

Urszula Kosowska-Cezak

FALE UPAŁÓW I OKRESY UPALNE – METODY ICH WYRÓŻNIANIA I WYNIKI ZASTOSOWANIA

Zarys treści. W pracy przedstawiono propozycję, aby oprócz dotychczas stosowanego pojęcia fal upałów wprowadzić też pojęcie okresu upalnego. Fala upałów to ciąg przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną powyżej 30°C w każdym dniu, a okres upalny to ciąg przynajmniej 3 dni ze średnią temperaturą maksymalną co najmniej 30°C. W pracy policzono fale upałów i okresy upalne w Warszawie w latach 1951–2009. Łagodniejsze kryterium wyróżniania okresów upalnych sprawia, że obejmują one znacznie więcej (prawie 60%) wszystkich dni upalnych niż fale upałów, a w okresie wielolecia lepiej wykazują wzrost nie tylko ich częstości, ale i długotrwałości.

Słowa kluczowe: temperatura maksymalna, dzień upalny, fala upałów, okres upalny

Key words: maximum temperature, hot day, heat wave, heat period

Wprowadzenie

Wyraźny wzrost temperatury powietrza w sezonach letnich po roku 1990, a tym bardziej w wieku XXI, zwrócił uwagę na zagadnienie upałów – dni upalnych i fal upałów. Przejawem tej uwagi było pojawienie się licznych opracowań na ten temat, przy czym w wielu z nich ważną poruszaną kwestią są metody wyróżniania fal upałów (Robinson 2001, Kozłowska-Szczęsna i in. 2004, Kuchcik 2006a,b, Wibig i in. 2006). Zainteresowanie występowaniem fal upałów nasiliło się jeszcze bardziej po 2003 roku, który przyniósł niezwykle gorące lato w Europie Zachodniej (UNEP 2004, *Auswirkungen...*2004, Vudentorren i in. 2004, Diaz i in. 2006, Pascal i in. 2006, Rebetez i in. 2009, Twardosz 2009). Uwaga, jaką poświęca się coraz częstszym upałom – ich nasileniu, długotrwałości i zasięgowi przestrzennemu – wynika nie tylko z tego względu, że jest to ekstremalne zjawisko meteorologiczne wcześniej względnie rzadkie w naszej strefie geograficznej, ale przede wszystkim ze względu na skutki, jakie

wywierają na człowieka i środowisko. Silny stres gorąca (Bell i in. 2004) przyczynia się do wzrostu zachorowalności i śmiertelności wśród ludności (Kozłowska-Szczęśna i in. 2004, Vandentorren i in. 2004). Bardzo wysoka temperatura wpływa też na warunki hydrologiczne, a w obszarach wysokogórskich przyspiesza topnienie lodowców (*Auswirkungen...* 2004).

Fale upałów i okresy upalne – propozycja wyróżniania

Pojęcie dnia upalnego jest na ogół jednoznaczne – jest to dzień z temperaturą maksymalną powyżej 30°C (Kossowska-Cezak 2003, Kozłowska-Szczęśna i in. 2004, Piotrowicz 2007, Twardosz 2009). Tej jednoznaczności brakuje jednak w przypadku pojęcia fali upałów, która bywa określana różnymi metodami (Robinson 2001, Kuchcik 2006 a,b, Wibig i in. 2006). Poprzestaśmy tu jednak na ujęciu najprostszym, słownikowym, opartym wyłącznie na kryteriach termicznych. W *Słowniku meteorologicznym* (2003) jest podane określenie: „FALA UPAŁÓW; okres upalny. Kilkudniowy lub kilkutygodniowy okres, w którym temperatura maksymalna powietrza przekracza 30°C, przedzielony krótkimi okresami chłodniejszymi.” Określenie to jest tak ogólne, że trudno jest nazwać je definicją i jako takie potwierdza niejednoznaczność pojęcia fali upałów. Nie daje ono bowiem podstaw do wydzielenia fal upałów i ich analizy ilościowej w jakimkolwiek okresie, w którym temperatura w ciągu dnia przekraczała 30°C, ponieważ można się tylko domyślać, że temperatura maksymalna ma przekraczać 30°C nie w każdym dniu fali, ale raczej średnio w całej fali. Nie wiadomo jednak, o ile chłodniejsze mogą być dni, które jeszcze nie przerywają fali upałów i jak długi może być ciąg takich dni. Dowolność subiektywnych odpowiedzi na te pytania powoduje, że ten sam okres może być przez różnych autorów potraktowany zupełnie różnie z punktu widzenia występowania fal upałów i ich długości, a tym samym również ich charakterystyk termicznych.

W sposób bardziej jednoznaczny zagadnienie jest ujęte w *Glossary of Meteorology* (2000), gdzie fala upałów (*heat wave*) jest zdefiniowana jako okres przynajmniej 3-dniowy (choć z temperaturą powyżej 30°C, lecz co najmniej 90°F, tzn. 32,2°C).

Konfrontacja tych dwóch określeń z różnych słowników meteorologicznych może stać się podstawą do wyróżnienia dwóch różnych pojęć: fali upałów i okresu upalnego (wbrew *Słownikowi meteorologicznemu* to drugie pojęcie praktycznie nie stało się synonimem fali upałów). Zgodnie z tą propozycją sens tych pojęć można przyjąć następująco:

- fala upałów – ciąg co najmniej 3 dni z temperaturą maksymalną powyżej 30°C w każdym dniu;
- okres upalny – ciąg co najmniej 3 dni, w którym średnia temperatura maksymalna osiąga przynajmniej 30°C; tzn. w okresie takim występują zarówno dni upalne (tzn. z temperaturą maksymalną powyżej 30°C), jak i gorące (z temperaturą maksymalną powyżej 25°C), przy czym muszą być spełnione warunki: 1) liczba dni upalnych powinna być większa lub przynajmniej równa liczbie dni gorących, 2) ciąg dni gorących między upalnymi nie może przekraczać trzech.

Tak zdefiniowany okres upalny w zasadzie zaczyna się i kończy dniem upalnym, ale jeżeli na początku i/lub na końcu okresu występuje dzień z temperaturą maksy-

malną przynajmniej 29°C, to jeśli są przy tym zachowane warunki początkowe: średnia temperatura maksymalna przynajmniej 30°C i udział dni upalnych nie mniejszy niż gorących, to dzień taki również wlicza się do okresu upalnego. Za przyjęciem takiego dodatkowego kryterium przemawia fakt, że nie ma różnicy termicznej ani logicznej między ciągami dni o temperaturze maksymalnej w kolejnych dniach (°C) np. 30,8, 29,1 i 32,7 a 30,8, 32,3 i 29,1.

Z tak sformułowanej definicji wynika, że fala upałów jest szczególnym przypadkiem okresu upalnego. Zasadniczą charakterystyką termiczną zarówno fali upałów, jak i okresu upalnego jest średnia temperatura maksymalna, aczkolwiek jako charakterystyki uzupełniające można też przyjąć wartości średnie temperatury minimalnej i średniej dobowej w badanym ciągu dni.

Fale upałów i okresy upalne w Warszawie w latach 1951–2009

Opierając się na tych definicjach rozpatrzono występowanie fal upałów i okresów upalnych w Warszawie (Okęcie) w latach 1951–2009. Pierwszym etapem analizy było wyłonienie wszystkich dni upalnych. Stwierdzono ich razem 305 (średnio w roku 5), z czego 106 wystąpiło jako pojedyncze dni, a 74 w postaci dwóch kolejnych dni (razem 59%). W skład fal upałów weszło zatem pozostałe 125 dni (41%), tworząc 29 fal o długości od 3 do 10 dni (tab. 1).

Średnia temperatura maksymalna podczas poszczególnych fal upałów wyniosła od 30,3 do 34,2°C (średnio 32,1°C), minimalna od 14,2 do 18,7°C (średnio 16,6°), a średnia dobowa od 23,1 do 26,4°C (średnio 24,9°C). Najgorętszą falą upałów była 3-dniowa, od 24 do 26 czerwca 1959 r. i prawie równie gorąca była najdłuższa z nich – 10-dniowa, jaka utrzymywała się od 24 lipca do 2 sierpnia 1994, podczas której wystąpiło maksimum absolutne temperatury z całego badanego okresu – 36,4°C (1 sierpnia).

Najdłuższe, ponadtygodniowe, fale upałów wystąpiły: od 1 do 8 sierpnia 1963 (8 dni), od 27 lipca do 4 sierpnia 1971 (9 dni), od 24 lipca do 2 sierpnia 1994 (10 dni) i od 5 do 13 lipca 2006 (9 dni).

Okresów upalnych, wyłonionych na podstawie przyjętej definicji, było 43. Należy jednak podkreślić, że kilkudniowych okresów ze średnią temperaturą maksymalną

Tab. 1. Liczba fal upałów i okresów upalnych różnej długości (Warszawa-Okęcie; 1951-2009)
Table 1. Number of heat waves and heat periods of different duration
(Warszawa-Okęcie; 1951-2009)

Długość (liczba dni) Duration (number of days)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Σ
Fale upałów Heat waves	15	7	2	1	–	1	2	1	–	–	–	–	29
Okresy upalne Heat periods	15	8	8	4	–	2	2	–	–	2	1	1	43

przynajmniej 30°C było więcej, lecz odrzucono je ze względu na to, że liczba dni upalnych była mniejsza niż gorących (np. 29,2; 30,0; 31,8°C). Spośród 43 okresów upalnych prawie 1/3 (13 okresów) zaczynała się lub kończyła dniem gorącym z temperaturą maksymalną powyżej 29°C; jeśli przed dniem upalnym lub po były 2 dni z temperaturą maksymalną powyżej 29°C, do okresu upalnego wliczano tylko ten sąsiadujący bezpośrednio z dniem upalnym.

Wyłonione okresy upalne liczyły od 3 dni (co wynika z założenia) do 14 (tab. 1) i objęły łącznie 226 dni, w tym 178 dni upalnych (59% wszystkich takich dni) i 48 dni gorących. Wśród 43 okresów 12 było tożsamyh z falami upałów, 15 zawierało w sobie fale upałów, w tym dwa okresy (9- i 12-dniowy) zawierały po 2 fale, i 16 okresów zawierało tylko pojedyncze dni upalne lub ich ciągi 2-dniowe (np. 29,6; 30,2; 29,5; 29,6; 30,2; 31,5; śr. 30,1°C).

Średnia temperatura maksymalna podczas poszczególnych okresów wynosiła od 30,0 do 33,4°C (średnio 31,2°C), minimalna od 12,7 do 18,1°C (średnio 16,3°C), a średnia dobowa od 22,2 do 25,6°C (średnio 24,1°C), a więc przeciętnie była niższa w porównaniu z falą upałów odpowiednio o 0,9; 0,3 i 0,8°C. Najcieplejsze były okresy upalne tożsame z falami upałów, a chłodniejsze te tylko z rozproszonymi dniami upalnymi, ale różnice średniej temperatury między nimi nie były duże (temperatury maksymalnej 1,8°C, minimalnej 0,9°C, średniej dobowej 1,5°C), co daje podstawę do łącznego traktowania wszystkich okresów upalnych bez względu na ich strukturę termiczną, tj. udział dni upalnych i gorących. Należy zresztą dodać, że w dniach gorących wchodzących w skład okresu upalnego przeważnie temperatura maksymalna wynosiła 28,0–30,0°C.

Najgorętszym okresem upalnym był okres 4-dniowy stanowiący falę upałów w dniach od 10 do 13 lipca 1959, ze średnią temperaturą maksymalną 33,6°C, minimalną 15,4°C i średnią dobową 26,0°C. Najmniej gorące, tzn. ze średnią temperaturą maksymalną 30,0°C, były trzy okresy upalne: 8-dniowy zawierający 3-dniową falę upałów i 2 dni upalne (15–22 sierpnia 1989), 4-dniowy zawierający 2 dni upalne (26–29 czerwca 1994) oraz 5-dniowy z 3-dniową falą upałów i jednym dniem upalnym (17–21 sierpnia 2001).

Okresy upalne trwające więcej niż tydzień były dwukrotnie częstsze niż takiej długości fale upałów, a najdłuższy okres upalny trwał 2 tygodnie. Okresy te wystąpiły w terminach:

- 18–26 lipca 1963 (9 dni, w tym dwie 3-dniowe fale upałów),
- 1–8 sierpnia 1963 (8-dniowa fala upałów),
- 26 lipca – 7 sierpnia 1971 (13 dni, w tym 9-dniowa fala upałów),
- 15–22 sierpnia 1989 (8 dni, w tym 3-dniowa fala upałów),
- 31 lipca – 11 sierpnia 1992 (12 dni, w tym fale upałów 3- i 5-dniowa),
- 24 lipca – 6 sierpnia 1994 (14 dni, w tym 10-dniowa fala upałów),
- 5–13 lipca 2006 (9-dniowa fal upałów),
- 18–29 lipca 2006 (12 dni, w tym 5-dniowa fala upałów).

Jak widać, wszystkie te najdłuższe okresy upalne obejmowały fale upałów – najdłuższe lub po dwie – lub w całości stanowiły fale upałów.

Zmiany czasowe występowanie fal upałów i okresów upalnych w Warszawie w latach 1951–2009

Pojawianie się dni upalnych jest bardzo nieregularne: w ciągu badanych 59 lat było 7 w ogóle bez takich dni, przy czym zdarzały się ciągi 2-letnie bez dni upalnych (1955–1956, 1977–1978), gdy w pojedynczych latach ich liczba przekraczała 10 (1951 – 11, 1963 – 15, 1964 – 11, 1972 – 14, 1992 – 17, 1994 – 18, 2002 – 11, 2006 – 22, 2007 – 12). W konsekwencji bardzo nierównomiernie występują w sezonach letnich także fale upałów i okresy upalne (tab. 2).

Mimo tej nieregularności, łatwo zauważyć, że w badanym wieloleciu 1951–2009 częstość fal upałów, a także lat z takimi falami, w pierwszych czterech 10-leciach była niewielka (2–5 fal na 10 lat), wyraźnie wzrosła natomiast po roku 1990, tak że w ostatnich 19 latach było ich więcej (17) niż w pierwszych 40 latach (12). Wzrosła również częstość lat z falami upałów: do 1990 r. 9 lat, po 1990 11 lat. Niewielkim wahaniem podlegała natomiast średnia długość fali upałów – 3,5–4,5 dni, z wyjątkiem 10-lecia 1971–1980, kiedy wystąpiły tylko 2 fale upałów, ale jedna z nich trwała aż 9 dni (średnio 6,5 dnia).

Okresy upalne również częściej pojawiały się po roku 1990 (razem 21) niż w pierwszych 40 latach (razem 22), ale różnica ich częstości nie jest tak jaskrawa jak w przypadku fal upałów (tab. 2). Jeszcze mniejsza różnica zaznacza się w liczbie lat z okresami upalnymi: od roku 1990 3–5 na 10 lat, po roku 1990 5–7. Większa różnica występuje natomiast w średniej długości okresu upalnego: od 3,5 dnia w latach 1951–1960, niespełna 5 w latach 1961–1970 i powyżej 5,5 po roku 1970. Wy-

Tab. 2. Charakterystyki liczbowe fal upałów i okresów upalnych (Warszawa-Okęcie; 1951-2009)

Table. 2. Quantitative characteristics of heat waves and heat periods (Warszawa-Okęcie; 1951-2009)

Okres Period	Fale upałów/Heat waves			Okresy upalne/Heat periods		
	Liczba lat Number of years	Liczba fal Number of waves	Średnia długość fali (dni) Average duration of wave (days)	Liczba lat Number of years	Liczba okresów Number of periods	Średnia długość okresu (dni) Average duration of period (days)
1951–1960	2	2	3,5	5	6	3,5
1961–1970	3	5	4,0	5	7	4,9
1971–1980	2	2	6,5	3	4	5,8
1981–1990	2	3	3,7	4	5	5,6
1991–2000	6	9	4,2	7	11	5,9
2001–2009	5	8	4,5	5	10	5,5
1951–2009	20	29	4,3	29	43	5,3

rażnie szybszy wzrost liczby okresów upalnych niż lat z okresami upalnymi świadczy o tym, że wzrost częstości upałów nie zachodzi w wyniku częstszego pojawiania się lat z okresami upalnymi, ale ich większej częstości w pojedynczych latach.

Podsumowanie i wnioski

W opracowaniu zaproponowano, aby rozróżnić dwa rodzaje charakterystyk termicznych odnoszących się do najgorętszych dni w roku; są to **fale upałów** – ciągi przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną powyżej 30°C w każdym dniu oraz **okresy upalne** – ciągi przynajmniej 3 dni ze średnią temperaturą maksymalną co najmniej 30°C.

Analiza codziennych wartości temperatury z Warszawy z wielolecia 1951–2009 z punktu widzenia występowania fal upałów i okresów upalnych dała podobny wynik – wzrost ich częstości po roku 1990, co zdaje się przemawiać za brakiem większej wartości którejkolwiek z tych charakterystyk. Większe wartości liczbowe – większa liczba lat i przypadków oraz większa średnia długość – w przypadku okresów upalnych wynika w sposób oczywisty z łagodniejszego kryterium ich wyznaczania.

Należy jednak zwrócić uwagę, że przyjmując łagodniejsze kryterium okresu upalnego obejmujemy badaniem znacznie większą liczbę dni upalnych (59% wszystkich), które w większości występują pojedynczo lub tylko jako okresy 2-dniowe (59%) i jako takie są pomijane w wyznaczaniu fal upałów (obejmujących tylko 41% dni upalnych). Takie pojedyncze czy podwójne dni upalne nierzadko są rozdzielone dniami o temperaturze tylko niewiele niższej od „progowej” wartości 30°C, które nie przynoszą realnego ochłodzenia i praktycznie nie przynoszą człowiekowi ulgi w okresie upalnej pogody. Przemawia to raczej za koncepcją okresów upalnych.

Łagodniejsze kryterium okresu upalnego, co prawda, w pewnym stopniu zacierza różnicę w liczbie lat z takimi okresami w kolejnych 10-letniach (np. 1951–1960 i 2001–2009), ale liczba takich okresów (odpowiednio 6 i 10) i ich łączny czas trwania (lub średnie długości – odpowiednio 3,5 i 5,5) dobrze opisują charakter zachodzących zmian: pojawianie się w pojedynczych latach coraz częstszych i coraz dłuższych okresów upalnych, a nie coraz większej liczby lat z okresami upalnymi.

Literatura

- Auswirkungen des Hitzesommer 2003 auf die Gewässer. Dokumentation.* 2004, Schriftenreihe Umwelt Nr 369. Gewässerschutz, Bern.
- Bell P. A., Green Th.C., Fischer J. D., Baum A., 2004, *Psychologia środowiskowa*. Gdańskie Wyd. Psychologiczne, Gdańsk.
- Diaz J., Garcia-Herrera R., Trigo R.M., Linares C., Valente M.A., de Miguel J.M., Hernandez E., 2006, *The impact of the summer 2003 heat wave in Iberia: how should we measure it?* Int. Journal of Biometeor., 50, 159–166.
- Glossary of Meteorology*, 2000, red. T.D. Glickmann, American Meteorological Society, Boston.
- Kossowska-Cezak U., 2003, *Współczesne ocieplenie a liczba dni charakterystycznych*. Balneologia Polska, 45, 1–2, 92–100.
- Kozłowska-Szczęśna T., Krawczyk B., Kuchcik M., 2004, *Wpływ środowiska atmosferycznego na zdrowie i samopoczucie człowieka*. PAN IGiPZ, Monografie 4, Warszawa.

- Kuchcik M., 2006a, *Fale upałów w Polsce w latach 1993–2002*. Przegl. Geogr., 78, 3, 397–412.
- Kuchcik M., 2006b, *Defining heat wave – different approaches*. Geogr. Polonica, 79, 2, 47–63.
- Pascal M., Laaidi K., Ledrans M., Baffert E., Cesario-Schönemann C., le Tetre A., Manach J., Medina S., Rudant J., Empereur-Bissonnet P., 2005, *France's heat health watch warning system*. Int. Journal of Biometeor., 50, 3, s. 144–153.
- Piotrowicz K., 2007, *Wieloletnie zróżnicowanie liczby dni gorących w Krakowie*, [w:] K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*. IGiP UJ, Kraków.
- Słownik meteorologiczny*, 2003, red. T. Niedźwiedz, PTGeof./IMGW, Warszawa.
- Rebetez M., Dupont O., Giroud M., 2009, *An analysis of the July 2006 heatwave extent in Europe compared to the record year of 2003*, Theor. and Appl. Climat., 95, 1–7.
- Robinson P. J., 2001, *On the definition of a heat wave*. Jour. of Appl. Meteor., 40, 762–775
- Twardosz R., 2009, *Fale niezwykłych upałów w Europie na początku XXI wieku*. Przegl. Geofiz., 54, 3–4, 193–204.
- UNEP – United Nations Environmental Programme, 2004, *Impacts of the summer 2003 heat waves in Europe*. www.grid.unep.ch/product/publication/download/ew_heat_wave.en.pdf
- Vandentorren S., Suzan F., Medina S., Pascal M., Maulpoix A., Cohen J.–C., Ledrans M., 2004, *Mortality in 13 French Cities During the August 2003 Heat Wave*. Amer. Jour. of Public Health, 94, 9, 1518–1520.
- Wibig J., Podstawczyńska A., Rzepa M., Piotrowski P., 2002, *Heat-wave in Poland – frequency, trends and relationships to atmospheric circulation*, [w:] *Extreme hydrometeorological events in Poland and their impacts – European context*, International Conference, 7–9 XII 2006, Sosnowiec-Warszawa.

Heat waves and heat periods – distinguishing methods and results of application

Summary

In the paper a suggestion to introduce a conception of heat periods besides heat waves is presented. A heat wave is series of at least 3 days with the maximum air temperature above 30°C during each day; a heat period is a series of at least 3 days with the average maximum temperature 30°C or higher. Heat waves and heat periods in Warsaw within the period 1951–2009 were counted. The softer distinguishing criterion of heat periods causes that they include much more (nearly 60% of all) heat days than the heat waves. The number and total duration time (or average duration) of heat periods well describe the occurring changes: the occurrence of more frequent and longer heat periods in individual years not an increased number of years with heat periods.

Urszula Kosowska-Cezak
Uniwersytet Warszawski
Instytut Geografii Fizycznej
ul. Krakowskie Przedmieście 30
00–927 Warszawa

