

Kryterium komfortu człowieka w terenach zabudowanych

Katarzyna Klemm¹

¹ Instytut Architektury i Urbanistyki, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Politechnika Łódzka, e-mail: katarzyna.klemm@p.lodz.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono kryterium komfortu człowieka wyznaczone w oparciu o progi temperatury ekwiwalentnej, T_{eq} oraz progi obciążenia cieplnego organizmu, ΔQ . Zaproponowano przybliżoną zależność temperatury odczuwalnej T_{eq} , uwzględniającej wpływ prędkości wiatru i temperatury powietrza (otoczenia), wyznaczoną w oparciu o straty ciepła człowieka ubranego w odzież o termoizolacyjności 1 clo, wykonującego niewielki wysiłek fizyczny ($M = 70 \text{ W/m}^2$) i przy natężeniu promieniowania słonecznego $R \cong 30 \text{ W/m}^2$. Obciążenia cieplne organizmu wyznaczono wykorzystując przybliżoną drogę określenia poszczególnych strumieni i sald wymiany ciepła na podstawie temperatury powietrza i prędkości wiatru. Stwarza to możliwość względnego porównania różnych warunków środowiskowych bez konieczności stosowania rozbudowanych modeli bilansu cieplnego człowieka. Proponowane kryterium uwzględnia łączny efekt zarówno mechanicznego jak i termicznego oddziaływania środowiska na organizm człowieka. Może być wykorzystywane przez urbanistów, planistów czy inżynierów w procesie poszukiwania optymalnych rozwiązań zabudowy.

Słowa kluczowe: wiatr, temperatura, komfort człowieka, kryterium.

1. Wprowadzenie

Potrzeba kształtowania korzystnych warunków wiatrowych wokół różnych struktur zabudowy coraz częściej staje się zauważalna dla architektów i urbanistów.

Przepływ powietrza wokół budynków i wywołane nim efekty są istotne z punktu widzenia komfortu przebywających w ich sąsiedztwie osób.

W celu określenia klimatu wietrznego stosowanych jest wiele metod badawczych, między innymi symulacje numeryczne, badania w skali naturalnej czy badania modelowe w tunelach aerodynamicznych. Badania powyższe dostarczają projektantom wiele istotnych informacji dotyczących wpływu zabudowy na kształtowanie lokalnych warunków wiatrowych.

Kształt i wzajemne usytuowanie budynków może w niektórych sytuacjach prowadzić do intensywnych lokalnych ruchów powietrza. W strefach tych warunki wiatrowe odczuwane są przez pieszych jako dyskomfortowe. Również strefy, w których ruch powietrza jest minimalny, z punktu widzenia osłabienia przewietrzania stanowią obszary niekorzystne pod względem warunków aerosanitarnych. Analiza bilansu cieplnego organizmu człowieka wykazała, że przy kształtowaniu warunków komfortu wietrznego konieczne jest uwzględnienie warunków termicznych. Szczególnie jest to istotne, gdy temperatura powietrza osiąga wartości poniżej -5°C , zaś prędkość wiatru jest wyższa od 1 m/s oraz w przypadkach, gdy temperatura przekracza $+25^\circ\text{C}$ a prędkość wiatru jest niższa od 3 m/s. W powyższych sytuacjach występuje dyskomfort wywołany niedoborem ciepła, przekraczającym 40 W/m^2 a przy dodatnich temperaturach nadwyżką ciepła powyżej 40 W/m^2 .

Istotne staje się więc uwzględnienie efektów dynamicznych i termicznych w projektowaniu architektonicznym i urbanistycznym, w szczególności w miejskich strukturach zabudowy.

2. Komfort człowieka

Warunki komfortu pieszych kształtowane są przez wiele czynników, zarówno o charakterze obiektywnym jak i subiektywnym. Najogólniej czynniki te można podzielić

na: związane z człowiekiem, tj. płeć, wiek, rodzaj aktywności, czas przebywania w warunkach wiatrowych oraz charakteryzujące warunki meteorologiczne, tj. średnia prędkość wiatru, typ wiatru, temperatura i wilgotność powietrza, promieniowanie słoneczne, ciśnienie atmosferyczne. Na uwagę zasługują również czynniki geosocjalne, które odzwierciedlają wpływ przystosowania organizmu człowieka do określonych warunków klimatycznych. Jeśli nawet parametry te mogą być opisane za pomocą nowoczesnych modeli numerycznych, to wciąż brakuje uwzględnienia subiektywnych odczuć komfortu przez indywidualne osoby. Z tego względu badanie komfortu wietrznego opiera się najczęściej na parametrach określających mechaniczne oddziaływanie wiatru (średnia prędkość wiatru, prędkość podmuchu, turbulencja, itp.), mimo iż obecnie podejmowane są próby uwzględnienia również wpływów klimatycznych, takich jak temperatura i wilgotność [1][2][3][4][5].

Nieco inne podejście stosowane jest w badaniach biometeorologii człowieka, gdzie określenie warunków komfortu opiera się głównie na rozbudowanych modelach bilansu cieplnego, uwzględniających wszystkie mechanizmy wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem. W praktyce inżynierskiej zastosowanie tak szczegółowych modeli jest bardzo często niemożliwe z uwagi na konieczność dysponowania informacjami na temat wartości natężenia promieniowania słonecznego czy temperatury skóry człowieka.

2.1. Kryteria mechaniczne

Komfort wietrzny jest nie tylko funkcją prędkości średniej wiatru, ale również jego porywistości. Stąd przy określaniu kryterium komfortu niekiedy oprócz prędkości średniej wiatru stosuje się prędkość podmuchu, czy tzw. efektywna prędkość wiatru, uwzględniającą turbulentny charakter przepływu. Kryterium komfortu składa się z pewnej progowej prędkości wiatru i prawdopodobieństwa jej przekroczenia. Próg dyskomfortu oznacza minimalną prędkość wiatru i poziom turbulencji dla warunków niekomfortowych. W ogólnej postaci można go zapisać jako:

$$U_e = \bar{U} + \lambda \cdot \sigma_U > U_{THR} \quad (1)$$

gdzie:

U_e – efektywna prędkość wiatru [m/s],

\bar{U} – średnia prędkość wiatru [m/s],

λ – współczynnik szczytu,

σ_U – odchylenie standardowe prędkości wiatru [m/s],

U_{THR} – wartość progowa prędkości wiatru (wszystkie wielkości odnoszą się do poziomu pieszego) [m/s].

Badania eksperymentalne nad komfortem, w przeciwieństwie do badań dotyczących oddziaływania wiatru, prowadzone są niezmiernie rzadko. Większość progów dyskomfortu opiera się na badaniach dotyczących oddziaływania wiatru oraz na intuicji, nie zaś na rzeczywistych badaniach komfortu człowieka [6][7]. W rzeczywistości warunki komfortowe nie występują zawsze, stąd jesteśmy zmuszeni akceptować przez pewien okres czasu warunki niekomfortowe. Prawdopodobieństwo wystąpienia dyskomfortu i warunków niebezpiecznych definiowane jest jako procentowy udział godzin (w ciągu roku), w których progi są przekroczone. Maksymalny dozwolony udział procentowy uzależniony jest od rodzaju planowanej aktywności człowieka czy przeznaczenia terenu. Najczęściej wyróżnia się strefy, w których człowiek porusza się (wolno, normalnie, szybko), przebywa krótko w ustalonej pozycji lub przebywa długo w ustalonej pozycji. Jako próg dyskomfortu w większości kryteriów przyjmowana jest prędkość z przedziału 4 – 6 m/s [8].

Podobnie jak w przypadku progów dyskomfortu maksymalne akceptowane prawdopodobieństwo dyskomfortu generalnie oparte jest na intuicji. Istotne badania eksperymentalne nad komfortem prowadzone były przez Jacksona [9] oraz Lawsona i Penwardena [10]. Wyniki ich obserwacji stały się podstawą konstruowania kryteriów przez wielu autorów. Między innymi zostały one uwzględnione przez developerów centrów handlowych w Holandii, którzy wymagają spełnienia następującego warunku. $P_{max}(U_{ped} > 5 \text{ m/s}) < 5\%$ [11].

Różnorodność kryteriów powoduje trudności w porównywaniu uzyskanych wyników. W praktyce wiele firm, jednostek badawczych, czy nawet miast przyjmuje odmienne procedury oceny, oparte dodatkowo na własnym doświadczeniu.

2.2. Kryteria termiczne

W porównaniu do zagadnień mechanicznego oddziaływania wiatru na człowieka, zagadnienia komfortu termicznego mają charakter bardziej złożony. Odczucia komfortu wiążą się ze zmianami temperatury ciała wywołanymi wzrostem lub spadkiem temperatury powietrza zewnętrznego, efektem chłodzącym wiatru, konwekcyjnym oraz promieniowym oddawaniem ciepła z powierzchni ciała. Istnieje cały szereg czynników mających wpływ na wymianę ciepła pomiędzy człowiekiem a środowiskiem zewnętrznym. Wśród parametrów fizycznych największe znaczenie mają: temperatura powietrza, prędkość wiatru, natężenie promieniowania słonecznego, wilgotność względna i temperatura promieniowania. Równie istotne są parametry związane z samym człowiekiem, takie jak aktywność, czas ekspozycji, izolacyjność cieplna odzieży czy wreszcie czynniki psychologiczne związane z poziomem adaptacji, oczekiwaniami lub wcześniejszymi doświadczeniami człowieka.

Złożoność problemu powoduje, że najczęściej stosowane są proste wskaźniki, jak temperatura odczuwalna czy wskaźnik ochłodzenia wiatrem.

Według Soligo i in. [12], efekt chłodzący wiatru winien być uwzględniany w ocenie warunków komfortu pieszych, jeśli temperatura powietrza spada poniżej 10°C. Czynnikiem chłodzący wiatru (ang. wind chill index, WCI) można wyznaczyć za pomocą równania

$$WCI = \left(10,45 + 10\bar{U}^{1/2} - \bar{U} \right) (33 - T_a) \quad (2)$$

gdzie: –

\bar{U} – prędkość wiatru (>1,78m/s) [m/s],

T_a – temperatura zewnętrzna powietrza ($\leq 10^\circ\text{C}$) [°C].

Dla powyższych warunków można określić temperaturę odczuwalną, czyli temperaturę, przy której w warunkach bezwietrznych doszłoby do takiego samego wychłodzenia organizmu.

$$T_{eq} = -0,04544(WCI) + 33^\circ\text{C} \quad (3)$$

gdzie:

T_{eq} – temperatura odczuwalna (ekwiwalentna) [°C].

Za minimalną akceptowaną temperaturę ekwiwalentną Soligo i in. [12] przyjmują – 20°C.

W 2001 roku wprowadzono nową formułę, opisującą efekt chłodzący wiatru w oparciu o starty ciepła z odsłoniętej twarzy człowieka. Temperatura ekwiwalentna (odczuwalna) wyznaczana jest z zależności:

$$T_{eq} = 13,12 + 0,6215T_a - 11,37\bar{U}^{-0,16} + 0,3965T_a\bar{U}^{-0,16} \quad (4)$$

gdzie:

T_a – temperatura zewnętrzna powietrza [°C],

\bar{U} – prędkość wiatru w km/h, zmierzona na wysokości 10 m.

Powyższa zależność opracowana została dzięki stworzeniu modelu ludzkiej skóry I rozpoznaniu zmian temperatury jej powierzchni w różnych warunkach temperatury I wiatru. Nie uwzględnia ona jednak wpływu promieniowania słonecznego.

Bardziej złożone metody analizy komfortu człowieka, oparte na bilansie cieplnym człowieka, stosowane są w biometeorologii. Początkowo w modelach rozważano wymianę ciepła między powierzchnią ciała a otoczeniem, traktując organizm jako jedną całość bez uwzględniania jego złożonej budowy wewnętrznej i anatomicznej. Spośród wielu modeli tego typu można wymienić: MEMI i wyprowadzony z niego wskaźnik PET, Klima- Michel – Model i wskaźnik PT czy model MENEX 2005 i wskaźniki PST i PhS Błażejczyka [13]. Modele te stanowiły niewątpliwie poważny wkład w badania bioklimatyczne odnosząc się do rzeczywistych reakcji fizjologicznych organizmu na bodźce atmosferyczne. Niektóre z nich uwzględniają także indywidualne cechy osobnicze I procesy adaptacyjne do warunków otoczenia. Kolejnym krokiem w celu uwzględnienia wszystkich procesów I mechanizmów gospodarki cieplnej organizmu są modele wielowęzłowe bilansu celnego. Uwzględniają one przepływ ciepła pomiędzy wnętrzem organizmu i jego poszczególnymi warstwami

(kostną, mięśniową, tłuszczową, podskórną, skórną) oraz pomiędzy powierzchnią ciała i otoczeniem. Biorą także pod uwagę specyficzne cechy przepływu i wymiany ciepła w różnych częściach ciała (tułów, głowa, kończyny). Na bazie jednego z tych modeli powstał nowy wskaźnik termiczny (UTCI). Mimo niewątpliwie ogromnego postępu w rozwoju metod opisu złożonych procesów wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem wykorzystanie powyższych wskaźników w praktyce inżynierskiej jest problematyczne. Wiele z parametrów, które należy uwzględnić w modelu zarówno meteorologicznych, jak i fizjologicznych jest trudno dostępnych (np. natężenie promieniowania, temperatura skóry). Istnieje więc potrzeba wprowadzenia wskaźników bazujących na dostępnych danych meteorologicznych i uwzględniających jednocześnie aspekt fizjologiczny.

3. Kryterium oparte o obciążenie cieplne organizmu

Dokonując przeglądu różnych modeli bilansu cieplnego uznano, że najbardziej przydatnym może być model pozwalający określić bilans cieplny człowieka w warunkach stacjonarnych i niestacjonarnych. Uwzględnia on bowiem zarówno stan fizyczny atmosfery otaczającej człowieka, jak i fizjologiczne reakcje ustroju. Istnieje możliwość uzyskania informacji dotyczącej gospodarki cieplnej organizmu człowieka i stopnia obciążenia termicznego w danych warunkach środowiskowych.

Badania przeprowadzone w wielu krajach świata [13] wykazały, że istnieją związki korelacyjne obserwowane pomiędzy natężeniem strumieni ciepła a temperaturą powietrza i prędkością wiatru umożliwiające zastosowanie uproszczonych procedur obliczeniowych. W celu określenia kryteriów termicznych opartych o równanie bilansu cieplnego człowieka wprowadzono założenia:

- metabolizm $M - 70\text{W/m}^2$ (45W/m^2 – metabolizm podstawowy, 25W/m^2 – pozycja stojąca)
- termoizolacyjność odzieży 1 clo ($0,155\text{K m}^2/\text{W}$)
- pochłonięte promieniowanie słoneczne $R - 30\text{W/m}^2$
- wymiana ciepła przez parowanie $Q_E - 8\text{W/m}^2$ dla $T_a < +5^\circ\text{C}$, 20W/m^2 dla $T_a \geq +5^\circ\text{C}$
- wymiana ciepła przez przewodzenie Q_K jest pomijana
- straty ciepła na oddychanie $Q_R - 8\text{W/m}^2$
- oraz szacunkowe zależności określające wymianę ciepła przez konwekcję i promieniowanie długofalowe w oparciu o temperaturę i prędkość wiatru.

W sytuacji pogodowej, gdy prędkość wiatru $U \leq 4\text{m/s}$ i temperatura $T_a \geq +5^\circ\text{C}$

$$Q_C + Q_L = 3,4T_a + 0,2\bar{U} - 118,8 \quad (5)$$

Dla prędkości wiatru $U \leq 4\text{m/s}$ i temperatury $T_a < +5^\circ\text{C}$

$$Q_C + Q_L = 1,7T_a + 6,0\bar{U} - 101,4 \quad (6)$$

Dla prędkości wiatru $U \leq 4\text{m/s}$ i temperatury $T_a \geq +5^\circ\text{C}$

$$Q_C + Q_L = 3,3T_a + 0,2\bar{U} - 127,8 \quad (7)$$

Dla prędkości wiatru $U > 4\text{m/s}$ i temperatury $T_a < +5^\circ\text{C}$

$$Q_C + Q_L = -1,5T_a + 0,3\bar{U} - 126 \quad (8)$$

Uwzględniając powyższe zależności w równaniu bilansu cieplnego otrzymano związki określające obciążenia cieplne organizmu. Parametr ten może służyć do względnego porównywania różnych warunków środowiskowych.

W sytuacji pogodowej, gdy prędkość wiatru $U \leq 4\text{m/s}$ i temperatura $T_a \geq +5^\circ\text{C}$

$$\Delta Q = 2,8T_a - 4,8\bar{U} - 29,8 \quad (9)$$

oraz dla sytuacji, gdy $\bar{U} > 4\text{m/s}$ i $T_a \geq +5^\circ\text{C}$

$$\Delta Q = 2,3T_a - 3,5\bar{U} - 35,3 \quad (10)$$

W zakresie temperatur $T_a < +5^\circ\text{C}$ równania obciążenia cieplnego organizmu ΔQ przyjmują postać:
dla prędkości wiatru $\bar{U} \leq 4 \text{ m/s}$

$$\Delta Q = 1,7T_a - 6,0\bar{U} - 23,0 \quad (11)$$

dla prędkości wiatru $\bar{U} > 4 \text{ m/s}$

$$\Delta Q = 1,5T_a - 3,0\bar{U} - 34,0 \quad (12)$$

Powyższe równania obowiązują w zakresie temperatur powietrza od $+5^\circ\text{C}$ do $+30^\circ\text{C}$ i przy prędkości wiatru od 0 do 8 m/s.

W pracy zaproponowano również przybliżoną zależność temperatury odczuwalnej T_{eq} , uwzględniającej wpływ prędkości wiatru i temperatury powietrza (otoczenia), wyznaczoną w oparciu o straty ciepła człowieka ubranego w odzież o termoizolacyjności 1 cło, wykonującego niewielki wysiłek fizyczny ($M = 70 \text{ W/m}^2$) i przy natężeniu promieniowania słonecznego $R \cong 30 \text{ W/m}^2$.

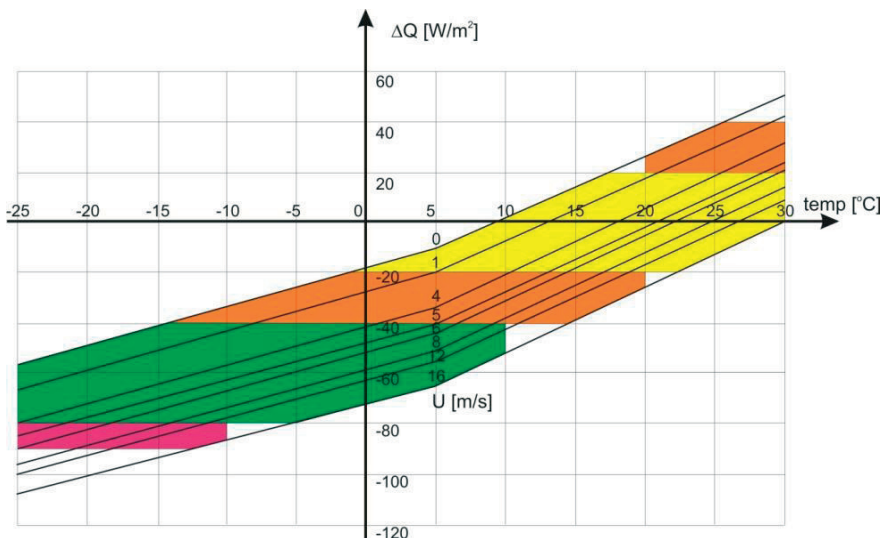
Dla temperatur $T_a < +5^\circ\text{C}$ i prędkości wiatru od 0 do 8 m/s temperaturę ekwiwalentną oszacować można korzystając z poniższej zależności

$$T_{eq} = 33 - (20 - 0,04\bar{U} - 1,2T_a) - (30 + 1,5\bar{U} + 1,05T_a)^{0,8} \quad (13)$$

dla temperatury $T_a \geq +5^\circ\text{C}$ i prędkości wiatru od 0 do 8 m/s zależność przyjmuje postać

$$T_{eq} = 33 - (21 - 0,04\bar{U} - 0,6T_a) - (31 + 1,2\bar{U} - 1,0T_a)^{0,8} \quad (14)$$

Na Rys.1. przedstawiono zależność ΔQ od temperatury powietrza T_a i prędkości wiatru wraz z zaznaczeniem progów obciążenia organizmu.



Rys. 1. Progi obciążenia cieplnego organizmu

Przyjmując termofizjologiczne zakresy sprawności układu termoregulacyjnego zakłada się, że ΔQ , którego wielkość bezwzględna nie przekracza 20 W/m^2 , nie powoduje obciążenia ustroju. Natomiast niedobór i nadmiar ciepła ΔQ równy $20\text{-}40 \text{ W/m}^2$ wywołuje niekorzystne obciążenie organizmu. Silne obciążenie cieplne występuje w przypadku, gdy ΔQ mieści się w granicach $40\text{-}80 \text{ W/m}^2$. Przekroczenie progu 90 W/m^2 grozi zakłóceniem w pracy układu termoregulacyjnego, prowadzącym do niebezpiecznego wychłodzenia lub przegrzania organizmu.

Ostatecznie kryteria komfortu termicznego ustalono w oparciu o poniższe progi temperatury ekwiwalentnej, T_{eq} oraz progi obciążenia cieplnego organizmu, ΔQ .

$T_{eq} < -10^{\circ}\text{C}$ - warunki niekorzystne,

$T_{eq} < -20^{\circ}\text{C}$ - warunki krytyczne,

$|\Delta Q|$ w zakresie 20 – 40 W/m^2 – niekorzystne obciążenie organizmu,

$|\Delta Q| > 40 \text{ W/m}^2$ – silnie niekorzystne obciążenie organizmu.

Pierwszą grupę stanowią progi uwzględniające niekorzystne odczucia termiczne. Natomiast drugą grupę charakteryzują ubytki i przyrosty ciepła wywołujące niekorzystne obciążenie cieplne organizmu.

4. Podsumowanie

Kształtowanie komfortu człowieka w obszarach miejskich jest zagadnieniem niezmierzenie złożonym. Na odczucia ciepła człowieka wpływają zarówno czynniki meteorologiczne, mikroklimat ukształtowany przez zabudowę jak i czynniki, związane z samym człowiekiem, jego stanem fizycznym i psychicznym. Uwzględnienie wszystkich tych elementów jest praktycznie niemożliwe. W pracy przedstawiono propozycję kryterium komfortu człowieka wyznaczone w oparciu o temperaturę efektywną i obciążenia cieplne organizmu. Wskaźniki te uwzględniają termiczny wpływ środowiska na człowieka, przy jednoczesnym uwzględnieniu fizjologicznych reakcji organizmu. Proponowane kryterium może być stosowane w planowaniu urbanistycznym do względnego porównywania projektowanych rozwiązań i poszukiwania optymalnego usytuowania budynków.

Dotychczasowe wyniki nasuwają potrzebę dalszych badań celem uwzględnienia innych równie ważnych elementów, mogących mieć wpływ na kompleksową ocenę warunków wietrznych w obszarach zabudowanych. Należałoby:

- przeprowadzić analizę warunków klimatu lokalnego dla charakterystycznych rejonów Polski,
- podjąć próbę uwzględnienia rzeźby terenu, zacienienia terenu,
- dokonać analizy wpływu strat cieplnych na zewnątrz budynków

Wskazane są dalsze badania związane z reakcją organizmu człowieka na warunki dyskomfortu wietrzego, wywołanego niekorzystnymi warunkami termicznymi oraz dynamicznymi wiatru przy różnej izolacyjności termicznej odzieży. Uzyskane dane byłyby materiałem wyjściowym do opracowania pełniejszych i dokładniejszych kryteriów komfortu i dyskomfortu wietrzego.

5. Literatura

- 1 Stathopoulos T., Wu H., Zacharias J. Outdoor human comfort in an urban climate. *Building and Environment* 39 (2004) 297-305.
- 2 Soligo M.J., Irwin P.A., Williams C.J., Schuyler G.D. A comprehensive assessment of pedestrian comfort including thermal effects. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 21 (1998) 753-766.
- 3 Delaunay D., Soubra S., Coiret A., Carre S., Bouvier P. Development of an interactive design tool for the evaluation of pedestrian thermal environment. 1 st Int. Workshop on Architectural and Urban Ambient Environment. Nantes, France (2002).
- 4 Givoni B., Noguchi M., Saaroni H., Pochter O., Yaacov Y., Feller N., Becker S. Outdoor comfort research issues. *Energy and Building*, vol. 35 (2003) 77-86.
- 5 Nagara K., Shimoda Y., Mizuno M. Evaluation of the thermal environment in an outdoor pedestrian space. *Atmospheric Environment*, vol. 30 (1996) 497-505.
- 6 Lawson T.V. The wind content of the built environment. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol 3 (1978) 93-105
- 7 Murakami S., Iwasa Y., Morikawa Y. Study on acceptable criteria for assessing wind environment on ground level based on residents diaries. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol 24 (1986) 1-18.
- 8 Flaga A. *Inżynieria wiatrowa. Podstawy i zastosowania*. Arkady (2008).

- 9 Jackson P.S. The evaluation of windy environments. *Building and Environment*, vol.13 (1978) 251-260.
- 10 Lawson T.V., Penwarden A.D. The effects of wind on people in the vicinity of buildings. Proc. 4th Int. Conf. on Buildings and Structures, Heathrow, UK (1975) 605-622.
- 11 Wisse J.A., Krüs H.W., Willemsen E. Wind comfort assessment by CFD. Proc. of COST Action C14 Workshop, Nantes, (2002) 154-16.
- 12 Soligo M.J., Irwin P.A., Williams C.J., Schuyler G.D. A comprehensive assessment of pedestrian comfort including thermal effects. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* vol.77/78 (1998), 753-766.
- 13 Błażejczyk K., Wymiana ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem w różnych warunkach środowiska geograficznego. *Prace Geograficzne PAN* nr 159 (1993).

Human comfort criteria in urban environment

Katarzyna Klemm¹

¹ *Institute of Architecture and Urban Planning, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Environmental Engineering, Technical University of Lodz, e-mail: katarzyna.klemm@p.lodz.pl*

Abstract: This paper presents human comfort criteria based on equivalent temperature and thermal load thresholds. The approximate relationship of the perceived temperature has been proposed taking into account the influence of wind speed and temperature of the ambient air. The above-mentioned index was related to a man dressed in clothes with thermal insulation of 1 clo, carrying out light physical effort ($M=70W/m^2$) and for solar radiation equal to $30W/m^2$. Thermal loads of the body were estimated by describing individual fluxes and heat balances in relation to air temperature and wind speed. It allowed to compare relatively different environmental conditions without necessity of applying complex test balance models. The proposed criteria consider total effects of mechanical and thermal influence of environment on human body. It can be used by urban planners and engineers in the process of searching for optimal building development.

Keywords: wind, temperature, human comfort, criteria

