekorzystne warunki zewnętrzne, spowodowane zwiększonym zanieczyszczeniem powietrza i występowaniem efektu miejskiej wyspy ciepła, również w okresie letnim. Oprócz wzrostu zewnętrznych temperatur powietrza obserwuje się także rosnące ciągle wymagania dotyczące zdrowego i korzystnego mikroklimatu w środowisku pracy lub odpoczynku, również na zewnątrz. Nie opracowano dotąd norm, które określałyby zakres komfortowych parametrów powietrza na zewnątrz. W związku z tym celowe jest zastanowienie się nad tym coraz częściej występującym problemem. Istotne znaczenie ma tutaj pojęcie temperatury odczuwalnej, która określa łączny wpływ poszczególnych parametrów powietrza na odczucia cieplne człowieka i może być określona za pomocą różnego rodzaju wskaźników [7,8]. Do wyznaczenia zewnętrznego komfortu cieplnego można rozważyć m.in. wykorzystanie wykresu Moliera, który jest klasycznym narzędziem, często wykorzystywanym przez inżynierów do rozważań nad przemianami powietrza wilgotnego dla pomieszczeń zamkniętych. Pomimo braku uwzględnienia takich czynników meteorologicznych jak wiatr, czy natężenie promieniowania słonecznego, pozwolić może na ocenę zmian parametrów powietrza również w przypadku stref zewnętrznych.

Występujące w klimacie umiarkowanym (m.in. w Polsce) warunki atmosferyczne w sezonie letnim, znacznie przekraczają założony obszar komfortu. Aby poprawić warunki mikroklimatu w określonej przestrzeni, podczas upalnego dnia, niezbędny staje się system do chłodzenia powietrza. Stworzenie warunków komfortowych do przebywania człowieka na zewnątrz jest jednak o wiele bardziej skomplikowane niż w pomieszczeniu zamkniętym. Podstawową przyczyną jest duża zmienność przestrzenna i czasowa różnych wariantów meteorologicznych oraz trudność w utrzymaniu założonych parametrów powietrza. Problematyka dotycząca chłodzenia powietrza w przestrzeni zewnętrznej, nie była praktycznie dotychczas publikowana w materiałach naukowych. Pomi-

mo braku wystarczającej wiedzy dotyczącej rozwiązań w zakresie chłodzenia powietrza w strefie zewnętrznej, można przyjąć, że systemy te, mogą charakteryzować się zwiększonym zapotrzebowaniem na energię w porównaniu do instalacji chłodzących powietrze w pomieszczeniach zamkniętych. Dodatkowo, rosnąca świadomość ekologiczna wśród społeczeństwa oraz ograniczenia w wykorzystaniu nieodnawialnych nośników energii pierwotnej wymuszają wprowadzanie alternatywnych instalacji pozyskiwania chłodu [5].

Celem pracy jest zdefiniowanie zakresu parametrów powietrza zewnętrznego, które stworzą warunki komfortu cieplnego w okresie letnich upałów na potrzeby projektowania systemu chłodzenia stref zewnętrznych przebywania człowieka.

Temperatura odczuwalna

Odczucia cieplne człowieka kształtowane są poprzez działanie wielu czynników środowiska atmosferycznego, w tym również meteorologicznych. Czynniki te nieustannie oddziałują na organizm człowieka, zmieniając swoje natężenie w czasie i przestrzeni, wpływają na jego samopoczucie oraz stan zdrowia. W literaturze [7] odnaleźć można wiele wskaźników określających odczucia cieplne człowieka występujące przy różnych warunkach pogodowych. Przykładowo, autorzy opracowań dotyczących bioklimatologii często stosują temperaturę efektywną (TE) do opisanie zależności pomiędzy rzeczywistą temperaturą powietrza, wilgotnością względną oraz prędkością ruchu powietrza, a odczuciami termicznymi człowieka przebywającego w cieniu [7,8]. F.A. Misenard wprowadził do bioklimatologii wzory na obliczenie temperatury efektywnej dla dwóch różnych prędkości wiatru [7]:

- dla v wiatru $\leq 0,2$ m/s:

$$TE = t - 0,4(t - 10) \left(1 - \frac{f}{100} \right) \quad (1)$$

- dla v wiatru $> 0,2$ m/s:

$$TE = 37 - \frac{37 - t}{0,68 - 0,0014f + \frac{1}{1,76 + 1,4v^{0,75}}} - 0,29t \left(1 - \frac{f}{100} \right) \quad (2)$$

gdzie:

- TE – temperatura efektywna;
- t – rzeczywista temperatura powietrza (°C);
- f – wilgotność względna powietrza (%);
- v – prędkość wiatru (m/s).

Przyjęcie granicznej prędkości wiatru na poziomie 0,3 m/s wynikało z założenia, że ruch powietrza o niższej prędkości jest odczuwany przez człowieka, jako cisza [7]. W oparciu o wartość temperatury efektywnej oraz na podstawie subiektywnych odczuć termicznych badanych ludzi, stworzono skalę odczuć cieplnych według N. Z. Michajłowa [9]. Skala ta przyporządkowuje przedziały temperatury efektywnej różnym odczuciom cieplnym i może być stosowana tylko przy dodatniej temperaturze powietrza. Jako komfortowe oraz ciepłe dla człowieka ubranego w odzież letnią i wykonującego lekką pracę (np. spacer) uznano warunki z temperaturą efektywną w przedziale 21 ÷ 26,9°C. Tak, jak to przedstawiono w pracy [9], przy temperaturze efektywnej równej 27°C, badani określili warunki termiczne jako gorące.

Zakres komfortu cieplnego

Organizm człowieka nieustannie wydziela ciepło, którego ilość uzależniona jest od stanu aktywności fizycznej. Na przykład tak, jak przedstawiono w pracy [7], w stanie spoczynku w pozycji stojącej przy temperaturze 27°C człowiek wydziela około 60 W/os. ciepła oraz 101 g/(h · os.) wilgoci. Aby uzyskać warunki komfortu cieplnego, powietrze w danej strefie przebywania człowieka powinno odebrać ciepło i wilgoć przez niego wytwarzane. Przyjmuje się, że najkorzystniejsza temperatura w okresie letnim w pomieszczeniach wynosi $T = 22 \div 24^\circ\text{C}$, zaś wilgotność względna powietrza powinna mieścić się w zakresie $\phi = 30 \div 70\%$ [10,12]. M. Gliński w pracy [13] w oparciu o uproszczony sposób analizy danych literaturowych przedstawił na wykresie i-x powietrza wilgotnego zakres parametrów powietrza w pomieszczeniu, które grupa badanych osób określiła, jako: warunki optymalne: $T = 18 \div 25^\circ\text{C}$, $\phi < 70\%$, warunki uciążliwe: $T = 5 \div 18^\circ\text{C}$ oraz $T = 25 \div 32^\circ\text{C}$, warunki wykluczające możliwość pracy: $T > 32^\circ\text{C}$. Dla okresu letniego za najbardziej komfortową dla człowieka w normach polskich przyjęto temperaturę w granicach 23 ÷ 26°C [11]. Uznano, że przy takiej temperaturze zapewnione jest dobre samopoczucie dla człowieka pozostającego w stanie spoczynku, bądź wykonującego lekką pracę przy wilgotności względnej powietrza w zakresie 40 ÷ 60% (35 ÷ 70%) [11]. Przy tym, przyjmuje się małą prędkość ruchu powietrza, poniżej 0,3 m/s, w strefie przebywania człowieka. Nie opracowano dotąd zakresu parametrów komfortu cieplnego, dotyczących

stref zewnętrznych przebywania ludzi. Brak jest również takich danych również w literaturze dotyczącej projektowania instalacji dla lokalnego uzdatniania powietrza atmosferycznego, dlatego do dalszej analizy przyjęto zakres komfortu cieplnego w strefie zewnętrznej według polskich norm [11].

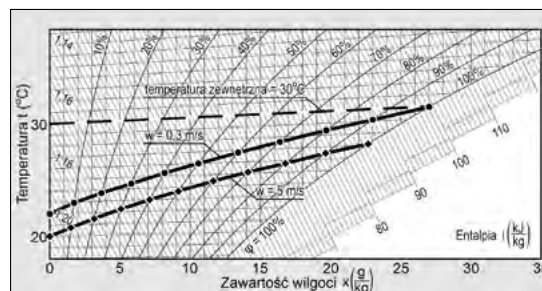
Obszar komfortu cieplnego dla człowieka w strefie zewnętrznej na wykresie Moliera

Wykres Moliera (wykres i-x powietrza wilgotnego) jest podstawowym i uniwersalnym narzędziem, stosowanym w wentylacji i klimatyzacji. Pozwala zobrazować zależności pomiędzy podstawowymi parametrami powietrza, takimi jak: temperatura, wilgotność względna, zawartość wilgoci, entalpia oraz gęstość właściwa. Powyższe parametry są podstawą obliczeń przemian i procesów powietrza. Na wykresie i-x powietrza wilgotnego (rys. 1.) linią przerywaną oraz linią $\phi = 100\%$ na zasadzie pomiarów zaznaczono obszar parametrów powietrza zewnętrznego, występujących w klimacie umiarkowanym (m.in. w Polsce) w okresie letnim [11].

Obszar ten można podzielić na cztery strefy (strefa: I, II, III₁, III₂) parametrów powietrza na potrzeby uzdatniania powie-

na rys. 1 określa górną granicę strefy I, dla której po dalszej analizie, przyjęto temperaturę powietrza zewnętrznego t_z równą 26°C . Wartość temperatury t_z w warunkach letnich upałów została przyjęta w oparciu o normy do projektowania systemu wentylacji i klimatyzacji dla pomieszczeń zamkniętych [11]. Uzasadnione byłoby przyjęcie temperatury powyżej 26°C do wyznaczenia linii temperatury 6-7. Dla przykładu wykonano analizę wartości temperatury odczuwalnej t_{od} dla zmiennych warunków prędkości i wilgotności względnej powietrza przy temperaturze rzeczywistej $t_z = 30^\circ\text{C}$. Wartość temperatury odczuwalnej w zależności od wilgotności względnej oraz prędkości ruchu powietrza (dla $w = 0,3 \text{ m/s}$ i $w = 5 \text{ m/s}$) obliczono w oparciu o wzór Misenarda (zależność 1 i 2). Wyniki przedstawiono na rysunkach 2÷9.

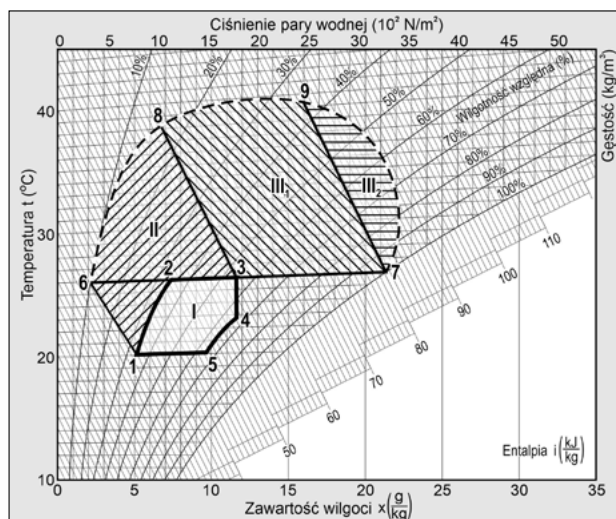
Rys. 2. Wartość temperatury odczuwalnej t_{od} przy rzeczywistej temperaturze powietrza równej 30°C w zależności od wilgotności względnej powietrza dla dwóch prędkości ruchu powietrza: $w = 0,3 \text{ m/s}$ oraz $w = 5 \text{ m/s}$
Fig. 2. The value of the perceived temperature t_{od} at the actual air temperature of 30°C depending on the relative air humidity for two air speeds: $w = 0,3 \text{ m/s}$ and $w = 5 \text{ m/s}$



Analizując wartości temperatur na rys. 2 można sformułować następujące wnioski:

- wartość temperatury odczuwalnej spada wraz ze wzrostem prędkości ruchu powietrza,
- temperatura odczuwalna obniża się wraz ze spadkiem wilgotności względnej powietrza,
- strefa temperatur odczuwalnych nie będzie odpowiadać strefie rzeczywistych temperatur powietrza (strefa I),
- perspektywiczne jest zastosowanie osuszania powietrza w instalacji uzdatniania powietrza w strefach zewnętrznych (przy mniejszych wilgotnościach względnych niższe są również wartości temperatury odczuwalnej).

Jak widać na rys. 3 – 5 dla temperatury odczuwalnej granica strefy I' zostaje



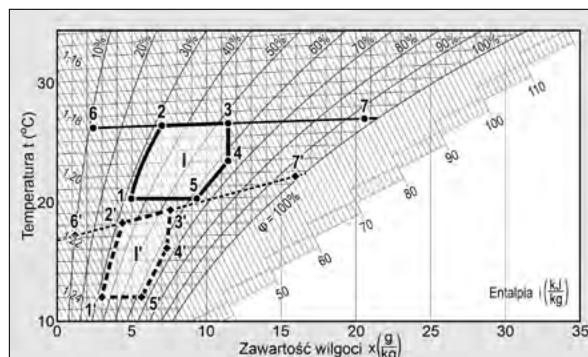
Rys. 1. Zakres parametrów powietrza zewnętrznego, występujących w klimacie umiarkowanym z podziałem na strefy: I, II, III₁, III₂
Fig. 1. The range of outdoor air parameters occurring in a temperate climate, divided into zones: I, II, III₁, III₂

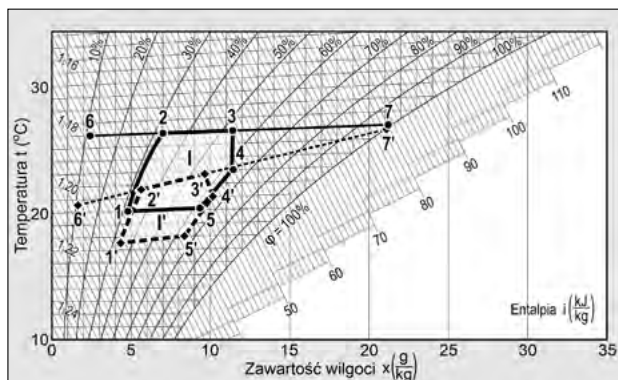
wyraźnie „przesunięta do dołu”, do strefy niższych temperatur. Wartości temperatury w punktach wyznaczających tę strefę są zdecydowanie niższe. Im większa jest prędkość ruchu powietrza, tym większa jest różnica między położeniem stref I, a I' – strefą temperatur odczuwalnych w odniesieniu do strefy I.

Przy prędkości ruchu powietrza $w = 0 \text{ m/s}$ (rys. 5) ma miejsce wpływ wilgotności względnej na temperaturę odczuwalną. Uwzględnienie tego stanu daje możliwość zmniejszenia zużycia energii na proces uzdatniania powietrza. Na rys. 6 przedstawiono zmianę granicy strefy I odpowiadającej strefie I' (w danym przypadku strefa

trza zewnętrznego. Strefą I oznaczono zakres parametrów powietrza określonych na podstawie normy [11] dla pomieszczeń, jako komfortowe. Można je również przyjąć jako odpowiednie dla przebywania człowieka w okresie letnim na zewnątrz. Na podstawie obserwacji meteorologicznych [14], należy stwierdzić, że temperatury powietrza w Polsce w okresie lata często przekraczają zakres komfortu cieplnego dla człowieka, sięgając prawie wartości 40°C . Linia temperatury 6-7 (2-3)

Rys. 3. Zmiana granicy strefy I dla temperatury odczuwalnej przy prędkości powietrza $w = 5 \text{ m/s}$: strefa I – strefa temperatur zakładanych, strefa I' – strefa temperatur odczuwalnych odpowiadająca strefie I
Fig. 3. Change of the boundary of zone I for perceived temperature at air velocity $w = 5 \text{ m/s}$: zone I – assumed temperature zone, zone I' – perceived temperature zone corresponding to zone I

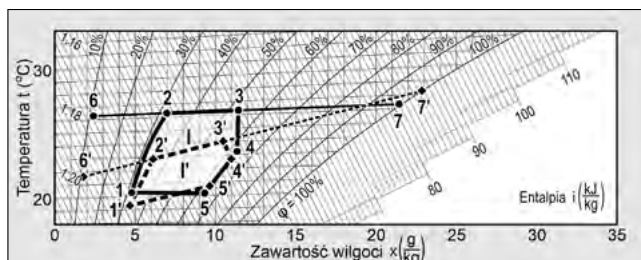




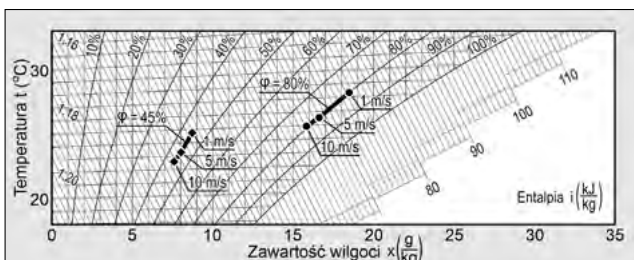
Rys. 4. Zmiana granicy strefy I dla temperatury odczuwalnej przy prędkości powietrza $w = 0,3$ m/s: strefa I – strefa temperatur zakładanych, strefa I' – strefa temperatur odczuwalnych odpowiadająca strefie I
Fig. 4. Change of zone I border for perceived temperature at air velocity $w = 0,3$ m/s: zone I – assumed temperature zone, zone I' – perceived temperature zone corresponding to zone I

odczuwalną zaledwie o $2,5$ °C w stosunku do rzeczywistej.

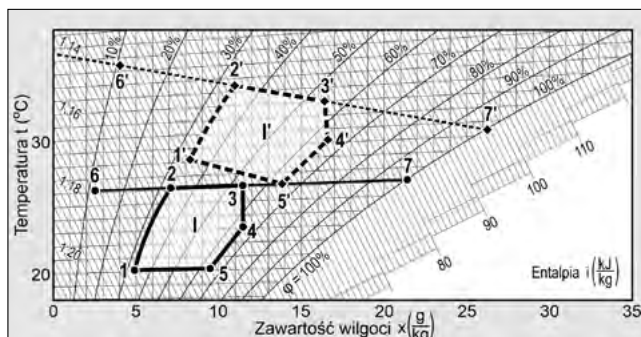
Rysunek 8 pokazuje wartość temperatury odczuwalnej przy rzeczywistej temperaturze powietrza 20 °C na wykresie i-x powietrza wilgotnego w zależności od wilgotności względnej przy braku ruchu powietrza ($w = 0$ m/s). W tym przypadku na wartość temperatury odczuwalnej wpływa jedynie wilgotność względna powietrza. Warto zwrócić uwagę na wartość graniczną wilgotności względnej, która wynosi około 60%. Poniżej tej wartości temperatura odczuwalna jest



Rys. 5. Zmiana granicy strefy I dla temperatury odczuwalnej przy prędkości powietrza $w = 0$ m/s: strefa I – strefa temperatur zakładanych, strefa I' – strefa temperatur odczuwalnych odpowiadająca strefie I
Fig. 5. Change of the boundary of zone I for perceived temperature at air speed $w = 0$ m/s: zone I – assumed temperature zone, zone I' – perceived temperature zone corresponding to zone I



Rys. 7. Wartość temperatury odczuwalnej przy rzeczywistej temperaturze powietrza 30 °C w zależności od prędkości ruchu powietrza dla wilgotności względnej $\phi = 45\%$ oraz $\phi = 80\%$
Fig. 7. The value of the perceived temperature at the actual air temperature of 30 °C depending on the speed of air movement for relative humidity of $\phi = 45\%$ and $\phi = 80\%$



Rys. 6. Zmiana granicy strefy I odpowiadającej strefie I' (strefa temperatur odczuwalnych przyjęta parametrom komfortu względnie normy [9]) przy prędkości powietrza $w = 5$ m/s
Fig. 6. Change of the boundary of zone I corresponding to zone I' (the zone of perceived temperatures adopted in comfort or standard parameters [9]) at air velocity $w = 5$ m/s

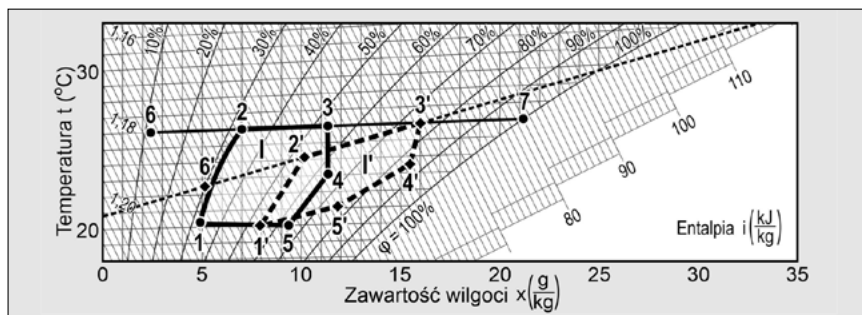
temperatur odczuwalnych jest przyjęta, jako równa zakresowi parametrów komfortu według normy [9]) przy prędkości powietrza $w = 5$ m/s. Oczywiście jest, że rzeczywista strefa I parametrów powietrza, do obszaru której należy prowadzić procesy uzdatniania powietrza, leży w obszarze wyższych temperatur. W takiej sytuacji, do stworzenia warunków komfortowych dla przebywania człowieka, wymagane jest bardzo niskie zapotrzebowanie na energię lub w ogóle ono nie występuje. Na przykład, przy parametrach powietrza w punkcie 3' ($t_z = 30$ °C, $\phi = 55\%$, $w = 5$ m/s), temperatura odczuwana przez człowieka będzie równa temperaturze punktu 3,

i znajdzie się w obszarze temperatur komfortowych dla człowieka. Uwzględnienie tego faktu, pozwoli ograniczyć zużycie energii do chłodzenia powietrza.

Na rys. 7 przedstawiono wartość temperatury odczuwalnej w zależności od prędkości ruchu powietrza dla dwóch wilgotności względnych: $\phi = 45\%$ oraz $\phi = 80\%$. Łatwo zauważyć, wpływ wilgotności względnej na temperaturę odczuwaną przez człowieka. Przy niższej wilgotności względnej, temperatura odczuwalna jest niższa od rzeczywistej nawet o 5 °C przy wietrze o prędkości 1 m/s. Jeśli wilgotność powietrza wynosi 80% , wówczas wiatr o prędkości 1 m/s obniży temperaturę

niższą niż rzeczywista. Natomiast gdy wilgotność przekracza 60% , temperatury odczuwalne są wyższe od rzeczywistych temperatur otoczenia.

Na rys. 9 przedstawiono zmianę granicy strefy I dla temperatury odczuwalnej na wykresie Moliera przy zmianie wilgotności względnej ($+20\%$) i prędkości ruchu powietrza $w = 0$ m/s. Temperatura odczuwalna dla parametrów powietrza w punktach oznaczonych, jako: 1, 2, 3 i 6 była niższa od rzeczywistej nawet po zwiększeniu wilgotności względnej o 20% . Dla parametrów powietrza w punktach oznaczonych przez cyfry 4 i 5 wartość temperatury odczuwalnej wzrosła.



Rys. 9. Zmiana granicy strefy I dla temperatury odczuwalnej przy zmianie wilgotności względnej (+20%) i prędkości powietrza $w = 0$ m/s: strefa I – strefa temperatur zakładanych, strefa I' – strefa temperatur odczuwalnych, odpowiadająca strefie I
 Fig. 9. Change of the boundary of zone I for the perceived temperature at the change of relative humidity (+20%) and air velocity $w = 0$ m/s: zone I – assumed temperature zone, zone I' – perceived temperature zone, corresponding to zone I

Chłodzenie stref zewnętrznych

Jak wskazują przedstawione wyniki do uzyskania warunków komfortowych dla człowieka na otwartej przestrzeni podczas letnich upałów konieczne staje się zastosowanie systemu chłodzenia powietrza. Pomimo braku efektywnych rozwiązań takich systemów w literaturze, można przyjąć, że systemy te, będąc charakterystyczne dla zwiększonym zapotrzebowaniem na energię w porównaniu do instalacji chłodzących powietrze w pomieszczeniach zamkniętych. Aby ograniczyć koszty produkcji chłodu, należy rozważyć zastosowanie energii promieniowania słonecznego, czy ciepła z miejskich systemów ciepłowniczych. Warto podkreślić, iż wraz ze wzrostem natężenia promieniowania słonecznego w okresie letnim rośnie również zapotrzebowanie na chłód [15]. Z drugiej strony w ostatnich latach prowadzi się szereg badań dotyczących poprawy efektywności energetycznej sieci ciepłowniczych [16, 17, 20]. Wzrost świadomości ekologicznej użytkowników związany z oszczędnością nieodnawialnych nośników energii pierwotnej oraz ochroną środowiska, a także nowe standardy energetyczne budynków i zmiany klimatyczne prowadzą do zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło u odbiorców końcowych. Sytuacja ta powoduje, że poszukuje się rozwiązań pozwalających na zwiększenie wykorzystania ciepła odpadowego zwłaszcza w okresie letnim z systemów ciepłowniczych ze źródłami kogeneracyjnymi. Jednym z proponowanych działań może być wykorzystanie ciepła dla potrzeb produkcji chłodu [18,19] z wykorzystaniem instalacji sorpcyjnych [15].

Wnioski

Do uzyskania komfortu cieplnego człowieka w strefie zewnętrznej w okresie letnim, konieczne jest zastosowanie systemu ochładzania powietrza. Pierwszym krokiem do zrealizowania tego celu jest określenie zakresu podstawowych parametrów

powietrza, które zapewnią warunki sprzyjające przebywaniu człowieka na zewnątrz. Przeprowadzona analiza wykazała istotne znaczenie temperatury odczuwalnej w aspekcie warunków komfortu cieplnego na zewnątrz. Uwzględnienie jej pozwoli na zmniejszenie zużycia energii do procesu chłodzenia powietrza. Do wyznaczenia zewnętrznego komfortu cieplnego można z powodzeniem zastosować wykres Moliera, który jest klasycznym narzędziem wykorzystywanym przez inżynierów do analiz przemian powietrza wilgotnego w pomieszczeniach zamkniętych. Pomimo braku uwzględnienia takich czynników meteorologicznych jak wiatr, czy natężenie promieniowania słonecznego, wykres Moliera dobrze obrazuje zmiany parametrów powietrza również w przypadku stref zewnętrznych. Przy projektowaniu procesów chłodzenia powietrza w strefie zewnętrznej, oprócz chłodzącego działania wiatru, należy wziąć pod uwagę również wilgotność powietrza. Przy niższych wilgotnościach względnych, otrzymujemy niższą wartość temperatury odczuwalnej, co oznacza, że korzystne jest osuszenie powietrza podczas procesów ochładzania. Przyjęcie temperatury o wartości 26°C , jako komfortowej dla przebywania ludzi w strefie zewnętrznej, ma charakter zmienny i zależy od warunków atmosferycznych: wilgotności względnej i ruchu powietrza. Do ochładzania stref zewnętrznych przebywania ludzi, konieczne jest opracowanie nowych, innych układów niż standardowe systemy chłodzenia przeznaczone dla pomieszczeń zamkniętych. Istotnym elementem może być wykorzystanie odnawialnych źródeł energii do produkcji chłodu, np. energii promieniowania słonecznego, ponieważ okres największego zapotrzebowania na chłód zarówno w cyklu sezonowym jak i dobowym, pokrywa się z okresem największego natężenia promieniowania słonecznego. Wykorzystanie ciepła odpadowego z miejskiej sieci ciepłowniczej do ochładzania zewnętrznych stref przebywania człowieka stanowi atrakcyj-

ną alternatywę rozwiązania tego potencjalnego problemu.

LITERATURA

- [1] Sekret R.: *Efekty środowiskowe systemów zaopatrzenia budynków w energię*. Monografie nr 237, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2012
- [2] <http://www.cop19.gov.pl/zmiany-klimatu> (31.07.2020 r.); Cebulak E., Limanówka D.: *Dni z ekstremalnymi temperaturami powietrza w Polsce*. Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytet Jagielloński, s. 185-194, Kraków (2007)
- [3] Sekret R., Wilczyński J.: *Wpływ zmian temperatury powietrza zewnętrznego oraz długości sezonu grzewczego na liczbę stopniocdni na przykładzie miasta Częstochowa*. Rynek Energii, Nr 4(95) (2011)
- [4] Dec E., Babiarczyk B., Sekret R.: *Analysis of temperature, air humidity and wind conditions for the needs of outdoor thermal comfort*, E3S Web of Conferences 44, 00028 (2018)
- [5] Dec E., Pisarev V.: *Analiza środowiska zewnętrznego przebywania ludzi w okresie letnim*, JCEEA Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, t. XXXIV, z. 64 (1/17)
- [6] Błażejczyk K.: *Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce*. Warszawa 2004.
- [7] Wereski S., Wereski S.: *Klimat odczuwalny Leska na podstawie normalnej temperatury efektywnej (NTE) i temperatury promieniowo-efektywnej (TRE)*, Lublin 2009
- [8] Bajbakova E.M., Nevraev G.A., Čubukov L.A.: *Metodika analiza klimata kurortov i meteorologicznych uslovij klimatoterapii*. Očerki po klimatologii kurortov, Nauka, Moskva 1963, s. 5-42
- [9] Fanger P.O.: *Środowisko zewnętrzne przebywania człowieka. Wpływ na zdrowie, komfort i wydajność pracy*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003
- [10] PN-78/b-03421. *Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi*.
- [11] *Wentylacja i klimatyzacja. Materiały pomocnicze do projektowania*. Venture Industries, Warszawa 2011.
- [12] Gliński M.: *Optymalizacja parametrów powietrza w pomieszczeniach. Miejscowa wentylacja wywiewna*. Medium, Warszawa 2007
- [13] Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy (IMGW-PIB).
- [14] Dec E., Sekret R., Babiarczyk B.: *Possibilities of using solar energy in the processes of cooling external zones of people*, E3S Web of Conferences 49, 00016 (2018)
- [15] Turski M., Noga K., Sekret R.: *The use of a PCM heat accumulator to improve the efficiency of the district heating substation*. Energy 187 (2019) 115885
- [16] Turski M., Sekret R.: *Buildings and a district heating network as thermal energy storages in the district heating system*. Energy & Buildings 179 (2018) 49-56
- [17] Turski M., Sekret R.: *Konieczność reorganizacji systemów ciepłowniczych w świetle zmian zachodzących w sektorze budowlano-instalacyjnym*. Rynek Energii, nr 4(119) – 2015
- [18] Turski M., Sekret R.: *Nowe rozwiązania dla hybrydowych systemów zaopatrzenia budynków w energię*. Rynek Energii, nr 1(122) – 2016
- [19] Jachura A., Sekret R.: *Poprawa wykorzystania mocy cieplnej miejskiego systemu ciepłowniczego poprzez uwzględnienie krótko-okresowego zapotrzebowania na ciepło*. Rynek Energii, nr 5(120) – 2015