

Barbara Krawczyk, Krzysztof Błażejczyk

**BILANS CIEPLNY CZŁOWIEKA W MIEŚCIE
(NA PRZYKŁADZIE SUPRAŚLA)**

**HEAT BALANCE OF THE HUMAN BODY IN THE URBAN AREA
(ON THE EXAMPLE OF SUPRAŚL)**

Wyniki badań wykonanych na podstawie danych z 28 czerwca 1994 r. użyto w celu przedstawienia wpływu klimatu miejskiego małego miasta Supraśl (północno-wschodnia Polska) na wymianę ciepła z ciałem człowieka. Rozważano strukturę bilansu cieplnego, jak również saldo wymiany ciepła.

WSTĘP

Wymiana ciepła pomiędzy ciałem człowieka a otoczeniem w różnych typach krajobrazu miejskiego kształtuje się pod wpływem zarówno czynników meteorologicznych, jak i antropogenicznych. Wśród tych ostatnich wymienić należy zasłonięcie horyzontu fizycznego przez zabudowę miejską i wynikające stąd ograniczenie dopływu promieniowania słonecznego, a także specyficzne właściwości radiacyjne, termiczne i aerodynamiczne sztucznego podłoża.

Bilans cieplny człowieka badano w Supraślu – niewielkim mieście położonym na północny wschód od Białegostoku. Miasto to charakteryzuje się niską zabudową i dużym udziałem terenów zielonych. Materiału do badań dostarczyły pomiary terenowe wykonane w czerwcu i w lipcu 1994 r., w kilku punktach na terenie miasta i poza nim. Pomiary elementów meteorologicznych i wskaźników biometeorologicznych (w tym temperatury skóry człowieka) prowadzono w centrum miasta, gdzie horyzont fizyczny był ograniczony zabudową od wschodu, południa i zachodu, w terenie otwartym na lekko nachylonym zboczu o ekspozycji południowej, oraz w brzeżnej części otaczającej Supraśl Puszczy Knyszyńskiej, na którą składa się tu bór świeży świerkowy z domieszką sosny i bogatym poszyciem.

Cogodzinne pomiary odbywały się od godz. 7.00 do 21.00 na wysokości 1,5 m nad gruntem, zaś obserwatorzy ubrani byli w bawełniane dresy sportowe o termoizolacyjności 1,0 clo (Kozłowska-Szczęsna, Krawczyk, Błażejczyk 1995).

METODA

Za podstawę rozważań przyjęto następującą postać równania bilansu ciepłego człowieka:

$$M + R + L + C + E + \text{Res} = S \quad (1)$$

gdzie:

- M – metaboliczna produkcja ciepła ($70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$),
- R – pochłonięte przez organizm człowieka promieniowanie słoneczne,
- L – wymiana ciepła poprzez promieniowanie długofalowe,
- C – straty ciepła w wyniku turbulencyjnego unoszenia ciepła jawnego,
- E – straty ciepła w wyniku parowania z powierzchni ciała,
- Res – straty ciepła w wyniku oddychania,
- S – saldo wymiany ciepła.

Sposób wyznaczania składników tego równania podaje Błażejczyk (1993).

Rozpatrywano następujące charakterystyki wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem stojącym a atmosferą i podłożem:

- 1) strukturę bilansu ciepłego – jako stosunek bezwzględnych wartości poszczególnych strumieni ciepła traconego przez ustrój człowieka do ich sumy,
- 2) saldo wymiany ciepła (S) – traktowane jako miara obciążenia ciepłego i wskaźnik bodźcowości warunków bioklimatycznych.

W celu scharakteryzowania struktury bilansu ciepłego człowieka i salda wymiany ciepła w okresie letnim w Supraślu wybrano jako przykład dzień pogodny (28 czerwca 1994 r.). W tab. 1 zamieszczono cogodzinne wartości poszczególnych składników równania (1), zaobserwowane w trzech punktach: w obrębie zabudowy miejskiej (Miasto) oraz poza nią: na odsłonięciu, łagodnie nachylonym zboczu (Pole) oraz w brzeżnej części Puszczy Knyszyńskiej (Las). Rysunek 1 przedstawia natomiast średnie dzienne wartości strumieni bilansu ciepłego człowieka w tym samym dniu.

WYNIKI

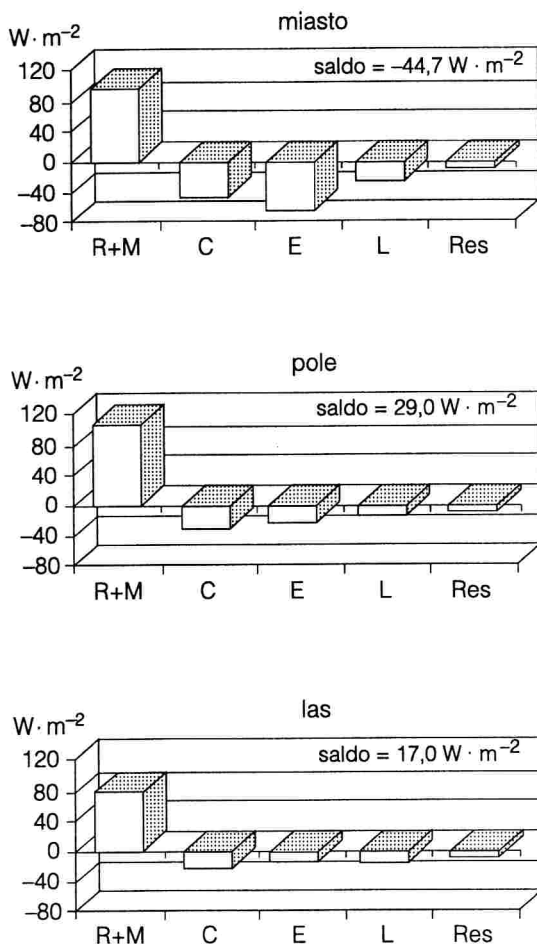
Cechą charakterystyczną struktury bilansu cieplnego człowieka przebywającego latem w centrum Supraśla jest wysoki udział strat ciepła na parowanie wody z powierzchni ciała (średnio około 48%). We wczesnych godzinach popołudniowych, kiedy temperatura skóry osiągała najwyższe wartości, udział ten wzrastał do 65%. Oznacza to, że w warunkach pogody bezchmurnej utrata ciepła poprzez parowanie potu stanowi główną część rozchodową bilansu cieplnego. Drugą co do wielkości formą utraty ciepła przez ciało człowieka są turbulencyjne straty ciepła (średnio 32,5% w ciągu dnia).

W terenie otwartym i w lesie struktura bilansu cieplnego człowieka przedstawia się nieco odmiennie. Udział E był tam mniejszy niż w centrum miasta i nie przekraczał średnio 30% (Pole) i 24% (Las). Natomiast główną formą oddawania ciepła było turbulencyjne unoszenie ciepła jawnego, stanowiąc 41% (Pole) i 39% (Las) sumy strat ciepła. Interesujące jest, że udział strat ciepła poprzez promieniowanie długofalowe (L) różni się w badanych miejscach znacznie. W centrum miasta, gdzie ciało człowieka otrzymuje ciepło emitowane przez sztuczne powierzchnie (budynków, ulic), straty ciepła długofalowego z powierzchni ciała są mniejsze (średnio 16%) niż w terenie otwartym (22%) i w lesie (28%). Straty ciepła spowodowane oddychaniem stanowią w lecie najmniejszą część bilansu cieplnego człowieka i wahają się od 4% (Miasto) do 9% (Las) wszystkich strat ciepła (rys. 1).

Wpływ zasłonięcia horyzontu uwidacznia się najwyraźniej w godzinach porannych i wieczornych w postaci ograniczonego dopływu energii słonecznej przez budynki i korony drzew. Wówczas połowę wszystkich strat ciepła stanowi turbulencyjny strumień ciepła jawnego (C), a następnie promieniowanie długofalowe (L).

Miarę obciążenia cieplnego stanowi wartość salda wymiany ciepła (S). W warunkach chwilowych, gdy wymiana ciepła z otoczeniem jest nieustabilizowana, obserwuje się niedobór lub nadmiar ciepła w organizmie człowieka. Niedobór ciepła jest uzupełniany przez strumień skierowany z wnętrza ciała do powierzchni, co prowadzi w konsekwencji do jego stopniowego wychładzania. Natomiast nadmiar ciepła jest przenoszony poprzez układ krwionośny do wnętrza ciała, powodując w efekcie stopniowe przegrzewanie organizmu. Tak więc saldo wymiany ciepła odniesione do skali obciążenia cieplnego stanowi wskaźnik obciążenia układu termoregulacyjnego i bodźcowości miejscowych warunków bioklimatycznych (Błażejczyk 1993).

Rozpatrując wartości salda wymiany ciepła (S) w dniu pogodnym w Supraślu, w obrębie zabudowy miejskiej, trzeba stwierdzić, że poza godzinami porannymi i wieczornymi było ono ujemne osiągając maksimum we wczesnych godzinach popołudniowych ($< -100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$).



Rys. 1. Struktura bilansu cieplnego człowieka i saldo wymiany ciepła w Supraślu 28 czerwca 1994 r. ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

Fig. 1. The structure of the human heat balance and net heat storage in Supraśl, 28 June 1994 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

Takie wartości S oznaczają bardzo duże obciążenie cieplne i silnie bodźcowe warunki bioklimatyczne. Jednak ten chwilowy niedobór ciepła na powierzchni ciała, spowodowany wzmożonym parowaniem potu, zostaje uzupełniony poprzez jego przenoszenie z wnętrza, a proces ten zapobiega przegrzaniu ciała człowieka. W tym samym czasie, w lesie i w terenie otwartym, saldo wymiany ciepła jest dodatnie i wskazuje na małe (Las) i umiarkowane (Pole) obciążenie cieplne organizmu (tab. 1).

W godzinach porannych i wieczornych wartości S były w badanych miejscach dodatnie, mniejsze w lesie niż w terenie otwartym, gdzie obserwowano umiarkowane obciążenie cieplne i warunki łagodnie bodźcowe. Wieczorem, w terenie otwartym, obciążenie cieplne człowieka ubranego w odzież o termoizolacyjności $1,0 \text{ clo}$ wzrosło do bardzo dużego ($S = 49 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$) na skutek znacznego jeszcze dopływu promieniowania słonecznego, przy małych stratach energii na ewaporację i konwekcję. W centrum miasta natomiast, zarówno rano, jak i wieczorem obciążenie cieplne było małe i oznaczało słabo bodźcowe warunki bioklimatyczne.

Tabela 1

Godzinne wartości składników bilansu cieplnego człowieka ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$), Supraśl 28 czerwca 1994 r.

Hourly values of the components of the human body heat balance ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$). Supraśl 28 June 1994

Składniki bilansu cieplnego człowieka							
Godzina	C	E	L	Res	R + M	S	C + E + L + Res
1	2	3	4	5	6	7	8
Miasto							
7.00	-44,4	-8,0	-29,0	-6,2	98,7	11,2	-87,5
8.00	-60,0	-29,9	-29,4	-6,0	109,5	-15,6	-125,2
9.00	-51,8	-32,5	-27,8	-5,9	114,5	-3,3	-117,9
10.00	-50,7	-40,8	-23,6	-5,7	107,7	-13,1	-120,8
11.00	-47,7	-41,8	-20,8	-5,6	106,4	-9,5	-115,9
12.00	-49,8	-60,3	-20,8	-5,6	101,7	-34,8	-136,5
13.00	-57,2	-125,3	-22,8	-5,6	103,1	-107,7	-210,8
14.00	-50,6	-137,1	-21,2	-5,5	103,8	-110,6	-214,4
15.00	-50,2	-142,6	-21,2	-5,5	105,9	-113,5	-219,5
16.00	-56,1	-133,6	-20,9	-5,5	109,6	-106,4	-216,1
17.00	-51,5	-157,1	-21,0	-5,4	108,4	-126,6	-235,0
18.00	-41,1	-57,4	-18,4	-5,5	76,8	-45,6	-122,4
19.00	-31,5	-26,7	-17,3	-5,5	75,0	-5,9	-80,9
20.00	-25,2	-16,2	-18,3	-5,5	73,3	8,1	-65,2
21.00	-25,5	-9,9	-26,5	-5,4	70,0	2,7	-67,3
Średnia	-46,2	-67,9	-22,6	-5,6	97,6	-44,7	-142,3
Pole							
7.00	-52,4	-9,6	-26,5	-6,1	117,7	23,1	-94,6
8.00	-47,9	-13,7	-23,5	-5,9	117,6	26,5	-91,1
9.00	-43,7	-21,5	-22,1	-5,6	113,9	21,0	-92,9
10.00	-37,2	-19,7	-17,8	-5,7	109,5	29,1	-80,4
11.00	-37,9	-21,0	-15,7	-5,6	106,8	26,5	-80,2
12.00	-33,2	-27,6	-16,0	-5,5	103,3	21,0	-82,3
13.00	-30,1	-33,5	-15,0	-5,5	104,1	20,0	-84,1
14.00	-30,8	-41,0	-13,3	-5,4	107,3	16,9	-90,4

Tabela 1 (cd.)

1	2	3	4	5	6	7	8
Pole							
15.00	-29,0	-40,0	-13,8	-5,4	112,2	24,1	-88,1
16.00	-17,5	-21,7	-10,1	-5,4	118,8	64,2	-54,6
17.00	-26,7	-34,4	-13,3	-5,4	116,0	36,2	-79,8
18.00	-31,4	-32,6	-14,5	-5,3	117,2	33,3	-83,8
19.00	-25,0	-23,8	-15,4	-5,3	104,2	34,6	-69,6
20.00	-22,4	-8,5	-16,0	-5,4	101,6	49,2	-52,4
21.00	-20,1	-7,2	-27,1	-5,6	70,0	9,9	-60,1
Średnia	-32,4	-23,7	-17,3	-5,5	108,0	29,0	-79,0
Las							
7.00	-28,4	-5,1	-30,9	-6,3	72,3	1,6	-70,7
8.00	-40,7	-9,2	-23,0	-6,1	73,7	-5,3	-79,0
9.00	-32,4	-9,4	-19,4	-5,8	82,6	15,6	-67,0
10.00	-23,9	-10,6	-14,0	-5,7	94,4	40,2	-54,2
11.00	-20,2	-11,1	-12,6	-5,6	106,4	56,9	-49,5
12.00	-20,6	-13,3	-12,4	-5,6	89,8	37,9	-51,8
13.00	-24,3	-22,1	-13,9	-5,6	75,6	9,7	-65,8
14.00	-22,2	-21,5	-12,7	-5,6	91,1	29,1	-62,0
15.00	-20,2	-23,6	-12,3	-5,6	74,0	12,3	-61,7
16.00	-19,1	-21,6	-12,1	-5,5	73,8	15,4	-58,4
17.00	-22,5	-27,2	-13,8	-5,6	71,9	2,8	-69,1
18.00	-23,1	-20,1	-15,9	-5,5	71,1	6,5	-64,5
19.00	-17,8	-12,2	-19,5	-5,6	70,3	15,2	-55,1
20.00	-21,9	-9,3	-23,6	-5,6	71,4	11,0	-60,4
21.00	-24,5	-7,3	-26,4	-5,7	70,0	6,0	-64,0
Średnia	-24,1	-14,9	-17,5	-5,7	79,2	17,0	-62,2

WNIOSKI

Przeprowadzone w Supraślu szczegółowe badania wymiany ciepłej między ciałem człowieka a otoczeniem w różnych typach środowiska przyrodniczego ujawniły zróżnicowanie przestrzenne zarówno struktury bilansu ciepłego, jak i salda wymiany ciepła.

W dniu pogodnym wpływ zabudowy miejskiej uwidocznił się w ograniczeniu dopływu promieniowania słonecznego (rano i wieczorem). Cechą charakterystyczną struktury bilansu ciepłego człowieka w mieście (w dniu pogodnym) jest występowanie większych niż poza miastem wartości strumienia ciepła utajonego związanego z parowaniem potu z powierzchni ciała człowieka i ujemne saldo wymiany ciepła.

LITERATURA

- Błażejczyk K., 1993, *Wymiana ciepła między ciałem człowieka a otoczeniem w różnych warunkach środowiska geograficznego*, Pr. Geogr., z. 159
- Kozłowska-Szczęśna T., Krawczyk B., Błażejczyk K., 1995, *Warunki bioklimatyczne Supraśla*, Zesz. IGiPZ PAN, nr 33.

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania
im. S. Leszczyckiego PAN
w Warszawie

SUMMARY

The results of field investigations carried out on 28 June 1994, were used for the presentation of the influence of urban climate of the small town Supraśl (north-eastern Poland) on heat exchange on the human body. The structure of the heat balance as well as net heat storage were taken into consideration.