

## Zmienność przebiegu dobowego wybranych wskaźników bioklimatycznych w Kołobrzegu w okresie letnim w latach 1981–1990

*Variability of daily course of selected bioclimatic indices in Kołobrzeg  
during summer-season over the period 1981–1990*

**MONIKA BĄKOWSKA**

Instytut Geografii, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, 85-428 Bydgoszcz,  
ul. Mińska 15; monika.bakowska@gmail.com

**Zarys treści.** Celem opracowania jest analiza i ocena zmienności dobowej warunków meteorologicznych i biometeorologicznych w Kołobrzegu w latach 1981–1990. W badaniach wykorzystano uśrednione wartości temperatury powietrza, temperatury punktu rosy, zachmurzenia, prędkości wiatru i ciśnienia powietrza atmosferycznego z godz. 0:00, 3:00, 6:00, 9:00, 12:00, 15:00, 18:00, i 21:00. Analiza dotyczy okresu od czerwca do sierpnia lat 1981–1990.

W celu oceny warunków bioklimatycznych obliczono następujące wskaźniki: temperatura odczuwalna (*STI*), stres termofizjologiczny (*PhS*), przewidywana termoizolacyjność odzieży (*Iclp*), dopuszczalny poziom aktywności fizycznej (*MHR*) oraz promieniowanie słoneczne pochłonięte przez człowieka nieubranego (*R\**). Badanie dobowego przebiegu przyjętych wskaźników wykazało ich istotną zmienność w kolejnych latach. Zmienność ta dotyczy zarówno wartości wskaźników, jak i specyficznych cech przebiegu dobowego. Przede wszystkim zaznaczyło się nasilanie się ciepłych warunków otoczenia w godzinach okołopołudniowych.

**Słowa kluczowe:** bioklimatologia, wskaźniki bioklimatyczne, odczucia cieplne, Kołobrzeg, przebieg dobowy, masy powietrza.

### Wstęp

Zmiany dobowe warunków meteorologicznych i biometeorologicznych są zagadnieniem szczególnie istotnym w przypadku miejscowości uzdrowiskowych. Poznanie dobowego cyklu warunków odczuwalnych nad polskim wybrzeżem umożliwi skuteczne wykorzystanie panujących tam warunków do terapii klimatycznej (Kozłowska-Szczęśna i inni, 2002).

Do oceny warunków biometeorologicznych stosuje się zarówno wskaźniki proste, ujmujące w postać wzorów empirycznych zależności między wartościami elementów meteorologicznych, jak i wskaźniki oparte na analizie bilansu cieplnego człowieka. Wskaźniki oparte na bilansie cieplnym człowieka nazywa-

ne są biotermicznymi i dostarczają informacji o rzeczywistym wpływie bodźców atmosferycznych na organizm oraz o natężeniu fizjologicznych reakcji dostosowawczych do warunków otoczenia. Z tego względu lepiej nadają się do określenia bezpośredniego oddziaływania warunków meteorologicznych na organizm człowieka niż tradycyjne wskaźniki proste (Błażejczyk, 2004).

W Polsce zagadnieniem zmienności warunków bioklimatycznych zajmował się K. Błażejczyk (2003, 2007), badając wieloletnie wahania niektórych wskaźników biotermicznych (STI, PhS) na polskim wybrzeżu Bałtyku oraz w Sudechach. Ż. Papiernik (2001) na podstawie prostych wskaźników biometeorologicznych badała zmienność warunków bioklimatycznych w Łodzi, a M. Owczarek (2007) zastosowała biotermiczny wskaźnik temperatury odczuwalnej (STI) do prześledzenia zmian bioklimatu Gdyni. K. Błażejczyk i inni (2003) oraz M. Bąkowska i K. Błażejczyk (2007) określili wieloletnią zmienność warunków bioklimatycznych, wyznaczonych na podstawie wartości średnich miesięcznych, dla Krakowa oraz Kołobrzegu.

### Cel, materiały i metody badań

Celem opracowania jest określenie specyfiki i zbadanie zmienności cyklu dobowego wskaźników biometeorologicznych w Kołobrzegu. Do analizy wykorzystano codzienne dane pochodzące z lat 1981–1990, z trzech miesięcy letnich, tj. czerwca, lipca i sierpnia, z 8 terminów obserwacyjnych (z godz. 0:00, 3:00, 6:00, 9:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00) dotyczące: zachmurzenia ( $N$ , %), prędkości wiatru ( $v$ ,  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), ciśnienia powietrza ( $p$ , hPa), temperatury powietrza ( $t$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ), temperatury punktu rosy ( $td$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ). Na podstawie wymienionych elementów meteorologicznych zostały policzone (za pomocą programu BioKlima 2.5) wskaźniki biometeorologiczne i biotermiczne, a następnie uśrednione dla całego okresu letniego oraz dla poszczególnych mas powietrza. Dane dotyczące mas powietrza pochodzą z kalendarza map synoptycznych Europy, zamieszczanych w *Codziennym Biuletynie Meteorologicznym* (1981–1990).

W obecnych badaniach oparto się na następujących wskaźnikach.

#### 1. Wskaźniki proste:

– przewidywana termoizolacyjność odzieży ( $Iclp$  – *Insulation Predicted*, w jednostkach  $\text{clo}$ ), która pozwala na określenie izolacyjności odzieży potrzebnej w danych warunkach meteorologicznych do zachowania równowagi cieplnej organizmu; jest funkcją temperatury powietrza i prędkości wiatru oraz metabolizmu  $M$  (przyjętego w badaniach jako  $135 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ); liczy się wg wzoru (Kozłowska-Szczęśna i inni, 1997):

$$Iclp = \{0,082 [91,4 - (1,8 t + 32)] / (0,01724 M)\} - [1 / (0,61 + 1,9 v^{0,5})]$$

– dopuszczalny poziom aktywności fizycznej ( $MHR$  – *Accepted level of physical activity*, w  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ), określający poziom aktywności niepowodujący nadmier-

nego obciążenia serca; obliczany dzięki znajomości temperatury powietrza i prężności pary wodnej ( $vp$ , hPa) (Błażejczyk, 2004):

$$MHR = [90 - 22,4 - 0,25 (5 t + 2,66 vp)] / 0,18.$$

2. Wskaźniki oparte na analizie bilansu cieplnego człowieka:

– temperatura odczuwalna ( $STI$  – *Subjective Temperature Index*, w °C) – podstawą jest średnia temperatura promieniowania ( $Mrt$ , °C), która odzwierciedla natężenie bodźców termicznych otoczenia docierających do zewnętrznej warstwy odzieży noszonej przez człowieka w danych warunkach pogodowych;  $STI$  uwzględnia także saldo ( $S$ ) wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem (Błażejczyk, 2003, 2004):

w przypadku, gdy  $S < 0 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$

$$STI = Mrt - \{[|S|^{0,75} / (5,386 \cdot 10^{-8}) + 273^4]^{0,25} - 273\}$$

w przypadku, gdy  $S \geq 0 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$

$$STI = Mrt + \{[|S|^{0,75} / (5,386 \cdot 10^{-8}) + 273^4]^{0,25} - 273\}$$

– stres termofizjologiczny ( $PhS$  – *Physiological Strain*, bez wymiaru) pozwala na określenie, jakie termoregulacyjne reakcje dostosowawcze organizmu występują w danych warunkach otoczenia; jest stosunkiem strat ciepła z organizmu człowieka przez unoszenie (konwekcję  $C$ ) do strat ciepła poprzez parowanie potu (ewaporację  $E$ ):

$$PhS = C / E$$

– promieniowanie słoneczne pochłonięte przez człowieka nieubranego ( $R'$  – *Solar radiation absorbed by nude man*, w  $\text{Wm}^{-2}$ ) – uzależnione od natężenia promieniowania słonecznego, kąta padania promieni słonecznych, struktury promieniowania słonecznego, albedo podłoża i usytuowania sylwetki człowieka w stosunku do promieni słonecznych. Może być obliczone w różny sposób w zależności od posiadanych danych. W pracy użyto formuły:

$$R' = \{[5,39 \cdot 10^{-8} (273 + Mrt)^4] - [5,39 \cdot 10^{-8} (273 + t)^4]\},$$

gdzie  $Mrt$  to średnia temperatura promieniowania (°C), czyli temperatura powierzchni ciała, jaka kształtuje się w wyniku działania promieniowania cieplnego otoczenia oraz pochłoniętego przez tkankę skórną promieniowania słonecznego (Kozłowska-Szczęsna i inni, 1997; Błażejczyk, 2003, 2004).

W celu ogólnej charakterystyki klimatycznej i bioklimatycznej obliczono średnią arytmetyczną elementów meteorologicznych i wskaźników biometeorologicznych z okresu od czerwca do sierpnia lat 1980. (liczone jako średnie arytmetyczne z 8 terminów obserwacyjnych) oraz wartości trendu tych elementów. Określono również wartości średnie oraz dokonano analizy regresji liniowej dla poszczególnych godzin w celu pokazania zmienności wieloletniej warunków klimatycznych i bioklimatycznych w różnych porach doby. Obliczone wartości współczynników regresji przeanalizowano pod kątem istotności statystycznej za pomocą parametrycznego testu t-Studenta.

Określono także amplitudy wahań wartości wskaźników biometeorologicznych w kolejnych latach okresu 1981–1990.

Dane terminowe aproksymowano funkcją wielomianową 4 stopnia, za pomocą której określono wartości i godziny wystąpienia minimów i maksimów temperatury powietrza i wskaźnika temperatury odczuwalnej. Wartości ekstremalne obliczone zostały więc nie z wartości rzeczywistych, lecz na podstawie funkcji wielomianowej. Analiza ta pomogła odpowiedzieć na pytanie, czy istnieje tendencja do przesuwania się minimum i maksimum dobowego w czasie oraz zmian samych wartości, czy też występowanie wartości ekstremalnych jest przypadkowe i nie wiąże się z żadnym trendem.

Określono również częstość występowania wskaźników temperatury odczuwalnej i stresu termofizjologicznego w charakterystycznych przedziałach ich wartości, dzięki czemu możliwe stało się pokazanie odczuć ciepłych występujących na polskim wybrzeżu w miesiącach letnich w różnych porach doby.

Ponadto obliczono uśrednione przebiegi dobowe czterech wskaźników dla czterech rodzajów mas powietrza: powietrza arktycznego (PA), polarno-morskiego (PPm), polarno-kontynentalnego (PPk) oraz zwrotnikowego (PZ).

## Wyniki

### Ogólna charakterystyka warunków meteorologicznych i biotermicznych

W latach 1981–1990 warunki meteorologiczne cechowały się zachmurzeniem nieba około 64%, prędkością wiatru  $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , ciśnieniem powietrza około 1014 hPa i temperaturą powietrza  $16,2^\circ\text{C}$  (tab. 1). Średnie wartości wskaźników wskazywały na raczej chłodne warunki otoczenia. Wartość wskaźnika temperatury odczuwalnej odpowiadała odczuciom typu „chłodno”, wskaźnika stresu termofizjologicznego natomiast „znaczemu natężeniu stresu zimna”.

Tabela 1. Średnie arytmetyczne i wartości trendów elementów meteorologicznych i wskaźników biotermicznych w Kołobrzegu w okresie od czerwca do sierpnia (1981–1990)

The arithmetic means and linear trends noted for meteorological elements and bioclimatological indices in Kołobrzeg in June–August (1981–1990)

	<i>N</i> (%)	<i>v</i> ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	<i>p</i> (hPa)	<i>t</i> ( $^\circ\text{C}$ )	<i>td</i> ( $^\circ\text{C}$ )	<i>Iclp</i> (clo)	<i>MHR</i> ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ )	<i>STI</i> ( $^\circ\text{C}$ )	<i>PhS</i>
Średnia 10-letnia <i>10-year average</i>	64,12	2,51	1013,84	16,25	12,24	0,74	208,99	18,13	1,88
Trend 10-letni <i>10-year trend</i>	2,18	<b>-0,43</b>	-0,3	-0,11	-0,45	-0,01	2,47	-0,22	-0,07

Pogrubią czcionką zaznaczono trend istotny statystycznie na poziomie 0,05.

Bold –  $p < 0,05$ .

Trend elementów meteorologicznych wskazuje, że w Kołobrzegu w latach 1981–1990 odnotowano wzrost zachmurzenia o około 2%. Pozostałe elementy

wykazały natomiast nieznaczny spadek: prędkość wiatru spadła o  $0,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , a ciśnienie o  $0,3 \text{ hPa}$ . Bardzo mały spadek zanotowano w przypadku temperatury powietrza – zaledwie  $0,1^\circ\text{C}$ , temperatura punktu rosy spadła natomiast niemal o  $0,5^\circ\text{C}$ . Należy dodać, że spośród wymienionych zmian jedynie spadek prędkości wiatru odznaczał się trendem istotnym statystycznie.

Odnotowano wzrost wskaźnika dopuszczalnej aktywności fizycznej, wyniósł on  $2,47 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Wzrost tego wskaźnika koreluje z ujemnym trendem wskaźnika temperatury odczuwalnej o wartości  $0,2^\circ\text{C}$ . Takie wartości trendów mogą oznaczać, że latem w badanym okresie wystąpiło niewielkie osłabienie natężenia bodźców termicznych otoczenia, co z kolei przełożyło się na możliwość zwiększenia wysiłku fizycznego. Wartości trendów pozostałych dwóch wskaźników nie wskazują na pojawienie się zmian warunków biotermicznych (tab. 1).

### **Dobowa zmienność warunków meteorologicznych i biotermicznych**

#### *Średnia arytmetyczna*

Dobowy przebieg zachmurzenia cechuje się wyższymi wartościami w godzinach dziennych niż w godzinach nocnych. Średnie wartości  $N$  są najniższe około północy ( $58,5\%$ ), najwyższe natomiast we wczesnych godzinach rannych, tj. o 6:00 i 9:00 (odpowiednio  $67,0$  i  $67,6\%$ ).

Średnie prędkości wiatru wahały się od około  $2,0\text{--}2,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  w godzinach wieczornych i nocnych do  $3,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  w godzinach okołopołudniowych.

W dobowym przebiegu ciśnienia powietrza zaznaczają się dwa minima: o godz. 3:00 i 18:00, kiedy to wartości  $p$  wynosiły odpowiednio  $1013,5$  i  $1013,7 \text{ hPa}$ . Najwyższą wartość ciśnienia atmosferycznego obserwuje się w godzinach okołopołudniowych – nieco ponad  $1014,1 \text{ hPa}$ .

Najniższe wartości temperatury odnotowano w Kołobrzegu około godziny 3:00, wynosiła ona wówczas nieco poniżej  $14^\circ\text{C}$ . Najwyższe wartości temperatura osiągnęła między 9:00 a 15:00, przekraczając  $18^\circ\text{C}$ .

W przebiegu wartości temperatury punktu rosy zanotowano minimum (ok.  $11,6^\circ\text{C}$ ) o godzinie 3:00, natomiast maksimum dobowe ( $12,5^\circ\text{C}$ ) o 6:00. W ciągu dnia temperatura punktu rosy systematycznie spadała i w godzinach wieczornych wyniosła około  $12,3^\circ\text{C}$  (tab. 2).

Najniższa wartość wskaźnika temperatury odczuwalnej wystąpiła o 3:00 nad ranem i wynosiła prawie  $6^\circ\text{C}$ . Najwyższą średnią wartość  $STI$ ,  $>30^\circ\text{C}$ , odnotowano w godzinach okołopołudniowych. Przedstawiony przebieg średnich wartości  $STI$  oznacza występowanie latem w Kołobrzegu warunków chłodnych od 18:00 do 6:00 rano i warunków neutralnych w godzinach 9:00–15:00.

Przebieg wskaźnika  $MHR$  prowadzi do wniosku, że w Kołobrzegu niemal przez całą dobę możliwa jest intensywna aktywność fizyczna. Najwyższe wartości zanotowano w godzinach rannych (o 3:00), kiedy wartość  $MHR$  wyniosła  $230 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . W ciągu dnia wartość  $MHR$  malała, osiągając minimum (nieco ponad

190 Wm<sup>-2</sup>) około 12:00. Odpowiada to intensywnemu spacerowi połączonemu z ćwiczeniami gimnastycznymi lub zajęciami sportowym (siatkówka, tenis, itp.).

Tabela 2. Średnie wartości elementów meteorologicznych w kolejnych godzinach  
Mean values for meteorological elements at particular hours

Godz. / Time	N (%)	<i>v</i> (ms <sup>-1</sup> )	<i>p</i> (hPa)	<i>t</i> (°C)	<i>td</i> (°C)
0:00	58,57	2,03	1013,77	14,34	12,00
3:00	64,45	2,07	1013,51	13,59	11,66
6:00	66,99	2,41	1013,72	15,31	12,52
9:00	67,63	3,00	1014,07	17,73	12,51
12:00	66,51	3,30	1014,14	18,45	12,37
15:00	64,59	2,96	1013,91	18,28	12,30
18:00	63,84	2,40	1013,68	16,97	12,24
21:00	60,37	1,95	1013,89	15,36	12,31

W godzinach rannych średnia wartość *Iclp* była najwyższa – 0,88 clo, co odpowiada odzieży letniej, lekkiej (typu lekki ubiór sportowy). Najniższe wartości zanotowano między 12:00 a 15:00, kiedy wskaźnik *Iclp* wynosił 0,65 clo. Wartość ta oznacza odzież lekką złożoną z białizny, T-shirta, szortów oraz sandałów.

Najwyższe średnie wartości wskaźnika *PhS* – >2,1 występują w godzinach wczesnorannych, wskazując na nasilenie się w tym czasie stresu zimna. W ciągu dnia wartości tego wskaźnika, mimo że niższe (ok. 1,64), również występują w przedziale oznaczającym niewielki stres zimna (tab. 3).

Tabela 3. Średnie arytmetyczne wartości wskaźników biometeorologicznych i biotermicznych w kolejnych godzinach  
Mean values for bioclimatological indices at particular hours

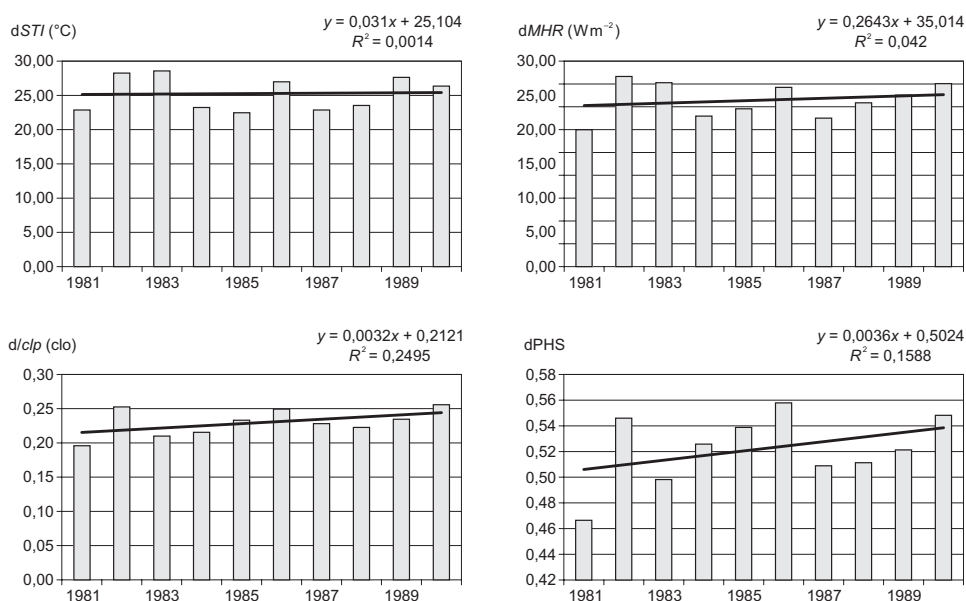
Godz. / Time	<i>STI</i> (°C)	<i>MHR</i> (W·m <sup>-2</sup> )	<i>Iclp</i> (clo)	<i>PhS</i>	<i>R'</i> (W·m <sup>-2</sup> )
0:00	7,00	223,22	0,83	2,06	0,00
3:00	5,87	229,60	0,88	2,17	0,00
6:00	18,94	214,68	0,80	2,02	61,16
9:00	28,07	197,75	0,69	1,75	94,05
12:00	31,14	193,14	0,66	1,66	99,75
15:00	28,59	194,60	0,65	1,65	88,13
18:00	17,01	203,94	0,69	1,77	32,32
21:00	8,39	215,01	0,75	1,92	0,00

Wskaźnik *R'* obliczony w celu analizy roli czynnika solarnego w kształtowaniu warunków odczuwalnych w okresie letnim najwyższe wartości przyjmuje w godzinach górowania słońca. Występująca o 12:00 wartość wskaźnika

bliska  $100 \text{ Wm}^{-2}$  wskazuje na istotną rolę promieniowania słonecznego w kształtowaniu odczuć ciepłych w okresie letnim, co potwierdza również występująca w tym samym czasie maksymalna wartość wskaźnika temperatury odczuwalnej.

### Amplituda wskaźników biometeorologicznych

W przebiegu wieloletnim amplitudy wskaźnika *STI* nie widać wyraźnego trendu. Najwyższe wartości amplitudy zanotowano w latach 1982, 1983 i 1989 – odpowiednio  $28,25$ ,  $28,56$  i  $27,62^\circ\text{C}$ , najniższe natomiast w roku 1985 – zaledwie  $22,46^\circ\text{C}$  (ryc. 1).



Ryc. 1. Amplitudy wskaźników: temperatury odczuwalnej (*dSTI*), dopuszczalnej aktywności fizycznej (*dMHR*), przewidywanej izolacyjności termicznej odzieży (*dIclp*) oraz stresu termofizjologicznego (*dPhS*) w Kołobrzegu w okresie od czerwca do sierpnia w latach 1981–1990

Amplitudes for the Subjective Temperature Index (*dSTI*), Accepted level of physical activity (*dMHR*), Insulation Predicted (*dIclp*) and Physiological Strain (*dPhS*) determined for Kołobrzeg in June–August (1981–1990)

Amplitudy dopuszczalnego poziomu aktywności fizycznej w badanym okresie wykazują nieznaczny trend rosnący. Najwyższą wartość amplitudy *MHR* zanotowano jednak w roku 1982:  $41,63 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Rok wcześniej wartość amplitudy była najniższa w całym dziesięcioleciu (tylko  $29,97 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ). Zarówno to jak i fakt, że koniec lat 1980. odznaczył się stopniowym wzrostem amplitudy, która w okresie 1988–1990 przekroczyła  $35 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  (sięgając w ostatnim roku

40,07 W·m<sup>-2</sup>) sprawiło, że ogólny trend zmian amplitudy wskaźnika *MHR* był dodatni (ryc. 1).

Amplitudy wskaźnika *Iclp* cechuje trend rosnący. Najniższa wartość amplitudy wystąpiła w 1981 r. – 0,20 clo. W przebiegu wyraźnie zaznaczają się również 3 maksima – w latach 1982, 1986 i 1990 (ryc. 1).

Amplitudy wskaźnika *PhS* mają wyraźny, dodatni trend w latach 1981–1990. Różnica między najwyższą a najniższą wartością amplitudy jest bardzo duża. Najniższa wartość amplitudy odnotowana została w 1981 r. – zaledwie 0,47, najwyższa zaś wystąpiła w 1986 – 0,56 (ryc. 1).

Badane trendy amplitudy wymienionych wskaźników są nieistotne statystycznie, niemniej jednak z przedstawionego charakteru zmian wynika, że zanotowany wzrost amplitud oznacza powiększanie się w kolejnych latach różnic między najwyższymi a najniższymi wartościami wskaźników, a tym samym wzrost zróżnicowania występujących odczuć cieplnych.

## Trendy zmian w różnych porach doby

### Trend elementów meteorologicznych

Jak wynika z przeprowadzonych obliczeń, w badanym dziesięcioleciu jedynie w stosunku do prędkości wiatru stwierdzono istotne statystycznie trendy; w przypadku wskaźników biometeorologicznych są one nieistotne (tab. 4). Na taki wynik wpływa przede wszystkim fakt, że analiza obejmuje okres tylko 10 lat. Istotne zmiany były obserwowane dopiero w przypadku długich ciągów, np. 50-letnim, gdzie trendy średniej dobowej temperatury odczuwalnej w okresie 1951–2000 w czerwcu, lipcu i sierpniu były istotne statystycznie (Bąkowska i Błażejczyk, 2007).

Tabela 4. Wartości trendu elementów meteorologicznych i wskaźników biometeorologicznych w poszczególnych godzinach

Linear trends for meteorological elements and bioclimatological indices recorded at particular hours

Godz. <i>Time</i>	<i>N</i> (%)	<i>v</i> (m·s <sup>-1</sup> )	<i>p</i> (hPa)	<i>t</i> (°C)	<i>td</i> (°C)	<i>STI</i> (°C)	<i>MHR</i> (W·m <sup>-2</sup> )	<i>Iclp</i> (clo)	<i>PhS</i>
0:00	0,46	<b>-0,44</b>	-0,46	-0,43	-0,13	-0,07	3,52	0,002	-0,05
3:00	-0,53	-0,45	-0,48	-0,35	-0,20	-0,02	3,20	0,004	-0,06
6:00	0,70	<b>-0,54</b>	-0,46	-0,34	-0,16	-0,18	3,17	-0,01	-0,07
9:00	5,59	-0,41	-0,42	0,08	-0,50	-0,31	1,41	-0,02	-0,09
12:00	2,64	-0,39	-0,44	0,32	-0,82	0,26	0,81	-0,03	-0,12
15:00	2,84	-0,46	-0,34	0,16	-0,92	-1,30	2,23	-0,02	-0,09
18:00	1,90	<b>-0,41</b>	-0,32	-0,01	-0,52	0,26	1,99	-0,02	-0,07
21:00	3,80	<b>-0,35</b>	-0,28	-0,32	-0,32	-0,38	3,46	-0,01	-0,04

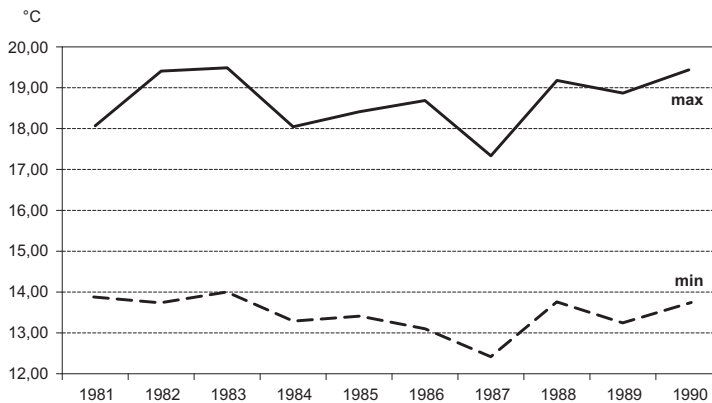


## Wartości ekstremalne

### *Występowanie wartości ekstremalnych temperatury powietrza*

Aproksymowane najwyższe dobowe wartości temperatury powietrza wahają się od 17,3°C w 1987 do 19,5°C w 1983 r. Ogólnie można powiedzieć, że zarówno początek jak i koniec badanego dziesięciolecia cechują się podwyższonymi wartościami tego elementu, w połowie dziesięciolecia odnotowano natomiast wartości stosunkowo niskie.

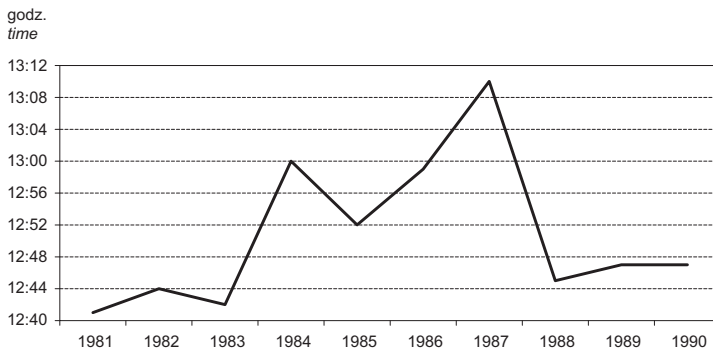
Podobny przebieg obserwuje się w przypadku najniższych dobowych wartości temperatury powietrza (ryc. 2).



Ryc. 2. Przebieg najniższych i najwyższych wartości temperatury powietrza (t)  
The course of minimal and maximal values for air temperature (t)

Godziny wystąpienia najwyższych wartości temperatury w badanych latach ulegały przesunięciom – różnice między najwcześniejszym i najpóźniejszym wystąpieniem dochodzą do pół godziny. Rosnący trend o wartości 6 minut wskazuje, że w kolejnych latach najwyższa temperatura występowała coraz później. Najwcześniej miało to miejsce w 1981 r. – o 12:41, a najpóźniej w 1987, dopiero o 13:10. W ostatnich latach odnotowano ponowne wcześniejsze wystąpienie wartości najwyższej temperatury, bo już przed 12:50 (ryc. 3). Trudno więc jednoznacznie stwierdzić, czy otrzymany trend wynika z faktycznego opóźnienia występowania maksymalnych wartości temperatury, czy są to tylko zmiany przypadkowe.

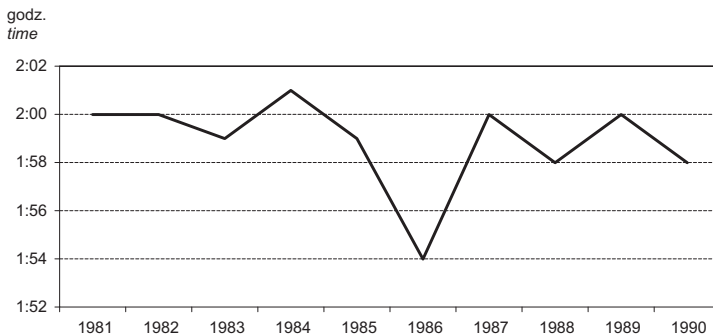
Zaznacza się niewielki trend malejący czasu wystąpienia najniższych dobowych wartości temperatury (1 min/10 lat), wskazujący, że w kolejnych latach występują one coraz wcześniej. Różnice między najwcześniej i najpóźniej występującymi wartościami sięgają jednak tylko 7 minut. Szczególnie wyróżnia się rok 1986, kiedy najniższa temperatura wystąpiła najwcześniej, bo już o 1:54.



Ryc. 3. Godziny wystąpienia najwyższych wartości temperatury powietrza  
The timing of maximum values for air temperature

Najpóźniej ta cecha przebiegu dobowego temperatury została zanotowana w 1984 r. – o godzinie 2:01 (ryc. 4).

Zbadane trendy, zarówno przebiegu wartości temperatury jak i zmienności czasowej wartości najwyższych i najniższych, są nieistotne statystycznie na poziomie 0,05.

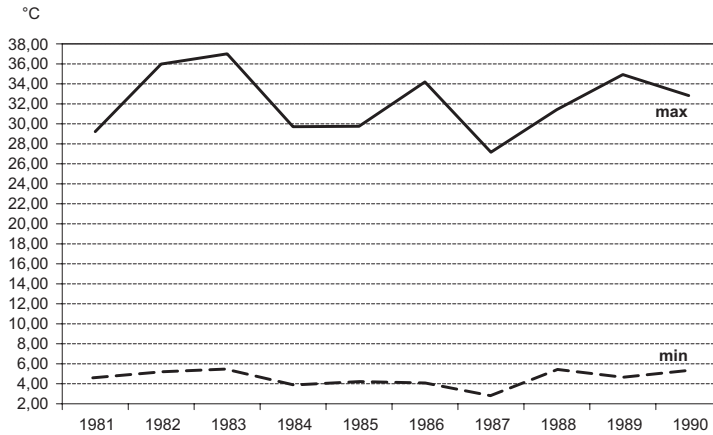


Ryc. 4. Godziny wystąpienia najniższych wartości temperatury powietrza  
The timing of minimum values for air temperature

#### *Występowanie wartości skrajnych wskaźnika temperatury odczuwalnej*

Najwyższe dobowe wartości wskaźnika temperatury odczuwalnej w kolejnych latach wykazują słaby trend malejący o wartości  $-0,3^{\circ}\text{C}$ . Same zmiany wartości sięgają tu  $10^{\circ}\text{C}$ . Najwyższe maksimum zostało odnotowane w 1983 r. i wyniosło  $37^{\circ}\text{C}$ ; w skali odczuć ciepłych wartość ta mieści się w przedziale „ciepło”. Najniższa maksymalna wartość wskaźnika (1987) wynosiła  $27,16^{\circ}\text{C}$ , co wskazuje na warunki „komfortowe”.

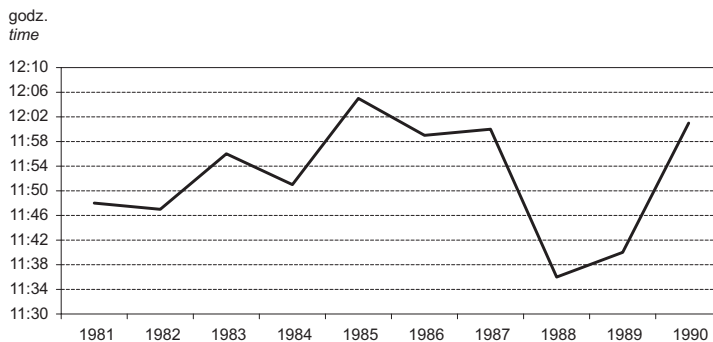
Przebieg wartości najniższych nie wykazuje prawie żadnego trendu (jego wartość wynosi zaledwie  $-0,02^{\circ}\text{C}$ ). Zmiany tego elementu mieszczą się w przedziale od  $2,79^{\circ}\text{C}$  w roku 1987 do  $5,43^{\circ}\text{C}$  w 1983, czyli odczuć termicznych „chłodno” (ryc. 5).



Ryc. 5. Przebieg najniższych i najwyższych wartości wskaźnika temperatury odczuwalnej (STI)

The courses of minimal and maximal values for the Subjective Temperature Index (STI)

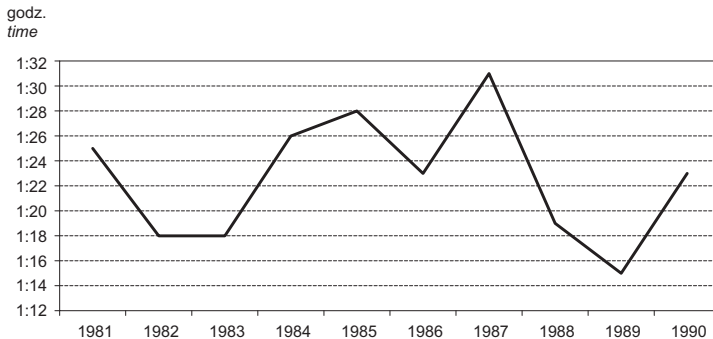
Nie zanotowano żadnego wyraźnego trendu w przebiegu wystąpienia najwyższych dobowych wartości wskaźnika temperatury odczuwalnej. Lata 1985–1987 cechują się stosunkowo późnym występowaniem maksimum, które najpóźniej zaznaczyło się w roku 1985 – o 12:05. To opóźnienie w wystąpieniu maksymalnej wartości wskaźnika STI zostało zniwelowane w kolejnych dwóch latach, kiedy to maksymalna wartość wskaźnika wystąpiła najwcześniej w całym dziesięcioleciu (w 1988 r. o godzinie 11:36, a rok później o 11:40) (ryc. 6).



Ryc. 6. Godziny występowania najwyższych wartości wskaźnika temperatury odczuwalnej

The timing of maximum values for the Subjective Temperature Index

Przebieg występowania terminu najniższych wartości wskaźnika temperatury odczuwalnej wskazuje na nieznaczny trend malejący (około 1 minuty). Zaznaczają się tu dwa okresy z wcześniejszym występowaniem minimum: 1982–1983, kiedy minimum wystąpiło o 1:18 oraz 1988–1989 – odpowiednio 1:19 i 1:15. Najpóźniej minimum wskaźnika *STI* zaznaczyło się w 1987 r. o 1:31. Różnice między najwcześniejszym a najpóźniejszym wystąpieniem minimum wskaźnika nie są duże i wynoszą jedynie kwadrans (ryc. 7). Podobnie jak w przypadku temperatury, trendy są nieistotne statystycznie na poziomie 0,05.



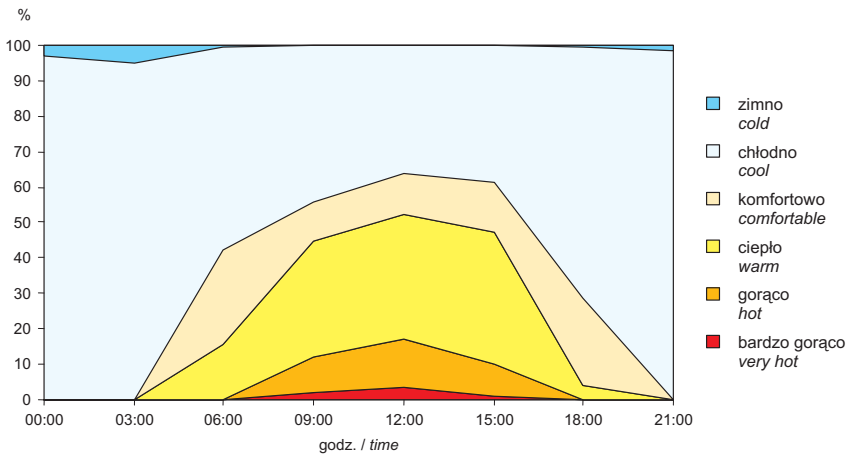
Ryc. 7. Godziny występowania najniższych wartości wskaźnika temperatury odczuwalnej  
The timing of minimum values for the Subjective Temperature Index

### Odczucia ciepłe określone wartościami wskaźnika temperatury odczuwalnej i stresu termofizjologicznego

Dobowy przebieg odczuć ciepłych określonych na podstawie wskaźnika temperatury odczuwalnej wskazuje, że w Kołobrzegu w godzinach nocnych dominującym rodzajem odczuć jest „chłódno”. Zaznacza się ono w ponad 95% przypadków między 21:00 a 3:00 rano. Sporadycznie w tych godzinach (zwłaszcza przed wschodem słońca) może wystąpić również odczuwanie zimna, nie powinno ono jednak przekroczyć częstości 5%. W ciągu dnia, czyli między 9:00 a 15:00 dominuje odczucie „ciepło”. Wzrost intensywności bodźców termicznych występuje w godzinach okołopołudniowych, kiedy 13,6% przypadków określanych było jako „gorąco”, a ponad 3% jako „bardzo gorąco”. Warunki „bardzo gorąco” w pojedynczych przypadkach występowały o 9:00 i 15:00. Najkorzystniejsza intensywność bodźców termicznych występuje między 6:00 a 21:00, z częstością od 0,1 do 26,3%, najczęściej jednak o 6:00 (26,3%) i 18:00 (24,3%) (ryc. 8).

Odczucia ciepłe określone wskaźnikiem *STI* w poszczególnych latach wykazują niewielką zmienność. W godzinach wieczornych dominowały odczu-

cia „chłodno” i czasami pojawiały się odczucia „zimno”. Odczucia te szczególnie zaznaczały się w latach 1982, 1985 i 1987, kiedy występowały ze średnią częstością ok. 4%, i nasilały się w godzinach wczesnorannych (w 1985 i 1987 r. częstość występowania odczuć „zimno” wynosiła o 3:00 blisko 9%). W ciągu dnia przeważały odczucia „ciepło”, szczególnie w południe. Lata 1983 i 1990, cechował bardzo wysoki (przekraczający 40%) poziom tych odczuć w godzinach okołopołudniowych. Z kolei w latach 1987 i 1989 częstość odczuć „ciepło” była wyraźnie zmniejszona, z minimum w roku 1987 – zaledwie 23,9%. Warunki określa-



Ryc. 8. Częstość różnych rodzajów odczuć cieplnych według wskaźnika temperatury odczuwalnej (%)

The frequency of human thermal sensation types as based on the Subjective Temperature Index (%)

ne jako „gorąco” w badanym okresie notowano z różną częstością w godzinach 9:00 – 15:00. Zwykle występowały one w latach 1983 i 1989, 21,7% przypadków 12:00, a o 9:00 i 15:00 w roku 1983 – 17,4% i w 1989 – 13%. Najchłodniejsze pod tym względem były lata 1981, 1985, 1987, z częstością odczuć „gorąco” w południe poniżej 8%. Warunki odczuwane jako „bardzo gorąco” notowano stosunkowo rzadko i przeważnie w godzinach okołopołudniowych. Wyróżniły się tylko 2 lata ze zwiększoną częstością wystąpienia tego rodzaju odczuć: 1982, kiedy o 9:00 odnotowano 6,5% przypadków, a o 12:00 7,6% oraz 1986, z 6,5% w południe, około 2% o 9:00 i 3,3% o 15:00. Najmniej tego rodzaju odczuć o godzinie 12:00 zanotowano w roku 1985 – zaledwie 2,2%. Warunki „komfortowe” występowały z podobną częstością we wszystkich latach. Najczęstsze były o 18:00 powyżej 30% w 1982, 1983, 1986, 1989 i 1990 r. Godzina 15:00 – to pora dnia, kiedy z warunkami korzystnymi pod względem termicznym spotkać się można w około 14% przypadków. Warto zauważyć, że w godzinach okołopołu-



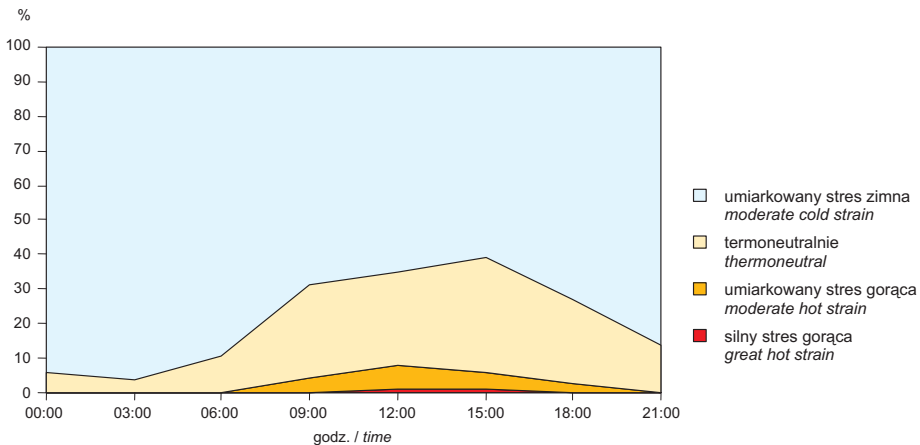
Odczucia / Sensations	Lata / Years									
	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
15:00										
Bardzo gorąco / <i>Very hot</i>	-	-	-	1,1	-	3,3	3,3	-	1,1	2,2
Gorąco / <i>Hot</i>	7,6	18,5	17,4	9,8	6,5	8,7	3,3	1,1	13,0	2,2
Ciepło / <i>Warm</i>	35,9	35,9	47,8	29,3	38,0	47,8	23,9	37,0	37,0	42,4
Komfortowo / <i>Comfortable</i>	9,8	15,2	12,0	17,4	12,0	9,8	19,6	17,4	16,3	12,0
Chłodno / <i>Cool</i>	46,7	30,4	22,8	42,4	43,5	30,4	50,0	44,6	32,6	41,3
Zimno / <i>Cold</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18:00										
Bardzo gorąco / <i>Very hot</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gorąco / <i>Hot</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ciepło / <i>Warm</i>	3,3	6,5	7,6	6,5	2,2	6,5	2,2	2,2	3,3	2,2
Komfortowo / <i>Comfortable</i>	21,7	31,5	30,4	13,0	22,8	30,4	12,0	19,6	31,5	30,4
Chłodno / <i>Cool</i>	75,0	60,9	62,0	79,3	75,0	63,0	84,8	78,3	65,2	67,4
Zimno / <i>Cold</i>	-	1,1	-	1,1	-	-	1,1	-	-	-
21:00										
Bardzo gorąco / <i>Very hot</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gorąco / <i>Hot</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ciepło / <i>Warm</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Komfortowo / <i>Comfortable</i>	-	-	-	-	1,1	-	-	-	-	-
Chłodno / <i>Cool</i>	100,0	93,5	98,9	97,8	98,9	100,0	96,7	98,9	100,0	100,0
Zimno / <i>Cold</i>	-	6,5	1,1	2,2	-	-	3,3	1,1	-	-

dniowych, najchętniej wykorzystywanych przez turystów i kuracjuszy, częstość występowania warunków „komfortowo” była stosunkowo niska i wahała się od 6,5% w 1982 i 1983 r. do 19,6% w 1987. Znacznie korzystniejsze są więc pod tym względem godziny popołudniowe i to one powinny stać się czasem wzmożonej aktywności fizycznej i wypoczynku (tab. 5).

Odczucia „bardzo gorąco” zawsze pojawiały się o godzinie 12:00, nieco rzadziej o 9:00 i 15:00. Z kolei nigdy nie występowały one w godzinach 0:00, 3:00, 6:00, 18:00 i 21:00. Odczucia „gorąco” notowano tylko w godzinach od 9:00 do 15:00, natomiast odczucia „ciepło” i „komfortowo” występowały w nieco szerszym zakresie, bo od 6:00 do 18:00. Przez całą dobę, choć z różną częstością, pojawiały się odczucia „chłodno”. Odczucia „zimno” stwierdzono we wszystkich przypadkach o 3:00 i bardzo wielu o 0:00, natomiast w godzinach od 9:00 do 15:00 ten rodzaj odczuć nie występował (tab. 5).

Według wskaźnika *PhS* dominującym w latach 1981–1990 był umiarkowany stres zimna: ponad 80% przypadków w godzinach nocnych i nieco ponad 60% w ciągu dnia. Najsilniej warunki takie zaznaczyły się o godzinie 3:00, bowiem

w 96,3% przypadków zanotowano umiarkowany stres zimna, a najslabiej o 15:00, choć i wtedy częstość ich występowania nie była niska – 61,1%. *PhS* o takich wartościach wskazuje między innymi na obniżenie temperatury skóry, obniżenie przepływu krwi w obrębie mięśni i skóry oraz zwiększenie ciśnienia krwi. W sporadycznych przypadkach w Kołobrzegu notowany był również silny stres zimna, jednak jego występowanie było na tyle rzadkie (0,2% o 18:00, 0,1% o 3:00, 12:00 i 21:00), że można je pominąć. Oprócz stresu zimna w badanym okresie wystąpił również umiarkowany stres gorąca. Najczęściej notowany był w godzinach okołopołudniowych – z częstością 6,6%, występował także o 9:00, 15:00, 18:00 i w pojedynczych przypadkach o 21:00. Od 12:00 do 18:00 zaznaczył się sporadycznie silny stres gorąca, w żadnym terminie jednak nie przekroczył 2%. Warunki korzystne z punktu widzenia układu termoregulacyjnego występowały najczęściej w godzinach dziennych, między 9:00 a 18:00. O 15:00 aż w 33,2% przypadków zanotowano warunki termoneutralne, w godzinach nocnych zaś (od 0:00 do 3:00) tylko do 6% (ryc. 9).



Ryc. 9. Częstość różnych rodzajów stresu termofizjologicznego  
The frequency of occurrence of human thermal sensation types as based  
on values for the Physiological Strain index

Dobowy przebieg wskaźnika *PhS* miał w poszczególnych latach podobny charakter. Wyraźnie zaznaczała się tu dominacja umiarkowanego stresu zimna. W pojedynczych latach (1982, 1984, 1987) odnotowano silny stres zimna, ale miał on jednak marginalne znaczenie, w żadnym roku bowiem jego częstość nie przekroczyła 1,5%. Dodatkowo rok 1982 cechował się szczególnymi warunkami, bowiem silny stres zimna odnotowany został o 12:00. Warunki termoneutralne występowały znacznie rzadziej niż stres zimna. Najczęściej notowano je w 1988 r., kiedy w godzinach od 9:00 do 18:00 ich częstość nie spadała poniżej 30%, a o 15:00 wynosiła 43,5%. Latami z najrzadszym występowaniem warun-



ków termoneutralnych były 1984 i 1987. W 1984 r. średnia częstość takich warunków w godzinach od 9:00 do 18:00 wynosiła około 21%, w 1987 – blisko 17%. Stosunkowo rzadko występował umiarkowany stres gorąca. Odsetek takich odczuć był wyższy niż średnia wieloletnia w 1989 r.: o 9:00 i 12:00 zanotowano tu bowiem blisko 10% przypadków umiarkowanego stresu gorąca. Silny stres gorąca występował sporadycznie, najczęściej o 12:00 – około 2,2%. W 1981 r. silny stres gorąca nie wystąpił w ogóle (tab. 6).

Można podsumować, że silny stres gorąca nie występował każdego roku. Jeżeli był notowany, to najczęściej o 12:00 lub 15:00. Częściej występujący umiarkowany stres gorąca również najczęściej występował w godzinach okołopołudniowych i o 15:00. Obu odczuć nigdy nie notowano w godzinach od 0:00 do 6:00. Warunki termoneutralne i umiarkowany stres zimna występowały we wszystkich terminach pomiarowych. Silny stres zimna pojawiał się sporadycznie w różnych godzinach, nigdy jednak nie został zanotowany o 0:00, 6:00, 9:00 ani 15:00 (tab. 6).

### **Przebieg dobowy wskaźników biometeorologicznych i bioklimatycznych w różnych masach powietrza**

Dają się zauważyć różnice w przebiegu wskaźników biometeorologicznych i biotermicznych w zależności od rodzaju masy powietrza.

W przypadku wskaźnika temperatury odczuwalnej różnice te są znacznie większe w godzinach dziennych niż nocnych (ryc. 10). Wartości temperatury odczuwalnej są wyższe w przypadku powietrza polarnego kontynentalnego i zwrotnikowego (wahają się od około 10°C w godzinach porannych do około 49°C w godzinach okołopołudniowych) niż w przypadku powietrza polarnego morskiego i arktycznego (z wartościami w przedziale 4–13°C). Południowe wartości wskaźnika temperatury odczuwalnej oznaczają w przypadku mas polarno-kontynentalnych i zwrotnikowych odczucie „gorąca”, zaś przy powietrzu polarnym morskim i arktycznym są to warunki „komfortowo”. Różnice te wynikają z tego, że powietrze polarno-kontynentalne i powietrze zwrotnikowe cechują się znacznie wyższą temperaturą niż masy powietrza polarno-morskiego i arktycznego. Przy porównaniu przebiegu dobowego *STI* w typie powietrza polarno-kontynentalnego i zwrotnikowego widać wyraźną różnicę: przebieg temperatury odczuwalnej jest znacznie łagodniejszy w przypadku PPK. Wskaźnik *STI* osiąga swe wysokie wartości szybko, a po przekroczeniu maksimum, powoli spada. Jeżeli zalegają masy powietrza zwrotnikowego, temperatura odczuwalna między 6:00 a 12:00 rośnie znacznie wolniej niż przy masach polarnych kontynentalnych, a po maksimum południowym szybciej spada. Przez większą część doby wyższe wartości *STI* notuje się przy powietrzu polarnym kontynentalnym. Jedynie w godzinach nocnych i w samo południe nieco wyższe wartości temperatura odczuwalna osiąga w przypadku mas PZ. W masach powietrza polarno-



9:00										
Ekstremalny stres gorąca / <i>Extreme hot strain</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silny stres gorąca / <i>Great hot strain</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Umiarkowany stres gorąca / <i>Moderate hot strain</i>	3,3	6,5	2,2	4,3	2,2	3,3	2,2	3,3	9,8	5,4
Termoneutralnie / <i>Thermoneutral</i>	23,9	30,4	38,0	21,7	21,7	28,3	18,5	31,5	25,0	29,3
Umiarkowany stres zimna / <i>Moderate cold strain</i>	72,8	63,0	59,8	73,9	76,1	68,5	79,3	65,2	65,0	65,2
Silny stres zimna / <i>Great cold strain</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ekstremalny stres zimna / <i>Extreme cold strain</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:00										
Ekstremalny stres gorąca / <i>Extreme hot strain</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silny stres gorąca / <i>Great hot strain</i>	-	2,2	2,2	2,2	-	2,2	1,1	1,1	2,2	-
Umiarkowany stres gorąca / <i>Moderate hot strain</i>	6,5	6,5	3,3	6,6	6,5	5,4	5,4	6,5	9,8	9,8
Termoneutralnie / <i>Thermoneutral</i>	21,7	34,8	39,1	21,7	21,7	27,2	14,1	34,8	28,3	27,2
Umiarkowany stres zimna / <i>Moderate cold strain</i>	71,7	55,4	55,4	69,6	71,7	65,2	79,3	57,6	59,8	63,0
Silny stres zimna / <i>Great cold strain</i>	-	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Ekstremalny stres zimna / <i>Extreme cold strain</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:00										
Ekstremalny stres gorąca / <i>Extreme hot strain</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silny stres gorąca / <i>Great hot strain</i>	-	-	1,1	-	1,1	1,1	2,2	-	2,2	1,1
Umiarkowany stres gorąca / <i>Moderate hot strain</i>	2,2	4,3	3,3	7,6	4,3	5,4	3,3	5,4	7,6	5,4
Termoneutralnie / <i>Thermoneutral</i>	28,3	38,0	39,1	27,2	31,5	38,0	17,4	43,5	34,8	33,7
Umiarkowany stres zimna / <i>Moderate cold strain</i>	69,6	57,6	56,5	65,2	63,0	55,4	77,2	51,1	55,4	59,8
Silny stres zimna / <i>Great cold strain</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ekstremalny stres zimna / <i>Extreme cold strain</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Odczucia / <i>Sensations</i>	Lata / <i>Years</i>									
	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
18:00										
Ekstremalny stres gorąca / <i>Extreme hot strain</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silny stres gorąca / <i>Great hot strain</i>	-	-	1,1	-	-	1,1	-	-	-	-
Umiarkowany stres gorąca / <i>Moderate hot strain</i>	-	2,2	1,1	5,4	2,2	3,3	3,3	1,1	4,3	1,1
Termoneutralnie / <i>Thermoneutral</i>	23,9	27,2	33,7	14,1	25,0	20,7	17,4	33,7	23,9	26,1
Umiarkowany stres zimna / <i>Moderate cold strain</i>	76,1	70,7	64,1	79,3	72,8	75,0	78,3	65,2	71,7	72,8
Silny stres zimna / <i>Great cold strain</i>	-	-	-	1,1	-	-	1,1	-	-	-
Ekstremalny stres zimna / <i>Extreme cold strain</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21:00										
Ekstremalny stres gorąca / <i>Extreme hot strain</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silny stres gorąca / <i>Great hot strain</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Umiarkowany stres gorąca / <i>Moderate hot strain</i>	-	-	1,1	-	-	-	-	-	-	-
Termoneutralnie / <i>Thermoneutral</i>	8,7	19,6	15,2	9,8	10,9	16,3	7,6	16,3	16,3	15,2
Umiarkowany stres zimna / <i>Moderate cold strain</i>	91,3	80,4	83,7	90,2	89,1	83,7	91,3	83,7	83,7	84,8
Silny stres zimna / <i>Great cold strain</i>	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-
Ekstremalny stres zimna / <i>Extreme cold strain</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

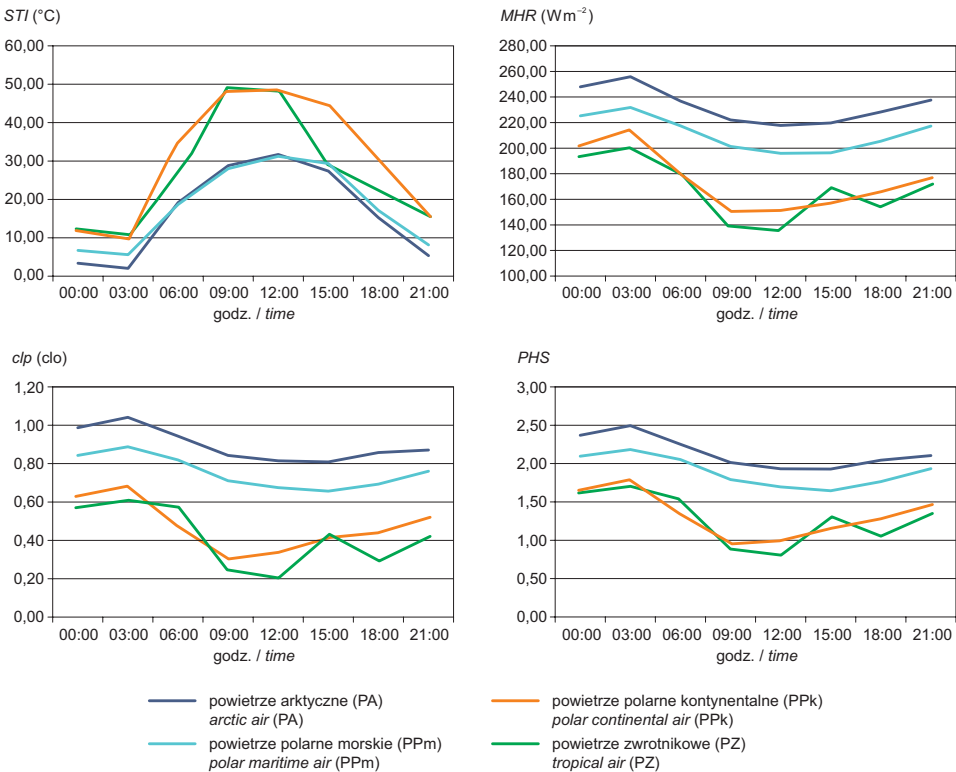
morskiego i arktycznego różnice dobowe *STI* są małe. W godzinach nocnych i wieczornych temperatura odczuwalna jest wyższa przy napływających z północnego zachodu masach powietrza polarno-morskiego, w ciągu dnia natomiast nieco większy wskaźnik *STI* występuje przy powietrzu arktycznym. Być może wiąże się to z faktem, że latem napływ powietrza polarno-morskiego powoduje znaczne zachmurzenie, ograniczające dopływ promieniowania słonecznego.

Średni dobowy przebieg wskaźnika dopuszczalnej aktywności fizycznej wskazuje, że latem najkorzystniejsze warunki do różnych form aktywności ruchowej istnieją w przypadku mas powietrza arktycznego (ryc. 10). Wielkość wskaźnika *MHR* waha się wtedy od  $217 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  w godzinach okołopołudniowych do około  $255 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  w godzinach wczesnorannych. Przy masach powietrza polarnego-morskiego warunki są również korzystne, choć sam wskaźnik przyjmuje nieco niższe wartości ( $201\text{--}231 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ). Z kolei występowanie mas powietrza zwrotnikowego i polarno-kontynentalnego zdecydowanie ogranicza korzystanie z aktywnych form wypoczynku między godziną 9:00 a 15:00. W tym czasie wartości wskaźnika *MHR* wynoszą  $150\text{--}156 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  w przypadku powietrza polarno-kontynentalnego i  $138\text{--}169 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  przy występowaniu mas zwrotnikowych. Szczególnie niekorzystne są warunki w godzinach okołopołudniowych przy powietrzu zwrotnikowym.

W przypadku wskaźnika *Iclp*, jego wartości są najwyższe przy zaleganiu powietrza arktycznego (ryc. 10). Wczesnoranne wartości wskaźnika, nieznacznie przekraczające 1 clo oznaczają konieczność noszenia odzieży zwykłej, typu garnitur wełniany, żakiet, spódnica wełniana. W ciągu dnia wartość wskaźnika spada do 0,8 clo w południe, co oznacza, że do zachowania komfortu termicznego wystarczy letnia odzież lekka, np. lekki ubiór sportowy. W przypadku zalegania mas powietrza polarnego-morskiego wartości wskaźnika są niższe – od 0,9 clo o 3:00 nad ranem do 0,7 w godzinach okołopołudniowych, a to oznacza, że przez całą dobę wystarczająca jest letnia odzież lekka. Nieco większą niż w przypadku powietrza arktycznego i polarno-morskiego dynamikę zmian wskaźnika *Iclp* obserwujemy przy napływie mas zwrotnikowych i polarno-kontynentalnych. Powietrze polarno-kontynentalne sprawia, że w godzinach nocnych wartość przewidywanej izolacyjności termicznej odzieży wynosi 0,7 clo, co odpowiada odzieży lekkiej, typu wojskowy mundur roboczy. W ciągu dnia wskaźnik *Iclp* spada i o 9:00 osiąga najniższą wartość równą 0,3 clo. W takich warunkach do zachowania równowagi cieplnej organizmu wystarczą szorty i koszula z krótkim rękawem. W przypadku mas powietrza zwrotnikowego niemal przez całą dobę wartość *Iclp* jest jeszcze niższa niż w przypadku powietrza polarnego-kontynentalnego. Najniższe wartości wskaźnika osiąga w godzinach okołopołudniowych – 0,2 clo.

Wskaźnik stresu termofizjologicznego najwyższe wartości osiąga w powietrzu arktycznym (ryc. 10): od 2,5 w godzinach wczesnorannych do 1,9 w południe, oznacza to znaczne natężenie stresu zimna przez całą dobę. W powietrzu

polarno-morskim wskaźnik oscyluje między 2,2 o 3:00 a 1,6 o 15:00; wartości te również mieszczą się w przedziale znacznego natężenia stresu zimna. Bardziej korzystne warunki są przy zaleganiu mas powietrza polarnego-kontynentalnego i zwrotnikowego: wskaźnik *PhS* od 1,8 (PPk) i 1,7 (PZ) do około 1,0 (PPk) i 0,9 (PPm); oznacza to zmianę ze znacznego stresu zimna na warunki termoneutralne.



Ryc. 10. Średnie dobowe przebiegi wskaźnika temperatury odczuwalnej (*STI*), dopuszczalnej aktywności fizycznej (*MHR*), przewidywanej termoizolacyjności odzieży (*Iclp*) i stresu termofizjologicznego (*PhS*) w różnych masach powietrza

The courses of average daily cyclicity in the Subjective Temperature Index (*STI*), Accepted Level of Physical Activity (*MHR*), Insulation Predicted (*Iclp*) and Physiological Strain (*PhS*), in the presence of various air masses

## Wnioski

Analizując dobowy przebieg elementów meteorologicznych oraz wskaźników biometeorologicznych i biotermicznych stwierdzono znaczny, choć nieistotny statystycznie, rosnący trend zachmurzenia w godzinach rannych i dziennych,

powodujący znaczne ograniczenie dopływu promieniowania słonecznego i tym samym bodźców radiacyjnych docierających do organizmu. Ponadto odnotowano spadek prędkości wiatru, powodujący zmniejszenie ochładzania biologicznego, a także wzrost temperatury powietrza w godzinach okołopołudniowych i spadek w godzinach nocnych. Wagę czynnika solarnego podkreśla najwyższa wartość wskaźnika pochłoniętego promieniowania w godzinach górowania słońca. Dane wykorzystane w pracy nie pozwalają na bezpośrednie określenie roli cyrkulacji lokalnej na kształtowanie się odczuć cieplnych człowieka, ale w literaturze dotyczącej tego problemu spotkać można się z licznymi opiniami, że bryza morska w znacznym stopniu wpływa na ochładzanie biologiczne organizmu. Ponieważ ochłodzenie to występuje zazwyczaj po okresie nagrzania, może spowodować zaburzenia gospodarki cieplnej organizmu człowieka (Kozłowska-Szczęśna i inni, 1997).

Stwierdzono dodatnią wartość trendu wskaźnika *STI* o 12:00 i 18:00, a w pozostałych godzinach spadek temperatury odczuwalnej. Zaznaczył się również dodatni trend wskaźnika dopuszczalnej aktywności fizycznej pozwalający na zwiększenie aktywności fizycznej w ciągu całej doby. Potwierdzeniem tezy o „ocieplaniu się” warunków otoczenia w godzinach okołopołudniowych jest znaczna, dodatnia wartość trendu wskaźnika stresu termofizjologicznego o 12:00, informująca o wzroście stresu ciepła w tym czasie.

Analiza amplitudy elementów meteorologicznych wskazała na wyraźny dodatni trend amplitudy zachmurzenia i temperatury powietrza, informujący że w kolejnych latach należy się spodziewać coraz większych różnic między minimami i maksimami dobowymi obu elementów meteorologicznych. W przypadku amplitudy temperatury punktu rosy odnotowano zmniejszanie się dynamiki tego elementu (znaczny trend malejący).

Poddane analizie wartości ekstremalne temperatury powietrza są w kolejnych latach coraz wyższe (wzrastają temperatury maksymalne o około 0,3°C, a spadają minimalne o 0,5°C). Zmieniają się również godziny występowania minimów i maksimów temperatury powietrza; maksimum występuje coraz później - trend 6-minutowy, minimum coraz wcześniej – trend 1-minutowy. Zmiany przebiegu wartości maksymalnych i minimalnych temperatury powietrza nie przekładają się w znacznym stopniu na zmiany przebiegu wskaźnika temperatury odczuwalnej; na uwagę zasługuje jedynie malejący (ok. 0,3°C) trend wartości maksymalnych temperatury odczuwalnej oraz około 1-minutowy trend malejący godziny wystąpienia minimum wskaźnika *STI*, co oznacza coraz wcześniejsze występowanie minimum tego wskaźnika.

Analiza częstości występowania wskaźników w charakterystycznych przedziałach ich wartości wskazuje, że dominującym rodzajem odczuć wg wskaźnika *STI* między godziną 21:00 a 3:00 są odczucia „chłodno”, natomiast wartości *PhS* wskazują na „umiarkowany stres zimna”. Między 9:00 a 15:00 według *STI* dominuje odczucie „ciepło”, a według *PhS* jest wtedy nadal „umiarkowany stres

zimna”. Warunki najkorzystniejsze dla organizmu, z komfortem termicznym wg temperatury odczuwalnej, występują o 6:00 i 18:00, natomiast *PhS* wskazuje na występowanie warunków termoneutralnych o 15:00. W związku z tym, że oba wskaźniki wskazują na możliwość występowania w godzinach okołopołudniowych stresu gorąca, należy rozważyć przesunięcie aktywnych form wypoczynku i terapii ruchowej na godziny przed- i popołudniowe w dniach o takich cechach termicznych.

Badając przebieg dobowy wskaźników w różnych rodzajach mas powietrza stwierdzono, że warunki najkorzystniejsze w ciągu dnia notuje się w przypadku mas powietrza arktycznego i polarnego morskiego. Napływ mas arktycznych sprawia, że warunki sprzyjają aktywnym formom terapii i wypoczynku, z kolei masy zwrotnikowe i polarne kontynentalne stanowią ograniczenie dla aktywnych form rekreacji.

### Piśmiennictwo

- Bąkowska M., Błażejczyk K., 2007, *Zmienność warunków biotermicznych okresu letniego w Kołobrzegu w II połowie XX wieku*, Przegląd Geograficzny, 79, 2, s. 215–232.
- Błażejczyk K., 2003, *Biotermiczne cechy klimatu Polski*, Przegląd Geograficzny, 75, 4, s. 525–543.
- , 2004, *Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce*, Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 192, Warszawa.
- Codzienny Biuletyn Meteorologiczny*, 1981–1990, IMGW, Warszawa.
- Kozłowska-Szczęsna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., Limanówka D., 2002, *Bioklimat uzdrowisk polskich i możliwości jego wykorzystania w lecznictwie*, Monografie, 3, IGiPZ PAN, Warszawa.
- Kozłowska-Szczęsna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., 1997, *Bioklimatologia człowieka*, Monografie, 1, IGiPZ PAN, Warszawa.
- Papiernik Ż., 2004, *Współczesne zmiany warunków klimatu odczuwalnego (na przykładzie Łodzi, 1951–2000)*, Uniwersytet Łódzki, Łódź, maszynopis.

[Wpłynęło: listopad 2008; poprawiono: maj 2009 r.]

MONIKA BĄKOWSKA

#### VARIABILITY OF DAILY COURSE OF SELECTED BIOCLIMATIC INDICES IN KOŁOBRZEG DURING SUMMER-SEASON OVER THE PERIOD 1981–1990

Changes in biometeorological conditions are of special significance at health resorts. The recognition of a daily cyclicity in this respect therefore leads to more effective planning of climatic therapy at coastal sites.

The purpose of the paper is to analyze and evaluate daily variability to biothermal conditions in Kołobrzeg over the period 1981–1990. Calculations were based on average values for air temperature, dewpoint temperature, cloud cover, wind speed and air



pressure at 0:00, 3:00, 6:00, 9:00, 12:00, 15:00, 18:00 and 21:00 UTC. The period of analysis covers June, July and August. Bioclimatic conditions were evaluated in terms of bioclimatic indices, these being:

simple:

- Insulation Predicted (Iclp, in clo) – predicted value for the thermal insulation of clothing that is necessary to assure a person thermal comfort;
- Maximal Activity Level (MHR, in  $\text{Wm}^{-2}$ ) – the limit value for activity that does not provoke a rise in heart rate in the given meteorological conditions above 90 beats per minute.
- based on human heat balance: – an index illustrating the thermal stimuli felt subjectively by a person and caused by the ambient environment in advance of the activation of adaptation processes; STI depending on both ambient conditions as regards temperature, solar radiation, wind and humidity and man-environment heat exchange, and hence indicating the thermal load formed in the air layer surrounding an outer layer of clothing: thermal impacts of the environment are expressed by reference to mean radiant temperature, while the physiological response of an organism is represented by net heat storage;
- Physiological Strain (PhS, dimensionless) – indicates which physiological processes adapt the human organism to given outdoor conditions; Solar radiation absorbed by a nude man ( $R'$ , in  $\text{Wm}^{-2}$ ) – as dependent on the intensity and structure of solar radiation, the elevation of the sun, ground albedo, body-to-Sun orientation and insulation.

Calculations were carried out using BioKlima 2.5 software.

The research applied the arithmetic mean, linear regression, polynomial functions and frequency of occurrence in respect of STI and PhS across specific ranges. To evaluate the variability to ranges of fluctuations, amplitudes of indices were calculated. The 3-hour data were approximated by a fourth-order polynomial function, while the maximal and minimal values of air temperature and STI were estimated. Also determined were the average daily courses to be noted for bioclimatic indices in the presence of different (arctic, polar-maritime, polar-continental, and tropical) masses of air.

Calculations reveal some variability to the daily cyclicity of meteorological elements and bioclimatic indices. This variability concerns both values of elements and indices and special features characterising daily courses. It was possible to note a marked, if not significant, upward trend for cloud cover around noon, this reducing the solar stimuli reaching an organism. Moreover, decreased wind speed and increased air temperature during daytime hours were to be observed.

The analysis shows that values for the Subjective Temperature Index and Physiological Strain increase around noon, this pointing to the appearance of heat stress. These results correspond to growing values for solar radiation absorbed by a nude man ( $R'$ ) at noon, this confirming the influence of solar radiation in increasing heat load.

The extreme values for temperature and cloud cover show that differences between minimal and maximal values became greater, while the minimal values were noted earlier.

STI and PhS indicate that cool and moderate cold stress dominate during the night hours, while heat stress appears at noon. The most comfortable conditions occur at 6 a.m. and 3 and 6 p.m. Taking into consideration air masses, the best conditions are shown to be observed under arctic and polar-maritime air masses. The polar-continental and tropical masses represent an obstacle to active forms of recreation.

