

Agnieszka Mąkosza*,
Bożena Michalska**

WYSTĘPOWANIE STRESU CIEPŁA W ŚRODKOWO-ZACHODNIEJ POLSCE

The occurrence of heat stress in central-west Poland

Summary. On the basis of term values (12 UTC) of meteorological data of seven synoptic stations in the central-west Poland heat stress index (HSI – *Heat Stress Index*) was calculated. During the year the heat stress of varying intensity occurred from February to November with a maximum in August. The rest of the year was dominated by thermoneutral conditions. In the period 1971–2006, and especially since 1999, becoming more frequent of occurrence days with an intensity of heat stress was so great, that pose a risk increase in body temperature (HSI > 100%). Based on the frequency of the occurrence of days with values HSI > 30% in the central-west Poland three areas with different number of days chargeable was distinguished.

Słowa kluczowe: obciążenie cieplne, wskaźnik HSI, liczba dni obciążających, natężenie stresu cieplnego, środkowo-zachodnia Polska

Key words: heat load, index HSI, number of heat load day, intensity heat stress, central-west Poland

WPROWADZENIE

W umiarkowanych szerokościach geograficznych stres ciepła występuje na ogół w czasie fali upałów, kiedy napływa bardzo ciepłe i wilgotne powietrze zwrotnikowe (Krawczyk 2003). Przy wysokich wartościach temperatury powietrza i dużej zawartości pary wodnej potęguje się odczucie gorąca i może

* Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Zachodniopomorski Ośrodek Badawczy w Szczecinie, 71–504 Szczecin, ul. Czesława 9, e-mail: agnieszka_makosza@op.pl

** Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Zakład Meteorologii i Klimatologii, 71–469 Szczecin, ul. Papieża Pawła VI 3, e-mail: bozena.michalska@zut.edu.pl

wystąpić niebezpieczne dla organizmu odczucie parności (Miętus i in. 2006). W takich warunkach wraz ze wzrostem natężenia stresu cieplnego narastają zakłócenia w wymianie ciepła poprzez utrudnione parowanie potu z powierzchni ciała, spowodowane dużą wilgotnością powietrza, a układ termoregulacyjny jest nadmiernie obciążony (Kozłowska-Szczęсна i in. 2002). Obciążenie organizmu człowieka umiarkowanymi bodźcami cieplnymi wywołuje rozszerzenie naczyń krwionośnych skóry, zwiększenie przepływu krwi oraz podwyższenie temperatury skóry. Przy działaniu silnych bodźców cieplnych włącza się drugi mechanizm termoregulacji – wydzielanie potu, wraz z którym organizm traci duże ilości wody i elektrolitów, powodując ich niedobór w organizmie. Może to prowadzić do udaru cieplnego i omdlenia (Bogucki 1999, Błażejczyk 2004). Natężenie bodźców klimatycznych (bodźcowość klimatu) zależy od zakresu zmian oraz czasu, w jakim te zmiany zachodzą. Im większa jest zmienność środowiska atmosferycznego, tym silniejsze jest jego działanie bodźcowe (Tyczka 1990).

Celem pracy było określenie częstości występowania w środkowo-zachodniej Polsce warunków obciążających, przejawiających się występowaniem stresu cieplnego u człowieka.

METODYKA BADAŃ

W pracy wykorzystano terminowe wartości (12 UTC) temperatury i wilgotności względnej powietrza, prędkości wiatru i wielkości zachmurzenia z każdego dnia z okresu 1971–2006. Wszystkie dane pochodziły ze stacji meteorologicznych wchodzących w skład państwowej sieci obserwacyjno-pomiarowej IMGW: Słubice, Gorzów Wlkp., Toruń, Poznań, Koło, Zielona Góra, Leszno.

Do określenia stresu ciepła zastosowano wskaźnik HSI (*Heat Stress Index*) oparty na modelu bilansu cieplnego człowieka – MENEX (Błażejczyk 2001, 2004, 2006), który obliczono, korzystając z programu BioKlima 2.5.

Wskaźnik stresu cieplnego HSI obrazuje natężenie uciążliwości warunków termiczno-wilgotnościowych. Wyraża on (w %) stosunek strat ciepła na parowanie z powierzchni ciała człowieka, które są niezbędne dla zachowania równowagi cieplnej organizmu (E_{req}) do ewaporacyjnych strat ciepła maksymalnych w danych warunkach meteorologicznych (E_{max}) (Kozłowska-Szczęсна i in. 2002, Błażejczyk 2004, Epstein i Moran 2006):

$$HSI = \frac{E_{req}}{E_{max}} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie: E_{req} wyznacza się z równania bilansu cieplnego człowieka – MENEX 2005 (Błażejczyk 2006):

$$E_{\text{req}} = M + Q + C + R_{\text{es}} \quad (2)$$

gdzie: M – metabolizm, Q – bilans radiacyjny, C – konwekcyjna wymiana ciepła, R_{es} – respiracyjne straty ciepła;

E_{max} z poniższego wzoru:

$$E_{\text{max}} = k \cdot v^{0,6} \cdot (56,0 - e) \quad (3)$$

gdzie: k – współczynnik bezwymiarowy wynoszący 7,0 ($I_{\text{cl}} \geq 0,5$) dla człowieka ubranego i 11,7 ($I_{\text{cl}} < 0,5$) dla człowieka bez odzieży, gdzie I_{cl} – termoizolacyjność odzieży; v – prędkość wiatru ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) na wysokości 1,2 m; e – ciśnienie pary wodnej (hPa); 56,0 – ciśnienie pary wodnej w temperaturze skóry człowieka 35°C.

Poszczególnym wartościom HSI odpowiadają następujące stopnie obciążenia organizmu i reakcje fizjologiczne (Błażejczyk 2004; Kozłowska-Szczęśna i in. 2004):

HSI (%)	Natężenie stresu cieplnego, efekt fizjologiczny
≤ 0	– łagodny stres chłodu,
0,1–10	– warunki termoneutralne (brak obciążeń termiczno-wilgotnościowych),
10,1–30	– łagodny lub umiarkowany stres ciepła,
30,1–70	– silny stres ciepła, zagrożenie dla zdrowia w przypadku braku aklimatyzacji,
70,1–90	– bardzo silny stres ciepła, niezbędne dostarczanie wody i soli mineralnych,
90,1–100	– maksymalny stres ciepła, tolerowany przez młode, zaaklimatyzowane osoby,
>100	– niebezpieczeństwo podwyższenia temperatury wewnętrznej, czas przebywania w takich warunkach musi być nadzorowany.

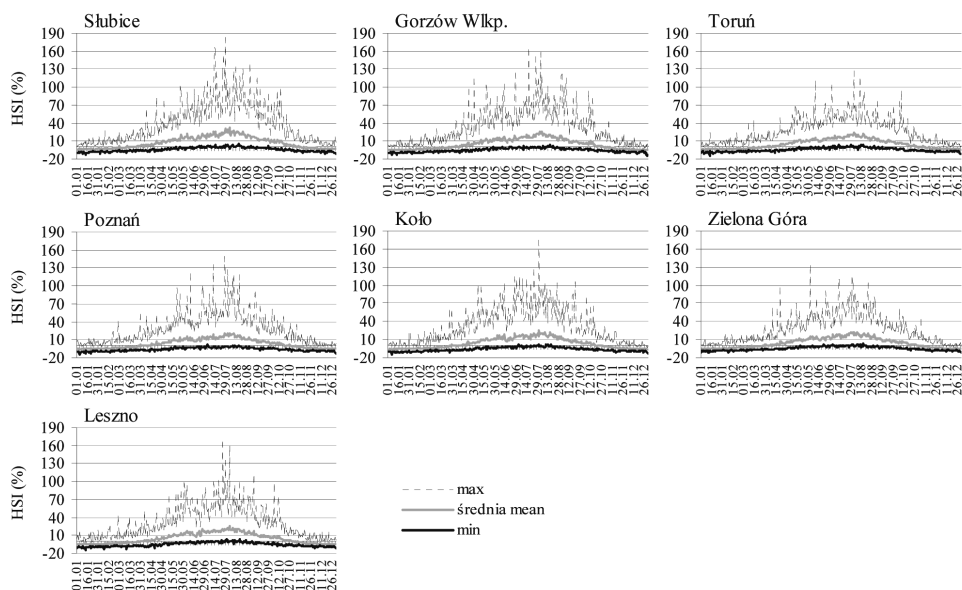
Wzrost wartości HSI wskazuje na narastanie stresu ciepła i obciążenie układu termoregulacyjnego człowieka. Wartości niższe od 30% nie powodują obciążenia, natomiast przy HSI od 30 do 70% obciążenie układu termoregulacyjnego człowieka oraz odczucie parności jest dokuczliwe dla osób starszych i dzieci oraz dla osób niezaaklimatyzowanych. Przy wartościach HSI większych od 70% stres cieplny jest uciążliwy dla wszystkich osób, a w przypadku osób starszych i dzieci może powodować przegrzanie organizmu (Błażejczyk 2004).

Przy HSI >100% może następować gromadzenie ciepła w organizmie człowieka i wzrost temperatury wewnętrznej o 1,8°C w ciągu 8 godzin (Kozłowska-Szczęśna i in. 2004).

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Średnie roczne wartości wskaźnika HSI w latach 1971–2006 wykazały dodatni trend, istotny statystycznie w miejscowościach położonych w województwie lubuskim (Ślubice, Gorzów Wlkp., Zielona Góra) oraz wysoce istotny statystycznie w Poznaniu. W Toruniu stwierdzono niewielką, ale również dodatnią tendencję wartości HSI, a w Kole i Lesznie – niewielką tendencję spadkową. W przebiegu rocznym średnich wartości HSI na uwagę zasługuje kwiecień. W miesiącu tym na całym obszarze występuje dodatni trend średnich wartości HSI, wysoce istotny statystycznie, z wyjątkiem Leszna. Zauważono bardzo dużą zmienność wartości HSI w kwietniu z roku na rok, zwłaszcza w latach 1990. Wzrost średnich wartości HSI z godz. 12 UTC stwierdzono od 21 kwietnia, co jest terminem pokrywającym się z początkiem występowania dni gorących ($\geq 25^{\circ}\text{C}$). Jak piszą Błażejczyk (2004) i Krawczyk (2001, 2003), wzrost wartości HSI może wskazywać na narastające uczucie parności i zwiększone obciążenie układu termoregulacyjnego.

Wśród przedstawionych na ryc. 1 średnich i ekstremalnych dobowych wartości wskaźnika HSI w ciągu roku zwracają uwagę wartości maksymalne. Obecność wartości HSI ponad 70%, które występują od maja do października, a w przypadku Ślubic, Gorzowa Wlkp. i Leszna również w kwietniu, świadczy o występowaniu stresu cieplnego, który jest dokuczliwy dla wszystkich osób. Z ryc. 1 wynika również, że najwyższe wartości wskaźnika stresu cieplnego występują w Ślubicach. Tam też odnotowano absolutnie najwyższe wartości HSI, wynoszące 183,6% (28 lipca 1994), co jest odpowiednikiem skrajnej klasy natężenia stresu termicznego. Tego dnia o godz. 12 UTC temperatura powietrza w Ślubicach wynosiła 34,2°C, przy wilgotności 40%, braku ruchu powietrza i zachmurzeniu 25%. Wśród maksymalnych wartości HSI, obliczonych przez Krawczyk (2001), najwyższa na obszarze Polski w miejscowości uzdrowiskowej w latach 1973–1990 wyniosła 159,5% w lipcu w Nałęczowie. Natomiast w Inowrocławiu, należącym także do regionu IV, o typowych warunkach bioklimatycznych (słabo bodźcowych, według podziału Kozłowskiej-Szczęśnej i in. 1997), tak jak obszar środkowo-zachodniej Polski, najwyższa wartość HSI wyniosła 121,1%.



Ryc. 1. Średnie, maksymalne i minimalne wartości wskaźnika stresu ciepłego (HSI) w kolejnych dniach roku (1971–2006)

Fig. 1. Average, maximum and minimum values of thermal hest stress index (HSI) in following days in year (1971–2006)

Rozpatrując wskaźnik stresu ciepłego na podstawie średnich wartości, uzyskuje się wyniki w większości przypadków odpowiadające klasie „termoneutralnie” i ewentualnie kilka przypadków w zakresie „łagodny i umiarkowany stres ciepła”. Dlatego też postanowiono uzyskane wyniki przedstawić za pomocą częstości występowania stresu ciepła w grupach o różnej intensywności.

Rozkład częstości występowania stresu ciepłego według stopnia natężenia został przedstawiony w tab. 1. Brak obciążeń – „termoneutralnie” – stanowi w środkowo-zachodniej Polsce w ciągu roku od 71% dni w Słubicach do 80% dni w Poznaniu. Dni z „łagodnym i umiarkowanym stresem ciepła” stanowią od 16% w środkowej części regionu (Poznań, Koło) do ponad 21% w Słubicach. O wyższej nawet o 10% od obliczonych w pracy wartości, z wyjątkiem Słubic i Torunia, częstości występowania w półroczu ciepłym „łagodnego lub umiarkowanego stresu ciepła” na obszarach nizinnych, m.in. w Inowrocławiu, piszą w swoich pracach Krawczyk (2003) czy Kozłowska-Szczęsna i in. (2002). Jednocześnie według tych autorów brak obciążenia ciepłego w Inowrocławiu stanowi 45,3% dni w półroczu ciepłym, co jest z kolei wartością niższą o około 10% od liczby tych dni uzyskanej w niniejszej pracy. „Silny stres ciepła” (HSI 30,1–70%) w Słubicach notowany jest średnio przez 6,8% dni w roku, w centrum badanego obszaru (Poznań) natomiast tych dni jest o połowę mniej. Liczba dni

w tej klasie natężenia stresu ciepła jest bardzo zbliżona do uzyskanych przez Krawczyk (2003) oraz Kozłowską-Szczęsną i in. (2002) w przypadku obszarów nizinnych. Dni z wartościami HSI powyżej 70% należą do rzadkości.

Tabela 1. Częstość (%) występowania stresu cieplnego (HSI) o różnym stopniu natężenia o godzinie 12 UTC (1971–2006)

Table 1. Frequency of occurring thermal heat stress index (HSI) with different degrees of intensity from 12 p.m. UTC (1971–2006)

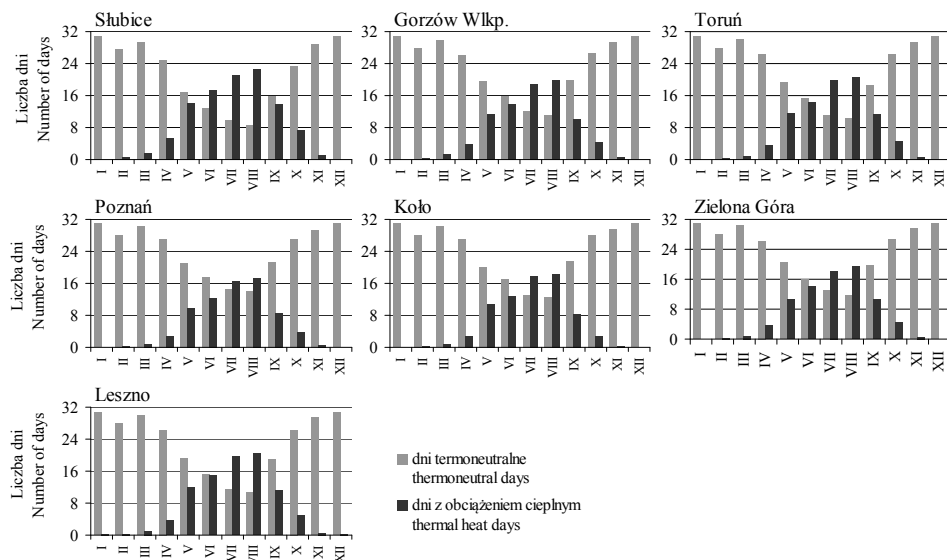
HSI (%)	Natężenie stresu cieplnego	Słubice	Gorzów Wlkp.	Toruń	Poznań	Koło	Zielona Góra	Leszno
≤ 0	warunki termoneutralne	71,1	76,8	75,9	80,1	79,3	77,5	75,8
10,1–30	łagodny lub umiarkowany stres ciepła	21,5	18,2	20,4	16,5	16,6	18,5	19,6
30,1–70	silny stres ciepła	6,8	4,6	3,6	3,1	3,6	3,7	4,3
70,1–90	bardzo silny stres ciepła	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3	0,2	0,2
90,1–100	maksymalny stres ciepła tolerowany przez osoby młode	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1
>100	niebezpieczeństwo podwyższenia temperatury wewnętrznej	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1

Jak wynika z ryc. 2, stres ciepła o różnym natężeniu (HSI ponad 10%) występuje od lutego do listopada z maksimum w sierpniu, kiedy wynosi od 17 do 23 dni. W lipcu i sierpniu, a w Słubicach również w czerwcu, stres ciepła występuje w przeważającej liczbie dni. W pozostałych miesiącach dominują warunki korzystne (termoneutralne).

Wśród występujących sytuacji stresu cieplnego, zwłaszcza w okresie od maja do września, stwierdzono średnio do 7 dni z „silnym stresem cieplnym” i pojedyncze przypadki „bardzo silnego” i „maksymalnego stresu ciepła” oraz sporadycznie sytuacje stresowe powodujące niebezpieczeństwo przegrzania organizmu.

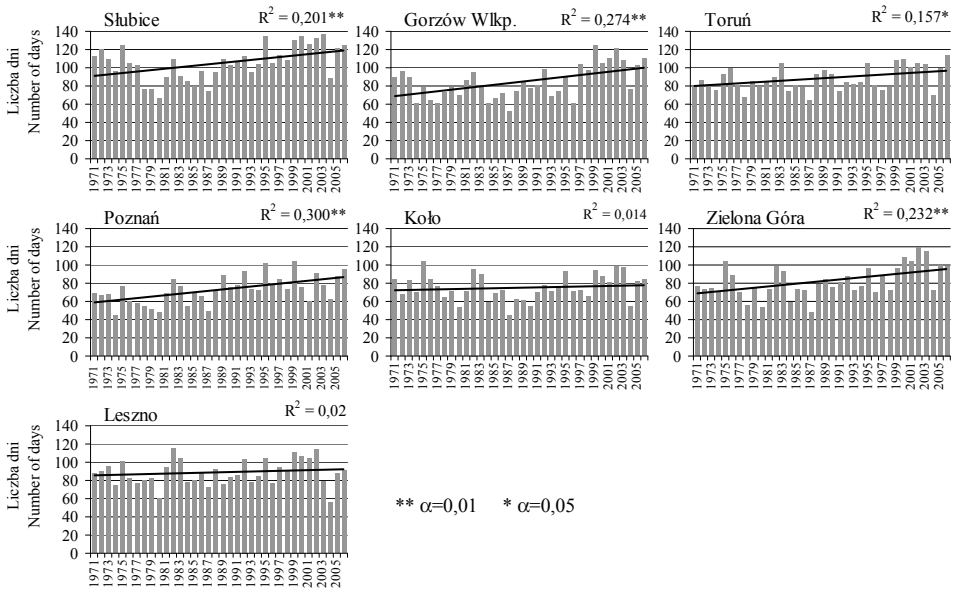
Również nielicznych, bo nieprzekraczających 1% dni w miesiącu, sytuacji skrajnie stresowych, kiedy HSI przekracza 90%, w swoich badaniach dowiedli Kozłowska-Szczęсна i in. (2002) oraz Miętus i in. (2006). Według Błażejczyka i in. (2008) w Świnoujściu dni takie nie występują wcale. Występowanie skrajnych warunków związanych ze stresem cieplnym, a co za tym idzie z uczuciem parności, musi być brane pod uwagę przez osoby planujące pobyt na terenie środkowo-zachodniej Polski. Według Krawczyk (2003) nawet niewielkie ryzyko przegrzania organizmu ma istotne znaczenie dla osób z problemami kardiologicznymi. Jak pisze autorka, na występowanie stresu ciepła, poza sytuacjami makrocyrkulacyjnymi związanymi z napływem powietrza zwrotnikowego, duży

wpływ mają lokalne warunki orograficzne. Potwierdza to także w swojej późniejszej publikacji (Krawczyk 2005), opisując cechy bioklimatu Krynicy. Autorka stwierdza w Krynicy dużo częstsze występowanie zarówno „silnego”, „bardzo silnego”, jak i „maksymalnego stresu ciepła”, dochodzące do 47% dni w roku, w porównaniu z położoną obok Muszyną, gdzie bywa około 30% takich przypadków.



Ryc. 2. Średnia liczba dni w miesiącu z warunkami termoneutralnymi i z obciążeniem cieplnym, niezależnie od jego natężenia ($HSI > 10\%$) według wskaźnika HSI (1971–2006)
Fig. 2. Average number of days in months with thermoneutral conditions and with thermal heat stress, irrespective form intensity ($HSI > 10\%$) according to HSI index (1971–2006)

Analizując pojawianie się stresu cieplnego, niezależnie od jego natężenia ($HSI > 10\%$), stwierdzono, że w wieloletniu 1971–2006 występowały takie lata, w których liczba dni ze stresem cieplnym przekraczała 100 (ryc. 3). Sytuacje takie zdarzały się od roku 1999, a w Słubicach już od 1989. Wyjątkiem był rok 2003, w którym liczba tych dni wahała się od 55 do 89. Na prawie całym terenie środkowo-zachodniej Polski (poza rejonami Koła i Leszna) stwierdzono wysoce istotny statystycznie wzrost rocznej liczby dni ze stresem cieplnym.

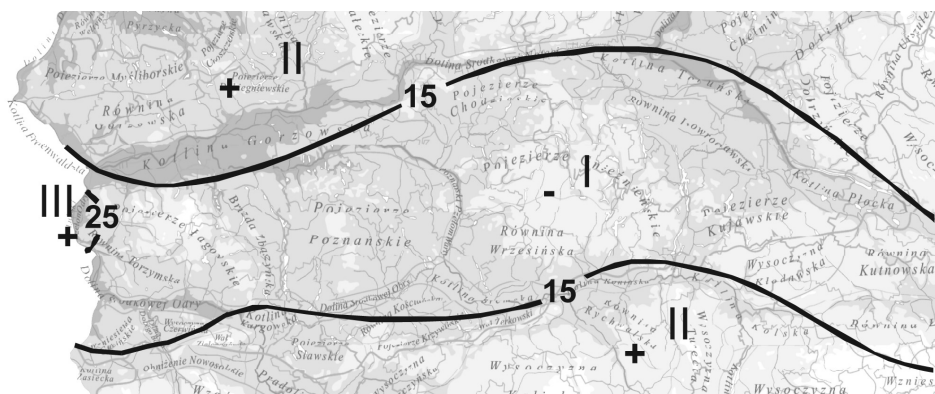


Ryc. 3. Roczna liczba dni ze stresem termiczno-wilgotnościowym (HSI) niezależnie od jego natężenia (HSI > 10%), wraz z trendem (1971–2006)

Fig. 3. Annual number of days with thermal heat stress (HSI), irrespective from intensity (HSI > 10%), together with trend (1971–2006)

Biorąc pod uwagę częstość stresu cieplnego o natężeniu HSI > 30%, wydzielono na badanym obszarze środkowo-zachodniej Polski 3 obszary o różnicowanej liczbie dni obciążających organizm człowieka (ryc. 4):

- obszar I – o małej liczbie dni obciążających, średnio poniżej 15 dni w ciągu roku; obejmuje większość Pojezierza Lubuskiego, Poznańskiego, Gnieźnieńskiego, Chodzieskiego, Kujawskiego oraz Kotlinę Toruńską i Płocką, a także Równinę Kutnowską;
- obszar II – o średniej liczbie dni obciążających, w ciągu roku średnio od 15 do 25 dni; obejmuje obszar Kotliny Gorzowskiej i Wzniesień Zielonogórskich, Pojezierza Leszczyńskiego, Równiny Rychnowskiej, Wysoczyzny Turreckiej, Kotliny Kolskiej;
- obszar III – o dużej liczbie dni obciążających, średnio w roku ponad 25 dni; jest najmniejszy i obejmuje głównie Lubuski Przełom Odry i niewielki fragment zachodniej części Pojezierza Łagowskiego i Równiny Torzymskiej.



Ryc. 4. Rozkład średniej rocznej liczby dni obciążających (HSI > 30%) według wskaźnika stresu cieplnego HSI z godz. 12 UTC (1971–2006)

Fig. 4. Distribution of average annual number of load days (HSI > 30%) according to thermal heat stress index HSI from 12 p.m. UTC (1971–2006)

WNIOSKI

1. W środkowo-zachodniej Polsce wzrasta zagrożenie stresem cieplnym w ciągu lata, co wynika z dodatniego statystycznie istotnego trendu wartości wskaźnika stresu cieplnego (HSI).
2. Największy udział w ciągu roku (od 70 do 80%) mają dni bez obciążeń cieplnych, czyli termoneutralne; warunki silnie obciążające organizm człowieka występują głównie w lipcu i sierpniu (od 13 do 26%).
3. Na obszarze środkowo-zachodniej Polski wydzielono 3 obszary o zróżnicowanej liczbie dni obciążających (małej, średniej i dużej) organizm człowieka stresem cieplnym w ciągu roku.

Literatura

- BioKlima 2.5, *pakiet programu*, [www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/blaz/download.htm]
- Błażejczyk K., 2001, *Bilans cieplny jako narzędzie badań bioklimatycznych*. Prz. Geogr., 73, 4.
- Błażejczyk K., 2004, *Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce*. Prace Geogr., IGiPZ PAN, 192.
- Błażejczyk K., 2006, *MENEX_2005 – the updated version of man-environment heat exchange model* – wersja pdf dostępna on line na stronie internetowej IGiPZ PAN: www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/blaz/MENEX_2005.pdf
- Błażejczyk K., Baranowski J., Adamczyk A.B., 2008, *Właściwości lecznicze klimatu uzdrowiska Świnoujście* [Operat klimatyczny dla Urzędu Miasta Gminy Świnoujście; www.swinoujście.pl].

- Bogucki J., 1999, *Biometeorologia turystyki i rekreacji*. AWF w Poznaniu.
- Epstein Y., Moran D.S., 2006, *Thermal comfort and the heat stress indices*. *Industrial Health*, 44.
- Kozłowska-Szczęsna T., Błażejczyk K., Krawczyk B. i in., 1997, *Bioklimatologia człowieka. Metody i ich zastosowania w badaniach bioklimatu Polski*. Monografie, 1, IGiPZ PAN.
- Kozłowska-Szczęsna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., Limanówka D., 2002, *Bioklimat uzdrowisk polskich*. Monografie, 3, IGiPZ PAN.
- Kozłowska-Szczęsna T., Krawczyk B., Kuchcik M., 2004, *Wpływ środowiska atmosferycznego na zdrowie i samopoczucie człowieka*. Monografie, 4, IGiPZ PAN.
- Krawczyk B., 2001, *Ryzyko wystąpienia stresu ciepła w wybranych uzdrowiskach Polski*. *Balneologia Polska*, 43, 1–2.
- Krawczyk T., 2003, *Stres ciepła – Cecha bioklimatu Polski*. [w:] *Postępy w badaniach klimatycznych i bioklimatycznych*. *Prace Geogr.*, IGiPZ PAN, 188.
- Miętus M. (red.), 2006, *Klimat Rynny Jezior Raduńskich*. IMGW, Warszawa.
- Tyczka S., 1990, *Ekologiczne uwarunkowania zdrowia i choroby*. *Problemy Uzdrowiskowe*, 1–2.