

## BIOKLIMAT WYBRANYCH MIAST PASA POBRZEŻY POŁUDNIOWOBAŁTYCKICH NA PODSTAWIE UNIWERSALNEGO WSKAŹNIKA OBCIĄŻENIA CIEPLNEGO

### Bioclimate of the chosen cities in the Polish Baltic Coast based on Universal Thermal Climate Index

MAREK PÓŁROLNICZAK\*, KATARZYNA SZYGA-PLUTA\*, LESZEK KOLENDOWICZ\*

**Zarys treści.** W niniejszej pracy, na podstawie wskaźnika UTCI (*Universal Thermal Climate Index*), analizowano warunki bioklimatyczne wybranych miast w pasie Pobrzeży Południowobałtyckich. Dodatkowo, na podstawie danych z reanaliz meteorologicznych NCEP/NCAR dotyczących ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza oraz wysokości geopotencjalnej 500 hPa, ustalono charakterystyczne typy sytuacji synoptycznych, które odpowiadają za wystąpienie warunków z ekstremalnie gorącym i zimnym obciążeniem organizmu człowieka. Analiza częstości dni według kategorii UTCI wykazała, że w badanych miastach w ciągu roku najczęściej pojawiają się warunki z brakiem obciążeń cieplnych organizmu człowieka, natomiast spośród dni z warunkami obciążającymi przeważają te ze stresem zimna. Badanie trendów wieloletnich wykazało statystycznie istotny wzrost wartości wskaźnika UTCI w roku i sezonach. Analiza trendów dni wg kategorii wskaźnika UTCI wykazała wzrost liczby dni z warunkami stresu ciepła i stresu zimna w Świnoujściu i Łebie oraz stresu ciepła w Kołobrzegu i zimna w Helu.

**Słowa kluczowe:** bioklimat, UTCI, reanalizy NCEP/NCAR, Polska, obszar nadmorski

**Abstract.** The paper addresses the bioclimatic conditions of selected towns of the southern part of the Polish Baltic Coast on the basis of the UTCI index. Moreover, the authors, by using observational data from coastline stations, as well as reanalysis data of the mean sea level pressure and the 500 hPa geopotential height from the NCEP/NCAR, attempt to explain which synoptic situations are conducive to the occurrence of days with very strong and extreme cold or heat stress. The research proved that the lack of thermal stress occurs most frequently. Among days with aggravating conditions days with the cold stress category appear most frequently. The study of long-term trends showed a statistically significant increase in the value of the UTCI index in the year and seasons. An analysis of days by the UTCI index category trends showed an increase in the number of days with conditions of both heat and cold stress in Świnoujście and Łeba, heat stress in Kołobrzeg and cold stress in Hel.

**Key words:** bioclimate, UTCI index, NCEP/NCAR reanalyses, Poland, coastline

## Wstęp

Bioklimat polskiego wybrzeża Bałtyku różni się od bioklimatu pozostałej części kraju. Według podziału bioklimatycznego Polski obszar ten należy do Regionu Nadmorskiego ze średnią roczną temperaturą powietrza w godzinach okołopołudniowych na poziomie średniej dla całej Polski (od 8,8 do 10,5°C). Występują tutaj najcieplejsze w kraju warunki termiczne w sezonie zimowym i jedne z najchłodniejszych w sezonie letnim. Region Nadmorski charakteryzuje się największymi w Polsce wartościami usłonecznienia (ponad 1600 godzin/rok), a także największą liczbą dni z wiatrem silnym (Błazejczyk, Kunert

2011). Klimat regionu jest w znacznej części kształtowany przez modyfikujący wpływ morza, co przejawia się przede wszystkim zmniejszeniem dobowej i rocznej amplitudy temperatury powietrza. Klimat nadmorski wyróżnia się spośród klimatów pozostałej części kraju m.in. przewagą czynników o charakterze bodźcowym związanych z większą wielkością ochładzającą powietrza spowodowaną łącznym wpływem niskiej temperatury oraz większej prędkości wiatru i wilgotności powietrza (Kozłowska-Szczęsna i in. 1997). W artykule wykorzystano dane meteorologiczne z wybranych stacji IMGW-PIB (Świnoujście, Kołobrzeg, Łeba i Hel), zatem wyniki charakteryzują warunki bioklimatyczne regionu oraz wybra-

\* Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, Zakład Klimatologii, ul. Krygowskiego 10, 61-680 Poznań; e-mail: marekpol@amu.edu.pl

nych miast w skali mezoklimatycznej. W opracowaniu wykorzystano uniwersalny wskaźnik obciążenia cieplnego UTCI (*Universal Thermal Climate Index*). Jest on nowoczesnym narzędziem służącym ocenie warunków biotermicznych, ponieważ w odróżnieniu od innych wskaźników biometeorologicznych uwzględnia m.in. procesy termoregulacyjne organizmu człowieka w różnych warunkach termicznych otoczenia, co daje możliwość dokonania zobiekttywizowanej oceny warunków bioklimatycznych (Błażejczyk i in. 2013b).

W licznych pracach dokonano porównania różnych wskaźników biometeorologicznych ze wskaźnikiem UTCI (Błażejczyk i in. 2012; Brøde i in. 2013; Novak 2013; Błażejczyk i in. 2014a; Matzarakis i in. 2014; Świątek 2014; Farajzadeh i in. 2015). UTCI był wykorzystywany m.in. do oceny klimatu odczuwalnego na obszarze wybranych krajów i miast (Lindner 2011; Błażejczyk 2013; Lindner-Cendrowska 2013; Mąkosza 2013; Błażejczyk, Błażejczyk 2014; Błażejczyk i in. 2014b; Park i in. 2014), a także do zbadania związków między obciążeniem cieplnym a zmianą koncentracji zanieczyszczeń powietrza (Nidzgorzka-Lencewicz, Mąkosza 2013; Nidzgorzka-Lencewicz 2015) i umieralnością (Idzikowska 2011; Nastos, Matzarakis 2012; Błażejczyk i in. 2013a; Urban, Kysely 2014). Wskaźnik posłużył Okoniewskiej i Więclawowi (2013) do oceny zmienności wieloletniej warunków bioklimatycznych w godzinach okołopołudniowych w drugiej połowie ubiegłego wieku w Polsce. W innych pracach, na podstawie UTCI, analizowano uwarunkowania cyrkulacyjne (Nowosad i in. 2013; Bartzokas i in. 2013), a także oceniano np. klimat lokalny Kotliny Kłodzkiej (Milewski 2013). Wskaźnik UTCI był także zastosowany do oceny przydatności warunków biometeorologicznych dla potrzeb turystyki i rekreacji (Lindner-Cendrowska 2013; Rutty, Scott 2014; Świątek 2014; Kažys, Malūnavičiūtė 2015; Ge i in. 2016).

Celem pracy jest analiza warunków biometeorologicznych w wybranych miastach polskiego wybrzeża na podstawie uniwersalnego wskaźnika obciążenia cieplnego (UTCI) oraz wskazanie typów cyrkulacji atmosferycznej odpowiedzialnych za występowanie warunków z silnym, bardzo silnym i nieznośnym stresem zimna lub ciepła.

## Dane i metody

Wskaźnik UTCI jest definiowany jako ekwiwalentna temperatura powietrza, przy której w warunkach referencyjnych podstawowe para-

metry fizjologiczne organizmu przyjmują takie same wartości jak w warunkach rzeczywistych. Oznacza to, że wymiana ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem zależy tylko od temperatury powietrza, przy stałym poziomie pozostałych parametrów meteorologicznych (Błażejczyk i in. 2010). UTCI oparty jest na wielowęzłowym modelu wymiany ciepła Fiali (Fiala i in. 2001). Model ten składa się z dwóch podsystemów regulacji wymiany ciepła: pasywnego i aktywnego. Podsystem pasywny uwzględnia fizyczne elementy transportu ciepła wewnątrz organizmu i na jego powierzchni. Podsystem aktywny uwzględnia natomiast fizjologiczne mechanizmy termoregulacji, które zmieniają wielkość strumienia ciepła. Danymi wejściowymi są parametry meteorologiczne i fizjologiczne. Rezultatem jest informacja o wielkości poszczególnych fizjologicznych parametrów organizmu. Wskaźnik UTCI zastępuje wielowymiarowe dane otrzymywane za pomocą modelu Fiali jednowymiarową wartością wyrażoną w °C. Wartości wskaźnika UTCI są miarą obciążeń cieplnych organizmu (tab. 1).

W opracowaniu wykorzystano dane meteorologiczne z czterech miast pasa Północno-Południowobałtyckich: Świnoujścia, Kołobrzegu, Łeby i Helu, zarejestrowane w latach 1981–2010 (rys. 1). Na podstawie pomiarów temperatury i wilgotności powietrza, zachmurzenia, ciśnienia atmosferycznego i prędkości wiatru w programie BioKlima (Błażejczyk 2011) obliczono wskaźnik UTCI dla godzin: 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 UTC.

Przedstawiono dobowy i sezonowy przebieg wartości wskaźnika UTCI dla każdego badanego miasta. Biorąc pod uwagę wartości z godziny 12 UTC analizowano częstość wystąpienia liczby dni wg obciążenia cieplnego UTCI oraz trendy roczne liczby dni w latach 1981–2010. Następnie, w celu ustalenia typowych sytuacji synoptycznych odpowiedzialnych za występowanie ekstremalnych warunków biometeorologicznych, posłużono się danymi z reanaliz meteorologicznych NCEP/NCAR dotyczących ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza oraz wysokości geopotencjalnej 500 hPa z godziny 12 UTC (Kalnay i in. 1996). Jako ekstremalne sytuacje biometeorologiczne przyjęto takie, w których wskaźnik UTCI o godzinie 12 UTC przewyższał wartość 32°C (silny, bardzo silny lub nieznośny stres ciepła) lub był niższy od -27°C (bardzo silny i nieznośny stres zimna). Dni z ekstremalnymi sytuacjami biometeorologicznymi pogrupowano metodą k-średnich biorąc pod uwagę wartości ciśnienia na poziomie morza każdego punktu siatki gridowej (2,5° x 2,5°) obszaru euroatlantyckiego

o współrzędnych:  $\phi$  40N–60N;  $\lambda$  10E–30E. Dla wyznaczonych grup dni skonstruowano mapy kompozytowe anomalii i średnich wartości ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza oraz

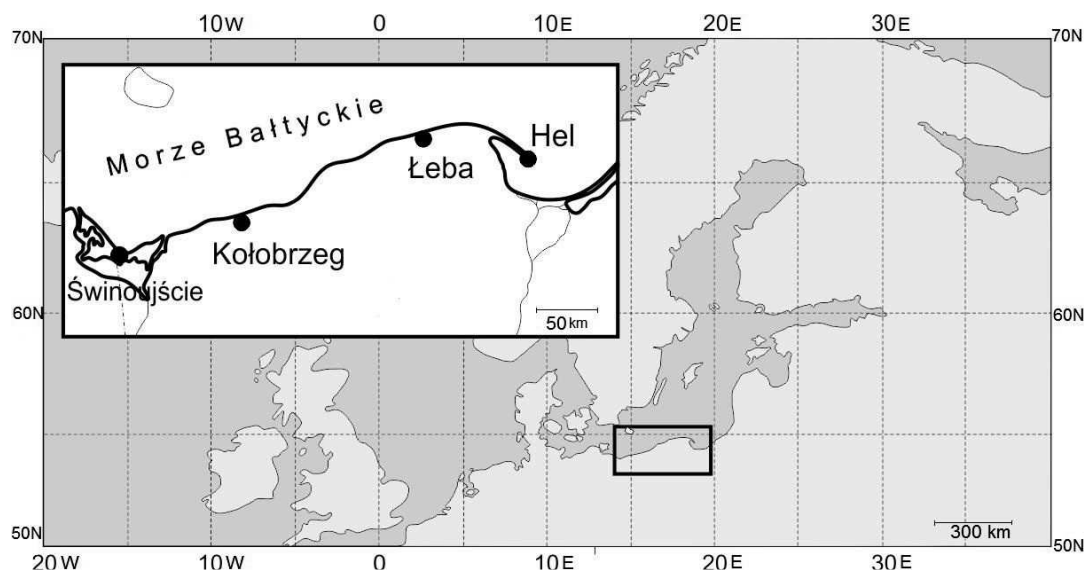
wysokości geopotencjalnej 500 hPa. Mapy kompozytowe powstały dla zachodniej (Świnoujście), centralnej (Kołobrzeg) oraz wschodniej (Hel) części pasa Półwyspy Południowobałtyckich.

Tabela 1

Skala oceny obciążeń cieplnych organizmu według wskaźnika UTCI (Błażejczyk i in. 2010)

UTCI assessment scale of heat load for humans (Błażejczyk *et al.* 2010)

UTCI (°C)	Obciążenie cieplne	Sposób przeciwdziałania
powyżej +46	nieznośny stres ciepła	niezbędne okresowe schładzanie organizmu, konieczne uzupełnianie płynów > 0,5 l/godz. Należy unikać dużego wysiłku fizycznego
+38 do +46	bardzo silny stres ciepła	konieczne okresowe korzystanie z pomieszczeń klimatyzowanych lub miejsc zacienionych, niezbędne uzupełnianie płynów > 0,5 l/godz. Należy ograniczyć wysiłek fizyczny
+32 do +38	silny stres ciepła	niezbędne uzupełnianie płynów 0,25 l/godz., pożądane korzystanie z miejsc zacienionych i okresowe zmniejszanie wysiłku fizycznego
+26 do +32	umiarkowany stres ciepła	niezbędne uzupełnianie płynów 0,25 l/godz.
+9 do +26	brak obciążeń cieplnych	fizjologiczne procesy termoregulacji są wystarczające do zachowania komfortu cieplnego
0 do +9	łagodny stres zimna	pożądane używanie rękawiczek i nakrycia głowy
-13 do 0	umiarkowany stres zimna	należy zwiększyć wysiłek fizyczny oraz chronić kończyny i twarz przed wychłodzeniem
-27 do -13	silny stres zimna	należy zwiększyć wysiłek fizyczny oraz chronić kończyny i twarz przed wychłodzeniem. Pożądane zwiększenie termoizolacyjności odzieży
-40 do -27	bardzo silny stres zimna	należy zwiększyć wysiłek fizyczny oraz chronić kończyny i twarz przed wychłodzeniem. Pożądane zwiększenie termoizolacyjności odzieży i ograniczenie czasu przebywania w terenie otwartym
poniżej -40	nieznośny stres zimna	czas przebywania ograniczyć do niezbędnego minimum. Niezbędne zwiększenie termoizolacyjności i wiatrochronności odzieży



Rys. 1. Lokalizacja wybranych stacji IMGW-PIB w pasie Półwyspy Południowobałtyckich

Location of selected IMGW-PIB stations in the Polish Baltic Coast

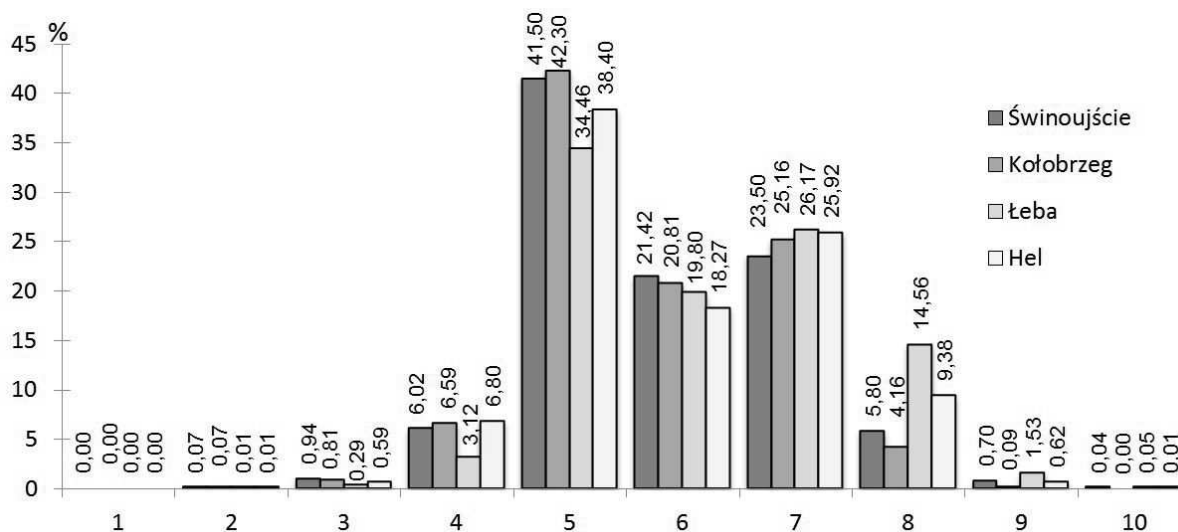
## Wyniki

### Warunki bioklimatyczne wg wskaźnika UTCI

W badanych miastach pojawiają się dni z niemal całego zakresu wartości UTCI. Najczęściej w każdym z miast występują dni z brakiem obciążeń cieplnych (od 35% w Łebie do 42% w Kołobrzegu; rys. 2). Spośród dni z wartością wskaźnika UTCI uznawaną za obciążającą organizm częściej odnotowuje się takie, w których pojawiają się warunki stresu zimnego, najwięcej z kategorii umiarkowanego stresu zimna (23–26% w ciągu roku) i nieco mniej z łagodnym stresem zimna (18–21%). Z kolei dni z silnym i bardzo silnym stresem zimna występują znacznie rzadziej ze zróżnicowaną częstością w badanych miejscowościach. Zwraca uwagę ich przeważająca częstość w Łebie i w Helu, gdzie pojawiają się odpowiednio w 14 i 9% dni, podczas gdy w Świnoujściu i Kołobrzegu występują z częstością jedynie

ok. 4–6%. Dni z zakresu bardzo silnego stresu zimna pojawiają się najczęściej w Łebie, gdzie stanowią ok. 1,5%, podczas gdy w pozostałych miastach występują z częstością na poziomie 0,1–0,7%. Warunki z nieznośnym stresem zimna pojawiają się w badanych miastach sporadycznie. W ciągu analizowanego trzydziestolecia odnotowano łącznie jedynie sześć takich przypadków.

Spośród dni, w których występuje stres ciepła, najczęściej pojawiają się przypadki z umiarkowanym stresem ciepła. W tej strefie kategorii wskaźnika UTCI wyjątkowo małe częstości, w stosunku do pozostałych miast (od ok. 6–7%), występują w Łebie (ok. 3%). Dni z kategorii „silnego stresu ciepła” pojawiają się w Świnoujściu, Kołobrzegu i w Helu z częstością na poziomie ok. 0,6–0,9% i wyraźnie rzadziej w Łebie, gdzie stanowią ok. 0,3% wszystkich przypadków. Dni z bardzo silnym stresem ciepła w badanych miastach wystąpiły jedynie w 16 przypadkach, a dni z nieznośnym stresem ciepła nie pojawiły się wcale (rys. 2).



Rys. 2. Częstość (%) liczby dni według kategorii wskaźnika UTCI (godz. 12 UTC) w wybranych miastach pasa Północno-wschodniego (1981–2010)

1 – nieznośny stres ciepła; 2 – bardzo silny stres ciepła; 3 – silny stres ciepła; 4 – umiarkowany stres ciepła; 5 – brak obciążeń cieplnych; 6 – łagodny stres zimna; 7 – umiarkowany stres zimna; 8 – silny stres zimna; 9 – bardzo silny stres zimna; 10 – nieznośny stres zimna

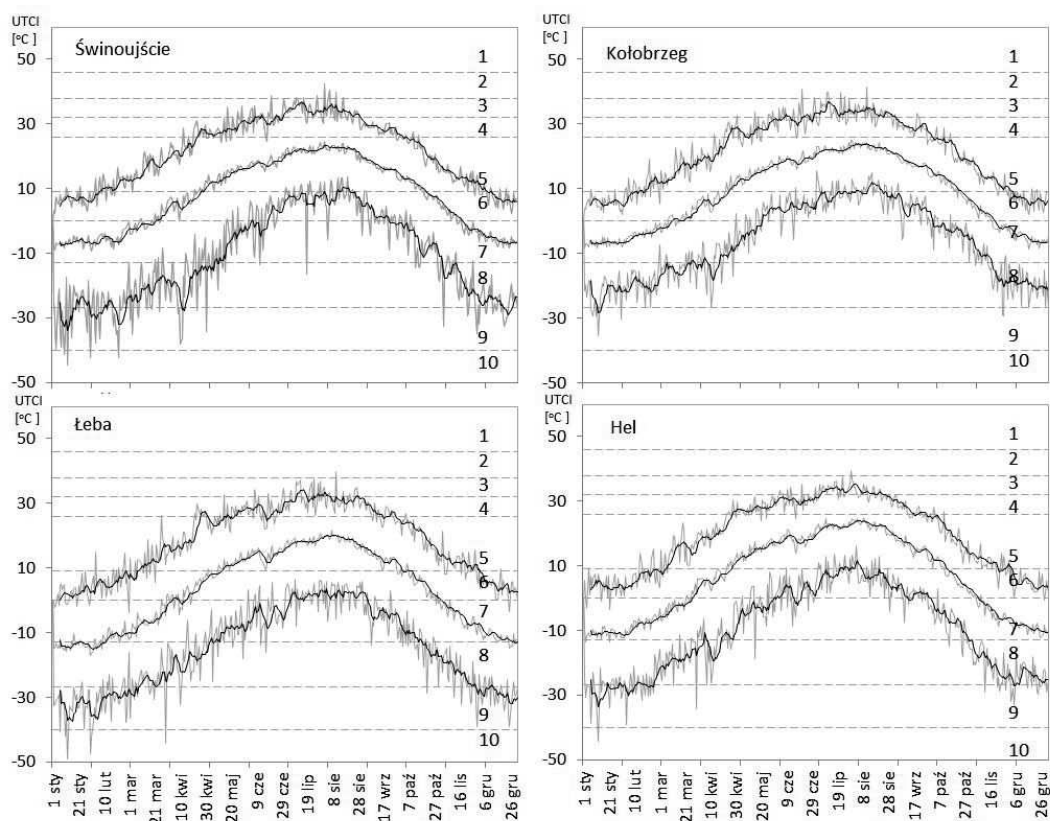
Frequency (%) of the number of days according to UTCI categories (12 UTC) in selected cities of the Polish Baltic Coast (1981–2010)

1 – extreme heat stress; 2 – very strong heat stress; 3 – strong heat stress; 4 – moderate heat stress; 5 – no thermal stress; 6 – slight cold stress; 7 – moderate cold stress; 8 – strong cold stress; 9 – very strong cold stress; 10 – extreme cold stress

Przebieg roczny średnich, maksymalnych i minimalnych dobowych wartości wskaźnika UTCI, wygładzony średnią ruchomą 7-dniową, wskazuje na występowanie szeregu istotnych różnic warunków bioklimatycznych w badanych miastach (rys. 3). Najwyraźniejsze różnice dotyczą średniego przebiegu wartości UTCI w Łebie. Okres najwyższych średnich wartości UTCI (zakresie warunków braku obciążeń cieplnych) trwa tutaj średnio od drugiej dekady maja do pierwszej dekady października, natomiast w pozostałych miastach jest znacznie dłuższy i trwa średnio od końca kwietnia do drugiej dekady października (rys. 3). Wartości maksymalne wskaźnika UTCI w tym czasie najczęściej osiągają poziom umiarkowanego stresu ciepła, podczas gdy w pozostałych miastach często wskazują zakres silnego stresu ciepła. Z kolei zimą, szczególnie w styczniu i lutym, średnie wartości wskaźnika UTCI

w Łebie przebiegają często poniżej wartości progu silnego stresu zimna, natomiast w pozostałych miastach pozostają w kategorii umiarkowanego stresu zimna.

Wspomniane wcześniej odrębności bioklimatu w Łebie, szczególnie dla okresu zimowego, można dostrzec również w przypadku analizy średnich dobowych wartości wskaźnika UTCI w przebiegu rocznym (rys. 4). Wartości wskaźnika UTCI poniżej  $-13^{\circ}\text{C}$  (silny stres zimna) mogą pojawiać się tutaj niemal przez całą zimę, od połowy grudnia do drugiej dekady lutego, podczas gdy w Świnoujściu i Kołobrzegu występują jedynie w kilkunastu przypadkach, w styczniu lub lutym w godzinach nocnych. W Helu kategoria silnego stresu zimna występuje od połowy grudnia do połowy lutego, najczęściej w nocy i niemal nigdy o godzinie 12 UTC.

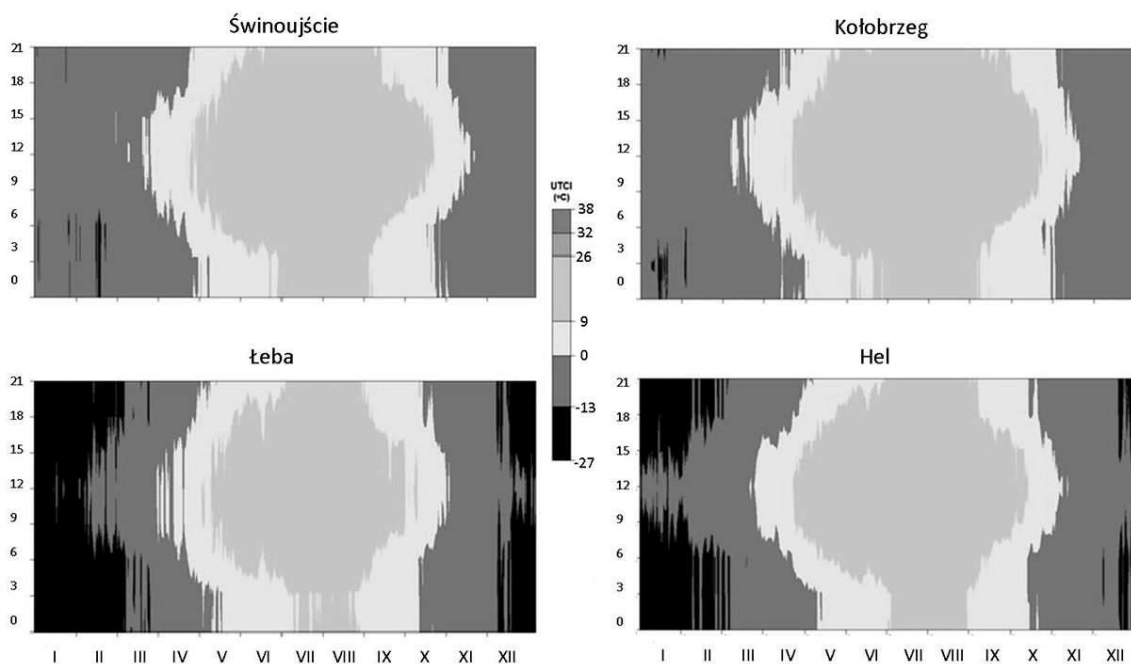


Rys. 3. Przebieg roczny średnich, maksymalnych i minimalnych wartości wskaźnika UTCI w wybranych miastach Półwyspy Południowobałtyckich (1981–2010)

1 – nieznosny stres ciepła; 2 – bardzo silny stres ciepła; 3 – silny stres ciepła; 4 – umiarkowany stres ciepła; 5 – brak obciążeń cieplnych; 6 – łagodny stres zimna; 7 – umiarkowany stres zimna; 8 – silny stres zimna; 9 – bardzo silny stres zimna; 10 – nieznosny stres zimna

Annual course of average, maximum and minimum values of the UTCI index in selected cities of the Polish Baltic Coast (1981–2010)

1 – extreme heat stress; 2 – very strong heat stress; 3 – strong heat stress; 4 – moderate heat stress; 5 – no thermal stress; 6 – slight cold stress; 7 – moderate cold stress; 8 – strong cold stress; 9 – very strong cold stress; 10 – extreme cold stress



Rys. 4. Dobowa i roczna zmienność średniej wartości wskaźnika UHCI w wybranych miastach Pobrzeży Południowobałtyckich (1981–2010)

Diurnal and annual variability of the average value of the UHCI index in selected cities of the Polish Baltic Coast (1981–2010)

Istotnym elementem oceny warunków bioklimatycznych jest ich zmienność wieloletnia, którą można kreślić na podstawie trendów zmian średniej rocznej wartości wskaźnika UHCI oraz trendów wieloletnich zmian liczby dni według kategorii wskaźnika UHCI. Obie charakterystyki oceniono na podstawie równań regresji, które pokazano w tabelach 2 i 3 oraz na rysunku 5. Analiza trendów średnich rocznych wartości

wskaźnika UHCI wykazała, że w każdym przypadku jego wartość wzrasta w podobnym tempie w Świnoujściu, Kołobrzegu i Łebie oraz mniejszym w Helu, co świadczy o tendencji warunków odczuwalnych w kierunku złagodzenia zimnych obciążeń cieplnych organizmu człowieka (rys. 5). Istotne statystycznie trendy dla sezonów potwierdziły, że zmiana ta następuje w ciągu całego roku (tab. 2).

Tabela 2

Równania regresji trendów sezonowych średnich wartości wskaźnika UHCI w wybranych miastach pasa Pobrzeży Południowobałtyckich (1981–2010)

The regression equations of seasonal trends of the average UHCI index values in selected cities of the Polish Baltic Coast (1981–2010)

Pora roku	Świnoujście	Kołobrzeg	Łeba	Hel
Wiosna	$y = 0,1528x - 0,8735$ $R^2 = 0,2893^{**}$	$y = 0,1462x - 2,1415$ $R^2 = 0,4711^{***}$	$y = 0,1085x - 3,7452$ $R^2 = 0,2127^{**}$	$y = 0,0769x - 1,7956$ $R^2 = 0,1677^*$
Lato	$y = 0,1463x - 13,262$ $R^2 = 0,4574^{***}$	$y = 0,2039x - 15,107$ $R^2 = 0,6219^{***}$	$y = 0,1075x - 11,057$ $R^2 = 0,2237^{***}$	$y = 0,089x - 13,513$ $R^2 = 0,2242^{**}$
Jesień	$y = 0,1405x + 1,3696$ $R^2 = 0,2996^{***}$	$y = 0,1457x + 3,483$ $R^2 = 0,44^{***}$	$y = 0,1466x - 2,4516$ $R^2 = 0,3521^{***}$	$y = 0,1057x - 0,5209$ $R^2 = 0,2401^{**}$
Zima	$y = 0,1882x - 12,561$ $R^2 = 0,2266^{**}$	$y = 0,0902x - 9,7795$ $R^2 = 0,1656^*$	$y = 0,1604x - 17,569$ $R^2 = 0,3841^{***}$	$y = 0,1133x - 14,759$ $R^2 = 0,1972^{**}$

istotność statystyczna trendów: \* 0,05; \*\* 0,01; \*\*\* 0,001  
the statistical significance of trends: \* 0,05; \*\* 0,01; \*\*\* 0,001

Tabela 3

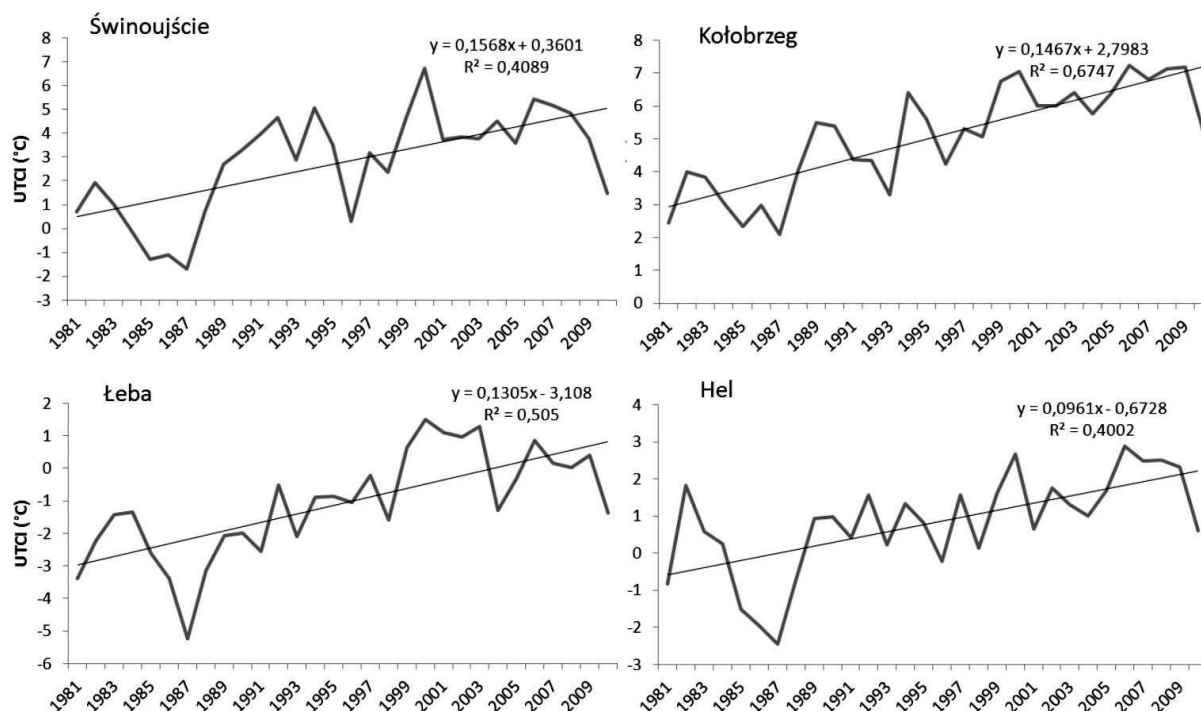
Współczynniki kierunkowe trendów rocznej liczby dni według kategorii wskaźnika UTCI o godzinie 12 UTC w wybranych miastach Pasa Wybrzeży Południowobałtyckich (1981–2010)

The coefficients of directional trends in the annual number of days according to the UTCI index categories (12 UTC) in selected cities of the Polish Baltic Coast (1981–2010)

Pora roku	Świnoujście	Kołobrzeg	Łeba	Hel
Wiosna	$y = 0,1528x - 0,8735$ $R^2 = 0,2893^{**}$	$y = 0,1462x - 2,1415$ $R^2 = 0,4711^{***}$	$y = 0,1085x - 3,7452$ $R^2 = 0,2127^{**}$	$y = 0,0769x - 1,7956$ $R^2 = 0,1677^*$
Lato	$y = 0,1463x - 13,262$ $R^2 = 0,4574^{***}$	$y = 0,2039x - 15,107$ $R^2 = 0,6219^{***}$	$y = 0,1075x - 11,057$ $R^2 = 0,2237^{***}$	$y = 0,089x - 13,513$ $R^2 = 0,2242^{**}$
Jesień	$y = 0,1405x + 1,3696$ $R^2 = 0,2996^{***}$	$y = 0,1457x + 3,483$ $R^2 = 0,44^{***}$	$y = 0,1466x - 2,4516$ $R^2 = 0,3521^{***}$	$y = 0,1057x - 0,5209$ $R^2 = 0,2401^{**}$
Zima	$y = 0,1882x - 12,561$ $R^2 = 0,2266^{**}$	$y = 0,0902x - 9,7795$ $R^2 = 0,1656^*$	$y = 0,1604x - 17,569$ $R^2 = 0,3841^{***}$	$y = 0,1133x - 14,759$ $R^2 = 0,1972^{**}$

istotność statystyczna trendów: \* 0,05; \*\* 0,01; \*\*\* 0,001

the statistical significance of trends: \* 0,05; \*\* 0,01; \*\*\* 0,001



Rys. 5. Przebieg średnich rocznych wartości wskaźnika UTCI w wybranych miastach Półwyspy Południowobałtyckich (1981–2010)

istotność statystyczna wszystkich trendów na poziomie 0,001

Course of the annual average UTCI index values in selected cities of the Polish Baltic Coast (1981–2010)

the statistical significance of trends 0.001

Analiza współczynników kierunkowych równań regresji dla rocznej liczby dni według kategorii UTCI wskazuje, że w Świnoujściu, Kołobrzegu i Łebie przybywa dni ze stresem

ciepła (tab. 3). W przypadku zakresu silnego stresu ciepła tempo przyrostu wynosi odpowiednio ok. 6, 5 i 3 dni na 10 lat, natomiast w przypadku umiarkowanego stresu ciepła ok. 7 (Świ-

noujście) i ok. 9 dni (Łeba) na 10 lat. Ponadto w Świnoujściu zaznacza się niewielki (ok. 1 dzień/10 lat), ale istotny statystycznie, dodatni trend liczby dni z bardzo silnym stresem ciepła. W Świnoujściu, Łebie i w Helu ubywa dni z warunkami stresu zimna. W kategorii łagodnego stresu zimna w Świnoujściu odnotowano ich spadek na poziomie ok. 9 dni/10 lat, natomiast w zakresie umiarkowanego stresu zimna w Świnoujściu, Łebie i w Helu ubywa odpowiednio ok. 0,6 i 0,9 i 0,5 dnia/10 lat. Istotny statystycznie wieloletni spadek liczby dni z silnym stresem zimna zanotowano jedynie w Łebie (ok. 2 dni/10 lat).

### **Sytuacje synoptyczne związane z ekstremalnie ciepłymi obciążeniami cieplnymi organizmu**

Ekstremalnie ciepłe obciążenie cieplne organizmu w Świnoujściu ( $UTCI > 32^{\circ}C$ ) w badanym okresie występowały przy rozkładzie ciśnienia nad Europą generującym napływ ciepłego powietrza nad obszar badań z południa (rys. 6). Wyróżnić można dwie grupy sytuacji barycznej odpowiedzialnej za bardzo duże wartości wskaźnika UTCI. W pierwszej z nich centrum układu wysokiego ciśnienia o wartości powyżej 1020 hPa zalega bezpośrednio nad północno-wschodnią granicą Polski i obwodem kaliningradzkim. O napływie ciepłej masy powietrza z południa świadczą charakterystycznie ugięte i uniesione o około 120 m w stosunku do średniego położenia izohipsy oznaczające wysokość zalegania geopotencjału 500 hPa (rys. 6, G I). W grupie drugiej napływ ciepłego powietrza nad Polskę powoduje układ wysokiego ciśnienia z centrum położonym na północny wschód od naszego kraju oraz niż z centrum nad Szkocją. Podobnie jak w poprzednio opisanej grupie wysokość geopotencjału 500 hPa nad obszarem badań jest wyższa niż średnio o ponad 80 m, a układ izohips również jednoznacznie wskazuje południową adwekcję ciepła (rys. 6, G II).

W Kołobrzegu ekstremalne wartości wskaźnika UTCI występowały w identycznych warunkach rozkładu ciśnienia atmosferycznego i wysokości geopotencjału 500 hPa jak w Świnoujściu. Również w tym przypadku wyróżniono dwie grupy sytuacji odpowiedzialnych za adwekcję ciepła z sektora południowego. W grupie pierwszej napływ ciepła powodował wyż z centrum obejmującym północno-wschodnią Polskę oraz obwód kaliningradzki, a w drugiej układ wysokiego ciśnienia z centrum położonym na północ-

ny wschód od granic Polski wraz z niżem, którego centrum zalegało nad Szkocją. Zarówno wartości ciśnienia na poziomie morza, wysokości zalegania geopotencjału 500 hPa, jak i ich kształt oraz anomalie w dniach z ekstremalnymi dodatnimi wartościami wskaźnika UTCI są bardzo podobne w Świnoujściu oraz Kołobrzegu (rys. 7).

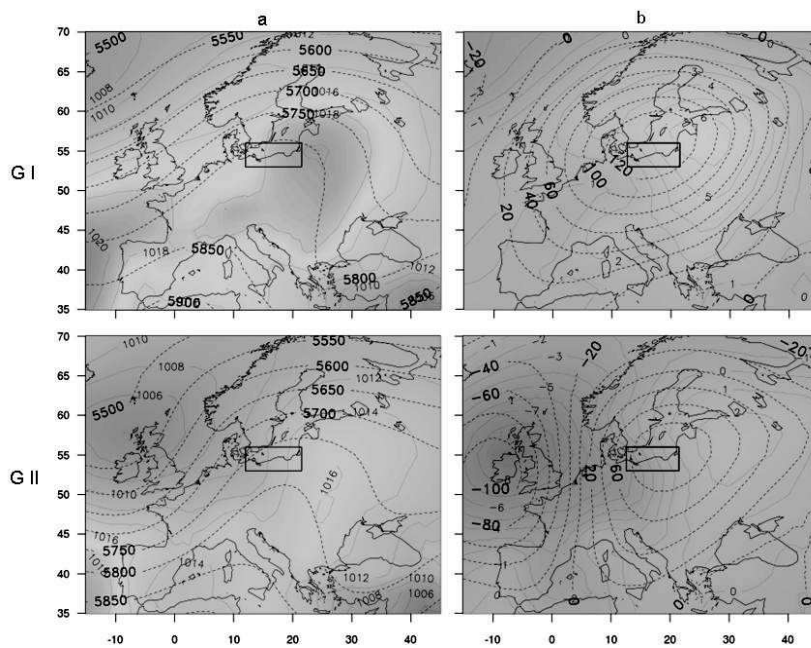
Również dla Helu ekstremalne dodatnie wartości analizowanego wskaźnika występowały w niemal identycznych warunkach rozkładu ciśnienia na poziomie morza oraz przy podobnej wysokości zalegania geopotencjału 500 hPa nad Europą Środkową jak w Świnoujściu oraz Kołobrzegu. W analizowanym przypadku wyróżniają się również dwie grupy sytuacji barycznych powodujących adwekcję ciepła z południa docierającego nad znaczną część Europy. W jednej grupie są sytuacje z układem wysokiego ciśnienia z centrum zlokalizowanym na północny wschód od Polski, a w drugiej występuje układ niżu oraz wysokiego ciśnienia zlokalizowany podobnie jak w poprzednio opisanych przypadkach (rys. 8).

### **Sytuacje synoptyczne związane z ekstremalnie zimnymi obciążeniami cieplnymi organizmu**

Ekstremalnie zimne obciążenia cieplne organizmu może w Świnoujściu wystąpić przy trzech różnych typach rozkładu ciśnienia na poziomie morza nad obszarem Europy. W pierwszej z nich bardzo rozległy i silny wyż z ciśnieniem w centrum wynoszącym ponad 1036 hPa zalega nad obszarem Bałtyku oraz znaczną częścią Skandynawii, powodując wschodnią adwekcję chłodnego powietrza nad obszar Europy Środkowej. O wschodniej adwekcji chłodu świadczy charakterystyczne ugięcie ku zachodowi nad znaczną częścią Europy izolinii określających wysokość geopotencjału 500 hPa oraz ich anomalie wynoszące około  $-50$  m nad obszarem badań (rys. 9, G I).

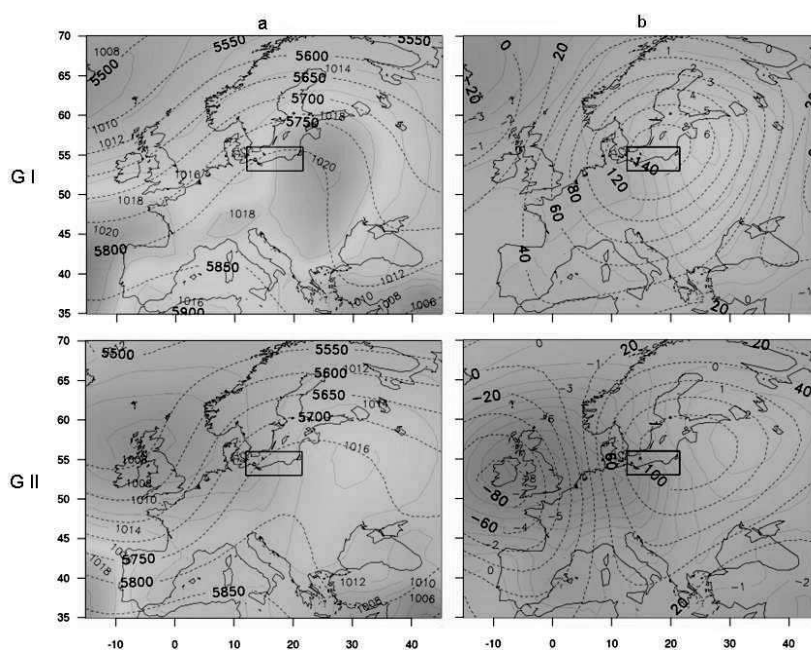
W drugiej grupie dni z ekstremalnie niskimi wartościami wskaźnika UTCI, układ niskiego ciśnienia z centrum położonym na północny wschód od granic Polski powodował wystąpienie adwekcji powietrza z sektora północno-wschodniego. W tym czasie nad obszarem badań zalegała chłodna masa powietrza, na co wskazuje obniżenie powierzchni geopotencjału nad obszarem badań o niemal 250 m w stosunku do warunków średnich oraz charakterystyczne ugięcie izohips geopotencjału w kierunku południowo-wschodnim (rys. 9, G II).





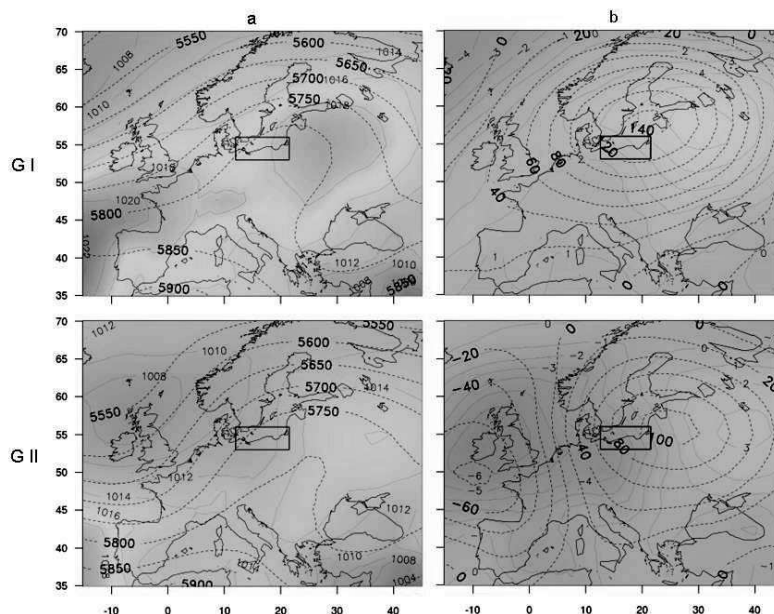
Rys. 6. Świnoujście – średnie wartości SLP i geopotencjału 500 hPa (a) i ich anomalie (b) dla dni z UTCI > 32°C wg wyznaczonych grup (G I, G II)

Świnoujście – average values of SLP and the 500 hPa geopotential height (a) and their anomalies (b) for days with the UTCI > 32°C by designated groups (G I, G II)



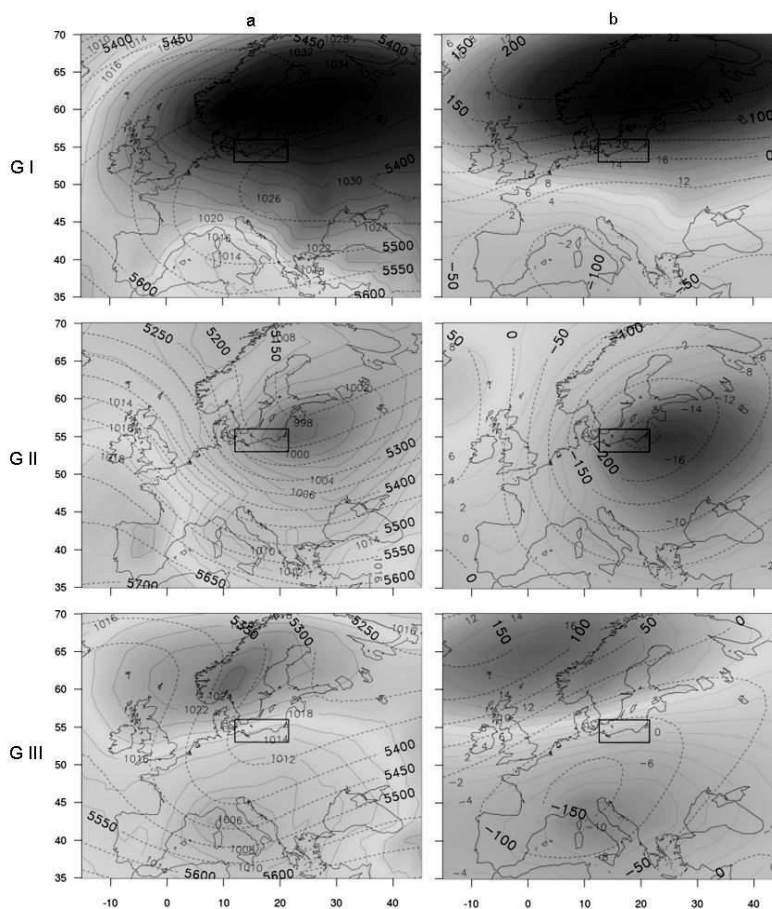
Rys. 7. Kołobrzeg – średnie wartości SLP i geopotencjału 500 hPa (a) i ich anomalie (b) dla dni z UTCI > 32°C wg wyznaczonych grup (G I, G II)

Kołobrzeg – average values of SLP and the 500 hPa geopotential height (a) and their anomalies (b) for days with the UTCI > 32°C by designated groups (G I, G II)



Rys. 8. Hel – średnie wartości SLP i geopotencjału 500 hPa (a) i ich anomalie (b) dla dni z UTCI > 32°C wg wyznaczonych grup (G I, G II)

Hel – average values of SLP and the 500 hPa geopotential height (a) and their anomalies (b) for days with the UTCI > 32°C by designated groups (G I, G II)



Rys. 9. Świnoujście – średnie wartości SLP i geopotencjału 500 hPa (a) i ich anomalie (b) dla dni z UTCI < -27°C wg wyznaczonych grup (G I, G II, G III)

Świnoujście – average values of SLP and the 500 hPa geopotential height (a) and their anomalies (b) for days with the UTCI < -27°C by designated groups (G I, G II, G III)

Trzecią grupę stanowiły dni z wyraźną północno-wschodnią adwekcją mas powietrza nad obszar badań, spowodowaną współdziałaniem układu wyżowego z centrum o wartościach ciśnienia wynoszących ponad 1024 hPa, który zalegał nad obszarem południowo-zachodniej Skandynawii oraz ośrodka niskiego ciśnienia z centrum o wartościach poniżej 1006 hPa nad Półwyspem Apenińskim. Obszar badań znajdował się w strefie lekko obniżonej, w stosunku do średniej wysokości geopotencjału 500 hPa (rys. 9, G III).

W Kołobrzegu wyróżniono również trzy grupy dni ze specyficznym rozkładem ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza nad obszarem Europy powodującego ekstremalnie niskie wartości wskaźnika UTCI. Zwraca uwagę znaczne podobieństwo, zarówno rozkładu ciśnienia, jak i wysokości zalegania powierzchni izobarycznej 500 hPa w wyróżnionych grupach, do opisanych dla Świnoujścia. W grupie pierwszej obszar badań objęty był skrajem głębokiego układu wyżowego z centrum o wartości ciśnienia powyżej 1036 hPa, zalegającym na wschód od Morza Bałtyckiego (rys. 10, G I).

W drugiej grupie dni układ niżowy z centrum o wartościach ciśnienia poniżej 1000 hPa znajdował się nad Bałtykiem, powodując północno-zachodni przepływ powietrza nad obszarem badań. W tym czasie położenie powierzchni geopotencjału 500 hPa było znacznie niższe niż w warunkach średnich, co świadczy o niskich wartościach temperatury masy powietrza nad południową częścią Morza Bałtyckiego (rys. 10, G II).

Trzecią grupę stanowiły dni, w których wschodnia adwekcja chłodnych mas powietrza nad Polskę spowodowana była współdziałaniem wyżu z centrum nad Skandynawią i niżu z centrum nad południową częścią Europy. O napływie chłodnej masy powietrza nad obszar badań świadczy m.in. charakterystyczne ugięcie izolinii oznaczających wysokość geopotencjału 500 hPa oraz obniżenie jego wysokości w stosunku do warunków średnich o ponad 150 m (rys. 10, G III).

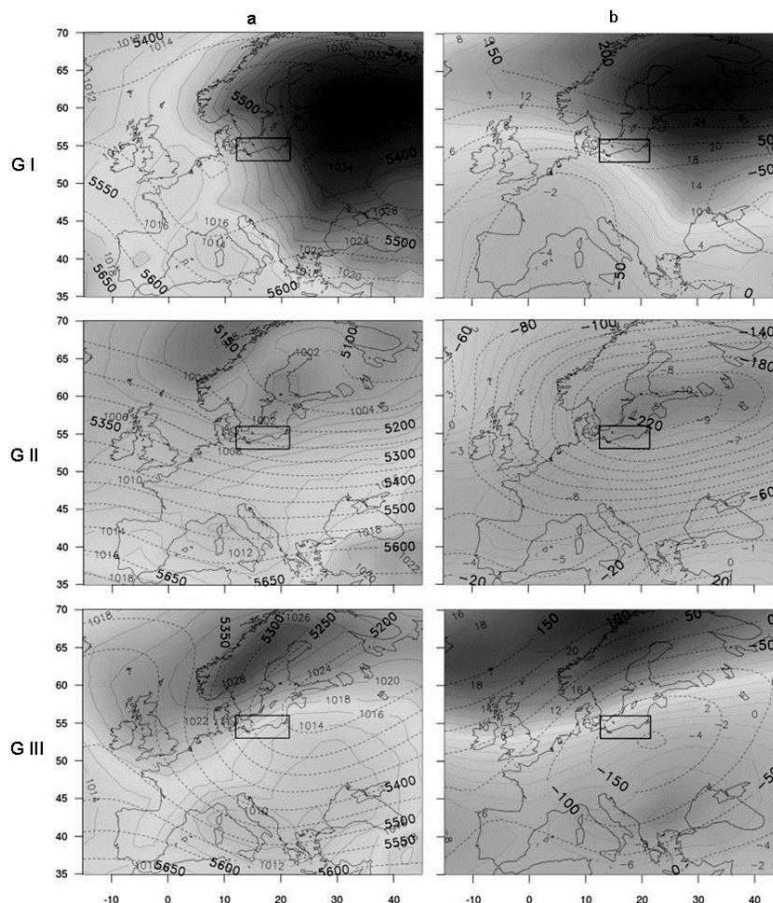
Ekstremalnie chłodne obciążenia cieplne organizmu w Helu występują w dwóch grupach dni, charakteryzujących się specyficznym rozkładem pola ciśnienia nad obszarem Europy. W grupie pierwszej obszar badań, podobnie jak w przypadku Kołobrzegu, położony jest na skraju układu wysokiego ciśnienia z centrum zlokalizowanym na wschód od Morza Bałtyckiego i z ciśnieniem powyżej 1032 hPa. Układ wyżowy powoduje napływ kontynentalnych mas powietrza nad obszar badań z południowego wschodu (rys. 11, G I). W drugiej

grupie dni układ niskiego ciśnienia generujący zachodnią adwekcję mas powietrza nad obszar badań znajduje się w rejonie Bałtyku i Skandynawii. Bałtyk Południowy w tym czasie znajduje się w zasięgu oddziaływania chłodnej masy powietrza, o czym świadczy ujemna wartość anomalii wysokości geopotencjału 500 hPa wynosząca poniżej –160 m (rys. 11, G II).

## Wnioski

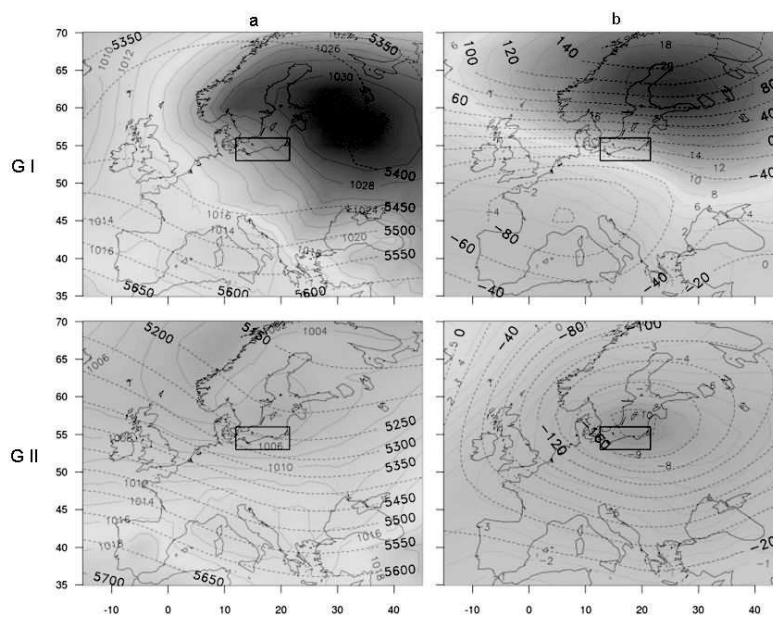
Na podstawie wartości wskaźnika UTCI z godziny 12 UTC można stwierdzić, że w badanych miastach najczęściej występują dni z brakiem obciążeń cieplnych (od 35% w Łebie do 42% w Kołobrzegu). Spośród dni z wartością wskaźnika UTCI uznawaną za obciążającą organizm największą jest dni z kategorii umiarkowanego stresu zimna (23–26% w ciągu roku) i nieco mniej z łagodnym stresem zimna (18–21%). Dni z silnym i bardzo silnym stresem zimna pojawiają się w badanych miastach znacznie rzadziej i ze zróżnicowaną częstością. Zdecydowanie częściej występują w Łebie i w Helu (14 i 9% dni) niż w Świnoujściu i Kołobrzegu (ok. 4–6%). Częstość dni ze stresem zimna w Łebie znacznie odbiega od tej notowanej w pozostałych miastach, szczególnie ze względu na dni z zakresu bardzo silnego stresu zimna, które pojawiają się tutaj zdecydowanie częściej (ok. 1,5%) niż w Świnoujściu, Kołobrzegu i Helu (0,1–0,7%). Dni z nieznośnym stresem zimna występują w badanych miastach niezwykle rzadko (łącznie jedynie 6 przypadków w latach 1981–2010). Warunki biometeorologiczne w Łebie wyróżniają się również pod względem częstości dni z umiarkowanym i silnym stresem ciepła, które pojawiają się tam odpowiednio w ok. 3 i 0,3% przypadków, podczas gdy w pozostałych miastach stanowią odpowiednio 6–7 i 0,6–0,9%.

Dynamika zmian obciążeń cieplnych w badanych miastach, według średnich rocznych wartości wskaźnika UTCI, wynosi od +0,9 do +1,5°C/10 lat. Na podstawie corocznej zmienności liczby dni według przyjętych kategorii wskaźnika UTCI można stwierdzić, że w Świnoujściu, Kołobrzegu i Łebie przybywa dni ze stresem ciepła. W zakresie silnego stresu ciepła tempo tego przyrostu wynosi odpowiednio ok. 6, 5 i 3 dni/10 lat, a w zakresie umiarkowanego stresu ciepła ok. 7 (Świnoujście) i ok. 9 (Łeba) dni/10 lat. W Świnoujściu, w tempie 1 dzień/10 lat, przybywa również warunków z bardzo silnym stresem ciepła.



Rys. 10. Kołobrzeg – średnie wartości SLP i geopotencjału 500 hPa (a) i ich anomalie (b) dla dni z UTCI < -27°C wg wyznaczonych grup (G I, G II, G III)

Kołobrzeg – average values of SLP and the 500 hPa geopotential height (a) and their anomalies (b) for days with the UTCI < -27°C by designated groups (G I, G II, G III)



Rys. 11. Hel – średnie wartości SLP i geopotencjału 500 hPa (a) i ich anomalie (b) dla dni z UTCI < -27°C wg wyznaczonych grup (G I, G II)

Hel – average values of SLP and the 500 hPa geopotential height (a) and their anomalies (b) for days with the UTCI < -27°C by designated groups (G I, G II)

W Świnoujściu, Łebie i Helu ubywa dni ze stresem zimna. Dni z łagodnym stresem zimna w Świnoujściu jest mniej o ok. 9 dni/10 lat, a dni zakresu umiarkowanego stresu zimna w Świnoujściu, Łebie i Helu ubywa w tempie odpowiednio ok. 0,6 i 0,9 i 0,5 dnia/10 lat. Spadek liczby dni z silnym stresem zimna zanotowano jedynie w Łebie (ok. 2 dni/10 lat).

Analiza sytuacji synoptycznych wykazała, że warunki ekstremalnego stresu ciepła (UTCI > 32°C) na całym obszarze Pobrzeży Południowobałtyckich występują przy rozkładzie ciśnienia nad Europą generującym napływ ciepłych mas powietrza z południa. Występują dwie grupy sytuacji barycznych odpowiedzialne za taki kierunek adwekcji. W pierwszej – centrum wysokiego ciśnienia (> 1020 hPa) leży nad północno-wschodnią granicą Polski, a o napływie ciepłej masy powietrza z południa świadczą ugięte i uniesione o około 120–140 m w stosunku do średniego położenia izohipsy wysokości geopotencjału 500 hPa. W drugiej grupie napływ ciepłego powietrza nad Polskę powoduje układ wysokiego ciśnienia, którego centrum położone jest na północny wschód od naszego kraju i niż z centrum nad Szkocją. Podobnie jak w przypadku pierwszego typu sytuacji wysokość geopotencjału 500 hPa nad obszarem badań zalega wyżej niż średnio, w tym przypadku o ponad 80 m.

Przypadki ekstremalnego stresu zimna (UTCI < -27°C) w centrum i na wschodzie pasa Pobrzeży Południowobałtyckich powodowane są trzema, a na zachodzie tego obszaru dwoma charakterystycznymi typami sytuacji synoptycznych. W pierwszej z nich rozległy wyż z ciśnieniem w centrum na poziomie 1032–1036 hPa zalega nad obszarem Bałtyku i częścią Skandynawii. Taki układ powoduje adwekcję zimnego powietrza ze wschodu, na co wskazuje niższe od średniej zaleganie wysokości geopotencjalnej 500 hPa o ok. 50 metrów. Drugi typ sytuacji synoptycznych sprzyjający występowaniu warunków z ekstremalnym stresem zimna wyróżnia się układem niskiego ciśnienia z centrum na północny wschód od Polski. Powoduje ono adwekcję zimnego powietrza z sektora północno-wschodniego, na co wskazuje obniżenie powierzchni geopotencjału nad obszarem badań o niemal 250 m w stosunku do warunków średnich, oraz charakterystyczne ugięcie izohips geopotencjału w kierunku południowo-wschodnim. Trzecia grupa sytuacji synoptycznych dotyczy obszaru Świnoujścia i Kołobrzegu. W tym przypadku wyraźna północno-wschodnia adwekcja mas powietrza spowodowana jest współdziałaniem układu wyżowego z centrum

leżącym nad Skandynawią (o wartościach ciśnienia ponad 1024 hPa) oraz ośrodka niskiego ciśnienia z centrum nad Półwyspem Apenińskim.

## Literatura

- Bartzokas Aristides, Christos J. Lolis, Pavlos A. Kassomenos, Glenn R. McGregor. 2013. „Climatic characteristics of summer human thermal discomfort in Athens and its connection to atmospheric circulation”. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 13 (12): 3271-3279.
- Błażejczyk Krzysztof. 2011. *BioKlima – Universal Tool for Bioclimatic Thermophysiological Studies*. Warszawa: Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, <http://www.igipz.pan.pl/Bioklima-zgik.html> [20 maja 2015].
- Błażejczyk Krzysztof. 2013. „Distribution of Universal Thermal Climate Index (UTCI) in Warsaw”. *Geographia Polonica* 86 (1): 79-80.
- Błażejczyk Krzysztof, Anna Błażejczyk. 2014. „Assessment of Bioclimatic Variability on Regional and Local Scales in Central Europe Using UTCI”. *Scientific Annales of “Alexandru Ioan Cuza” University of Iasi – Geography series* 60 (1): 67-82.
- Błażejczyk Krzysztof, Anna Kunert. 2011. *Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce*. Monografie Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN 13. Warszawa: Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyckiego. Wyd. 2.
- Błażejczyk Krzysztof, Jarosław Baranowski, Anna Błażejczyk. 2014a. „Heat stress and occupational health and safety – spatial and temporal differentiation”. *Miscellanea Geographica – Regional Studies on Development* 18 (1): 61-67.
- Błażejczyk Krzysztof, Peter Broede, Dusan Fiala, George Havenith, Ingvar Holmér, Gerd Jendritzky, Bernhard Kampmann. 2010. „UTCI – nowy wskaźnik oceny obciążeń cieplnych człowieka”. *Przegląd Geograficzny* 82 (1): s. 49-71.
- Błażejczyk Krzysztof, Yoram Epstein, Gerd Jendritzky, Henning Staiger, Birger Tinz. 2012. „Comparison of UTCI to selected thermal indices”. *International Journal of Biometeorology* 56 (3): 515-535.
- Błażejczyk Krzysztof, Danuta Idzikowska, Anna Błażejczyk. 2013a. „Forecast changes for heat and cold stress in Warsaw in the 21<sup>st</sup> century, and their possible influence on mortality risk”. *Papers on Global Change IGBP* 20 (1): 47-62.
- Błażejczyk Krzysztof, Gerd Jendritzky, Peter Bröde, Dusan Fiala, George Havenith, Yoram Epstein,

- Agnieszka Psikuta, Bernhard Kampmann. 2013b. „An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI)”. *Geographia Polonica* 86 (1): 5-10.
- Błażejczyk Krzysztof, Magdalena Kuchcik, Anna Błażejczyk, Paweł Milewski, Jakub Szmyd. 2014b. „Assessment of urban thermal stress by UTCI – experimental and modelling studies: an example from Poland”. *Die Erde* 145 (1-2): 16-33.
- Bröde Peter, Eduardo L. Krüger, Dusan Fiala. 2013. „UTCI: Validation and practical application to the assessment of urban outdoor thermal comfort”. *Geographia Polonica* 86 (1): 11-20.
- Farajzadeh Hassan, Mohammad Saligheh, Bohloul Alijani, Andreas Matzarakis. 2015. „Comparison of selected thermal indices in the north-west of Iran”. *Natural Environment Change* 1 (1): 1-20.
- Fiala Dusan, Kevin J. Lomas, Martin Stohrer. 2001. „Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions”. *International Journal of Biometeorology* 45 (3): 143-159.
- Ge Quansheng, Qinqin Kong, Jianchao Xi, Jingyun Zheng. 2016. „Application of UTCI in China from Tourism Perspective”. *Theoretical and Applied Climatology* DOI 10.1007/s00704-016-1731-z.
- Idzikowska Danuta. 2011. „Związki między umiernością a UTCI w Paryżu, Rzymie, Warszawie i Budapeszcie”. *Prace i Studia Geograficzne* 47: 311-318.
- Kalnay Eugenia, Masao Kanamitsu, Robert Kistler, William Collins, Dennis Deaven, Lev Gandin, Mark Iredell, Suranjana Saha, Glenn White, John Woollen, Yong Zhu, Ants Leetmaa, Richard Reynolds, Muthuvel Chelliah, Wesley Ebisuzaki, Wayne Higgins, John Janowiak, Kingse C. Mo, Chester Ropelewski, Jia Wang, Roy Jenne, Dennis Joseph. 1996. „The NCEP/ NCAR 40-Year Reanalysis Project”. *Bulletin of the American Meteorological Society* 77 (3): 437-471.
- Kažys Justas, Ieva Malūnavičiūtė I. 2015. „The Evaluation of Summer Beaching Conditions on the Baltic Sea Coast Using the UTCI Index”. *International Journal of Climate Change: Impacts and Responses* 7 (4): 41-59.
- Kozłowska-Szczęśna Teresa, Krzysztof Błażejczyk, Barbara Krawczyk. 1997. *Bioklimatologia człowieka: metody i ich zastosowanie w badaniach bioklimatu Polski*. Monografie Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN 1. Warszawa: Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyckiego.
- Lindner Katarzyna. 2011. „Assessment of sensible climate in Warsaw using UTCI”. *Prace i Studia Geograficzne* 47: 285-291.
- Lindner-Cendrowska Katarzyna. 2013. „Assessment of bioclimatic conditions in cities for tourism and recreational purposes (A Warsaw case study)”. *Geographia Polonica* 86 (1): 55-66.
- Matzarakis Andreas, Stefan Muthers, Frank Rutz. 2014. „Application and comparison of UTCI and PET in temperate climate conditions”. *Finisterra* 49 (98): 21-31.
- Mąkosza Agnieszka. 2013. „Bioclimatic conditions of the Lubuskie Voivodeship”. *Geographia Polonica* 86 (1): 37-46.
- Milewski Paweł. 2013. „Application of the UTCI to the local bioclimate of Poland’s Ziemia Kłodzka region”. *Geographia Polonica* 86 (1): 47-54.
- Nastos Panagiotis T., Andreas Matzarakis. 2012. „The effect of air temperature and human thermal indices on mortality in Athens, Greece”. *Theoretical and Applied Climatology* 108 (3): 591-599.
- Nidzgorska-Lencewicz Jadwiga. 2015. „Variability of human-biometeorological conditions in Gdańsk”. *Polish Journal of Environmental Studies* 24 (1): 215-226.
- Nidzgorska-Lencewicz Jadwiga, Agnieszka Mąkosza. 2013. „Assessment of bioclimatic conditions within the area of Szczecin agglomeration”. *Meteorologische Zeitschrift* 22 (5): 615-626.
- Novak Martin. 2013. „Use of the UTCI in the Czech Republic”. *Geographia Polonica* 86 (1): 21-28.
- Nowosad Marek, Beata Rodzik, Sylwester Wereski, Mateusz Dobek. 2013. „Universal Thermal Climate Index in Lesko and Lublin and its circulation determinants”. *Geographia Polonica* 86 (1): 29-36.
- Okoniewska Monika, Mirosław Więclaw. 2013. „Zmienność wieloletnia warunków bioklimatycznych w II połowie XX wieku w Polsce w godzinach okołopołudniowych na podstawie uniwersalnego wskaźnika obciążenia cieplnego”. *Journal of Health Sciences* 3 (15): 116-131.
- Park Sookuk, Stanton E. Tuller, Myunghee Jo. 2014. „Application of Universal Thermal Climate Index (UTCI) for microclimatic analysis in urban thermal environments”. *Landscape and Urban Planning* 125: 146-155.
- Rutty Michelle, Daniel Scott. 2014. „Thermal Range of Coastal Tourism Resort Microclimates”. *Tourism Geographies: An International Journal of Tourism and Space, Place and Environment* 16 (3): 346-363.
- Świątek Małgorzata. 2014. „Seasonal variability of climatic conditions for tourism and recreation along the southern coast of The Baltic Sea”.

*Bulletin of Geography – Physical Geography Series 7: 57-80.*

Urban Aleš, Jan Kyselý. 2014. „Comparison of UTCI with other thermal indices in the assessment of heat and cold effects on cardiovascular mortality in the Czech Republic”. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 11 (1): 952-967.

## Summary

The paper addresses the bioclimatic conditions in selected cities of the Polish Baltic Coast on the basis of the *Universal Thermal Climate Index* UTCI (Fig. 1). Moreover, the authors, by using observational data from coastline stations, as well as reanalysis data of the mean sea level pressure and the 500 hPa geopotential height from the NCEP/NCAR, attempt to explain which synoptic situations are conducive to the occurrence of days with very strong and extreme cold or heat stress. As extreme biometeorological situations the authors considered those in which the UTCI index at 12 UTC exceeded the value of 32°C (strong, very strong or extreme heat stress) and was lower than -27°C (very strong and extreme cold stress). The research proved that the lack of thermal stress occurs most frequently (Fig. 2). However, among the days with the aggravating conditions, days with the cold stress

category appear most frequently. An analysis of the diurnal, seasonal, and annual variability of the mean UTCI values in the selected cities was also conducted (Figs 3, 4). The study of long-term trends showed a statistically significant increase in the value of the UTCI index in the year and seasons (Fig. 5, Tab. 2). An analysis of the days by the UTCI index category trends showed an increase in the number of days with the conditions of both heat and cold stress in Świnoujście and Łeba, heat stress in Kołobrzeg, and cold stress in Hel (Tab. 3). The investigation of the synoptic situations showed that the extremely warm heat stress categories (UTCI > 32°C) occur in the distribution of pressure over Europe generating the influx of warm air masses from the south. There are two groups of situations responsible for such a direction of advection (Figs 6, 7, 8). Extreme cold thermal stress categories (UTCI < -27°C) in the center and east of the Polish coast are caused by three, and in the west of this area, by two distinctive types of synoptic situation (Figs 9, 10, 11). The first system causes advection of cold air from the east. The second type of synoptic situation favors the advection of cold air from the north-eastern sector. The third group of synoptic situations with a distinct north-eastern advection affects the area of Świnoujście and Kołobrzeg.