



UNIWERSYTET
IM. ADAMA MICKIEWICZA
W POZNANIU



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

uam.edu.pl





Wydział Nauk
Geograficznych
i Geologicznych



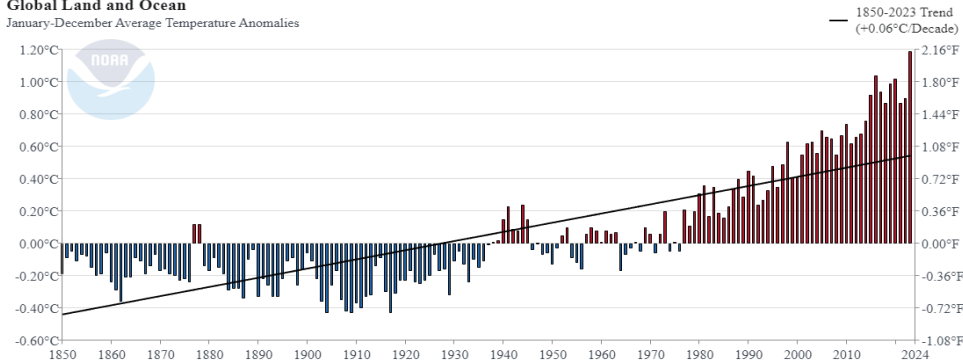
Fale upałów w mieście na przykładzie Poznania

Arkadiusz M. Tomczyk, Ewa Bednorz, Marek Półrolniczak

Zakład Meteorologii i Klimatologii
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

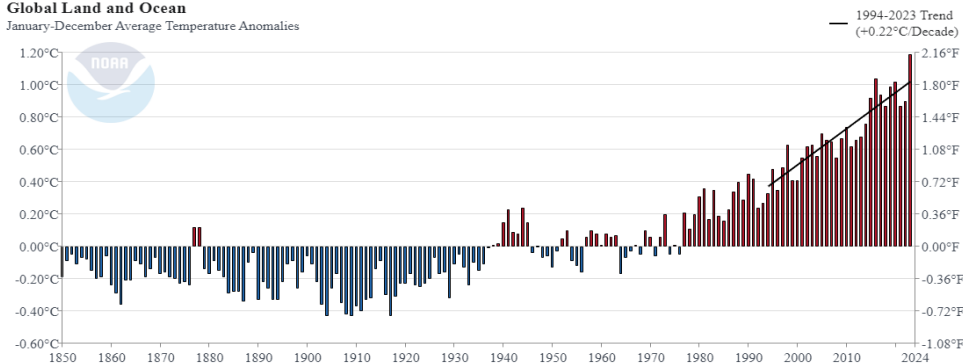
Global Land and Ocean

January-December Average Temperature Anomalies



Global Land and Ocean

January-December Average Temperature Anomalies



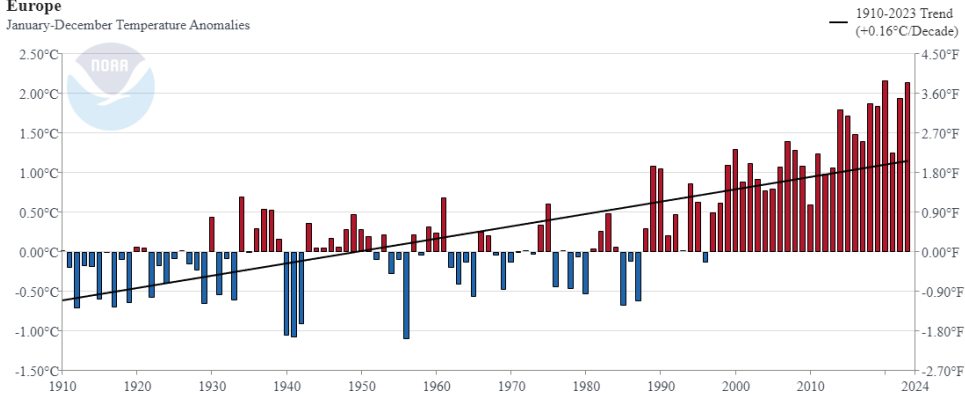
Global Land and Ocean

January-December Average Temperature Anomalies (1901-2000 mean)

• Period	• Anomaly	• Rank
January -December 2023	1.19°C	174
January -December 2016	1.04°C	173
January -December 2020	1.02°C	172
January -December 2019	0.99°C	171
January -December 2017	0.94°C	170
January -December 2015	0.92°C	169
January -December 2022	0.90°C	168
January -December 2018	0.87°C	167
January -December 2021	0.87°C	167
January -December 2014	0.76°C	165

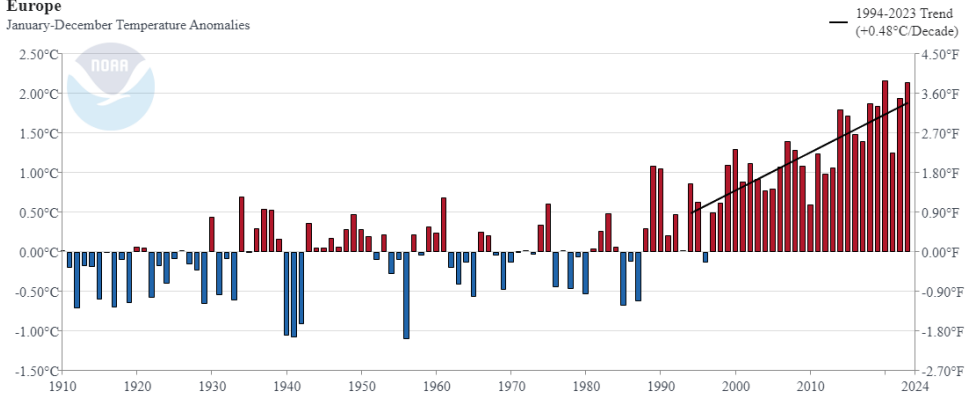
Europe

January-December Temperature Anomalies



Europe

January-December Temperature Anomalies



Europe

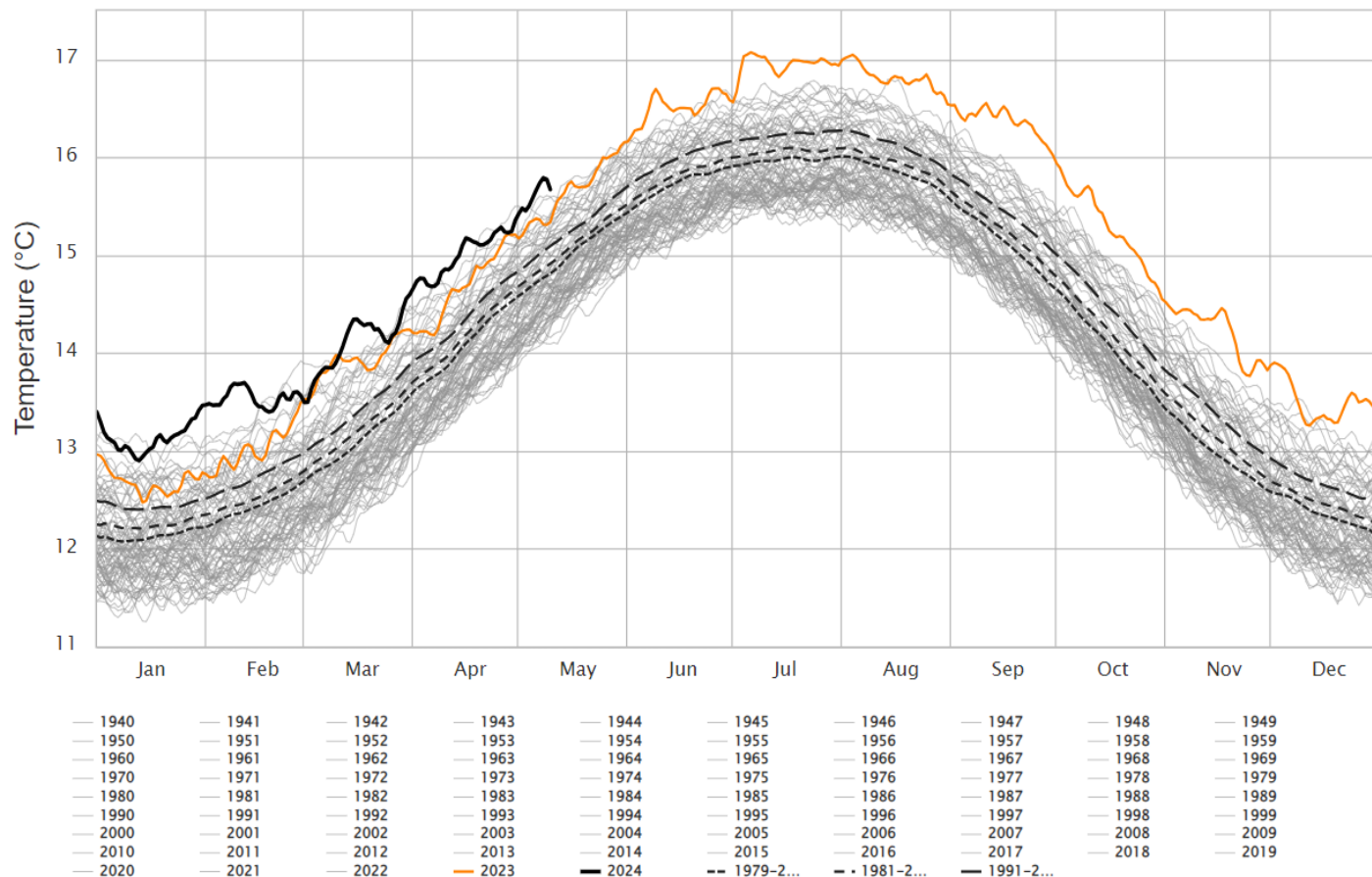
January-December Temperature Anomalies (1910-2000 mean)

Period	Anomaly	Rank
January-December 2020	2.16°C	114
January-December 2023	2.15°C	113
January-December 2022	1.94°C	112
January-December 2018	1.87°C	111
January-December 2019	1.83°C	110
January-December 2014	1.78°C	109
January-December 2015	1.71°C	108
January-December 2016	1.48°C	107
January-December 2017	1.39°C	106
January-December 2007	1.38°C	105

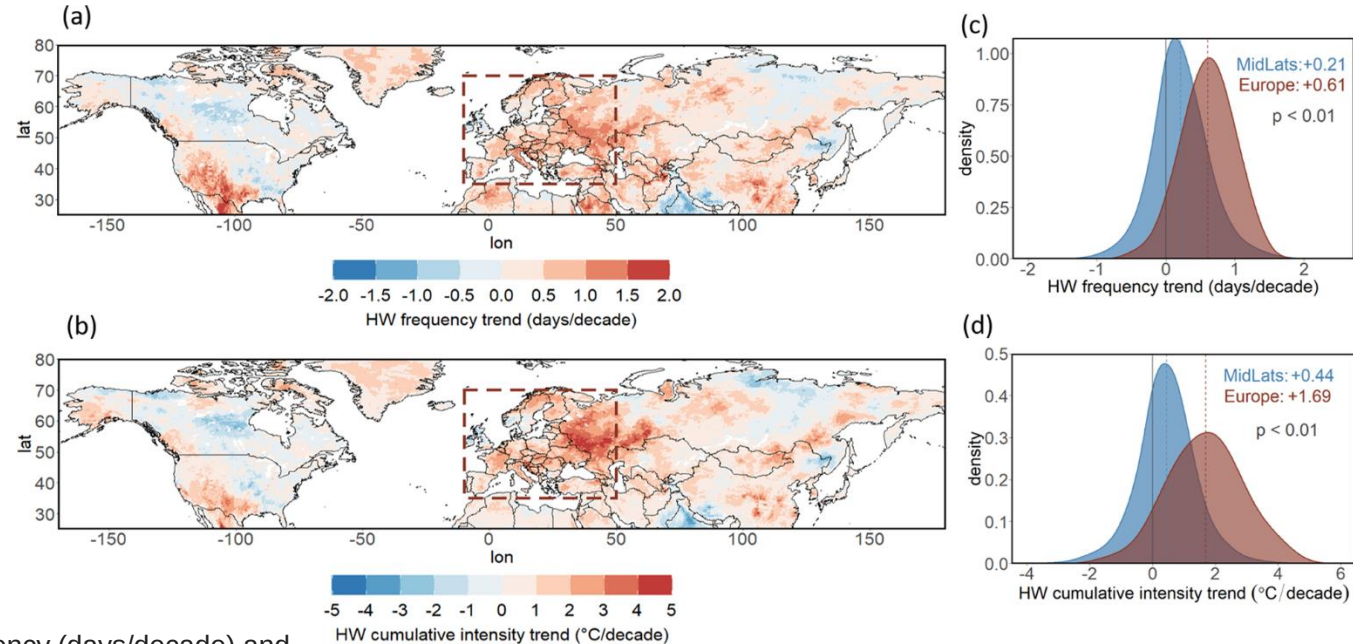


Daily Surface Air Temperature, World (90°S–90°N, 0–360°E)

Dataset: ECMWF Reanalysis v5 (ERA5) downloaded from C3S | Image Credit: ClimateReanalyzer.org, Climate Change Institute, University of Maine



Jest *praktycznie pewne*, że **ekstrema ciepła** (w tym fale upałów) stały się od lat 50. XX w. częstsze i bardziej intensywne w większości regionów lądowych, natomiast **ekstrema chłodu** (w tym fale zimna) stały się rzadsze i mniej dotkliwe, za tę zmianę odpowiada z *wysokim poziomem pewności*, głównie antropogeniczna zmiana klimatu. Wystąpienie niektórych ekstremalnych upałów, zaobserwowanych w ostatniej dekadzie, bez wpływu człowieka na system klimatyczny byłoby *skrajnie nieprawdopodobne* (IPCC 2021).



(a) Decadal trends in heatwave frequency (days/decade) and
(b) heatwave cumulative intensity (°C/decade) for July-August **1979–2020**.
(c) Probability density distributions of decadal trends of heatwave frequency of all land grid points for Europe (in dark red, as the region included in the dashed box of (a, b): 35–70°N and 10°W–50°E) and the midlatitudes (20–70°N) excluding Europe (in blue) and
(d) probability density distributions of decadal trends of heatwave cumulative intensity. The mean trend for each distribution is shown with dashed vertical lines and provided on the top right of the panels. The continuous vertical lines correspond to 0 (i.e. no trend).

W Europie 1672 zarejestrowanych katastrof spowodowało śmierć 159 438 osób i 476,5 mld USD szkód gospodarczych. Chociaż powodzie (38%) i burze (32%) były najczęstszą przyczyną odnotowanych katastrof, to za **największą liczbę zgonów** (93%) odpowiadały **ekstremalne wartości temperatury powietrza** (ponad 148 tys. ofiar śmiertelnych w ciągu 50 lat).

Dwie ekstremalne fale upałów z **2003** i **2010** roku spowodowały śmierć **127 946 osób** (80% wszystkich zgonów związanych z wysoką temperaturą powietrza). Fala upałów w 2003 roku była odpowiedzialna za połowę zgonów w Europie (45%) – łącznie 72210 zgonów w 15 dotkniętych nią krajach.

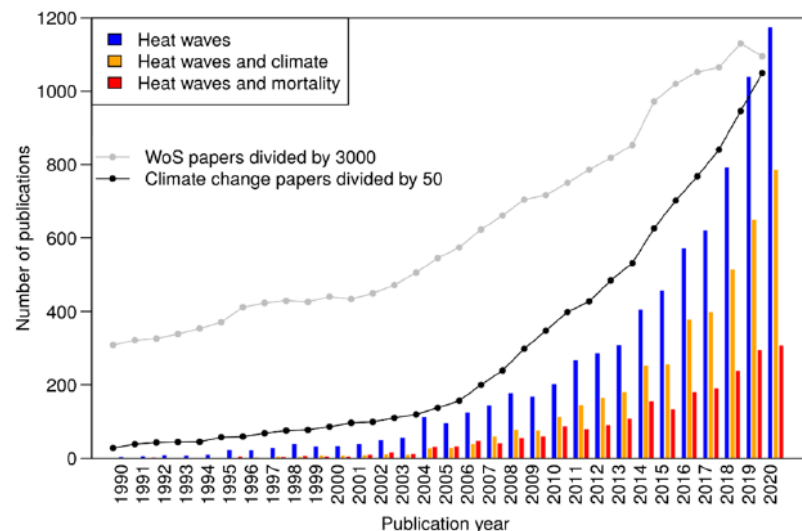


Fig.1 Time evolution of the overall number of heat wave publications, of heat wave publications in connection with climate change, and of heat wave publications in connection with mortality, each between 1990 and 2020. For comparison, the overall number of publications (scaled down) in the field of climate change research and the total number of publications covered by the WoS database (scaled down, too) are included

Table 1 Top countries of authors with more than 100 papers dealing with heat waves up to the date of the search

Country of authors	#Papers	%Papers heat waves	%Papers overall in WoS
USA	2081	26.0	27.4
Australia	1026	12.8	3.1
Peoples Republic of China	965	12.0	12.1
England	760	9.5	6.7
Germany	737	9.2	6.3
France	638	8.0	4.3
Italy	536	6.7	3.9
Spain	506	6.3	3.1
Switzerland	361	4.5	1.6
Canada	356	4.4	4.0
India	236	2.9	3.3
Netherlands	227	2.8	2.2
South Korea	206	2.6	2.5
Sweden	206	2.6	1.4
Portugal	204	2.5	0.7
Belgium	176	2.2	1.2
Japan	168	2.1	5.2
Greece	163	2.0	0.7
Russia	149	1.9	2.1
Poland	141	1.8	1.4
Austria	137	1.7	0.9
Czech Republic	130	1.6	0.7
Denmark	119	1.5	0.9
South Africa	119	1.5	0.6
Brazil	116	1.4	2.1
Scotland	106	1.3	1.0

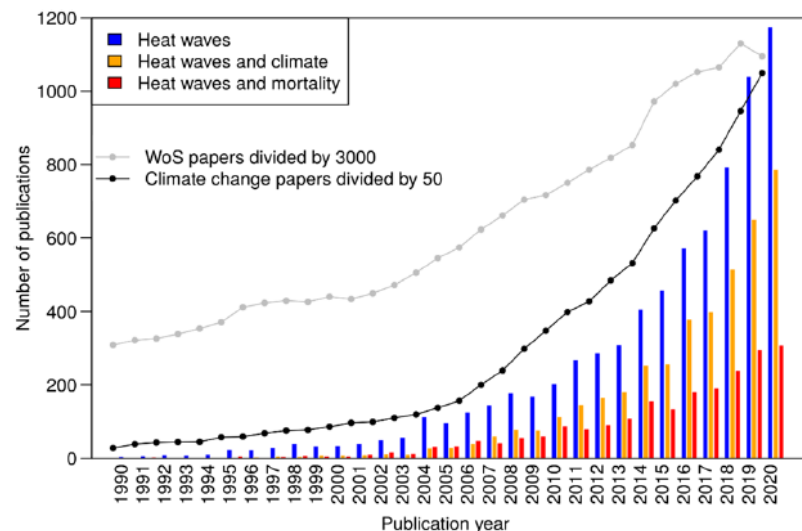


Fig. 1 Time evolution of the overall number of heat wave publications, of heat wave publications in connection with climate change, and of heat wave publications in connection with mortality, each between 1990 and 2020. For comparison, the overall number of publications (scaled down) in the field of climate change research and the total number of publications covered by the WoS database (scaled down, too) are included

Table 1 Top countries of authors with more than 100 papers dealing with heat waves up to the date of the search

Country of authors	#Papers	%Papers heat waves	%Papers overall in WoS
USA	2081	26.0	27.4
Australia	1026	12.8	3.1
Peoples Republic of China	965	12.0	12.1
England	760	9.5	6.7
Germany	737	9.2	6.3
France	638	8.0	4.3
Italy	536	6.7	3.9
Spain	506	6.3	3.1
Switzerland	361	4.5	1.6
Canada	356	4.4	4.0
India	236	2.9	3.3
Netherlands	227	2.8	2.2
South Korea	206	2.6	2.5
Sweden	206	2.6	1.4
Portugal	204	2.5	0.7
Belgium	176	2.2	1.2
Japan	168	2.1	5.2
Greece	163	2.0	0.7
Russia	149	1.9	2.1
Poland	141	1.8	1.4
Austria	137	1.7	0.9
Czech Republic	130	1.6	0.7
Denmark	119	1.5	0.9
South Africa	119	1.5	0.6
Brazil	116	1.4	2.1
Scotland	106	1.3	1.0

Podział definicji fal upałów:

- ❖ definicje bazujące na progach arbitralnych, a więc konkretnych wartościach temperatury powietrza;
- ❖ definicje bazujące na progach względnych.

Większość definicji w tej grupie bazuje na kryterium ekstremalnego zjawiska pogodowego zaproponowanego przez IPCC (2007): *Zjawisko, które jest rzadkie z punktu widzenia rozkładu statystycznego w danym miejscu. Pojęcie 'rzadki' jest zmienne, ale takie zjawisko pogodowe powinno występować tak samo rzadko lub rzadziej, niż 10. lub 90. percentyl (częstość mniejsza lub równa 10%) (IPCC, 2001);*

- ❖ definicje, w których kryterium progowe przyjmuje się na podstawie wskaźników biometeorologicznych.

Fala upałów może być definiowana jako:

- ❖ przynajmniej 3-dniowy okres z maksymalną dobową temperaturą powietrza $>30^{\circ}\text{C}$;
- ❖ kilkudniowy lub kilkutygodniowy okres, w którym temperatura maksymalna powietrza wynosi $>30,0^{\circ}\text{C}$, przedzielony krótkimi okresami chłodniejszymi;
- ❖ przynajmniej 6 dni z temperaturą maksymalną $>32,0^{\circ}\text{C}$;
- ❖ przynajmniej 3-dniowy okres z temperaturą maksymalną $\geq 32,2^{\circ}\text{C}$ (90°F);

Fala upałów może być definiowana jako:

- ❖ przynajmniej 6-dniowy okres z temperaturą pozorną (AT) powyżej 95 percentyla rozpoczynający się wzrostem temperatury o minimum 2°C w stosunku do dnia poprzedniego;
- ❖ kilkudniowy okres z dobową maksymalną temperaturą większą od średniej dobowej wartości wieloletniej tej temperatury o więcej niż jedno odchylenie standardowe dla danego dnia;
- ❖ okres co najmniej 5 dni z $T_{max} > 5^{\circ}\text{C}$ względem średniej dobowej T_{max} dla wielolecia 1961–1990.

Zjawiska	Stopień zagrożenia			Kryteria	Uwagi
	1	2	3		
Upał	X			$30^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{max}} \leq 34^{\circ}\text{C}$ i $T_{\text{min}} < 18^{\circ}\text{C}$, czas trwania zjawiska ≥ 2 dni	1) Upał charakteryzuje się przez podanie: a) temperatury maksymalnej, b) temperatury minimalnej. 2) Obowiązują przedziały temperatury stosowane w prognozach meteorologicznych. 3) Dwudniowy czas trwania zjawiska odnosi się do temperatury maksymalnej . Jeżeli prognozuje się, że pierwszego dnia t. maks. wystąpi po południu, a drugiego dnia przed południem, to są to 2 dni i ostrzeżenie należy wydać. 4) Ostrzeżenie o upale powinno być wydane w dniu poprzedzającym jego rozpoczęcie. 5) Po zakończeniu okresu z wyższym stopniem zagrożenia i dalszym utrzymywaniu się warunków dla stopnia niższego, stopień zagrożenia upałem nie zostaje obniżony ze względu na bodźcowość okresu poprzedzającego. 6) Jeśli na bieżący dzień nie prognozowaliśmy temperatury maksymalnej $\geq 30^{\circ}\text{C}$, a temperatura taka wystąpiła i jednocześnie na następny dzień lub dni prognozowana jest temperatura $\geq 30^{\circ}\text{C}$, jeszcze tego samego dnia wydajemy ostrzeżenie o upałach z ważnością od dnia bieżącego (stopień ostrzeżenia zależy od prognozowanej temp. min.) lub aktualizujemy ostrzeżenie już wydane (jeżeli obowiązuje, ale od następnego dnia).
		X		$30^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{max}} \leq 34^{\circ}\text{C}$ i $T_{\text{min}} \geq 18^{\circ}\text{C}$, czas trwania zjawiska ≥ 2 dni	
			X	$T_{\text{max}} > 34^{\circ}\text{C}$ czas trwania zjawiska ≥ 2 dni	

Miary natężenia upałów:

❖ długotrwałość:

- długość najdłuższej fali upałów w roku,
- liczba dni z temperaturą przekraczającą wartość progową;

❖ intensywność

- najwyższa temperatura maksymalna,
- skumulowana suma temperatury powietrza powyżej wartości progowej.

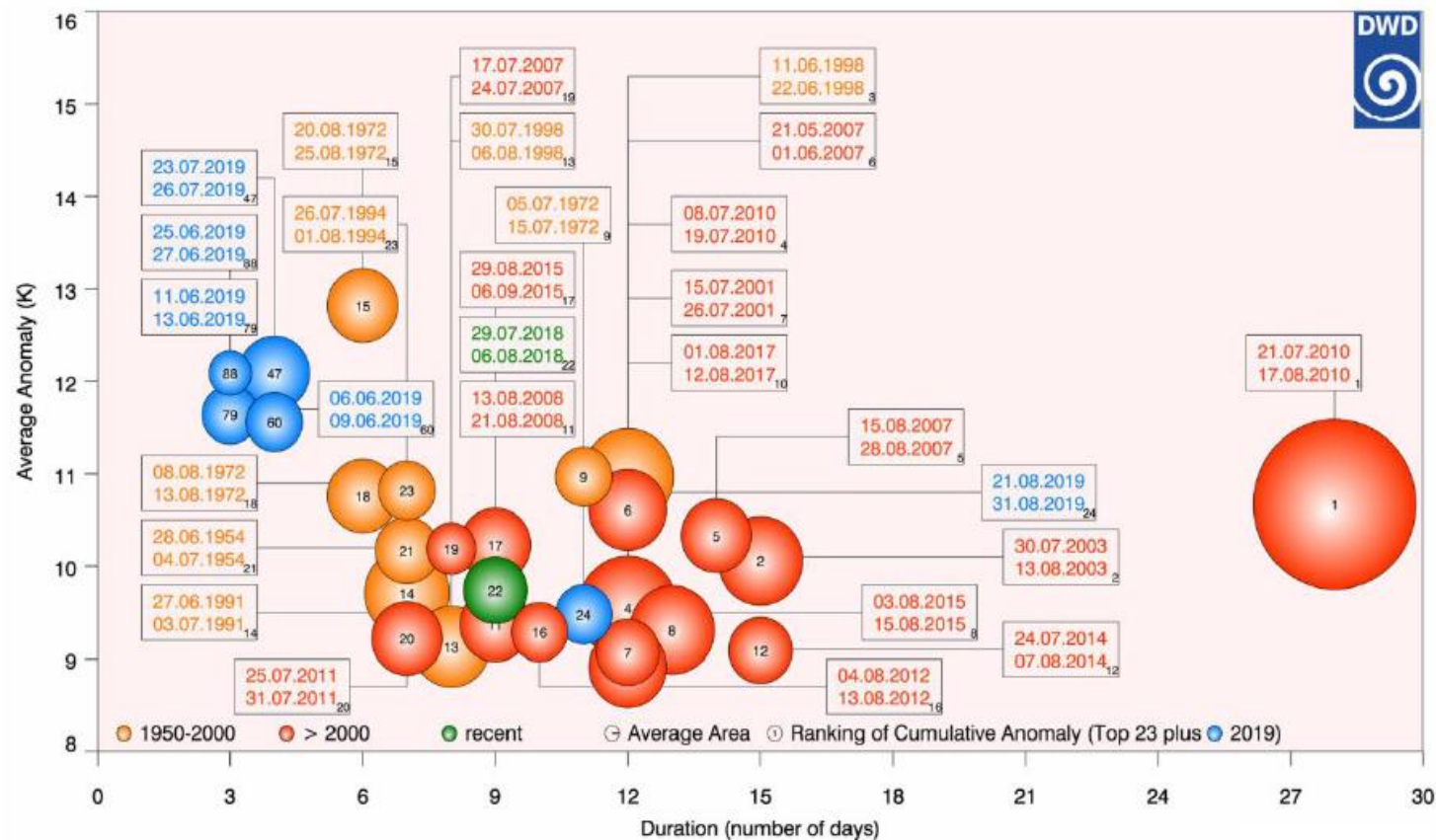


Figure 1. Heat waves over Europe 1950–2019.

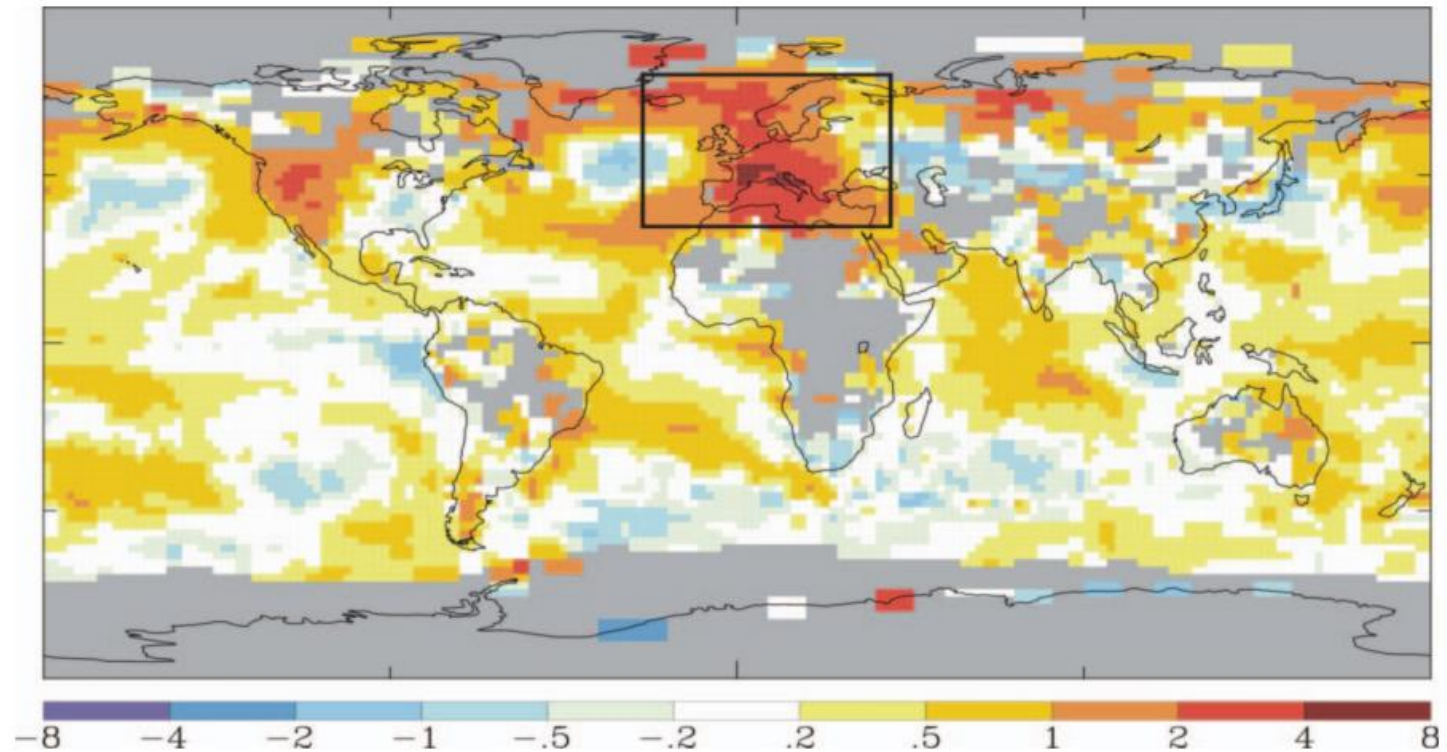


FIGURE 1. Surface air temperature anomalies (in °C, with respect to the 1961 to 1990 reference period), June–August 2003. Data source: Hansen et al., 2001; NASA/GISS (<http://www.giss.nasa.gov/cgi-bin/update/gistemp/>).

TABLE

Excess deaths, number of maximal temperatures $> 35^{\circ}\text{C}$, minimal temperatures $> 22^{\circ}\text{C}$, average delta of mean temperatures between 1-19 August for thirteen cities, France, 2003

Cities	Number of deaths	Excess deaths (%)	Number of days with maximal temperature $\geq 35^{\circ}\text{C}$	Number of days with minimal temperature $\geq 22^{\circ}\text{C}$	Delta of daily mean temperature
Lille	200	4	3	0	4.0
Marseille	571	25	11	14	4.3
Grenoble	148	28	12	0	6.3
Rennes	156	36	6	2	5.6
Toulouse	315	36	12	6	6.6
Bordeaux	318	43	12	7	6.2
Strasbourg	253	51	10	0	5.9
Nice	341	53	1	18	4.3
Poitiers	184	79	11	1	7.3
Lyon	447	80	11	9	6.8
Le Mans	204	82	10	3	7.0
Dijon	168	93	11	4	7.4
Paris	1854	142	9	9	6.7

FIGURE

Daily excess of deaths during August 2003 and minimal and maximal daily temperatures, France

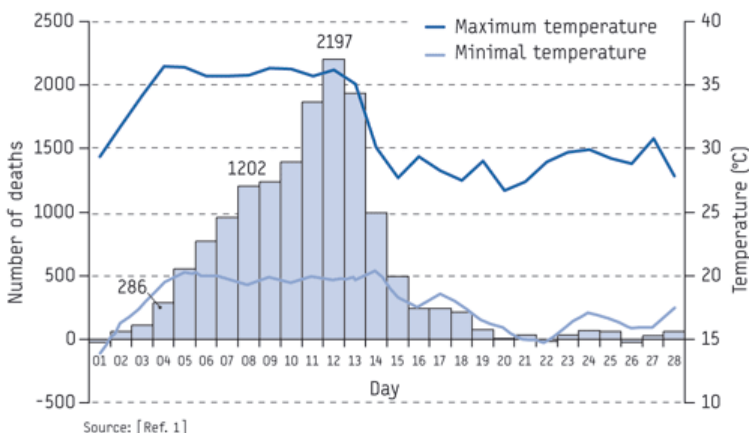


Figure C1.2. (a) The distribution of excess mortality in France from 1 to 15 August 2003, by region, compared with the previous three years (INVS, 2003);

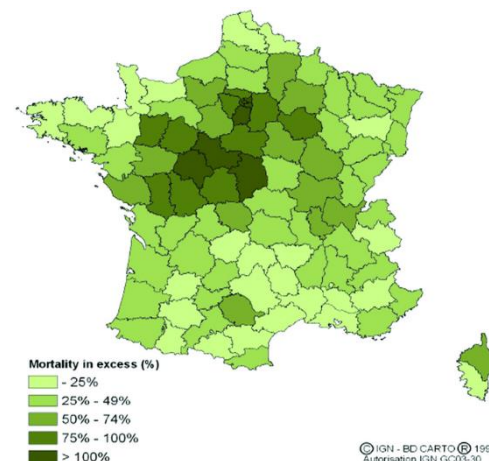
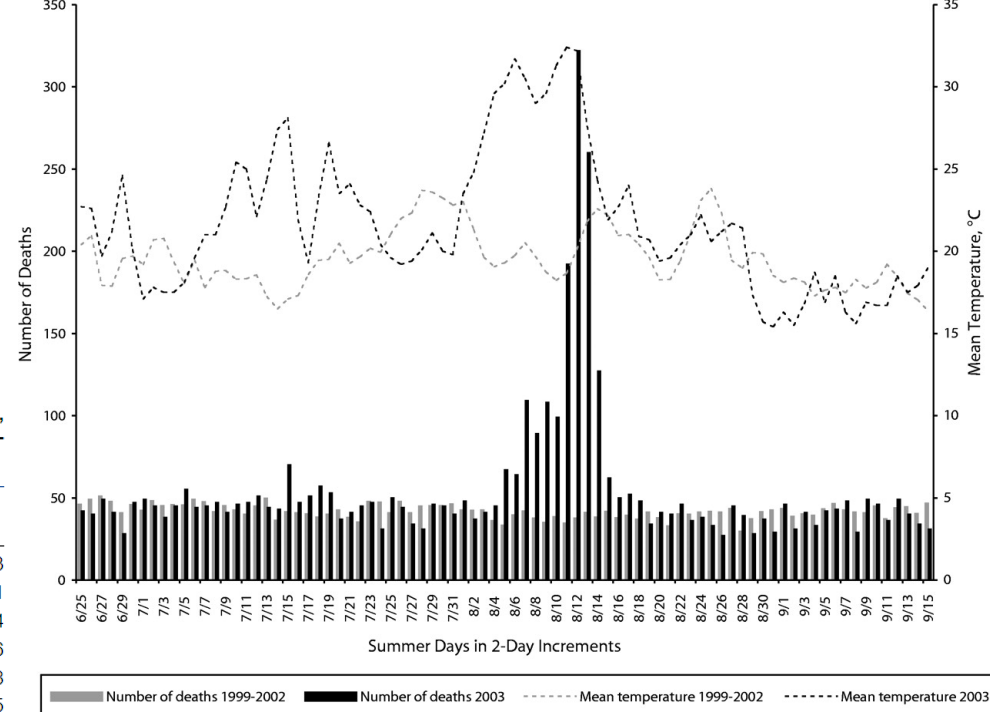


TABLE 1—Excess Mortality in 13 French Cities and in Hospitals Between August 1 and August 19, 2003, Compared With the Same Period in 1999–2002 for the City Deaths and in 2002 for the In-Hospital Deaths^a (Table view)

City	2003 No. of City Deaths	Excess Mortality, %	2003 No. of In-Hospital Deaths	Excess Mortality, %
Bordeaux	318	43	228	53
Dijon	168	93	117	121
Grenoble	148	28	108	24
Le Mans	204	82	171	116
Lille	200	4	103	18
Lyon	447	80	300	95
Marseille	571	25	163	23
Nice	341	53	193	65
Paris	1854	142	1665	138
Poitiers	184	79	151	72
Rennes	156	36	95	38
Strasbourg	253	51	157	33
Toulouse	315	36	140	49

^aCity deaths do not include all the in-hospital deaths. Only patients who died in the university hospitals located in the city (not in the suburbs) were included in the 2 sources.





Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych

TABLE 1

Maximum apparent temperature and percentage of variation in mortality for Rome, Milan, Turin, and Bologna during summer 2003 (June-August), Italy

Mortality	City (Reference period)			
	Rome (1995-2002)	Milan (1995-2002)	Turin (1998-2002)	Bologna (1996-2002)
2003	6009	2968	2332	1432
Reference period	5065	2409	1755	1257
% variation	19	23	33	14
Maximum apparent temperature (°C)	Rome (1995-2002)	Milan (1995-2002)	Turin (1998-2002)	Bologna (1996-2002)
	2003	2003	2003	2003
Reference period	31.1	28.3	28.6	30.4
Temperature increase (°C)	4.1	4.4	3.4	1.6

TABLE 2

Total and excess mortality by age group and sex in Bologna, Milan, Rome, and Turin during the summer period (June-August) 2003 compared to the reference period, Italy

Mortality	Rome				Milan			
	Observed	Excess	%	95% CI	Observed	Excess	%	95% CI
All ages	6009	944	19	15.6-21.6	2968	559	23	18.8-27.6
0-64	915	-58	-6	-12.1-0.1	372	-35	-9	-12.9-0.7
65-74	1163	51	5	-1.4-10.6	480	-23	-5	-13.1-4.0
75-84	1938	397	26	20.2-31.4	1020	305	43	33.9-51.4
85	1993	554	38	32.4-44.6	1096	312	40	31.5-48.1
Sex								
Male	2768	246	10	5.7-13.8	1299	141	12	6.1-18.3
Female	3241	698	27	23.1-31.8	1669	418	33	27.0-39.8

Mortality	Turin				Bologna			
	Observed	Excess	%	95% CI	Observed	Excess	%	95% CI
All ages	2332	577	33	27.5-38.3	1432	175	14	8.0-19.8
0-64	307	21	7	-4.7-19.4	154	-10	-6	-20.9-8.7
65-74	416	58	16	5.0-27.4	202	-41	-17	-28.3-5.4
75-84	752	213	40	29.5-49.5	514	92	22	11.3-32.3
85	857	285	50	39.8-59.9	562	139	33	21.9-43.8
Sex								
Male	1074	215	25	17.6-32.5	686	84	14	5.4-22.5
Female	1258	362	40	32.6-48.2	752	93	14	6.0-22.3

FIGURE

Total daily mortality and maximum apparent temperature, Italy, 1 June-31 August 2003

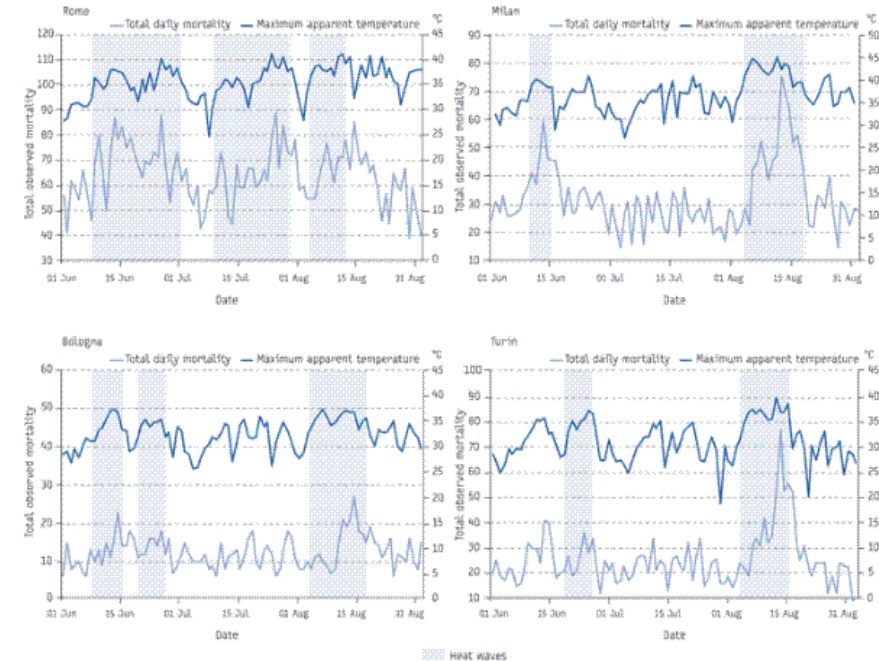


Figure 1. (top) Daily Moscow temperature record from November 1 2009 to October 31 2010, with daily departures computed with respect to the climatological seasonal cycle. Data are from the Global Summary of the Day produced by National Climatic Data Center. (middle) Observed time series of western Russia July temperature anomalies for the period 1880 to 2010 indicated as positive (red) and negative (blue) temperature anomalies relative to the base period from 1880 to 2009. Numbers indicate the years of the ten most extreme positive anomalies. The red asterisk indicates year 2010. The light and dark shaded areas represents the envelopes of positive and negative monthly mean temperature extremes based on 22 CMIP3 model simulations for normalized and non-normalized anomaly time series respectively. (bottom) Map of observed July temperature trend [$^{\circ}\text{C}/130\text{yrs}$] for July 1880–2009. Box shows the area used to define “western Russia” surface temperatures.

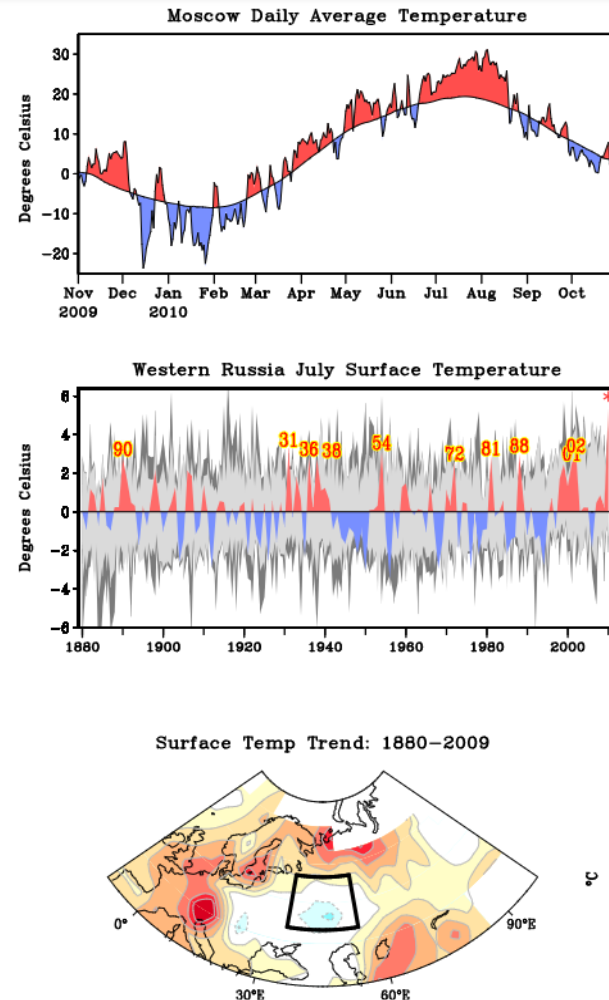
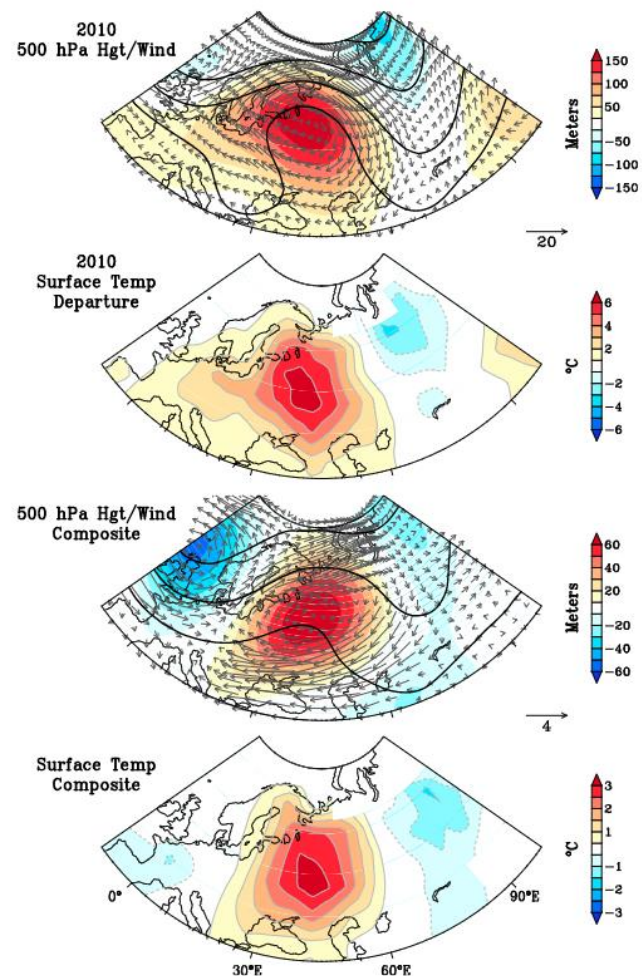


Figure 2. Observed climate conditions for July 2010 and for the 10 warmest western Russia July temperatures since 1880. (top) NCEP/NCAR Reanalysis 500 hPa height (contour, contour interval: 100 m), anomalies (shading), and wind vector anomalies (arrows, m s^{-1}) for July 2010. Anomalies are relative to the 1948–2009 climatology. (middle top) Observed surface air temperature anomalies for July 2010 (base period is 1880–2009) from the NOAA merged land air and sea surface temperature data set. (middle bottom and bottom) As in Figures 2 (top) and 2 (middle top) but for composite of the ten warmest July monthly means over western Russia during the period 1880–2009. The Twentieth Century Reanalysis are the data source of 500 hPa heights [Compo *et al.*, 2011].



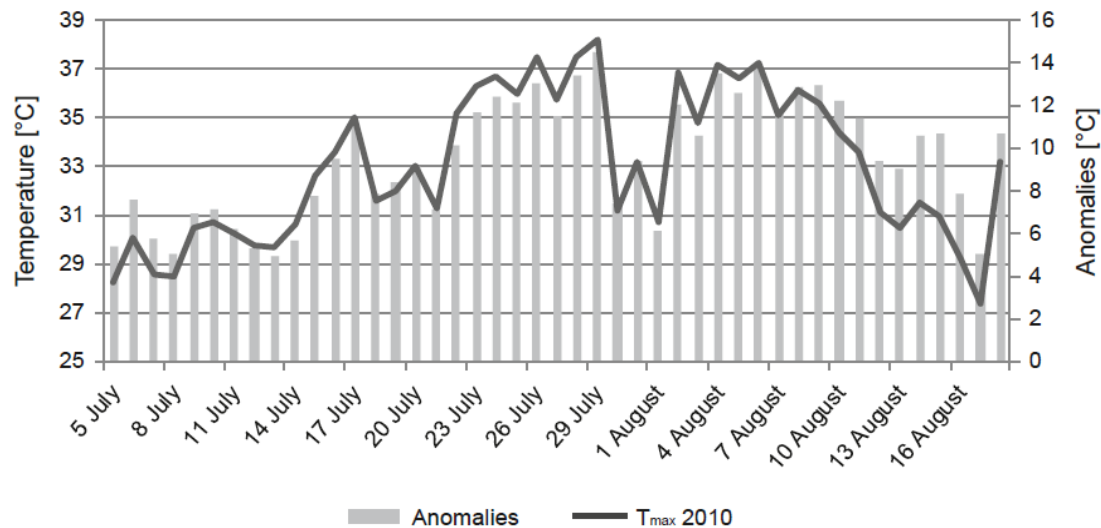


Fig. 10 – The $T_{\max}$ (°C) in 2010 (black line) and $T_{\max}$ anomalies (°C) from the mean $T_{\max}$ in 1973–2010 period (grey columns) in Moscow

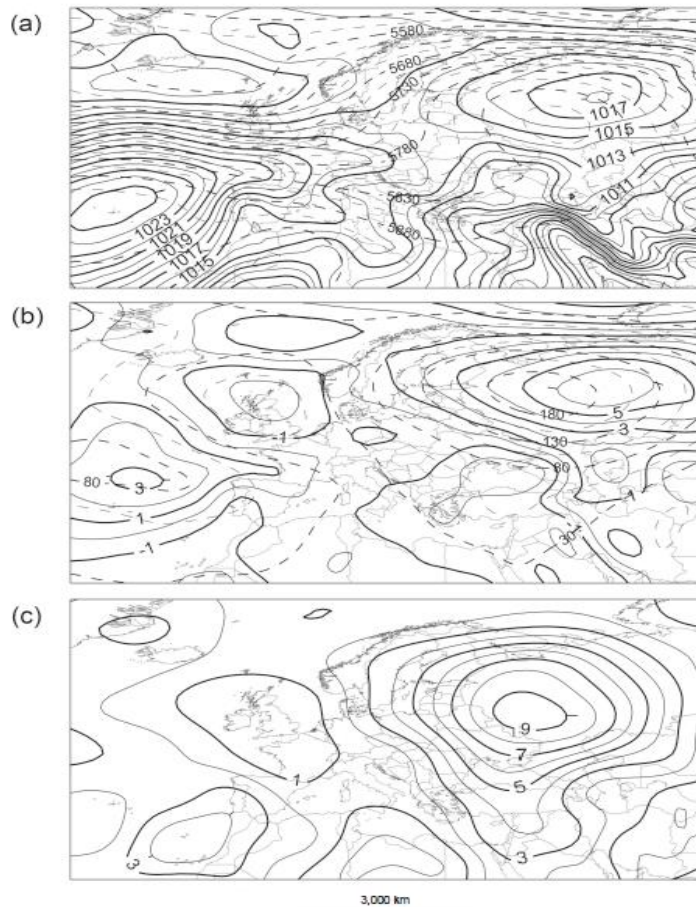


Fig. 11 – Mean SLP (hPa; solid lines) and Z500 hPa (gpm; dashed lines; a), SLP (hPa; solid lines) and Z500 hPa anomalies (m; dashed lines; b), and the T850 anomalies (°C; c) for the heat waves of 2010

Temperatures in Europe from 17 to 23 July 2022

Type Heatwave

Areas Andorra · Croatia · France · Germany · Greece · Hungary · Ireland · Italy · Lithuania · Bosnia and Herzegovina · Montenegro · Netherlands · Norway · Poland · Portugal · Romania · Slovakia · Slovenia · Spain · Switzerland · United Kingdom

Start date 12 June 2022

End date 12 September 2022

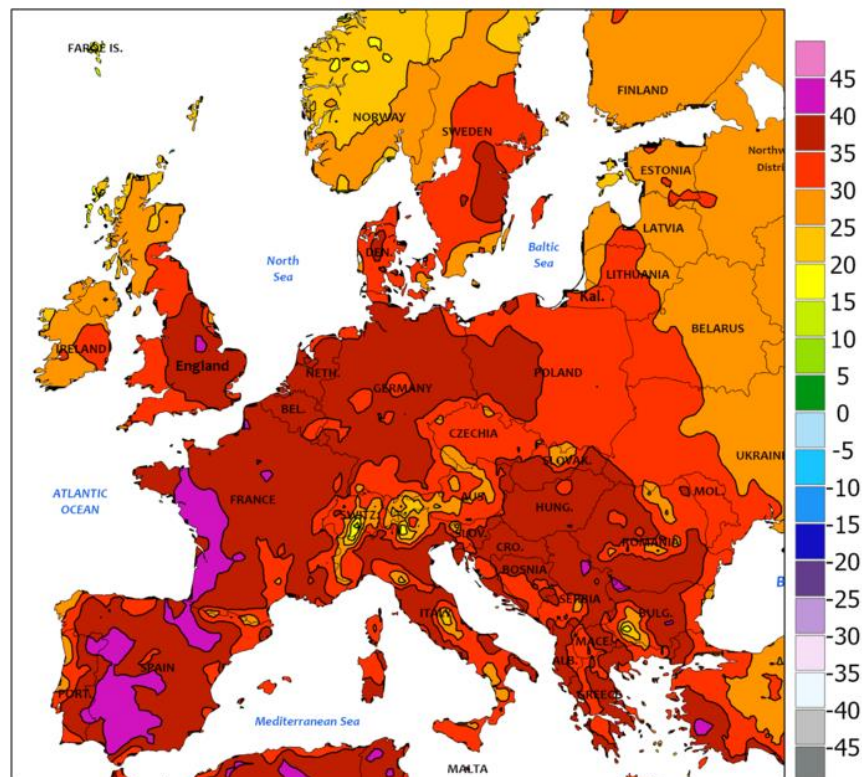
Peak temp. 47.0 °C (116.6 °F), recorded at Pínhão, Portugal on 14 July 2022

Losses

Deaths 26,304^[when?]

- France: c. 11,000^[1]
- Germany: 8,138
- United Kingdom: 3,200^[2]
- Spain: 2,894
- Portugal: 1,063
- Ireland: 6
- Poland: 3

EUROPE Extreme Maximum Temperature (C) July 17 - 23, 2022



CLIMATE PREDICTION CENTER, NOAA
Computer generated contours
Based on preliminary data



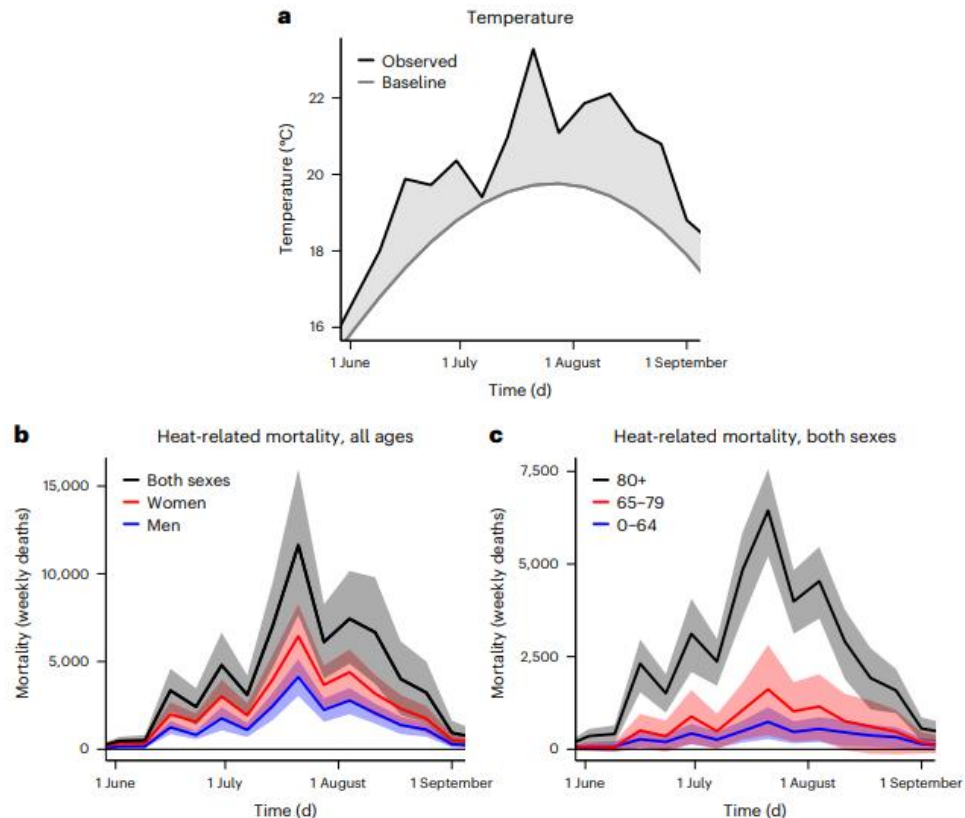


Fig. 2 | Weekly temperature and heat-related mortality numbers in Europe during the summer of 2022. **a**, Weekly baseline (gray line) and observed (black line) temperature (°C) averaged over Europe. Temperature anomalies are defined as the difference between observed and baseline temperatures (gray shading). Baseline temperatures were computed as the mean annual cycle of observed temperatures in the reference period 1991–2020. **b, c**, Weekly heat-related

mortality (weekly deaths) aggregated over Europe for the overall population (black), women (red) and men (blue) (**b**) and people aged 0–64 (blue), 65–79 (red) and 80+ (black) years (**c**), together with their 95% CIs (shadings). The numbers for women and men in **b** do not include the United Kingdom; values for the age groups in **c** do not include Germany, Ireland and the United Kingdom.

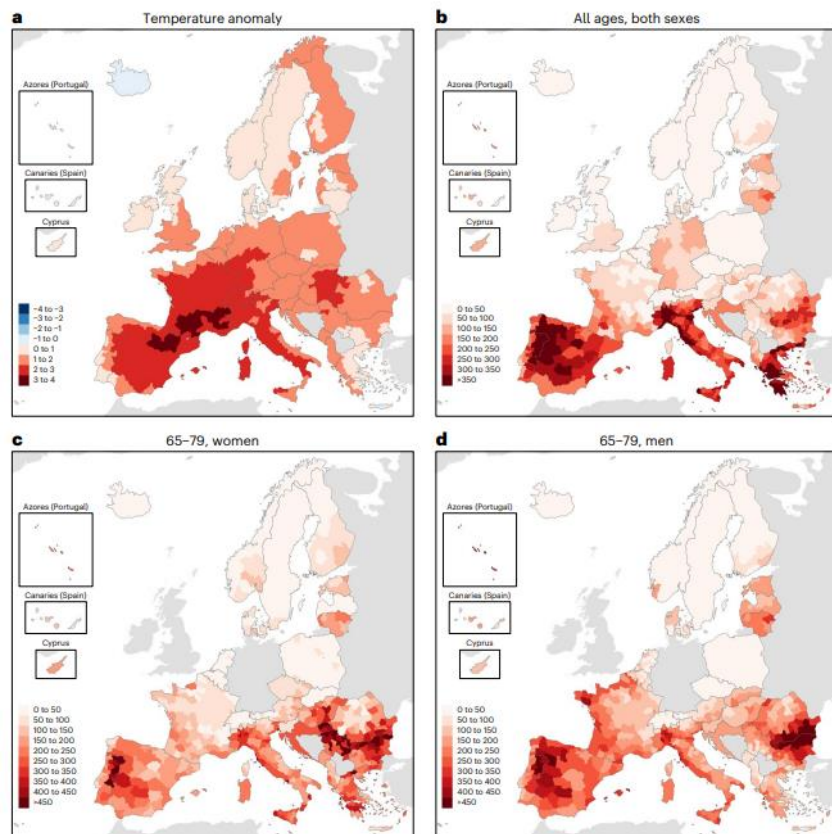
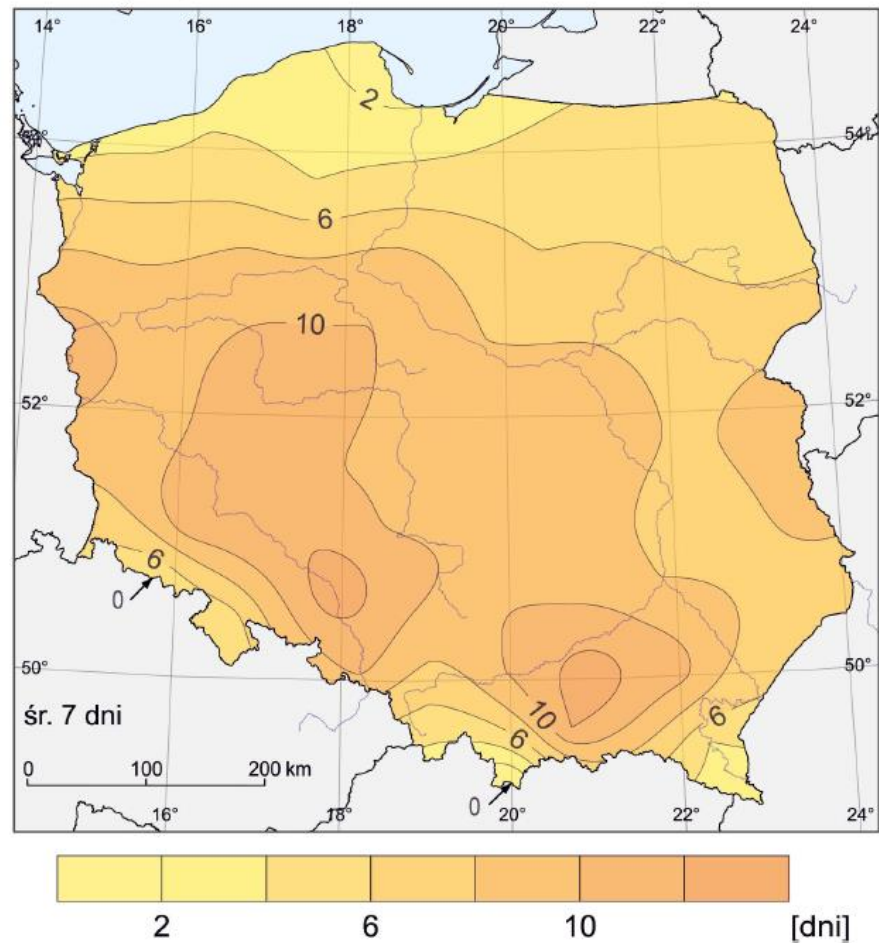
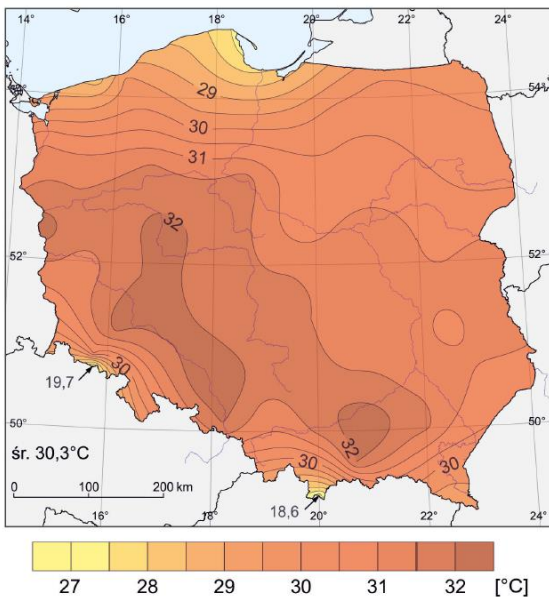


Fig. 3 | Regional temperature anomaly and heat-related mortality rate during the summer of 2022. a. Regional temperature anomaly (°C) averaged over the summer. **b–f.** Regional heat-related mortality rate (summer deaths per million) aggregated over the summer for the whole population (**b**), women aged

65–79 years (**c**), men aged 65–79 years (**d**), women aged 80+ years (**e**) and men aged 80+ years (**f**). Summer refers to the 14-week period between 30 May and 4 September 2022 (weeks 22–35).

Średnia roczna liczba dni upalnych (T_{max} od $30,1^{\circ}\text{C}$)

Maksymalna temperatura powietrza latem (T_{max} 95 percentyl)



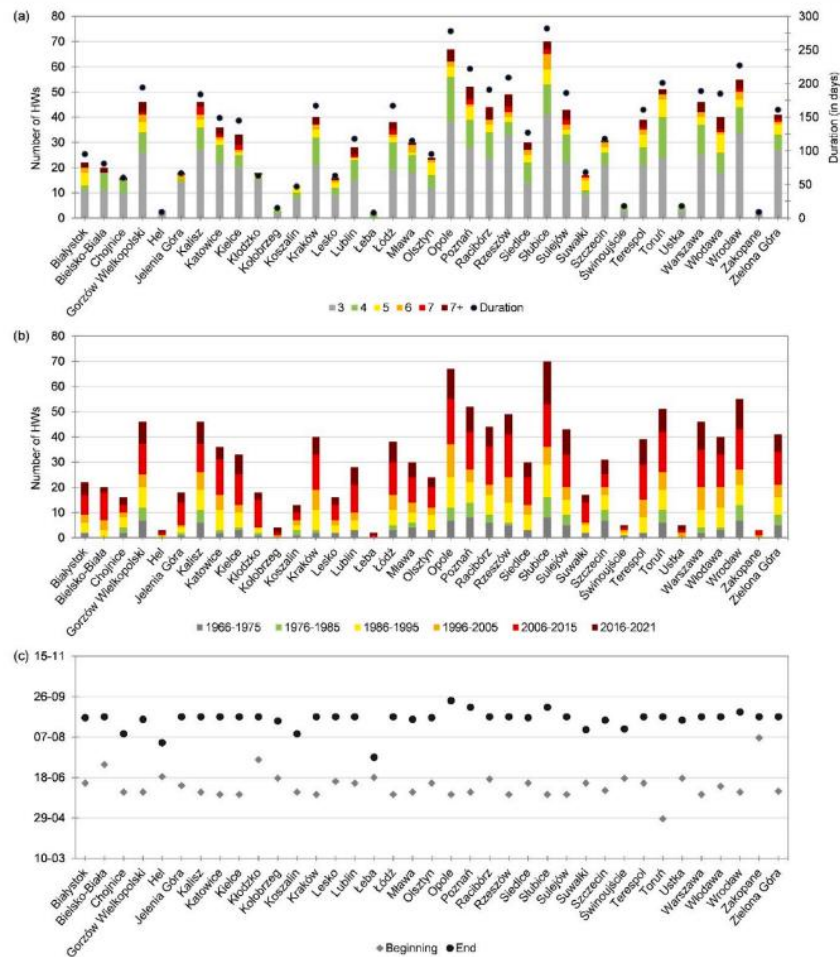
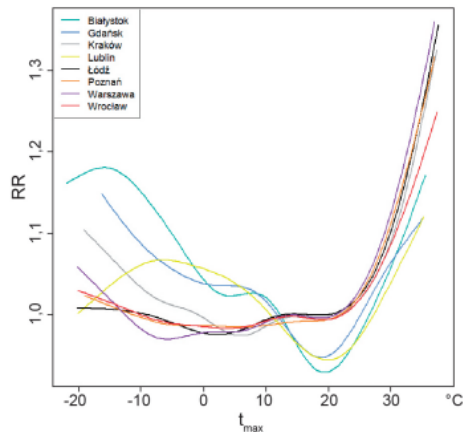


Fig. 2. Number of HWs by duration and their total duration (in days) in the years 1966–2021 (a), number of HWs in decades (b) and potential period of occurrence of HWs in Poland (c).

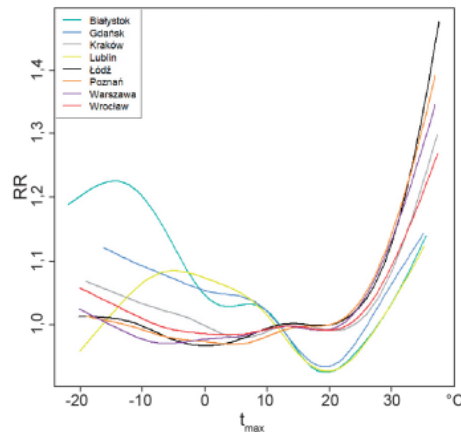
TABLE 2 Duration and date of occurrence of the longest HWs in the years 1966–2018

Station	Longest heat wave		Station	Longest heat wave	
	Number of days	Date		Number of days	Date
Białystok	9	July 25, 1994 to August 2, 1994	Olsztyn	8	July 26, 1994 to August 2, 1994
Chojnice	10	July 24, 1994 to August 2, 1994	Płock	10	July 24, 1994 to August 2, 1994
Elbląg	8	July 26, 1994 to August 2, 1994	Poznań	11	July 18–28, 2006
Gorzów Wlkp.	11	July 23, 1994 to July 18–28, 2006	Racibórz	12	July 22, 1994 to August 2, 1994
Jelenia Góra	9	July 24, 1994 to August 1, 1994	Rzeszów	16	July 24, 1994 to August 8, 1994
Kalisz	11	July 23, 1994 to August 2, 1994	Słubice	12	July 22, 1994 to August 2, 1994
Kielce	11	August 3–13, 1994	Suwałki	7	July 22, 1994 to August 2, 1994
Kłodzko	9	July 25, 1994 to August 2, 1994	Szczecin	13	July 21, 1994 to August 2, 1994
Koszalin	5	July 9–13, 2010	Świnoujście	5	July 9–13, 2010
Kraków	12	August 4–15, 2015	Terespol	9	July 25, 1994 to August 2, 1994/ August 4–12, 2015
Lesko	8	July 26, 1994 to August 2, 1994	Toruń	11	July 24, 1994 to August 3, 1994
Lublin	11	August 3–13, 2015	Warszawa	11	August 3–13, 2015
Łeba	4	July 10–13, 2010	Wrocław	16	July 22, 1994 to August 6, 1994
Łódź	15	July 23, 1994 to August 6, 1994	Zakopane	3	August 19–21, 2000 August 6–8, 2013
Mława	10	July 24, 1994 to August 2, 1994	Zielona Góra	12	July 22, 1994 to August 2, 1994

Ogółem / All causes

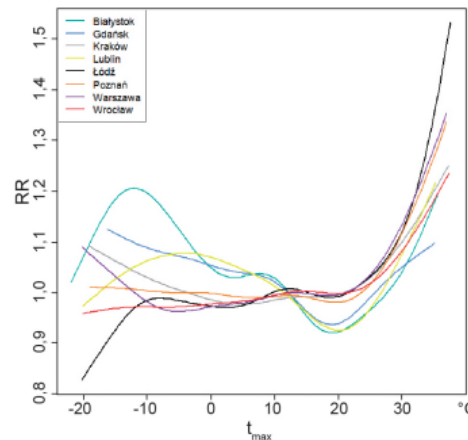


Ogółem 65+ / All causes 65+

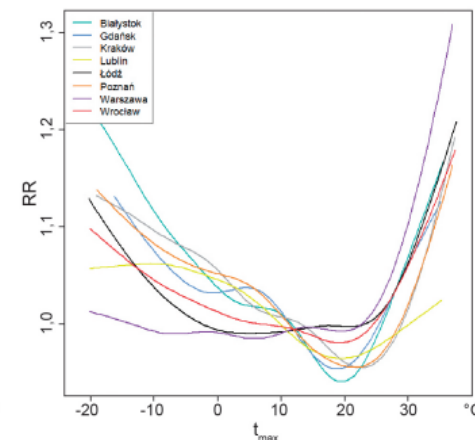


Ryc. 83. Ryzyko względne zgonu (RR) ogółem w całej populacji oraz wśród osób powyżej 65 r.ż. (65+) a maksymalna temperatura powietrza ($t_{\max}$)
Fig. 83. Relative risk of death (RR) due to all causes in the whole population and among people over 65 years of age (65+) and maximum air temperature ($t_{\max}$)

Ogółem kobiety / All causes women

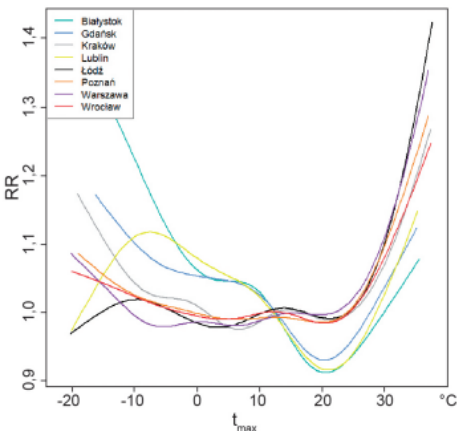


Ogółem mężczyźni / All causes men



Ryc. 84. Ryzyko względne zgonu (RR) ogółem kobiet i mężczyzn a maksymalna temperatura powietrza ($t_{\max}$)
Fig. 84. Relative risk of death (RR) due to all causes among women and men and maximum air temperature ($t_{\max}$)

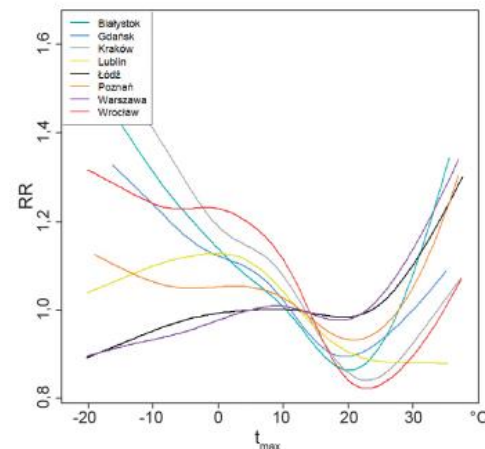
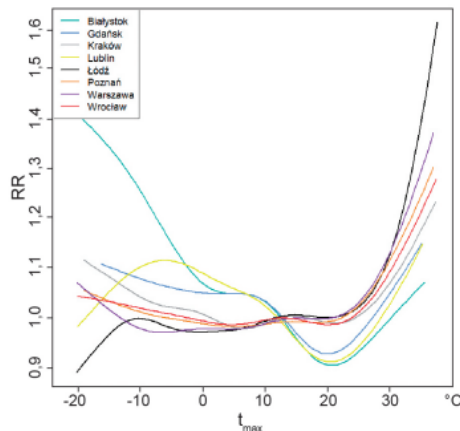
Układ krążenia / Circulatory system



Ryc. 85. Ryzyko względne zgonu (RR) z powodu chorób układu krążenia w całej populacji oraz wśród osób powyżej 65 r.ż. (65+) a maksymalna temperatura powietrza (t_{max})

Fig. 85. Relative risk of death (RR) due to circulatory system diseases in the whole population and among people over 65 years of age (65+) and maximum air temperature (t_{max})

Układ krążenia 65+ / Circulatory system 65+



Ryc. 87. Ryzyko względne zgonu (RR) z powodu chorób układu oddechowego w całej populacji a maksymalna temperatura powietrza (t_{max})

Fig. 87. Relative risk of death (RR) due to respiratory system diseases in the whole population and maximum air temperature (t_{max})

Fig. 7 The course of temperature, humidex, and the number of deaths in Łódź in the summer of 1994 (gray thin lines represent 90% confidence interval)

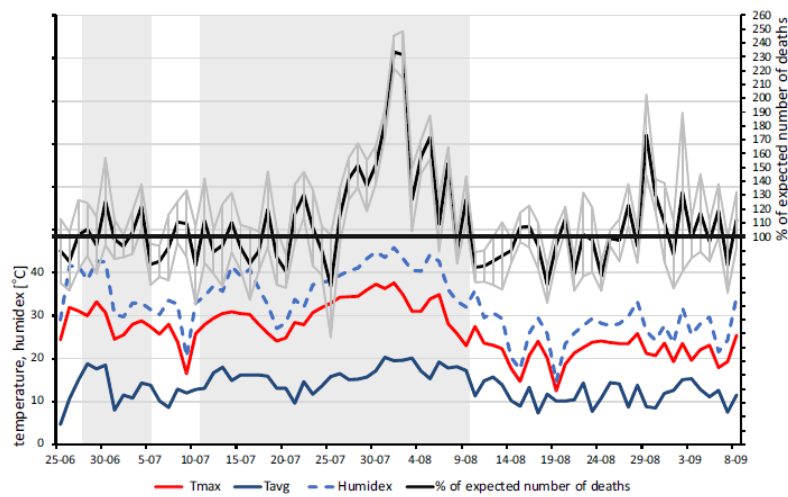
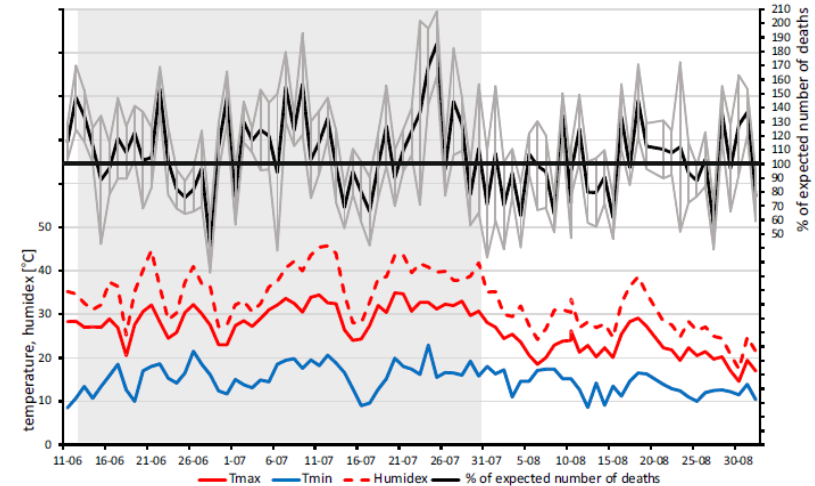


Fig. 9 The course of temperature, humidex, and the number of deaths in Poznań in the summer of 2006 (gray thin lines represent 90% confidence interval)



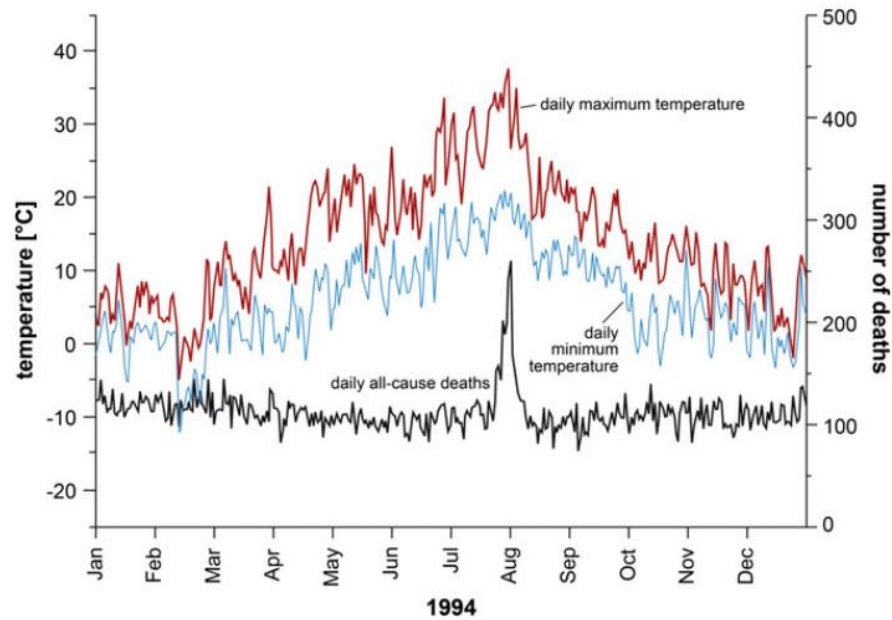


Fig. 3. Daily maximum and minimum temperatures, together with daily mortality rates for Berlin during 1994 [Data: German Meteorological Service, Statistical Services of Berlin and Brandenburg].

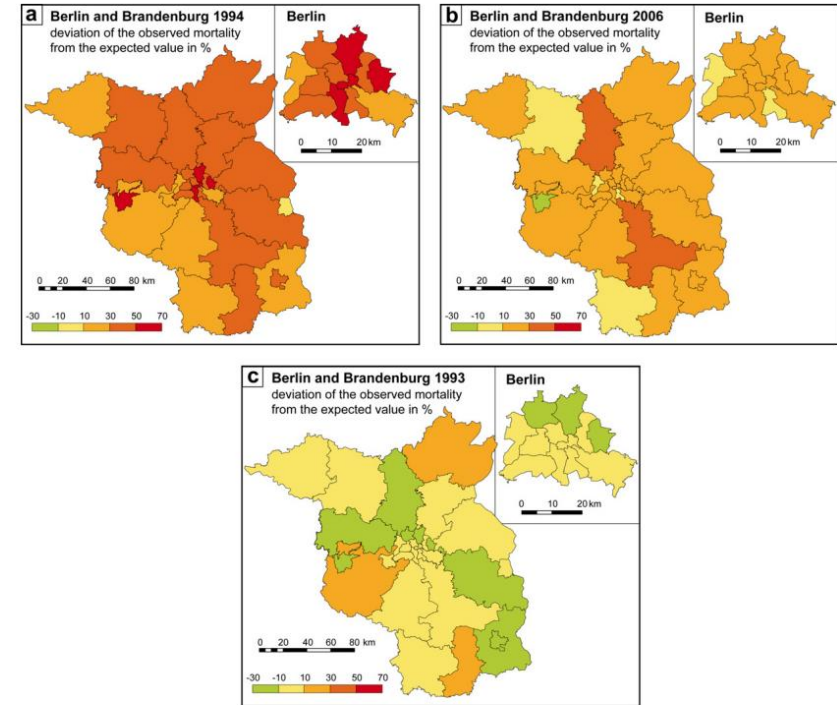


Fig. 4. Spatial distribution for the deviation [%] of recorded mortality rates from the expected values in Germany's Federal States of Berlin and Brandenburg during the investigated 3-week periods of (a) 1994, (b) 2006, and (c) 1993 [Data: Statistical Services of Berlin and Brandenburg].

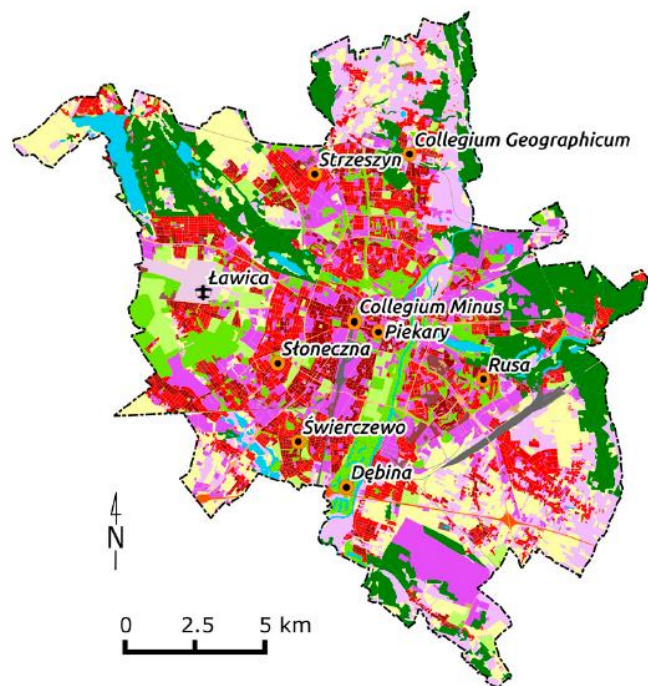
Klimat miasta – klimat lokalny obszaru zurbanizowanego powstający wskutek oddziaływania m.in. zabudowy miejskiej. Klimat miasta w porównaniu z terenem poza miejskim różni się m.in. zanieczyszczeniem powietrza, temperaturą powietrza, sumą opadów atmosferycznych, zachmurzeniem itp.





TAB. 3.10. WIELKOŚĆ ZMIAN ELEMENTÓW KLIMATU NA OBSZARZE DUŻEGO MIASTA W PORÓWNANIU Z TERENAMI WIEJSKIMI (WG H. E. LANDSBERGA, 1981)

Elementy klimatu	Stopień zmienności
Substancje zanieczyszczające: jądra kondensacji cząstki gazowe domieszki	do 10 razy więcej do 10 razy więcej do 5-25 razy więcej
Promieniowanie słoneczne: całkowite na powierzchnię poziomą ultrafioletowe zimą ultrafioletowe latem czas trwania promieniowania słonecznego	0-20% mniejsze 30% mniejsze 5% mniejsze 5-15% krótszy
Zachmurzenie	5-10% większe
Mgły: zimą latem	100% więcej 30% więcej
Opady: suma roczna liczba dni z opadem poniżej 5 mm opad śniegu na zawietrznym krańcu miasta opad śniegu w centrum miasta burze	5-15% więcej 10% większa 10% większy 5-10% mniejszy 10-15% więcej
Temperatura powietrza: wartość średnia roczna wartość minimalna zimą wartość maksymalna latem	0,5-3,0°C większa 1,0-2,0°C większa 1,0-3,0°C większa
Wilgotność względna: wartość średnia roczna zimą latem	6% mniejsza 2% mniejsza 8% mniejsza
Prędkość wiatru: wartość średnia roczna maksymalna prędkość w porywach liczba dni z ciszą	20-30% mniejsza 10-20% mniejsza 5-20% większa



Legend

✚ Airport Poznań - Ławica measurement point

● measurement points

--- border of Poznań

CLC 2012 type [7268]

- Continuous Urban Fabric (S.L. > 80%)
- Discontinuous Dense Urban Fabric (S.L. : 50% - 80%)
- Discontinuous Medium Density Urban Fabric (S.L. : 30% - 50%)
- Discontinuous Low Density Urban Fabric (S.L. : 10% - 30%)
- Discontinuous Very Low Density Urban Fabric (S.L. < 10%)
- Isolated Structures
- Industrial, commercial, public, military and private units
- Fast transit roads and associated land
- Other roads and associated land
- Railways and associated land
- Airports
- Mineral extraction and dump sites
- Construction sites
- Land without current use
- Green urban areas
- Sports and leisure facilities
- Agricultural + Semi-natural areas + Wetlands
- Pastures
- Forests
- Herbaceous vegetation associations (natural grassland, moors...)
- Water bodies

Figure 1. Location of measuring points against the type of land use (Urban Atlas 2012).

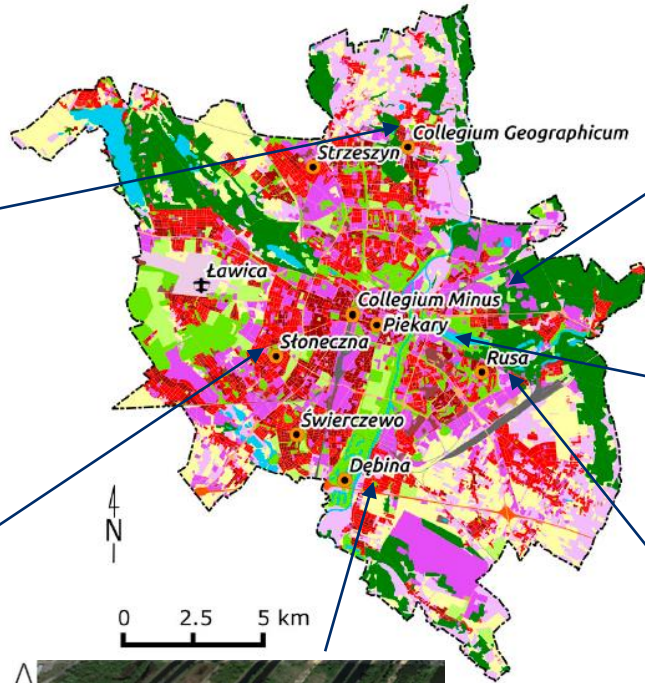
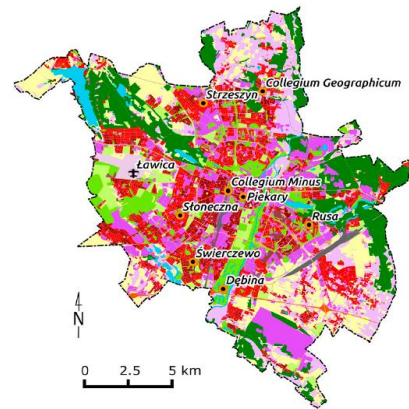


Table 2. Characteristics of thermal conditions in Poznań in the period 2008–2022.

Location	Air Temperature					
	Tmax		Lowest Average Tmax		Highest Average Tmax	
	Average [°C]	Changes [°C/Decade]	Value [°C]	Year	Value [°C]	Year
Piekary	25.2	1.0	24.0	2012	27.0	2019
Collegium Minus	25.4	1.7 *	24.1	2009	27.4	2019
Śloneczna	23.9	1.2 *	22.6	2017	25.9	2019
Rusa	24.9	1.5 *	23.5	2012	26.9	2019
Debina	24.5	1.3 *	22.8	2012	26.5	2019
Ławica	24.3	1.6 *	22.9	2012	26.6	2019
Collegium Geographicum	24.5	1.6 *	23.1	2012	26.6	2019
Strzeszyn	24.6	0.9	23.1	2017	26.5	2019
Świerczewo	25.2	1.6*	23.7	2009	27.2	2019



Location	Hot days					
	Number of hot days		Lowest number of hot days		Highest number of hot days	
	Average	Changes [days/decade]	Value	Year	Value	Year
Piekary	13	3.8	4	2017	22	2015
Collegium Minus	15	6.7	4	2017	24	2019
Śloneczna	8	5.6	1	2011	19	2022
Rusa	12	3.6	4	2017	20	2015, 2018, 2022
Debina	12	3.3	2	2017	21	2015
Ławica	9	5.8	1	2011	19	2022
Collegium Geographicum	11	5.6	2	2017	20	2015, 2022
Strzeszyn	11	2.7	3	2017	22	2015
Świerczewo	14	6.0	4	2017	24	2015

* statistical significance (0.05).

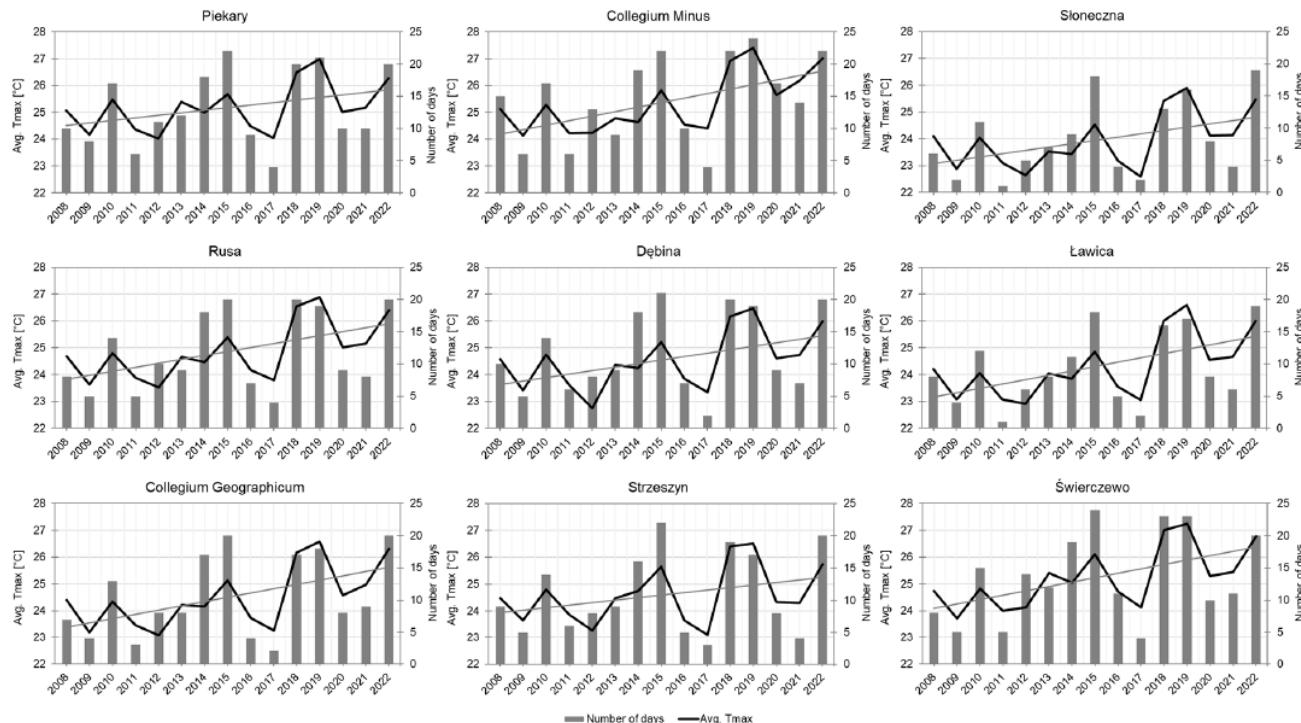


Figure 2. Course of average Tmax (and trend line) and number of hot days in the summer in Poznań in the years 2008–2022.

Table 3. Characteristics of the occurrence of heat waves in Poznań in the years 2008–2022.

Location	Heat Waves		Longest Heat Wave	
	Number	Total Duration [Days]	Duration	Date
Piekary	25	98	9	9–17.07.2010
Collegium Minus	26	115	9	9–17.07.2010
Słoneczna	14	55	8	10–17.07.2010
Rusa	23	91	9	9–17.07.2010
Dębina	23	90	9	9–17.07.2010
Ławica	15	61	9	9–17.07.2010
Collegium Geographicum	19	78	8	10–17.07.2010
Strzeszyn	20	83	9	9–17.07.2010
Świerczewo	27	108	9	9–17.07.2010

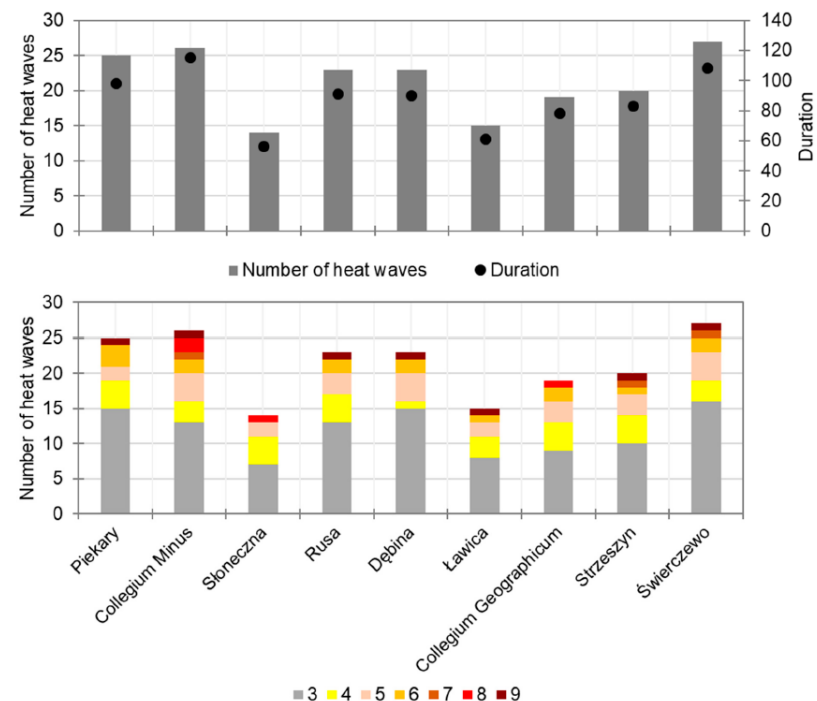


Figure 3. Number and duration of heat waves (top diagram), and number of heat waves by duration (bottom diagram) in Poznań in the years 2008–2022.

Table 4. Characteristics of biometeorological conditions in the summer in Poznań in the years 2008–2022.

Location	HD		Lowest Average HD		Highest Average HD	
	Average [°C]	Changes [°C/Decade]	Value [°C]	Year	Value [°C]	Year
Piekary	28.0	1.9 *	25.4	2008	30.6	2019
Collegium Minus	27.9	2.2 *	25.3	2008	31.3	2019
Słoneczna	27.0	2.1 *	24.8	2008	29.8	2019
Rusa	27.6	3.0 *	24.9	2008	30.5	2019
Dębina	27.6	2.4 *	25.3	2008	30.4	2019
Ławica	25.3	1.5 *	24.1	2008	27.5	2019
Collegium Geographicum	26.8	1.8 *	25.1	2008	28.9	2019
Strzeszyn	27.9	2.5 *	25.2	2008	30.6	2019
Świerczewo	27.7	2.1 *	25.3	2008	30.2	2019

* statistical significance (0.05).



Figure 4. Course of average HD (and trend line) and number of days in particular intervals of the HD (a—20.0–29.9 °C; b—30.0–39.9 °C; c—40.0–45.9 °C, d—46.0–54.0 °C) in the summer in Poznań in the years 2008–2022.

Table 1. Threshold values of the HD [82].

HD [°C]	Levels of Thermo-Humidity Discomfort
20.0–29.9	Comfort
30.0–39.9	Slight discomfort
40.0–45.9	Great discomfort
46.0–54.9	Dangerous
≥55.0	Heat stroke imminent

Table 5. Characteristics of biometeorological conditions during heat waves in Poznań in the years 2008–2022.

Location	Average HD [°C]	Lowest Average HD		Highest Average HD		Highest HD	
		Value [°C]	Date	Value [°C]	Date	Value [°C]	Date
Piekary	38.2	33.3	25–30.07.2008	41.7	6–8.08.2015	44.7	25.06.2016
Collegium Minus	38.0	32.5	25.07–1.08.2008	41.9	10–12.06.2019	46.0	26.06.2019
Słoneczna	38.0	32.5	25–28.07.2008	39.9	6–8.08.2015	42.2	21.07.2022
Rusa	38.3	33.5	25–28.07.2008	41.2	6–8.08.2015	43.5	8.08.2015
Dębina	38.8	33.8	25–29.07.2008	42.8	6–8.08.2015	45.2	25.06.2016
Ławica	34.8	31.8	25–28.07.2008	36.7	6–8.08.2015	38.7	8.08.2015
Collegium Geographicum	37.1	32.5	25–28.07.2008	39.8	6–8.08.2015	41.6	9.08.2018
Strzeszyn	38.7	33.2	25–29.07.2008	41.6	6–12.08.2015	45.3	12.08.2015
Świerczewo	37.7	33.5	25–28.07.2008	40.7	6–12.08.2015	43.9	25.06.2016

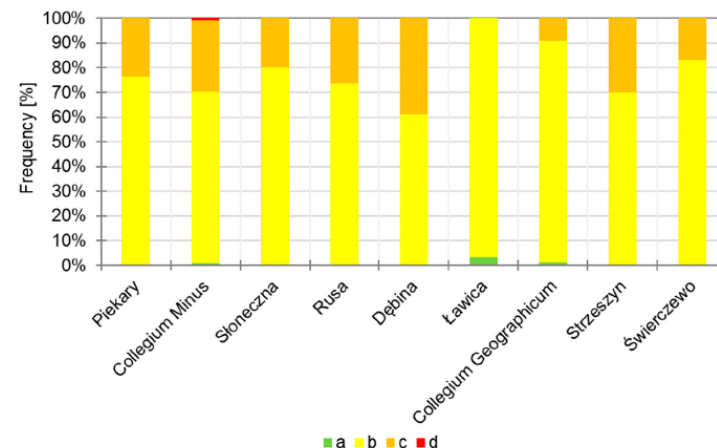


Figure 5. Frequency of occurrence of days in particular intervals of the HD (a—20.0–29.9 °C; b—30.0–39.9 °C; c—40.0–45.9 °C, d—46.0–54.0 °C) during heat waves in Poznań in the years 2008–2022.

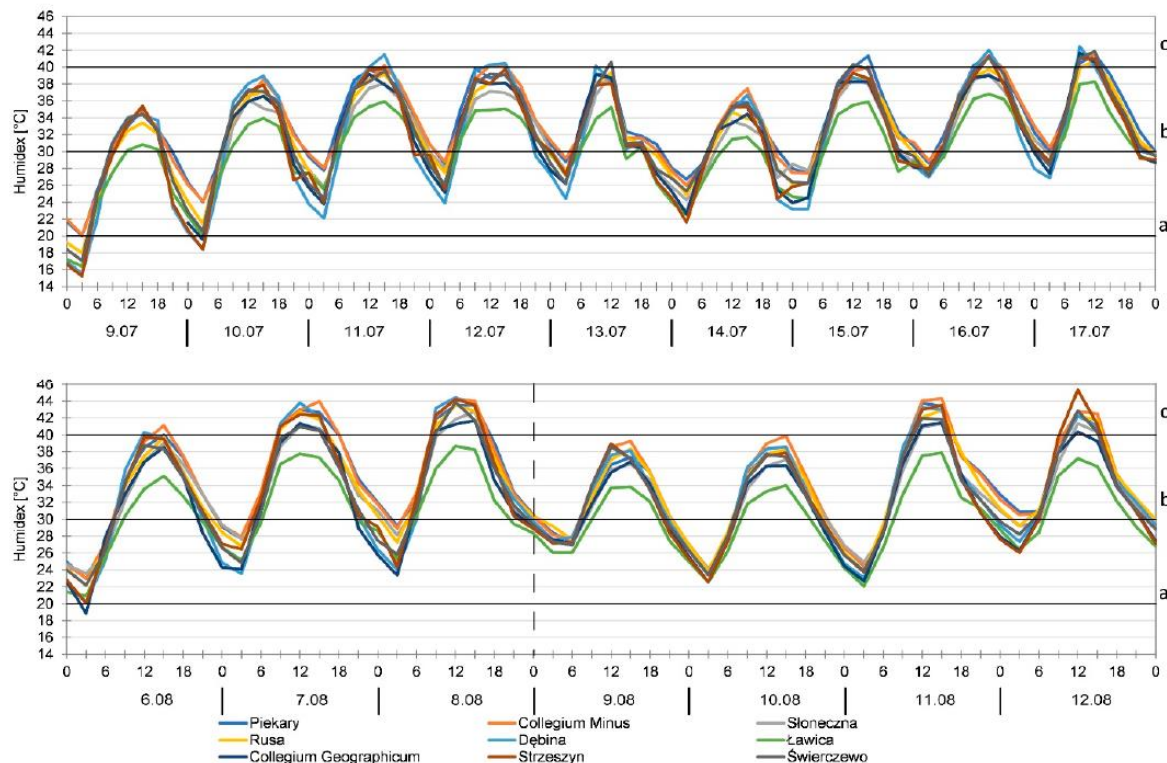


Figure 6. Course of HD (a—20.0–29.9 $^{\circ}\text{C}$; b—30.0–39.9 $^{\circ}\text{C}$; c—40.0–45.9 $^{\circ}\text{C}$) during the heat wave in 2010 (the longest heat wave) and 2015 (the heat wave with the highest average the HD).

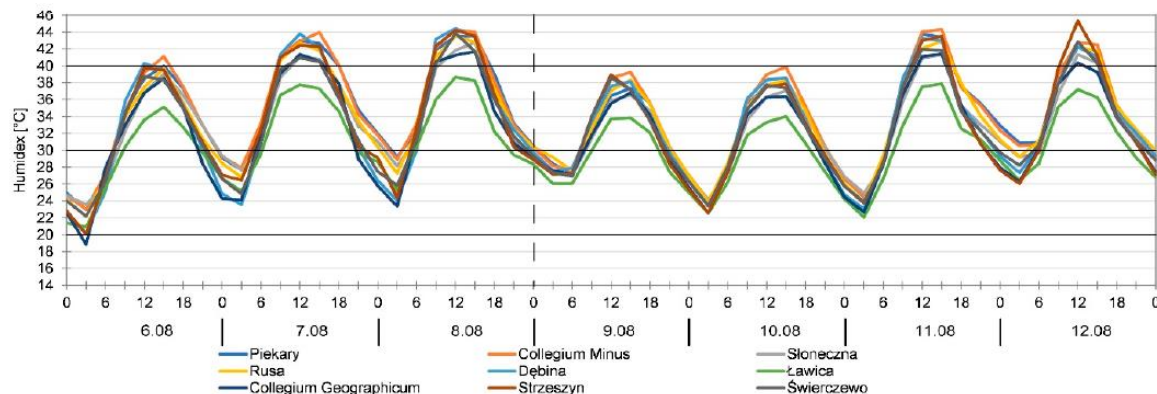
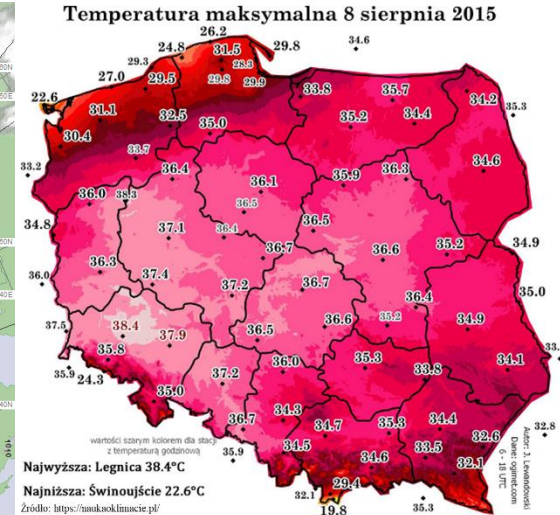
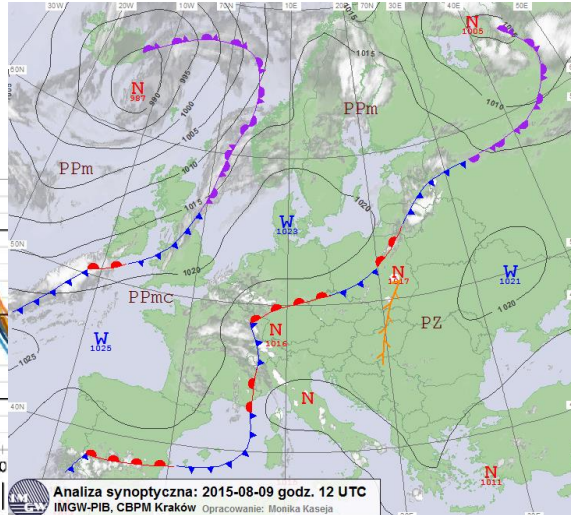
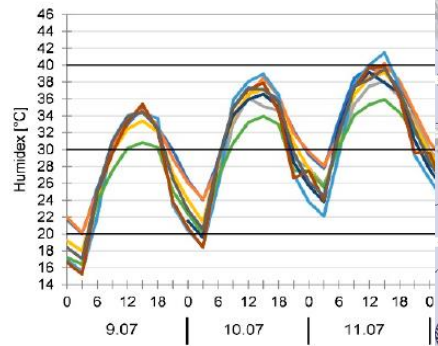


Figure 6. Course of HD (a—20.0–29.9 °C; b—30.0–39.9 °C; c—40.0–45.9 °C) during the heat wave in 2010 (the longest heat wave) and 2015 (the heat wave with the highest average the HD).

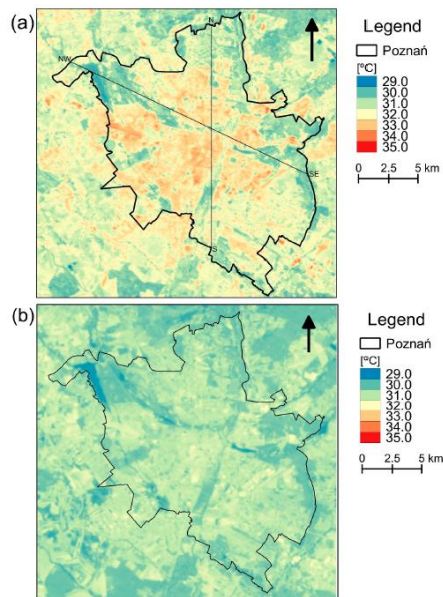


Figure 7. Air temperature in Poznań on 12 July 2010 (a) and 11 August 2015 (b) at 9:34. Profile lines (a) used in Figure 9.

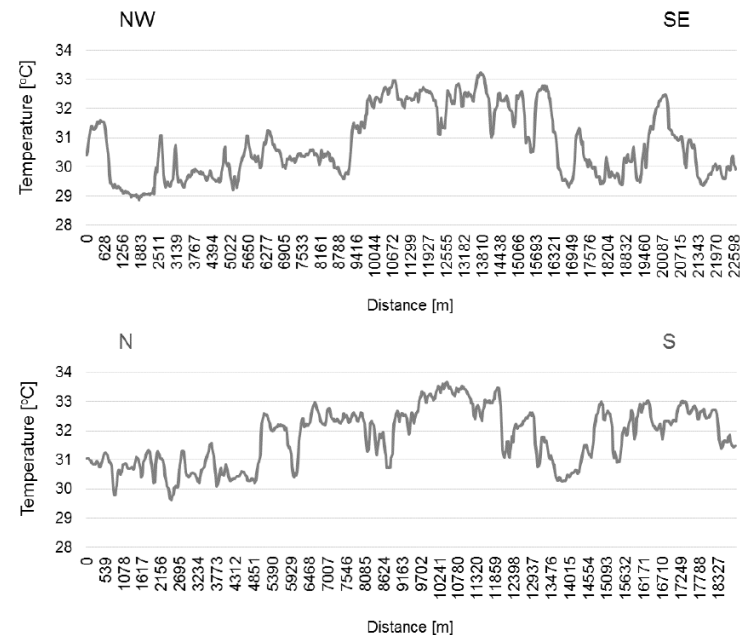


Figure 9. Air temperature in NW-SE and N-S profiles on 12 July 2010 at 9:43 UTC.

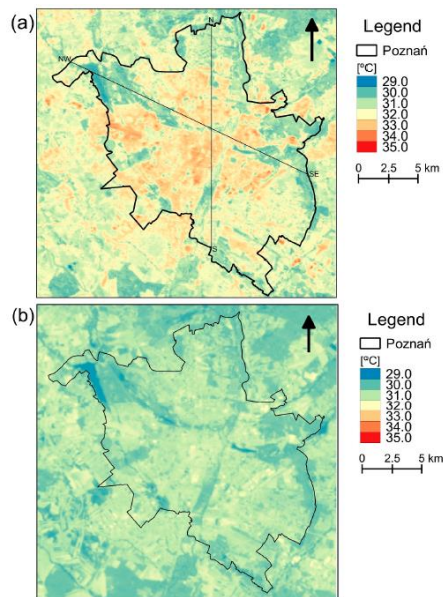


Figure 7. Air temperature in Poznań on 12 July 2010 (a) and 11 August 2015 (b) at 9:34. Profile lines (a) used in Figure 9.

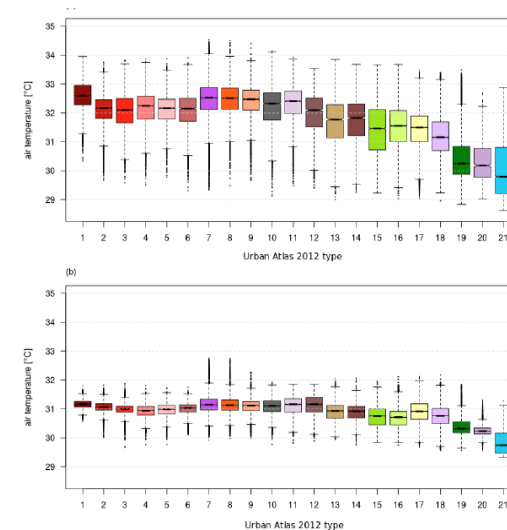


Figure 8. Statistic of air temperature in Poznań ((a)—12 July 2010, (b)—11 August 2015) on the basis of Landsat images according to Urban Atlas 2012 types (colours and order of types according to legend in Figure 1). In the boxplot, the middle values denote medians; the box extends to the Q1 (first quartile) and Q3 (third quartile), while the whiskers show the range (99.3%). The upper whisker shows $Q3 + 1.5 \times IQR$ (the interquartile range) and the lower shows $Q1 - 1.5 \times IQR$. The notches extend to $\pm 1.58 IQR / \sqrt{n}$ and the dots represent outliers.

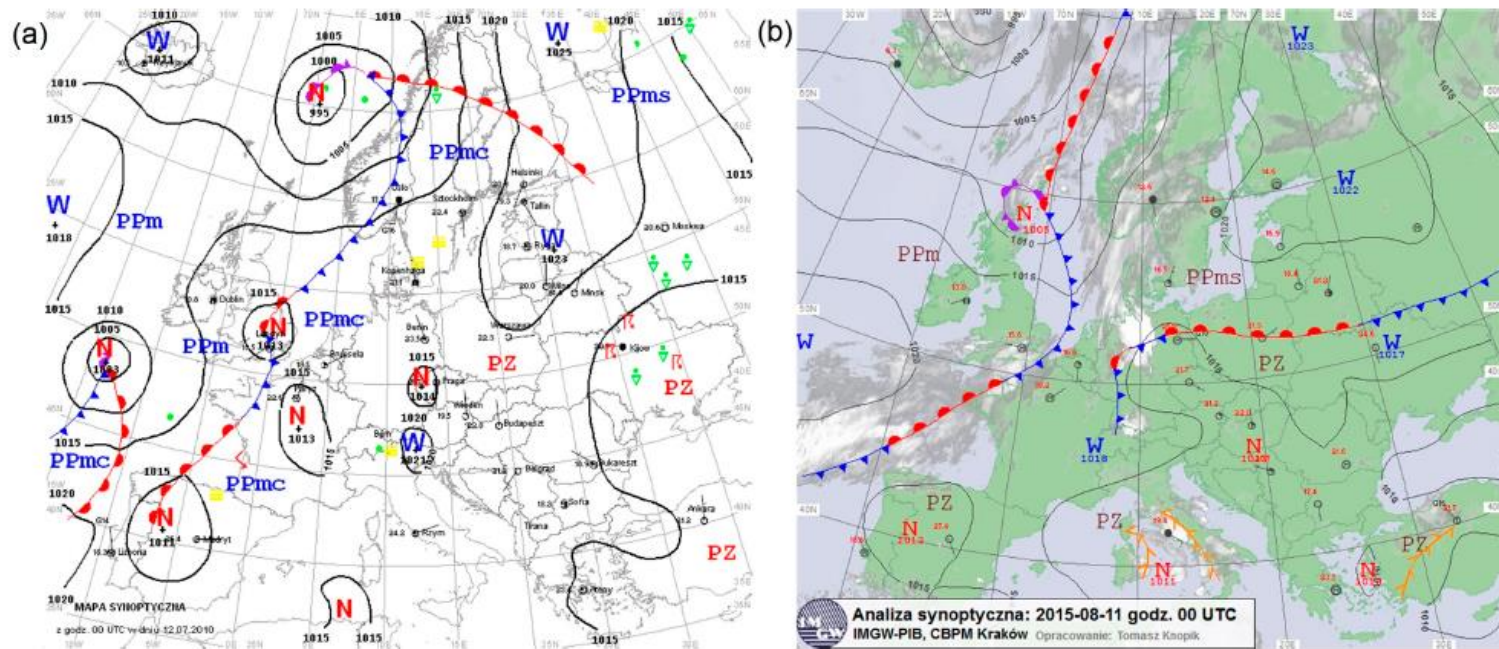


Figure 11. Weather situation on 12 July 2010 (a) and 11 August 2015 (b). Source: Meteorology and Water Management–National Research Institute.



Wydział Nauk
Geograficznych
i Geologicznych



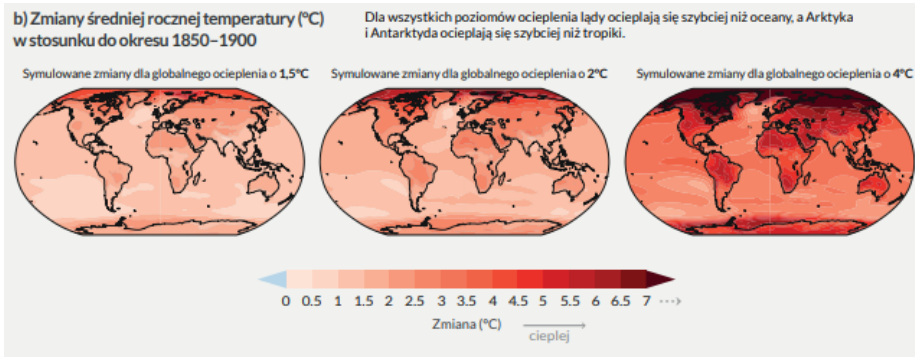
Jak będzie w przyszłości?

Tabela SPM.1: Zmiany globalnej temperatury powierzchni, oszacowane na podstawie wielu linii dowodów, dla wybranych 20-letnich okresów i pięciu rozważanych przykładowych scenariuszy emisji. Różnice temperatur względem średniej temperatury powierzchni Ziemi w okresie 1850–1900 podano w °C. Uwzględniono wynoszącą +0,08 [–0,01 do +0,12]°C poprawkę oszacowania zaobserwowanego przeszłego ocieplenia dla lat 1986–2005, czyli okresu referencyjnego wykorzystywanego w AR5 (zob. przypis 10). Zmiany względem najnowszego okresu referencyjnego, czyli 1995–2014, można obliczyć w przybliżeniu, odejmując od liczb podanych w tabeli 0,85°C, czyli wartość będącą najlepszym oszacowaniem ocieplenia zaobserwowanego pomiędzy okresami 1850–1900 i 1995–2014. {Ramka międzyrozdziałowa 2.3, 4.3, 4.4, Ramka międzysekcyjna TS.1}

Scenariusz	Bliska przyszłość, 2021–2040		Średnioterminowa przyszłość, 2041–2060		Daleka przyszłość, 2081–2100	
	Najlepsze oszacowanie (°C)	Zakres <i>bardzo</i> prawdopodobny (°C)	Najlepsze oszacowanie (°C)	Zakres <i>bardzo</i> prawdopodobny (°C)	Najlepsze oszacowanie (°C)	Zakres <i>bardzo</i> prawdopodobny (°C)
SSP1-1.9	1,5	1,2 do 1,7	1,6	1,2 do 2,0	1,4	1,0 do 1,8
SSP1-2.6	1,5	1,2 do 1,8	1,7	1,3 do 2,2	1,8	1,3 do 2,4
SSP2-4.5	1,5	1,2 do 1,8	2,0	1,6 do 2,5	2,7	2,1 do 3,5
SSP3-7.0	1,5	1,2 do 1,8	2,1	1,7 do 2,6	3,6	2,8 do 4,6
SSP5-8.5	1,6	1,3 do 1,9	2,4	1,9 do 3,0	4,4	3,3 do 5,7

Wymuszanie radiacyjne [W/m ²]	RCP Dotychczasowy scenariusz	Scenariusze SSP (Wspólnych Ścieżek Społeczno-Ekonomicznych)				
		SSP1 Zrównoważony rozwój	SSP2 Pośredni	SSP3 Rywalizacja regionalna	SSP4 Nierówności	SSP5 Świat paliw kopalnych
8.5	RCP 8.5	X	X	X	X	SSP5-8.5
7.0		X		SSP3-7.0	X	
6.0	RCP 6.0					
4.5	RCP 4.5		SSP2-4.5			
3.4						
2.6	RCP 2.6	SSP1-2.6		X		
1.9		SSP1-1.9		X	X	X

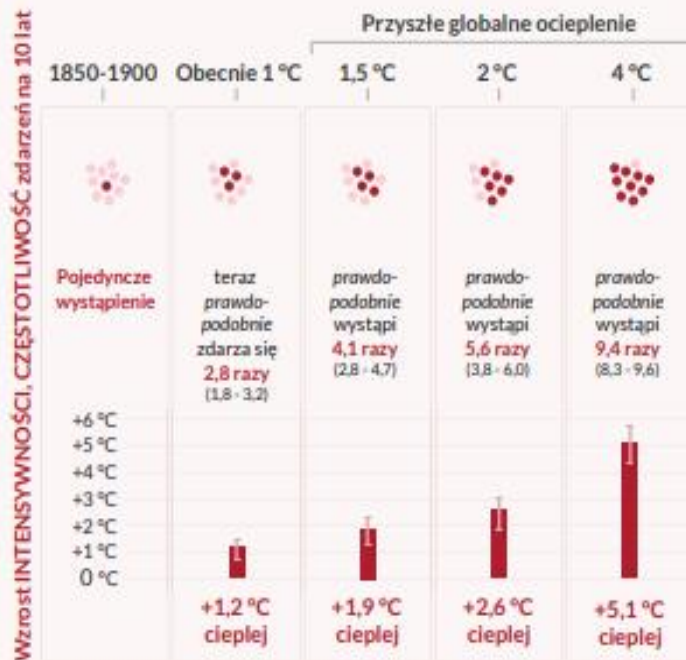
Tabela 1. Mapowanie nowych scenariuszy (SSP) na stare (RCP) oraz wymuszanie radiacyjne w 2100 r. Szare komórki i znaczki ‘X’ oznaczają „nie występuje” (na przykład dla scenariuszy „zrównoważonego rozwoju” SSP1 nie ma scenariuszy wysokich emisji, a dla scenariuszy „świata paliw kopalnych” SSP5 nie ma scenariusza o najniższych emisjach).



Ekstrema ciepła nad lądami

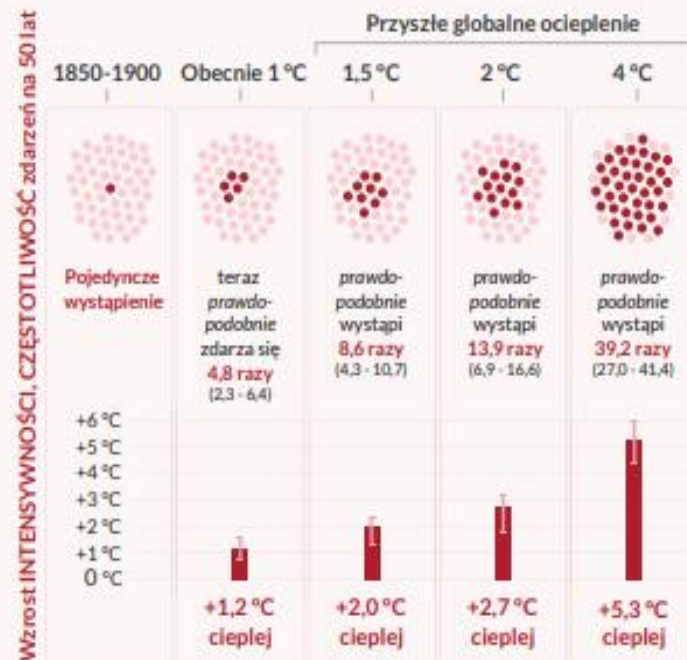
Zdarzenie 10-letnie

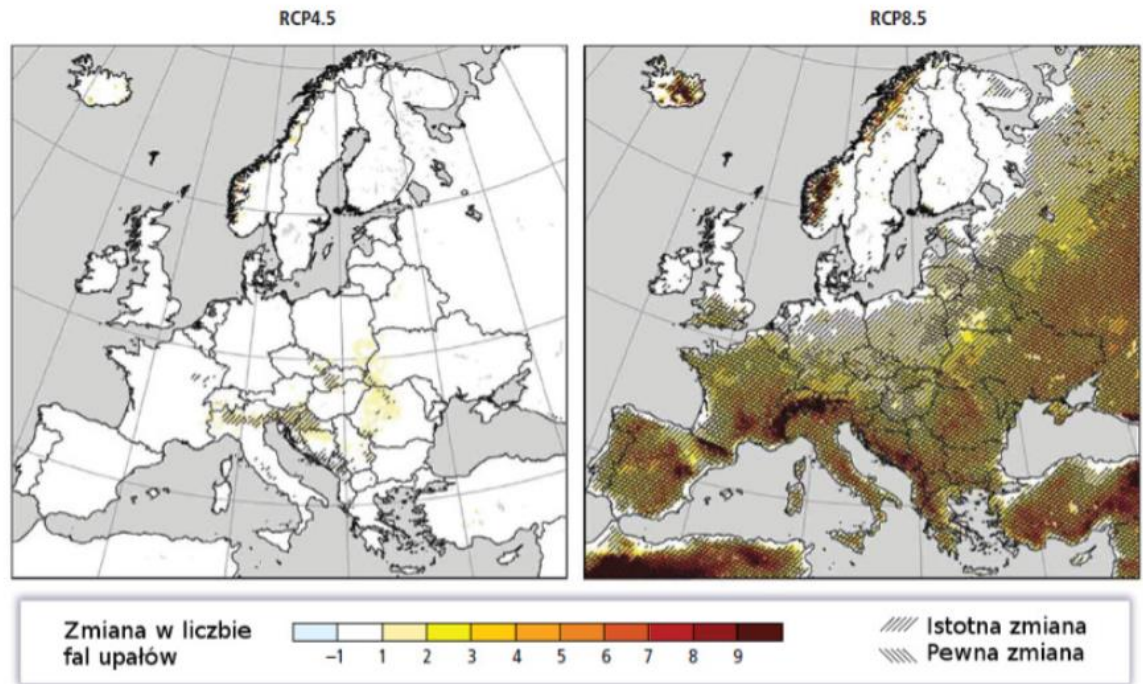
Częstotliwość i wzrost intensywności ekstremów ciepła,
które w klimacie bez wpływu człowieka
występowały średnio raz na 10 lat



Zdarzenie 50-letnie

Częstotliwość i wzrost intensywności ekstremów ciepła,
które w klimacie bez wpływu człowieka
występowały średnio raz na 50 lat





Rysunek 8: Przewidywana zmiana liczby fal upałów w miesiącach maj – wrzesień w latach 2071-2100 w porównaniu do okresu 1971-2000, zależnie od scenariusza emisji, jakim podąży ludzkość. Z lewej strony scenariusz RCP 4.5, z prawej RCP 8.5 czyli „biznes jak zwykle” (ciągły wzrost emisji). Ilustracja pochodzi z raportu [IPCC](https://www.ipcc.ch/).

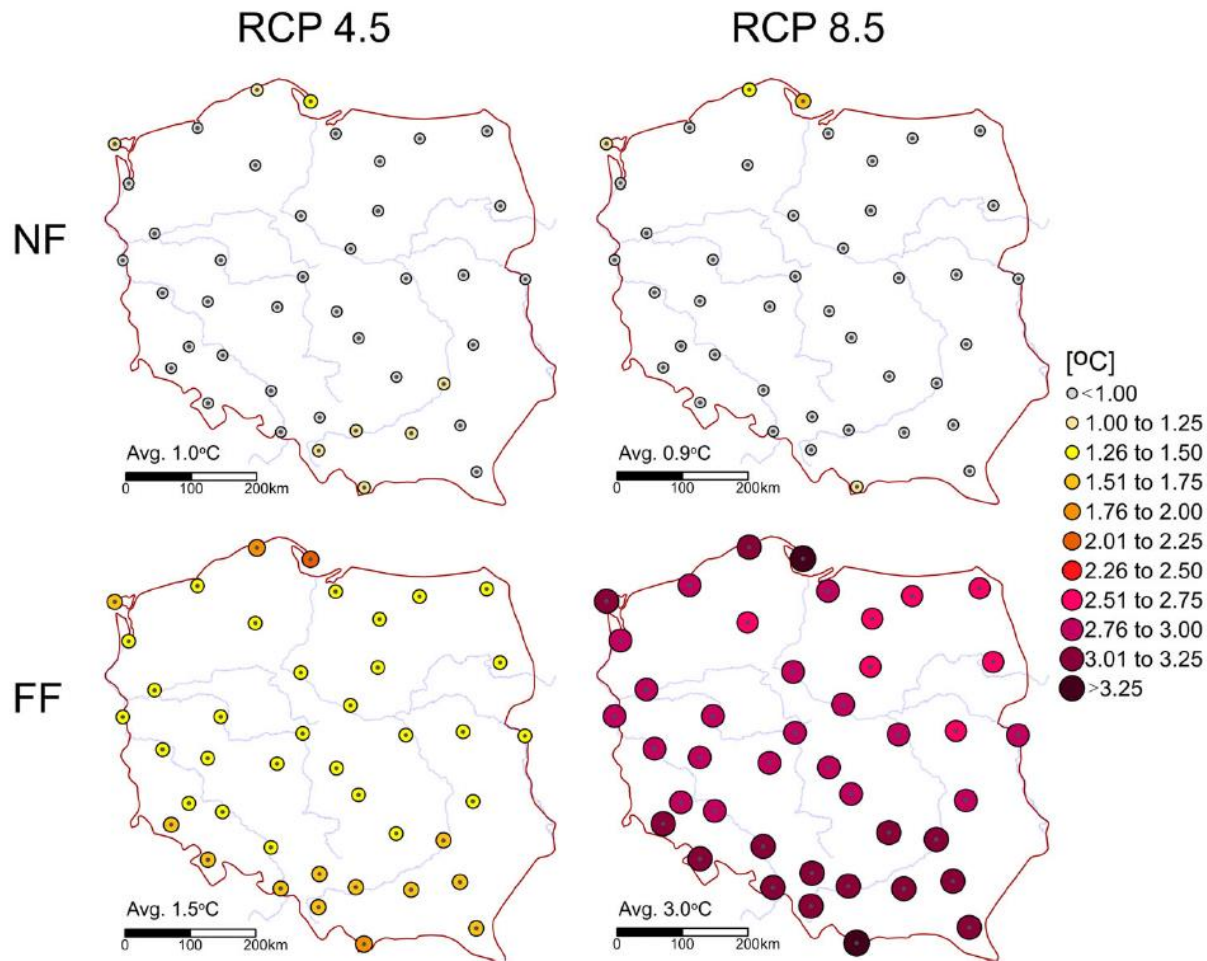
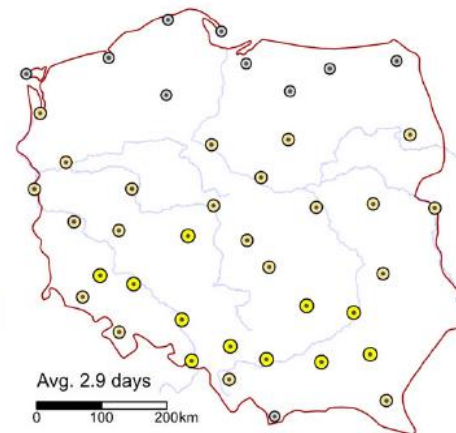
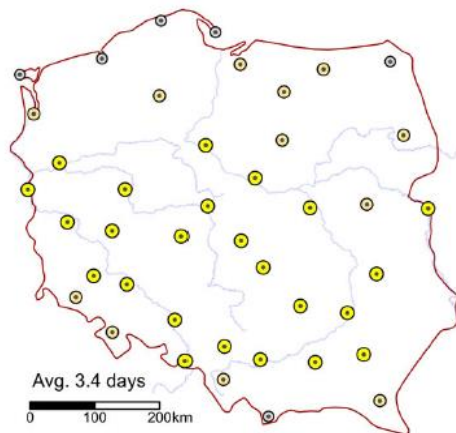


FIGURE 4 Multi-model ensemble mean change in summer mean Tmax for the near (NF) and far (FF) future under RCPs 4.5 and 8.5. Values in the left bottom corner of each map mark mean areal changes for a given map. Dots mark stations with high model agreement where more than 80% of the models show a significant change [Colour figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]

RCP 4.5

RCP 8.5

NF



FF

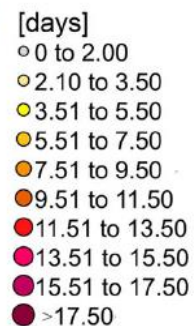
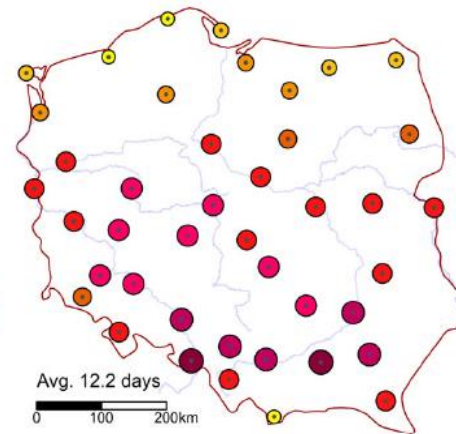
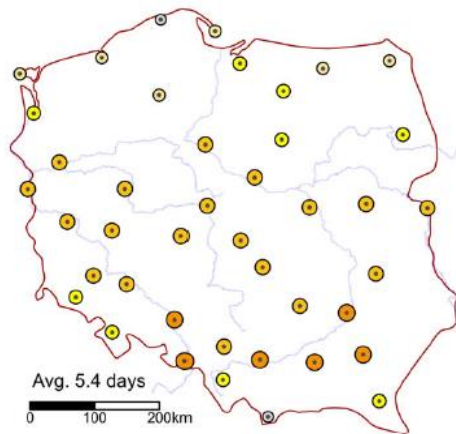
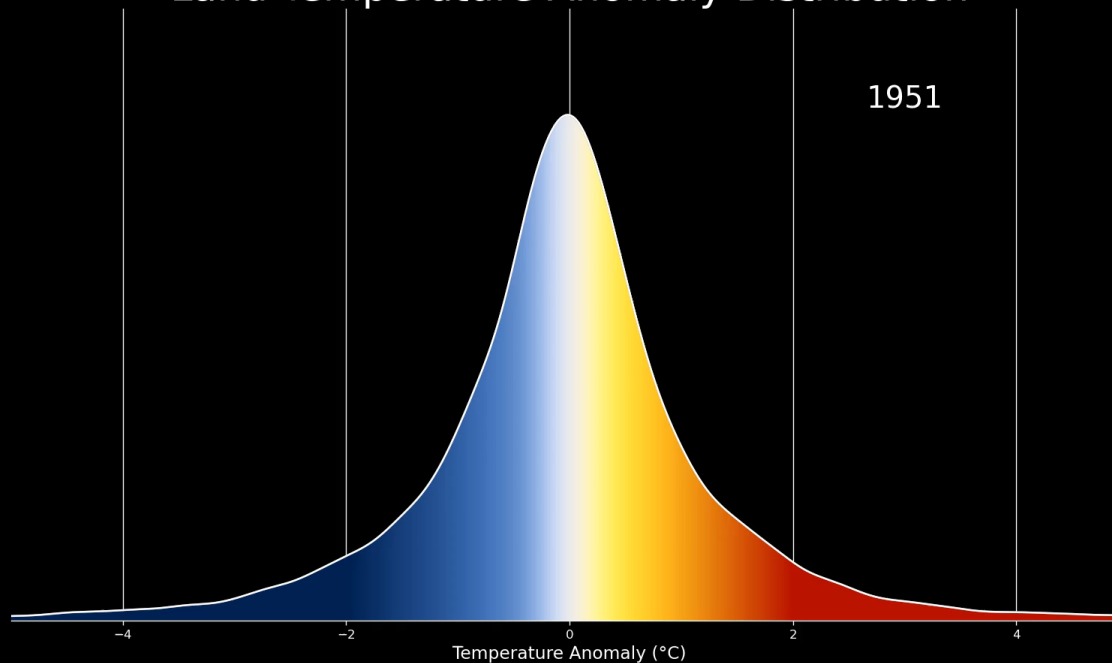


FIGURE 6 Multi-model ensemble mean change in numbers of hot days in summer for the near (NF) and far (FF) future under RCPs 4.5 and 8.5. Values in the left bottom corner of each map mark mean areal changes for a given map. Dots inside circles mark stations with high model agreement where more than 80% of models show a significant change [Colour figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]

Land Temperature Anomaly Distribution



From NASA Scientific Visualization Studio,
released April 23, 2021

<https://svs.gsfc.nasa.gov/4891>



Wydział Nauk
Geograficznych
i Geologicznych



Fale upałów w mieście na przykładzie Poznania

Arkadiusz M. Tomczyk, Ewa Bednorz, Marek Półrolniczak

Zakład Meteorologii i Klimatologii
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Materialy

Dole i in., 2011 – Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave. *Geophysical Research Letters* 38.

Gabriel i Endlicher, 2011 – Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany. *Environmental Pollution* 159, 2044-2050.

García-Herrera i in., 2010 – A review of the European summer heat wave of 2003. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 40, 267- 306.

Graczyk i in., 2019 – Heat-related mortality during hot summers in Polish cities. *Theoretical and Applied Climatology* 136, 1259-1273

Kuchcik M., 2017 – Warunki termiczne w Polsce na przełomie XX i XXI wieku i ich wpływ na umiERALNOŚĆ. *Prace Geograficzne* 263, IGIPZ PAN Warszawa

Marx W. i in., 2021 – Heat waves: a hot topic in climate change research. *Theoretical and Applied Climatology* 146, 781-800.

Matzarakis i in., 2020 – The heat health warning system in Germany—application and warnings for 2005 to 2019. *Atmosphere* 11, 1-13.

Michelozzi i in., 2004 – Impact of heat waves on mortality – Rome, Italy June-August 2003. *Morbidity and Mortality Weekly Report* 53 (17), 369,371.

Pirarda i in., 2005 – Summary of the mortality impact assessment of the 2003 heat wave in France. *Euro Surveill* 10 (7), 153-156.

Pórolniczak M. i in., 2018 – Thermal Conditions in the City of Poznań (Poland) during Selected Heat Waves. *Atmosphere* 9, 11.

Pórolniczak M., Tomczyk A.M., Bednorz E., 2024 – Biometeorological Conditions in Poznań, Poland: Insights from In Situ Summer Data. *Atmosphere* 15 (4), 448.

Tamulewicz J., 1997 – Pogoda i klimat Ziemi. Wydawnictwo Kurpisz.

Tomczyk A.M., 2017 – Atmospheric circulation during heat waves in Eastern Europe. *Geografie* 122 (2), 121-146.

Tomczyk A.M., 2022 – Temperatura powietrza. Atlas klimatu Polski.

Tomczyk A.M., Bednorz E., 2023 – Thermal stress during heat waves and cold spells in Poland. *Weather and Climate Extremes* 42, 100612.

Tomczyk A.M. i in., 2020 – Human-biometeorological conditions during heat waves in Poland. *International Journal of Climatology* 40 (12), 5043–5055.

Tomczyk A.M. i in., 2022 – Projections of changes in maximum air temperature and hot days in Poland. *International Journal of Climatology*, 42 (10), 5242-5254.

Vandentorren i in., 2004 – Mortality in 13 French Cities During the August 2003 Heat Wave. *American Journal of Public Health* 94 (9), 1518-1520.

Wibig, 2021 – Hot days and heat waves in Poland in the period 1951-2019 and the circulation factors favoring the most extreme of them. *Atmosphere* 12(3), 340.

Gazeta Obserwator IMGW, 2021 (https://www.imgw.pl/sites/default/files/2023-03/imgw-obszernator-2_2021-numer-specjalny-druk-pojedyncze.pdf).