

Poznań
17.03.2023 r.

Ekstremalne zjawiska pogodowe

prof. UAM dr hab. **Arkadiusz M. Tomczyk**

Zakład Meteorologii i Klimatologii



Co to jest **ekstremalne zjawisko pogodowe**?

Co to jest **ekstremalne zjawisko pogodowe**?

Wystąpienie wartości zmiennej meteorologicznej powyżej (lub poniżej) wartości progowej bliskiej końca (lub początku) zakresu obserwowanych wartości danej zmiennej. W wielu przypadkach za zjawisko ekstremalne uważa się również takie zjawisko pogodowe, które ma istotne następstwa (WMO, 2015).

Co to jest **ekstremalne zjawisko pogodowe**?

Wystąpienie wartości zmiennej meteorologicznej powyżej (lub poniżej) wartości progowej bliskiej końca (lub początku) zakresu obserwowanych wartości danej zmiennej. W wielu przypadkach za zjawisko ekstremalne uważa się również takie zjawisko pogodowe, które ma istotne następstwa (WMO, 2015).

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).

Atrybuty zjawisk ekstremalnych:

- ❖ częstość występowania (prawdopodobieństwo pojawienia się w jednostce czasu),
- ❖ wielkość (intensywność),
- ❖ czas trwania i nagłość pojawienia się,
- ❖ skala przestrzenna,
- ❖ następstwa.

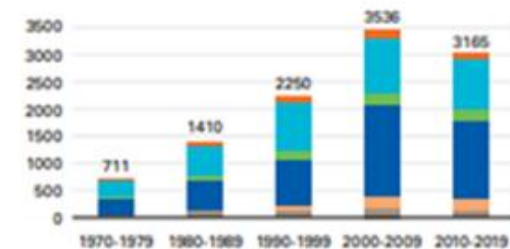
Rodzaje meteorologicznych zjawisk ekstremalnych:

- ❖ cyklony tropikalne,
- ❖ cyklony ekstratropikalne,
- ❖ mezoskalowe zjawiska konwekcyjne, zjawiska konwekcyjne w lokalnej skali (np. tornada, trąby wodne, intensywne burze),
- ❖ powodzie rzeczne lub na wybrzeżach związane z warunkami atmosferycznymi,
- ❖ susze,
- ❖ fale upałów,
- ❖ fale chłodu,
- ❖ mgły.

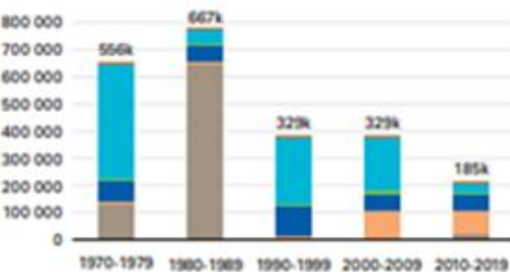
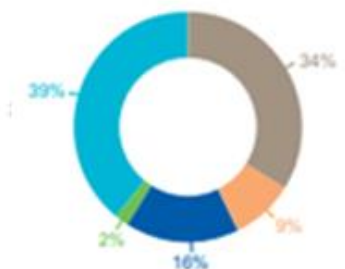
(a)	Disaster type	Year	Country	Deaths
1	Drought	1983	Ethiopia	300 000
2	Storm (<i>Bhola</i>)	1970	Bangladesh	300 000
3	Drought	1983	Sudan	150 000
4	Storm (<i>Gorky</i>)	1991	Bangladesh	138 866
5	Storm (<i>Nargis</i>)	2008	Myanmar	138 366
6	Drought	1973	Ethiopia	100 000
7	Drought	1981	Mozambique	100 000
8	Extreme temperature	2010	Russian Federation	55 736
9	Flood	1999	Bolivarian Republic of Venezuela	30 000
10	Flood	1974	Bangladesh	28 700

10 najtragiczniejszych w skutkach katastrof naturalnych w latach 1970-2019.

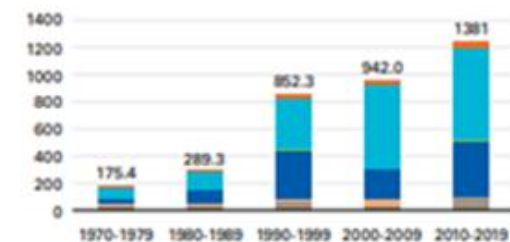
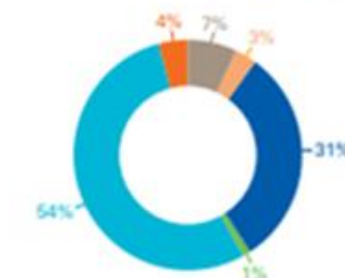
(a) Number of reported disasters
Total = 11 072 disasters



(b) Number of reported deaths
Total = 2 064 929 deaths



(c) Reported economic losses in US\$ billion
Total = US\$ 3.6 trillion



Legend: Drought, Extreme temperature, Flood, Landslide, Storm, Wildfire

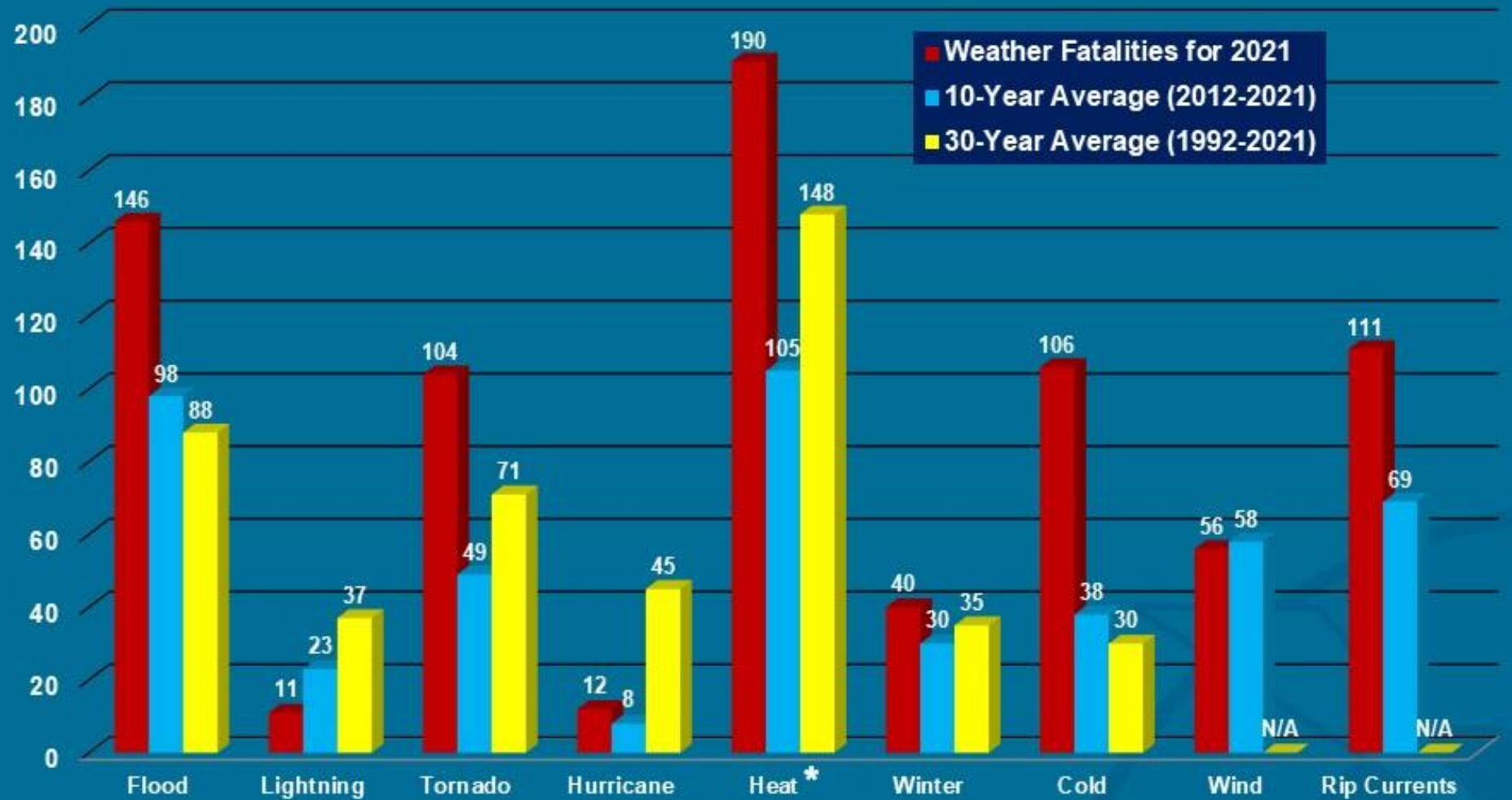
Globalne ujęcie liczby katastrof klimatycznych i związanych z nimi zgonów i strat ekonomicznych w latach 1970-2019 wg WMO.

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 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 wysokimi temperaturami). Fala upałów w **2003** roku była odpowiedzialna za połowę zgonów w Europie (45%) – łącznie 72210 zgonów w 15 dotkniętych nią krajach.



Weather Fatalities 2021



**Due to an inherent delay in the reporting of official heat fatalities in some jurisdictions, this number will likely rise in subsequent updates.*

Rodzaje meteorologicznych zjawisk ekstremalnych:

- ❖ cyklony tropikalne,
- ❖ cyklony ekstratropikalne,
- ❖ mezoskalowe zjawiska konwekcyjne, zjawiska konwekcyjne w lokalnej skali (np. tornada, trąby wodne, intensywne burze),
- ❖ powodzie rzeczne lub na wybrzeżach związane z warunkami atmosferycznymi,
- ❖ susze,
- ❖ **fale upałów**,
- ❖ fale chłodu,
- ❖ mgły.

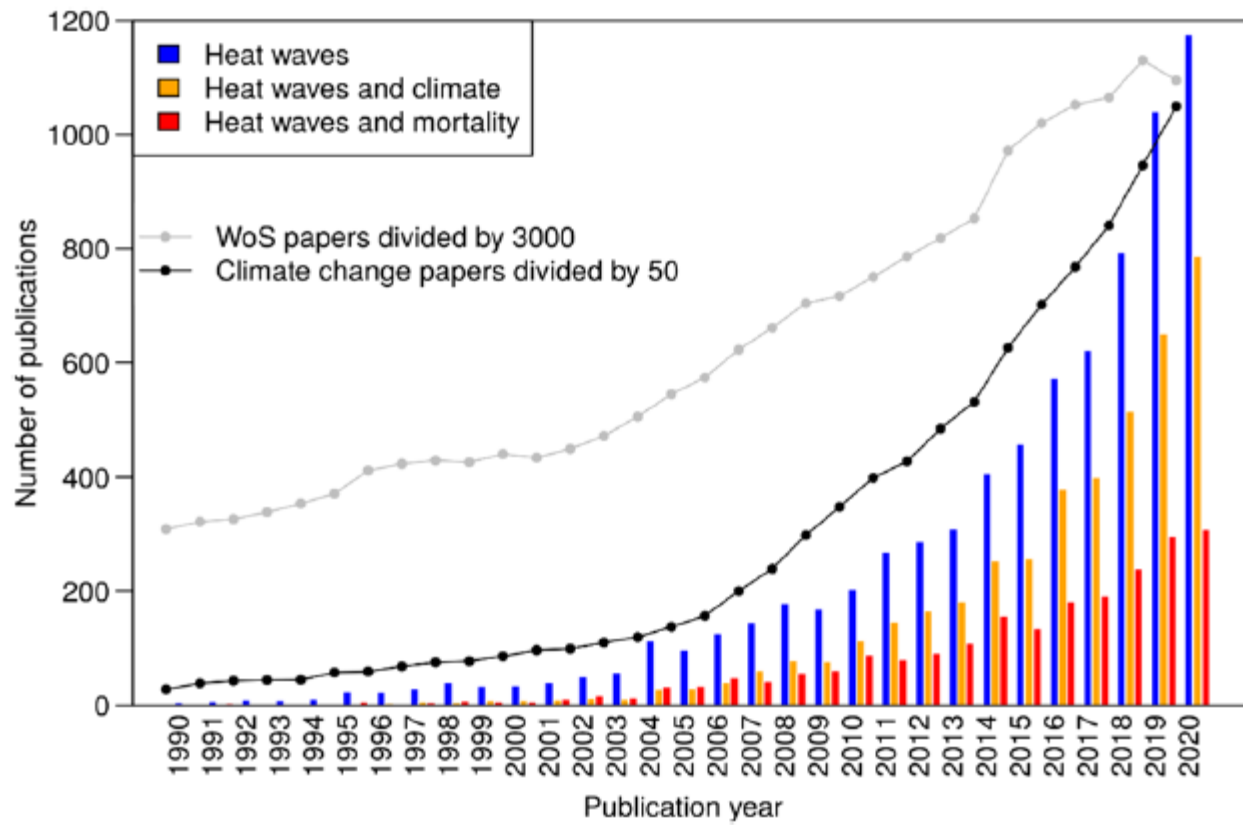


Fig. 1 Time evolution of the overall number of heat wave publications, of heat wave publications in connection with climate change, and of heat wave publications in connection with mortality, each between 1990 and 2020. For comparison, the overall number of publications (scaled down) in the field of 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

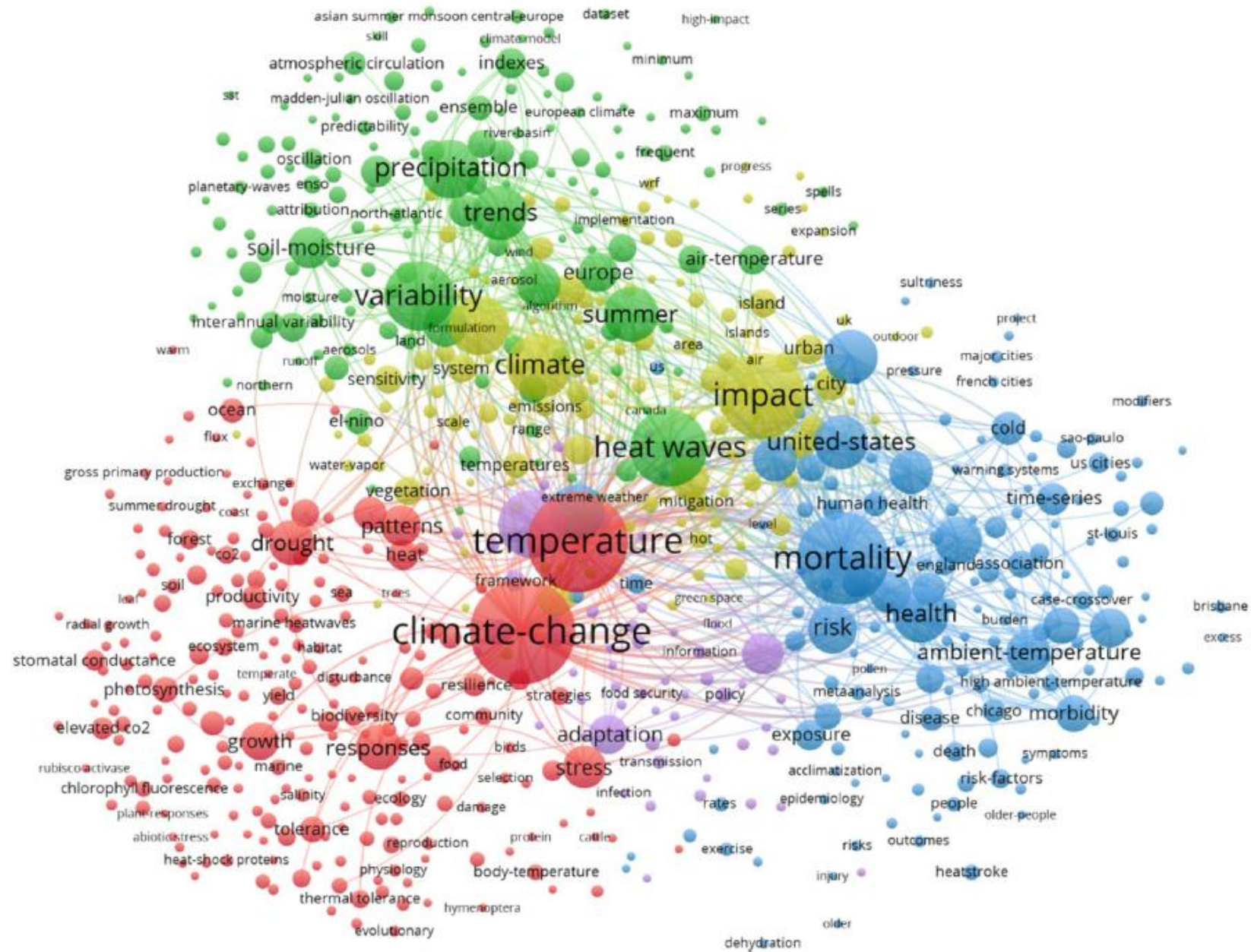


Fig. 4 Co-occurrence network map of the keywords plus from the 8,011 papers dealing with heat waves for a rough analysis of the thematic content. The minimum number of occurrences of keywords is

10; of the 10,964 keywords, 718 meet the threshold. Readers interested in an in-depth analysis can use VOSviewer interactively and zoom into the map via the following URL: <https://tinyurl.com/enrdbw>

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 zależny 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	

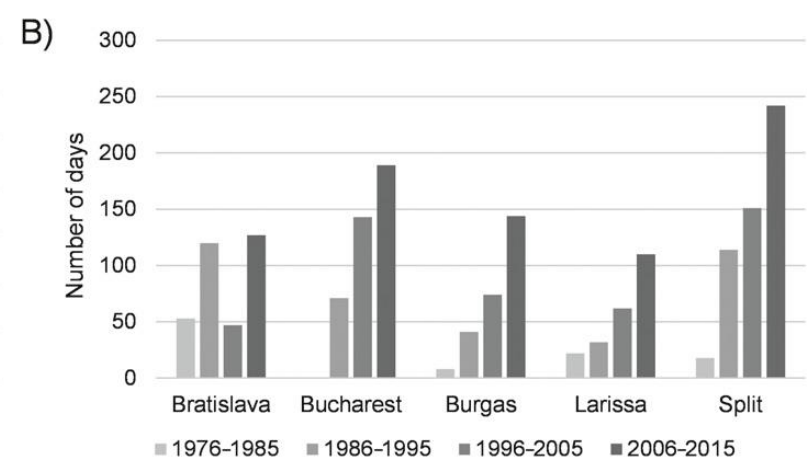
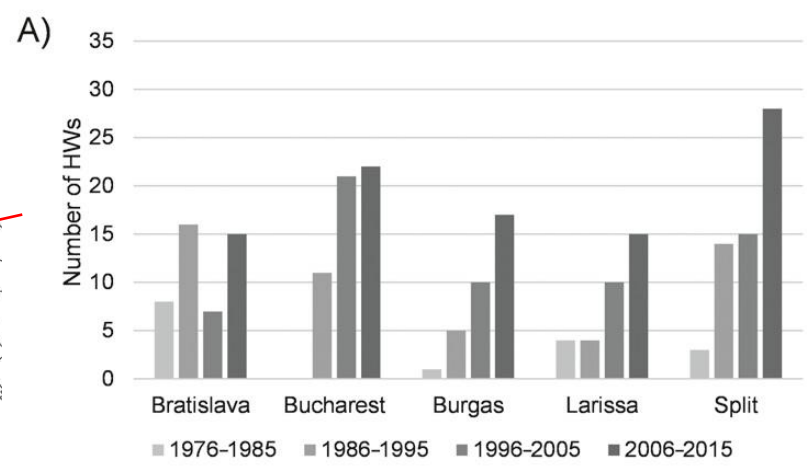
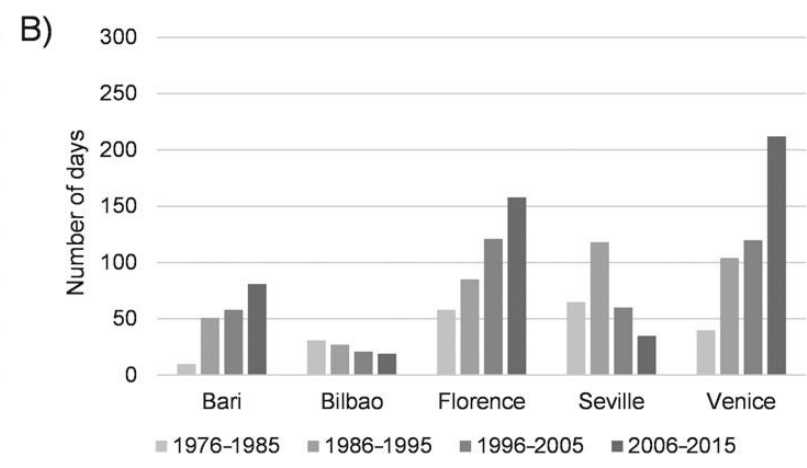
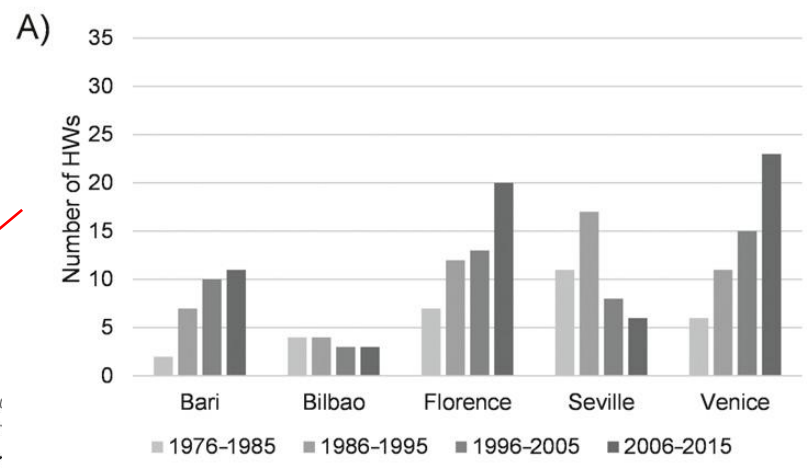
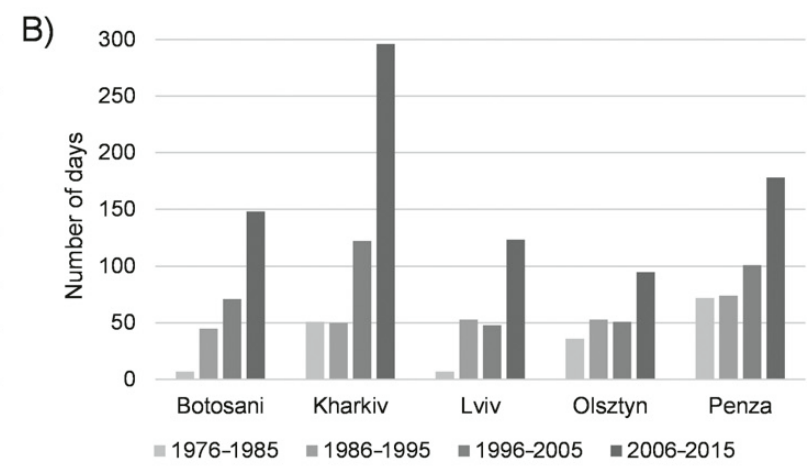
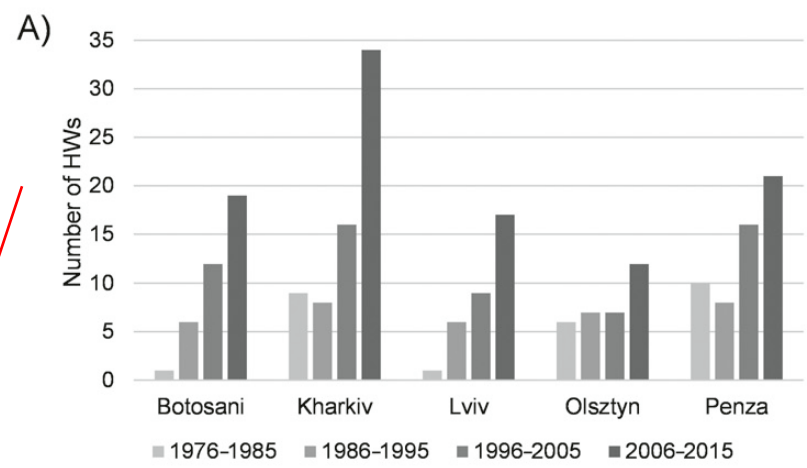
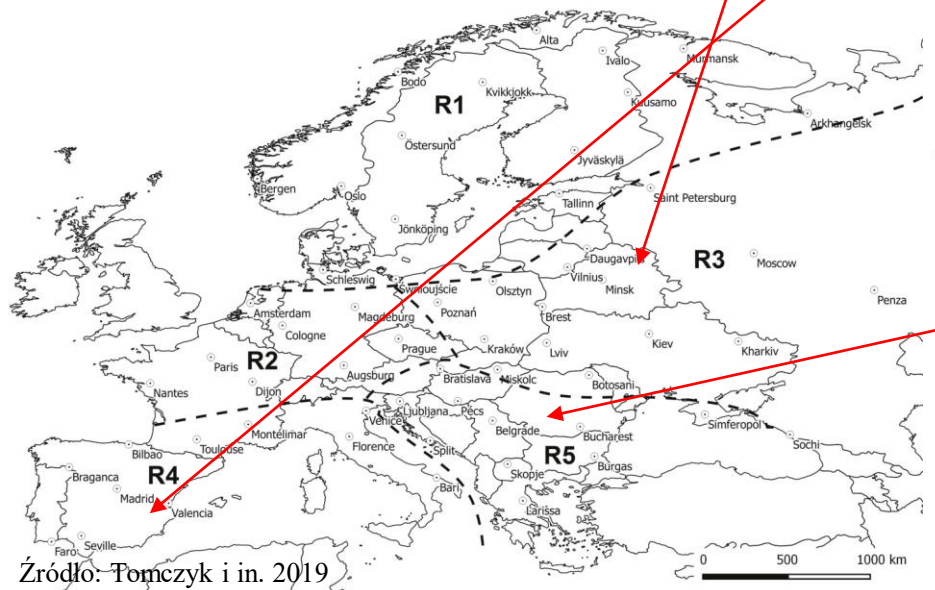
Podział definicji fal upałów:

- ❖ 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.

Fale upałów w Europie



Źródło: Tomczyk i in. 2019

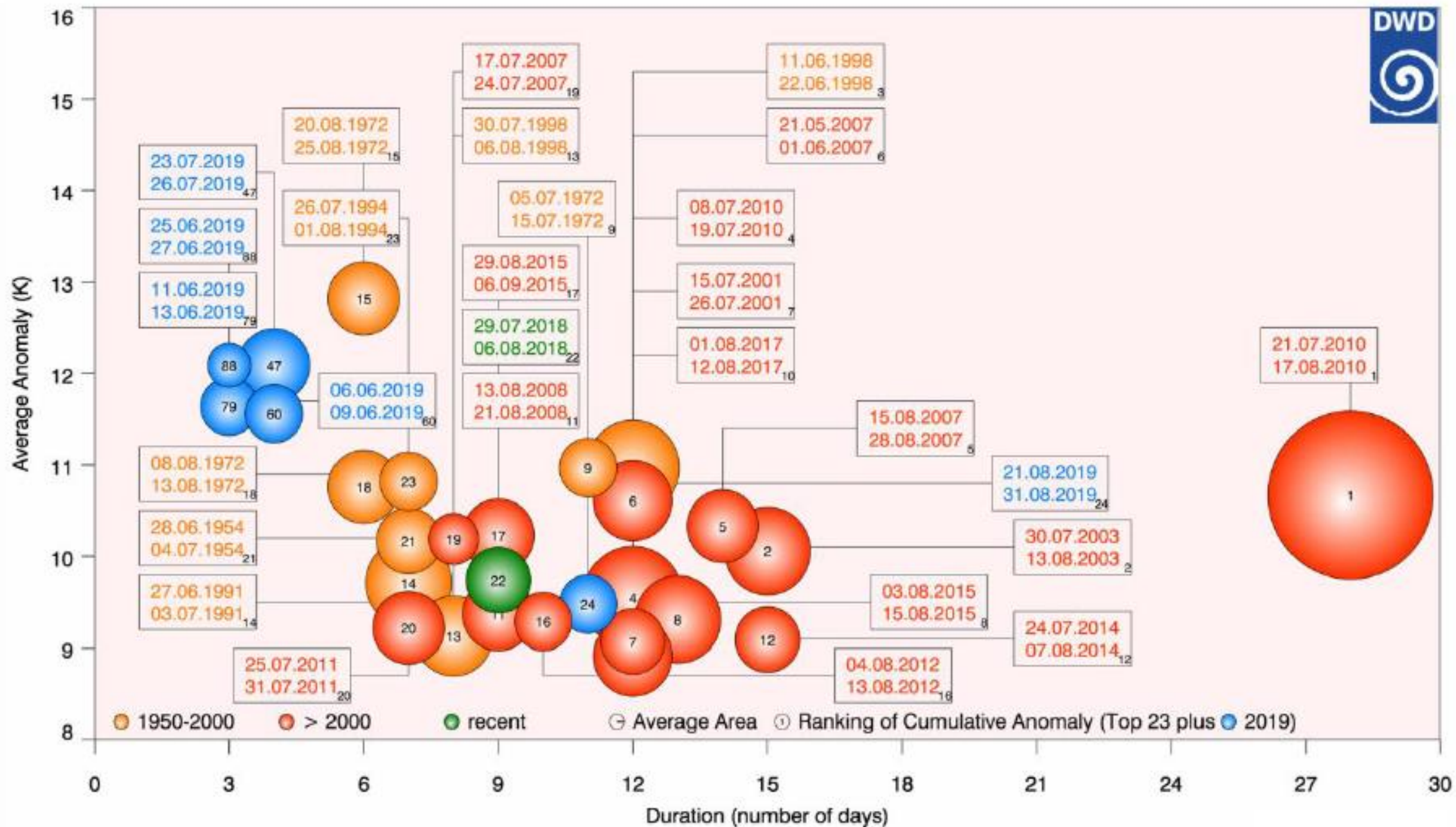


Figure 1. Heat waves over Europe 1950–2019.

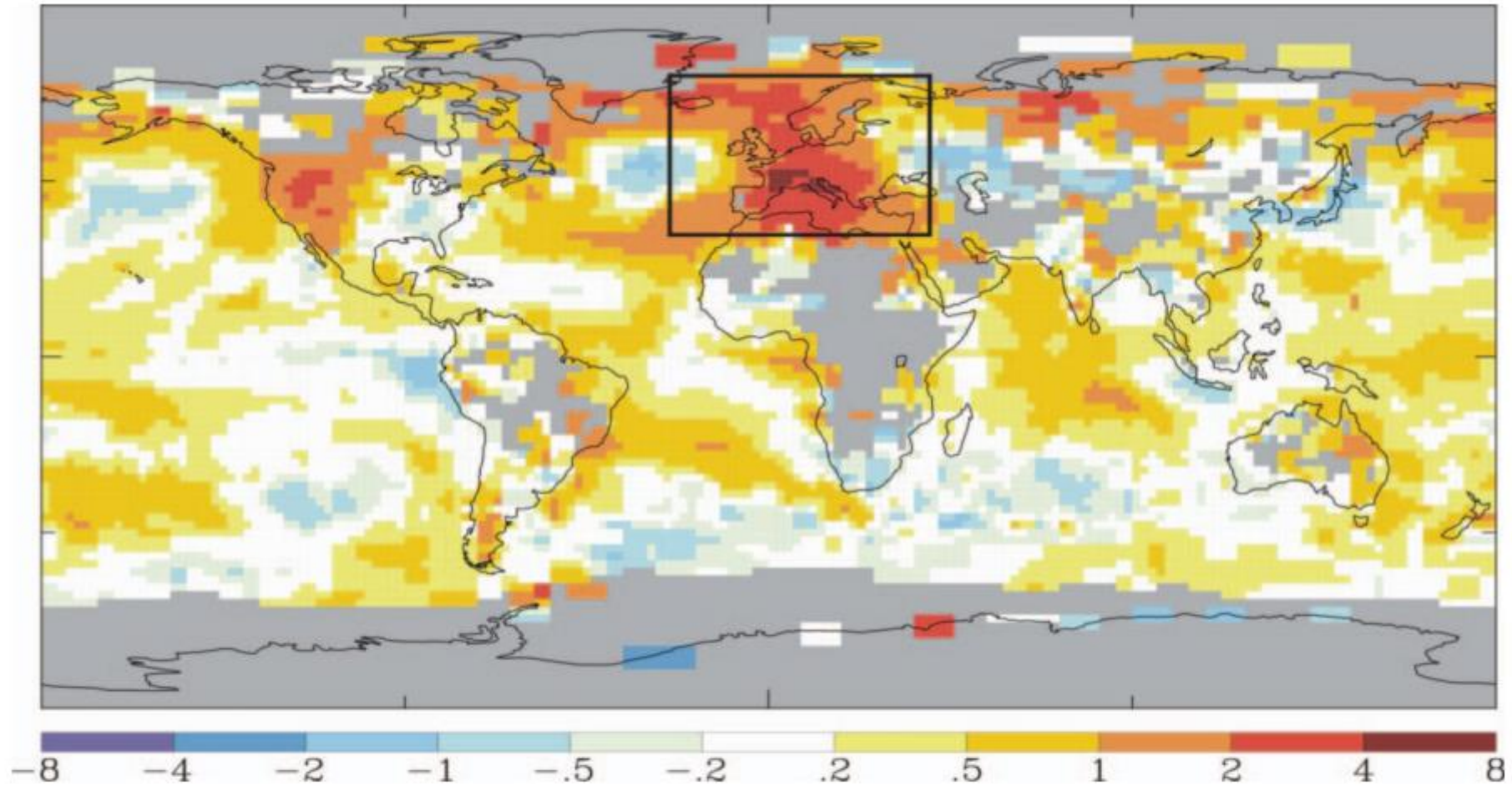
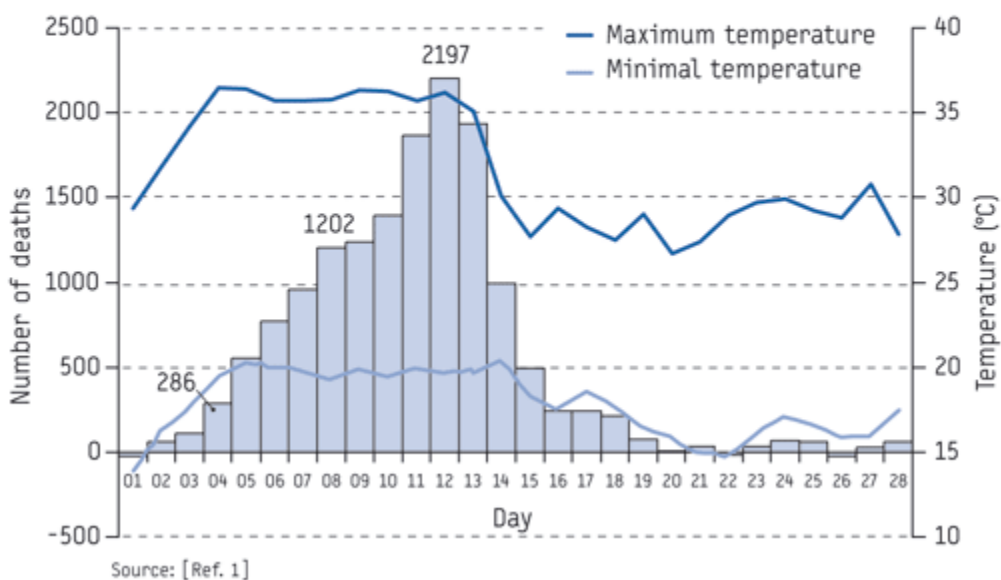


FIGURE 1. Surface air temperature anomalies (in °C, with respect to the 1961 to 1990 reference period), June–August 2003. Data source: Hansen et al., 2001; NASA/GISS (<http://www.giss.nasa.gov/cgi-bin/update/gistemp/>).

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



Excess deaths, number of maximal temperatures > 35°C, minimal temperatures > 22°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

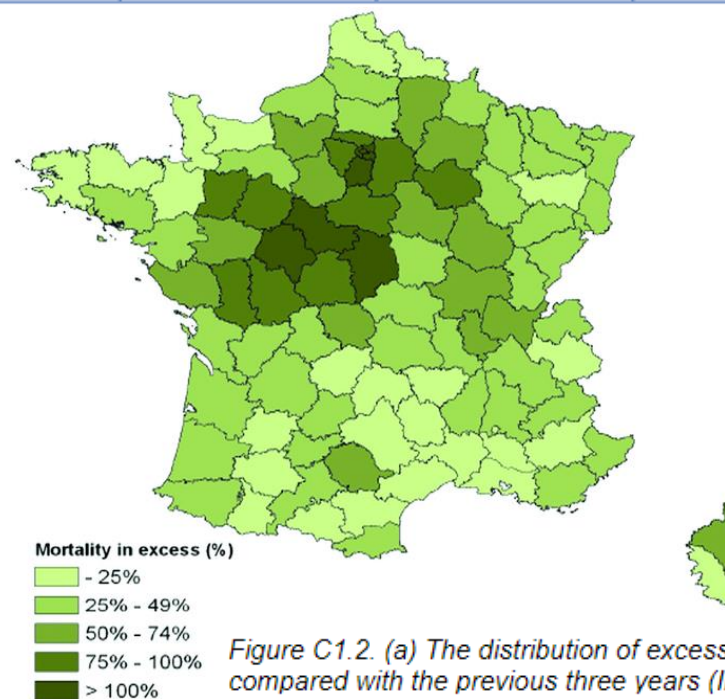


Figure C1.2. (a) The distribution of excess mortality in France from 1 to 15 August 2003, by region, compared with the previous three years (INVS, 2003);

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.

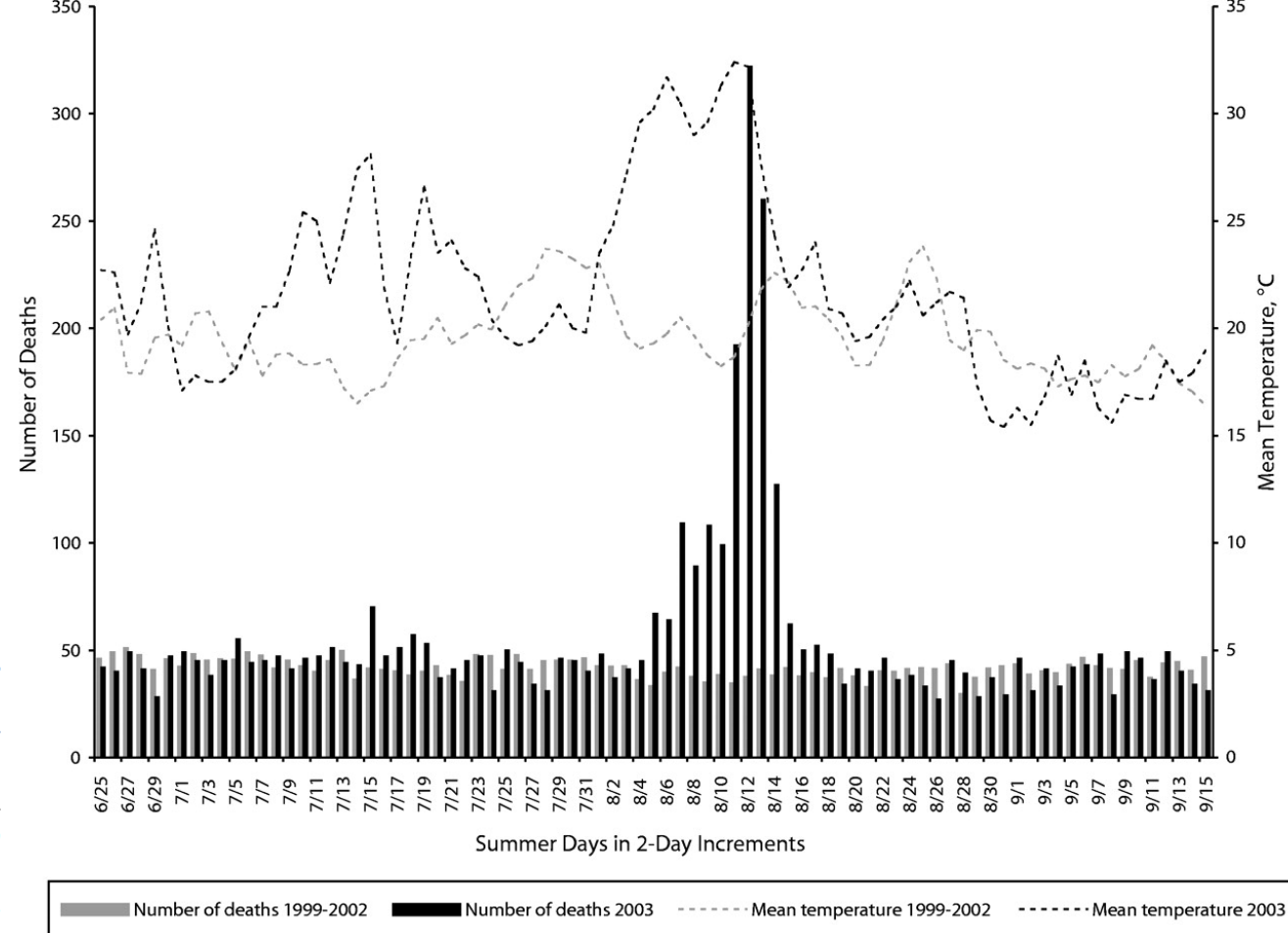


TABLE 1

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	35.2	32.7	31.7	32.0
Reference period	31.1	28.3	28.6	30.4
Temperature increase (°C)	4.1	4.4	3.4	1.6

TABLE 2

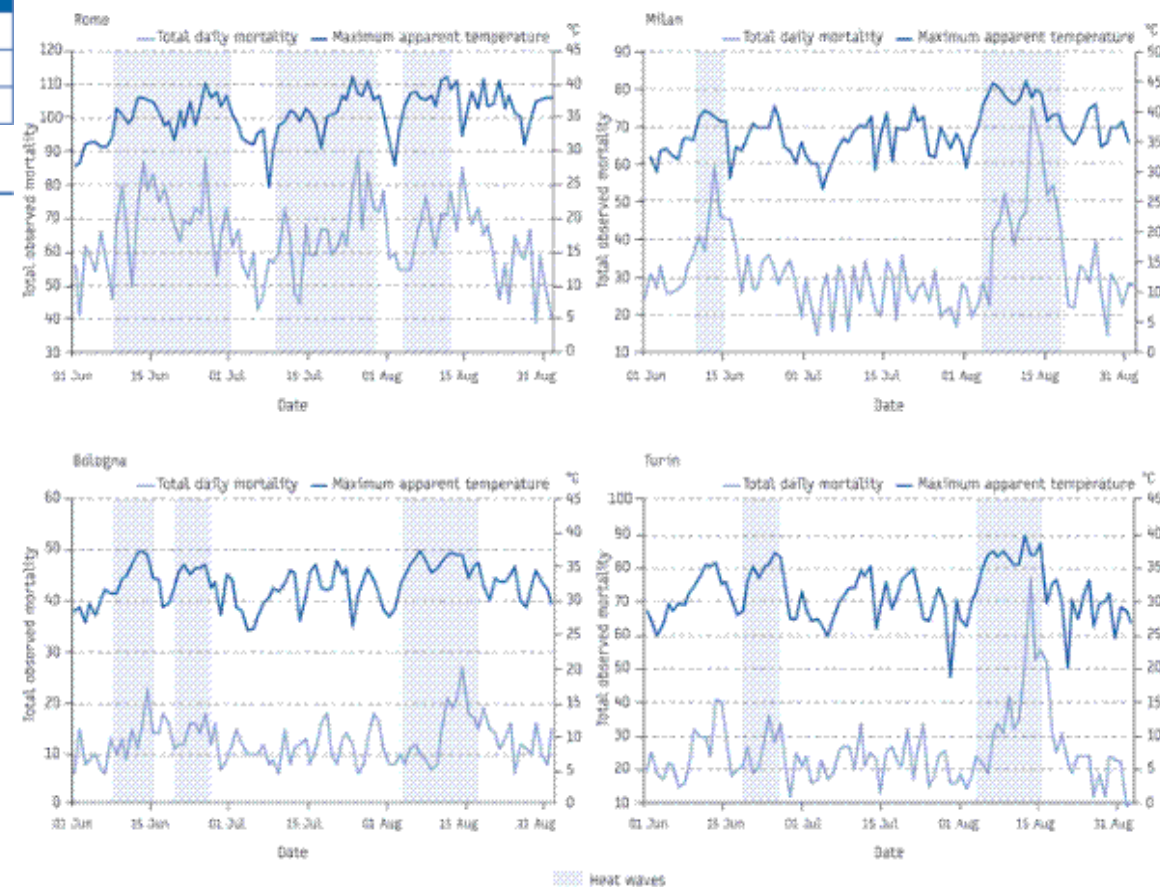
Total and excess mortality by age group and sex in Bologna, Milan, Rome, and Turin during the summer period (June-August) 2003 compared to the reference period, Italy

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	-17.9-0.7
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



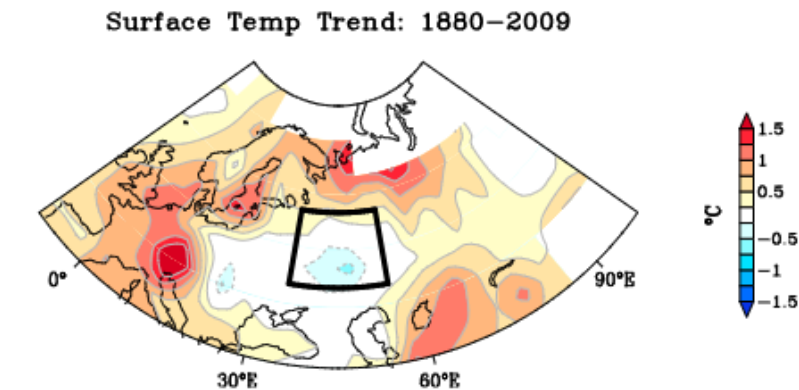
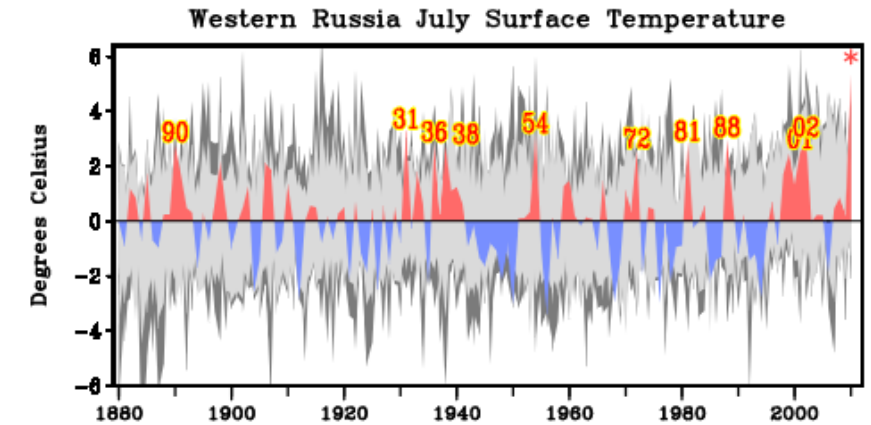
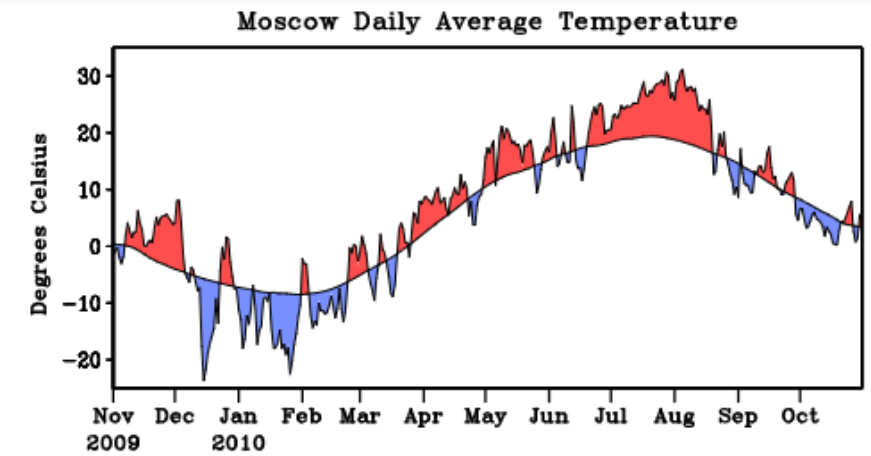


Figure 1. (top) Daily Moscow temperature record from November 1 2009 to October 31 2010, with daily departures computed with respect to the climatological seasonal cycle. Data are from the Global Summary of the Day produced by National Climatic Data Center. (middle) Observed time series of western Russia 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.

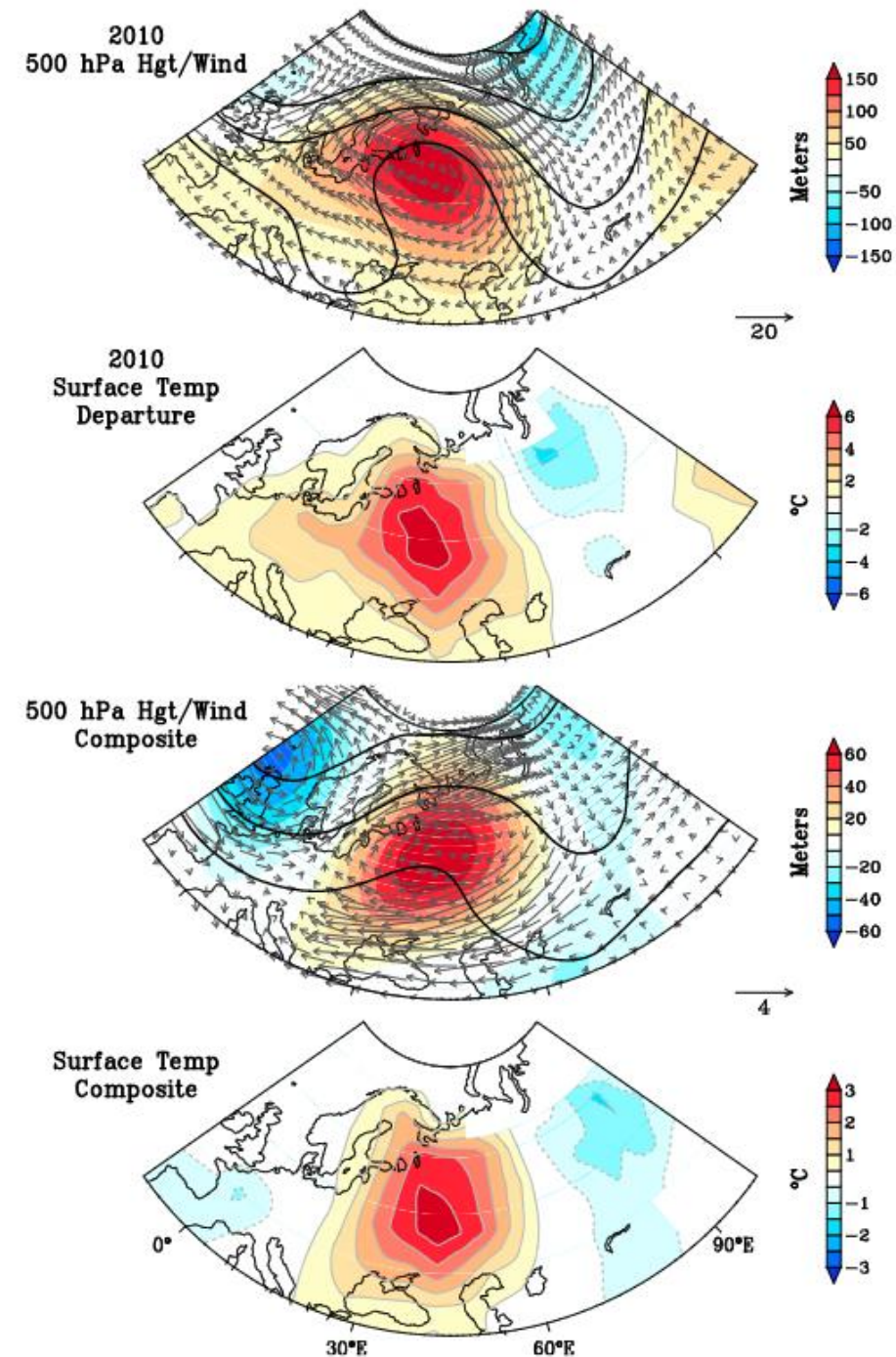


Figure 2. Observed climate conditions for July 2010 and for the 10 warmest western Russia July temperatures since 1880. (top) NCEP/NCAR Reanalysis 500 hPa height (contour, contour interval: 100 m), anomalies (shading), and wind vector anomalies (arrows, m s^{-1}) for July 2010. Anomalies are relative 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].

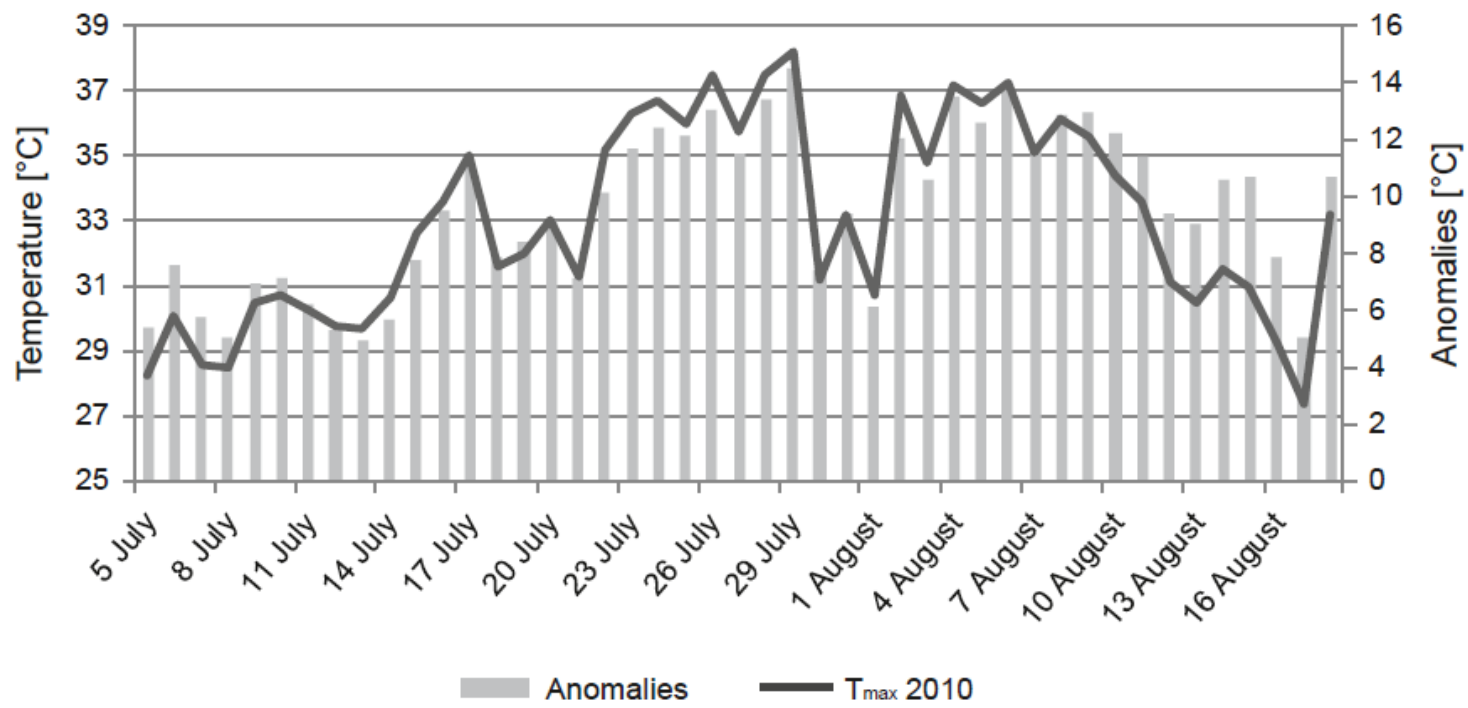


Fig. 10 – The T_{\max} (°C) in 2010 (black line) and T_{\max} anomalies (°C) from the mean T_{\max} in 1973–2010 period (grey columns) in Moscow

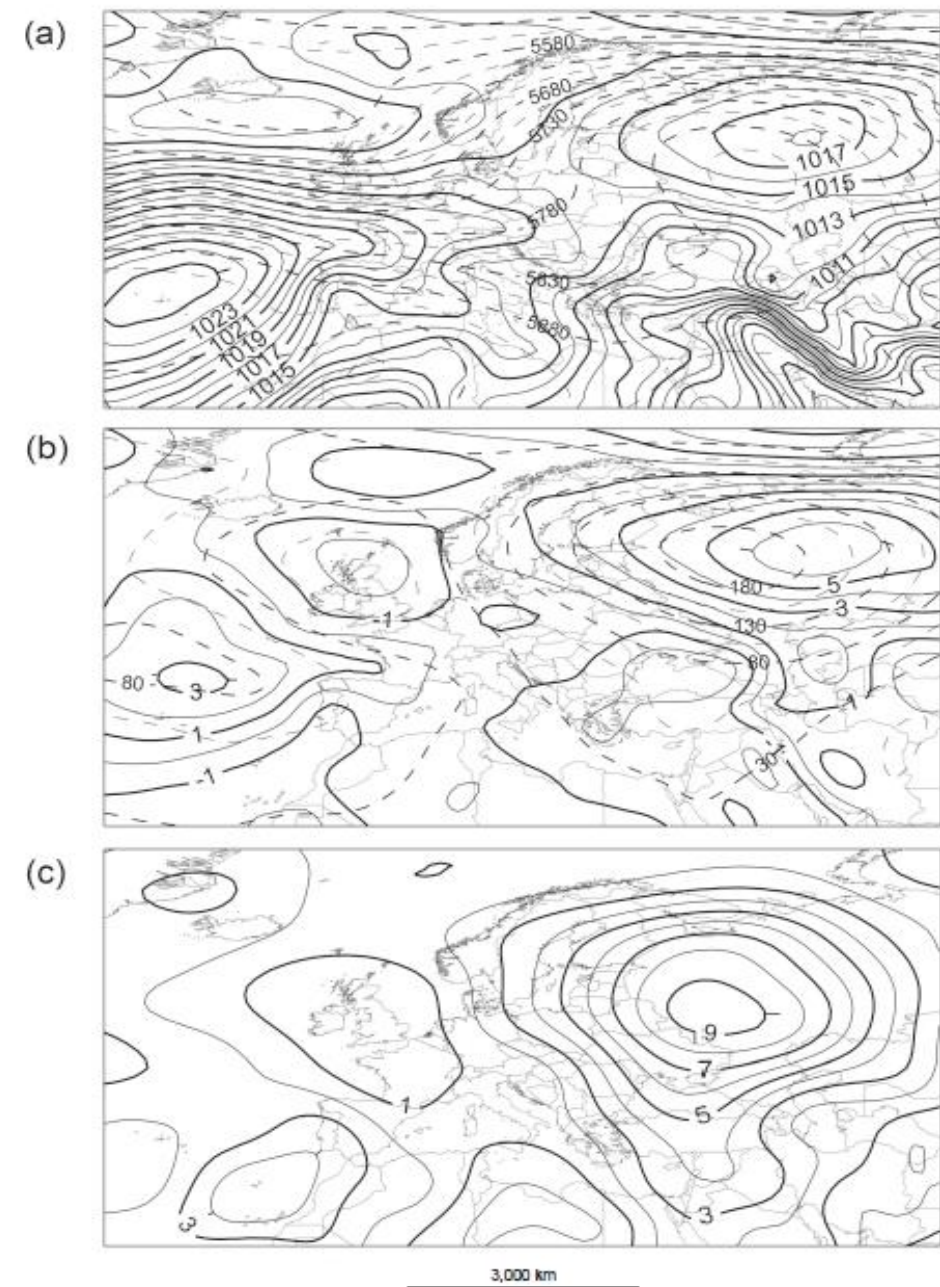


Fig. 11 – Mean SLP (hPa; solid lines) and Z500 hPa (gpm; dashed lines); a), SLP (hPa; solid lines) and Z500 hPa anomalies (m; dashed lines); b), and the T850 anomalies (°C); c) for the heat waves of 2010

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)

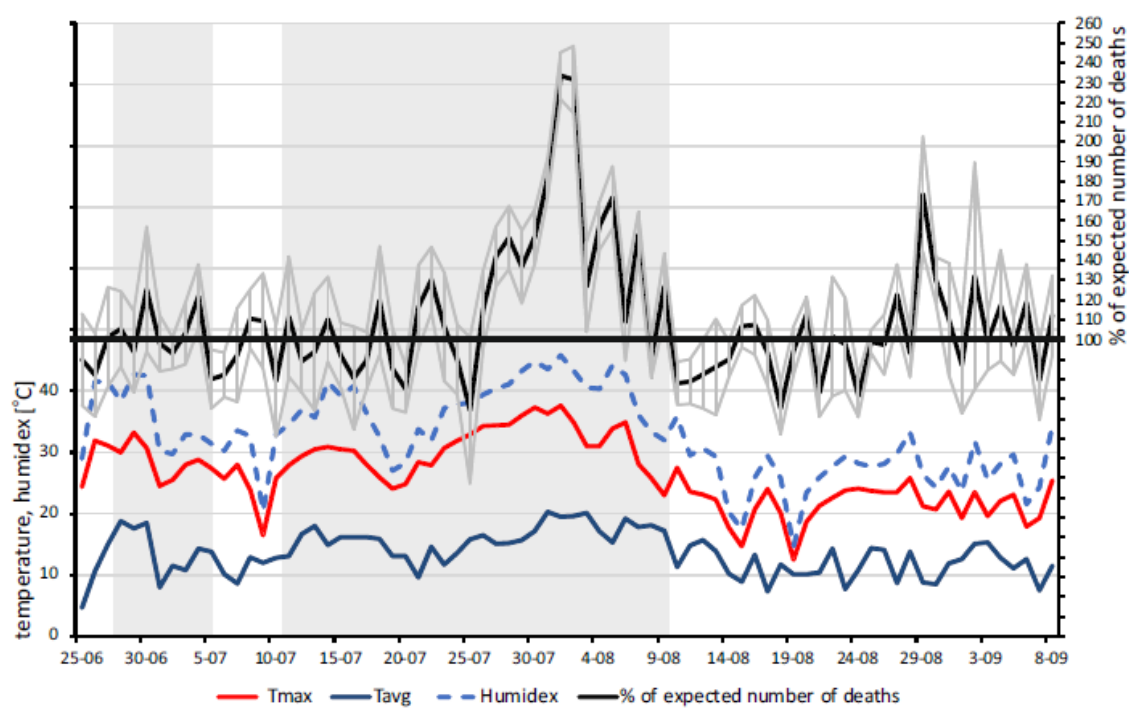
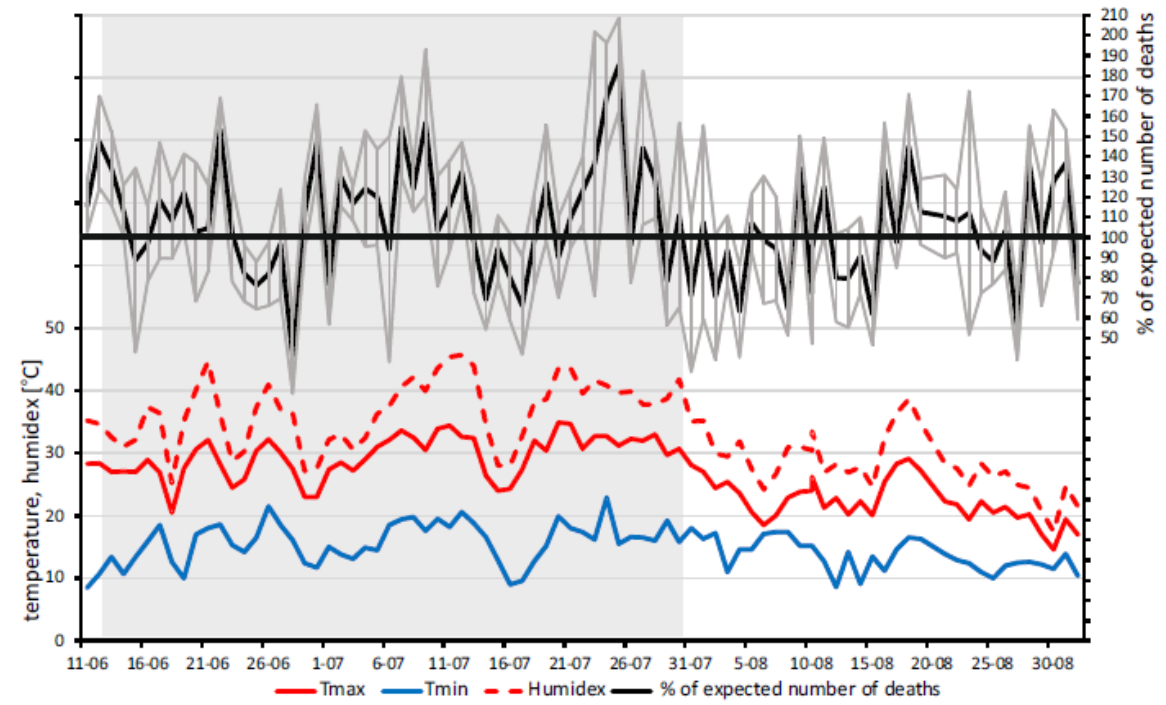


Fig. 9 The course of temperature, humidex, and the number of deaths in Poznan in the summer of 2006 (gray thin lines represent 90% confidence interval)



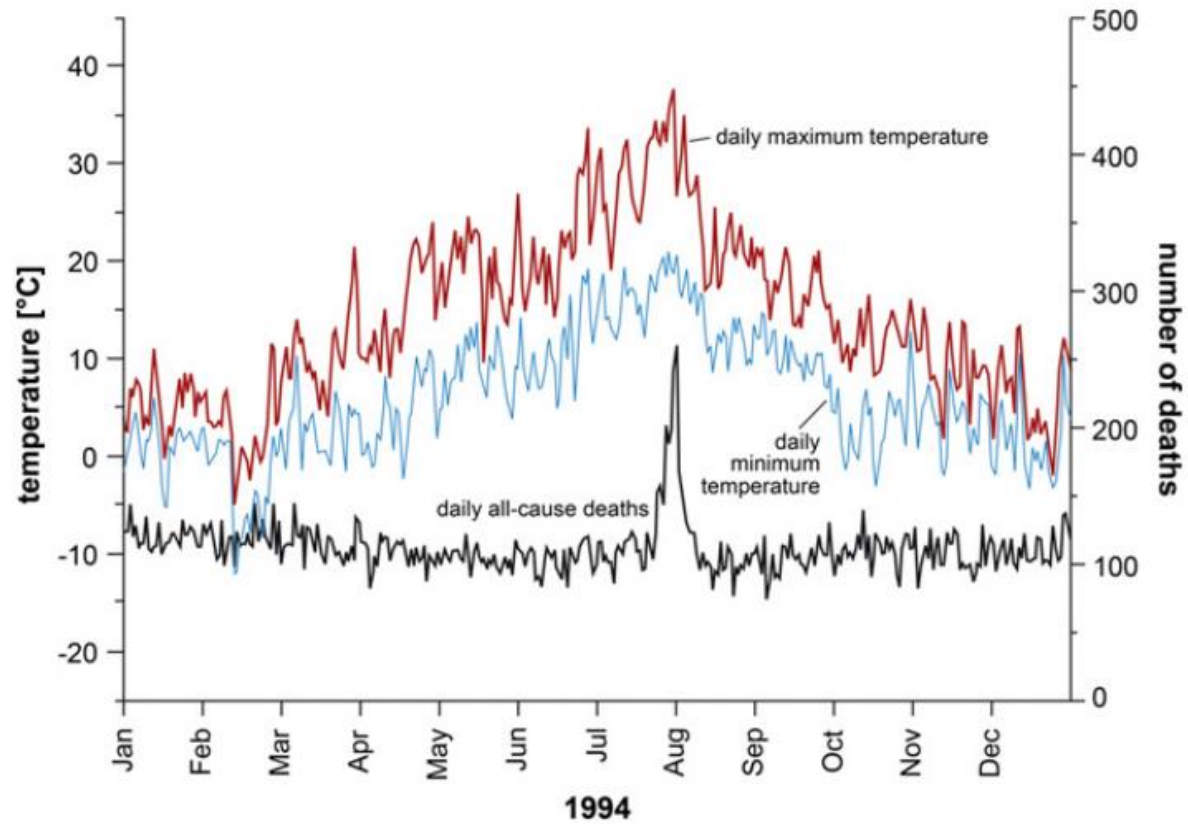


Fig. 3. Daily maximum and minimum temperatures, together with daily mortality rates for Berlin during 1994 [Data: German Meteorological Service, Statistical Services of Berlin and Brandenburg].

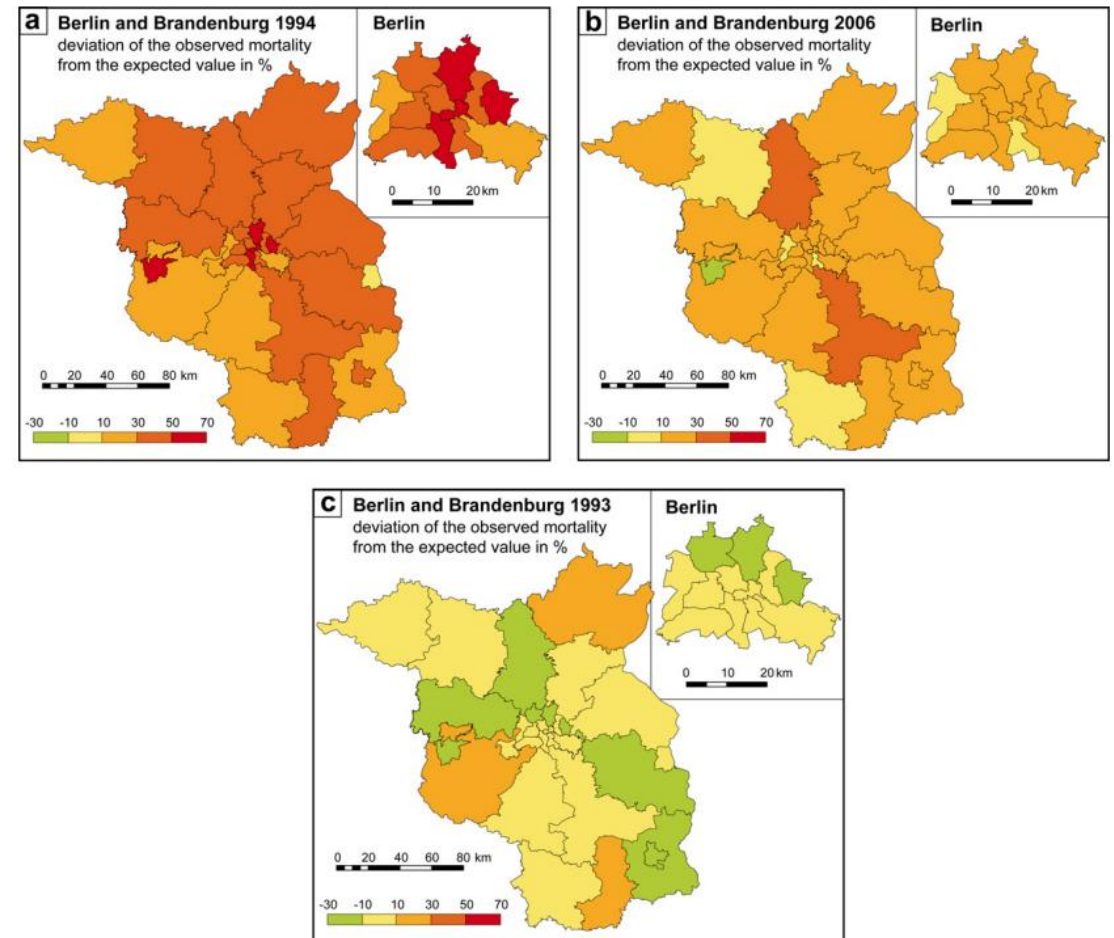


Fig. 4. Spatial distribution for the deviation [%] of recorded mortality rates from the expected values in Germany's Federal States of Berlin and Brandenburg during the investigated 3-week periods of (a) 1994, (b) 2006, and (c) 1993 [Data: Statistical Services of Berlin and Brandenburg].

WD – dzień z $T_{max} \geq 20^{\circ}C$
 SU – dzień z $T_{max} \geq 25^{\circ}C$
 HD – dzień z $T_{max} \geq 30^{\circ}C$
 TNi – dzień z $T_{min} \geq 20^{\circ}C$

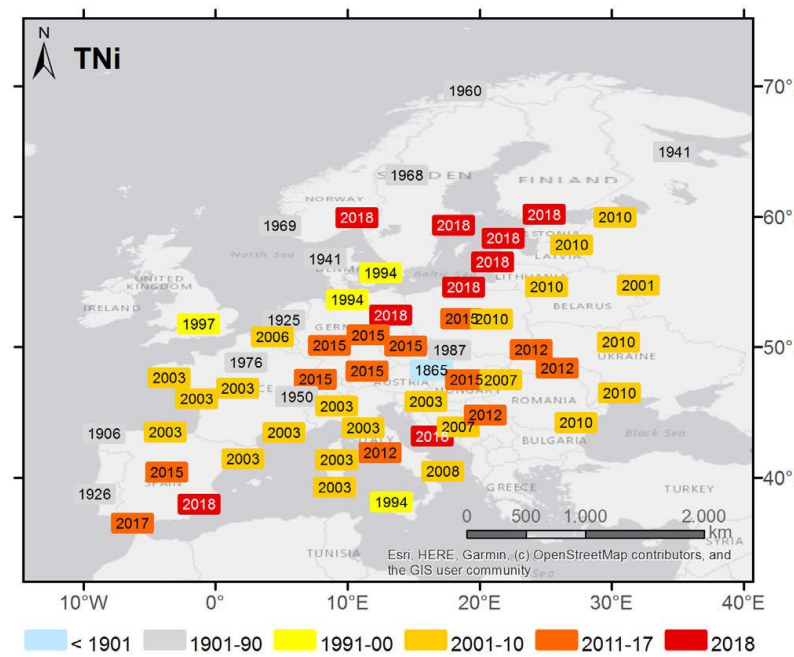
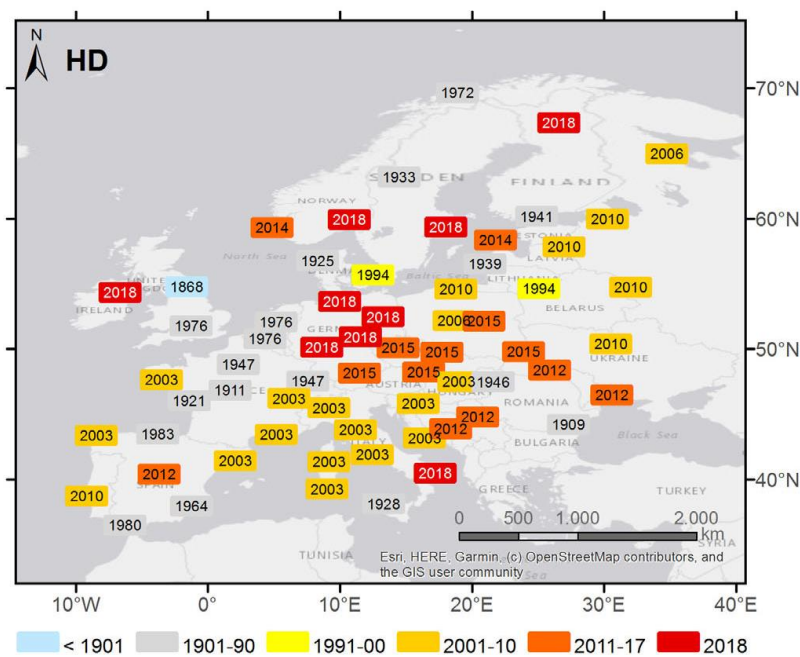
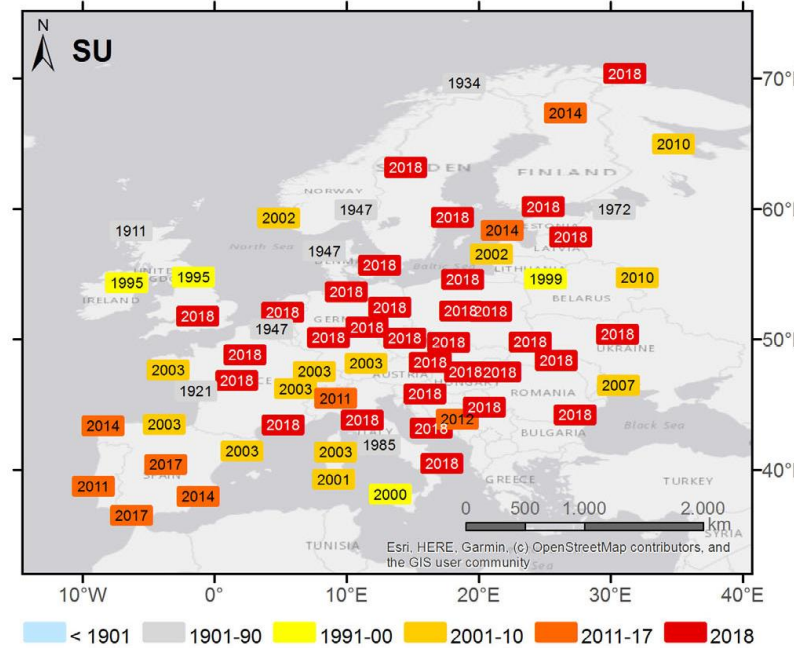
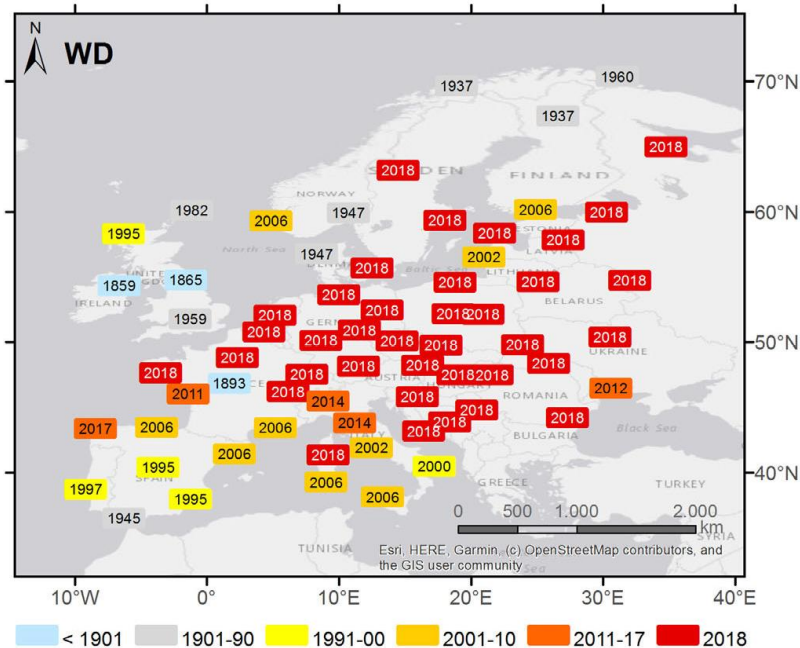


FIGURE 5 Maps of 10 temperature indices showing record years of all stations (percentile-based indices: Maximum value of temperature sum; threshold-based indices: Maximum occurrence of days); 2018 dark red with white font colour

Źródło: Hoy i in. 2020

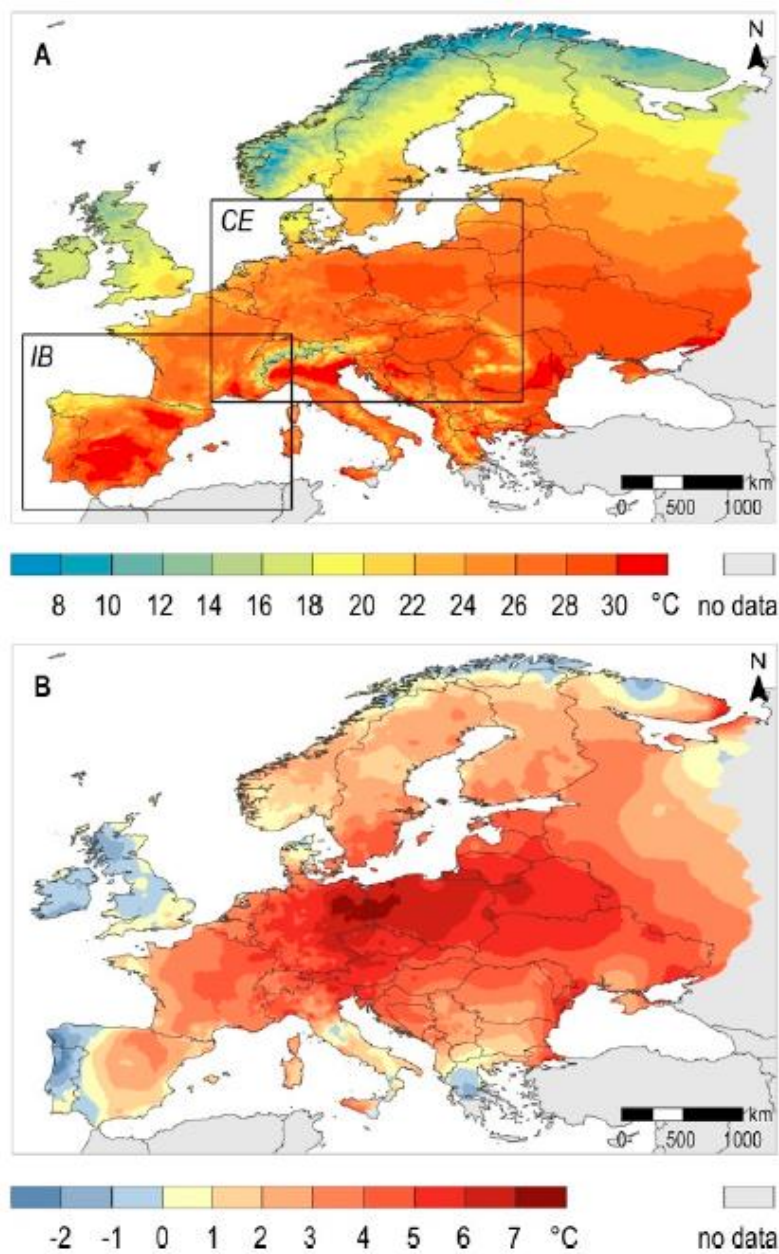


Figure 1. Monthly maximum air temperature in Europe, in June 2019. (A) Average; (B) Anomaly with respect to the period 1981–2010. CE, Central Europe domain and IB, Iberia and the Western Mediterranean domain.

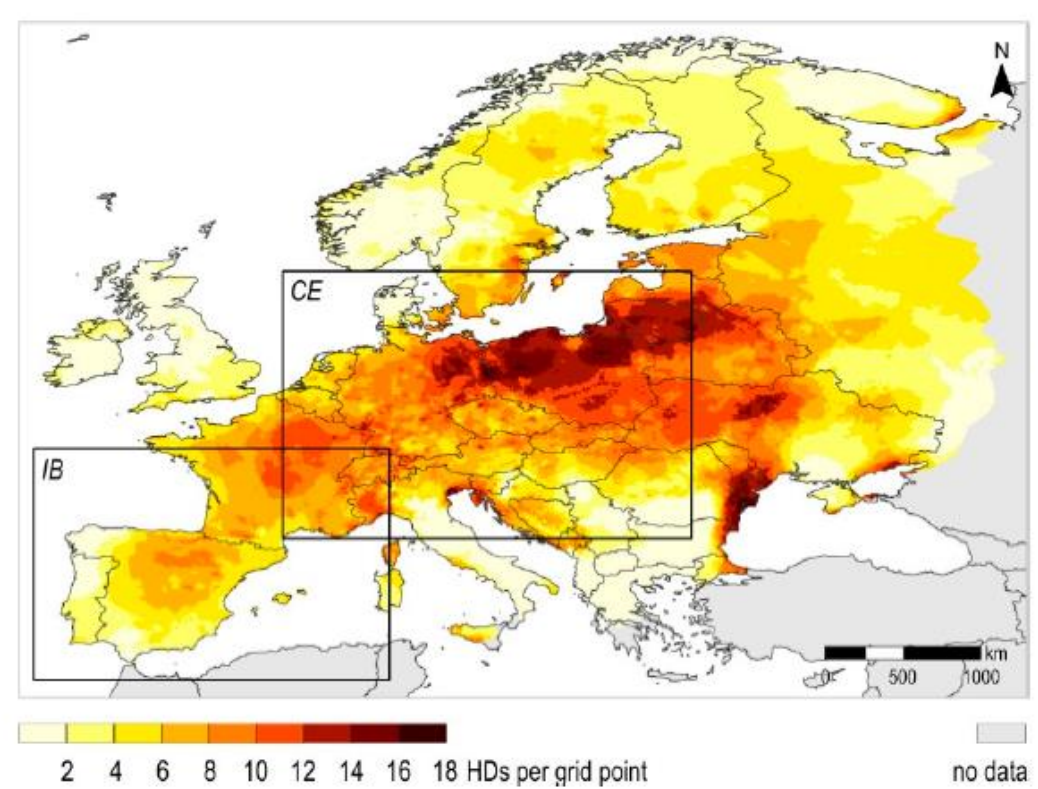


Figure 4. Frequency of occurrence of hot days (HDs) at individual grid points, in June 2019, in Europe. CE, Central Europe domain and IB, Iberia and the Western Mediterranean domain.

EUROPE

Extreme Maximum Temperature (C)

July 17 - 23, 2022

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

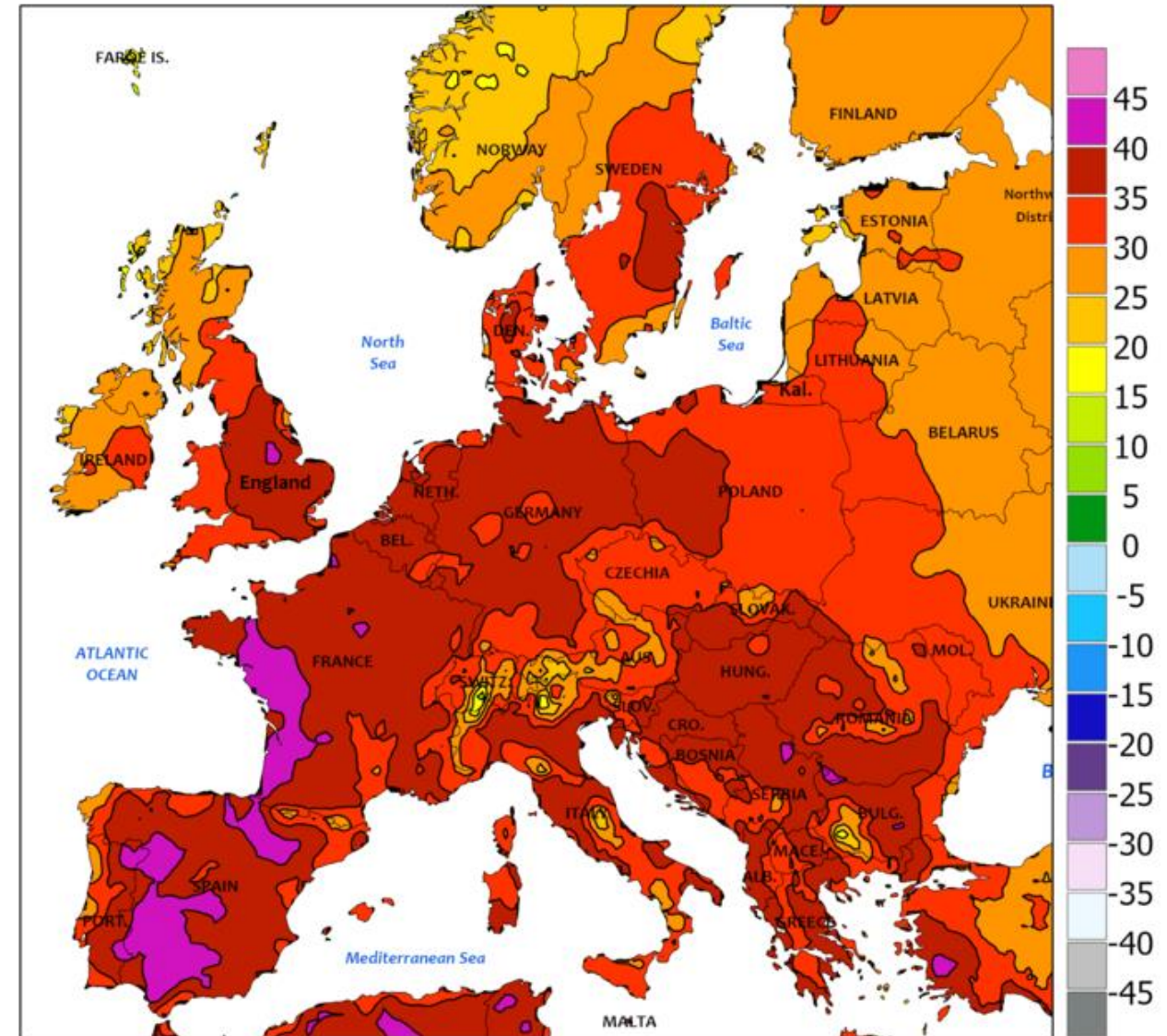
End date 12 September 2022

Peak temp. 47.0 °C (116.6 °F), recorded at [Pinhão](#), 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



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



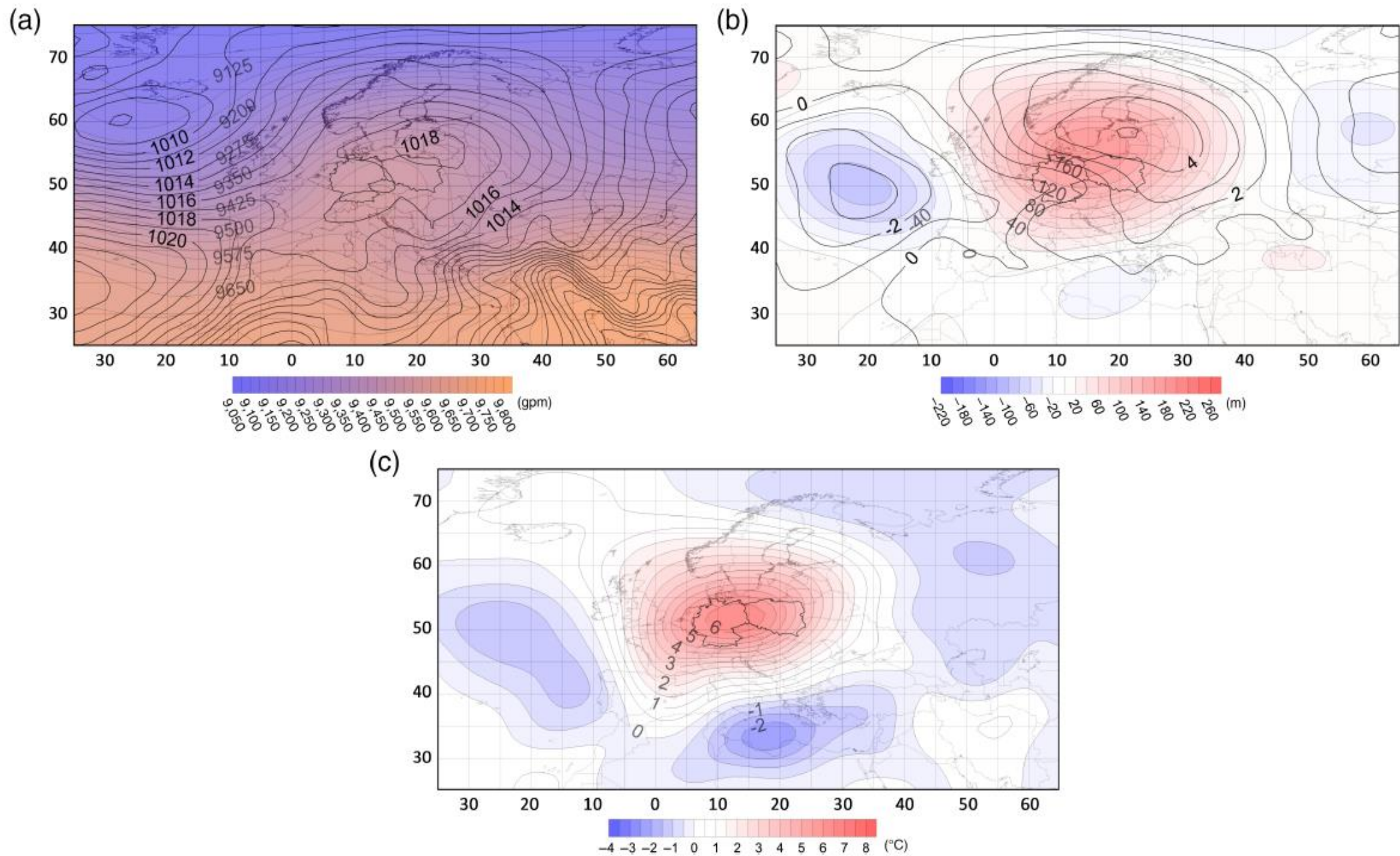


FIGURE 5 Mean SLP (in hPa) and z300 hPa (in gpm) (a), anomalies of SLP (in hPa) and z300 hPa (in m) (b), and anomalies of T850 (in °C) (c) during the analysed heat waves [Colour figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]

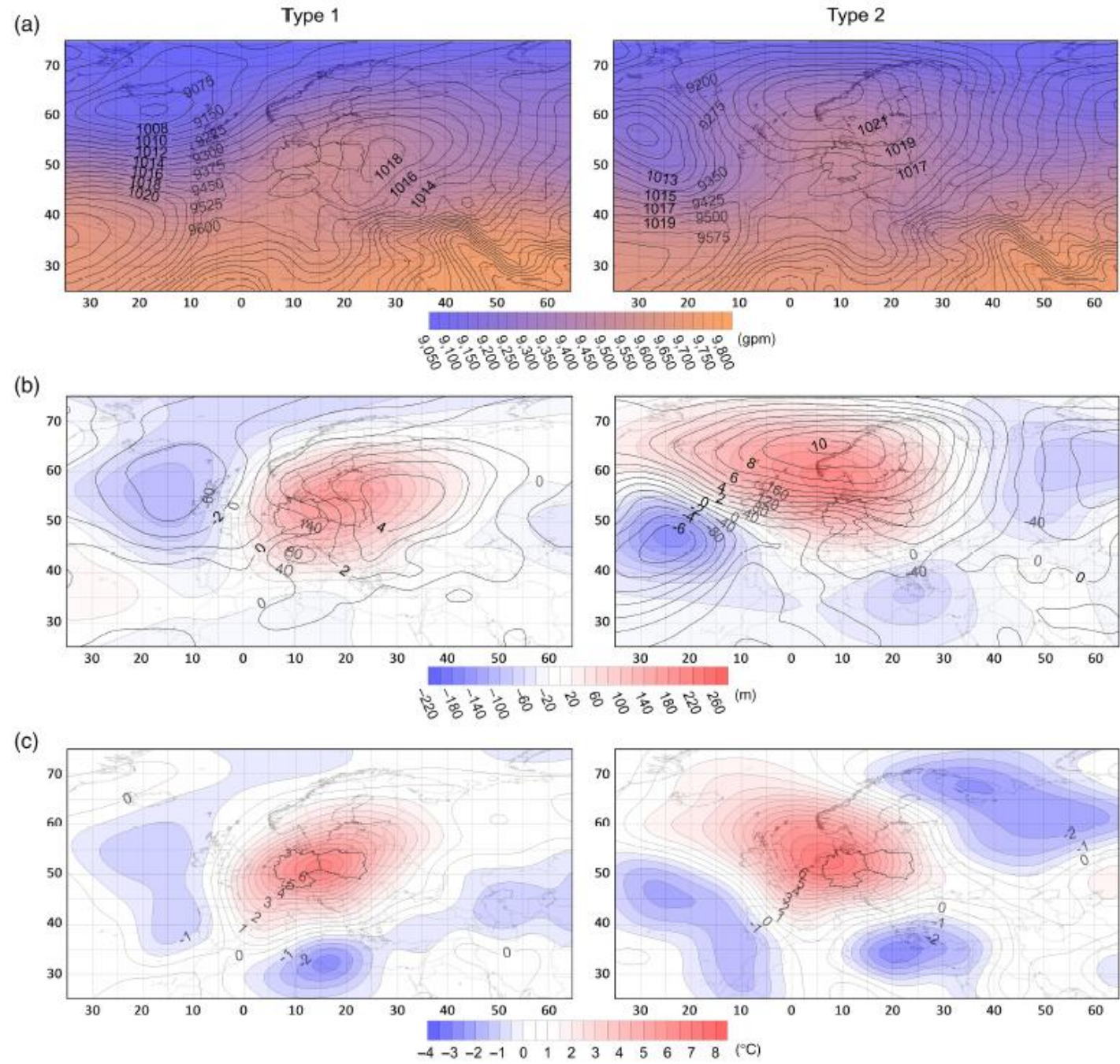


FIGURE 6 Mean SLP (in hPa) and z300 hPa (in gpm) (a), anomalies of SLP (in hPa) and z300 hPa (in m) (b) and anomalies of T850 (in °C) (c) during the analysed heat waves for type 1 and type 2 [Colour figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]

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.

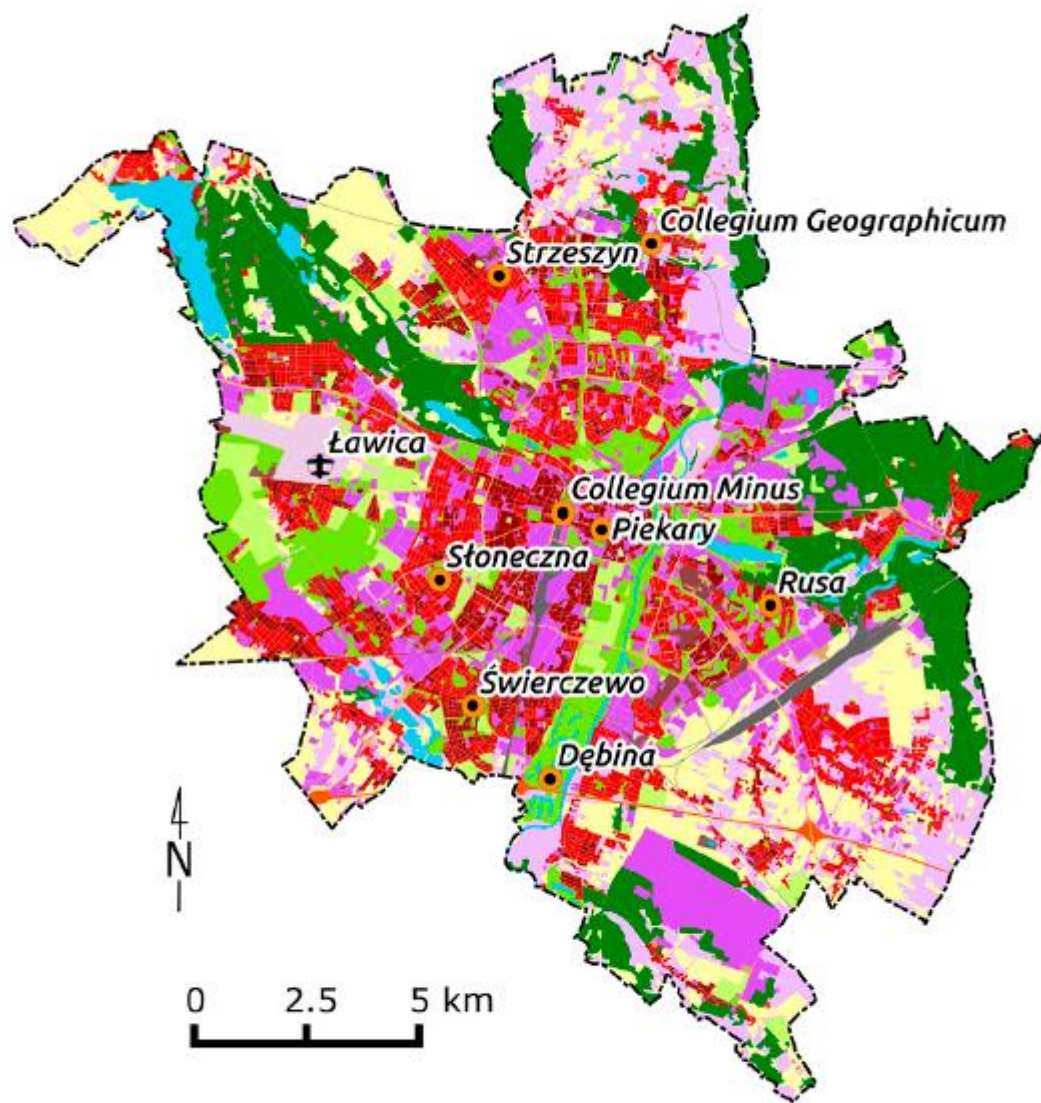


Powstanie klimatu miasta jest wynikiem:

- specyficznych, fizycznych właściwości materiałów pokrywających grunt w mieście, które pochłaniają więcej promieni słonecznych niż odbijają;
- zmienionej struktury promieniowania długofalowego (cieplnego);
- małego udziału naturalnych powierzchni roślinnych, które sprzyjają stabilizacji bilansu cieplnego miasta;
- dużej liczby różnego rodzaju powierzchni pionowych, które z jednej strony silnie pochłaniają promienie słoneczne, a z drugiej zmniejszają prędkość wiatru (efekt kanionu);

Powstanie miejskiej wyspy ciepła jest wynikiem:

- aktywności człowieka, na którą składa się ciepło produkowane przez urządzenia grzewcze i klimatyzacyjne, przemysł, ruch samochodowy itp.;
- efektu cieplarnianego towarzyszącego miastu.



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).

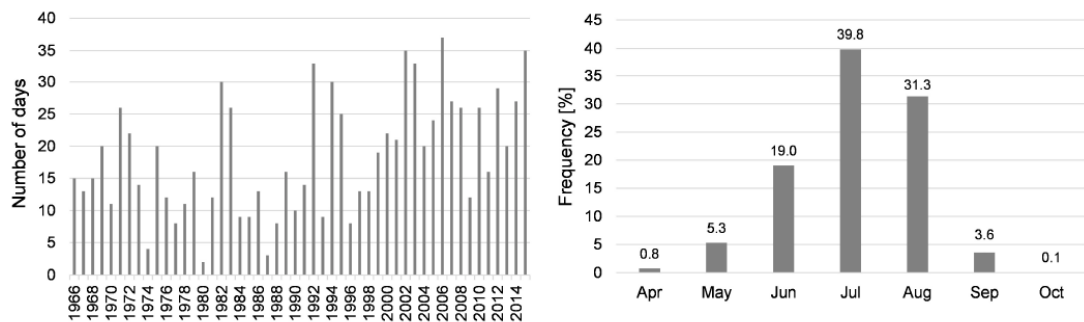


Figure 3. Number of hot days in 1966–2015 and the frequency of hot days' occurrence in certain months.

Table 2. Characteristics of heat waves in 1966–2015 in Poznań-Ławica.

Years	Number of Heat Waves	Total Duration of Heat Waves (Days)	Average Length (Days)	Average T_{max} (°C)	Average T_{min} (°C)
1966–1975	6	51	8.5	30.7	16.8
1976–1985	9	57	6.3	30.1	16.2
1986–1995	9	63	7.0	30.6	15.0
1996–2005	7	42	6.0	29.9	14.5
2006–2015	11	97	8.8	31.2	17.7
1966–2015	42	310	7.4	30.5	16.2

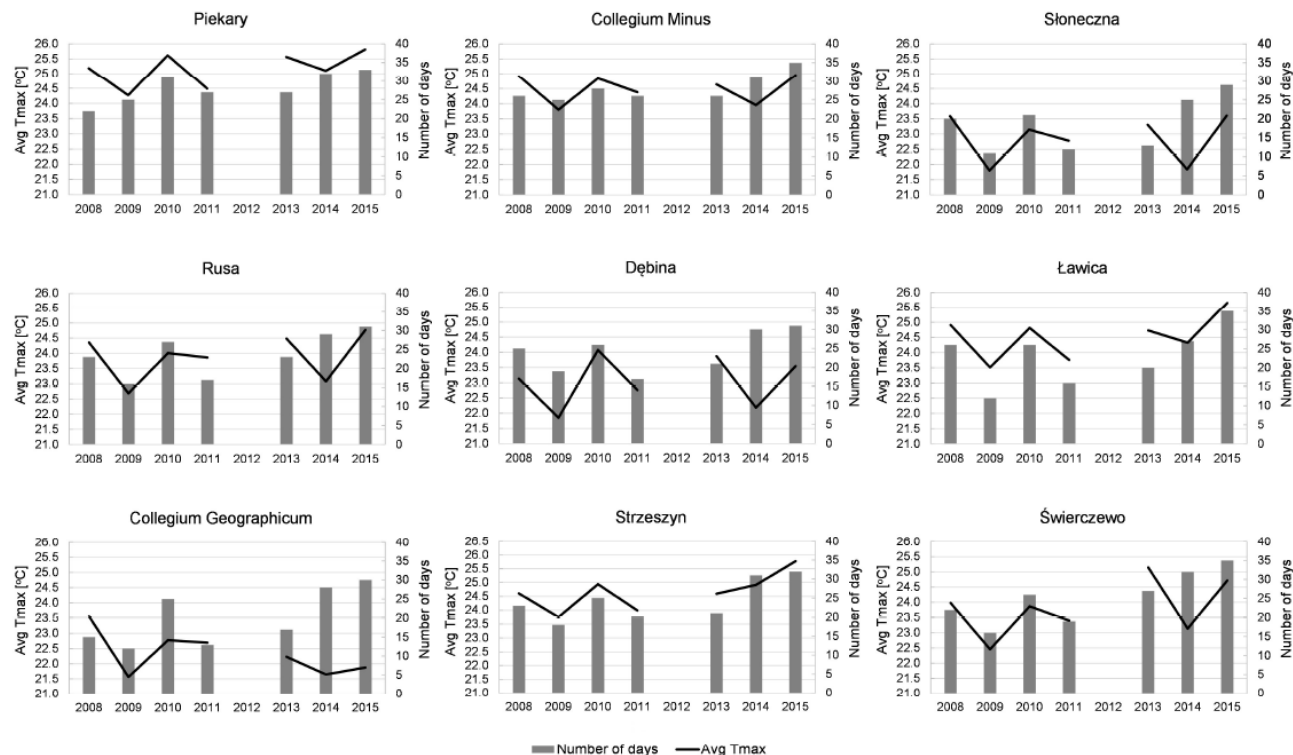


Figure 4. Average T_{max} in the summer season and the number of hot days in 2008–2015 in the city area.

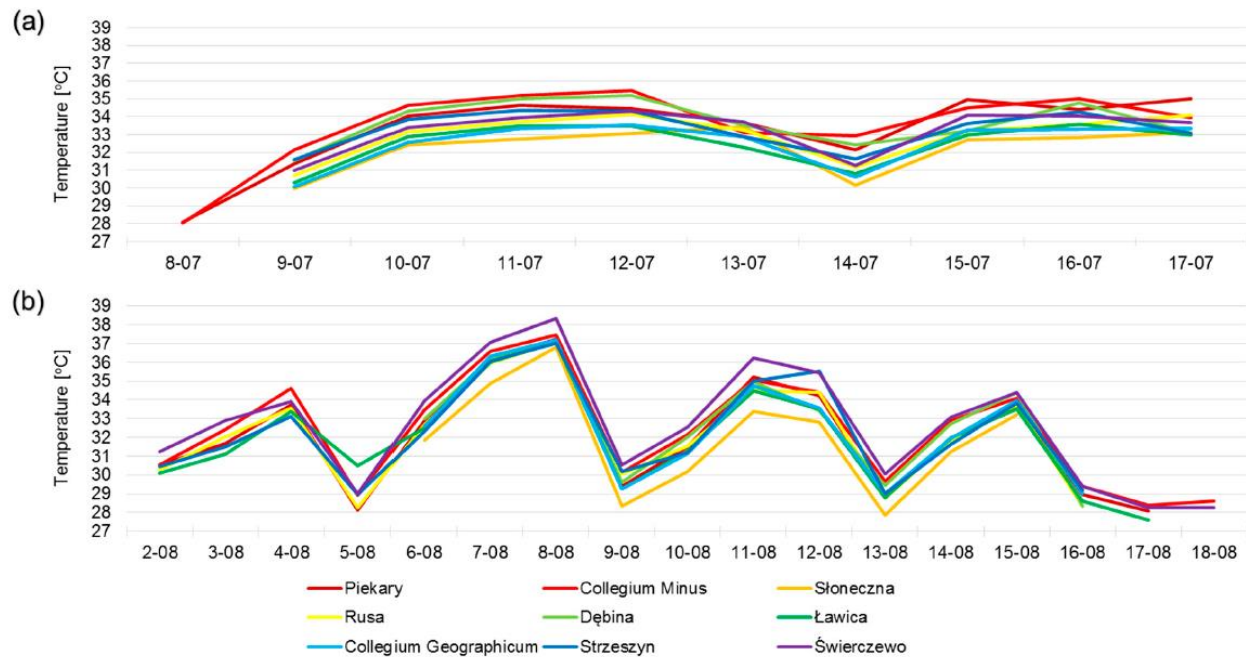


Figure 5. T_{\max} during the heat wave of 8–17 July 2010 (a) and 2–18 August 2015 (b).

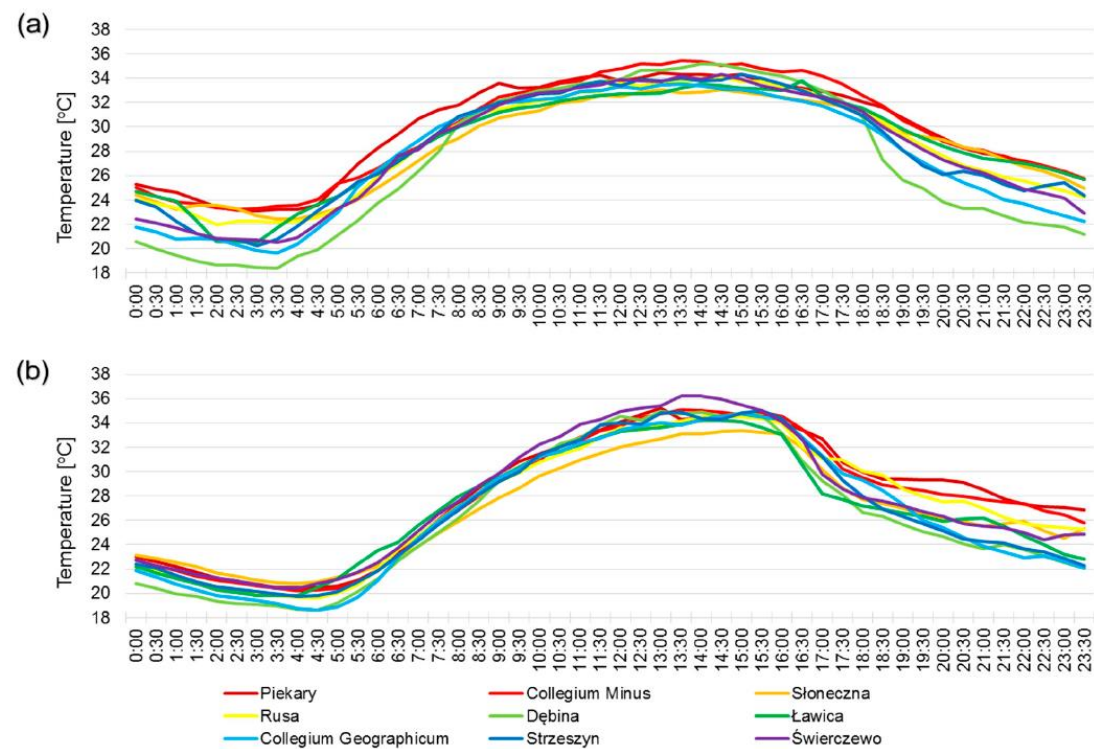


Figure 6. Daily course of air temperature in Poznań on 12 July 2010 (a) and 11 August 2015 (b).

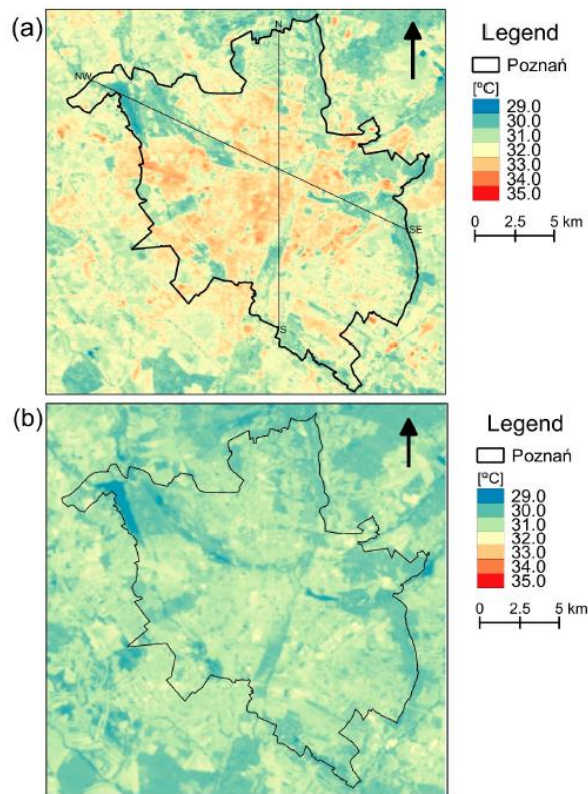


Figure 7. Air temperature in Poznań on 12 July 2010 (a) and 11 August 2015 (b) at 9:34. Profile lines (a) used in Figure 9.

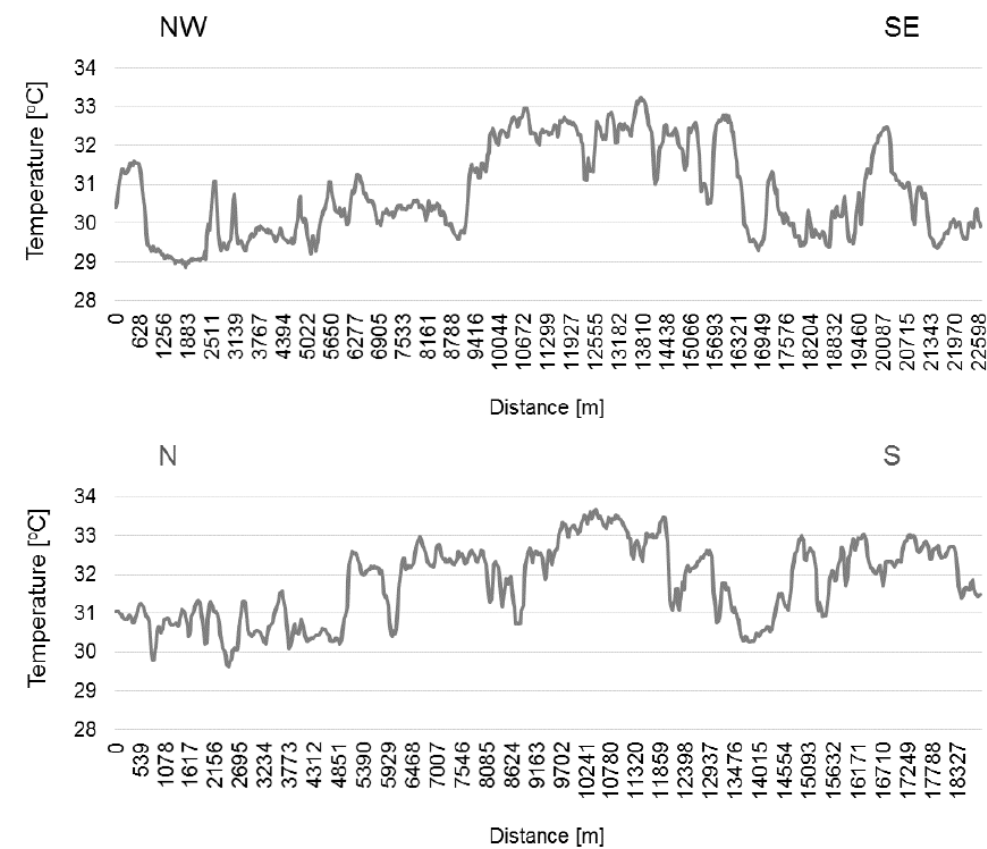


Figure 9. Air temperature in NW-SE and N-S profiles on 12 July 2010 at 9:43 UTC.

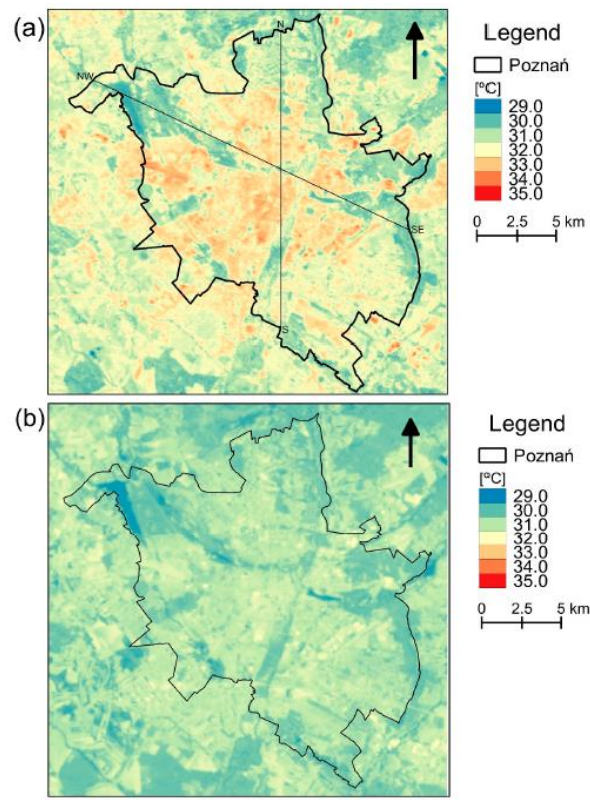


Figure 7. Air temperature in Poznań on 12 July 2010 (a) and 11 August 2015 (b) at 9:34. Profile lines (a) used in Figure 9.

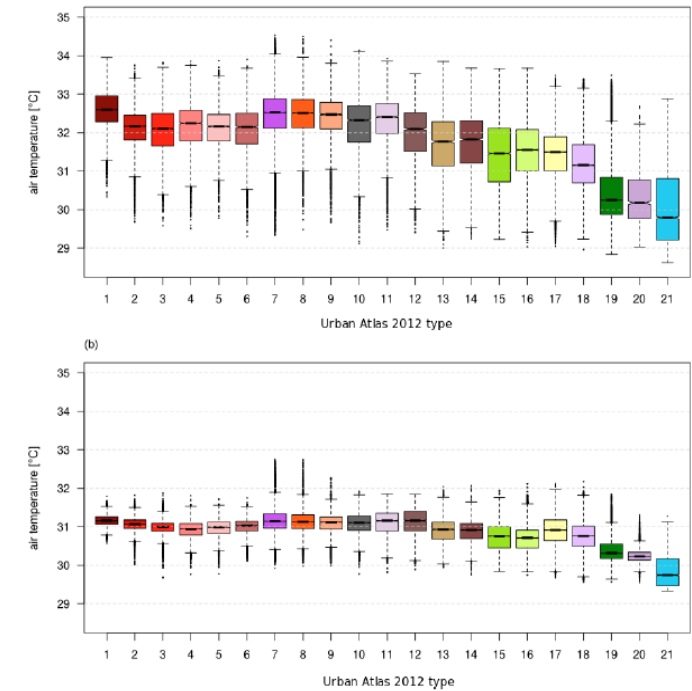


Figure 8. Statistic of air temperature in Poznań ((a)—12 July 2010, (b)—11 August 2015) on the basis of Landsat images according to Urban Atlas 2012 types (colours and order of types according to legend in Figure 1). In the boxplot, the middle values denote medians; the box extends to the Q1 (first quartile) 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.

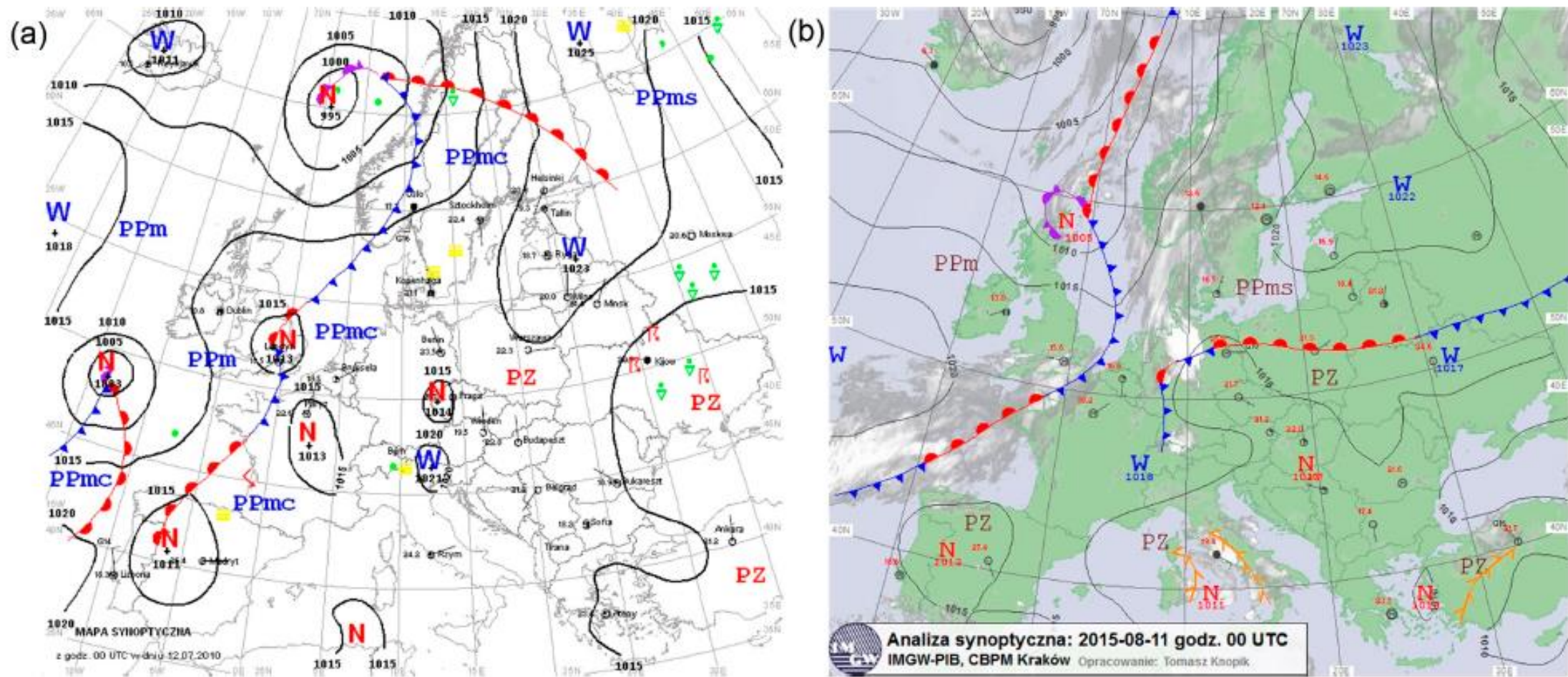
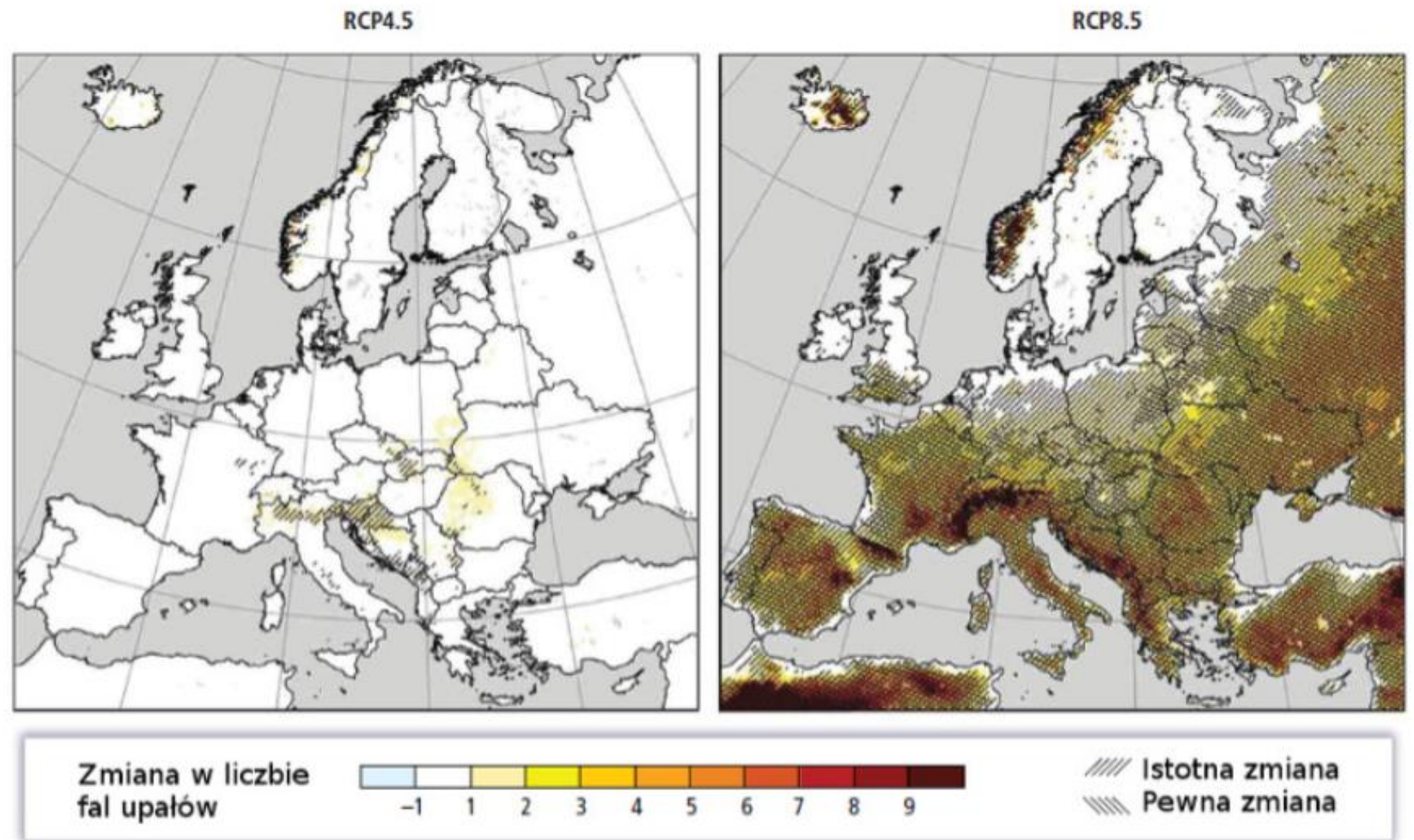


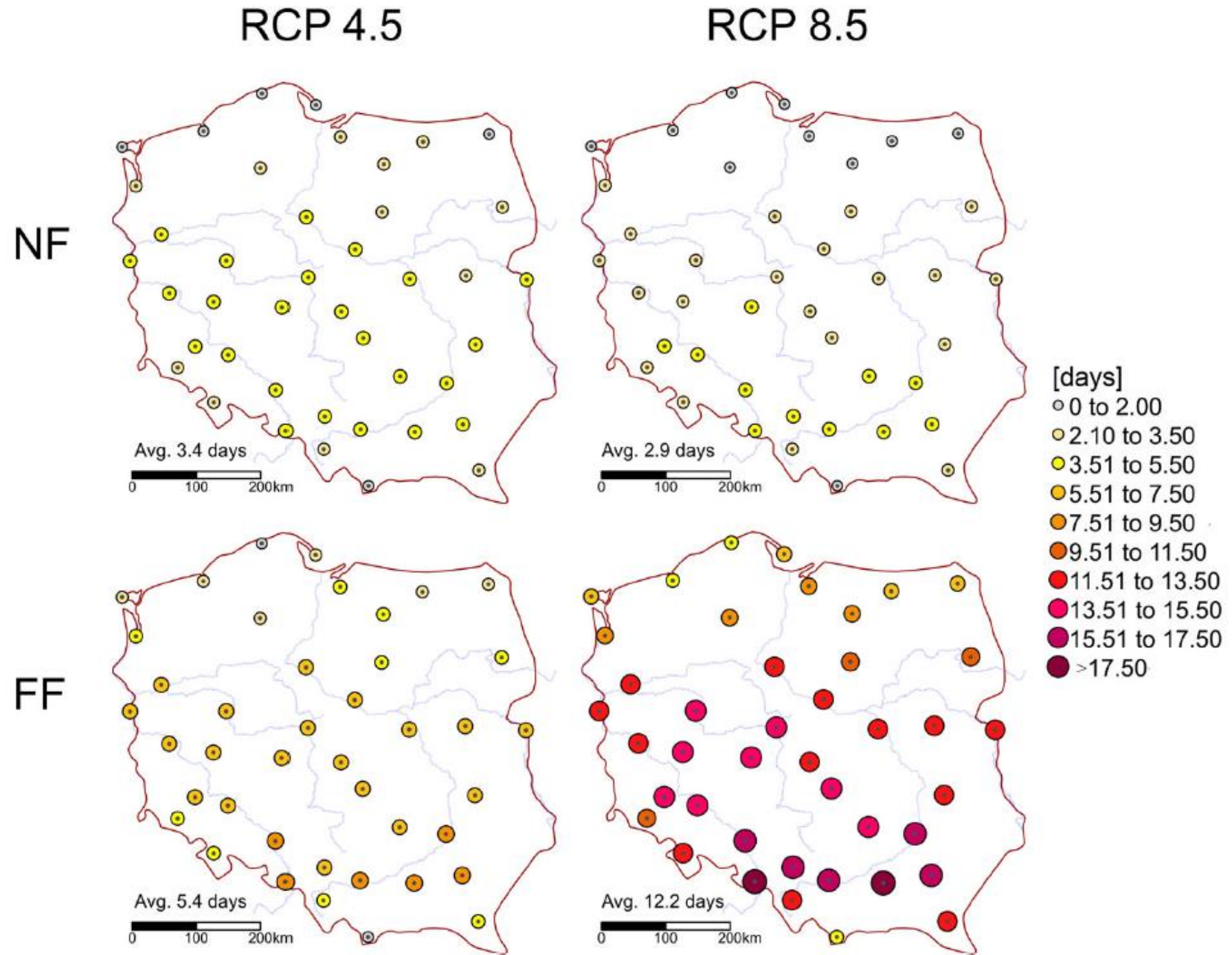
Figure 11. Weather situation on 12 July 2010 (a) and 11 August 2015 (b). Source: Meteorology and Water Management–National Research Institute.

Jak będzie w przyszłości?



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 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]



Źródło: Tomczyk i in. 2022

Materiały

- Błażejczyk i in., 2014. Miejska wyspa ciepła w Warszawie. Wydawnictwo Akademickie SEDNO.
- 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
- Hoy i in., 2020 – An endless summer: 2018 heat episodes in Europe in the context of secular temperature variability and change. *International Journal of Climatology* 40 (15), 6315-6336.
- 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.
- Tomczyk A.M., Bednorz E., 2019 – Heat waves in Central Europe and tropospheric anomalies of temperature and geopotential heights. *International Journal of Climatology* 39 (11), 4189–4205.
- Tomczyk A.M. i in., 2019 – The occurrence of heat waves in Europe and their circulation conditions. *Geografie* 124 (1), 1-17.
- 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.
- Tomczyk A.M., 2017 – Impact of atmospheric circulation on the occurrence of heat waves in southeastern Europe. *Időjárás* 120 (4), 395-414.
- Vandentorren i in., 2004 - Mortality in 13 French Cities During the August 2003 Heat Wave. *American Journal of Public Health* 94 (9), 1518-1520.
- Gazeta Obserwator IMGW, 2021
- <http://www.nws.noaa.gov/om/hazstats.shtml>
- https://en.wikipedia.org/wiki/2022_European_heat_waves
- <https://naukaoklimacie.pl/>
- <https://gloswielkopolski.pl/>

Projekt dofinansowany ze środków budżetu państwa w ramach programu
Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą
Spółeczna odpowiedzialność nauki – Popularyzacja nauki i promocja sportu,
nr projektu SONP/SP/546432/2022,
kwota dofinansowania 112 920,00 zł, całkowita wartość projektu 125 640,00 zł.