

Teresa Kozłowska-Szczęśna  
Barbara Krawczyk Magdalena Kuchcik

# WPŁYW ŚRODOWISKA ATMOSFERYCZNEGO NA ZDROWIE I SAMOPOCZUCIE CZŁOWIEKA



monografie

4



# MONOGRAFIE

INSTYTUT GEOGRAFII  
I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA  
IM. STANISŁAWA LESZCZYCKIEGO  
PAN

POLISH ACADEMY OF SCIENCES  
STANISLAW LESZCZYCKI INSTITUTE OF GEOGRAPHY  
AND SPATIAL ORGANIZATION  
MONOGRAPHS, 4

Teresa Kozłowska-Szczęśna  
Barbara Krawczyk  
Magdalena Kuchcik

THE INFLUENCE OF ATMOSPHERIC  
ENVIRONMENT  
ON THE HUMAN HEALTH  
AND WELL BEING



WARSZAWA 2004

<http://rcin.org.pl>

POLSKA AKADEMIA NAUK  
INSTYTUT GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA  
IM. STANISŁAWA LESZCZYCKIEGO  
MONOGRAFIE, 4

Teresa Kozłowska-Szczęsna  
Barbara Krawczyk  
Magdalena Kuchcik

WPLYW ŚRODOWISKA  
ATMOSFERYCZNEGO  
NA ZDROWIE I SAMOPOCZUCIE  
CZŁOWIEKA



WARSZAWA 2004

<http://rcin.org.pl>

Redaktor serii: prof. dr hab. Leszek Starkel

Recenzent: prof. dr hab. Kazimierz Kłysik

Praca dofinansowana przez KBN  
poprzez projekt badawczy  
3 PO4E 012 23

PL ISSN 1643-2312  
ISBN 83-87954-14-4

Opracowanie redakcyjne: Ludmiła Kwiatkowska

© Copyright by Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania  
im. Stanisława Leszczyckiego PAN, Warszawa 2004

Druk: Warszawska Drukarnia Naukowa PAN,  
00-656 Warszawa, ul. Śniadeckich 8

<http://rcin.org.pl>

PRZEDMOWA ( <i>Teresa Kozłowska-Szczęсна</i> ) .....	7
CZĘŚĆ I	
PODSTAWY BIOMETEOROLOGII CZŁOWIEKA .....	9
1. Wprowadzenie .....	9
1.1. Definicja i zadania biometeorologii człowieka .....	9
1.2. Historia biometeorologii człowieka .....	10
2. Klimatyczne uwarunkowania zachorowalności i umieralności w Polsce ...	13
2.1. Masy powietrza i układy baryczne oraz ich znaczenie meteorotropowe .....	13
2.2. Bodźce atmosferyczne .....	16
2.2.1. Zespół bodźców fizycznych .....	18
2.2.2. Zespół bodźców chemicznych .....	29
2.2.3. Zespół bodźców biologicznych .....	33
2.3. Prawdopodobieństwo występowania ekstremalnych wartości wybranych elementów meteorologicznych .....	34
3. Wpływ czynników antropogenicznych na człowieka .....	42
3.1. Niektóre zanieczyszczenia gazowe, pyłowe i metalami ciężkimi .....	42
3.2. Hałas .....	48
CZĘŚĆ II	
METODY STOSOWANE W BADANIACH BIOMETEOROLOGICZNYCH .....	51
1. Badania eksperymentalne .....	51
2. Metody pomiarowe .....	53
3. Metody obliczeniowe .....	55
4. Modele oceny warunków biometeorologicznych .....	59
5. Wskaźniki biometeorologiczne oparte na bilansie cieplnym człowieka ...	64
6. Biometeorologiczne klasyfikacje pogody .....	71

CZEŚĆ III	
METEOROPATOLOGIA W ŚWIETLE WSPÓŁCZESNYCH BADAŃ .....	85
1. Meteoropatia .....	85
1.1. Charakterystyka meteoropatii .....	85
1.2. Meteorotropowe sytuacje pogodowe .....	88
2. Wpływ warunków pogodowych na występowanie chorób meteorotropowych i wypadków .....	90
2.1. Choroby układu krążenia .....	91
2.1.1. Ciśnienie tętnicze krwi .....	93
2.1.2. Zawał serca .....	96
2.2. Choroby układu oddechowego .....	97
2.3. Choroby układu nerwowego .....	101
2.4. Choroby układu narządów ruchu .....	104
2.5. Wypadki drogowe .....	105
2.6. Wypadki przy pracy .....	115
CZEŚĆ IV	
BIOMETEOROLOGICZNE PRZYCZYNY ZGONÓW .....	119
1. Wpływ czynników atmosferycznych na umieralność .....	119
1.1. Zmiany sezonowe umieralności .....	119
1.2. Skrajne warunki pogodowe .....	124
1.2.1. Fale upałów .....	124
1.2.2. Fale zimna .....	128
1.3. Czynniki synoptyczne .....	129
1.4. Czynniki antropogeniczne .....	133
2. Częstość zgonów w Polsce w zależności od warunków meteorologicznych .....	138
2.1. Materiał i metoda .....	138
2.2. Charakterystyka umieralności w wybranych miastach .....	140
2.3. Odczucie ciepłe a zgony .....	144
2.4. Masy powietrza a zgony .....	149
2.5. Fale upałów i zimna a zgony .....	153
BIBLIOGRAFIA .....	161
THE INFLUENCE OF ATMOSPHERIC ENVIRONMENT ON THE HUMAN HEALTH AND WELL BEING (summary) .....	189
SKOROWIDZ RZECZOWY .....	192



## PRZEDMOWA

---

*Definicja Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) określa zdrowie jako stan dobrego samopoczucia fizycznego, psychicznego i społecznego, a nie tylko brak choroby czy niedomagania. Dobre samopoczucie człowieka zależy od czynników obiektywnych, subiektywnych i społecznych takich jak: stan środowiska przyrodniczego, cechy dziedziczne, jakość i styl życia, poziom opieki medycznej, lecz także, bez wątpienia, od wrażliwości osobniczej na warunki pogodowe. Związek między stanem pogody, typem klimatu a samopoczuciem oraz zdrowiem człowieka zważono już około 2 500 lat temu. Liczba osób wrażliwych na wpływ środowiska atmosferycznego (meteoropatów) wyraźnie się zwiększa. Obecnie przeszło połowa ludności Europy cierpi na dolegliwości związane ze zmianami pogody.*

*Głównym celem pracy jest przedstawienie wpływu czynników atmosferycznych na organizm człowieka, na występowanie chorób meteorotropowych, wypadków i umieralności. Autorki pracy starały się przedstawić przede wszystkim wyniki badań prowadzonych w Polsce, na tle osiągnięć nauki światowej w tym zakresie. Tematyka książki dotyczy dwóch najważniejszych dziedzin biometeorologii człowieka: meteorofizjologii i meteoropatologii. Książka jest adresowana do szerokiego grona odbiorców, zainteresowanych wpływem środowiska atmosferycznego na zdrowie człowieka. Autorki mają nadzieję, że wiadomości w niej zawarte pozwolą na zrozumienie omawianego zagadnienia i ułatwią działania profilaktyczne w celu uniknięcia przykrych nieraz dolegliwości związanych ze zmianami warunków pogodowych.*

*Teresa Kozłowska-Szczęsna*



# CZEŚĆ I

## PODSTAWY BIOMETEOROLOGII CZŁOWIEKA

---

### 1. Wprowadzenie

#### 1.1. Definicja i zadania biometeorologii człowieka

Podstawę definicji biometeorologii stworzył w 1827 r. Aleksander von Humboldt (1769–1859). W dziele z 1844 r. pt. *Kosmos* pisał, m.in., że: „...klimat obejmuje wszelkie zmiany w atmosferze wyraźnie podrażniające nasze zmysły.”

Aktualną definicję biometeorologii określiło Międzynarodowe Towarzystwo Bioklimatologii i Biometeorologii (ISBB). Została ona opublikowana w *International Journal of Bioclimatology and Biometeorology* (vol. IV, 1960). Według tej definicji biometeorologia zajmuje się: „badaniem bezpośrednich i pośrednich związków między środowiskiem geofizycznym i geochemicznym a żywymi organizmami (roślinami, zwierzętami, człowiekiem)”. Określenie środowiska jest tu szeroko pojęte i obejmuje zarówno środowisko pozaziemskie w zakresie w jakim dotyczy ono atmosfery ziemskiej, jak i różne czynniki fizyczne i chemiczne wchodzące w jej skład. Badania w tych dziedzinach prowadzone są w warunkach bądź naturalnych bądź też laboratoryjnych, w celu określenia związków przyczynowych zachodzących pomiędzy procesami fizjologicznymi i patologicznymi a środowiskiem. W podobnym znaczeniu rozumiemy współcześnie biometeorologię jako badanie wpływu zmiennych warunków środowiska atmosferycznego na żywe organizmy.

Biometeorologia jest nauką międzydyscyplinarną zajmującą się wzajemnymi związkami pomiędzy procesami atmosferycznymi i żywymi organizmami – roślin, zwierząt i ludzi. Bada ona przebieg procesów przepływu materii i energii w biosferze. Celem badań biometeorologicznych jest określenie bezpośredniego wpływu czynników atmosferycznych na organizmy żywe czyli meteorotropizmu, możliwości dostosowania się do nich, a także ocena warunków życia człowieka.

Na I Zjeździe ISBB w 1957 r. w Wiedniu dokonano klasyfikacji biometeorologii oraz ustalono definicje poszczególnych specjalności. Niewielkie

zmiany w odniesieniu do definicji i klasyfikacji wprowadzono w 1969 r. Z uwagi na przedmiot badań biometeorologię podzielono na 6 dziedzin: **1) biometeorologię ogólną, 2) biometeorologię roślin, 3) biometeorologię zwierząt, 4) biometeorologię człowieka, 5) biometeorologię kosmiczną, 6) paleobiometeorologię**. Każda z tych głównych dziedzin została z kolei podzielona na szereg grup tematycznych. Biometeorologia człowieka obejmuje: biometeorologię fizjologiczną, biometeorologię społeczną, biometeorologię patologiczną, biometeorologię architektoniczną i urbanistyczną, biometeorologię nautyczną. W 1960 r. opublikowano także klasyfikację biometeorologii opracowaną przez J. Hoffmeistera (*Angewandte Meteorologie*, 4, 1, 1960), obejmującą następujące zagadnienia: **meteorologia a rośliny, meteorologia a zwierzęta, oraz meteorologia a człowiek** określając tę dziedzinę wiedzy jako „działanie kompleksów meteorologicznych na organizmy żywe” (Chelchowski, 1961 a, b).

## 1.2. Historia biometeorologii człowieka

Już dawno temu zdawano sobie sprawę, że istnieje związek pomiędzy warunkami środowiska przyrodniczego, w tym atmosferycznego, a zmianami nastroju, samopoczucia i występowaniem u ludzi pewnych dolegliwości. Po raz pierwszy zwrócił na ten problem uwagę lekarz i przyrodnik grecki Hipokrates (460–377 p.n.e.), który – wykorzystując doświadczenia swoich poprzedników – wysunął tezę o wpływie warunków geograficznych i klimatu na zdrowie i psychikę poszczególnych osób. Swoje poglądy zawarł w traktacie *O powietrzu, wodach i miejscach*.

Myśl Hipokratesa rozwijali lekarze i przyrodnicy tacy jak: Aulus Cornelius Celsus (30 p.n.e.–50 n.e.), Claudius Galenus (129–199), Theophrastus Paracelsus (1493–1541), a w nowszych czasach Thomas Sydenham (1624–1689). Do połowy XVIII wieku związek środowiska atmosferycznego ze zdrowiem człowieka był uważany za integralną część fizjologii i zajmowali się nim głównie lekarze. Z biegiem czasu biometeorologią człowieka zaczęli interesować się fizycy, biolodzy, geografowie, urbaniści i inni specjaliści z zakresu nauk ścisłych i przyrodniczych. Pierwsze studia naukowe na temat wrażliwości człowieka na pogodę przypisuje się Gerhardowi van Swietenowi (1700–1772), lekarzowi cesarzowej Marii Teresy (Kowalenko, 1975, 1976; Machalek, 1997; Bogucki, red., 1999; Teodoreanu, 2002).

Rozwój współczesnej biometeorologii przypada na drugą połowę XX w. Znaczny wkład do poznania związków przyczynowych pomiędzy organizmem żywym a środowiskiem atmosferycznym wnieśli tacy badacze jak np.: D. Assmann, K. Büttner, K. Daubert, F. Linke, B. de Rudder, H. Ungeheuer, P. Höppe, G. Jendritzky (Niemcy), a także K. Dorno (Szwaj-

caria). W. F. Petersen, F. Sargent, L. S. Kalkstein, H.E. Landsberg (USA), S. W. Tromp (Holandia), K.C. Parsons (Anglia), A. Auliciems, C.R. Freitas (Australia).

W Polsce, w okresie międzywojennym, L. Korczyński w nowoczesnym jak na owe czasy, dwutomowym dziele pt. *Zarys klimatologii lekarskiej* (1933, 1936) analizował wpływ różnych typów klimatu na funkcjonowanie organizmu człowieka. Po II wojnie światowej z inicjatywy m.in. J. Aleksandrowicza (1971) powstał w Krakowie w 1950 r., Oddział Biometeorologii Lekarskiej w III Klinice Chorób Wewnętrznych AM. Duży wkład w rozwój polskich badań biometeorologicznych wnieśli: A. Sabatowski (1956), J. Grączewski (1972), B. Kielczewski, J. Bogucki (1972), J. Jankowiak (1976), S. Tyczka, I. Ponikowska (1983) i W. Wojtowicz (1968) – badacze związani bezpośrednio lub pośrednio z ówczesnym Instytutem Balneoklimatycznym w Poznaniu. Kliniczne badania biometeorologiczne prowadzono na ogół przy współpracy klimatologów z lekarzami zatrudnionymi w klinikach chorób wewnętrznych Akademii Medycznych, a także w ośrodkach naukowo-badawczych w uzdrowiskach. Zagadnieniami z zakresu biometeorologii człowieka zajmowano się także w Pracowni Biometeorologii, a następnie Pracowni Bioklimatologii Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie, prowadzonej w latach 1964–1984 przez M. Baranowską. Obecnie badania w tym zakresie są kontynuowane przez A. Martynuską i B. Wojtach w Sekcji Prognoz Biometeorologicznych Centralnego Biura Prognoz IMGW.

Także na uczelniach wyższych były wykonywane opracowania z zakresu biometeorologii człowieka m.in. przez np. S. Zycha, H. Dubaniewicz, oraz J. Skrzypskiego (UL), K. Marciniaka (UMK), M. Kopacz (UW). Wiele prac z zakresu biometeorologii sportu powstało w Akademii Wychowania Fizycznego, np. w Poznaniu, Warszawie, Krakowie. Prezentowano je na Krajowych Sympozjach Biometeorologii Sportu (1964–1982) i publikowano w serii Monografie, Podręczniki, Skrypty WSWF w Poznaniu. Również w Zakładzie Klimatologii IGiPZ PAN prowadzono studia z zakresu biometeorologii człowieka (K. Błażejczyk, T. Kozłowska-Szczęsna, B. Krawczyk, M. Kuchcik), niektóre przy współpracy z lekarzami i fizjologami.

Warto odnotować, że już w 1874 r. ukazała się w języku polskim praca Z. Oppenheimera pt.: *Wpływ klimatu na człowieka*, w której analizowano wpływ różnych warunków termicznych na funkcjonowanie organizmu człowieka, a nawet na jego cechy psychofizyczne. Na uwagę zasługują także inne prace z zakresu biometeorologii człowieka np.: *Biometeorologia ekologiczna* (Trojan, 1985), *Przyroda i nasze zdrowie* (Daniłova, 1988), *Biometeorologia turystyki* (Dubaniewicz i inni, 1988, 1989), *Zarys biometeorologii człowieka* (Mroccka, 1992), *Biometeorologia turystyki i rekreacji* (Bogucki, red., 1999), *Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce* (Błażejczyk, 2004).

W dniu 29 sierpnia 1956 r. na posiedzeniu w siedzibie UNESCO w Paryżu, założono Międzynarodowe Towarzystwo Bioklimatologii i Biometeorologii (International Society of Bioclimatology and Biometeorology – ISBB). Jednakże już na Kongresie w Londynie w 1960 r. podjęto uchwałę o zmianie nazwy na Międzynarodowe Towarzystwo Biometeorologii (International Society of Biometeorology – ISB). Organem Towarzystwa było początkowo czasopismo pt. International Journal of Bioclimatology and Biometeorology (pod tą nazwą wydano 4 roczniki: vol. 1/1957, 2/1958, 3/1959, 4/1960), a od 1961 r. czasopismo zmieniło nazwę na International Journal of Biometeorology. Od tomu 5/1961 do 11/1967 czasopismo wychodziło jako półrocznik, a następnie jako kwartalnik od tomu 12/1968. W 2004 r. ukazał się 49 tom tego czasopisma.

Zjazdy (Kongresy) Towarzystwa organizowane są od 1957 r. co 3 lata, w różnych krajach i dają przegląd badań w tej dziedzinie wiedzy. Dotychczas odbyło się 16 Międzynarodowych Kongresów Biometeorologicznych; ostatnie: XV w Australii – Sydney, 8–12 XI 1999 r., XVI w USA – Kansas City, 28 X–1 XI 2002 r., XVII planowany jest w Niemczech – w Garmisch-Partenkirchen, 5–9 IX 2005 r. (zestawienie wcześniejszych Kongresów ISB zawiera *Bioklimatologia człowieka* (Kozłowska-Szczęśna i inni, 1997).

W 1954 r. powstało Polskie Towarzystwo Balneoklimatyczne, nawiązujące do tradycji Polskiego Towarzystwa Balneologicznego (1905–1939). W 1965 r. zostało ono przekształcone w Polskie Towarzystwo Balneologii, Bioklimatologii i Medycyny Fizykalnej, a w 2001 r. skrócono jego nazwę do: Polskie Towarzystwo Balneologii i Medycyny Fizykalnej. Towarzystwo organizuje Ogólnopolskie Zjazdy Balneologiczne z udziałem gości zagranicznych, na których prezentowane są między innymi najnowsze prace z zakresu polskiej bioklimatologii i biometeorologii. Staraniem Towarzystwa zorganizowano dotychczas 19 Zjazdów, poczynając od 1954 r. Jubileuszowy, 20 Zjazd w 100-lecie PTB planowany jest w Krynicy we wrześniu 2005 r. (pełny wykaz Zjazdów PTBBiMF opublikowano w *Bioklimatologii człowieka*, Kozłowska-Szczęśna i inni, 1997).

Staraniem Polskiego Towarzystwa Balneologicznego w latach 1905–1935 wydawano rocznik pt. Pamiętniki Polskiego Towarzystwa Balneologicznego, a następnie Acta Balneologica Polonica do 1939 r. Od 1951 r. publikowany jest kwartalnik Balneologia Polska – czasopismo poświęcone zagadnieniom uzdrowiskowym, fizykoterapii, bioklimatologii oraz biometeorologii. W roku 2004 ukazał się 46 tom tego czasopisma. W ramach PTBBiMF wydawano także przez 12 lat (1956–1967) kwartalnik Wiadomości Uzdrowiskowe, a przez 32 lata (1959–1990) wychodził miesięcznik Problemy Uzdrowiskowe.

## 2. Klimatyczne uwarunkowania zachorowalności i umieralności w Polsce

### 2.1. Masy powietrza i układy baryczne oraz ich znaczenie meteorotropowe

Szczególnie ważne dla samopoczucia człowieka są stany pogody, związane z napływem nad obszar Polski powietrza z różnych kierunków, zależnie od rozkładu przestrzennego ciśnienia atmosferycznego ze wszystkimi jego formami i z przechodzeniem frontów atmosferycznych.

Opierając się na danych z czterdziestolecia 1951–1990 można stwierdzić, że w ponad 24% przypadków nad Polską przemieszcza się powietrze z sektora zachodniego, w ponad 23% z sektora północnego, w blisko 21% z sektora południowego i w 18% z sektora wschodniego (Woś, 1999).

Nad obszar Polski napływają trzy główne masy powietrza: polarnego (PP), arktycznego (PA) i zwrotnikowego (PZ). Masy te mają specyficzne cechy fizyczne związane z miejscem ich tworzenia (morskie i kontynentalne), a także z transformacją przez cechy podłoża (świeże i stare). W tabeli 2.1.1 podano średnią roczną częstość występowania mas powietrza nad Polską w latach 1971–1995 (Więclaw, 2004).

Tabela 2.1.1. Średnia roczna częstość (%) mas powietrza nad niektórymi miejscowościami Polski w latach 1971–1995 (wg: Więclaw, 2004)

Masy powietrza	Koszalin	Suwałki	Toruń	Legnica	Zamość
Arktyczne	18,8	20,3	18,0	16,1	16,7
Polarne morskie	68,4	62,7	66,7	70,4	64,0
Polarne kontynentalne	9,7	13,4	10,9	9,4	13,9
Zwrotnikowe	1,4	2,2	2,1	2,4	3,6
Nieokreślone	1,7	1,4	2,3	1,7	1,8

Masy powietrza polarnego napływają nad obszar Polski bądź z zachodu, znad północnego Atlantyku – jako powietrze polarne morskie (PPm), bądź też ze wschodu – jako powietrze polarne kontynentalne (PPk). Powietrze polarne morskie charakteryzuje znaczna wilgotność. Jest najczęściej nad Polską obserwowaną masą powietrza – średnio w roku jego częstość w badanym okresie wynosiła od około 63% na północnym wschodzie do powyżej 70% na południowym zachodzie. W zimie przynosi ocieplenie i odwilże, wzrost zachmurzenia i opady śniegu lub deszczu, natomiast w lecie ochłodzenie, duże zachmurzenie i opady. Powietrze polarne kontynentalne, o niskiej wilgotności i małym zachmurzeniu,

w zimie sprowadza pogodę mroźną bez opadów, a w lecie pogodę słoneczną, gorącą i suchą, często z burzami. Masa ta częściej zalega we wschodniej Polsce, gdzie jej frekwencja przewyższa 13% średnio w roku, podczas gdy na zachodzie kraju jest mniejsza od 10%.

Powietrze arktyczne (PA) napływające z północy, przynosi pogodę zmienną z ochłodzeniem, z małym zachmurzeniem i dużą przezroczystością powietrza. Masa ta występuje w Polsce ze średnią roczną częstością od około 16% w części południowej do nieco ponad 20% na północnym wschodzie.

Powietrze zwrotnikowe (PZ) jest najrzadziej obserwowane w naszym kraju. Napływające z obszaru Azorów i Morza Śródziemnego jest wilgotne, natomiast znad północnej Afryki oraz Małej Azji jest suche, bardzo gorące i o znacznym zapyleniu. W lecie przynosi pogodę bardzo gorącą, a w zimie gwałtowne ocieplenie. Średnia roczna częstość tej masy powietrza waha się od 1,5% na północnym zachodzie do blisko 4% na południowym wschodzie.

Omówione wyżej masy powietrza napływające nad obszar Polski mają istotny wpływ na samopoczucie i zdrowie człowieka. Masy powietrza polarnego morskiego i arktycznego, zwłaszcza w układach niżowych, odznaczają się dużą aktywnością meteorotropową, szczególnie w odniesieniu do chorób układu oddechowego, układu krążenia i układu narządów ruchu. Przy napływie powietrza zwrotnikowego wzrasta natomiast liczba zgonów, w tym w grupie osób starszych, szczególnie latem i wiosną.

Niżej podano częstość występowania mas powietrza, układów barycznych i dni z frontami atmosferycznymi w Warszawie (tab. 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4), gdyż w dalszej części pracy przytaczane są przykłady występowania chorób meteorotropowych, wypadków i zgonów notowanych w stolicy.

Tabela 2.1.2. Częstość (%) zalegania mas powietrza w Warszawie w latach 1993–2002

Masy powietrza	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
PPm	8,5	10,0	7,4	6,6	8,1	8,3	9,3	7,3	8,1	10,0	7,8	8,9	34,6
PPms	10,6	7,2	5,3	6,7	6,0	10,8	12,3	11,1	8,4	7,0	7,5	7,1	25,4
PPk	11,3	1,9	10,6	7,7	8,6	3,4	7,2	13,9	8,4	4,1	10,3	12,7	11,4
PA	8,8	11,7	12,7	8,8	10,9	5,7	0,8	1,8	7,8	9,9	11,2	9,9	10,6
PAs	5,1	7,4	16,3	13,8	10,6	3,0	3,0	4,1	10,6	9,0	8,0	9,2	11,9
PZ	0,9	1,3	1,8	13,0	12,6	20,6	14,8	14,3	4,0	11,2	4,9	0,4	6,1

Za 100% przyjęto liczbę dni w roku z daną masą powietrza.

Powietrze polarne morskie (PPm) występowało nad Warszawą w badanym okresie przez 126,4 dni średnio w roku, najczęściej było obserwowane w lutym oraz w październiku. Powietrze to, w znacznym stopniu przekształcone, określane jako „stare” (PPms), napływało średnio w roku



przez 92,8 dni, przeważnie w lecie, ale także w styczniu. Z kolei powietrze polarne kontynentalne (PPk) najczęściej było obserwowane w sierpniu oraz w okresie od listopada do stycznia, średnio przez 41,7 dni w roku (tab. 2.1.2).

Powietrze arktyczne (PA) zalegało nad Warszawą przez 38,5 dni średnio w roku. Najczęściej było notowane pod koniec zimy i na wiosnę, a także w listopadzie. Częściej, bo przez 43,5 dni średnio w roku, obserwowano powietrze arktyczne stare (PAs) – głównie na wiosnę i na początku jesieni.

Z kolei powietrze zwrotnikowe (PZ) zalegało nad Warszawą średnio przez 22,3 dni w roku. Najczęściej notowano je w okresie od kwietnia do sierpnia z maksimum częstości w czerwcu oraz w październiku.

Jeżeli chodzi o układy baryczne, to najczęstsze w centrum Polski (tab. 2.1.3) były w latach 1994–1995 układy związane z niżem (centrum niżu, zatoka niżowa, skraj niżu itp.), które zalegały przez 172,5 dni średnio w roku. Układy wyżowe (wyż, klin wyżowy itp.) występowały przez 157,5 dni średnio w roku, z maksimum głównym w lipcu i drugorzędym w październiku oraz grudniu.

Tabela 2.1.3. Częstość (%) układów barycznych w Warszawie w latach 1994–1995 (wg: Kuchcik, 2000)

Układy baryczne	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Niżowe	10,4	8,7	10,7	9,6	8,1	9,0	4,9	8,4	11,0	6,1	7,2	5,8	47,3
Wyżowe	5,4	6,3	6,7	6,7	9,8	7,9	13,3	8,9	4,4	10,8	8,9	10,8	43,2
Przejściowe	12,9	8,6	5,7	8,6	4,3	5,7	4,3	7,1	11,4	10,0	10,0	11,4	9,6

Za 100% przyjęto liczbę dni w roku z danym rodzajem układu barycznego.

Należy zaznaczyć, że układy niżowe, działające najbardziej meteorotropowo, najczęściej obserwowano we wrześniu, marcu i styczniu, wówczas występuje też wzrost liczby zachorowań na choroby układu oddechowego i zaostrzenia chorób reumatycznych. W sytuacjach przejściowych od niżu do wyżu oraz przy wyżu z zaburzeniami wzrasta liczba zawałów serca, nasilają się dolegliwości kostno-stawowe (zwłaszcza przy spadku temperatury i wzroście wilgotności powietrza), zwiększa się także liczba zdarzeń na drodze i umieralność.

Przemierzające się nad Polską omówione wyżej masy powietrza o różnych właściwościach fizycznych oddzielone są od siebie strefami przejściowymi, tak zwanymi powierzchniami frontowymi. Polska należy do regionów Europy, nad którymi stosunkowo często i niemal przez cały rok pojawiają się fronty atmosferyczne. Kraj nasz bowiem leży na szlaku częstych starć wilgotnych mas powietrza znad Atlantyku z bardziej suchymi masami kontynentalnymi, a rozdzielające je fronty atmosferyczne są przyczyną nagłych zmian pogody (Paszyński i Niedźwiedz, 1999; Woś, 1999).

W latach 1994–1995 zaobserwowano nad Warszawą średnio w roku 137 dni z frontami atmosferycznymi. Zima i wiosna to pory roku, w których fronty występowały wyjątkowo często, bo przez 37,5 dni (z maksimum 14,5 w styczniu i 15 w marcu), latem odnotowano 30 takich dni (z maksimum 12,5 w czerwcu), a jesienią 32 dni (z maksimum 12 we wrześniu). Fronty atmosferyczne (tab. 2.1.4) cechują się znacznym, niekorzystnym wpływem na samopoczucie człowieka, w tym szczególnie fronty chłodne, które obserwowano średnio przez 55 dni w roku, najczęściej w lecie i pod koniec jesieni. Fronty ciepłe występowały przez 30,5 dni w roku, a wzrost ich częstości zaznaczył się w styczniu i lutym. Duży wpływ na człowieka mają także inne fronty (zokludowane, stacjonarne), których odnotowano 25 dni średnio w roku. Dni wielofrontalnych (z dwoma, a nawet trzema frontami) odnotowano średnio w roku 26,5; najwięcej tych dni wystąpiło w marcu i w styczniu. W dniach z frontem chłodnym i frontem okluzji stwierdzono wyraźny wzrost wypadków przy pracy na wolnym powietrzu oraz kolizji i wypadków drogowych.

Tabela 2.1.4. Częstość (%) dni z frontami atmosferycznymi w Warszawie w latach 1994–1995 (wg: Kuchcik, 2000)

Fronty atmosfer.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Chłodne	8,2	7,3	7,3	4,5	8,2	11,8	8,2	10,0	7,3	8,2	10,9	8,2	15,1
Ciepłe	13,1	11,5	9,8	8,2	6,6	6,6	6,6	3,3	8,2	8,2	8,2	9,8	8,4
Inne	8,0	12,0	10,0	12,0	14,0	6,0	6,0	6,0	12,0	4,0	4,0	6,0	6,8
Dni wielofr.	15,1	9,4	20,8	7,5	9,4	9,4	3,8	1,9	9,4	1,9	7,5	3,8	7,3

Za 100% przyjęto liczbę dni w roku z danym rodzajem frontu atmosferycznego.

## 2.2. Bodźce atmosferyczne

Organizm człowieka podlega nieustannemu działaniu różnych elementów środowiska atmosferycznego, które kształtują odczucia cieplne, samopoczucie, a nawet wpływają na stan zdrowia. Poza podstawowymi elementami meteorologicznymi, takimi jak: promieniowanie słoneczne, temperatura i wilgotność powietrza, ciśnienie atmosferyczne oraz ruch powietrza i opady, ważne są także zanieczyszczenia pyłowe i gazowe powietrza, jonizacja powietrza, natężenie pól elektromagnetycznych, zawartość pierwiastków śladowych (w tym także radioaktywnych) w powietrzu, hałas i wibracje, itp.

Wszystkie wymienione wyżej elementy środowiska atmosferycznego stają się bodźcem wówczas, gdy w krótkim czasie następuje zmiana ich parametrów (Mączyński, 1978). Pod wpływem zróżnicowanych bodźców, oddziałujących zespołowo, nieprzerwanie, z natężeniem zmieniającym się

w czasie i przestrzeni, układ nerwowy wegetatywny wraz z układem wewnątrzwydzielniczym wywala różne reakcje organizmu człowieka powodujące pozytywne lub negatywne zmiany czynnościowe, metaboliczne i morfologiczne. Działanie poszczególnych bodźców może być zwiększone przez ich współdziałanie (synergizm). Wówczas nawet mało znaczący i słaby bodziec wzmacnia efekt działania innych bodźców. U podstaw reakcji człowieka na bodźce środowiska atmosferycznego leży występujący powszechnie w przyrodzie meteorotropizm, który przejawia się we wrażliwości organizmu na krótkookresowe zmiany warunków atmosferycznych.

Reakcja organizmu na bodźce atmosferyczne zależy przede wszystkim od ich natężenia oraz czasu trwania:

- bodźce słabe powodują utratę przystosowania lub wydelikacenie,
- bodźce umiarkowane działają pobudzająco, hartująco, a także leczniczo,
- bodźce silne mogą działać szkodliwie, ponieważ powodują obciążenie lub przeciążenie organizmu człowieka.

Granice pomiędzy poszczególnymi typami bodźców są zmienne i trudne do uchwycenia, zależą bowiem od wieku, stanu zdrowia, wrażliwości fizycznej i psychicznej człowieka itp. Bodźce silne są na ogół dobrze tolerowane przez ludzi zdrowych o sprawnym układzie termoregulacyjnym i łatwej aklimatyzacji.

Bodźce w zależności od ich rodzaju T. Kozłowska-Szczęśna ujęła w trzy podstawowe grupy (Kozłowska-Szczęśna i inni, 1997):

I – zespół bodźców fizycznych (radiacyjne, termiczno-wilgotnościowe, mechaniczne, elektryczne, akustyczne);

II – zespół bodźców chemicznych (jakości powietrza – zanieczyszczenia naturalne nieorganiczne i organiczne oraz sztuczne antropogeniczne);

III – zespół bodźców biologicznych (aeroplankton, substancje lotne).

Bodźce atmosferyczne odbierają:

**skóra** – głównie przez termoreceptory ciepła i zimna: skóra jest wrażliwa na promieniowanie słoneczne, temperaturę i wilgotność powietrza, prędkość wiatru, zanieczyszczenia chemiczne; **drogi oddechowe** wrażliwe są na zmiany temperatury i wilgotności powietrza, ciśnienia atmosferycznego, prędkość wiatru, jonizacji powietrza, a także substancje biologiczne zawarte w powietrzu; **narządy węchu i smaku** reagują na zanieczyszczenia gazowe powietrza i zapachy; **narząd słuchu** jest wrażliwy na prędkość wiatru, burze z wyładowaniami elektrycznymi, szum fal; **narząd wzroku** silnie reaguje na promieniowanie słoneczne, światło, zachmurzenie, mgłę, składniki chemiczne powietrza; system nerwowy zaś reaguje głównie na zmiany sytuacji synoptycznej.

### 2.2.1. Zespół bodźców fizycznych

Najsilniej oddziałują na człowieka bodźce fizyczne, które obejmują: bodźce radiacyjne (promieniowanie słoneczne), bodźce termiczno-wilgotnościowe (temperatura i wilgotność powietrza), bodźce mechaniczne (wiatr, ciśnienie atmosferyczne), bodźce elektryczne (elektryczność atmosferyczna), bodźce akustyczne (hałas) (tab. 2.2.1).

Tabela 2.2.1. Bodźce fizyczne oddziałujące na człowieka

Bodźce radiacyjne	Bodźce termiczno-wilgotnościowe		Bodźce mechaniczne		Bodźce elektryczne	Bodźce akustyczne
	temperatura powietrza	wilgotność powietrza	wiatr	ciśnienie atmosferyczne		
promieniowanie słoneczne						
Ultrafioletowe <0,400 $\mu\text{m}$	$t_{\text{max}} > 25,0^{\circ}\text{C}$ dni gorące	$e > 18,8$ hPa parność	$v < 1$ $\text{ms}^{-1}$ wiatr bardzo słaby	$dp > 8$ hPa duża zmiana ciśnienia	100–130 $\text{Vm}^1$ , natężenie pola przy powierzchni Ziemi	35 dB próg szkodliwości
Widzialne 0,400–0,780 $\mu\text{m}$	$t_{\text{max}} > 30,0^{\circ}\text{C}$ dni upalne	$RH > 86\%$ bardzo wilgotno	$v > 8$ $\text{ms}^{-1}$ wiatr silny			>85 dB hałas niezdolny
Podczerwone >0,780 $\mu\text{m}$	$t_{\text{max}} < -10,0^{\circ}\text{C}$ dni bardzo mroźne					
	$dt > 6,0^{\circ}\text{C}$ zmiana podrażniająca					

$dt$  – międzydobowa zmiana temperatury powietrza,  $t_{\text{max}}$  – temperatura maksymalna powietrza ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $e$  – ciśnienie pary wodnej (hPa),  $RH$  – wilgotność względna powietrza (%),  $v$  – prędkość wiatru ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $dp$  – międzydobowa zmiana ciśnienia atmosferycznego.

#### Bodźce radiacyjne

Spośród bodźców fizycznych o największym znaczeniu biologicznym należy wymienić promieniowanie słoneczne w trzech zakresach długości fal elektromagnetycznych: nadfioletowym <0,400  $\mu\text{m}$ , widzialnym 0,400–0,780  $\mu\text{m}$  oraz podczerwonym o długości fali >0,780  $\mu\text{m}$ . Ogólnie można stwierdzić, że promieniowanie słoneczne – odpowiednio dozowane – jest bodźcem korzystnym dla organizmu człowieka, ponieważ wzmacnia działanie gruczołów wydzielania wewnętrznego, układu krwiotwórczego i zwiększa odporność człowieka na zakażenia. Poszczególne zakresy widma różnią się działaniem biologicznym (tab. 2.2.2).

**Promieniowanie nadfioletowe (UV)** stanowi niewielką część widma słonecznego, bo tylko około 8–9% (Martynuska i Baranowska, 1996), przy czym rozproszenie i osłabienie UV w dolnych warstwach atmosfery sprawia, że jego natężenie w obszarach pozamiejskich jest o 75% większe niż

w miastach. Według badań wykonanych w centrum Warszawy udział promieniowania nadfioletowego w promieniowaniu całkowitym wynosi około 3% średnio w roku i zmienia się od 1,6% w styczniu do 3,9% we wrześniu (Błażejczyk, 2002; Błażejczyk i Baranowski, 2003).

Tabela 2.2.2. Działanie biologiczne promieniowania słonecznego o różnych zakresach widma (wg: Jendritzky, 1995)

Promieniowanie nadfioletowe <0,400 $\mu\text{m}$	UV-C (0,200–0,280 $\mu\text{m}$ )	działanie bakteriobójcze, <b>niszczenie żywych komórek</b>
	UV-B (0,281–0,315 $\mu\text{m}$ )	reakcja erytemalna (rumień fotochemiczny), pigmentacja opóźniona, działanie przeciwkrzywicze, działanie antibakteryjne, <b>starzenie skóry, zaćma, rak skóry, obniżenie odporności</b>
	UV-A (0,316–0,400 $\mu\text{m}$ )	pigmentacja natychmiastowa, leczenie łuszczycy, <b>starzenie skóry</b>
Promieniowanie widzialne	(0,401–0,780 $\mu\text{m}$ )	działanie na układ nerwowy poprzez narząd wzroku pobudzenie układu hormonalnego
Promieniowanie podczerwone	>0,780 $\mu\text{m}$	efekt cieplny, wzmożenie przemiany materii

Promieniowanie nadfioletowe jest najaktywniejszą biologicznie częścią widma słonecznego (szczególnie UV-B). Działa ono bakteriobójczo (przyspiesza gojenie ran), hartująco, wywołuje również w organizmie człowieka szereg przemian chemicznych, w wyniku których tworzy się witamina D<sub>3</sub>, zwana przeciwkrzywiczną. UV wzmacnia działanie układu krwiotwórczego, gruczołów wydzielania wewnętrznego, przemiany materii (szybsze spalanie tłuszczów), ułatwia prace mięśni. Pod wpływem promieniowania UV wytwarza się w skórze barwnik melaninowy, mający zdolność pochłaniania i rozpraszania tej części widma i zapobiegający jego wnikaniu w głąb skóry. Silnym działaniem rumieniotwórczym odznacza się UV-B zwane również promieniowaniem erytemalnym, o długości fali 0,280–0,315  $\mu\text{m}$  (Martynuska i Baranowska, 1996; Kożuchowski, 1998).

Strumień promieniowania UV-C jest całkowicie pochłaniany w górnych warstwach atmosfery przez tlen i ozon, do powierzchni Ziemi dociera głównie promieniowanie UV-A i niewielka ilość UV-B. Promieniowanie to jest częściowo rozpraszane i odbijane przez różne powierzchnie naturalne. Na przykład świeży śnieg odbija około 80% UV, piasek około 25%, co może zwiększyć strumień promieniowania UV padającego na człowieka przebywającego zimą w górach lub na plaży latem. Warto dodać, że około 95% promieniowania UV przenika do wody, przy czym 50% do głębokości około 3 m. Natężenie promieniowania UV wzrasta z wysokością nad poziomem morza średnio o 6–8% na każde 1000 m wysokości (Lityńska i inni, 2001). Na osłabienie dopływu promieniowania nadfioletowego wpływa zachmurzenie. Na przykład przy zachmurzeniu całkowitym do

powierzchni Ziemi dopływa tylko 45% jego ilości notowanej w warunkach nieba bezchmurnego (Tycza, 1975).

Przyjmuje się, że niezbędne do wywołania pigmentacji skóry człowieka natężenie promieniowania UV-B występuje przy wysokościach Słońca powyżej 30°, natomiast dolna granica fotochemicznej aktywności promieniowania słonecznego określona jest wysokością Słońca 20°. Zatem wysokość Słońca nad horyzontem może być wskaźnikiem oceny przydatności warunków solarnych do helioterapii (Góra, 1973; Kuczmarowski, 1990).

Kąpiele słoneczne powinny być dozowane przy zastosowaniu tzw. dawek rumieniowych. Jest to dawka promieniowania nadfioletowego w zakresie UV-B, powodująca wystąpienie rumienia fotochemicznego (zaczerwienienia) na średnio wrażliwej skórze białego człowieka. Do oceny rumieniotwórczego oddziaływania promieniowania UV stosowana jest tzw. minimalna dawka rumieniowa (MED). 1 MED (*Minimal Erythematol Dose*) – to efektywna dawka promieniowania UV powodująca wystąpienie rumienia na nieekspozowanej wcześniej skórze człowieka. Może być ona wyrażona zarówno w jednostkach energetycznych jak i w minutach. Wielkość dawki rumieniowej zależy od indywidualnych właściwości ochronnych skóry (pigmentacja) związanych z typem skóry (tab. 2.2.3). Trzeba dodać, że największa wrażliwość populacji europejskiej na działanie promieniowania nadfioletowego występuje w okresie wiosennym, natomiast najmniejsza w miesiącach letnich (Martynuska i Baranowska, 1996).

Tabela 2.2.3. Podstawowe typy skóry populacji europejskiej i ich reakcja na promieniowanie słoneczne (wg: Lityńska i inni, 2001; Martynuska i Baranowska, 1996)

Typ skóry	Kolor skóry	Oparzenie słoneczne	Opalenizna (brązowienie)	Czas bezpiecznego przebywania na słońcu*	1 MED. J·m <sup>-2</sup>
I	bardzo jasna	zawsze	nie występuje	<20	200
II	jasna	często	słaba	20	250
III	jasnobrązowa	rzadko	wyrazista	30	350
IV	brązowa lub oliwkowa	nigdy	mocna	40	450

\* przy wartościach Indeksu *UVI* = 8, częstego w Polsce w okresie letnim.

Czas bezpiecznego (bez żadnej ochrony) przebywania na słońcu latem w Polsce wynosi przeciętnie <20 min dla typu skóry I, dla typu II – 20 min, III – 30 min, IV – około 40 min (Lityńska i inni, 2001). Przekraczanie tego czasu wymaga stosowania odpowiednich kremów ochronnych z filtrem o liczbie tym większej, im dłużej pozostaje się na słońcu i im jaśniej-

szy jest typ skóry. Według badań przeprowadzonych na plaży w Kołobrzegu (Tyczka, 1975; Tyczka i inni, 1971, 1975) średnia wartość dawki rumieniowej ( $DR$ ) na wybrzeżu Bałtyku wynosi: dla blondynów (skóra mało pigmentowana) 36 min, dla szatynów o nieco ciemniejszej karnacji 40 min, a dla brunetów 43 min. Wartości te dotyczą wysokości Słońca  $50-60^\circ$  nad horyzontem i pogody bezchmurnej. Czas potrzebny do wywołania lekkiego rumienia skóry można obliczyć według prostego wzoru (Tyczka, 1975; Kozłowska-Szczęsna i inni, 1997; Kozłowska-Szczęsna i Błażejczyk, 1998):

$$DRS = \frac{DR}{0,001433 \cdot K_{dir}}$$

gdzie:  $DRS$  – dawka rumieniowa skóry (min),

$DR$  – średnia dawka rumieniowa (dla blondynów – 36 min, dla szatynów – 40 min, dla brunetów – 43 min),

$K_{dir}$  – bezpośrednie promieniowanie słoneczne ( $W \cdot m^{-2}$ ).

W celu ochrony przed skutkami promieniowania UV w wielu krajach stosuje się zalecany przez WHO i WMO tzw. *UVI Index*. Jest to jednostka miary intensywności tego promieniowania ilustrująca oddziaływanie na skórę człowieka; oznacza maksymalną, przewidywaną na dany dzień dawkę UV docierającego do powierzchni Ziemi w godzinach okołopołudniowych, z uwzględnieniem zawartości ozonu i wielkości zachmurzenia. Wartości tego indeksu w okresie od maja do września można znaleźć na stronach internetowych IMGW (Lityńska i inni, 2001).

Skutki przekroczenia progu bezpiecznej ekspozycji na słońce są często nieodwracalne. Do mniej groźnych należy wysuszenie, zrogowacenie i przebarwienia skóry, przedwczesne jej starzenie, oparzenia, osłabienie odporności organizmu (opryszczki, skłonności do przeziębień). Do najgroźniejszych należy uszkodzenie DNA jądra komórek skóry prowadzące do względnie łagodnych nowotworów skóry, ale również groźnego dla życia człowieka czerniaka. Intensywne opalanie się może także być przyczyną nowotworów oczu, zaćmy, a nawet udaru słonecznego. Trzeba dodać, że pierwszy medyczny opis zmian degeneracyjnych skóry zachodzących pod wpływem promieniowania słonecznego pochodzi już z 1894 r. (Nurkowska, 1997). Również niektóre leki mogą być źle tolerowane podczas kąpieli słonecznych, np.: antybiotyki, sulfonamidy i środki psychotropowe, a niektóre zioła, np. dziurawiec, mogą wywołać przejściową nadwrażliwość skóry (Hessman-Kosaris, 1998).

**Promieniowanie widzialne** działa pobudzająco na układ nerwowy poprzez wrażenia wizualne odbierane przez światłoczułe komórki oka. Decyduje także o psychicznym odczuwaniu pogody oraz wpływa na układ hormonalny i na aktywność procesów biologicznych organizmu (rytmy biologiczne).

**Promieniowanie podczerwone** dostarcza człowiekowi energii cieplnej. Ciepło uzyskane tą drogą przyspiesza reakcje chemiczne organizmu (wzrost tempa przemiany materii, zwiększenie zapotrzebowania na tlen), działa przeciwskurczowo i przeciwbólowo – łagodzi ból różnego pochodzenia (np. bóle reumatyczne, pourazowe, z odmrożeń), a ponadto ułatwia zachowanie równowagi cieplnej (homeotermii).

Bodźce radiacyjne oddziałujące na człowieka fotochemicznie, termicznie, bakteriobójczo i psychicznie określa się na podstawie natężenia całkowitego promieniowania słonecznego i czasu usłonecznienia. W przypadku braku danych o usłonecznieniu, kryterium oceny warunków solarnych może być wielkość pokrycia nieba przez chmury. Zachmurzenie ma bowiem wyraźny wpływ na zmiany aktywności biologicznej organizmu i samopoczucie człowieka. Najkorzystniejsze są dni z zachmurzeniem poniżej 50%, zaś dłuższe okresy z zachmurzeniem całkowitym (100%) wpływają na człowieka niekorzystnie: sprzyjają zaburzeniom snu, wzmagają uczucie zmęczenia, zmniejszają odporność organizmu, obniżają sprawność fizyczną i umysłową (Kozłowska-Szczęsna i inni, 1997).

### *Bodźce termiczno-wilgotnościowe*

Temperatura i wilgotność powietrza mogą działać zarówno hartująco jak i obciążająco na organizm człowieka, zależnie od intensywności tych bodźców (Mączyński, 1978). Te dwa elementy wraz z promieniowaniem słonecznym i prędkością wiatru kształtują odczuwalne warunki termiczne.

Wahania temperatury powietrza w zakresie 18–23°C (tzw. warunki termoneutralne) nie wpływają znacząco na zmianę temperatury wewnętrznej człowieka, która wynosi około 37°C. Poza tym zakresem jednakże, nawet krótkotrwałe zmiany temperatury otoczenia mogą powodować zaburzenia gospodarki cieplnej organizmu. Nagłe zmiany temperatury i wilgotności powietrza wywołują przeziębienia – szczególnie podczas ciepłych dni letnich, np. na wybrzeżu Bałtyku, przy adwekcji chłodnego powietrza znad morza (bryza morska).

Wpływ wysokiej temperatury powietrza przejawia się złym samopoczuciem, zmniejszeniem wydolności fizycznej i psychicznej, zwiększeniem tętna i obniżeniem ciśnienia krwi, przyspieszeniem oddechu oraz zwiększeniem wydzielania potu. Przyjmuje się, że temperatura maksymalna 25,0°C i powyżej oznacza dzień gorący, zaś powyżej 30,0°C – dzień upalny, a kilka po sobie następujących dni upalnych tworzy tzw. „fale upałów”. Jeśli wysokiej temperaturze towarzyszy wysoka wilgotność powietrza ( $e > 18,8$  hPa), występuje uciążliwe dla człowieka zjawisko parności i wówczas oddawanie ciepła przez drogi oddechowe i skórę jest utrudnione, a układ termoregulacji nadmiernie obciążony. Taki stan fizyczny powietrza jest źle tolerowany przez układ krążenia.



Niekorzystne dla człowieka są również dni bardzo mroźne z temperaturą maksymalną  $< -10,0^{\circ}\text{C}$ , zwłaszcza gdy towarzyszy jej silny wiatr. Mogą wystąpić wówczas znaczne straty ciepła, prowadzące nawet do odmrożeń nieosłoniętych części ciała. Także zmiana średniej dobowej temperatury powietrza przekraczająca  $6,0^{\circ}\text{C}$  jest silnym bodźcem obciążającym organizm człowieka. Fizjologiczny mechanizm obrony przed zimnem (zwiększenie przemiany materii, zwężenie naczyń krwionośnych skóry) jest wspomagany przez odpowiednią odzież, dietę i zachowanie (ruch). Niemniej nie zawsze działania te są wystarczające i wtedy gdy straty ciepła są większe niż jego wytwarzanie, organizm się wychładza, a człowiek odczuwa zimno.

Intensywność bodźców termiczno-wilgotnościowych można określić na podstawie kryteriów termicznych i higrycznych oraz zespołowych wskaźników biometeorologicznych, jak też analizując wymianę ciepła między człowiekiem a środowiskiem atmosferycznym. Kryteria termiczne obejmują: częstość temperatury maksymalnej i minimalnej powietrza przekraczającej określone progi liczbowe, średnia dobowa temperatura powietrza, jej międzydobowa zmienność, amplituda dobowa oraz zmienność międzyterminowa. Kryteria higryczne to: niska i wysoka wilgotność powietrza, wilgotność fizjologiczna, niedosyt fizjologiczny, wskaźnik parności powietrza, częstość opadów (szczególnie całodziennych) i mgieł. Do zespołowych wskaźników biometeorologicznych zalicza się temperaturę ekwiwalentną, temperaturę efektywną, temperaturę radiacyjno-efektywną, entalpię powietrza, wskaźnik surowości pogody, wskaźnik ostrości zim, wskaźnik ochładzania wiatrem, temperaturę zredukowaną, wielkość ochładzającą powietrza, wskaźnik odczucia ciepła. Wskaźniki te zostały opisane w pracy *Bioklimatologia człowieka* (Kozłowska-Szczęsna i inni, 1997).

### *Bodźce mechaniczne*

Do głównych bodźców mechanicznych zalicza się ruch powietrza i ciśnienie atmosferyczne. Wiatr wywiera na skórę ciśnienie aerodynamiczne, spełnia rolę hartującą (mikromasaż), a ponadto jest czynnikiem kształtującym odczuwalność cieplną człowieka. Wiatr współdziała w kształtowaniu się odczuwalnych warunków termicznych przez przyspieszenie oddawania ciepła jawnego i utajonego (parowanie). Silny wiatr zwiększa uciążliwość pogody mroźnej w zimie potęgując odczucie chłodu, a łagodzi odczucie ciepła w gorące dni letnie. Może także utrudniać oddychanie, zmniejszać zdolność do wysiłku, powodować niepokój, zaburzać sen, przenosić pyły, cząsteczki organiczne, cząsteczki wody itp. Pyły przenieszone przez wiatr działają w sposób mechaniczny na odsłonięte części ciała: ranią oczy, drażnią śluzówki jamy ustnej i dróg oddechowych a w zapyłonym powietrzu zwiększa się ilość bakterii chorobotwórczych.

Silny wiatr jest także cechą klimatu obszarów górskich (wiatry typu fenowego). Zaslужują one na szczególną uwagę, gdyż przynoszą wzrost temperatury powietrza i spadek wilgotności, a także wywołują nagłe zmiany ciśnienia atmosferycznego, przez co stają się bodźcem oddziałującym niekorzystnie na samopoczucie człowieka, zwłaszcza chorego. W czasie występowania tego typu wiatru obserwuje się u ludzi wrażliwych zespół reakcji fizjologicznych zwanych „chorobą fenową”. Przejawia się ona wzmożoną pobudliwością fizyczną i psychiczną oraz zaostrzeniem procesów chorobowych takich jak zaburzenia układu krążenia i zaburzenia równowagi układu nerwowego (niepokój, ogólne osłabienie, uczucie lęku, bóle głowy, skłonność do depresji).

Wiatr o prędkości  $>8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  jest bodźcem silnie działającym na organizm człowieka, zwiększa bowiem wymianę ciepła między ciałem człowieka a otoczeniem. Silny wiatr towarzyszy na ogół pogodzie typu zaburzonego, związanej z przemieszczaniem się frontów atmosferycznych i szybkimi zmianami ciśnienia. Inną rolę w wymianie ciepła odgrywa wiatr bardzo słaby ( $<1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ), niesprzyjający oddawaniu ciepła z organizmu, przez co kształtuje odczucie dyskomfortu termicznego, zwłaszcza przy temperaturze wyższej niż temperatura skóry i dużej wilgotności powietrza. Ponadto przy słabym ruchu powietrza pogarszają się jego warunki higieniczne.

Ważnym bodźcem mechanicznym jest również **ciśnienie atmosferyczne**. Niskie lub wysokie ciśnienie atmosferyczne pociąga za sobą szereg zmian fizjologicznych (Petersen, 1935; Tromp, 1980). Reakcja organizmu na zmiany ciśnienia pojawia się z wyprzedzeniem, a podejmowane przez organizm próby wyrównywania wahań ciśnienia atmosferycznego są przyczyną różnych dolegliwości. Negatywna reakcja człowieka może występować przy następujących zmianach ciśnienia: 2–4 hPa na 3 godziny, 5–10 hPa z dnia na dzień (Delyukov i Didyk, 1999). Przyjmuje się, że międzydobowa różnica ciśnienia 8 hPa i powyżej stanowi silny, niekorzystny dla organizmu człowieka bodziec mechaniczny. Tak duże zmiany ciśnienia obserwuje się na ogół przy przechodzeniu frontów atmosferycznych, czyli na powierzchni styku mas powietrza o kontrastowych cechach fizycznych. W takiej sytuacji pogodowej następują u ludzi zdrowych zmiany pobudliwości układu nerwowego zaczynające się 5–6 godzin przed nadejściem frontu i trwające do 3–5 godzin po jego przejściu. Spadek ciśnienia następuje również w miarę zmiany wysokości nad poziomem morza (tab. 2.2.4).

Najbardziej aktywne meteorotropowo są fronty chłodne, którym oprócz zmian ciśnienia towarzyszy spadek temperatury. Spadek ten wywołuje kurczenie naczyń krwionośnych, zmniejszenie dopływu tlenu do narządów wewnętrznych, wzrost ciśnienia krwi, które pociąga za sobą dalsze zmiany w funkcjonowaniu układu krążenia. Okresowy wzrost i spadek ciśnienia atmosferycznego powoduje także rozprężanie i sprężanie powietrza w uchu

środkowym, przez co błony bębenkowe ulegają odkształceniu. Jest to odczuwane jako ucisk, klucie i dzwonienie w uszach, a niekiedy obserwuje się nawet przejściowe osłabienie słuchu (Jankowiak, red., 1976).

Do zjawisk meteorotropowych zaliczane są również **burze** – zjawisko silnie działające na układ nerwowy człowieka towarzyszące często chłodnym frontom. Burze wywołują uczucie lęku, niepokoju, powodują trudności w skupieniu uwagi, a nawet zaburzenia krążeniowe i jelitowe.

Tabela 2.2.4. Zmiany ciśnienia powietrza ( $p$ ) i ciśnienia parcjalnego tlenu ( $pO_2$ ) w hPa w zależności od wzniesienia nad poziomem morza i sytuacji barycznej (wg: Jankowiak, red., 1976)

Wzniesienie n p.m. (m)	$p$	$pO_2$	Wyż		Niż	
			$p$	$pO_2$	$p$	$pO_2$
0	1013,1	211,5	1086,6	227,4	884,4	184,9
610	940,3	196,8	997,5	207,5	823,3	172,9
1220	872,5	182,2	924,4	192,8	763,4	159,6
1830	810,0	168,9	859,2	179,6	708,9	147,6
2440	750,1	156,9	795,3	166,2	657,0	137,0
3050	695,6	145,0	736,8	154,3	609,1	127,7

Bodźce mechaniczne określane są głównie za pomocą wskaźników dynamicznych, takich jak: zmiany średniej dobowej wartości ciśnienia atmosferycznego, zmiany ciśnienia z wysokością n.p.m. i prędkość wiatru (Kozłowska-Szcześna i inni, 1997).

### Bodźce elektryczne

Pod pojęciem elektryczności atmosferycznej rozumiemy: pole elektryczne i magnetyczne atmosfery, jonizację, przewodnictwo elektryczne, prądy elektryczne w atmosferze, ładunki elektryczne chmur i opadów oraz elektryczność burzową (Kielczewski i Bogucki, 1972; Jankowiak, red., 1976; Bogucki, red., 1999). Stwierdzono, że około 30% populacji reaguje na zmiany właściwości elektrycznych atmosfery (Sulman, 1982).

Powierzchnia Ziemi jest naładowana ujemnie, zaś górne warstwy atmosfery – dodatnio; między nimi wytwarza się **pole elektryczne**, którego potencjał maleje wraz z wysokością i około 10 km nad powierzchnią Ziemi stanowi 3% swej początkowej wartości. Duże zmiany właściwości elektrycznych atmosfery następują w czasie przemieszczania się frontów atmosferycznych. Wyładowania elektryczności atmosferycznej, które powstają podczas intensywnych procesów termodynamicznych (burze) powodują wzrost liczby jonów dodatnich w powietrzu. Natężenie pola elektrycznego przy powierzchni Ziemi wynosi  $100\text{--}130 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ , natomiast w czasie burzowych wyładowań elektrycznych zmienia się skokowo wzrastając nawet do  $6000 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ , a jego wahania można zaobserwować nawet

w odległości 100 km od miejsca wylądowania (Kielczewski i Bogucki, 1972). Szybkie zmiany natężenia pola elektrycznego mogą być przyczyną ostrych reakcji meteorotropowych szczególnie u osób cierpiących na choroby układu krążenia (Borisenkov i inni, 2000).

Człowiek podlega także działaniu stałych i zmiennych **pól magnetycznych**. Naturalne wahania pola magnetycznego Ziemi są związane z aktywnością Słońca. Niekorzystne dla człowieka są gwałtowne zmiany pola magnetycznego (burze magnetyczne). Zakłócenia stałego pola magnetycznego Ziemi w czasie burz magnetycznych jak też pól zmiennych wytwarzanych przez człowieka (np. w budownictwie) mogą mieć wpływ na funkcjonowanie organizmu. Wahania natężenia pola magnetycznego działają stresująco na układ nerwowy i mogą być przyczyną wypadków przy pracy (patrz część III rozdział 2.6), samobójstw, a nawet nagłych zgonów (Leszczyński, 1974a; Bogucki, red., 1999; Landsberg, 1969). Natomiast sztucznie generowane w celach terapeutycznych zmienne pole magnetyczne usprawnia krążenie obwodowe krwi oraz powoduje lepsze zaopatrzenie tkanek w tlen (Ponikowska, red., 1995). Według przepisów międzynarodowych za graniczną wartość bezpieczeństwa przyjmuje się natężenie pola magnetycznego nie przekraczające  $80 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$ . Polskie normy (Dz.U. nr 192, 2003, poz. 1883) dopuszczają  $60 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$  na terenach przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową. Warto dodać, że natężenie naturalnego pola magnetycznego Ziemi wynosi  $20\text{--}50 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$ .

Ocena oddziaływania elektryczności atmosferycznej pochodzącej zarówno ze źródeł naturalnych jak i sztucznych (elektrosmog) jest zagadnieniem złożonym, gdyż w ustroju człowieka nie ma wyspecjalizowanych receptorów umożliwiających jej odczuwanie, a ponadto skutki fizjologiczne tego oddziaływania zależą od czasu ekspozycji i budowy człowieka. Działanie biologiczne fal elektromagnetycznych jest wynikiem ich pochłaniania przez organizm. Przyjmuje się, że centralny układ nerwowy, soczewka oka oraz gruczoły płciowe są szczególnie wrażliwe na działanie promieniowania elektromagnetycznego. Zaobserwowano, że w dniach o silnych i nagłych zmianach potencjału pola elektrycznego atmosfery występuje nasilenie bólów reumatycznych i pogorszenie stanu zdrowia w chorobach układu krążenia (Kielczewski i Bogucki, 1972). Podkreśla się także, że nawet słabe pola elektromagnetyczne mogą oddziaływać na procesy przemiany materii w komórkach i błonach komórkowych, a znaczne ich natężenie – szczególnie w pomieszczeniach zamkniętych – może powodować pieczenie oczu, bóle głowy, zaburzenia jelitowe, zaburzenia snu, a nawet uszkodzenia genetyczne (Hessmann-Kosaris, 1994). Silne pola elektromagnetyczne wytwarzane są także sztucznie przez generatory, stacje nadawcze radiowe i telewizyjne, a nawet przez niektóre domowe urządzenia elektryczne, np. ekran monitora i telewizora czy kuchenkę

mikrofalową. Za graniczną wartość szkodliwości potencjału pola elektrycznego przyjmuje się  $500 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$  (Machalek, 1997).

Najlepiej poznano oddziaływanie **jonizacji powietrza** na procesy fizjologiczne człowieka (Tyczka, 1969; Bielecki i inni, 1974; Jura i Nizioł, 1979; Nizioł i Jura, 1986). Wytwarzanie jonów, czyli obdarzonych ładunkiem elektrycznym atomów gazów i cząstek aerozoli zachodzi pod wpływem promieniowania jonizującego. Jego źródłem są substancje radioaktywne zawarte w glebie, wodzie i powietrzu, promieniowanie kosmiczne, promieniowanie ultrafioletowe, wyładowania atmosferyczne, wysoka temperatura (termojonizacja), mechaniczne rozbijanie cząstek wody (hydrojonizacja) i zmiany aktywności Słońca. Jony jako nośniki ładunku elektrycznego warunkują przewodnictwo elektryczne powietrza (Jankowiak, red., 1976).

Antropogenicznym źródłem promieniowania jonizującego są izotopy używane w energetyce jądrowej i w diagnostyce medycznej. W Polsce poważnym źródłem promieniowania jonizującego są wyeksploatowane kopalnie rud uranu w okolicach Kowar.

Jon powietrza można zdefiniować jako atom lub cząsteczkę o zakłóconej równowadze elektrycznej. Ze względu na znak ładunku elektrycznego wyróżnia się jony ujemne i dodatnie. Gdy w procesie jonizacji atomy i drobiny gazów zostają pozbawione elektronu, stają się jodem dodatnim, a elektron (z ładunkiem ujemnym) łączy się z cząstką obojętną elektrycznie tworząc jon ujemny. W skład jonów wchodzi również naładowane elektrycznie cząstki aerozolu znajdujące się w powietrzu. Z uwagi na prędkość poruszania się w polu elektrycznym wyróżnia się jony lekkie (małe), średnie, ciężkie (duże) i bardzo ciężkie (bardzo duże) (Bielecki i inni, 1974; Jura i Nizioł, 1979; Nizioł i Jura, 1986).

Badania S. Tyczki (1969) przeprowadzone w Poznaniu, Inowrocławiu i Łagowie Lubuskim wykazały, że koncentracja jonów w powietrzu zależy od warunków pogodowych, podlega także zmianom dobowym i sezonowym. Ogólnie można stwierdzić, że naturalna jonizacja powietrza jest większa latem niż zimą, a w przebiegu dziennym – we wczesnych godzinach porannych niż w popołudniowych. S. Tyczka stwierdziła również, że w miarę „starzenia się” masy powietrza wzrasta koncentracja dużych jonów, a masy powietrza zwrotnikowego są w większym stopniu zjonizowane niż masy powietrza polarnego. Również procesy termodynamiczne zachodzące w atmosferze silnie oddziałują na wzrost koncentracji jonów w powietrzu. Wzrost ten można zauważyć nawet kilkanaście godzin przed wystąpieniem burzy.

Wpływ zjonizowanego powietrza na człowieka zależy od koncentracji, biegunowości i od wielkości jonów, a także od wrażliwości osobniczej. Ładunek elektryczny ułatwia przenikanie mikroskopijnych cząstek gazów i aerozoli do dróg oddechowych człowieka. W przypadku powietrza

zanieczyszczonego zwiększa się jego działanie toksyczne. Najłatwiej przenikają do głębszych odcinków dróg oddechowych jony małe i średnie (Tyczka, 1969; Jankowiak, red., 1976). Przewaga jonów ujemnych w powietrzu (np. w czasie pogody słonecznej), w lesie lub też w pobliżu tętni, wodospadów, strumieni górskich i na brzegu morza sprzyja dobremu samopoczuciu człowieka, wzmacnia sprawność psychiczną i fizyczną, wpływa korzystnie na czynność serca i płuc, a także stymuluje procesy oksydacyjne w organizmie i zwiększa odporność na infekcje (Sulman, 1982; Bogucki, 1988). Jak podaje A. Krzymowska-Kostrowicka (1997) po 5–7 godzinach pobytu w lesie częstość tętna ulega zwolnieniu o 4–8 uderzeń na minutę, a pojemność płuc zwiększa się o 10–30%. Takie gatunki drzew jak: sosna zwyczajna, brzoza brodawkowata i omszona, dąb, klon srebrzysty i czerwony, jarzębina, przyczyniają się do wzrostu koncentracji jonów ujemnych. Sztuczna jonizacja ujemna stosowana jest również profilaktycznie i terapeutycznie w chorobie nadciśnieniowej (zmniejsza ciśnienie krwi), w dychawicy oskrzelowej i w stanach zapalnych skóry (Tyczka, 1969; Grączewski, 1972).

Koncentracja jonów dodatnich wpływa natomiast niekorzystnie na układ krążenia i układ nerwowy człowieka, powoduje podrażnienie błon śluzowych górnych dróg oddechowych, a także wywołuje uczucie zmęczenia. Duża koncentracja jonów dodatnich występuje w zanieczyszczonym spalinami samochodowymi powietrzu aglomeracji miejskich, w czasie występowania wiatru halnego w górach, a także przed nadejściem frontu chłodnego (Bogucki, red., 1999). Źródłem jonów dodatnich są także niektóre materiały stosowane w budownictwie (beton), grzejniki centralnego ogrzewania, wykładziny podłogowe, sprzęt gospodarstwa domowego, odbiorniki telewizyjne i komputery (Sorbian, 2002). Duże zmiany koncentracji jonów, ich biegunowości i wielkości poprzedzające zmianę pogody, zwłaszcza w czasie przemieszczania się frontów atmosferycznych, są prawdopodobnie jedną z przyczyn dolegliwości meteorotropowych.

### *Bodźce akustyczne*

Bodźce akustyczne są brane pod uwagę w biometeorologii człowieka ze względu na uciążliwość dla narządu słuchu. Szkodliwość tych bodźców zależy od ich natężenia, częstotliwości fal akustycznych, czasu działania i charakteru zmian w czasie. Długotrwały hałas działa uciążliwie na układ nerwowy, powoduje rozdrażnienie i bezsenność, zmęczenie i bóle głowy, a nawet trwałe uszkodzenie słuchu. Za próg szkodliwości hałasu przyjmuje się natężenie dźwięku 35 dB, zaś powyżej 85 dB określany jest jako „hałas nieznośny”, powodujący zaburzenia układu krążenia i pokarmowego.

Rozchodzenie się dźwięku zależy w dużym stopniu od warunków meteorologicznych. Na rozchodzenie się hałasu oraz na jego natężenie ma wpływ temperatura i wilgotność powietrza oraz prędkość wiatru, natomiast pokrywa śnieżna – tłumi hałas. Badania K. Błażejczyka w Dźwirzynie wykazały wyraźne nasilenie natężenia hałasu wraz ze wzrostem prędkości wiatru i wilgotności powietrza (Błażejczyk i Lipska, 1980).

Wrażenia akustyczne skojarzone z wiatrem, np. falowanie i szum morza, szum drzew itp. mogą być uciążliwe nawet dla człowieka zupełnie zdrowego. Także wyładowania elektryczne podczas burzy są dla wielu osób dźwiękiem nieprzyjemnym i drażniącym.

Wpływ hałasu na warunki życia człowieka szerzej omówiono w części I. w rozdziale 3.2.

### 2.2.2. Zespół bodźców chemicznych

Na organizm człowieka oddziałują także różne składniki i domieszki występujące w powietrzu o składzie normalnym bądź też zmienionym przez zanieczyszczenia naturalne (nieorganiczne i organiczne) oraz sztuczne (antropogeniczne).

Do korzystnie, a nawet leczniczo działających bodźców należy czyste powietrze wzbogacone cennymi domieszkami aerozoli. Człowiek zużywa średnio 12–16 m<sup>3</sup> powietrza w ciągu doby (Jankowiak, red., 1976), jakość powietrza ma zatem dla organizmu bardzo duże znaczenie. Ze stałych składników występujących w powietrzu wymienić należy: azot, tlen i dwutlenek węgla oraz wodór, ozon i gazy szlachetne, a z domieszek – parę wodną i zanieczyszczenia (gazowe i pyłowe).

**Azot** (N) jest gazem rozcieńczającym koncentrację tlenu, gdyż w czystym tlenie nie mogłyby zachodzić procesy życiowe organizmów. Jest on stałym składnikiem atmosfery, stanowi średnio 78% jej masy i jest istotnym elementem w procesie oddychania. Zmiana koncentracji azotu w powietrzu prowadzi do różnych zaburzeń czynnościowych. Wzrost zawartości azotu już o 4%, wskutek obniżenia ciśnienia cząsteczkowego tlenu, powoduje niedotlenienie organizmu (hipoksję).

Warunkiem prawidłowego funkcjonowania organizmu człowieka jest stały dopływ **tlenu** (O<sub>2</sub>) do każdej komórki ciała. Tlen jest pobierany z powietrza za pośrednictwem układu oddechowego i z pęcherzyków płucnych przekazywany do krwi, gdzie wiąże się hemoglobina i jest przenoszony do różnych tkanek ciała. Wysilek fizyczny powoduje zwiększenie zapotrzebowania na tlen: zużycie tlenu przez człowieka w spoczynku wynosi 9 l na minutę, w pozycji stojącej – 12 l, a przy wolnym chodzeniu – 25 l na minutę (Kielczewski i Bogucki, 1972).

Miarą zawartości tlenu w powietrzu jest jego ciśnienie parcjalne (cząsteczkowe) wyrażone w hPa, lub też bezwzględna jego ilość w jednostce

objętości powietrza ( $\text{g} \cdot \text{m}^3$ ). Zmiany ciśnienia cząsteczkowego tlenu zachodzą równoległe ze zmianami ciśnienia atmosferycznego i to zarówno wraz z wysokością jak i wraz ze zmianą sytuacji synoptycznej (tab. 2.2.4). Dużą rolę odgrywają tu fizyczne właściwości masy powietrza, a szczególnie temperatura i wilgotność: wraz z ich wzrostem rośnie deficyt tlenu w powietrzu (tab. 2.2.5).

Tabela 2.2.5. Deficyt tlenu (%) przy różnej temperaturze i wilgotności względnej powietrza (wg: Jankowiak, red., 1976)

Wilgotność względna (%)	Temperatura powietrza (°C)				
	0	10	20	30	40
20	0,12	0,24	0,46	0,84	1,46
40	0,24	0,47	0,92	1,68	2,91
60	0,36	0,73	1,39	2,51	4,37
80	0,48	0,97	1,85	3,35	5,82
100	0,60	1,21	2,31	4,19	7,28

Obniżanie się ciśnienia cząsteczkowego tlenu wraz ze zmianą wysokości nad poziomem morza pobudza układ oddechowy i krwiotwórczy. Pierwsze objawy niedotlenienia u mieszkańców nizin mogą wystąpić już na wysokości 1000 m n.p.m., lecz przeważnie objawy te mają miejsce w przedziale wysokości 1500–4000 m n.p.m. Występuje wówczas pogłębienie i przyspieszenie oddechu oraz wzmożenie czynności serca, a w następnej fazie – zmiany w rozmieszczeniu krwi obwodowej, jak również przyspieszenie procesów krwiotwórczych w szpiku kostnym, pobudzone przez hipoksję (niedotlenienie). Wynikiem tych procesów jest zwiększenie liczby czerwonych ciałek krwi (z około 5 do 8 mln w  $1 \text{ mm}^3$ ) oraz wzrost stężenia hemoglobiny, która transportuje tlen do tkanek. Na wysokości 4000–5000 m n.p.m. mechanizmy kompensacyjne zawodzą, a niska zawartość tlenu w powietrzu wpływa niekorzystnie na funkcjonowanie organizmu człowieka powodując zaburzenia czynności układu nerwowego. Na wysokości 5000–7000 m n.p.m. silnie wzrasta częstość tętna, występuje drżenie mięśni, a nawet utrata przytomności. Powyżej – znajduje się granica strefy przeżycia (Bogucki, red., 1999).

Wagowa zawartość tlenu w powietrzu, a zwłaszcza jej międzydobowa zmienność, może pełnić rolę wskaźnika oceny miejscowych warunków biometeorologicznych. Przyjmuje się, że zmiana zawartości tlenu w powietrzu  $< 2,5 \text{ g} \cdot \text{m}^3$  jest bodźcem obojętnym,  $2,6\text{--}5,0 \text{ g} \cdot \text{m}^3$  – bodźcem słabym,  $5,1\text{--}10,0 \text{ g} \cdot \text{m}^3$  – bodźcem znaczącym,  $> 10,0 \text{ g} \cdot \text{m}^3$  – bodźcem silnym, szczególnie dla osób, które z uwagi na schorzenia układu oddechowego bądź krążenia mają obniżoną sprawność mechanizmów adaptacyjnych (Skrzypski, 1976, 1989). Zawartość tlenu w powietrzu jest



inna w różnych masach powietrza i zmienia się po przejściu frontów atmosferycznych, dlatego jest jednym z elementów oceny w obiektywnej, biometeorologicznej klasyfikacji pogody (Wojtach, 2003).

Zawartość tlenu w powietrzu ( $Tl$ ) w  $g \cdot m^{-3}$  oblicza się według następującego wzoru:

$$Tl = [80,51 p / (t + 273)] (1 - e/p)$$

gdzie:  $p$  – ciśnienie powietrza (hPa),  
 $e$  – ciśnienie pary wodnej (hPa),  
 $t$  – temperatura powietrza ( $^{\circ}C$ ).

Do obliczenia zawartości tlenu w powietrzu można też skorzystać z nomogramów T. Gocek (1973).

### Ozon ( $O_3$ )

Ozon ma podstawowe znaczenie dla istnienia życia na Ziemi; powstaje w procesie przemian cząsteczkowych tlenu pod wpływem promieniowania ultrafioletowego. 90% całkowitej jego zawartości w atmosferze koncentruje się w stratosferze, na wysokości 20–30 km, w warstwie zwanej ozonosferą. Biologiczna rola tego gazu jest bardzo ważna, gdyż pochłania on najbardziej aktywną biologicznie część promieniowania ultrafioletowego w zakresie 0,200–0,310  $\mu m$  (UV-C i częściowo UV-B) i często bywa nazywany ozonem „dobrym” (Kozuchowski, 1998; Juda-Rezler, 2000). Obserwowany w ostatnich latach ubytek warstwy ozonowej w stratosferze jest prawdopodobnie wynikiem działalności człowieka i stanowi potencjalne zagrożenie dla ekosystemu Ziemi. Podpisana przez przedstawicieli 140 krajów w Wiedniu w 1985 r. Konwencja o Ochronie Warstwy Ozonowej oraz Protokół Montrealski z 1987 r., zobowiązuje sygnatariuszy do ograniczenia użycia substancji niszczących ozon w stratosferze, tzn. związków chloru i bromu, a głównie freonów oraz halonów (Czaja, 1998).

W troposferze zawartość ozonu jest niewielka i jest on traktowany jako tzw. zanieczyszczenie wtórne, gdyż powstaje wskutek utleniania pod wpływem promieniowania ultrafioletowego takich zanieczyszczeń pierwotnych jak: tlenki azotu, tlenek węgla, metan. W naturalny sposób ozon – gaz o specyficznym zapachu, uwalniany jest w trakcie wyładowań elektrycznych oraz w wyniku mechanicznego rozpadu cząstek wody (Kozuchowski, 1998). Stężenie ozonu przyziemnego nieustannie rośnie, szczególnie na półkuli północnej. O ile na początku XIX w. stężenie to szacowano na 10 ppb, to obecnie, na skutek antropogenicznej emisji tlenków azotu, wynosi ono 25 ppb (1 ppb  $O_3 = 2 \mu g O_3 \cdot m^{-3}$ ).

Ozon jest głównym składnikiem smogu fotochemicznego (smog biały, typu Los Angeles), występującego przeważnie przy wysokiej temperaturze

powietrza ( $>25^{\circ}\text{C}$ ) w miastach o dużym natężeniu ruchu samochodowego. Powstaje on w wyniku reakcji chemicznych zachodzących między składnikami gazów spalinowych (m.in. tlenkami azotu i niektórymi węglowodorami) pod wpływem światła słonecznego. Maksymalne stężenie ozonu występuje we wczesnych godzinach popołudniowych.

Wpływ ozonu troposferycznego na zdrowie człowieka, roślinność i materiały jest negatywny. Podwyższone stężenie ozonu może wywoływać zaburzenia funkcji układu oddechowego: kaszel, ograniczenie zdolności do głębokiego oddychania i wchłaniania tlenu, nasilenie objawów astmy, zapalenie płuc, a także podrażnienie oczu i bóle głowy (Höppe i inni, 1993; Höppe, 1996; Hessmann-Kosaris, 1998). Gaz ten traktowany jest również jako tzw. gaz cieplarniany. Ozon wraz z innymi składnikami smogu fotochemicznego przyczynia się również do zmniejszenia widzialności (Juda-Rezler, 2000).

Aktualnie obowiązująca w Polsce wartość dopuszczalnego stężenia ozonu wynosi  $110 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  (55 ppb). Jest to wartość średnia z ośmiu godzinnych pomiarów stężenia pomiędzy godziną  $10^{\text{oo}}$  i  $18^{\text{oo}}$ . Wartość graniczna wysokiego stężenia ozonu przy powierzchni ziemi, od której należy informować ludność wynosi  $180 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ , zaś ostrzegać – przy wartościach  $>360 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ . Pomiarzy stężenia ozonu prowadzone są w Polsce w 13 miejscach (w tym w 9 miastach). Od 1992 r. działa w Krakowie system alarmowy ostrzegający ludność przed wysokim stężeniem zanieczyszczeń powietrza: dwutlenku siarki, pyłu zawieszonego (PM10) i ozonu.

Badania zawartości ozonu w przyziemnej warstwie powietrza na terenie Ciechocinka prowadzone przez T. Kozłowską-Szczęsną (1959, 1965) wykazały ścisły związek zawartości ozonu w powietrzu z przebiegiem wilgotności względnej, prędkości wiatru, temperatury powietrza i z zanieczyszczeniem powietrza. Stwierdzono, że wzrostowi wilgotności względnej towarzyszy spadek zawartości ozonu, z kolei wraz ze wzrostem prędkości wiatru wzrasta zawartość ozonu, a zależność ta jest szczególnie wyraźna przy prędkości wiatru  $2-5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Przebieg dzienny temperatury powietrza odpowiada przebiegowi zawartości ozonu. Ozon jest także ważnym wskaźnikiem biologicznym danej masy powietrza i czystości atmosfery.

**Dwutlenek węgla** ( $\text{CO}_2$ ) wykazuje dość duże wahania ilościowe. Jest emitowany do atmosfery w wyniku różnych procesów: oddychania organizmów żywych, gnicia i utleniania różnych substancji, a także spalania paliw kopalnych, przede wszystkim węgla. W przypadku gdy jego stężenie w powietrzu przekracza 0,03%, jest uważany za zanieczyszczenie. W zanieczyszczonej atmosferze miast jego stężenie może dochodzić nawet do 0,5% objętości powietrza. Przyjmuje się, że stężenie  $\text{CO}_2$  nie przekraczające 1% jest dla organizmów żywych nieszkodliwe (Krzymowska-Kostrowicka, 1997). Dwutlenek węgla zaliczany jest do tzw. gazów cieplarnianych. Speł-

nia on także ważną rolę w procesach biologicznych zachodzących w organizmie człowieka, pobudzając odruch oddychania (Bogucki, red., 1999).

Układy koloidowe powstające w wyniku rozproszenia ciał stałych lub cieczy w ośrodku gazowym noszą nazwę **aerozoli**. Aerozole zawierające chlorek sodu, magnez, wapń i jod, powstające w sposób naturalny w obrębie plaż morskich, w bezpośrednim sąsiedztwie tężni (np. w Ciechocinku, Inowrocławiu, Konstancinie), czy też w komorach powyrobi-skowych w kopalni soli w Wieliczce, mają szerokie zastosowanie w leczeniu chorób układu oddechowego i tarczycy, odgrywają również bardzo ważną rolę w procesie odnowy sił człowieka. Na człowieka oddziałują także aerozole zawierające pierwiastki radioaktywne (np. radon). Działają one leczniczo, między innymi w chorobie nadciśnieniowej, miażdżycy naczyń wieńcowych, w chorobie reumatycznej (Straburzyński, 1980; Halawa, 1983; Kozłowska-Szczęsna i Grzędziński, 1983).

### 2.2.3. Zespół bodźców biologicznych

W powietrzu unoszą się różnego rodzaju i pochodzenia substancje chemiczne oraz cząstki roślin i zwierząt. Noszą one nazwę aerozoli organicznych. W skład aerozolu organicznego wchodzi między innymi organizmy żywe (aeroplankton) takie jak: drobne cząstki roślin, pyłki roślinne, lekkie nasiona oraz różne mikroorganizmy (np. bakterie, wirusy, pierwotniaki, zarodniki grzybów), a także cząstki pochodzenia zwierzęcego (np. złuszczone naskórek, fragmenty sierści). Największe stężenie tych substancji obserwuje się bezpośrednio przy powierzchni ziemi, szczególnie na obszarach gęsto zaludnionych, w okresie suszy (latem) i podczas wietrznej pogody (Jethon i Grzybowski, red., 2000). Dla człowieka szkodliwe są te składniki aerozoli, które wywołują infekcje (bakterie, wirusy) lub alergie (grzyby, pleśnie, pyłki). Szacuje się, że około 10–20% ludzi mieszkających w strefie umiarkowanej jest uczulona na aerozole. Największą wrażliwość na choroby alergiczne wykazują mężczyźni w wieku dojrzałym (45% ogółu chorych), podczas gdy kobiety w tym wieku – znacznie mniejszą (25%). Najmniejszą wrażliwość wykazują ludzie starsi (10%) oraz dzieci (20%), przy czym są one najbardziej wrażliwe na roztocza i sierść zwierząt (Krzymowska-Kostrowicka, 1997).

Lotne substancje wydzielane przez rośliny (fitoncydy), będące mieszaniną związków organicznych powstających w czasie przemiany materii roślin (terpeny, olejki aromatyczne i inne substancje), charakteryzuje silne działanie bakteriobójcze, bakteriostatyczne i grzybobójcze. Stężenie aeroplanktonu i fitoncydów w powietrzu zależy w dużym stopniu od warunków pogodowych. Najwięcej tych substancji wydziela się w temperaturze 18–22°C, w okresie od czerwca do września (Bogucki, red., 1999).

Tabela 2.2.6. Właściwości farmakologiczne niektórych zbiorowisk roślinnych (wg: Krzymowska-Kostrowicka, 1997)

Oddziaływanie	Zbiorowisko											
	bór suchy	bór świeży	bór mieszany świerkowy	bór mieszany sosnowy	dąbrowa świetlista	dąbrowa kwaśna	grąd typowy	buczyna trawiasta	łęg wiązowo-jesionowy	łęg wierzbowo-topolowy	murawy kserotermiczne	łąka rajgrasowa
Rozszerzające naczynia krwionośne	+	+	0	+	-	-	-	-	-	0	0	0
Uspokajające	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	0
Obniżające ciśnienie krwi	+	+	+	0	-	-	-	-	-	0	0	0
Przeciwastmatyczne	+	+	+	+	0	0	0	-	-	0	0	0
Przeciwgruźlicze	+	+	+	+	+	-	+	0	-	0	+	0
Przeciwbronchitowe	+	+	+	+	+	0	+	-	-	0	+	0
Odkazujące	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
Wzmagające odporność organizmu	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pobudzające czynności psychiczne	-	-	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+
Pobudzające	-	-	-	0	+	+	+	+	+	+	+	0
Podwyższające ciśnienie krwi	-	-	0	0	+	+	+	+	+	0	0	0
Kurczące naczynia krwionośne	-	-	0	0	+	+	+	+	+	0	0	0

POZYTYWNE

NEUTRALNE

NEGATYWNE

znaczące  
1 godz.średnie  
2 godz.

4 godz.



ekspozycji

słabe  
4 godz.średnie  
2 godz.znaczące  
1 godz.

Właściwości terapeutyczne szaty roślinnej są w Polsce stosunkowo mało poznane. Na podstawie nielicznych prac można podać, że bór sosnowy wydziela substancje lotne sprzyjające uspokojeniu, działające leczniczo na drogi oddechowe, a także na obniżenie ciśnienia krwi. Grądy (lasy liściaste)

wpływają natomiast na pobudzenie układu nerwowego, wzmacniają aktywność, usuwają zmęczenie oraz podnoszą ciśnienie krwi. Inne typy lasów czy łąk także mają specyficzne, im tylko właściwe oddziaływanie na organizm ludzki, np. fitoncydy działają również na zmysł smaku i powonienia, przyczyniając się do odczuwania świeżości powietrza (Beer i Mączak, 1977; Krzymowska-Kostrowicka, 1997; Kostrowicki, 1999). Spośród roślin wydzielających substancje lotne lub ciekłe o działaniu bakteriobójczym wymienić należy przede wszystkim: jałowiec, chrzan, czosnek, cebulę i niektóre zioła oraz drzewa iglaste, w tym szczególnie sosnę, świerk, modrzew i tuję.

Skład chemiczny substancji lotnych jest bardzo różnorodny. Wykryto dotychczas około 20 000 związków chemicznych wydzielanych przez rośliny, z których większość (około 70–80 %) bierze udział w tworzeniu aerozolu organicznego. Średnio w ciągu dnia przechodzi do powietrza około 5% substancji lotnych znajdujących się w roślinach, są to jednak wartości bardzo zmienne np. sosna może wydzielać w ciepłe pogodne dni 20–25 % substancji lotnych, a w dni chłodne z opadem emisja ta jest bliska zeru.

Wymienione wyżej bodźce organiczne wskazują, jak ważny jest dobór zieleni we właściwym kształtowaniu warunków sprzyjających regeneracji organizmu (tab. 2.2.6).

### 2.3. Prawdopodobieństwo występowania ekstremalnych wartości wybranych elementów meteorologicznych

Biologiczne oddziaływanie meteorotropowych sytuacji pogodowych jest tym większe im szybciej następuje duża zmiana pogody, a zatem i zmiana wartości silnie bodźcowych elementów meteorologicznych. Te ekstremalne stany pogody przynoszą ze sobą duże zmiany ciśnienia atmosferycznego i prędkości wiatru, upały, uczucie parności, czy też silne mrozy, które oddziałują niekorzystnie na organizm człowieka, zwłaszcza chorego. Podczas zmian pogody dochodzi do nasilenia objawów między innymi chorób: układu krążenia, dróg oddechowych, układu nerwowego, narządów ruchu. Także ludzie zdrowi mogą odczuwać pewne dolegliwości związane ze zmianami pogody, np. zmienność nastrojów, bóle głowy, zaburzenia snu, osłabienie koncentracji, stany osłabienia czy podniecenia.

Aby zobrazować zróżnicowanie w Polsce wybranych elementów meteorologicznych, głównie ich wartości skrajnych, istotnych z praktycznego punktu widzenia, oparto się na prawdopodobieństwie ich występowania. Pomimo że tego rodzaju danych jest niewiele, są one jednak reprezentatywne dla różnych obszarów kraju i pozwalają na wyciągnięcie ogólnych wniosków.

Niżej przedstawiono charakterystyki termiczne i ciśnienia atmosferycznego, szczególnie niekorzystne z punktu widzenia samopoczucia człowieka, w ujęciu probabilistycznym. Na podstawie dystrybuanty empirycznej określono (Limanówka i inni, 1993) powtarzalność wystąpienia danego zjawiska, to jest średniego okresu między kolejnymi wystąpieniami tej samej wartości, np.:

- 10% – prawdopodobieństwo powtarzalności raz na dziesięć lat danej wartości wraz z wartościami wyższymi,
- 50% – prawdopodobieństwo powtarzalności raz na dwa lata,
- 90% – prawdopodobieństwo powtarzalności dziewięć razy na dziesięć lat danej wartości wraz z wartościami wyższymi.

Silnie działanie bodźcowe wykazują nagłe, duże zmiany ciśnienia atmosferycznego. Opierając się na danych z okresu 1966–2003 przygotowanych przez D. Limanówkę można stwierdzić, że liczba dni z dużymi zmianami ciśnienia atmosferycznego (8 hPa i powyżej), jest w Polsce bardzo zmienna i waha się od około 20 na południu kraju do powyżej 70 w Polsce północnej i nad morzem (tab. 2.3.1).

Najwięcej dni z dużymi zmianami ciśnienia atmosferycznego wystąpiło niemal na całym obszarze kraju w 1995 r., a najmniej w 1972 r. Raz na 10 lat należy oczekiwać w Polsce północnej ponad 60 dni z dużymi zmianami ciśnienia powietrza, a w Polsce południowej mniej niż 50 dni. Natomiast z 50% prawdopodobieństwem może być tych dni powyżej 50 na północy i poniżej 30 na południu kraju. Podobnie, liczby dni z dużymi zmianami ciśnienia z prawdopodobieństwem 90% można spodziewać się powyżej 40 w Polsce północnej, a poniżej 30 w południowej. Analiza porównawcza średnich dobowych wartości ciśnienia z okresów wieloletnich (1830–1880 i 1966–1990) w Warszawie (Kożuchowski i inni, 1999) wykazała, że wiosną i latem obserwuje się obniżenie ciśnienia i stabilizację jego wahań, a podwyższenie i znaczną fluktuację jesienią i w zimie.

Najwięcej dni gorących ( $t_{\text{mimo}} > 25^{\circ}\text{C}$ ) z 10% prawdopodobieństwem można oczekiwać w Polsce południowo-wschodniej – ponad 50 w roku, najmniej nad morzem – poniżej 15. Dni gorących w górach nie notuje się: w Sudetach od wysokości 1350 m n.p.m., a w Karpatach od 1650 m n.p.m. W co drugim roku (prawdopodobieństwo 50%) w centrum i w części południowo-wschodniej kraju, w latach 1951–1980, wystąpiło ponad 35 dni gorących (Kotlina Sądecka ponad 40), na pojezierzach poniżej 30, a na wybrzeżu poniżej 10 (Hel 7 dni) (Limanówka i inni, 1993).

Charakterystykę częstości dni upalnych ( $t_{\text{mimo}} > 30^{\circ}\text{C}$ ) przeprowadzono na danych z okresu 1951–1990 (Cebulak, 1999). Dni upalnych w badanym okresie notowano w Polsce niewiele, bo od 1 do 7 w roku. W poszczególnych latach ich liczba zmieniała się od kilku do ponad 20 w latach 1992 i 1994. W 1994 r. w ostatniej dekadzie lipca i pierwszej dekadzie sierpnia, niemal na wszystkich stacjach meteorologicznych zanotowano

najdłuższe okresy występowania dni upalnych trwające nad morzem 3, a na południu kraju 15–16 dni (Wrocław, Rzeszów, Włodawa). Tak długi okres z bardzo wysoką temperaturą powietrza jest niekorzystny dla człowieka i może stanowić zagrożenie dla jego zdrowia i życia, szczególnie dla osób cierpiących na choroby układu krążenia i z zaburzeniami ciśnienia tętniczego krwi, które obniża się pod wpływem wysokiej temperatury powietrza. Podczas fal upałów wzrasta umieralność związana z chorobami układu sercowo-naczyniowego i układu oddechowego, pogarsza się funkcjonowanie mózgu, wzrasta liczba zdarzeń na drogach i wypadków przy pracy. Liczba dni upalnych wykazuje tendencję rosnącą, szczególnie w północno-zachodniej części kraju. Z prawdopodobieństwem 10% należy spodziewać się wystąpienia kilku dni upalnych na północy i na południu Polski, a na pozostałym obszarze kraju więcej niż 10 takich dni raz na 10 lat. Dni upalnych z 50-procentowym prawdopodobieństwem można oczekiwać do 5 poza górami i obszarami nadmorskimi, a z prawdopodobieństwem 90% do 2 na południu kraju (tab. 2.3.2).

Tabela 2.3.1. Liczba dni ze zmianami ciśnienia atmosferycznego  $\geq 8$  hPa, wartości skrajne i percentyle w okresie 1966–2003

Stacja	min	90%	75%	50%	25%	10%	max
Białystok	25	38	45	49	52,8	61,9	69
Chojnice	36	41,7	47	53,5	59	63	72
Gorzów Wielkopolski	30	38,7	46	49,5	55	60,6	66
Hel	37	71	49	54,5	61	44	71
Katowice	21	32,4	35	40	45,8	49	52
Koło	30	36,7	42	46,5	46,5	57	66
Kraków-Balice	17	29	33	38	43,5	46,6	51
Łeba	27	45,1	49	56,5	64	67,3	77
Łódź-Łublinek	28	35	40	44	48,8	54,3	64
Olsztyn	29	42,1	44,5	51	58	65,9	71
Poznań-Ławica	33	39,4	43,2	49,5	54,8	60,6	65
Rzeszów-Jasionka	19	28,4	31,5	37,5	43	48	55
Siedlce	25	36,7	39,2	44	50,8	59,3	65
Suwałki	32	39,7	49,2	53	59,5	64,3	77
Szczecin	32	42,5	46,5	53	61	63,3	70
Świnoujście	32	41,4	47	53	62	65,3	71
Terespol	19	35,7	40	44	49	60	67
Toruń	34	38,8	44	49,5	56,8	62	71
Warszawa-Okęcie	26	36	40,5	45	50,8	60	66
Wieluń	27	35	39,2	43,5	48	52	58
Włodawa	20	34	37	41,5	48,8	56,3	62
Wrocław-Strachowice	27	34,7	41,2	44,5	49,8	54	57
Zamość	21	25,2	31,25	39	43,5	51,3	59
Zielona Góra	25	35	44	47	52,8	56	61

W niektórych opracowaniach przyjęto, dla zilustrowania wartości skrajnych, dni bardzo gorące ( $t_{\max} > 35^{\circ}\text{C}$ ) i dni z silnym mrozem ( $t_{\min} < -30^{\circ}\text{C}$ ). Najwięcej dni z temperaturą maksymalną powyżej  $35^{\circ}\text{C}$  zanotowano w latach 1992 i 1994. Wówczas ich liczba na obszarze zachodniej i południowej Polski wynosiła 4–5 w roku. Najwyższych wartości temperatury powietrza (1951–1980) przekraczających  $35^{\circ}\text{C}$ , z prawdopodobieństwem 10% można oczekiwać na Nizinie Śląskiej, Nizinie Wielkopolskiej i w Kotlinie Sandomierskiej (Limanówka i inni, 1993). Z kolei nad morzem (Półwysep Helski), w tym samym okresie temperatura może przekroczyć  $32^{\circ}\text{C}$ . W obszarach górskich omawiany wskaźnik jest silnie zróżnicowany, zależnie od wysokości nad poziomem morza. Co drugi rok (prawdopodobieństwo 50%) należy liczyć się z przekroczeniem temperatury  $32^{\circ}\text{C}$  w centralnej części Polski zachodniej. Na północy kraju, nad morzem i w okolicy Suwałk, a także na wyżynach i w górach temperatura maksymalna nie osiąga  $30^{\circ}\text{C}$ .

Tabela 2.3.2. Liczba dni upalnych ( $t_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$ ), wartości skrajne i percentyle, w okresie 1951–1996 (wg: Cebulak, 1999)

Stacja	min	90%	75%	50%	25%	10%	max
Bielsko-Biała	0	0	0	1	2	4	13
Chojnice	0	0	0	1	4	5,5	16
Gorzów Wielkopolski	0	1	2,2	4	7	11	19
Hel	0	0	0	0	0	1	4
Kielce-Suków	0	0	1	4	6	12,5	18
Koło	0	1	2,2	4	8	12	17
Kraków-Balice	0	0	2	5	7	8	18
Olsztyn	0	0	1	2	4	8	15
Rzeszów Jesionka	0	0	1	3,5	6	8	23
Suwałki	0	0	0	1	3	6	13
Szczecin-Dąbie	0	0	1	3	6	10,5	21
Świnoujście	0	0	0	1,5	2,8	5,5	9
Warszawa-Okęcie	0	0	2	4	6	11	18
Wieluń	0	1	2	5	7,8	12,5	19
Włodawa	0	0	1	3	7	11,5	22
Wrocław-Strachowice	0	2	3	5	7,8	11	23
Zielona Góra	0	1	2	4	7	11	21

Wysoka temperatura powietrza i duża jego wilgotność sprzyjają występowaniu pogody parnej ( $e > 18,8$  hPa), niekorzystnej szczególnie dla osób cierpiących na choroby układu krążenia i układu oddechowego. Obliczenia prawdopodobieństwa występowania dni parnych w okresie 1971–2000 wykonane przez D. Limanówkę (tab. 2.3.3) na podstawie pomiarów



ciśnienia pary wodnej z 8 terminów obserwacyjnych pozwalają na stwierdzenie, że liczba dni parnych notowana w różnych regionach Polski jest mało zróżnicowana. Z 10% prawdopodobieństwem wynosi od powyżej 31 na północy do powyżej 42 na południu kraju. Podobny jest rozkład dni parnych z 90% prawdopodobieństwem – istotnym w biometeorologii człowieka – najwięcej było ich na północy (Szczecin 17), w centrum i na południu kraju ich liczba jest mniejsza i wynosi około 15, na pozostałym obszarze Polski nie spada poniżej 10. Dni parne występują od maja do października, a ich liczba w okresie 1971–2000 wahała się od 6 do 53 w roku. Najwięcej dni parnych notowano na przeważającym obszarze kraju w 1975 r., a najmniej w 1978 r.

Tabela 2.3.3. Liczba dni parnych ( $e > 18,8$  hPa), wartości skrajne i percentyle, w okresie 1971–2000

Stacja	min	90%	75%	50%	25%	10%	max
Kraków-Balice	6	14,9	19,5	27,5	32	38,2	46
Leba	8	11,7	13,2	19	25,8	31,1	42
Suwałki	9	10	15	18	23,4	31,1	42
Szczecin-Dąbie	8	17	21,2	26,5	30,8	35,3	50
Warszawa-Okęcie	8	15,6	20	23,5	32	38,3	53
Wrocław-Strachowice	7	10	19	22	27,8	30,3	48
Zamość	7	14,9	24,5	31	37,8	42,1	50

Liczba dni mroźnych ( $t_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$ ) na obszarze Polski wykazuje duże zróżnicowanie (Limanówka i inni, 1993). W okresie 1951–1980 najwięcej dni mroźnych z prawdopodobieństwem 10% występowało na Pojezierzu Suwalskim – ponad 90, a najmniej na Wybrzeżu i w zachodniej części kraju – poniżej 50. W górach ich liczba wzrastała wyraźnie wraz z wysokością n.p.m. i osiągała wartości ponad 100 w Górach Świętokrzyskich (Święty Krzyż), 155 w Sudetach (Śnieżka) i 173 w Tatrach (Kasprowy Wierch). Co drugi rok można spodziewać się dni mroźnych od 24 nad morzem do 66 na północnym wschodzie Polski, a wysoko w górach: 131 na Śnieżce i 150 na Kasprowym Wierchu.

Charakterystyka dni przyjętych za bardzo mroźne ( $t_{\min} < -15^{\circ}\text{C}$ ) z okresu 1951–1996 (Limanówka, 1999), w ujęciu probabilistycznym (tab. 2.3.4) pozwala na stwierdzenie, że z 10% prawdopodobieństwem liczba tych dni była najniższa w północno-zachodniej Polsce i wynosiła poniżej 15, a najwyższa w szczytowych partiach gór (Kasprowy Wierch, Śnieżka). Z kolei w co drugim roku w obszarach nadmorskich i w zachodniej Polsce liczba dni bardzo mroźnych była niewielka i nie przekraczała kilku, natomiast na wschodzie i południu kraju wynosiła od 6 do 12, a wysoko w górach blisko 20.

Tabela 2.3.4. Liczba dni bardzo mroźnych ( $t_{\min} < -15^{\circ}\text{C}$ ), wartości skrajne i percentyle, w okresie 1951–1996 (wg: Limanówka, 1999)

Stacja	min	90%	75%	50%	25%	10%	max
Bielsko-Biała	1	1	2	4	9	15	32
Chojnice	1	0	0,2	3	6	15	22
Gorzów Wielkopolski	1	0	0	1	3,8	11	22
Hel	1	0	0	0	0	2,5	8
Kielce-Suków	1	1	3,5	8,5	14	24,5	39
Koło	1	0	0	3	7	17,5	36
Kraków-Balice	1	1	3	6,5	9	17,5	35
Kasprowy Wierch	1	9	15	19	30,8	37,5	46
Olsztyn	1	0	4	6,5	11,8	23,5	29
Rzeszów-Jesionka	1	1,5	4,2	9	12,8	22,5	39
Suwałki	1	2,5	6,2	12	19	29,5	42
Szczecin-Dąbie	1	0	0	1,5	4	12,5	23
Śnieżka	2	3	5,2	9	16	20,5	36
Świnoujście	1	0	0	0	1,8	4	13
Warszawa-Okęcie	1	0	2	5	9	20	37
Wieluń	1	0	1	3	6,8	15	35
Włodawa	1	1	4	9	13	28	43
Wrocław-Strachowice	1	0	1	3,5	8	14,5	30
Zielona Góra	1	0	0	1	3	8,5	16

Maksymalne wartości liczby dni z silnym mrozem ( $t_{\min} < -30^{\circ}\text{C}$ ) w badanym okresie wystąpiły niemal w całej Polsce w 1963 r., wówczas ich liczba wyniosła od 22 do 39 (Chojnice i Kielce). Zmniejszenie liczby dni z silnym mrozem nastąpiło po 1972 r., co jest istotne dla sytuacji zdrowotnej, gdyż niska temperatura powietrza sprzyja wzrostowi ciśnienia tętniczego krwi. Ponadto ze stresem zimna związana jest większa sumaryczna liczba zgonów w porównaniu ze stresem gorąca.

Najniższa temperatura powietrza notowana na wschodzie Polski z prawdopodobieństwem 10% jest niższa od  $-26^{\circ}\text{C}$ , podczas gdy nad morzem nie spada poniżej  $-20^{\circ}\text{C}$ . W kotlinach śródgórskich i w północno-wschodniej Polsce w trzydziestoleciu 1951–1980 zdarzały się spadki temperatury poniżej  $-30^{\circ}\text{C}$  (Limanówka i inni, 1993). Najniższe minima temperatury z prawdopodobieństwem 50% na przeważającym obszarze Polski, poza górami, zmieniają się od  $-12,6^{\circ}\text{C}$  nad morzem (Hel, Świnoujście) do  $-24,9^{\circ}\text{C}$  w Białowieży. W Kotlinie Orawskiej natomiast można spodziewać się, że co dwa lata wystąpi tam najniższa temperatura w Polsce, wynosząca  $-28^{\circ}\text{C}$ . W tym przypadku na zróżnicowanie temperatury minimalnej większy wpływ ma więc forma terenu niż wysokość n.p.m.

Z punktu widzenia biometeorologii człowieka należy zwrócić jeszcze uwagę na zagadnienie zmian klimatu. Na ten temat literatura zarówno

polska jak i zagraniczna, szczególnie w ostatnich latach, jest coraz bogatsza (np. Obrębska-Starkel i Starkel, 1991; McMichael i inni, red., 1996; Burroughs, 1998; Czaja, 1998; Kożuchowski, red., 2000, 2004; Lorenc, 2001; Boryczka i inni, 2002; Papiernik, 2004). Światowa Organizacja Meteorologiczna (WMO) powołała w 1988 r. Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC), który opublikował dotychczas 3 raporty (1990, 1995, 2001) dotyczące między innymi zjawisk ekstremalnych i ich znaczenia w różnych dziedzinach życia człowieka. Zagadnienia te były także rozwiązywane w ramach IV Programu Ramowego Unii Europejskiej (Impact of Climate Change on Water Resources in Europe). Powstało kilka scenariuszy zmian klimatu w XXI w. między innymi: Model GFTR skonstruowany w Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (USA), które współpracuje z NOAA, Scenariusz HCTR, z Hadley Centra (Wielka Brytania), Scenariusz GISS z Goddard Institute for Space Studies, Uniwersytet Columbia w Nowym Jorku (USA), model HadCM2-GS z Bracknell (Wielka Brytania). Wszystkie te scenariusze zakładają wzrost przede wszystkim temperatury powietrza zimy i lata oraz średniej rocznej, a także wielkości parowania i sum opadów.

Model HadCM2 posłużył do opracowania próby prognozowania zmian bioklimatu Łodzi (Kożuchowski, 2004; Papiernik, 2004). Stwierdzono, że największe zmiany klimatu odnosić się będą do parametrów termicznych, nastąpi znaczny wzrost temperatury maksymalnej (w lipcu do 26,2°C) i temperatury minimalnej (w styczniu do -0,72°C). Istotne zmiany dotyczyć będą zatem okresu zimowego, który stanie się cieplejszy i mniej suchy, liczba dni mroźnych zmniejszy się o około 17 w roku. Z kolei zwiększy się uciążliwość warunków odczuwalnych w lecie z uwagi na wzrost o ponad 12 liczby dni gorących i upalnych oraz częstsze pojawianie się stanów parności. Ogólnie biorąc przeciętne warunki bioklimatyczne w połowie XXI w. będą najbardziej zbliżone do panujących w latach 1990 i 1999 r.

Scenariusz GISS przewiduje dla Polski wzrost średniej rocznej temperatury powietrza o 3,5°C; zimą o 4,5°C i latem o 2°C oraz wzrost opadów o około 23% od jesieni do wiosny i około 10% w lecie (Demidowicz i inni, 1999).

Wyrażna tendencja do ocieplania klimatu może mieć zarówno dodatnie, jak i ujemne skutki dla człowieka. Przewiduje się, że zmieniać się parametry środowiska atmosferycznego, wymuszając dostosowanie organizmu do nowych warunków odczuwalnych. Podwyższona temperatura powietrza w lecie będzie miała wpływ przede wszystkim na ludzi starszych, a także na osoby o niewydolnym układzie termoregulacyjnym, zwiększając ich różne dolegliwości w czasie fal upałów. Zimowe ocieplenie będzie zmniejszało stres wywołany falami zimna, co będzie miało wpływ na obniżenie umieralności w chłodnej porze roku. Ocieplenie klimatu

może także spowodować pojawienie się chorób tropikalnych (np.: malarii, cholery, żółtej febry oraz innych mniej znanych), które dotychczas występowały głównie w klimacie podzwrotnikowym.

### 3. Wpływ czynników antropogenicznych na człowieka

#### 3.1. Niektóre zanieczyszczenia gazowe, pyłowe i metalami ciężkimi

Za zanieczyszczenie powietrza uznaje się każdą substancję stałą, ciekłą lub gazową, której stężenie jest większe od zawartości naturalnej. Pod względem pochodzenia, zanieczyszczenia powietrza można podzielić na naturalne i sztuczne (antropogeniczne). Do zanieczyszczeń naturalnych zalicza się pył glebowy i wulkaniczny, sól morską, popioły pochodzące z pożarów lasów i wypalania traw, substancje radioaktywne (radon) oraz składniki biologiczne (wirusy, bakterie, zarodniki, pyłki). Źródłem zanieczyszczeń antropogenicznych są najczęściej energetyka, różne gałęzie przemysłu, transport i rolnictwo.

Zanieczyszczenia emitowane do atmosfery dzieli się na pierwotne (emitowane bezpośrednio) i wtórne, które powstają na skutek reakcji chemicznych między zanieczyszczeniami pierwotnymi. Zanieczyszczenia antropogeniczne emitowane do atmosfery oddziałują niekorzystnie na roślinność i zwierzęta, wody, glebę oraz na człowieka (Juda-Rezler, 2000).

Zanieczyszczenia powietrza, zarówno naturalne jak i sztuczne (antropogeniczne), dostają się do organizmu człowieka głównie przez układ oddechowy (dorosły człowiek wdycha około 12–16 m<sup>3</sup> powietrza w ciągu doby), a także przez układ pokarmowy, skórę i gałki oczne. Reakcja organizmu żywego na działanie substancji toksycznej może mieć charakter:

- a) ostry, spowodowany wprowadzeniem do organizmu jednorazowej, względnie dużej dawki substancji toksycznej,
- b) chroniczny, spowodowany długotrwałym wprowadzaniem do organizmu małych dawek tych substancji,
- c) utajony, kiedy skutki wprowadzenia do organizmu pewnych dawek substancji toksycznej mogą się ujawnić dopiero po dłuższym czasie.

Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 28 kwietnia 1998 r. opublikowane w Dzienniku Ustaw nr 55 poz. 355 określa dopuszczalne stężenia 173 substancji zanieczyszczających powietrze oraz opad pyłu, kadmu i ołowiu (tab. 3.1.1 i 3.1.2). W normowaniu stężeń tych zanieczyszczeń uwzględniono Dyrektywy Unii Europejskiej i zalecenia Światowej Organizacji Zdrowia. W Rozporządzeniu wyodrębniono normy dla parków narodowych, leśnych kompleksów promocyjnych, obszarów ochrony uzdrowiskowej oraz tych, na których

Tabela 3.1.1. Dopuszczalne średnioroczne wartości stężeń niektórych zanieczyszczeń w powietrzu (Rozporządzenie MOŚZNiL z dnia 28 IV 1998 r. Dz.U. nr 55, poz. 355)

Rodzaj zanieczyszczenia	Obszary ochrony uzdrowiskowej $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	Parki narodowe $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	Leśne kompleksy promocyjne $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	Pozostałe obszary $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$
Dwutlenek siarki	30	15	20	40 30 od 2005 r.
Dwutlenek azotu	25	20	30	40
Tlenek węgla	1350*	-	-	2000*
Kadm	0,005	-	-	0,01 0,005 od 2010 r.
Ołów	0,35	-	-	0,5
Rtęć	0,03	-	-	0,04
Arsen	0,007	-	-	0,01 0,005 od 2010 r.
Fluorowodór	-	0,02	0,05	-
Pył zawieszony ogółem (TSP lub BS)	50	-	-	75
Pył zawieszony (PM10)	40 30 od 2005 r. 20 od 2010 r.	-	-	50 30 od 2005 r. 20 od 2010 r.

Tabela 3.1.2. Dopuszczalne 24-godzinne wartości stężeń niektórych zanieczyszczeń w powietrzu (Rozporządzenie MOŚZNiL z dnia 28 IV 1998 r. Dz.U. nr 5 poz. 355)

Rodzaj zanieczyszczenia	Obszary ochrony uzdrowiskowej $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	Parki narodowe $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	Leśne kompleksy promocyjne $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	Pozostałe obszary $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$
Dwutlenek siarki	125	75	100	150 125 od 2005 r.
Dwutlenek azotu	100	50	60	150
Tlenek węgla	3500	-	-	5000
Kadm	0,15	-	-	0,22
Ołów	1,3	-	-	2
Rtęć	0,2	-	-	0,3
Arsen	0,035	-	-	0,05
Fluorowodór	-	0,4	0,8	-
Ozon	-	65	65	-
Pył zawieszony (PM10)	100 50 od 2005 r.	-	-	125 50 od 2005 r. 20 od 2010 r.

znajdują się pomniki historii. Niżej przedstawiono szczegółowo znaczenie najbardziej istotnych dla zdrowia człowieka zanieczyszczeń gazowych (dwutlenek siarki, dwutlenek azotu, tlenek węgla, ozon), pyłowych i metalami ciężkimi (ołów, kadm, rtęć, arsen).

### *Dwutlenek siarki (SO<sub>2</sub>)*

Emitowany zarówno ze źródeł naturalnych jak i antropogenicznych (spalanie paliw) jest toksyczny dla ludzi, zwierząt oraz szkodliwy dla roślin, szczególnie dla porostów i lasów górskich, działa niszcząco na różnego rodzaju materiały. Na obszarach o dużej emisji, związki siarki i azotu stanowią główny składnik tzw. kwaśnych deszczów. SO<sub>2</sub> powoduje kurczenie oskrzeli, podrażnienie błon śluzowych dróg oddechowych i spojówek. Gaz ten jest absorbowany przez górne odcinki dróg oddechowych, a z nich dostaje się do krwioobiegu. Ekspozycja na wysokie stężenie SO<sub>2</sub> w powietrzu może być przyczyną przewlekłego zapalenia oskrzeli, zaostrzenia chorób układu krążenia, zmniejszonej odporności płuc na infekcje, szczególnie wśród ludzi starszych i dzieci, których układ oddechowy nie jest w pełni rozwinięty, a mechanizmy odpornościowe słabsze. Roczny przyrost SO<sub>2</sub> o 10 µg·m<sup>-3</sup> powoduje zmniejszenie pojemności płuc o 3%, natomiast stężenie 14 000 µg·m<sup>-3</sup> działające przez 30 minut powoduje wyraźne objawy zaburzeń układu oddechowego u większości ludzi dorosłych. Na ogół osoby zdrowe, przebywające w warunkach miejskich o przeciętnej koncentracji SO<sub>2</sub> adaptują się do nich, lecz stałe narażanie dzieci na wdychanie SO<sub>2</sub> nawet w niewielkich stężeniach prowadzi do powstania chronicznego bronchitu (Juda i Chruściel, 1974; Folinsbee, 1993; Machalek, 1997; Czaja, 1998, Hessmann-Kosaris, 1998).

Szczególnie niekorzystne dla człowieka jest synergiczne oddziaływanie dwutlenku siarki i drobnoziarnistego pyłu oraz związków organicznych w postaci tzw. kwaśnego smogu („smog londyński”). Pojawia się on najczęściej w chłodnym okresie roku, gdy w antycyklonalnej sytuacji barycznej występuje inwersja. Taka stratyfikacja termiczna utrudnia dyspersję zanieczyszczeń w troposferze i sprzyja ich koncentracji przy powierzchni ziemi. Czynnikiem dodatkowym jest niekorzystna topografia terenu (dolinne położenie miasta) i wystąpienie mgły. Smog może utrzymywać się przez kilka dni, a stężenia zanieczyszczeń mogą być nawet 30-krotnie wyższe od średniorocznego. Na przykład w Londynie, w dniach 5–9 XII 1952 r. maksymalne stężenie dobowe SO<sub>2</sub> w nasyconym parą wodną powietrzu osiągnęło 3830 µg·m<sup>-3</sup>, a pyłu 4460 µg·m<sup>-3</sup>, w tym koncentrację PM10 oszacowano na 3000 µg·m<sup>-3</sup>. To katastrofalne zanieczyszczenie powietrza doprowadziło do zgonu wielu mieszkańców miasta (Stern, 1977).

### *Dwutlenek azotu (NO<sub>2</sub>)*

Jest to gaz trujący, który dostaje się do atmosfery zarówno ze źródeł naturalnych, jak i antropogenicznych. Naturalnymi źródłami tlenków azotu w atmosferze są wybuchy wulkanów oraz procesy zachodzące w glebie i w oceanach. Największym antropogenicznym źródłem NO i NO<sub>2</sub> są energetyka i transport, a więc utlenianie paliw kopalnych w wysokiej temperaturze, a przy powierzchni Ziemi, wydzielanie spalin z silników samochodowych. Tlenki azotu wraz z ozonem składają się na smog fotochemiczny. Wpływ tlenków azotu na roślinność jest mniej toksyczny niż w przypadku SO<sub>2</sub>. U ludzi, a szczególnie u dzieci i osób starszych cierpiących na astmę, NO<sub>2</sub> atakuje układ oddechowy powodując osłabienie funkcji obronnych płuc, zaburzenia ich wentylacji, mniejsze nasycenie krwi tlenem i obniżenie zdolności samooczyszczania dróg oddechowych. Działanie NO<sub>2</sub> na człowieka przejawia się pobudzeniem, niepokojem, bezsennością, a nawet depresją (Sroczyński, 1988; Machalek, 1997; Juda-Rezler, 2000).

### *Tlenek węgla (CO)*

Jego naturalnymi źródłami są procesy utleniania metanu i innych związków chemicznych. Emisja antropogeniczna CO następuje w wyniku spalania paliw, a zwłaszcza w procesie niecałkowitego spalania węgla w paleniskach domowych. Źródłem CO są także spaliny samochodowe, a w pomieszczeniach zamkniętych – palenie tytoniu. Tlenek węgla dostaje się do organizmu głównie przez drogi oddechowe, choć niewielkie jego ilości mogą być absorbowane także przez skórę i błony śluzowe.

Bezwonny tlenek węgla wykazuje właściwości silnie trujące w odniesieniu do organizmu człowieka i jest najczęstszą przyczyną zatruć śmiertelnych. CO wdychany z powietrza łączy się z hemoglobina, tworząc karboksyhemoglobinę (HbCO) niezdolną do oddawania tlenu. Zmiany natleniania krwi powodują u ludzi zdrowych zaburzenia układu nerwowego objawiające się zawrotami głowy, małą sprawnością manualną oraz spadkiem ogólnej sprawności psychicznej. Pojawiający się w wyniku niedotlenienia deficyt tlenu jest szczególnie groźny dla osób cierpiących na choroby układu krążenia, gdyż prowadzi do uszkodzenia mięśnia sercowego, a nawet do zawału. Osoby cierpiące na przewlekłą chorobę serca odczuwają już 2-procentowe stężenie HbCO (Sroczyński, 1988).

Wdychanie przez co najmniej 1 godzinę powietrza o stężeniu tlenku węgla powyżej 0,1% powoduje niewydolność oddechową, utratę przytomności, a nawet zgon. Śmiertelna dawka CO wynosi 1450 mg·m<sup>-3</sup> (Kozuchowski, 1998; Bogucki, red., 1999). Długotrwałe narażenie na małe stężenia CO prowadzi z czasem do adaptacji, przejawiającej się początkowo zwiększeniem liczby czerwonych krwinek, ale później do niedokrwistości

w wyniku upośledzenia układu krwiotwórczego. Polskie normy dopuszczalnego stężenia CO są bardziej rygorystyczne od norm WHO, które zezwalają na stężenia trzykrotnie wyższe, np. średnie 30-minutowe stężenie tego gazu może wynosić  $60 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , podczas gdy w Polsce  $20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  (Juda-Rezler, 2000).

Ozon ( $\text{O}_3$ ) – opisany w części I, w rozdziale 2.2.2.

### Zanieczyszczenia pyłowe

Szkodliwy wpływ zanieczyszczeń pyłowych na człowieka znany był od dawna, a pierwsza praca na ten temat ukazała się już w 1524 r. (Juda-Rezler, 2000). Pyłem nazywa się mieszaninę małych cząstek stałych zawieszonych w powietrzu. W literaturze spotyka się następujące oznaczenia pyłu: całkowity pył zawieszony mierzony metodą wagową (TSP), całkowity pył zawieszony mierzony metodą reflektometryczną (BS), zawieszony pył drobny o średnicy ziaren  $<10 \mu\text{m}$  (PM10) i pył bardzo drobny o średnicy ziaren  $<2,5 \mu\text{m}$  (PM2,5).

Głównymi naturalnymi źródłami pyłów są wszelkiego rodzaju osady, aerozole morskie, roślinne i zwierzęce, wybuchy wulkanów i pożary lasów. Antropogenicznymi źródłami zapylenia powietrza są natomiast wszystkie gałęzie przemysłu, a przede wszystkim: energetyka, przemysł budowlany (produkcja cementu), budownictwo oraz transport (ścieranie asfaltu i opon samochodowych).

Stopień szkodliwości pyłu zależy od jego składu chemicznego i mineralogicznego oraz rozmiarów ziaren. W odniesieniu do człowieka najbardziej szkodliwe działanie wykazuje pył drobny i bardzo drobny zawieszony w powietrzu, o średnicy ziaren  $<10 \mu\text{m}$ , a zwłaszcza cząstki o wymiarach  $3\text{--}5 \mu\text{m}$ . Pył ten wnika do organizmu przez drogi oddechowe powodując nasilony kaszel, trudności z oddychaniem, chroniczny bronchit, pylicę, osłabienie czynności płuc oraz przez układ pokarmowy (tab. 3.1.3). Cząstki o większej średnicy zatrzymują się w górnych odcinkach dróg oddechowych, skąd są wydalane. Najbardziej toksyczne są pyły zawierające związki metali ciężkich (arsenu, ołowiu, kadmu, niklu i rtęci) i węglowodory aromatyczne. Skutki zdrowotne wdychania pyłów o różnym składzie chemicznym są wielorakie i dotyczą najczęściej osób w podeszłym wieku, chorujących przewlekłe (astma), a przede wszystkim dzieci, których układ oddechowy nie jest w pełni ukształtowany, a ponadto wdychają one o 50% więcej powietrza (w przeliczeniu na kilogram masy ciała) niż dorośli, np. stężenie pyłu zawieszonego  $150 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  powoduje 3–6-procentowy spadek objętości wydechowej płuc u dzieci utrzymujący się przez kolejne 3 dni (Folinsbee, 1993; Juda-Rezler, 2000). Oprócz szkodliwego wpływu pyłów i aerozoli na człowieka, roślinność i materiały, należy podkreślić ich negatywny wpływ na warunki klimatu miejscowego. Przy dużej koncen-



tracji pyły stają się jądrami kondensacji pary wodnej, sprzyjają tworzeniu się mgły i smogu oraz ograniczają widzialność.

Tabela 3.1.3. Zanieczyszczenia powietrza a dolegliwości dróg oddechowych (wg: Machalek, 1997)

Choroby i dolegliwości dróg oddechowych	Nasilenie się objawów chorobowych (%) przy wzroście o $10 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ stężenia średniorocznego		
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	pył zawieszony
Katar	19	10	7
Duszności podczas wysiłku fizycznego	21	6	2
Napady duszności	32	15	15
Świszczące szmery przy oddychaniu	11	6	2
Chroniczna flegma	21	9	2
Chroniczny kaszel	4	7	5

### Metale ciężkie

Największy udział w emisji metali ciężkich w Polsce mają energetyka, przemysł metalurgiczny, źródła komunalno-bytowe, a w przypadku ołowiu – transport drogowy. Metale ciężkie charakteryzuje bardzo długi okres przebywania w środowisku przyrodniczym (w powietrzu, wodach i glebie). Większość z tych, które docierają do płuc człowieka zawarta jest w drobnych i bardzo drobnych frakcjach pyłu lub aerozoli. Stwierdzono, że niektóre z metali ciężkich, np. arsen, kadm, rtęć i ołów odznaczają się wysoką toksycznością w odniesieniu do człowieka (Sroczyński, 1988).

**Ołów (Pb)** – przenika do powietrza wraz z cząstkami pyłu i pozostaje w nim około 10 dni, a następnie przedostaje się do gleby i wód powierzchniowych. Jest szczególnie toksyczny dla ludzi i zwierząt. Do organizmu ludzi wnika poprzez drogi oddechowe i przewód pokarmowy, skąd jest wchłaniany do krwi i akumulowany w kościach, zębach, nerkach, wątrobie oraz w mózgu, wywołując zmiany w układzie nerwowym, krwionośnym i krwiotwórczym. Na szkodliwe działanie ołowiu najbardziej narażone są dzieci do lat 6 i kobiety ciężarne.

**Kadm (Cd)** – w warunkach naturalnych jest składnikiem rud cynku i miedzi. Do atmosfery emitowany jest przez przemysł metalurgiczny, jest również składnikiem dymu papierosowego. Ma bardzo długi okres rozpadu – od 10 do 30 lat. Z uwagi na wysoką toksyczność, kadm jest jednym z najgroźniejszych zanieczyszczeń środowiska dla ludzi i zwierząt. Do organizmu człowieka przedostaje się drogą oddechową oraz pokarmową – poprzez skażone pożywienie. Największa akumulacja Cd zachodzi w ziarnach zbóż, sałacie, tytoniu, burakach, ziemniakach i marchwi. Kadm

odkłada się w nerkach w wątrobie oraz w kościach; wpływa szkodliwie na układ immunologiczny, nerwowy i krwiotwórczy.

**Rtęć (Hg)** – jest naturalnym składnikiem gleby, wody i powietrza, jej emisja naturalna jest większa niż antropogeniczna (procesy spalania paliw). Związki rtęci przedostają się do organizmu drogą pokarmową przez skażoną żywność (głównie ryby) i oddechową, a ich toksyczność zależy od formy związku (np. aż 80% wdychanych par rtęci zatrzymywanych jest w organizmie człowieka i wraz z krwią rozprowadzanych do wszystkich tkanek). Rtęć atakuje przeważnie układ nerwowy, a szczególnie jego funkcje czuciowe i koordynacyjne. Najbardziej toksyczne są organiczne i nieorganiczne związki rtęci, które mogą spowodować nawet śmierć.

**Arsen (As)** emitowany jest do atmosfery w procesach spalania paliw w energetyce i przemyśle metalurgicznym. Arsen i jego związki charakteryzują się silnymi właściwościami toksycznymi i kancerogennymi. Do organizmu człowieka arsen dostaje się w niewielkich ilościach drogą pokarmową (przez picie zanieczyszczonej wody), w mniejszym stopniu – drogą oddechową. W nadmiernej ilości może spowodować zatrucie, bóle głowy, wypadanie włosów, zakłócenia rytmu serca. Jest absorbowany przez krew (Juda-Rezler, 2000).

### 3.2. Hałas

Hałasem są wszelkie niepożądane, nieprzyjemne, dokuczliwe lub szkodliwe drgania ośrodka sprężystego działającego za pośrednictwem powietrza na organ słuchu i na inne zmysły oraz elementy organizmu człowieka. Hałas należy do najbardziej intensywnych bodźców jakie docierają do człowieka (Engel, 2001; Siemiński, 2001).

Natężenie hałasu wyraża się w decybelach (dB), a podstawowym parametrem oceny jest równoważny poziom dźwięku ( $A$ ). Jest to ważona wartość ciśnienia akustycznego rozpatrywanego dźwięku w określonym przedziale czasu ( $t$ ). Wartość ta zwana jest również średnim poziomem dźwięku  $L_A$ .

$$L_A = 10 \lg \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2}{p_0^2} dt \right]$$

gdzie:  $t_2 - t_1$  – ustalony przedział czasu,

$p_A$  – ciśnienie akustyczne w paskalach,

$p_0$  – ciśnienie akustyczne odniesienia (20  $\mu$ Pa)

Dopuszczalny poziom hałasu w środowisku określa Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia

13.05.1998 r. (Dz.U. 1998 r., nr 66 poz. 436). W stosunku do norm wymienionych w Rozporządzeniu z 1980 r. dopuszczalny poziom dźwięku jest obecnie o około 10 decybeli wyższy (tab. 3.2.1). Wartości progowe poziomu hałasu, których przekroczenie powoduje zaliczenie terenu do kategorii zagrożonych (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 09.01.2002 r., Dz.U. 2002 r., nr 8 poz. 81) podaje tabela 3.2.2.

Tabela 3.2.1. Dopuszczalny poziom hałasu (Rozporządzenie MOŚZNiL z dnia 13 V 1998, Dz.U. 1998 nr 66 poz. 436)

Lp.	Przeznaczenie terenu	Dopuszczalny poziom hałasu w dB wyrażony równoważnym poziomem dźwięku (A)			
		drogi lub linie kolejowe		pozostałe źródła hałasu	
		dzień 16 godzin	noc 8 godzin	dzień <sup>1</sup>	noc <sup>2</sup>
1	Obszar ochrony uzdrowiskowej A, szpitale poza miastem	50	40	45	35
2	Tereny wypoczynkowo-rekreacyjne poza miastem, zabudowy jednorodzinnej, szpitale w miastach	55	45	45	40
3	Tereny zabudowy mieszkaniowej	60	50	50	40
4	Strefa śródmiejska (>100 tys. mieszkańców, zwarta zabudowa mieszkaniowa)	65	55	55	45

<sup>1</sup> 8 najbardziej niekorzystnych godzin dnia.

<sup>2</sup> 1 najmniej korzystna godzina nocy.

Tabela 3.2.2. Wartości progowe poziomu hałasu (Dz.U. 2002, nr 8 poz. 81)

Lp.	Przeznaczenie terenu	Wartość progowa poziomu hałasu w dB wyrażona równoważnym poziomem dźwięku (A)			
		drogi lub linie kolejowe		pozostałe źródła hałasu	
		dzień 16 godzin	noc 8 godzin	dzień <sup>1</sup>	noc <sup>2</sup>
1	Obszar ochrony uzdrowiskowej A	60	50	50	45
2	Tereny wypoczynkowo-rekreacyjne poza miastem	60	50	-	-
3	Stale lub wielogodzinne przebywanie dzieci i młodzieży, tereny zabudowy szpitalnej	65	60	60	50
4	Tereny zabudowy mieszkaniowej	75	67	67	57

<sup>1</sup> 8 kolejnych, najbardziej niekorzystnych godzin dnia.

<sup>2</sup> 1 najmniej korzystna godzina nocy.

Bodźce słuchowe odbierane przez człowieka wpływają na układ krążenia, układ oddechowy, przewód pokarmowy, a przede wszystkim na układ nerwowy. Skutki tego oddziaływania zależą od poziomu dźwięku.

Hałas nie przekraczający 35 dB jest dla człowieka nieszkodliwy. Dźwięk o natężeniu 36–70 dB powoduje zmęczenie układu nerwowego, obniżenie czułości wzroku, utrudnia rozumienie mowy, niekorzystnie wpływa na sen i wypoczynek. Hałas o natężeniu 71–85 dB powoduje osłabienie słuchu, bóle głowy, wpływa ujemnie na wydajność pracy. Sygnały akustyczne przekraczające poziom 85 dB mogą być niebezpieczne dla człowieka, gdyż powodują skurcz naczyń krwionośnych, zmiany ciśnienia krwi i funkcji wydzielniczych żołądka, zawroty głowy i zaburzenia zmysłu równowagi, a także zawężenie pola widzenia oraz zmiany percepcji kolorów. Hałas o natężeniu 130 dB może powodować choroby psychiczne, wywołuje mdłości i drgania niektórych organów wewnętrznych prowadzące nawet do ich zniszczenia. Skutki działania hałasu na narząd słuchu przejawiają się uszkodzeniem struktur narządu słuchu, upośledzeniem sprawności słuchu oraz ostrym lub przewlekłym urazem akustycznym – głuchotą (Engel, 2001).

# CZEŚĆ II

## METODY STOSOWANE W BADANIACH BIOMETEOROLOGICZNYCH

---

Od początku istnienia biometeorologii jako nauki poszukiwano metod, które pozwoliłyby na obiektywną ocenę oddziaływania bodźców atmosferycznych na człowieka. Starano się ująć w postać formuł matematycznych związków pomiędzy wielkościami fizycznymi charakteryzującymi środowisko atmosferyczne a subiektywnym odczuciem cieplnym i natężeniem reakcji termoregulacyjnych, konstruowano przyrządy-analogi ciała człowieka. Dzięki interdyscyplinarności biometeorologii korzystano z metod stosowanych w geofizyce, biologii i medycynie.

Metody służące do oceny oddziaływania bodźców atmosferycznych na człowieka można podzielić na kilka grup. Są to: badania eksperymentalne (lekarsko-meteorologiczne), metody pomiarowe, metody obliczeniowe i modelowanie matematyczne, w tym metoda bilansu cieplnego.

Najprostszym sposobem oceny wpływu warunków meteorologicznych na człowieka jest analiza częstości występowania wartości progowych zmiennych meteorologicznych o różnym stopniu bodźcowości, istotnych z punktu widzenia organizmu człowieka, a następnie odnoszenie ich do norm i kryteriów stosowanych w biometeorologii. Wartości te podano w części I w rozdziale 2.2. Można je również znaleźć w literaturze z zakresu bioklimatologii i biometeorologii (Kozłowska-Szczęsna, red., 1985; Kozłowska-Szczęsna i inni, 1997, 2002).

### 1. Badania eksperymentalne

Badania eksperymentalne obejmują: badania kliniczne, epidemiologiczne, laboratoryjne i dotyczą meteorofizjologii i meteoropatologii. Prowadzone są przy udziale grup ludzi w różnym wieku, płci i stanie zdrowia. Odbywają się w środowisku naturalnym lub też w warunkach kontrolowanych (w komorach klimatycznych), pod nadzorem lekarza. Oprócz

wielkości fizycznych charakteryzujących warunki meteorologiczne mierzy się takie wielkości fizjologiczne jak: ilość wydychanego dwutlenku węgla (wskaźnik ilości ciepła metabolicznego), temperaturę wewnętrzną (rektalną), temperaturę skóry człowieka (mierzoną w kilku lub w kilkunastu punktach ciała), ilość wydzielanej wody, ciśnienie tętnicze krwi i inne. Uczestnicy takich badań ubrani są w znormalizowaną odzież o znanych właściwościach termoizolacyjnych (Mann, 1970; Tanger, 1974; Clark i Edholm, 1985).

W studiach lekarsko-meteorologicznych z zakresu meteoropatologii często stosuje się analizę biosynoptyczną (tzw. biometeorogram). Jest to zestawienie codziennych sytuacji synoptycznych (barycznych typów pogody) i wartości zmiennych meteorologicznych oraz ich zespołów z wynikami badań lekarskich wybranych grup pacjentów. Następnym etapem jest szukanie związku statystycznego pomiędzy występowaniem objawów chorobowych a warunkami fizycznymi środowiska atmosferycznego. Trzeba jednak zauważyć, że informacje otrzymane od chorych (w postaci ankiet i kwestionariuszy) są w wielu przypadkach obarczone brakiem obiektywizmu. Materiałów zebranych w ten sposób jest niewiele i dotyczą zwykle małych grup ludzi przebywających na kuracji w uzdrowiskach lub też na leczeniu w oddziałach szpitalnych. Do oceny warunków atmosferycznych w tego rodzaju badaniach stosuje się różnego rodzaju klasyfikacje biosynoptyczne i typologie pogody, szczegółowo omówione w rozdziale 6.

Badania ankietowe, w których uwzględnia się wiek, płeć i stan zdrowia badanego, a także rodzaj noszonej odzieży dotyczą na ogół wrażliwości człowieka na bodźce pogodowe. Prowadzone są one w różnych warunkach fizycznogeograficznych Polski. Na podstawie tych badań tworzy się skale odczuć ciepłych (Baranowska i Gabryś, 1981; Baranowska i Cedzyńska-Ziomba, 1997).

W celu wykazania ponadprzypadkowej zależności oraz siły związku pomiędzy czynnikami meteorologicznymi i sytuacjami synoptycznymi a badanymi zjawiskami biologicznymi (np. zachorowalnością, umieralnością) stosuje się metody statystyki matematycznej, przede wszystkim rachunek prawdopodobieństwa i analizę szeregów czasowych. Trzeba dodać, że merytorycznie nieuzasadnione jest obliczanie wartości średnich wskaźników biometeorologicznych i odnoszenie ich do skal odczucia termicznego. Lepszą charakterystyką tych danych są takie miary zmienności jak: rozkłady częstości w odpowiednich przedziałach liczbowych i prawdopodobieństwo występowania danego zjawiska.

Warto dodać, że do prostej oceny związków przyczynowych pomiędzy częstością zachorowań a warunkami meteorologicznymi stosowany jest od wielu lat wskaźnik meteorotropizmu de Rudderera (WM) (Baranowska i Kontowt, 1969; Jankowiak, red., 1976; Tyczka i inni, 1986):

$$WM = N \cdot Kn / n \cdot KN$$

gdzie:  $N$  – liczba dni, w których prowadzono badania,

$n$  – liczba dni z daną sytuacją pogodową,

$KN$  – liczba badanych zjawisk fizjologicznych, które wystąpiły w  $N$  dniach,

$Kn$  – liczba badanych zjawisk fizjologicznych, które wystąpiły w  $n$  dniach.

Przyjmuje się, że statystyczną istotność związku między badanymi zjawiskami biologicznymi i meteorologicznymi określają następujące wartości wskaźnika meteorotropizmu:

$WM < 1$  – korelacja badanych zjawisk (cech) jest ujemna,

$WM > 1$  – korelacja badanych zjawisk jest dodatnia,

$WM > 1,5$  oznacza silny meteorotropizm badanych zjawisk biologicznych (np. zachorowań, zgonów).

W starszych pracach z zakresu biometeorologii człowieka, szczególnie dotyczących meteorotropizmu chorób, do potwierdzenia istnienia statystycznie istotnej korelacji badanych zjawisk stosowano metodę Schellinga lub metodę Bernuillego, za pomocą których wyznacza się prawdopodobieństwo wystąpienia badanego zjawiska (Hasik i inni, 1961; Wojtowicz i Dzierżyński, 1962; Jankowiak, red., 1976).

## 2. Metody pomiarowe

W badaniach biometeorologicznych często stosuje się przyrządy-analogi, kształtem przypominające ciało człowieka, przy czym najczęściej geometryczną formą czujnika przyrządu jest kula lub walec; w nowszych przyrządach jest nią elipsoida. Zakłada się, że powierzchnia przyrządu podlega takim samym procesom wymiany ciepła przez przewodzenie, konwekcję i promieniowanie cieplne jak powierzchnia ciała człowieka.

Te proste w obsłudze przyrządy (walec, kula) służą najczęściej do określania wielkości ochładzającej powietrza jako funkcji temperatury i prędkości wiatru. Już w 1913 r. L. Hill skonstruował **katatermometr** – termometr alkoholowy ze zbiorniczkiem w kształcie walca o powierzchni 23 cm<sup>2</sup>, który stosowany jest jeszcze na niektórych posterunkach meteorologicznych i w terenowych badaniach bioklimatycznych. Wielkość ochładzająca powietrza jest równa ilości ciepła jawnego (katatermometr suchy) lub utajonego (katatermometr wilgotny) jaką 1 cm<sup>2</sup> przyrządu oddaje do otoczenia w ciągu 1 sekundy. Wartości te (wyrażone w W·m<sup>-2</sup>) odnosi się do odpowiednich skal odczucia cieplnego. Wśród nich na uwagę zasługują skale odczucia termicznego opracowane dla terenu Polski przez M. Baranowską, w których uwzględniono sezonowe i regionalne zróżnicowanie odczucia

ciepłego populacji Polaków nabyte w wyniku aklimatyzacji (Baranowska i inni, 1986; Kozłowska-Szczęsna i inni, 1997; Błażejczyk, 2004).

Spośród przyrządów – analogów należy też wymienić **frygorymetr** skonstruowany w 1925 r. przez C. Dorno i R. Thileniusa, a nieco później – w 1933 r., przyrząd rejestrujący – **frygorygraf**. Czujniki tych przyrządów mają kształt poczernionej kuli o średnicy 15 cm i współczynnika emisyjności 0,95, podgrzewanej prądem elektrycznym do stałej temperatury (36,5°C). Wielkość ochładzająca powietrza mierzona za pomocą frygorymetru jest proporcjonalna do ilości energii niezbędnej do utrzymania temperatury powierzchni przyrządu na stałym poziomie. Trzeba również wspomnieć o różnego rodzaju **termometrach kulistych**, które wskazują tzw. temperaturę promieniowania i służą na ogół do oceny warunków odczuwalnych w pomieszczeniach zamkniętych. Do tej grupy przyrządów należy także miernik **komfortu ciepłego** o czujniku w kształcie elipsoidy. Ten analog ciała człowieka jest w ostatnich latach coraz częściej stosowany w badaniach termofizjologicznych (Parsons, 1993; Błażejczyk, 1998).

Prostą konstrukcją wyróżnia się **miernik odczuć ciepłych** B.A. Ajzenštata. Jest to pionowy walec o wysokości 11 cm i średnicy 8 cm, wykonany z blachy stalowej w kolorze popielato-beżowym o albedo 30%, z umieszczonym wewnątrz termometrem. Temperatura wnętrza takiego cylindra ( $T_c$ ) jest wskaźnikiem odczuć ciepłych człowieka kształtowanych pod wpływem temperatury powietrza i natężenia promieniowania słonecznego oraz, w mniejszym stopniu, pod wpływem prędkości wiatru. Ze względu na prostotę obsługi miernik odczuć ciepłych stosowany jest często w badaniach terenowych jako wskaźnik temperatury odczuwalnej. Skala odczucia ciepłego opracowana przez K. Błażejczyka (2004) na podstawie długich serii pomiarów wykonanych w różnych warunkach fizyczno-geograficznych Polski przedstawia się następująco:

<u><math>T_c</math> (°C)</u>	<u>Odczucie ciepłe</u>
<-23,5	bardzo zimno
-23,5-2,4	zimno
2,5-18,4	chłodno
18,5-24,9	komfortowo
25,0-34,4	ciepło
34,5-41,0	gorąco
>41,0	bardzo gorąco

Wśród przyrządów analogów ciała człowieka najdoskonalszą konstrukcję mają tzw. manekiny ciepłe. Są to przyrządy o wymiarach ciała człowieka, zbudowane z miedzi (*copper man*) i specjalnych mas plastycznych,



ogrzewane, wyposażone w odzież, a nawet w mechanizm symulujący wydzielanie wody, które służą do badań termoizolacyjności odzieży w warunkach laboratoryjnych. Jednak pomimo licznych prób nie udało się skonstruować przyrządu, za pomocą którego można oszacować z dużym prawdopodobieństwem ewaporacyjne straty ciepła z organizmu człowieka. Pewne przybliżenie wielkości tych strat może dać pomiar przy użyciu katatermometru zwilżonego oraz manekinów cieplnych.

### 3. Metody obliczeniowe

Efekt działania na człowieka różnych bodźców atmosferycznych ocenia się najczęściej za pomocą rozmaitych wskaźników biometeorologicznych. Są to na ogół proste równania o składowych w postaci takich elementów meteorologicznych jak: temperatura i wilgotność powietrza, prędkość wiatru, promieniowanie słoneczne, a nawet natężenie pola elektrycznego atmosfery. Zespół tych elementów kształtuje bowiem odczucia cieplne i decyduje o wielkości obciążenia termicznego człowieka (Taesler, 1987).

Do najczęściej stosowanych w praktyce biometeorologicznej formuł empirycznych zwanych kompleksowymi wskaźnikami biometeorologicznymi należą tzw. quasitemperatury; wśród nich temperatura ekwiwalentna ( $T_e$ ), temperatura efektywna ( $TE$ ), temperatura radiacyjno-efektywna ( $TRE$ ), temperatura zredukowana ( $TR$ ), a także entalpia ( $i$ ) i wielkość ochładzająca powietrza ( $H$ ). Wskaźniki te mogą służyć do oceny odczuć cieplnych ludzi przebywających w ciągu całego roku w różnych warunkach środowiska atmosferycznego. Tylko do okresu ciepłego stosuje się natomiast: wskaźnik dyskomfortu lub wskaźnik temperaturowo-wilgotnościowy ( $DI$ ,  $THI$ ), wskaźnik obciążenia cieplnego ( $WBGT$ ) i wskaźnik *Humidex*. Dla okresu chłodnego najczęściej używa się wskaźnika ochładzania wiatrem ( $WCI$ ) lub jego pochodne ( $WCT$ ,  $WCET$ ), a także wskaźnika surowości pogody ( $SO$ ).

Wskaźniki biometeorologiczne oblicza się na ogół dla południowego terminu obserwacyjnego (godz. 12 UTC) i przedstawia w postaci rozkładu ich częstości w odpowiedniej skali odczucia termicznego. Można przy tym korzystać ze szczegółowych wzorów i skal odczucia cieplnego opisanych w najnowszej polskiej literaturze z zakresu biometeorologii i bioklimatologii (Kozłowska-Szczęśna i inni, 1997; Bogucki, red, 1999; Krawczyk, 2003b; Błażejczyk, 2004). Do wyznaczania wskaźników biometeorologicznych można posługiwać się także programem BioKlima<sup>©</sup>2.3 opracowanym w Zakładzie Klimatologii IGiPZ PAN (Błażejczyk, 2004). Program ten jest dostępny na stronie internetowej [www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/blaz/bioklima.htm](http://www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/blaz/bioklima.htm).

W dalszej części rozdziału przedstawiono tylko te wskaźniki biometeorologiczne, które bądź nie znalazły się w wymienionych wyżej publikacjach, bądź też powstały w ostatnich latach na podstawie nowych modeli bilansu cieplnego człowieka. Spośród kompleksowych wskaźników biometeorologicznych na uwagę zasługuje wskaźnik patogenności pogody (indeks pogody).

**Wskaźnik patogenności pogody** zwany też **indeksem pogody** jest sumą wskaźników cząstkowych, uwzględniających wielkość odchyłeń wartości poszczególnych elementów oceny od ich wartości optymalnych, nie powodujących ujemnych reakcji człowieka (Boksa i Boguckij, 1980; Podstawczyńska i Adamkiewicz, 1998). Jako wartości optymalne przyjęto: temperaturę powietrza 18°C, wilgotność względną powietrza 50%, prędkość wiatru  $0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , zachmurzenie 0, zmiany ciśnienia 0 hPa na dobę, zmiany średniej dobowej temperatury  $0^\circ/\text{dobę}$ , zmiany impulsów pola elektromagnetycznego  $<10 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{doba}^{-1}$ , zmiany pola magnetycznego  $0-5 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$ , zmiany aktywności Słońca  $(0-5) \cdot 10^{-22} \cdot \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}$  na dobę. Z wyjątkiem wilgotności względnej, wartość każdego wskaźnika cząstkowego jest proporcjonalna do kwadratu odchylenia od wartości optymalnej dla danego elementu.

Wskaźnik patogenności temperatury powietrza:

$$i_t = 0,02 (18 - t_{sr})^2 \quad \text{gdy } t_{sr} \leq 18^\circ\text{C}$$

$$i_t = 0,2 (t_{sr} - 18)^2 \quad \text{gdy } t_{sr} > 18^\circ\text{C}$$

gdzie:  $t_{sr}$  – średnia dobowa temperatura powietrza w °C.

Wskaźnik patogenności wilgotności powietrza:

$$i_{RH} = 10^{\frac{RH - 70}{20}}$$

$RH$  – średnia dobowa wilgotność względna powietrza w %.

Wskaźnik patogenności wiatru:

$$i_v = 0,2 \cdot v^2$$

$v$  – średnia dobowa prędkość wiatru w  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Wskaźnik patogenności zachmurzenia:

$$i_N = 0,06 \cdot N^2$$

$N$  – zachmurzenie określone według wzoru:

$$N = 10 - 10 S_u / S_m$$

$S_u$  – usłonecznienie rzeczywiste

$S_m$  – usłonecznienie możliwe.

Wskaźnik patogenności zmian ciśnienia atmosferycznego:

$$i_{dp} = 0,06 (dp)^2$$

$dp$  – wielkość zmian dobowych ciśnienia atmosferycznego w hPa.

Wskaźnik patogenności zmian temperatury powietrza:

$$i_{dt} = 0,3 (dt)^2$$

$dt$  – zmiany dobowe temperatury powietrza w °C.

Wskaźnik patogenności zmian pola elektromagnetycznego atmosfery:

$$i_e = 0,4 \cdot e^2$$

$e$  – liczba impulsów pola elektromagnetycznego atmosfery większych od  $10 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ .

Wskaźnik patogenności zmian pola magnetycznego Ziemi:

$$i_{dm} = 0,002 (dm)^2$$

$dm$  – dobowe wahania natężenia pola magnetycznego Ziemi (różnica między wartością minimalną i maksymalną natężenia tego pola).

Wskaźnik patogenności aktywności Słońca:

$$i_{ds} = 0,02 (ds)^2$$

$ds$  = zmiany dobowe średniego radiopromieniowania Słońca o częstotliwości 3100 mHz w  $10^{-22} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}$ .

**Wskaźnik patogenności pogody (I)** stanowi sumę dwóch składowych:

$$I = I_1 + I_2$$

gdzie:

$$I_1 = i_t + i_{RH} + i_v + i_N + i_{dp} + i_{dt}$$

$$I_2 = i_e + i_{dm} + i_{ds}$$

Wtedy gdy  $I$  przybiera wartości:

- |       |   |
|-------|---|
| 0–19  | występuje pogoda optymalna dla człowieka, |
| 20–49 | występuje pogoda drażniąca,               |
| >50   | występuje pogoda ostra.                   |

W przypadku braku danych do obliczenia wskaźników cząstkowych  $i_e$ ,  $i_{dm}$ ,  $i_{ds}$  można posługiwać się tylko wskaźnikiem  $I_1$ . Wówczas jego wartości oznaczają:

- |       |                              |
|-------|------------------------------|
| 0–9   | pogodę optymalną (obojętną), |
| 10–24 | pogodę drażniącą,            |
| >25   | pogodę ostrą.                |

W tym miejscu należy jeszcze wspomnieć o kompleksowych wskaźnikach biometeorologicznych, które zostały opracowane w ostatnich latach i służą do oceny dyskomfortu cieplnego. Są to:

**temperatura ochładzania wiatrem** (*WCT – Wind Chill Temperature* lub *Wind Chill Factor*), **ekwiwalent ochładzania wiatrem** (*WCET*) oraz wskaźnik **Humidex**. Wskaźnik *WCT* jest stosowany w Kanadzie i Stanach Zjednoczonych w codziennych prognozach meteorologicznych w okresie zimowym, a *Humidex* w okresie letnim, szczególnie w krajach Europy południowej. Za pomocą *WCT* można ocenić nie tylko odczucie zimna, ale także stopień zagrożenia zdrowia człowieka i sposób zapobiegania skutkom skrajnie chłodnych warunków biotermicznych (Błażejczyk, 2004).

Wskaźnik *WCT* wyrażony w °C wyznacza się z następującego wzoru:

$$WCT = 13,12 + 0,6215 \cdot t - 11,37 \cdot (1,5 \cdot v)^{0,16} + 0,3965 \cdot t (1,5 \cdot v)^{0,16}$$

**Ekwiwalent ochładzania wiatrem** (*WCET – Wind Chill Equivalent Temperature*). Wskaźnik ten zwany jest również temperaturą odczuwalną (Whiteman, 2000):

$$WCET = T_{sk} - [(v + v_o)/v_o]^{0,21} [T_{sk} - t]$$

gdzie:  $v$  – prędkość wiatru ( $m \cdot s^{-1}$ ),

$v_o$  – efektywny ruch powietrza wytwarzany przez człowieka poruszającego się  $2 m \cdot s^{-1}$ ,

$T_{sk}$  – temperatura skóry człowieka  $33^{\circ}C$ ,

$t$  – temperatura powietrza.

Używając *WCET* do określania stresu zimna i jego skutków dla organizmu człowieka można posługiwać się tabelą 3.1.

Wskaźnik *Humidex* wyznacza się z następującego wzoru (Błażejczyk, 2004):

$$Humidex = t + 0,5555 (e - 10)$$

gdzie:  $t$  – temperatura powietrza ( $^{\circ}C$ ),

$e$  – ciśnienie pary wodnej (hPa).

Do oceny stopnia zagrożenia termiczno-wilgotnościowego stosowana jest następująca skala:

<u>Humidex (<math>^{\circ}C</math>)</u>	<u>Stopień zagrożenia</u>	<u>Odczuwane objawy</u>
Od 23 do < 29	poziom ostrzegawczy	niewielki dyskomfort
Od 29 do < 39	wzrost zagrożenia	znaczny dyskomfort
Od 39 do < 54	znaczne zagrożenie	duży dyskomfort
54 i więcej	duże zagrożenie	możliwość udaru cieplnego podczas pobytu w terenie otwartym

Tabela 3.1. Dyskomfort chłodu i stopień zagrożenia zdrowia człowieka (wg: Błażejczyk, 2004)

WCT (°C)	Odczucie zimna	Zagrożenia	Sposób przeciwdziałania
0 – -10,0	niewielkie	nieznaczny wzrost dyskomfortu	cieple ubranie
-10.1 – -25,0	umiarkowane	dyskomfort. w przypadku długotrwałego pobytu w terenie otwartym bez odpowiedniej odzieży możliwe wychłodzenie	cieple, wielowarstwowe ubranie oraz nakrycie głowy; konieczny ruch
-25.1 – -45,0	znaczne	możliwość odmrożenia odsłoniętych części ciała; wychłodzenie możliwe podczas długotrwałego pobytu w terenie otwartym bez odpowiednich zabezpieczeń	cieple, wielowarstwowe ubranie i nakrycie głowy oraz osłonięcie twarzy od wiatru; konieczny ruch
-45.1 – -60,0	duże	nieosłonięta skóra ulega odmrożeniu już po kilku minutach; znaczne niebezpieczeństwo wychłodzenia organizmu	bardzo ciepłe, wielowarstwowe ubranie i nakrycie głowy oraz osłonięcie twarzy; ograniczenie pobytu w terenie otwartym
< -60,0	bardzo duże	niebezpieczeństwo dla zdrowia i życia; nieosłonięta skóra ulega odmrożeniu już po dwóch minutach	należy pozostać w domu

#### 4. Modele oceny warunków biometeorologicznych

Dalszym etapem poszukiwań najbardziej przydatnych w biometeorologii metod badawczych było tworzenie modeli matematyczno-fizycznych opisujących bilans ciepłoty człowieka, rozumiany jako stan równowagi pomiędzy ilością energii otrzymywanej przez człowieka od Słońca oraz wytwarzanej w procesach metabolicznych i traconej w wyniku takich procesów fizycznych i fizjologicznych jak: parowanie wody (ewaporacja), konwekcja, turbulencja, przewodzenie molekularne, promieniowanie długofalowe z powierzchni ciała człowieka, a w mniejszym stopniu utrata ciepła i pary wodnej z górnych dróg oddechowych.

Równoważenie wymiany ciepła z otoczeniem i utrzymanie temperatury wewnętrznej na stałym poziomie około 37,0°C (przy wahaniami dobowych 0,3–0,5°C) jest przede wszystkim zadaniem układu termoregulacyjnego człowieka. Ośrodek termoregulacji usytuowany w części mózgu zwanej podwzgórzem otrzymuje sygnały o wielkości i rodzaju bodźców termicznych otoczenia, za pośrednictwem położonych w skórze zakończeń nerwowych – obwodowych receptorów ciepła i zimna. Są one rozmieszczone w skórze nierównomiernie, a liczba receptorów zimna (250 tys.) jest znacznie większa niż receptorów ciepła (30 tys.). Na podstawie impulsów

tych receptorów ośrodek termoregulacji odruchowo uruchamia procesy dostosowawcze (reakcje termoregulacyjne). Są to:

- w przypadku wysokiej temperatury otoczenia – rozszerzanie peryferyjnych naczyń krwionośnych, przyspieszenie oddechu oraz aktywne wydzielanie potu w celu eliminacji nadmiaru ciepła w organizmie człowieka. Jednak rolę ochładzającą pot spełnia tylko wtedy, gdy warunki fizyczne środowiska umożliwiają jego parowanie;
- w przypadku oddziaływania na człowieka niskiej temperatury – najważniejszą reakcją termoregulacyjną jest zwiększenie ilości ciepła metabolicznego. Skuteczne jest też zwężenie powierzchniowych naczyń krwionośnych w celu ograniczenia przepływu krwi i obniżenia temperatury powierzchni ciała, a także kurczenie i drżenie mięśni. Równowagę zysków i strat ciepła w warunkach niskiej temperatury osiągnąć można również poprzez zwiększenie termoizolacyjności odzieży (Kozłowski, 1986).

Ciepło metaboliczne ( $M$ ) powstaje w organizmie człowieka w wyniku przemian chemicznych różnych substancji odżywczych. Wielkość strumienia  $M$  zależy nie tylko od cech osobniczych takich jak płeć, wiek, wzrost i ciężar ciała (metabolizm podstawowy), lecz przede wszystkim od wysiłku fizycznego człowieka (tab. 4.1) (Kaciuba-Uściłko i Kruk, 1995).

Tabela 4.1. Metaboliczna produkcja ciepła przy różnej aktywności fizycznej człowieka (wg: Fanger, 1974 oraz ISO 8996)

Czynność	Metaboliczne wytwarzanie ciepła ( $W \cdot m^{-2}$ )*
Leżenie	47
Siedzenie bez ruchu	58
Stanie w pozycji rozluźnionej	70
Chodzenie po równinie z prędkością:	
$3,2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	116
$4,0 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	135
$8,0 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	338
Chodzenie w górę z prędkością $3,2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ przy nachyleniu:	
5%	175
15%	268
25%	390
Zajęcia rekreacyjne i sportowe (gimnastyka, gry sportowe, zapasy)	175–500
Ciężka praca fizyczna	350

\* Wartości metabolizmu odnoszą się do „średniego” człowieka o metabolizmie podstawowym  $45 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

W procesie wymiany ciepła duża jest rola odzieży. Stanowi ona izolację termiczną ciała człowieka i ułatwia transport pary wodnej od jego

powierzchni do otoczenia. Odpowiednia odzież pozwala na zrównoważoną wymianę ciepła i gwarantuje odczucie komfortu cieplnego, gdyż zabezpiecza ciało człowieka zarówno przed zbytnią utratą ciepła, jak i jego nadmiernym dopływem. Z uwagi na funkcję jaką pełni odzież, jej izolacyjność termiczną można traktować jako wskaźnik biometeorologiczny, stosowany w dość szerokim zakresie warunków meteorologicznych (Krawczyk, 1993, 2000). Izolacyjność termiczną odzieży ( $I_{cl}$ ) wyraża się w jednostkach umownych cło (*clothing* – odzież) odpowiadających wartościom oporu przewodzenia ciepła (tab. 4.2), np. termoizolacyjność 1 clo (typowa odzież biurowa) odpowiada oporowi cieplnemu odzieży  $0,155 \text{ K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$  (ISO/DC 11079).

Tabela 4.2. Podstawowa izolacyjność zestawów odzieży ( $I_{cl}$ ) przeznaczonych do przebywania na wolnym powietrzu (wg: Krawczyk, 1993)

Typ	Rodzaj odzieży	$I_{cl}$	
		clo	$\text{K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$
<b>1.</b>	<b>Odzież letnia</b>		
1.1.	Bardzo lekka		
	a) szorty	0,1	0,016
	b) szorty, koszula z krótkim rękawem	0,3	0,045
1.2.	Lekka		
	a) długie spodnie, koszula z krótkim rękawem	0,5	0,078
	b) damska sukienka z krótkim rękawem	0,5	0,078
	c) lekka odzież robocza	0,6	0,093
	d) wojskowy mundur roboczy	0,7	0,108
	e) lekki ubiór sportowy	0,9	0,140
1.3.	Zwykła		
	a) męski garnitur wełniany	1	0,155
	b) żakiet, spódnica wełniana	1	0,155
	c) typowy ubiór roboczy	1	0,155
<b>2.</b>	<b>Odzież sezonów przejściowych (wiosna, jesień), tradycyjna odzież europejska noszona po pracy</b>		
	a) garnitur męski, płaszcz lub kurtka	1,5	0,232
	b) żakiet, spódnica, cienki płaszcz	1,5	0,232
	c) typowy ubiór roboczy, kurtka	1,5	0,232
	d) standardowy ubiór roboczy	1,5	0,232
	e) zestaw odzieży jak w typie 2a i 2b oraz nakrycie głowy, szalik, rękawiczki	2,5	0,388
<b>3.</b>	<b>Odzież zimowa</b>		
3.1.	Lekka		
	zestaw odzieży jak w typie 1.3a, b oraz płaszcz na watolinie, nakrycie głowy, szalik, rękawiczki	3	0,465
3.2.	Zwykła		
	zestaw odzieży jak wyżej z uwzględnieniem ocieplanej bielizny i obuwia	3,5	0,542
3.3.	Ciężka (arktyczna)		
	futro lub płaszcz z podbiciem z futra, kurtka puchowa, futrzane rękawiczki, nakrycie głowy i obuwie, pozostałe części garderoby jak w typie 1.3a, b	>4,0	>0,620

Trzeba dodać, że komfort termiczny jest to stan subiektywnego zadowolenia z warunków środowiska zewnętrznego, który nie wymaga uruchamiania mechanizmów termoregulacyjnych. Odczucie komfortu termicznego zależy w dużym stopniu od cech osobniczych. Na przykład osoby starsze, szczególnie kobiety, potrzebują na ogół wyższej temperatury otoczenia niż ludzie młodzi, aby odczuwać komfort termiczny. Wiąże się to z obniżoną przemianą materii i mniejszym przepływem skórnym krwi u ludzi w podeszłym wieku.

Modelowanie wymiany ciepła pomiędzy ciałem człowieka a otoczeniem stało się w ostatnich latach ważnym narzędziem badawczym w biometeorologii i bioklimatologii, pozwalającym na kompleksowe ujęcie wszystkich elementów środowiska atmosferycznego oddziałujących na człowieka, a także uwzględnienie wpływu czynników fizjologicznych i rodzaju noszonej odzieży.

Studia dotyczące wymiany ciepła między ciałem człowieka a środowiskiem prowadzone są od wielu lat w różnych krajach. Prekursorem tego kierunku badawczego byli w latach 30. XX w. H. Pfeleiderer i K. Buttner. Modele bilansu cieplnego człowieka stosowane początkowo do badania komfortu termicznego w pomieszczeniach zamkniętych, wykorzystywane są w ostatnich latach do oceny warunków biotermicznych miast, terenów leśnych, plaż nadmorskich, a także do konstrukcji map bioklimatycznych w różnych skalach przestrzennych. Przegląd modeli bilansu cieplnego i opis ich zastosowań do celów biometeorologii i bioklimatologii można znaleźć w pracach: K. Błażejczyka (1993, 2004), T. Kozłowskiej-Szczęsnej z zespołem (1997), B. Krawczyk (1993), K.C Parsonsa (1993) czy G. Jendritzky'ego (1995, 2002).

Doświadczalne wyznaczenie poszczególnych strumieni ciepła na powierzchni ciała człowieka jest trudne, głównie z powodu braku odpowiedniej aparatury. Dlatego w praktyce stosuje się metody pośrednie, polegające na zmierzeniu wszystkich niezbędnych elementów meteorologicznych oraz niektórych parametrów fizjologicznych np. temperatury powierzchni człowieka (skóry), a wartości pozostałych – np. ilość ciepła metabolicznego czy intensywność pocenia przyjmuje się jako elementy stałe, bądź jako funkcje temperatury skóry i rodzaju aktywności fizycznej. Termoizolacyjne właściwości odzieży są zwykle wartością stałą lub też są czynnikiem bilansującym wymianę ciepłą (Krawczyk, 1993). W podobny sposób można traktować temperaturę skóry człowieka (Krawczyk, 1979). Wyznaczając poszczególne strumienie ciepła przyjmuje się założenie, że powierzchnia ciała człowieka podlega takim samym prawom przenoszenia energii, jak każda inna powierzchnia fizyczna. Obliczenia wymiany ciepła dotyczą wówczas tzw. „średniego” człowieka (wiek około 30 lat, wzrost 175 cm, waga 75 kg, powierzchnia ciała 1,90 m<sup>2</sup>).



W zależności od potrzeb biometeorologii człowieka, modele bilansu cieplnego można podzielić na: modele dla warunków stacjonarnych i niestacjonarnych wymiany ciepła. W modelach dla **warunków stacjonarnych** zakłada się zrównoważoną wymianę ciepła w co najmniej 24-godzinym przedziale czasu. Do obliczeń poszczególnych składowych równania bilansu cieplnego służą uśrednione wartości parametrów fizjologicznych i meteorologicznych. Elementem równoważącym wymianę ciepła może być wówczas temperatura skóry człowieka, bądź termoizolacyjne właściwości odzieży, a ich wartości, wyznaczone metodą kolejnych przybliżeń z równania bilansu cieplnego, mogą pełnić funkcję wskaźników oceny warunków bioklimatycznych, w tym także regionalizacji (Krawczyk, 1979, 1993; Krawczyk i Błażejczyk, 1999).

**W warunkach niestacjonarnych**, na skutek obciążenia pracą lub przy zmieniających się warunkach termicznych otoczenia, w krótkim czasie może wystąpić nadwyżka lub deficyt ciepła w organizmie człowieka. Wówczas saldo wymiany ciepła ( $S$ ), które jest wynikiem przepływu ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem, może być różne od zera, co świadczy o chwilowym niezbilansowaniu wymiany ciepła. Jeśli  $S$  w ciągu godziny wynosi co najmniej  $45 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , istnieje niebezpieczeństwo podniesienia temperatury wewnętrznej o  $1^\circ\text{C}$  (Błażejczyk, 2004). W celu przeciwdziałania zmianie temperatury wewnętrznej następuje w takim przypadku odruchowe uruchomienie wymienionych wcześniej reakcji termoregulacyjnych.

Spośród wielu modeli bilansu cieplnego wybrano opracowany przez K. Błażejczyka (2004) kompleksowy model bilansu cieplnego MENEX\_2002, sprawdzony w licznych badaniach terenowych nie tylko na obszarze Polski. Pozwala on na analizę wymiany ciepła między ciałem człowieka i otoczeniem w terenie otwartym, zarówno w warunkach stacjonarnych (do ogólnej oceny warunków bioklimatycznych) jak i niestacjonarnych (do oceny warunków biotermicznych różnych typów krajobrazu w różnych typach pogody).

Na podstawie tego modelu jego autor skonstruował kilka wskaźników biometeorologicznych, przydatnych do oceny warunków biotermicznych umiarkowanych szerokości geograficznych, które można stosować w szerokim zakresie wartości elementów meteorologicznych. Są to: wskaźnik obciążenia cieplnego organizmu ( $HL$ ), oczekiwana termoizolacyjność odzieży ( $ECl$ ), temperatura skóry człowieka ( $T_{sk}$ ), wskaźnik stresu termofizjologicznego ( $PhS$ ) oraz temperaturę odczuwalną, ( $STI$ ). Wśród wskaźników opartych na analizie wymiany ciepła warto jeszcze wymienić wskaźnik stresu ciepła ( $HSI$ ) i temperaturę pozorną ( $AT$ ) R.G. Steadmana. Wskaźniki te omówiono w dalszej części rozdziału. Ogólnie można stwierdzić, że wymienione wskaźniki biometeorologiczne oparte na modelach wymiany ciepła można stosować zarówno w warunkach termoneutralnych, jak i stresu ciepła lub stresu chłodu.

Model MENEX\_2002 opiera się na następującym równaniu bilansu cieplnego:

$$M + R + C + L + E + Res + K = S$$

W tym równaniu przychód ciepła dla organizmu stanowią: metaboliczna produkcja ciepła ( $M$ ) oraz pochłonięte promieniowanie słoneczne ( $R$ ).

Oddawanie ciepła do otoczenia odbywa się poprzez:

- turbulencyjną wymianę ciepła jawnego, czyli jego unoszenie z powierzchni ciała (konwekcja  $C$ );
- wypromieniowanie długofalowe (radiacja  $L$ );
- turbulencyjną wymianę ciepła utajonego powstającego w procesie parowania wody z powierzchni ciała (ewaporacja  $E$ );
- oddychanie (respiracyjne straty ciepła, utajonego i jawnego,  $Res$ );
- przewodnictwo cząsteczkowe przy kontakcie z podłożem (kondukcja  $K$ ); strumień ten, z uwagi na niewielkie natężenie, jest zwykle pomijany w obliczeniach.

Saldo wymiany ciepła ( $S$ ) – jest miarą nadwyżki lub deficytu ciepła w organizmie.

Wszystkie składniki tego równania są wyrażone w  $W \cdot m^{-2}$  i przybierają wartości zarówno dodatnie jak i ujemne.

Uproszczony zapis równania bilansu cieplnego przedstawia się następująco:

$$M + Q + E + C + Res = S$$

$Q$  – bilans radiacyjny człowieka obliczany jako suma pochłoniętego promieniowania słonecznego ( $R$ ) i wypromieniowania długofalowego ( $L$ ).

Przy wyznaczeniu poszczególnych składowych równania bilansu cieplnego można posługiwać się programem BioKlima<sup>®</sup>2.3 lub korzystać ze wzorów szczegółowych zamieszczonych w pracy K. Błażejczyka (2004).

## 5. Wskaźniki biometeorologiczne oparte na bilansie cieplnym człowieka

Do oceny obciążenia cieplnego człowieka przebywającego w ciągu całego roku w terenie otwartym może służyć **wskaźnik obciążenia cieplnego** –  $HL$  (*Heat Load*). Wskaźnik ten jest bezwymiarowy i stanowi kombinację salda wymiany ciepła ( $S$ ), ilości pochłoniętego promieniowania słonecznego ( $R$ ) oraz ewaporacyjnych strat ciepła ( $E$ ). Wielkość obciążenia cieplnego zwiększa się znacząco, gdy ilość ciepła traconego w wyniku ewaporacji

przekracza  $50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . Przy wyznaczaniu  $HL$  korzysta się z następujących wzorów:

$$HL = [(S + 1000) / 1000]^{5 / (1 + R)}$$

gdy  $S < 0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  oraz  $E > -50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

$$HL = [(S + 1000) / 1000]^{2 - 1 / (1 + R)}$$

gdy  $S > 0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  oraz  $E > -50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

$$HL = (E / -50)[(S + 1000) / 1000]^{5 / (1 + R)}$$

gdy  $S < 0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  oraz  $E < -50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

$$HL = (E / -50)[(S + 1000) / 1000]^{2 - 1 / (1 + R)}$$

gdy  $S > 0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  oraz  $E < -50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

Współczynniki liczbowe 1, 5 i 1000 są wyrażone w  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

Poszczególnym klasom wartości  $HL$  można przypisać następujące obciążenia cieplne:

<u>HL</u>	<u>Obciążenie cieplne</u>
< 0,250	bardzo silne – stres zimna
0,251–0,820	silne – stres zimna
0,821–0,975	niewielkie – stres chłodu
0,976–1,025	minimalne
1,026–1,180	niewielkie – stres ciepła
1,181–1,750	silne – stres gorąca
>1,750	bardzo silne – stres gorąca

Wartości  $HL$  zawarte w przedziale od 0,821 do 1,180 oznaczają minimalne i niewielkie obciążenie cieplne i wskazują na warunki termoneutralne, oszczędzające. Układ termoregulacyjny jest wtedy obciążony w nieznacznym stopniu. Wartości  $HL < 0,820$  i  $> 1,181$  wskazują na duże obciążenie układu termoregulacyjnego związane zarówno z ochroną organizmu człowieka przed utratą ciepła, jak i z eliminacją jego nadmiaru. Takie warunki biotermiczne można określić jako obciążające, gdyż oznaczają stres zimna lub stres gorąca (Błażejczyk, 2003).

**Oczekiwana izolacyjność odzieży** ( $ECI$  – *Expected Clothing Insulation*) określa, jaki rodzaj odzieży gwarantuje człowiekowi komfort cieplny w zmieniających się w ciągu roku warunkach meteorologicznych.  $ECI$  oblicza się metodą kolejnych przybliżeń z równania bilansu cieplnego

człowieka, przy założeniu, że wartość salda wymiany ciepła ( $S$ ) nie przekracza  $\pm 5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , a temperatura skóry ( $T_{sk}$ ) wynosi  $30^\circ\text{C}$  w okresie od listopada do kwietnia oraz  $32^\circ\text{C}$  od maja do października. Przy obliczaniu tego wskaźnika, wyrażonego w jednostce clo, przyjmuje się również stały poziom metabolizmu ( $M$ ). Poszczególnym przedziałom wartości  $ECI$  przypisuje się następujący rodzaj odzieży, niezbędnej do zachowania komfortu termicznego (Krawczyk, 1993; Kozłowska-Szczęсна i inni, 1997; Błażejczyk, 2004):

<u><math>ECI</math> (clo)</u>	<u>Rodzaj odzieży</u>	<u>Warunki biotermiczne</u>
< 0,30	bardzo lekka odzież letnia (plażowa)	bardzo ciepłe
0,31–0,80	lekka odzież letnia	ciepłe
0,81–1,20	zwykła odzież letnia (typowa odzież biurowa)	neutralne (komfort)
1,21–2,00	grubsza odzież letnia	chłodne
2,01–3,00	odzież okresów przejściowych (wiosenna i jesienna)	zimne
3,00–3,99	odzież zimowa	bardzo zimne
> 4,00	odzież arktyczna	arktyczne

**Temperatura skóry człowieka** ( $T_{sk}$  – *Skin Temperature*) decyduje nie tylko o wielkości poszczególnych strumieni ciepła (jako temperatura powierzchni czynnej), lecz jest również miarą odczucia termicznego człowieka, gdyż kształtuje się zarówno pod wpływem czynników atmosferycznych, jak i fizjologicznych. Wskaźnik ten może służyć do oceny warunków biometeorologicznych w terenie otwartym.  $T_{sk}$  wyznacza się doświadczalnie lub oblicza z modelu bilansu cieplnego człowieka dla warunków stacjonarnych metodą kolejnych przybliżeń; jest ona wówczas czynnikiem bilansującym wymianę ciepła między ciałem człowieka i otoczeniem, a nie realną wielkością fizjologiczną (Krawczyk, 1979). Gdy temperaturę skóry mierzy się w kilku (co najmniej w 3) lub kilkunastu (nawet w 15) punktach ciała człowieka, do obliczeń przyjmuje się jej wartość średnią ważoną, uwzględniającą powierzchnię poszczególnych części ciała. W tych samych warunkach meteorologicznych temperatura skóry różnych części ciała różni się bowiem znacznie. Do obliczenia średniej ważonej wartości  $T_{sk}$  służy wiele wzorów (Klonowicz i Kozłowski, 1970). W polskich badaniach biometeorologicznych (Błażejczyk i Krawczyk, 1991; Błażejczyk, 1993) stosowany był następujący wzór:

$$T_{sk} = 0,07t_1 + 0,05t_2 + 0,5t_3 + 0,18t_4 + 0,2t_5$$

gdzie:  $t_1$  – temperatura skóry czoła,  
 $t_2$  – temperatura skóry dłoni,  
 $t_3$  – temperatura skóry klatki piersiowej,  
 $t_4$  – temperatura skóry uda,  
 $t_5$  – temperatura skóry łydki.

Temperaturę skóry człowieka można również oszacować, z błędem nie większym niż 15%, posługując się wzorem opracowanym przez K. Błażejczyka (2004) na podstawie wartości parametrów meteorologicznych i niektórych składników bilansu cieplnego ciała człowieka (model MENEX\_2002).

$$T_{sk} = (26,4 + 0,0214Mrt + 0,2095t - 0,018RH - 0,01 \cdot v) + 0,6(Icl - 1) + 0,00128M$$

gdzie:  $t$  – temperatura powietrza (°C),  
 $RH$  – wilgotność względna powietrza (%),  
 $v$  – prędkość wiatru ( $m \cdot s^{-1}$ ),  
 $Icl$  – izolacyjność termiczna odzieży (clo),  
 $M$  – metaboliczna produkcja ciepła ( $W \cdot m^{-2}$ )  
 $Mrt$  – średnia temperatura promieniowania (°C); jest to temperatura cienkiej warstwy powietrza otaczającego ciało człowieka ubranego, która kształtuje się pod wpływem temperatury powietrza i promieniowania słonecznego:

$$Mrt = [R' / (5,39 \cdot 10^{-8}) + (273 + t)^4]^{0,25} - 273$$

$R'$  – promieniowanie pochłonięte przez wierzchnią warstwę odzieży lub przez skórę człowieka nieubranego:

$$R' = R / Irc$$

$R$  – promieniowanie słoneczne pochłonięte przez ciało człowieka,

$Irc$  – bezwymiarowy współczynnik osłabienia przepływu ciepła przez odzież.

Następujące przedziały wartości średniej ważonej temperatury skóry człowieka odpowiadają odczuciom cieplnym:

<u><math>T_{sk}</math> (°C)</u>	<u>Odczucie cieplne</u>
< 28,0	bardzo zimno
28,0–28,9	zimno
29,0–31,9	chłodno
32,0–33,2	komfortowo
33,3–34,3	ciepło
34,4–35,5	gorąco
>35,6	bardzo gorąco

Do oceny warunków biotermicznych półrocza ciepłego, w którym występować mogą uciążliwe dla człowieka fale upałów, mogą być przydatne: wskaźnik stresu cieplnego (*HSI*), wskaźnik stresu termofizjologicznego (*PhS*) oraz temperatura pozorną (*AT*).

**Wskaźnik stresu cieplnego (*HSI* – *Heat Stress Index*)**, jest to wyrażony w procentach stosunek parowania z powierzchni ciała człowieka, niezbędnego do zachowania równowagi cieplnej ( $E_{reg}$ ), do parowania maksymalnego w danych warunkach meteorologicznych –  $E_{max}$  (Parsons, 1993; Krawczyk, 2003a).

$$HSI = (E_{reg}) / (E_{max}) \cdot 100$$

$E_{max}$  oblicza się według wzoru:

$$E_{max} = k \cdot v^{0.6} \cdot (56.0 - e)$$

gdzie:  $k$  – współczynnik bezwymiarowy wynoszący 7,0 dla człowieka ubranego,

$v$  – prędkość wiatru na wysokości 1,2 m,

$e$  – ciśnienie pary wodnej w hPa,

56,0 – ciśnienie pary wodnej w temperaturze skóry człowieka 35,0°C.

Wartość  $E_{reg}$  wyznacza się z równania bilansu cieplnego człowieka:

$$E_{reg} = M + Q + C + Res$$

Do obliczeń  $E_{reg}$  można wykorzystać model wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem – *MENEX\_2,2* (Błażejczyk, 2004).

Poszczególnym wartościom *HSI* odpowiadają następujące stopnie obciążenia cieplnego (w przypadku ośmiogodzinnego przebywania w terenie otwartym):

<i>HSI</i> (%)	Natężenie stresu cieplnego, efekt fizjologiczny
< 10	łagodny stres chłodu lub warunki termoneutralne,
11–30	łagodny lub umiarkowany stres ciepła,
31–60	silny stres ciepła powodujący zagrożenie dla zdrowia w przypadku braku aklimatyzacji,
61–90	bardzo silny stres ciepła (niezbędne jest dostarczanie wody i soli mineralnych),
91–100	maksymalny stres ciepła tolerowany przez młode zaaklimatyzowane osoby,
> 100	niebezpieczeństwo podwyższenia temperatury wewnętrznej, czas przebywania w takich warunkach musi być nadzorowany.

Wraz ze wzrostem wartości *HSI* następuje zwiększenie obciążenia układu termoregulacyjnego człowieka. Przy *HSI* >100% może mieć miejsce gromadzenie ciepła w organizmie człowieka i wzrost temperatury wewnętrznej o 1,8°C w ciągu 8 godzin (Parsons, 1993).

**Wskaźnik stresu termofizjologicznego (*PhS* – *Physiological Strain*).** Bezwymiarowy wskaźnik *PhS* stanowi stosunek strat ciepła z organizmu człowieka poprzez unoszenie (konwekcję) do strat ciepła w wyniku parowania potu (ewaporacji) (Błażejczyk, 2003, 2004):

$$PhS = C / E$$

*PhS* jest wskaźnikiem natężenia reakcji termoregulacyjnych w skrajnych warunkach termicznych. Ogólnie można stwierdzić, że im wyższa jest wartość *PhS*, tym większe jest nasilenie stresu zimna i tym intensywniejsze są wymienione wcześniej dostosowawcze reakcje organizmu do warunków otoczenia. Im mniejsza jest wartość *PhS*, tym większe jest natężenie stresu gorąca, co oznacza, że w wymianie ciepła z otoczeniem dominuje ewaporacja, a reakcje dostosowawcze organizmu (m.in. pocenie), stają się coraz intensywniejsze. Przy takiej reakcji temperatura skóry ulega obniżeniu. W warunkach termoneutralnych (*PhS* 0,76–1,50) ma miejsce względna równowaga konwekcyjnych i ewaporacyjnych strat ciepła, a reakcje termoregulacyjne organizmu człowieka mają niewielką intensywność. Przyjmuje się następującą skalę natężenia stresu termofizjologicznego:

<i>PhS</i>	Rodzaj i natężenie stresu
<0,25	duże natężenie stresu gorąca
0,25–0,75	znaczne natężenie stresu gorąca
0,76–1,50	warunki termoneutralne
1,51–4,00	znaczne natężenie stresu zimna
>4,00	duże natężenie stresu zimna

Nowym wskaźnikiem odczuć cieplnych opartym na analizie bilansu cieplnego człowieka jest **temperatura odczuwalna** (*STI* – *Subjective Temperature Index*). Wskaźnik ten (wyrażony w °C) został opracowany przez K. Błażejczyka (2003, 2004) na podstawie kilku serii badań termofizjologicznych przeprowadzonych zarówno w różnych warunkach fizycznogeograficznych Polski, jak i w komorze klimatycznej. Proponując ten wskaźnik K. Błażejczyk uwzględnił fakt obniżania się temperatury skóry w wyniku parowania potu z powierzchni ciała. Przyjmuje się, że wtedy gdy następuje utrata 1 W ciepła z 1 m<sup>2</sup> skóry w wyniku parowania, obniżenie temperatury skóry wynosi 0,066°C (Fanger, 1974). Ta obniżona wartość

temperatury skóry ( $T_{sk}^*$ ) staje się zatem podstawą do obliczenia nowych wartości poszczególnych strumieni ciepła (ewaporacji  $E^*$ , konwekcji  $C^*$ , radiacji  $L^*$  i salda wymiany ciepła  $S^*$ . Wskaźnik  $STI$  stanowi kombinację  $S^*$  oraz  $Mrt$  (średniej temperatury promieniowania):

gdy  $S^* < 0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

$$STI = Mrt - \{ |S^*|^{0.75} / (5,386 \cdot 10^{-8}) + 273^4 \}^{0.25} - 273$$

gdy  $S^* > 0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

$$STI = Mrt + \{ |S^*|^{0.75} / (5,386 \cdot 10^{-8}) + 273^4 \}^{0.25} - 273$$

mianem współczynnika  $5,386 \cdot 10^{-8}$  jest  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^4$ .

Wzory szczegółowe do wyznaczenia wartości  $S^*$ , a także  $L^*$ ,  $E^*$  i  $C^*$  i  $T_{sk}^*$  zamieszcza w swej pracy K. Błażejczyk (2004). Przy obliczaniu  $STI$  można również skorzystać z programu BioKlima<sup>®</sup>2.3. Poszczególnym wartościom  $STI$  przypisuje się następujące odczucia ciepłne:

<u>STI (°C)</u>	<u>Subiektywne odczucie ciepłne</u>
<-38,0	bardzo zimno
-38,0-0,5	zimno
-0,4-22,5	chłodno
22,6-32,0	komfortowo
32,1-46,0	ciepło
46,1-55,0	gorąco
>55,0	bardzo gorąco

Na podstawie obszernych studiów wymiany ciepła między ciałem człowieka a środowiskiem R.G. Steadman (1984) opracował prosty wskaźnik biometeorologiczny zwany **temperaturą pozorną** ( $AT$  – *Apparent Temperature*). Wskaźnik ten jest kombinacją kilku elementów meteorologicznych i bywa stosowany do oceny odczuć ciepłnych człowieka ubranego, przebywającego zarówno w pomieszczeniach zamkniętych, jak i w warunkach naturalnych (w słońcu i w cieniu), wytwarzającego ciepło metaboliczne w ilości  $178 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  (np. w czasie spaceru z prędkością  $5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ).  $AT > 54^\circ\text{C}$  stanowi kryterium parności. Kiedy człowiek porusza się w terenie otwartym, temperaturę pozorną można wyznaczyć z następującego wzoru:

$$AT = 4,5 + 1,02t - v_{10} + 2,8e - 5,8 (K_{dir}/K_{glob}) + 0,0054 \cdot K_{glob}$$



Dla człowieka przebywającego w cieniu wzór ten ma postać:

$$AT = -2,7 + 1,04t - 0,65v_{10} + 2,0e$$

gdzie:  $t$  – temperatura powietrza ( $^{\circ}\text{C}$ ),

$v_{10}$  – prędkość wiatru na wysokości 10 m nad powierzchnią gruntu ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),

$e$  – ciśnienie pary wodnej (hPa),

$K_{\text{dir}}$  – bezpośrednie promieniowanie słoneczne na powierzchnię poziomą ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ),

$K_{\text{glob}}$  – całkowite promieniowanie słoneczne na powierzchnię poziomą ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ).

W wyniku dalszych studiów nad zastosowaniem temperatury pozornej do badań skrajnych warunków biotermicznych, w tym przede wszystkim fal upałów, wzór R.G. Steadmana został uproszczony, a jako zmienne meteorologiczne istotne z punktu widzenia odczucia upału przyjęto temperaturę powietrza ( $t$ ) i temperaturę punktu rosy ( $t_d$ ) (Kalkstein i Valimont, 1986):

$$AT = -2,653 + 0,994t + 0,0153t_d$$

## 6. Biometeorologiczne klasyfikacje pogody

Zainteresowanie klasyfikacjami pogody zrodziło się w latach 40. XX wieku, wraz z szybkim rozwojem klimatologii dynamicznej. Początkiem tego kierunku stał się pierwszy w Europie kalendarz typów cyrkulacji nad Europą za lata 1881–1939, autorstwa P. Hessa i H. Nagela (Bogucki i Falkiewicz, 1966), kontynuowany przez P. Hessa i H. Brezowsky ego (1952), w którym ze względu na kierunek i charakter cyrkulacji wyróżniano 28 jej typów, połączonych następnie w grupy typów. Stwierdzono też, że najsilniejsze oddziaływanie biotropowe cechuje typy z przeważającą składową południkową (w tym zwłaszcza cyrkulacja południowa).

Jeden z pierwszych opisów warunków pogodowych za pomocą pewnych formuł przedstawił w latach 30. XX w. E. Fedorov, który każdemu dniu przyporządkowywał szyfr kodujący wartości wielu elementów meteorologicznych i ich zmiany z dnia na dzień (Zinkiewicz, 1953). W prostszy sposób, jedynie na podstawie temperatury i wilgotności powietrza, typy pogody opisał B. Alisov, który wiązał je z rodzajami mas powietrza i uwzględniał dodatkowo ich transformację, kierunek napływu oraz przejścia frontów atmosferycznych (Kostin i Pokrowska, 1957). Interesującą koncepcję scharakteryzowania kompleksów pogodowych w sposób wymierny zaproponował W. Zinkiewicz (1953). Utworzył trzy pary ściśle

od siebie zależnych elementów meteorologicznych (temperatura powietrza i jego wilgotność względna, stopień zachmurzenia połączono z wysokością opadu, a prędkość wiatru z ciśnieniem atmosferycznym), których wartości naniesione na układ współrzędnych geograficznych były wierzchołkami trójkąta, zaś obliczona powierzchnia trójkąta – odzwierciedlała typ pogody.

Jako podstawa licznych biosynoptycznych klasyfikacji pogody przyjmowane było założenie, że wskaźnikiem aktywności biologicznej klimatu nie są pojedyncze elementy meteorologiczne, ale rodzaj pogody i jej zmienność, a oddziaływanie warunków pogodowych wzrasta z wielkością i liczbą zmian wartości elementów meteorologicznych. Wśród autorów biometeorologicznych klasyfikacji pogody, począwszy od lat 50. XX w., przodowali biometeorolodzy niemieccy, a opisane poniżej cztery klasyfikacje, każda z elementami subiektywnej oceny sytuacji, wykorzystywane były z powodzeniem w badaniach epidemiologicznych do końca lat 80.

Podstawą biometeorologicznego schematu pogody opracowanego pod kierunkiem F. Beckera była analiza procesów pogodotwórczych za pomocą meteorogramów, z wykreślonymi godzinnymi wartościami elementów meteorologicznych przy powierzchni ziemi (w tym także elektryczności atmosferycznej) oraz izoplei wilgotności względnej do wysokości 8 km, przy równoczesnym wykorzystaniu dolnych map synoptycznych. W tej typologii pogody uwzględniano przede wszystkim dynamiczne procesy w atmosferze: procesy ślizgowe, stabilność lub chwiejność atmosfery. W prognozach medyczno-meteorologicznych uwzględniano m.in. zachorowania na choroby układu krążenia, (zwłaszcza choroby serca i zatętnienia mózgowie), zaostrzenia objawów astmy, zgony, a także jakość snu (Assman, 1963; Bogucki i Falkiewicz, 1966; Baranowska, 1987).

Godzinny i dobowy schemat pogody utworzył K. Daubert z zespołem. Schemat ten był wykorzystywany do badań zachorowań i objawów podmiotowych, które nie dają się dokładnie określić w czasie. Schemat uwzględniał dynamiczne procesy w troposferze, zachodzące w obrębie układów wysokiego i niskiego ciśnienia oraz w układach przejściowych. Analiza procesów atmosferycznych zachodzących w układach barycznych i wyników badań klinicznych wykazała ściślejszą korelację objawów chorobowych z procesami zachodzącymi w swobodnej atmosferze niż z warunkami w dolnej warstwie powietrza (Assmann, 1963; Baranowska, 1987; Dubaniewicz i inni, 1988; Bogucki, red., 1999).

Numeryczny schemat wielkoprzestrzennych układów sterujących, reprezentatywny dla północno-zachodniego obszaru Niemiec, opracował W. Kühnke. Schemat ten zakładał, że zmiany pogody uwarunkowane przemieszczaniem się układów barycznych zachodzą w pewnym średnim rozkładzie ciśnienia z ośrodkiem o niezmiennym przez pewien czas położeniu. Przy takim podejściu silną biotropię wykazują układy południkowe

lub z przewagą składowych południkowych (typ tropikalny i polarny). Biotropia umiarkowana i słaba dotyczy układów strefowych (zachodnich i wschodnich), brak biotropii charakteryzuje pogodę antycyklonalną bez procesów ślizgowych i inwersji (Assmann, 1963; Baranowska, 1987).

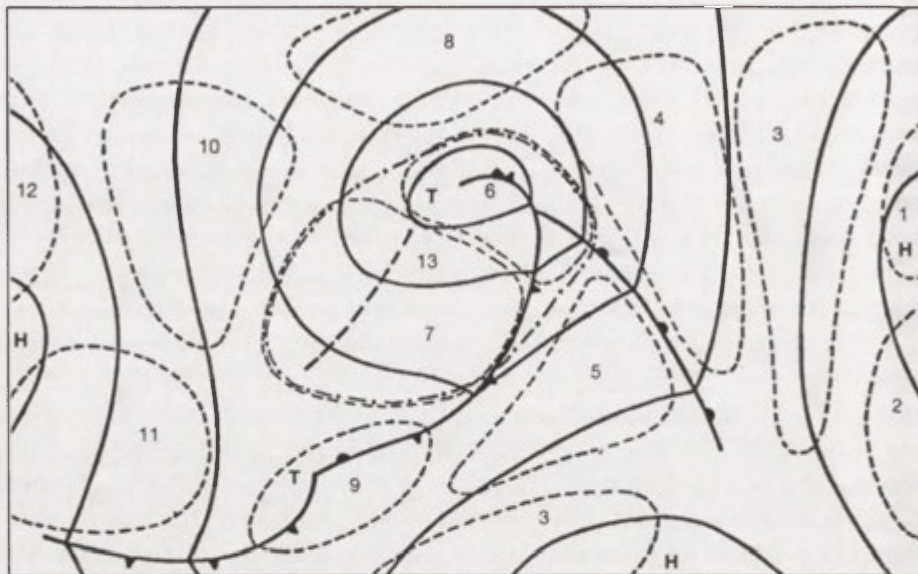
Najszerzej opisana i najczęściej stosowana jest klasyfikacja faz pogody H. Ungeheuera (1957). Jej podstawą było założenie, że rytmicznemu biegowi pogody odpowiada normalny rytm procesów biologicznych, zaś wszelkie nieokresowe zaburzenia pogody są bodźcami wywołującymi reakcje meteorotropowe (Schiffer, 1986b). Wyróżniono sześć typów pogody, obrazujących transformację pogody od wyżu do niżu, opisanych przez rodzaj układu barycznego, zachmurzenie, przebieg temperatury, wilgotności powietrza i ciśnienia atmosferycznego, zawartość ozonu i elektryczność atmosferyczną. Według tego schematu korzystnie oddziałuje na człowieka pogoda wyżowa, niekorzystnie zaś zapowiedź zmiany pogody, pogoda na przedpolu frontów atmosferycznych i w czasie ich przechodzenia. W modyfikacji tej klasyfikacji dodano układy słabogradentowe, o silnym działaniu meteorotropowym (Jankowiak, red., 1976; Dubaniewicz i inni, 1988; Kozłowska-Szczęсна i inni, 1997).

Na początku lat 90. w Zakładzie Badań Medyczno-Meteorologicznych Niemieckiej Służby Pogody (Deutscher Wetterdienst – DWD) we Freiburgu opracowano schemat, który był wynikiem wieloletnich badań wpływu pogody na człowieka prowadzonych w tym ośrodku. Schemat ten pozwala na obiektywną klasyfikację faz pogody charakterystycznych dla umiarkowanych szerokości geograficznych, a cechujących się wyraźną biotropią czyli oddziaływaniem na organizmy żywe (ryc. 6.1, tab. 6.1). Podstawą wydzielenia 13 klas pogody w Europie były:

- charakterystyka wirowości na poziomie izobarycznym 850 hPa, używana w wielu analizach i meteorologicznych modelach progностycznych, która dobrze odzwierciedla warunki dynamiczne w dolnej warstwie atmosfery;
- zmiany w rozkładzie pionowym wirowości, jako charakterystyka wszelkich ruchów powietrza (adwekcji, konwekcji, osiadania);
- warunki termiczno-wilgotnościowe na poziomie izobarycznym 850 hPa, liczone jako odchylenie aktualnych wartości temperatury i wilgotności powietrza od 7-dniowej średniej ważonej z poprzednich dni.

Klasyfikacja ta jest ściśle powiązana z numerycznym modelem prognoz pogody o rozdzielczości 7,5 km, używanym przez Niemiecką Służbę Pogody. Pozwala ona na bieżącą analizę i prognozowanie biosynoptycznych typów pogody z wykorzystaniem wyników pomiarów naziemnych (Bucher i Haase, 1993; Jendritzky, 2002; [www.gees.bham.ac.uk](http://www.gees.bham.ac.uk)). Takie podejście metodyczne umożliwiło również porównanie obecnych wyników badań biometeorologicznych z dawniej prowadzonymi i wykorzystującymi inne klasyfikacje typów pogody. Obszarem o najsilniejszej biotropii jest klasa 4

(adwekcja ciepłego powietrza na przedpolu niżu) oraz 7 (najbardziej chwiejny obszar w zimnym powietrzu, za frontem chłodnym), w dalszej kolejności 3 i 5, co jedynie potwierdza tezę, że na reakcje meteorotropowe najsilniejszy wpływ wywierają zmiany w środowisku termicznym związane ze zmianami mas powietrza.



Ryc. 6.1. Schemat niżu i obszarów biotropowych (wg Niemieckiej Służby Pogody).  
Opis symboli w tabeli 6.1.

Analiza map synoptycznych, która stanowi podstawę klasycznych analiz biosynoptycznych jest czasochłonna i odnosi się jedynie do sytuacji synoptycznych z przeszłości. Dlatego w ostatnich latach popularność zyskuje nowa metoda obiektywnej biometeorologicznej klasyfikacji pogody, zaprezentowana przez L.S. Kalksteina (1991) ze współpracownikami (Kalkstein i Corrigan, 1986; Kalkstein i inni, 1987). U podstaw wyznaczenia Tymczasowego Wskaźnika Synoptycznego (*TSI* – *Temporal Synoptic Index*), który posłużył do klasyfikacji dni w jednorodne grupy leżało kilka założeń:

1) wartości elementów meteorologicznych powinny zmieniać się znacząco między poszczególnymi masami powietrza, ale nie w obrębie tej samej masy;

2) elementy, na podstawie których określa się masy powietrza powinny wchodzić w skład standardowych pomiarów przypowierzchniowych prowadzonych na stacjach meteorologicznych – co umożliwi szerokie zastosowanie *TSI*;

3) najważniejszym wyróżnikiem mas powietrza są ich właściwości termiczno-wilgotnościowe.

Tabela 6.1. Obiektywna klasyfikacja pogody (wg: Niemieckiej Służby Pogody) oraz objawy chorobowe (wg: Jethon i Grzybowski, red., 2000)

Numer typu	Sytuacja na poziomie izobarycznym 850 hPa	Objawy chorobowe
1	wyż (centrum), brak inwersji termicznych	niewielkie oddziaływanie meteorotropowe, obniżenie odporności na infekcje
2	wyż (centrum), inwersje termiczne	jw.
3	ześlizgi powietrza na skraju wyżu	zmniejszenie zdolności do pracy umysłowej, przejawy apatii i depresji, w funkcji układu krążenia przejawy wago-tonii
4	adwekcja ciepłego powietrza w przedniej części niżu	zaostrenie schorzeń odmiażdżycowych z tendencją do zawału serca i udaru mózgu, obniżenie odporności, zaburzenia metaboliczne, zaburzenia snu, zmniejszenie zdolności do pracy fizycznej i umysłowej, wzrost wypadkowości, obniżone samopoczucie
5	ciepły wycinek niżu	niewielki efekt meteorotropowy, głównie nerwicowy, skłonność do obniżenia ciśnienia tętniczego krwi
6	centrum niżu	zaostrenie objawów depresji neurotycznej, niewydolności krążenia oraz objawów gośćcowych
7	adwekcja zimnego powietrza w tylnej części niżu	zaostrenie objawów gośćcowych i choroby niedokrwiennej serca, zaburzenie funkcji trawiennej
8	strefa frontu zafalowanego	sytuacja zdrowotnie korzystna, czasami zaostrenie objawów gośćcowych
9	wschodni strumień powietrza (1 cyklonalny, 2 antycyklonalny)	sytuacja zdrowotnie korzystna
10	obojętna sytuacja baryczna (brak procesów dynamicznych)	złe samopoczucie, tendencja do wzrostu ciśnienia tętniczego (migrena)
11	zimny wyż	złe samopoczucie, tendencja do zaostrenia objawów choroby niedokrwiennej serca
12	ciepły wycinek wyżu	brak wyraźnego oddziaływania meteorotropowego
13	bruzda cyklonalna górna	złe samopoczucie, zaostrenie objawów nadciśnienia tętniczego i schorzeń nerek

Autorzy brali pod uwagę następujące elementy meteorologiczne: temperatura powietrza, temperatura punktu rosy, widzialność, zachmurzenie, a także ciśnienie atmosferyczne, prędkość i kierunek wiatru (przeliczone na północną i zachodnią prędkość skalarną<sup>1</sup>) z czterech terminów doby. Z wykorzystaniem analizy składowych głównych (*Principal Component Analysis*) oryginalna baza danych przekształcona zostaje w nowy zestaw niezależnych liniowo elementów, ułożonych w kolejności udziału w wyjaśnianiu zmienności wyjściowych elementów meteorologicznych (procent wyjaśnianej wariancji). Kolejnym krokiem jest wybranie liczby

<sup>1</sup>  $u$  (west) =  $-v \sin(dd)$ ,  $v$  (south) =  $-v \cos(dd)$ ,  
gdzie:  $v$  – prędkość wiatru w  $m \cdot s^{-1}$ ,

$dd$  – kierunek wiatru określony w dziesiątkach stopni, np.  $W = 270^\circ$ .

składowych głównych i sprawdzenie, że ich charakterystyka meteorologiczna odpowiada rzeczywistym warunkom pogodowym. Następnie dzięki analizie klastrowej (metoda Warda) oraz wykresom dendrogramów wydziela się typy (klastry) cechujące się podobnymi warunkami pogodowymi. Dzięki tej metodzie powstaje dowolna liczba typów pogody, które różnią się od siebie wyraźnie, ale w ramach danej grupy cechują się dużą jednorodnością. Typy te, na potrzeby klasyfikacji, nazwano w uproszczeniu masami powietrza. Metodą TSI można wyróżniać typy pogody (masy powietrza) w każdym miejscu kuli ziemskiej, jednak w odniesieniu tylko i wyłącznie do stanu przeszłego, na bazie zebranych uprzednio codziennych danych z określonego miejsca. Wyróżnione typy są więc charakterystyczne jedynie dla danego miejsca i określonej pory roku. Na przykład: w 2-letniej bazie codziennych danych wydzielone zostają między innymi: grupa dni o bardzo niskiej temperaturze i wilgotności powietrza, wysokim ciśnieniu atmosferycznym oraz małej prędkości wiatru oraz grupa dni o przeciętnej temperaturze powietrza, ale z silnym wiatrem z sektora zachodniego i dużej wilgotności powietrza itd. Następnie w wybranych dniach prezentujących typy odczytuje się z map synoptycznych typy cyrkulacji atmosferycznej lub rodzaj masy powietrza. W ten sposób określone na podstawie obliczeń statystycznych typy pogody znajdują meteorologiczne odzwierciedlenie. Przykłady wykorzystania tej klasyfikacji podano w pracach dotyczących zanieczyszczenia powietrza (Kalkstein i Corrigan, 1986; McGregor i Bamzelis, 1995), zachorowalności (McGregor i inni, 1999) i umieralności (McGregor, 1999).

W celu prognozowania warunków niekorzystnych dla zdrowia człowieka opracowano kolejną, opartą na tych samych założeniach, metodę klasyfikacji o nazwie Przewidywana Klasyfikacja Synoptyczna (*Spatial Synoptic Classification – SSC*). Pozwala ona zarówno na prognozowanie typów mas powietrza, jak i na ich porównywanie między poszczególnymi miejscami (Kalkstein i inni, 1996a; Kalkstein i Green, 1997). W tym przypadku, podobnie jak przy TSI, nazewnictwo mas powietrza odzwierciedla raczej ich cechy, a nie obszar, nad którym powstały. Są to masy powietrza: polarna sucha (DP) i wilgotna (MP), szerokości umiarkowanych sucha (DM) i wilgotna (MM), zwrotnikowa sucha (DT) i wilgotna (MT) oraz przejściowa (czasem wydziela się masę zwrotnikową bardzo wilgotną – MT+). Najważniejszym etapem tej klasyfikacji jest właściwe wybranie dni charakterystycznych (*seed days*), najlepiej prezentujących warunki pogodowe panujące w danej masie powietrza, a następnie na ich podstawie opisanie każdej z mas za pomocą funkcji liniowej. W dalszej kolejności, wykorzystując funkcje rozróżniające (*discriminant functions*) każdy dzień zakwalifikowano do grupy, którą przypomina najbardziej lub do masy o charakterze przejściowym. W ten sposób powstaje codzienny kalendarz mas powietrza. Klasyfikacja ta umożliwia określanie mas powietrza na

podstawie prognozowanych wartości elementów meteorologii wykorzystanie jej w systemie ostrzegania przed szczególnie masami powietrza, w których powstają fale upałów prowadzą do umieralności. Obecnie systemy ostrzegania przed uciążliwymi warunkami atmosferycznymi wykorzystujące tę metodę działają w ponad 20 miastach na świecie. Wzrost umieralności w czasie napływu powietrza zwrotnikowego suchego (DT) wynosił w Rzymie (Włochy) 6,2%, a w Toronto (Kanada) 4,2%, zaś wzrost liczby zgonów przy adwekcji powietrza zwrotnikowego bardzo wilgotnego (W) w miastach sięga odpowiednio 5% i 4% (Kalkstein i inni, 1999; Tomic i Rainham, 2001; Kalkstein, 2004).

Najnowsza modyfikacja tej klasyfikacji (*Spatial Synoptic Classification – SSC2*) polega głównie na zmianie sposobu wyróżniania dni styczeńskich w 4 dwutygodniowych „oknach”, odpowiadających najzimszym i najcieplejszym tygodniom oraz okresom przejściowym. Zmiana obliczenia funkcji opisujących każdą z wyznaczonych mas powietrza. SSC2 umożliwia określenie mas powietrza we wszystkich dniach roku oraz ułatwia przenoszenie klasyfikacji z jednej lokalizacji na drugą. Ponadto, wyznaczone w różnych miejscach masy powietrza cechuje duża spójność przestrzenna (Sheridan, 2002).

W Polsce jedną z pierwszych typologii pogody opartą na wartościach elementów meteorologicznych i wykorzystaną w analizach rytmicznych przedstawił J. Bogucki (1967a, 1986). Jej podstawą było założenie, że każdy typ pogody ma charakterystyczny dla siebie zestaw elementów meteorologicznych, w związku z tym odpowiednio dobrane wartości elementów powinny wykazywać „skokową” częstość występowania. Według autora metoda ta wykluczała możliwość zaliczenia pogody, zespołów o przypadkowym skojarzeniu cech – wyników zmienności pogody. W opisie zespołów pogody uwzględniono następujące przedziały wartości: temperaturę maksymalną, prędkość wiatru oraz wielkość zachmurzenia. W sumie wydzielono cztery typowe pogody: <http://rcin.org.pl>

	pogoda ciepła bezwietrzna, chmurno lub pochmurnie, występuje w okresie III–XII;
III – pogoda chłodna i zimna, całoroczna	pogoda przymrozkowa, zimna lub mroźna, bezwietrzna, pogodnie lub chmurno lecz nigdy pochmurno, występuje w okresie X–IV;
IV – pogoda zimna i mroźna chłodnej pory roku	pogoda zimna, mroźna lub bardzo mroźna, wiatr słaby lub umiarkowany z kierunku E, zachmurzenie duże, występuje w okresie IX–III.

W przeprowadzonej następnie analizie rozkładu dobowej liczby zgonów w Poznaniu w zależności od typu pogody zauważono prawidłowość, że pomimo niewielkich różnic umieralności między poszczególnymi typami, wszystkie „nadwyżki” zgonów notowane są w zespołach, które występują bardzo rzadko, a w pozostałych obserwowane są raczej ich „niedobory”. Potwierdziło to tezę o uciążliwości sytuacji pogodowych pojawiających się sporadycznie.

Od lat 60. do 80. najpopularniejsza w Polsce i jedyna typowo biosynoptryczna była klasyfikacja sytuacji pogodowych W. Wojtowicza (1966). Wielokrotnie opisywana przez różnych autorów (Kozłowska-Szczęśna i inni, 1997; Bogucki, red., 1999), stała się bazą licznych opracowań biometeorologicznych (Czarniecki, 1973; Łazowski i inni, 1979a; Tyczka i inni, 1988). Jej podstawę stanowiły fazy rozwoju i zanikania układów niżowych oraz odległość od ich centrów. Układy baryczne z centrum w obszarze ograniczonym współrzędnymi 0 i 25°E oraz 50 i 60°N przyjęto uznawać za bliskie, a występujące poza tym obszarem – za dalekie. Biorąc pod uwagę te kryteria sytuacje pogodowe podzielono na 11 typów: wyż, wyż z zaburzeniami, niż pogłębiający się (bliski i daleki), niż wypełniający się (bliski i daleki) oraz 5 sytuacji przejściowych (tab. 6.2). Najwyższy wskaźnik meteorotropizmu stwierdzono w niżu bliskim pogłębiającym się, najniższy – w sytuacji przejścia z niżu wypełniającego się do wyżu.

Nieco podobną klasyfikację układów i frontów atmosferycznych na potrzeby biometeorologicznej osłony ruchu drogowego opracowała M. Baranowska z zespołem (Baranowska i Gabryl-Wojtach, 1987; Baranowska, 1987). Podstawą klasyfikacji jest analiza dolnych map synoptrycznych z czterech terminów doby: 00, 06, 12, 18 UTC, co pozwala na przyporządkowanie każdego z terminów doby do jednego z 11 rodzajów układów barycznych o charakterze wyżowym, niżowym lub przejściowym, a następnie wyznacza się przeważający układ w danym dniu (tab. 6.3). Przy określaniu układów barycznych ważnym kryterium jest krzywizna izobar, a w przypadku układów niżowych – odległość od centrum niżu. Za granicę, która decydowała o określeniu układu jako odległego lub bliskiego, przyjęto współrzędne geograficzne: 45–60°N i 0–35°E.



Tabela 6.2. Rodzaje sytuacji synoptycznych (wg: Wojtowicz, 1966)

Symbol	Opis
Np	niż bliski pogłębiający się
Nw	niż bliski wypełniający się
(Np)	niż daleki pogłębiający się
(Nw)	niż daleki wypełniający się
Np-W	przejście od niżu pogłębiającego się do wyżu
Nw-W	przejście od niżu wypełniającego się do wyżu
W	wyż
W-Np	przejście od wyżu do niżu bliskiego pogłębiającego się
W-Nw	przejście od wyżu do niżu bliskiego wypełniającego się
W-(Npw)	przejście od wyżu do niżu dalekiego (pogłębiającego się lub wypełniającego)
Wz	wyż z zaburzeniami

Tabela 6.3. Rodzaje sytuacji barycznych (wg: Baranowska, 1987)

Nazwa	Symbol	Opis układu
Niż	N	niże o izobarach zamkniętych, których centra znajdują się nad obszarem ograniczonym współrzędnymi 45-60°N i 0-35°E
Niż nad Polską	Np	niże o izobarach zamkniętych, których centra znajdują się nad Polską lub tworzące się nad obszarem Polski
Skraj niżu	Ns	skraje dużych układów niżowych, których ośrodki przemieszczają się poza zdefiniowanym obszarem, a także skraje niżów w obrębie zdefiniowanego obszaru
Zatoka	Z	zatokı występujące w niżach przemieszczających się nad zdefiniowanym obszarem lub tworzące się na skrajach niżów
Obszar słabo-gradientowy obniżonego ciśnienia	ON	rozmyte pola niskiego ciśnienia z lokalnymi słabymi ośrodkami niżowymi nad Europą oraz słabogradientowe obszary obniżonego ciśnienia – nad Polską najczęściej przebiega jedna izobara o krzywiznie cyklonalnej
Obszar słabo-gradientowy podwyższonego ciśnienia	OW	rozmyte pola wysokiego ciśnienia z małymi lokalnymi ośrodkami niżowymi oraz słabogradientowe obszary podwyższonego ciśnienia – nad Polską najczęściej przebiega jedna izobara o krzywiznie antycyklonalnej
Wyż	W	wyże o izobarach zamkniętych oraz skraje wyżów, kliny i wały wyżowe wyznaczone antycyklonalną krzywizną izobar
Zatoka w wyżu	Zw	zatokı przemieszczające się w wyżach, którym towarzyszą wysokie wartości ciśnienia
Klin wyżowy za frontem	Kf	krótkotrwałe kliny wyżowe rozwijające się za frontem, antycyklonalna krzywizna izobar
Układ przejściowy z niżu do wyżu	N-W	skraj niżu lub zatoki, wzrost ciśnienia nad Polską, zmiana kształtu izobar z cyklonalnej na antycyklonalną
układ przejściowy z wyżu do niżu	W-N	skraj wyżu, spadek ciśnienia nad Polską, zmiana kształtu z antycyklonalnej na cyklonalną

Znaczna liczba wydzielonych układów barycznych sprawia, że liczebność niektórych z nich jest bardzo mała, dlatego sama autorka pracy sugeruje możliwość połączenia niektórych typów, popartą wynikami analiz korelacyjnych z dobową liczbą wypadków i kolizji drogowych. Na przykład w kolejnych pracach próbowano łączyć obszary słabogradientowe (OW i ON), skraj niżu z przejściem z niżu do wyżu (Ns z N-W) oraz dni z klinem za frontem z dniami wyżowymi.

W analizie frontów atmosferycznych bierze się pod uwagę ich rodzaj (chłodne, ciepłe, zokludowane oraz stacjonarne, nazywane też zafalowanymi) i aktywność wyznaczoną: prędkością przemieszczania się nad Polską, wielkością zmian elementów meteorologicznych (temperatury powietrza, ciśnienia atmosferycznego oraz ciśnienia pary wodnej). Bierze się pod uwagę okres trzech godzin po i przed przejściem frontu, a także zmiany w stosunku do doby poprzedniej lub następnej tak, by wyeliminować naturalny dobowy cykl elementów meteorologicznych. Przyjęto następujące progowe wartości zmian tych elementów:

#### zmiana wartości elementów meteorologicznych

	w ciągu 3 godzin	w ciągu doby
temperatura powietrza	1°C	5°C
ciśnienie atmosferyczne	1 hPa	5 hPa
ciśnienie pary wodnej	0,5 hPa	3 hPa

#### prędkość przemieszczania się frontów

front ciepły	25 km · h <sup>-1</sup>
front chłodny	45 km · h <sup>-1</sup>

Wartości elementów meteorologicznych mniejsze od wyznaczonych klasyfikują front jako słaby zaś równe lub większe – jako silny. Dobę, w której przemieszczają się różne rodzaje frontów o różnej sile nazwano dniem wielofrontowym – słabym, gdy przemieszczające się fronty były słabe, silnym zaś, gdy choć jeden z nich został sklasyfikowany jako silny.

Klasyfikacja ta, z licznymi elementami subiektywnej oceny pogody, stała się punktem wyjścia do utworzenia w końcu lat 90. przez B. Wojtach (2001a, 2003) obiektywnej biometeorologicznej oceny procesów pogodowych zachodzących względem stałego punktu. W klasyfikacji tej uwzględniono: procesy wielkoskalowe charakteryzowane na podstawie schematu biosynoptycznego M. Baranowskiej (1987), termiczne cechy środowiska – określone w skali odczucia termicznego dla Polski oraz termiczno-tlenowe cechy środowiska atmosferycznego. Jej podstawę stanowi dwuwymiarowy rozkład wartości temperatury efektywnej Missenarda (*tefs*) i wagowej zawartości tlenu w powietrzu (*tls*), standaryzowanych względem rytmu

dobowego i sezonowego. Te dwie charakterystyki ujmują w sobie temperaturę i wilgotność powietrza, prędkość wiatru oraz ciśnienie atmosferyczne. Wspomniany dwuwymiarowy rozkład ma postać koncentrycznych elips skupionych wokół wartości typowych (normy), wyznaczających coraz niższe częstości. Najdłuższa oś elipsy dzieli wykres na dwie części: jedną o charakterze niżowym, drugą – wyżowym. Sama zaś oś, na której  $tefs = -tls$ , odzwierciedla środowisko termiczno-tlenowe charakterystyczne dla starzejących się układów niżu i wyżu, ich skrajów i obszarów słabogradientowych. Cały układ podzielony został na 16 części odpowiadających typom środowiska termiczno-tlenowego (ryc. 6.2A, tab. 6.4).

Tabela 6.4. Typy środowiska termiczno-tlenowego (wg: Wojtach, 2003)

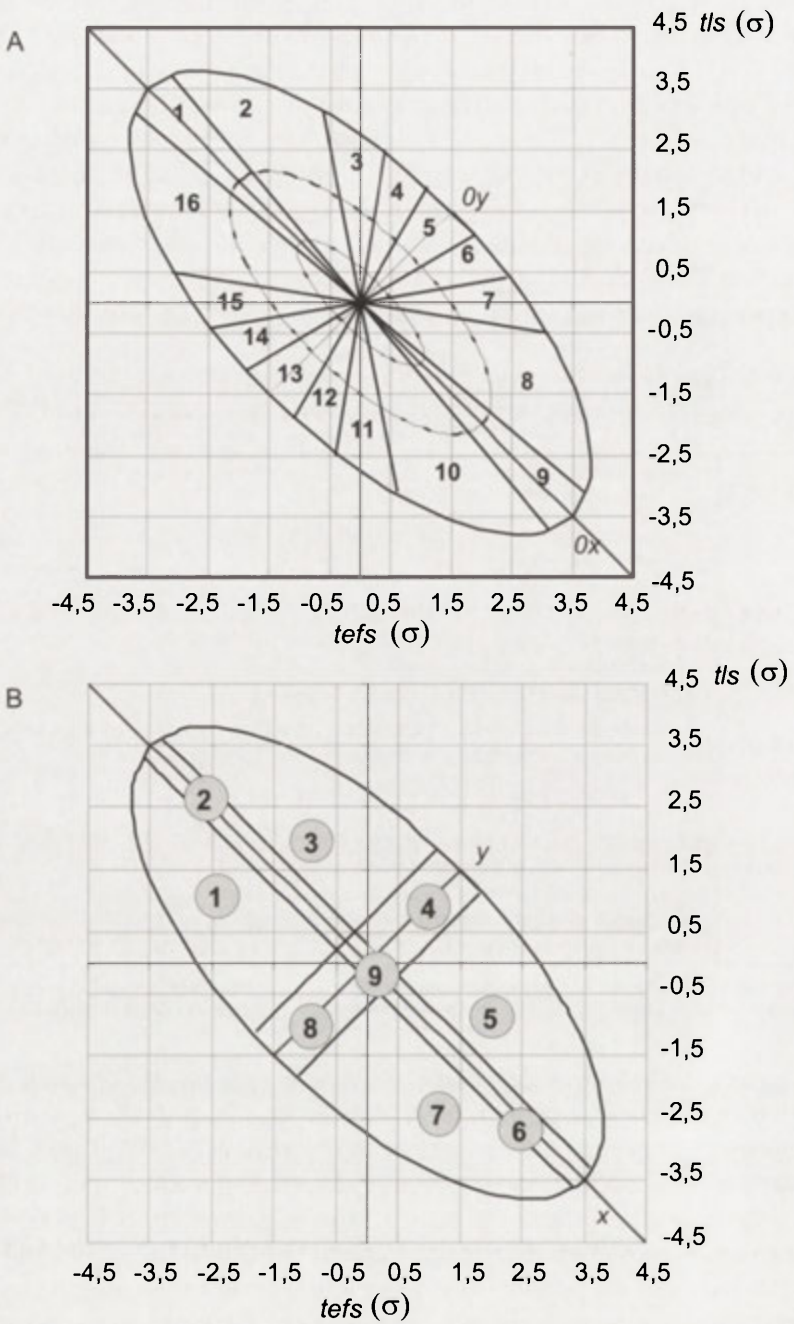
Typy	Charakterystyka	
1	chłodno	obszar: niezidentyfikowany, słabogradientowy lub adwekcji zimnego powietrza; $tefs < 0$ , $tls > 0$ , $ tefs  =  tls $
2		chłodne skrzydło wyżu; $tefs < 0$ , $tls > 0$ , $ tefs  <  tls $
3		wyż. powietrze zimne; $tefs = 0$ , $tls > 0$
4		wyż. powietrze zimne; $tefs > 0$ , $tls > 0$
5	wyż	centrum wyżu, komfort termiczny, „ładna” pogoda; $tefs > 0$ , $tls > 0$ ; $ tefs  =  tls $
6		centrum wyżu; $tefs = 0$ , $tls = 0$ ; $ tefs  >  tls $
7		strefa przejściowa; $tefs > 0$ , $tls = 0$
8		ciepłe skrzydło wyżu; $tefs > 0$ , $tls < 0$ ; $ tefs  >  tls $
9	ciepło	wyż zanikający lub obszar niezidentyfikowany lub słabogradientowy lub obszar adwekcji ciepłego powietrza; $tefs > 0$ , $tls < 0$ , $ tefs  =  tls $
10		ciepły wycinek niżu. $tefs > 0$ , $tls < 0$ ; $ tefs  <  tls $
11		niż; $tefs = 0$ , $tls < 0$ ; $ tefs  <  tls $
12		niż; $tefs < 0$ , $tls < 0$ ; $ tefs  <  tls $
13	niż	centrum niżu lub niż bliski; $tefs < 0$ , $tls < 0$ ; $ tefs  =  tls $
14		niż, strefa przed frontem zimnym; $tefs < 0$ , $tls = 0$ ; $ tefs  >  tls $
15		niż, strefa frontu zimnego; $tefs < 0$ , $tls = 0$ ; $ tefs  >  tls $
16		strefa za frontem zimnym, niż wypełniający się; $tefs < 0$ , $tls > 0$ ; $ tefs  <  tls $

$tefs$  – standaryzowana względem rytmu dobowego wartość temperatury efektywnej,

$tls$  – standaryzowana według rytmu dobowego wartość wagowej zawartości tlenu w powietrzu.

Diagram 6.2A dobrze odwzorowuje także zmienność sytuacji synoptycznych, a opisywane przez różnych autorów fazy pogody są jednymi ze szczególnych przypadków obserwowanych procesów (Wojtach, 2001a). Wieloletnie badania rozkładów pojedynczych elementów meteorologicznych: wilgotności, prędkości wiatru, ciśnienia atmosferycznego i odczucia termicznego w układach biosynoptycznych pozwoliły na określenie prawdopodobnych zmian pogody w danym miejscu w ciągu najbliższych 24 godzin (tab. 6.5) oraz przyporządkowanie im na diagramie faz pogody (ryc. 6.2B, ryc. 6.3).

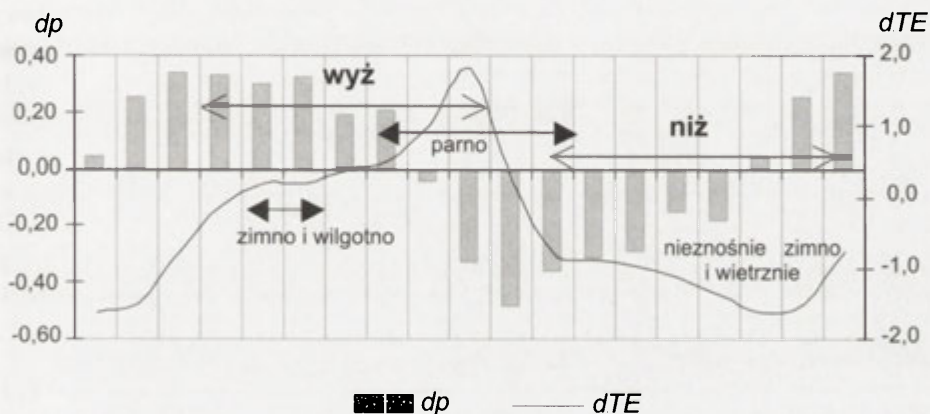
Klasyfikacja ta, wciąż udoskonalana, jest mało znana i używana dotychczas tylko przez wąskie grono naukowców i synoptyków. Stosuje



Ryc. 6.2. A – Środowisko termiczno-tlenowe – podział łączący wartość standaryzowaną temperatury efektywnej (*tefs*) oraz wagowej zawartości tlenu w powietrzu (*tls*); B – Klasyfikacja prawdopodobnych zmian pogody obserwowanych w danym miejscu w ciągu 24 godzin (wg: Wojtach, 2003)

Tabela 6.5. Klasyfikacja zmian pogody (wg: Wojtach, 2003)

Nr	Prawdopodobna zmiana pogody w czasie 24 godzin
1	przejście frontu chłodnego, większa część dnia pod wpływem adwekcji zimnego powietrza
2	adwekcja zimnego powietrza, tworzenie się układu wysokiego ciśnienia
3	większa część dnia w zimnej masie powietrza w wyżu
4	poprawa pogody na charakterystyczną dla ciepłego wyżu lub zmiana masy powietrza na cieplejszą
5	większa część dnia w ciepłej masie powietrza w wyżu
6	powolne zanikanie wyżu lub adwekcja ciepłego powietrza związana z nadejściem niżu lub strefa obszaru słabogradientowego
7	ciepły wycinek niżu
8	niż, masy powietrza typowe dla pory roku, przejście frontu chłodnego lub centrum niżu
9	masy powietrza typowe dla pory roku, zmiana układu wyżowego na niżowy



Ryc. 6.3. Średnia zmienność odczucia termicznego ( $dTE$ ) (wg 7-stopniowej skali Baranowskiej) i wskaźnik zmienności ciśnienia atmosferycznego z dnia na dzień ( $dp$ ) Warszawa, 1966–2000, 8 UTC (wg: Wojtach, 2001a, 2003)

się ją z powodzeniem do analiz zachorowań oraz do prognoz wypadkowości drogowej w różnych sytuacjach biometeorologicznych.

W bioklimatologii, na potrzeby turystyki czy lecznictwa uzdrowiskowego stosowano inne klasyfikacje typów pogody, np. Fedorova-Čubukova (Nevraev i Čubukov, red., 1964), N. Danilovej (1988) czy K. Błażejczyka (Błażejczyk, 1979, 1983; Kozłowska-Szczęsna i inni, 1997). Klasyfikacje te opierały się jedynie na zmierzonych w przyziemnej warstwie powietrza wartościach elementów meteorologicznych, czasem na obliczonych

wskaźnikach odczucia ciepłego, nie uwzględniały zaś sytuacji synoptycznej oraz procesów dynamicznych zachodzących w atmosferze.

Zagadnienie biosynoptycznych klasyfikacji pogody służących do prognozowania warunków niekorzystnych dla zdrowia człowieka jest przedmiotem zainteresowania Służb Meteorologicznych także we Francji, Słowenii i Portugalii. W krajach tych w modelach prognostycznych, oprócz ogólnych informacji dotyczących procesów wielkoskalowych i odczucia środowiska termicznego, uwzględnia się także zanieczyszczenie powietrza.

# CZEŚĆ III

## METEOROPATOLOGIA W ŚWIETLE WSPÓŁCZESNYCH BADAŃ

---

### 1. Meteoropatia

Istotą meteoropatii jest wrażliwość organizmu człowieka na wpływ warunków atmosferycznych, a jej przejawem są patologiczne reakcje w sferze fizycznej i psychicznej, zachodzące w wyniku osłabienia reakcji przystawawczych (Baranowska i Cedzyńska-Ziemia, 1997). Meteoropatia jest więc pochodną meteorotropizmu – zjawiska powszechnego w przyrodzie, które u człowieka przejawia się w nasilonych reakcjach fizjologicznych na zmiany warunków atmosferycznych. Po raz pierwszy zwrócił uwagę na ten problem lekarz i przyrodnik grecki Hipokrates, który w pismach pt. *Corpus Hippocraticum* twierdził, że: „należy mieć się na baczności w czasie zmian pogody i unikać w tym czasie puszczania krwi z żył, wszelkich wypałań i stosowania noża” (Kevan, 1993; Machalek, 1997).

#### 1.1. Charakterystyka meteoropatii

Badania kliniczne dowodzą, że niektóre czynniki meteorologiczne i ich zespoły, a przede wszystkim ich zmiany w krótkim czasie (np. w ciągu doby), działając silnie bodźcowo na układ nerwowy i narządy zmysłów mogą wyzwać subiektywne dolegliwości u ludzi zdrowych oraz powodować nasilenie obiektywnych objawów chorobowych u większości chorych. Czynniki meteorologiczne działają na człowieka jako bodziec (stres pogodowy), a pod ich wpływem układ wegetatywny wraz z układem wewnątrzwydzielniczym reaguje zmianami czynnościowymi ustroju (Skrobowski, 1998).

Meteoropatia może być uwarunkowana genetycznie lub nabyta w wyniku przebytych chorób, starzenia się organizmu i niehigienicznego trybu życia (brak ruchu). Uważa się też, że jest to „choroba cywilizacyjna”, a meteoropatami są na ogół mieszkańcy miast, gdyż wydelikacenie spowodowane przebywaniem w sztucznym mikroklimacie mieszkań i biur

oraz brak ruchu powodują osłabienie mechanizmów przystosowawczych. Reakcje na wpływ bodźców pogodowych zależą od wrażliwości osobniczej i od stanu wyjściowego organizmu, a więc wieku, płci, a nawet uprzednio przebytych chorób. Pod wpływem różnych warunków atmosferycznych zmienia się liczba czerwonych i białych ciałek krwi, stężenie hemoglobiny, ciśnienie krwi, zawartość białka w osoczu, rytm serca, wydzielanie hormonów, wydolność wątroby i nerek i wiele innych (Skrobowski, 1989; Hessmann-Kosaris, 1994). Typowe objawy meteorotropowe u ludzi wrażliwych to: osłabienie, senność lub bezsenność, dekoncentracja, zmęczenie, zniechęcenie, apatia, brak apetytu, mała wydolność fizyczna, a przede wszystkim bóle głowy często o charakterze migreny (Maarouf, 1993). Przyczyny zjawiska meteoropatii nie są jeszcze jasne. Przyjmuje się, że u meteoropatów występuje wzmoczona pobudliwość wegetatywnego układu nerwowego oraz osłabienie reakcji adaptacyjnych do zmieniających warunków pogodowych, co prowadzi do zakłócenia homeostazy.

Jeszcze w latach 60. meteoropaci stanowili około 30–40% populacji ludzi zdrowych. Jednak współcześnie próg wrażliwości człowieka na bodźce pogodowe obniżył się, a udział meteoropatów zwiększył się w Europie do 50–70% ludzi w wieku 18–75 lat (Machalek, 1997; Hóppe, 2002). W związku z tym wrażliwość człowieka na bodźce atmosferyczne i związane z nią dolegliwości stają się problemem społecznym, a meteoropata może szukać pomocy w poradniach meteorologii medycznej, które powstały np. w Wiedniu, Freiburgu, Monachium i Bazylei.

Pierwsze badania ankietowe dotyczące meteoropatii wśród osób dorosłych, w wieku 18–75 lat, zróżnicowanych pod względem płci i zamieszkałych w różnych regionach Polski przeprowadziła w latach 1994/1995 M. Baranowska. W tych badaniach (tab. 1.1.1) wyróżniono meteoropatów, a więc osoby, które potwierdziły niekorzystny wpływ pogody na swój stan fizyczny i psychiczny, osoby skłonne do meteoropatii, u których dolegliwości ograniczają się do sfery psychicznej, oraz osoby niewrażliwe na zmiany pogody (Baranowska i Cedzyńska-Ziemba, 1997). Badania te potwierdziły, że podany przez A. Machalka szacunek liczby meteoropatów odnosi się również do Polski. Wykazały również, że większą wrażliwość na bodźce pogodowe wykazują kobiety niż mężczyźni, gdyż ich udział dominuje od wczesnej młodości osiągając maksimum w przedziale wieku 41–45 lat. Mężczyzn meteoropatów, zwłaszcza w młodym wieku (<35 lat), jest znacznie mniej niż kobiet, przewaga ich liczebności pojawia się w przedziale wieku 51 – 60 (ryc. 1.1.1).

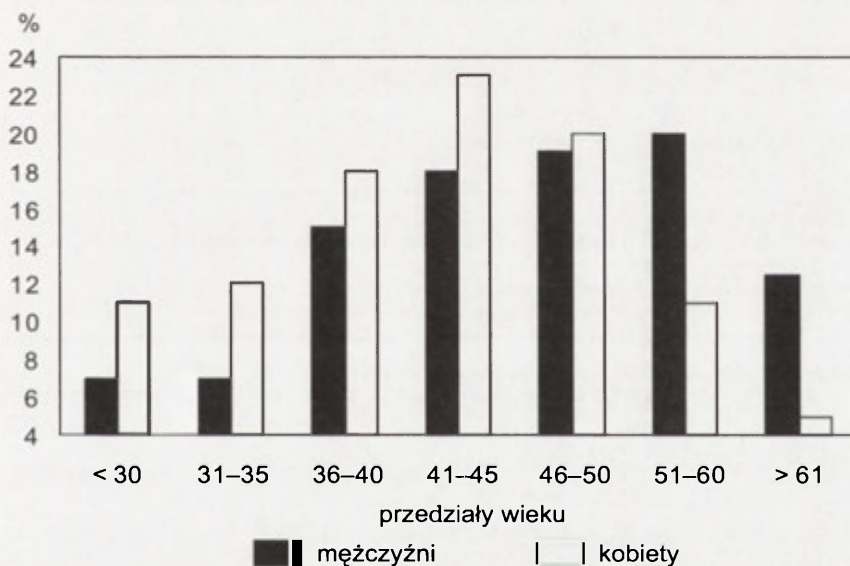
Podobne wyniki uzyskał P. Hóppe z zespołem (2002), który badał w 2001 r. zjawisko wrażliwości na bodźce atmosferyczne wśród dorosłej ludności Niemiec. Stwierdził on również, że wśród osób silnie wrażliwych przeważają kobiety, a wrażliwość ta nasila się wraz z wiekiem. 11% meteoropatów zanotowano w grupie wiekowej 16–29 lat, podczas gdy



wśród osób w wieku powyżej 60 lat jest ich 32%. F.G. Sulman (1982) uważa, że większa wrażliwość na bodźce pogodowe wśród kobiet wiąże się ze specyfiką ich układu hormonalnego. Wyniki badań prowadzonych w innych krajach (Austria, USA) wykazują, że wśród meteoropatów zdarzają się także dzieci (około 10% populacji), które na zmiany pogody reagują niepokojem, zaburzeniami snu i brakiem apetytu (Harlfinger, 1993).

Tabela 1.1.1. Wrażliwość na wpływ pogody osób dorosłych w Polsce w zależności od płci (wg: Baranowska i Cedzyńska-Zięba, 1997)

	Kobiety		Mężczyźni	
	liczba badanych	%	liczba badanych	%
Meteoropaci	214	71,3	115	48,9
Skłonni do meteoropatii	58	19,3	62	26,4
Niewrażliwi	28	9,4	58	24,7
Razem	300	100,0	235	100,0



Ryc. 1.1.1. Struktura wieku mężczyzn i kobiet wrażliwych na zmiany pogody (wg: Baranowska i Cedzyńska-Zięba, 1997)

Znaczny odsetek osób wrażliwych meteorotropowo obserwuje się wśród chorych. Największą wrażliwość na wpływy pogody stwierdzono u osób z chorobami układu krążenia (choroba naczyń wieńcowych, nadciśnieniowa). Także choroba wrzodowa żołądka, choroby reumatyczne, choroby alergiczne układu oddechowego i choroby psychiczne zalicza się do

chorób meteorotropowych. Do dolegliwości meteorotropowych należą bóle blizn pourazowych i pooperacyjnych oraz tzw. bóle fantomowe w amputowanej kończynie. Trzeba tu jednak wyraźnie podkreślić, że bodźce pogodowe nie wywołują wyżej wymienionych chorób, a tylko powodują zaostrzenie ich objawów, jako drugorzędny, środowiskowy czynnik ryzyka dla osób wrażliwych.

Najnowsze polskie badania meteoropatii przeprowadzone w latach 1994–1996 wśród osób w wieku 16–82 lata, uwzględniają również stan zdrowia (Martynuska i inni, 2003). Przy ocenie stanu zdrowia zakładano, że w wyniku przebytych chorób następuje upośledzenie mechanizmów adaptacyjnych organizmu człowieka do warunków środowiska atmosferycznego. Na podstawie tych badań stwierdzono, że zarówno wśród mężczyzn jak i kobiet średni stopień meteoropatii wzrasta wraz z pogorszeniem stanu zdrowia (tab. 1.1.2).

Tabela 1.1.2. Ryzyko meteoropatii w zależności od płci, wieku i stanu zdrowia (wg: Martynuska i inni, 2003)

Płeć	Mężczyźni (41,7%)			Kobiety (58,3%)	
	Wiek	< 35 lat	36–45 lat	>45 lat	<45 lat
Stan zdrowia					
Z <sub>1</sub> (45,5%)	A	A	B	B	C
Z <sub>2</sub> (26,0%)	A	B	C	C	C
Z <sub>3</sub> (28,6%)	B	D	D	E	E

Ryzyko meteoropatii:

A – niskie, B – średnie, C – podwyższone, D – wysokie, E – bardzo wysokie.

Stan zdrowia (skutki przebytych chorób):

Z<sub>1</sub> – w 86% skutki przebytych chorób są nieokreślone, w 14% obojętne.

Z<sub>2</sub> – w 58% skutki przebytych chorób są obojętne lub niewiadome, w 42% – dotyczą prawdopodobnego obciążenia mechanizmów adaptacyjnych.

Z<sub>3</sub> – w 61% przebyte choroby trwale upośledzają zdrowie i mechanizmy adaptacyjne, w 30% przebyte choroby trwale upośledzają zdrowie, lecz nie dotyczy to mechanizmów adaptacyjnych.

## 1.2. Meteorotropowe sytuacje pogodowe

Liczne badania lekarzy i meteorologów zmierzały do wykrycia korelacji zjawisk biologicznych takich jak choroby, zgony czy procesy fizjologiczne z poszczególnymi elementami meteorologicznymi. Celem tych badań było znalezienie czynnika biotropowego wpływającego na reakcje meteorotropowe organizmu człowieka. Za taki czynnik uważano początkowo zawartość ozonu w powietrzu, pierwiastki śladowe, promieniowanie ziemskie i jonizację powietrza (Assmann, 1955). Badania te potwierdziły wcześniejsze przypuszczenia, że nie ma jednego „czynnika biotropowego”, lecz na

człowieka oddziałuje nieprzerwanie, z różnym natężeniem zmieniającym się w czasie i przestrzeni, cały zespół elementów meteorologicznych, nazywanych przez F. Linkego „akordem meteorologicznym”, a który powoduje zmiany napięcia układu wegetatywnego (Kerdó, 1963; Tyczka, 1980, 1981; Tromp, 1980).

Współcześnie za czynniki meteorotropowe uważa się nieokresowe zmiany rytmicznego przebiegu procesów fizycznych zachodzących w atmosferze (przemieszczanie się frontów atmosferycznych, zmiana rodzaju mas powietrza i chwiejna równowaga dolnych warstw atmosfery). Już F. Petersen (1935) sugerował, że każdy system frontów atmosferycznych stanowi okresową stymulację organizmu. Związek pomiędzy zaostrzeniem różnych dolegliwości a układem frontów atmosferycznych ilustruje rycina 1.2.1 (Jendritzky, 1995). Jednak mimo licznych prób, istota i mechanizm oddziaływania pogody na człowieka nie zostały jeszcze w pełni wyjaśnione. Człowiek jest bowiem skomplikowanym układem biologicznym, a typ pogody kształtowany jest przez kompleks procesów fizycznych zachodzących w atmosferze.



Ryc. 1.2.1. Możliwość pojawiania się niektórych dolegliwości chorobowych w układzie cyklonalnym (wg: Jendritzky, 1995)

Wieloletnie badania A. Machalka oparte na korelacji charakterystycznych układów pogody z różnymi procesami biologicznymi zachodzącymi w organizmie człowieka pozwoliły na opracowanie prostego systemu oceny możliwości pojawiania się dolegliwości w typowych dla Europy Środkowej układach pogody, które nazywa on „biopogodą” (tab. 1.2.1). Według tej oceny najwięcej silnych dolegliwości (migreny, dolegliwości układu krążenia, zaburzenia układu wegetatywnego) obserwuje się przy mało zróżnicowanym ciśnieniu atmosferycznym (typ B), zaś najlepsze warunki biometeorologiczne panują w układzie wysokiego ciśnienia (A). W. Wojtowicz (1968) za sytuacje meteorotropowe uznawał przejście od niżów bliskich, pogłębiających się, do wyżów. W badaniach M. Baranowskiej za

niekorzystną dla meteoropatów pogodę ankietowani uznali pogodę przejściową od wyżu do niżu oraz pogodę niżową charakteryzującą się całkowitym zachmurzeniem, zmianą warunków termicznych oraz dużą dynamiką procesów atmosferycznych. Podobne wyniki uzyskali J. Chybalski i inni (1979) analizując częstość występowania nagłych zachorowań i dolegliwości bólowych wśród 1500 kuracjuszy w Ciechocinku. W badaniach P. Hóppe (2002) meteoropaci zamieszkujący północne Niemcy negatywnie oceniali pogodę burzową (30%) oraz nagły napływ chłodnego powietrza (29%). Natomiast mieszkańcy południowych Niemiec (Bawarii) częściej odczuwali subiektywne dolegliwości przy adwekcji powietrza ciepłego (30%) niż chłodnego (18%). Różnice te można wytłumaczyć dość częstymi wiatrami fenowymi w południowych Niemczech.

Trzeba dodać, że reakcje meteorotropowe zarówno u osób zdrowych jak i chorych pojawiają się ze znacznym wyprzedzeniem w stosunku do zmian zachodzących w atmosferze. W skrajnych przypadkach „prze czuwanie” tych zmian sięga nawet 48 godzin. Przypuszcza się, że przyczyną tej wrażliwości mogą być zmiany pola elektrycznego atmosfery, poprzedzające np. nadejście frontu atmosferycznego (Hessmann-Kosaris, 1998).

Tabela 1.2.1. Dolegliwości występujące w poszczególnych fazach biopogody (wg: Machalek, 1997)

Dolegliwości	Typ biopogody								
	A	B	C	Dw	Ds	I+	I-	2	3
Migrena, bóle głowy	1	3	0	0	2	3	0	1	2/3
Dolegliwości sercowo-krażeniowe	2	3	1	0	2	3	0	2	3
- wysokie ciśnienie krwi	2	2	1	2	1	0	2	1	1
- niskie ciśnienie krwi	1	3	0	1	3	2	0	1	2
Dolegliwości żołądkowo-jelitowe	0	0	1	2	0	0	3	2	0
Dolegliwości reumatyczne	1	0	3	3	2	0	2	3	0
Choroby dróg oddechowych	2	2	1	1	2	1	2	2	0
Zaburzenia układu vegetatywnego	2	3	0	0	2	3	0	1	3

Nasilenie dolegliwości:

0 - brak, 1 - lekkie, 2 - umiarkowane, 3 - silne;

A - układ wysokiego ciśnienia, B - układ mało zróżnicowanego ciśnienia, C - układ niskiego ciśnienia, Dw - strefowa cyrkulacja zachodnia, Ds - cyrkulacja południowa;

I+ - napływ ciepłego powietrza, I- - gwałtowny napływ chłodnego powietrza, 2 - przejście frontów atmosferycznych, 3 - procesy osiadania powietrza w atmosferze (wiatr halny).

## 2. Wpływ warunków pogodowych na występowanie chorób meteorotropowych i wypadków

Omawiając wpływ warunków meteorologicznych jako czynnika ryzyka występowania niektórych chorób i wypadków oparto się głównie na wynikach prac polskich autorów. Pomimo stosowania przez nich prostych

metod badawczych, prace te zasługują na wzmiankę, gdyż świadczą o wieloletnim, choć rozproszonym, dorobku polskiej biometeorologii w dziedzinie meteoropatologii. Pomimo trudności metodycznych uzyskane w przeszłości wyniki zostały potwierdzone przez współczesnych badaczy zarówno polskich jak i zagranicznych.

## 2.1. Choroby układu krążenia

Wśród chorób meteorotropowych najczęściej wymieniane są choroby układu krążenia. Udział meteoropatów w tej grupie chorych sięga 40–60%. W Europie środkowej choroby te są główną przyczyną zgonów (Mączyński, 1978; Bejnarowicz, 1997; Machalek, 1997; Hóppe, 2002).

Pierwsze w Polsce badania meteoropatologiczne dotyczące wpływu pogody na funkcjonowanie układu sercowo-naczyniowego pochodzą z połowy XIX w. (Majer, 1845). Obecnie prowadzone są one (na ogół przy współpracy meteorologów) w klinikach chorób wewnętrznych Akademii Medycznych, na oddziałach kardiologicznych szpitali, w przychodniach rejonowych, a także w stacjach sanitarno-epidemiologicznych (Zawiślak, 1997; Błażejczyk i inni, 1998, 2000; Skrobowski, 1998; Szpot, 2000; Pabiańczyk, 2003) oraz w ośrodkach naukowo-badawczych uzdrowisk (Baranowska i inni, 1968; Baranowska i Kontowt, 1969; Czarniecki i inni, 1969, 1973; Grzędziński i inni, 1969, 1972; Pasieczny i inni, 1977; Chybalski i inni, 1979; Juska i inni, 1985). W badaniach tych poszukuje się związku pomiędzy częstością występowania dolegliwości podmiotowych u chorych a określonymi warunkami meteorologicznymi i sytuacjami synoptycznymi. O ile próby wykazania znamiennej korelacji między częstością objawów chorób układu krążenia a oddzielnymi elementami meteorologicznymi zwykle zawodzą, o tyle szukanie związku z określonymi sytuacjami synoptycznymi ujawnia wyraźne prawidłowości. Trzeba dodać, że wyniki badań są w wielu przypadkach niejednoznaczne nie tylko na skutek różnic w reakcjach na bodźce pogodowe zależnych od płci i wieku badanych, ale także z powodu nakładania się wpływu różnych czynników meteorologicznych (synergizm). Uzyskane przez różnych autorów wyniki są często nieporównywalne z uwagi na odmienną metodykę oceny stanu pogody, a także na metodę pomiaru parametrów fizjologicznych (np. ciśnienia tętniczego krwi) czy też subiektywizm analiz statystycznych (Skrobowski, 1998).

Wyniki skojarzonych badań klinicznych i meteorologicznych wskazują, że w czasie krótkookresowych zmian pogody obserwuje się nasilenie objawów choroby niedokrwiennej serca, podwyższenie częstości zawałów mięśnia sercowego oraz zwiększenie wahań ciśnienia tętniczego krwi. Za przyczynę tych dolegliwości uważa się zwiększenie obciążenia serca, spowodowane koniecznością dostosowania krążenia krwi w skórze do

potrzeb układu termoregulacji, który odpowiedzialny jest za utrzymanie stałej temperatury wewnętrznej w czasie nagłych zmian warunków atmosferycznych (Machalek, 1997).

Doniesienia z różnych ośrodków kardiologicznych mówią o sezonowości występowania dolegliwości ze strony układu krążenia. Ogólnie można stwierdzić, że hospitalizacje chorych z powodu tzw. ostrych zdarzeń kardiologicznych, a nawet spowodowane nimi zgony są zdecydowanie częstsze w półroczu chłodnym niż ciepłym (Pasyk, 1960; Grączewski, 1972; Zawiślak, 1997; Wojtach, 2002; Pabiańczyk, 2003).

Spostrzeżenie to potwierdza liczba interwencji Pogotowia Ratunkowego w Warszawie w okresie 2000–2002 z powodu zawałów serca i objawów choroby wieńcowej (tab. 2.1.1). Jak wynika z przytoczonych danych, nieco większy niż w pozostałych porach roku udział wezwań Pogotowia Ratunkowego do zaostżeń choroby wieńcowej obserwowano w zimie (XII–II), z maksimum w styczniu, natomiast zawały serca najczęściej występowały wiosną (III–V), z maksimum rocznym przypadającym na marzec, co wynika z dużej zmienności warunków pogodowych w tym miesiącu. Roczne minimum wezwań Pogotowia Ratunkowego do zawałów i zaostżeń choroby wieńcowej przypada na przełom lata i jesieni – okresu o dość ustabilizowanej pogodzie (Krawczyk, 2002). Analiza związku pomiędzy liczbą tych wezwań a zmianami wartości niektórych elementów meteorologicznych wykazała, że w badanym okresie istotny (z prawdopodobieństwem 95%) jest wzrost temperatury minimalnej powietrza o co najmniej 4°C z dnia na dzień. Taki wpływ temperatury minimalnej przejawia się 6-procentowym wzrostem ryzyka niedomagań układu krążenia, które pojawiają się z dwudniowym opóźnieniem.

Tabela 2.1.1. Rozkład sezonowy (%) wezwań Pogotowia Ratunkowego do zawałów i choroby wieńcowej w Warszawie (2000–2002)

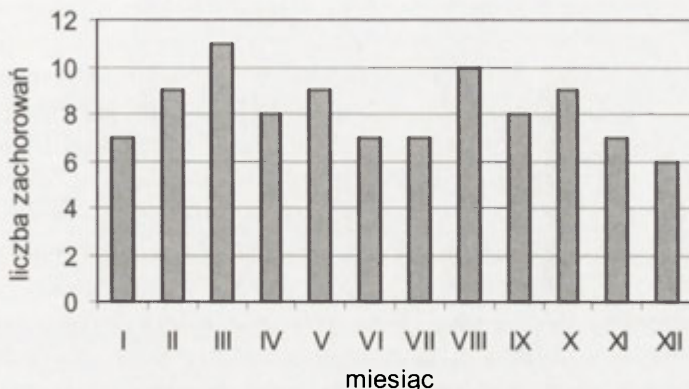
Przyczyna wezwań	Wiosna (III–V)	Lato (VI–VIII)	Jesień (IX–XI)	Zima (XII–II)
Zawał serca	28,4	23,0	22,1	26,4
Choroba wieńcowa	25,3	24,1	24,0	26,5

Na nieregularność występowania ostrych zespołów wieńcowych w ciągu roku na obszarze Zakopanego i okolic zwracał uwagę M. Szpot (2000). Uzyskane różnice nie są istotne statystycznie, zaznacza się jednak roczne maksimum zachorowań w marcu (podobnie jak w Warszawie), a minimum w czerwcu i lipcu (ryc. 2.1.1). Wyniki badań medycznych i meteorologicznych prowadzonych przez K. Błażejczyka z zespołem w latach 1994–1995 w jednej z przychodni rejonowych w Warszawie (dzielnica Praga Południe) nie wykazały natomiast wyraźnego przebiegu sezonowego

liczby porad ambulatoryjnych i domowych udzielanych na skutek chorób układu krążenia (Błażejczyk i inni, 1998, 2000).

### 2.1.1. Ciśnienie tętnicze krwi

W badaniach wpływu pogody na funkcjonowanie układu krążenia szuka się najczęściej związku pomiędzy wahaniami ciśnienia tętniczego krwi (skurczowego i rozkurczowego), a wartościami poszczególnych elementów



Ryc. 2.1.1. Częstość występowania tzw. ostrego zespołu wieńcowego w Zakopanem w okresie 1989–1994 (wg: Szpot, 2000)

meteorologicznych i ich międzydobową zmiennością. Tego rodzaju badania mają aspekt nie tylko poznawczy, ale również społeczny, gdyż nadciśnienie tętnicze jest najwcześniej pojawiającym się symptomem schorzenia układu krążenia. W Polsce choroba nadciśnieniowa dotyczy około 20–30% dorosłej ludności, a w miastach, w grupie wiekowej 55–65 lat udział ten wzrasta do około 80% (Pomorski, 1999).

Rola warunków pogodowych jako bodźca atmosferycznego wpływającego na przebieg choroby nadciśnieniowej była przedmiotem wielu badań prowadzonych w latach 70. w uzdrowiskach o profilu kardiologicznym (Ciechocinek, Nałęczów). Stwierdzono, że statystycznie istotny wzrost ciśnienia tętniczego rozkurczowego następował w dniach o dużej zmienności elementów meteorologicznych. Wtedy także obserwowano zwiększenie częstości tętna (Czarniecki i inni, 1969). W czasie przechodzenia frontów atmosferycznych zauważono wyraźne, lecz nie jednokierunkowe, zmiany ciśnienia krwi i tętna u chorych. Badania wykazały również, że zarówno wzrost ciśnienia tętniczego krwi, jak i zmiany częstości tętna oraz nasilenie objawów podmiotowych występują nie tylko w dniach o dużej zmienności elementów meteorologicznych, lecz również w dniach

je poprzedzających. J. Łazowski z zespołem (1979b) udowodnili, że niektóre sytuacje synoptyczne (wyż zaburzony, niż wypełniający się) powodują zakłócenia rytmu dobowego ciśnienia skurczowego krwi.

Stwierdzono także, że największa częstość dużych zmian ciśnienia tętniczego krwi (>20 hPa) występuje w dniach z frontem okluzji i w przypadkach przemieszczania się w ciągu doby kilku frontów atmosferycznych. Te układy baryczne wywołują chwiejność ciśnienia tętniczego krwi u chorych. Najmniejsze wahania ciśnienia tętniczego krwi występują w dniach bez frontów atmosferycznych. Wzrost ciśnienia tętniczego rozkurczowego najczęściej występuje wtedy, gdy przemieszcza się front chłodny (Baranowska, 1968; Chrobok i Wójcik, 1968; Grzędziński i inni, 1969).

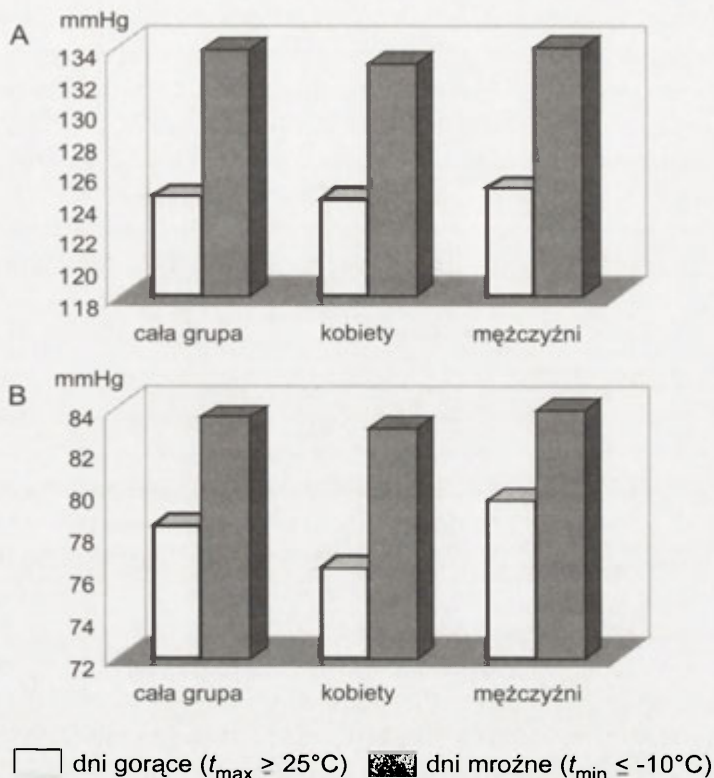
Na podstawie badań wykonanych w Nałęczowie M. Baranowska i A. Kontowt (1969, 1970) stwierdzili, że w czasie kuracji uzdrowskiej ciśnienie tętnicze krwi spada. Spadek ten jest większy w ciepłej porze roku niż w chłodnej, co świadczy nie tylko o wzroście sprawności układu krążenia pod wpływem leczenia sanatoryjnego, lecz także o wpływie temperatury powietrza na kształtowanie się ciśnienia tętniczego krwi.

Rozpatrywano również wpływ skrajnych warunków termiczno-wilgotnościowych (upału i parności) na ciśnienie tętnicze krwi i dolegliwości ze strony układu krążenia (Biernacki i inni, 1965; Baranowska i inni, 1968; Chrobok i Wójcik, 1968; Grzędziński i inni, 1969). Stwierdzono, że najbardziej uciążliwe dla tej grupy chorych są dni upalne oraz parne, kiedy zmniejsza się wydolność oddechowa płuc i oddawanie ciepła z powierzchni ciała człowieka, a także z dróg oddechowych staje się trudniejsze. W takich warunkach termiczno-wilgotnościowych obserwuje się istotny statystycznie spadek ciśnienia tętniczego krwi. Zaobserwowano, że w umiarkowanie podwyższonej temperaturze powietrza (25–30°C), dolegliwości występują rzadziej, co świadczyć może o korzystnym oddziaływaniu dość wysokiej temperatury i dużej jej amplitudy na układ krążenia (Baranowska i inni, 1968). To spostrzeżenie potwierdzają wyniki szczegółowych badań przeprowadzonych w latach 1960–1969 na grupie 746 chorych przebywających na kuracji w Ciechocinku (Grzędziński i inni, 1972; Kozłowska-Szczęśna i Grzędziński, 1988). Stwierdzono też wyraźny wpływ frontów atmosferycznych i okresów pogody z dużą zmiennością elementów meteorologicznych na ciśnienie tętnicze krwi, zwłaszcza u pacjentów z nadciśnieniem tętniczym miażdżycowym.

Także w badaniach A. Skrobowskiego (Skrobowski, 1998; Skrobowski i inni, 1999) przeprowadzonych w latach 1991–1997 w Warszawie (CSK WAM) na modelowej próbie populacyjnej około 1200 mężczyzn i kobiet, przy zastosowaniu 24-godzinnej automatycznej pomiaru ciśnienia tętniczego krwi udowodniono, że skrajne warunki termiczne określone wartościami temperatury maksymalnej >25,0°C (dni gorące) i minimalnej <-10°C (dni mroźne), mają istotny wpływ na wartości ciśnienia tętniczego



krwi. Ciśnienie – zarówno skurczowe jak i rozkurczowe – było statystycznie niższe w dniach gorących niż bardzo mroźnych (ryc. 2.1.2).



Ryc. 2.1.2. Wartości ciśnienia skurczowego (A) oraz rozkurczowego (B) w całej grupie badanych oraz u mężczyzn i kobiet w dni uznane za termicznie niekorzystne – gorące i bardzo gorące oraz zimne i bardzo zimne (wg: Skrobowski, 1998)

Trzeba dodać, że zmiany wartości ciśnienia tętniczego krwi wynikają z odmiennych reakcji układu termoregulacyjnego na różne warunki termiczne. Odpowiedzią układu termoregulacji na wysoką temperaturę jest rozszerzenie peryferycznych naczyń krwionośnych oraz zmniejszenie ich oporu, co powoduje wzmożony przepływ krwi do tkanek peryferyjnych i prowadzi do obniżenia ciśnienia tętniczego krwi. Sprzyja temu również utrata wody z organizmu człowieka w procesie parowania z powierzchni ciała człowieka. Oddziaływanie niskiej temperatury powietrza natomiast wywołuje odruchowe kurczenie naczyń krwionośnych i zwiększenie ich napięcia, co prowadzi do ograniczenia obwodowego przepływu krwi w celu zmniejszenia utraty ciepła. Powoduje to wzrost ciśnienia tętniczego krwi.

Analizując wpływ trzech zmiennych meteorologicznych (temperatura, wilgotność względna oraz ciśnienie atmosferyczne) zarówno oddzielnie, jak i w ujęciu synergistycznym, na kształtowanie się ciśnienia skurczowego i rozkurczowego krwi A. Skrobowski (1998) udowodnił, że płeć, wiek i stan zdrowia badanych determinuje „odpowiedź” organizmu człowieka na zmieniające się warunki atmosferyczne. Wyróżnił on 3 typy tych odpowiedzi: natychmiastową, opóźnioną i ciągłą. U młodych, zdrowych (bez choroby nadciśnieniowej) mężczyzn i zdrowych kobiet powyżej 50 roku życia reakcja ze strony układu krążenia zachodzą pod wpływem zmian temperatury powietrza jest natychmiastowa. Z kolei organizmy młodych i zdrowych, ale także starszych i chorych kobiet (z nadciśnieniem tętniczym) reagują na zmiany warunków termicznych z 1–2-dniowym opóźnieniem.

### 2.1.2. Zawał serca

Spośród wielu czynników zewnętrznych i wewnętrznych wpływających na występowanie zaostrzeń choroby niedokrwiennej serca i powstawanie zawału mięśnia sercowego wymienia się również niesprzyjające warunki atmosferyczne (Pasyk, 1960; Tromp, 1963; Hankiewicz i Machalski, 1967; Szczepański i inni, 1973; Żola-Ślęczek i inni, 1978). W. Wojtowicz (1968) stwierdza, że do wystąpienia około 20% zawałów przyczyniają się niekorzystne warunki atmosferyczne.

Jako niesprzyjające warunki atmosferyczne najczęściej wymienia się ekstremalne wartości temperatury (tzw. stres ciepła i zimna) oraz jej międzydobową zmienność, a także zmiany ciśnienia atmosferycznego. Przeważa pogląd, że przy ekstremalnych wartościach temperatury, zwłaszcza ujemnej, wzrasta liczba dni z zawałem serca, który pojawia się w następstwie skurczu naczyń wieńcowych (Leszczyński, 1969, 1973b; Khaw, 1995). Także inni autorzy podają, że wzrost liczby zawałów serca obserwuje się przy niskiej temperaturze powietrza zimą i wiosną (Chudzikiewicz, 1957; Wojtowicz i Dzierżyński, 1962; Synoradzka i inni, 1972). Pogląd ten potwierdzają dane odnoszące się do częstości wezwań Warszawskiego Pogotowia Ratunkowego do zawałów serca (tab. 2.1.1).

Dziesięcioletnie badania wykonane w Anglii w grupie około 2 000 pacjentów (Thompson i inni, 1996) dowiodły, że istotny okazał się wpływ niskiej temperatury i wysokiej wilgotności powietrza na częstość występowania zawałów serca, w tym szczególnie wśród ludzi starszych (50–70 lat).

Z badań A. Skrobowskiego (1989) obejmujących próbę 136 mężczyzn, u których rozpoznano świeży zawał serca wynika, że istotny statystycznie czynnik ryzyka stanowi różnica średniej dobowej temperatury i ciśnienia powietrza pomiędzy dniem wystąpienia zawału i dniem poprzedzającym. Odmienny pogląd wyraża A. Machalek (1997), który stwierdza wyraźny

wzrost liczby zawałów w układzie pogody słabogradientowej, o mało zróżnicowanym ciśnieniu powietrza.

Zwraca się także uwagę na rolę dynamiki procesów atmosferycznych w powstawaniu zawału serca. Uważa się, że masy powietrza arktycznego i polarnego morskiego napływające nad Polskę w układach niżowych odznaczają się dużą aktywnością meteorotropową (Dubaniewicz i inni, 1981; Poddany, 1981). Analizując sytuacje synoptyczne M. Baranowska i Z. Janik-Strobel (1973) stwierdzili, że objawy podmiotowe u chorych po przebytych zawałach serca oraz po operacjach serca pojawiają się najczęściej przy zmianie typu cyrkulacji oraz przy zmianie pogody w strefach frontowych układów niżowych. Reakcje chorego organizmu pojawiają się na ogół 5–6 godzin przed nadejściem frontu chłodnego i 3–5 godzin po jego przejściu (Hankiewicz i Machalski, 1967; Leszczyński 1973b). Na podstawie analizy ponad 3 tysięcy przypadków zawałów serca z terenu północnych Czech stwierdzono 30-procentowy wzrost ich liczby w ciągu 7–12 godzin po przejściu frontu ciepłego (Kveton, 1991).

Na podstawie analizy związków przyczynowych pomiędzy liczbą hospitalizacji z powodu zawału serca i czynnikami meteorologicznymi B. Wojtach z zespołem (2003) wyróżniła 4 poziomy ryzyka wystąpienia zawału serca (tab. 2.1.2). Jako czynniki biotropowe, to znaczy takie, które wywołują reakcje ustroju człowieka, autorka przyjęła warunki biosynoptyczne określone przez sytuacje synoptyczne (układy ciśnienia, fronty atmosferyczne), temperaturę odczuwalną, parność i zawartość tlenu w powietrzu. Według tych badań liczba zawałów rośnie wraz ze wzrostem obciążenia układu termoregulacji skrajnie ciepłymi lub chłodnymi warunkami termicznymi, parnością oraz obniżoną zawartością tlenu w powietrzu.

## 2.2. Choroby układu oddechowego

Wpływ czynników meteorologicznych na człowieka odbywa się między innymi poprzez drogi oddechowe. Stanowią one także naturalną drogę wnikania zanieczyszczeń powietrza i alergenów. Dlatego choroby układu oddechowego, przede wszystkim astmę oskrzelową oraz zapalenie i przewlekły nieżyt oskrzeli, zalicza się do chorób meteorotropowych (Tromp, 1963; 1968; Kalkstein i Valimont, 1986; Aihara i Aihara, 1996).

Ostre zapalenie oskrzeli spowodowane jest na ogół przeziębieniem i występowanie tego schorzenia ma wyraźny przebieg sezonowy. Największą liczbę zachorowań notuje się jesienią i w zimie, a szczególnie w dniach o dużej dynamice cyrkulacji atmosferycznej, która wyraża się w następującej szybko po sobie adwekcji powietrza ciepłego i chłodnego, a także w czasie pogody mglistej i wilgotnej (Zwierzchowski, 1963; Dziadziuszko i inni, 1969).

Tabela 2.1.2. Ryzyko wystąpienia zawału serca (wg: Wojtach i inni, 2003)

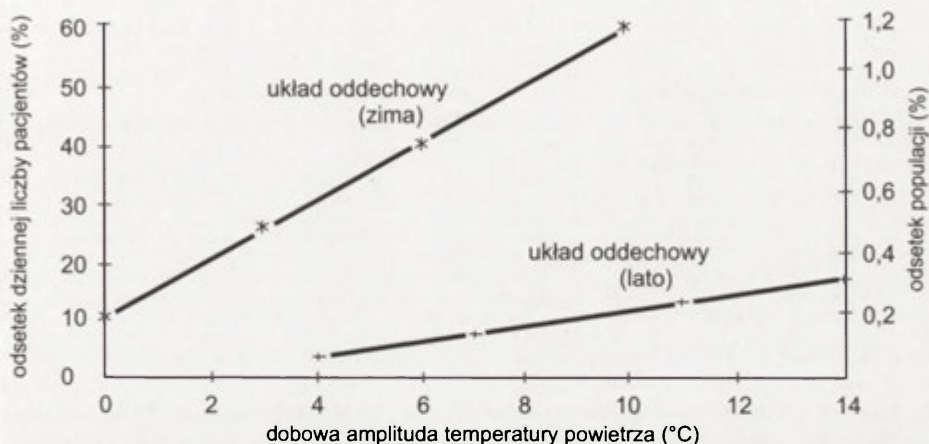
Poziom ryzyka	Warunki biosynoptyczne	
	Okres ciepły (V-IX)	Okres chłodny (X-IV)
A – znikomy	chłodny wyż, zawartość tlenu w powietrzu w normie i powyżej normy, wilgotność powietrza w normie, wzrost ciśnienia atmosferycznego	chłodny lub ciepły obszar wyżu, centrum wyżu, wypełniający się niż, spadek ciśnienia
B – przeciętny	ciepły obszar wyżu, ciepły wycinek niżu, powietrze ciepłe i suche, w układach niżowych i słabogradientowych – parność	zmiana układu pogody z wyżu do ciepłego niżu
C – podwyższony	zimny wyż, ciepły wycinek niżu, obniżona zawartość tlenu w powietrzu	zatoka niżowa, chłodny obszar wyżu, front chłodny, wzrost wilgotności powietrza
D – wysoki	skrajnie ciepłe lub zimne niże, zmiany układów ciśnienia, obniżona zawartość tlenu w powietrzu, parność	zmiana układu pogody z niżu do wyżu, adwekcja zimnych mas powietrza, wzrost ciśnienia atmosferycznego

W Warszawie największą częstość zgłoszeń pacjentów z objawami chorób układu oddechowego zaobserwowano jesienią (33,6%), i zimą (31,4%), a najmniejsza przypada na lato (12,5%). Odsetek liczby pacjentów zgłaszających dolegliwości układu oddechowego zwiększa się przy tym ze wzrostem amplitudy temperatury powietrza, czyli kontrastów termicznych w ciągu doby (ryc. 2.2.1) (Błażejczyk i inni, 1998, 2000).

Badania lekarsko-meteorologiczne, prowadzone zarówno wśród dzieci jak i dorosłych w różnych warunkach fizycznogeograficznych Polski, potwierdzają związek pomiędzy częstością napadów duszności u osób z alergicznymi chorobami dróg oddechowych a niektórymi typami pogody (Tyczka i inni, 1986). Posługując się klasyfikacją typów pogody W. Wojtowicza określono sytuacje pogodowe o charakterze meteorotropowym w tego typu chorobach (tab. 2.2.1). Stwierdzono, że najbardziej meteorotropowe dla chorób układu oddechowego są sytuacje niżowe (Np, NW), poprzedzone przejściem ciepłego frontu atmosferycznego w chłodnym, a frontu chłodnego – w ciepłym okresie roku. Napady astmy oskrzelowej pojawiały się w 1 do 3 dni po przejściu chłodnego frontu atmosferycznego, a większość chorych odczuwała dolegliwości intensywniej podczas pogody chłodnej i wilgotnej (Machalek, 1997), a także zimnej i suchej (McGregor i inni, 1999). Badania kliniczne dużej grupy dzieci w Holandii potwierdziły statystycznie istotny związek pomiędzy częstością ataków astmy a napływem chłodnych mas powietrza i zmianami ciśnienia atmosferycznego. Stwierdzono także, że maksimum częstości objawów astmy i nieżytu oskrzeli występuje jesienią (Tromp, 1968).

Podobne wyniki uzyskał T. Rafiński z zespołem (1973), który badał częstość napadów astmy u dzieci leczonych w klimacie nadmorskim (w Koło-

brzegu). Wyraźne działanie meteorotropowe w napadach astmy u dzieci miały fronty zokludowane, a pogorszenie stanu dzieci alergicznych, objawiające się narastaniem duszności i niepokojem, następowało przy zmianach pogody, a zwłaszcza przy spadku ciśnienia atmosferycznego (Warakomska-Grzycka, 1964). Korzystny wpływ na objawy tej choroby wywierały natomiast warunki pogodowe towarzyszące układom antycyklonalnym (Machalek, 1997).



Ryc. 2.2.1. Wpływ dobowej amplitudy powietrza na niedomagania układu oddechowego (wg: Kozłowska-Szczęsna i inni, 1997)

Na podstawie badań przeprowadzonych w wielu krajach Europy stwierdzono, że dolegliwości układu oddechowego (w tym objawy astmy) zdarzają się częściej wtedy, gdy temperatura miesięcy zimowych jest wyższa niż przeciętna, a miesięcy letnich – niższa (Verlato i inni, 2002). Ani średnia roczna temperatura, ani suma opadów nie wpływają istotnie na częstość występowania tych dolegliwości. Teza o związku pomiędzy warunkami atmosferycznymi a objawami ataków astmy zarówno wśród dzieci jak i osób dorosłych znalazła potwierdzenie w badaniach przeprowadzonych w Japonii (Suzuki i inni, 1988). Stwierdzono istotny wpływ spadku temperatury jesienią na częstość napadów astmy, mniej wyraźna zaś jest zależność tej dolegliwości od zmian wilgotności powietrza i ciśnienia atmosferycznego. Podobne wyniki uzyskała w Chorwacji K. Zaninović (2002) – stwierdziła, że w chłodnej porze roku obserwuje się największą częstość napadów astmy u dzieci.

Wzrost częstości napadów astmy obserwuje się także w czasie występowania innych, niż wyżej wspomniano, zjawisk meteorologicznych, np. wiatrów orograficznych. T. Cegnar (i inni, 1992) zwraca uwagę, że wiatr typu bora jest czynnikiem meteorotropowym, który wpływa na chorego

bezpośrednio poprzez skórę i system nerwowy, lub pośrednio – przyczyniając się do rozprzestrzeniania alergenów w powietrzu.

Tabela 2.2.1. Częstość występowania meteorotropowych sytuacji pogodowych (%) w alergicznych chorobach układu oddechowego (astma oskrzelowa) (wg: Tyczka i inni, 1986)

Sytuacja synoptyczna (wg W. Wojtowicza)	Symbol	Najmniejsza częstość w roku (%)	Największa częstość w roku (%)
Niż pogłębiający się bliski	Np	12,0 (luty)	22,7 (kwiecień)
Sytuacja przejściowa od niżu wypełniającego się do wyżu	Nw-W	2,2 (marzec, maj, grudzień)	7,3 (kwiecień)
Niż wypełniający się bliski	Nw	6,8 (marzec)	14,0 (kwiecień)
Sytuacja przejściowa od wyżu do niżu pogłębiającego się	W-Np	2,5 (luty)	7,1 (sierpień)
Sytuacja przejściowa od wyżu do niżu wypełniającego się	W-Nw	0 (kwiecień)	2,6 (marzec)
Sytuacja przejściowa od niżu pogłębiającego się do wyżu	Np-W	0,3 (styczeń)	2,3 (wrzesień)

Zaostrzenie objawów chorób układu oddechowego, w tym astmy, następuje również pod wpływem dużej koncentracji zanieczyszczeń powietrza, m.in. ozonu troposferycznego. Wówczas gdy średnie 30-minutowe stężenie ozonu w godzinach 13–16 przekraczało 0,050 ppm, obserwowano wzrost o około 20% częstości pojawiania się dolegliwości układu oddechowego wśród mieszkańców Monachium w podeszłym wieku. Okazało się zresztą, że ta grupa ludzi wykazuje podobną wrażliwość na zwiększoną koncentrację ozonu jak ludzie młodszy, lecz z racji trybu życia (pozostawanie w domu) jest mniej narażona na szkodliwe działanie  $O_3$  (Höppe, 1995, 1996). Negatywny wpływ ozonu na schorzenia układu oddechowego objawia się z 1–3-dniowym opóźnieniem, co potwierdzają badania liczby przyjęć do szpitali w Nowym Jorku, Toronto i Helsinkach (Kuchcik, 2000).

Także badania wykonane w Rzymie (Fusco i inni, 2001) wykazały, że największy wzrost liczby hospitalizacji z powodu chorób układu oddechowego obserwuje się przy zwiększeniu koncentracji dwutlenku azotu, tlenku węgla i ozonu troposferycznego, przy czym w odniesieniu do dwutlenku azotu i tlenku węgla pogorszenie stanu zdrowia tej grupy chorych następuje tego samego dnia, podwyższona koncentracja ozonu zaś daje o sobie znać z 1–2-dniowym opóźnieniem. Jeśli chodzi o inne zanieczyszczenia, np. dwutlenek siarki przyjmuje się, że jego koncentracja 120–140  $\mu g \cdot m^{-3}$ , mimo że jest dopuszczalną normą higieniczną, może prowadzić do skurczu oskrzeli u osób dorosłych chorych na astmę i do zaostrzenia jej objawów (Juda i Chruściel, 1974).

Również badania wykonane w Krakowie i w Zabrzu w latach 70. wykazały, że niekorzystne warunki aerosanitarne przyczyniały się do wzrostu (o około 5–10%) częstości napadów astmy, przede wszystkim u dzieci. Na najbardziej zanieczyszczonym obszarze Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego (Chorzów, Olkusz) wzrost ten wynosił nawet 50% w porównaniu z terenami mniej zanieczyszczonymi (Jędrychowski, 1995).

### 2.3. Choroby układu nerwowego

Subiektywne reakcje organizmu człowieka zachodzące pod wpływem sytuacji meteorotropowych i silnych bodźców atmosferycznych dotyczą w dużej mierze układu nerwowego i nasilają się u osób cechujących się dużą pobudliwością i zaburzeniami jego równowagi. Badania prowadzone w Holandii, Niemczech, Belgii i w Polsce wykazały, że najbardziej wrażliwi na zmiany pogody są pacjenci cierpiący na depresję, schizofrenicy, neurotycy, a nawet narkomani i alkoholicy (Tromp, 1963; Leszczyński, 1968; Faust, 1969; Maes i inni, 1992; Przybyła, 1994). Badania kliniczne wykonane w Belgii (Maes i inni, 1992, 1993), w Anglii (Collier, 1992) i w USA (Barnston, 1988; Myers i Davies, 1978) potwierdzają periodyczność i meteorotropizm chorób układu nerwowego. W Belgii (Antwerpia) maksimum częstości hospitalizacji z powodu dolegliwości układu nerwowego zaobserwowano w marcu i listopadzie, natomiast w strefie umiarkowanego kontynentalnego klimatu Stanów Zjednoczonych (stan Illinois) kryzysy emocjonalne u ludzi młodych występowały najczęściej jesienią.

Polskie badania J. Jankowiaka i S. Tyczki (1963) przeprowadzone w Zakładzie dla Nerwowo i Psychicznie Chorych w Kościanie wykazały statystycznie istotny związek pomiędzy niespokojnym zachowaniem się pacjentów a pogodą towarzyszącą zmianie sytuacji synoptycznej. Dotyczy to szczególnie zmiany pogody niżowej w wyżową lub sytuacji przejściowej od niżu do wypełniającego się wyżu. Także w czasie przechodzenia frontów atmosferycznych obserwuje się pogorszenie nastroju pacjentów, depresje, a nawet samobójstwa (Grączewski, 1972; Schiffer, 1986b; Machalek, 1997).

Spostrzeżenia te potwierdzają obszerne badania R. Przybyły (1994) prowadzone w latach 1983–1987 w Zakopanem. Badała ona związek pomiędzy liczbą wezwań Pogotowia Ratunkowego w Zakopanem z powodu nerwic, psychoz, schizofrenii i prób samobójczych a częstością sytuacji niżowych i fenowych w Tatrach. Stwierdzono, że w niżowych sytuacjach synoptycznych pogorszenie samopoczucia osób o zaburzonej psychice najczęściej ma miejsce wiosną, a najrzadziej jesienią, to znaczy w okresie o dość ustabilizowanej pogodzie w Tatrach, z tym, że zależność ta jest mało istotna statystycznie (tab. 2.3.1). Istotny natomiast okazał się ten związek dla okresu letniego (wskaźnik meteorotropizmu wynosił 1,08).

W przypadku pogody wyżowej nie stwierdzono żadnego związku pomiędzy tą sytuacją synoptyczną a liczbą wezwań Pogotowia Ratunkowego w Zakopanem do osób cierpiących na zaburzenia psychiczne.

Tabela 2.3.1. Wpływ niżowej sytuacji synoptycznej na częstość wezwań Pogotowia Ratunkowego w Zakopanem do chorych psychicznie w latach 1983–1987 (wg: Przybyła, 1994)

Pora roku	Wezwania ogółem (853=100%) w %	Wezwania podczas niżu (3709=100%) w %	Wskaźnik meteorotropizmu (M)
Wiosna	26	35	0,99
Lato	29	27	1,08
Jesień	23	16	0,99
Zima	23	23	1,11

Jak już wspomniano, patologiczne reakcje ze strony układu nerwowego mogą wystąpić pod wpływem wiatru typu fenowego. Niekorzystne warunki meteorologiczne towarzyszące temu wiatrowi mogą wpływać na pogłębienie stanów depresyjnych lub nasilać zachowania agresywne, a niekiedy powodować kryzysy emocjonalne kończące się próbą samobójstwa. Wiatr typu fenowego wywołuje także uczucie niepokoju lub stany lękowe, zmęczenie, znużenie i zdekoncentrowanie, zaburzenia snu i rytmu serca. W czasie występowania tego typu wiatru dochodzi częściej niż zwykle do udarów mózgu i wypadków. Oprócz negatywnych reakcji zdarzają się także stany euforyczne i chęć działania w wyniku reakcji organizmu na stres, jakim jest wiatr halny (Kocur, 1981; Schiffer, 1986a; Fletcher, 1988; Przybyła, 1994; Hessman-Kosaris, 1998; Sulman, 1982).

Analiza statystyczna wykazała, że 50% przypadków pogorszenia samopoczucia u psychicznie chorych w Zakopanem ma miejsce w dniu wystąpienia wiatru halnego, 16% w dniu poprzedzającym, a około 10% chorych odczuwa je nawet dwa dni po wystąpieniu tego zjawiska, przy czym około 60% pogorszeń stanu zdrowia tych chorych przypada w okresie od listopada do kwietnia. Korelacja między badanymi zjawiskami w poszczególnych porach roku okazała się słaba i nie została potwierdzona testem istotności (Przybyła, 1994). Uwzględnienie wpływu wiatru halnego na samopoczucie ludzi zarówno chorych, jak i zdrowych jest tym ważniejsze, że zjawisko to występuje w Tatrach z częstością około 100 dni w roku, a zasięg jego oddziaływania obejmuje znaczny obszar kraju od masywów górskich na południu po południowo-zachodnią i środkową Polskę (Lewińska, 2000, 2001).

Także występowanie innych gwałtownych zjawisk meteorologicznych (burze) przyczynia się do wzrostu liczby wezwań Pogotowia Ratunkowego w Zakopanem. Burze budzą u ludzi strach, dezorientację, uczucie niepokoju, a nawet mogą być przyczyną zaburzeń krążenia krwi w naczyniach



włosowatych, przy czym objawy te występują najczęściej w ciągu 1 godziny przed i po burzy (Iwanowska, 1954; Przybyła, 1994).

W polskich badaniach z dziedziny meteoropatologii podkreśla się także, że niesprzyjające warunki pogodowe odgrywają, obok zmian naczyniowych, rolę czynnika wyzwalającego w złożonej patogenezie udarów mózgowych (Czarski, 1964; Leszczyński, 1970). W przebiegu rocznym stwierdzono wzrost liczby tych przypadków w kwietniu oraz w listopadzie i w styczniu, a więc w okresie częstych zmian pogody i niskiej temperatury (styczeń), kiedy to zwiększa się ciśnienie tętnicze i krzepliwość krwi. Inny pogląd wyrażają A. Podstawczyńska i B. Adamkiewicz (1998). Badały one częstość występowania krwotoków podpajęczynówkowych w latach 1992–1995 w województwie łódzkim, w powiązaniu z różnymi typami pogody (słabo bodźcowej, bodźcowej i silnie bodźcowej) i zmianami ciśnienia atmosferycznego. Chociaż nie uzyskano statystycznego potwierdzenia istnienia rocznego lub tygodniowego rytmu występowania tego schorzenia, nie musi to oznaczać, że zjawiska te są od siebie całkowicie niezależne, gdyż wyodrębnienie głównej przyczyny wystąpienia krwotoku podpajęczynówkowego następuje duże trudności. W badaniach Z. Czarskiego wykonanych w latach 1947–1953 w województwie lubelskim wykazano, że w około 40–50% przypadków wszystkich zakłóceń krążenia mózgowego, kończących się najczęściej udarem, zdarza się przy przejściach frontów chłodnych, 30–40% – ciepłych, a w około 20% – zokludowanych (tab. 2.3.2).

Tabela 2.3.2. Udary mózgu a rodzaj frontów atmosferycznych, Lublin 1947–1953 (wg: Czarski, 1964)

Jednostka chorobowa	Liczba przypadków	Rodzaj frontu atmosferycznego	Przypadki w dniach z frontami (%)
Krwotoki mózgowe	240	ciepły	38
		chłodny	44
		zokludowany	18
Krwotoki podpajęczynówkowe	72	ciepły	31
		chłodny	42
		zokludowany	28
Rozmięknienia mózgu	211	ciepły	35
		chłodny	49
		zokludowany	17
Zatory naczyń mózgowych	87	ciepły	41
		chłodny	44
		zokludowany	15

Także w Anglii zauważono, że na częstość występowania zapalenia opon mózgowych – jednej z groźniejszych chorób układu nerwowego – ma wpływ podwyższona wilgotność (>60%) i zła jakość powietrza, a więc

warunki sprzyjające utrzymywaniu się w powietrzu bakterii wywołującej to schorzenie (Collier, 1992).

## 2.4. Choroby układu narządów ruchu

Wśród chorób meteorotropowych wymienia się także dolegliwości układu kostnego, więzadłowego i mięśniowego zwane potocznie chorobami reumatycznymi. Do najczęściej spotykanych należy reumatoidalne zapalenie stawów oraz zeszytniające zapalenie stawów kręgosłupa. Do chorób meteorotropowych obejmujących narządy ruchu zalicza się także różnego rodzaju nerwobóle i dysergie pourazowe i poamputacyjne.

Reakcja układu kostno-stawowego człowieka na zmiany pogody ma zwykle charakter miejscowy i przejawia się zaostrzeniem dolegliwości bólowych występujących najczęściej w stawach objętych procesem chorobowym. Przypuszcza się, że około 60–80% wszystkich zaostrzeń tych dolegliwości należy przypisać warunkom pogodowym cechującym się zmianą cech fizycznych powietrza wywołaną napływem chłodnych i wilgotnych mas powietrza za frontem chłodnym, a także niedostateczną ilością jonów ujemnych w powietrzu (Tromp, 1963; Jamison i inni, 1995; Jendritzky, 1995; Schuh, 1995). Stwierdzono, że u osób cierpiących na choroby reumatyczne narządów ruchu występuje ograniczona sprawność układu termoregulacji, co sprzyja nasileniu dolegliwości bólowych w stawach i mięśniach (Grączewski, 1972; Machalek, 1997). Nasilenie tych dolegliwości, a także występowanie bólu w złamanym lub amputowanym niegdyś kończynach pojawia się ze znacznym wyprzedzeniem (od kilku godzin do kilku dni) w stosunku do zmian pogody (Mester, 1937; Iwanowska, 1954; Dzierżyński i Wojtowicz, 1961; Leszczyński, 1967).

Wyniki polskich badań dotyczących związku pomiędzy nasileniem dolegliwości bólowych w chorobach reumatycznych i różnymi warunkami meteorologicznymi prowadzone na dość licznej grupie chorych (około 200 osób) wskazują, że nasilenie dolegliwości bólowych u chorych na reumatoidalne zapalenie stawów spotyka się częściej w półroczu ciepłym niż w półroczu chłodnym, a wzrostowi nasilenia bólu towarzyszy na ogół (w 64% przypadków) przemieszczanie się frontu chłodnego, a także spadek ciśnienia atmosferycznego i wzrost wilgotności powietrza (Iwanowska, 1954; Zielonka i inni, 1981). W. Krupiński i W. Wojtowicz (1963), wykazali za pomocą wskaźnika meteorotropizmu, że istnieje istotny związek pomiędzy niektórymi barycznymi typami pogody a dolegliwościami gościmi. Największy jest meteorotropizm ( $M = 1,7$ ) tych dolegliwości przy niżu bliskim pogłębiającym się, a także w sytuacji przejściowej do wyżu oraz wyżu z zaburzeniami ( $M = 1,4-1,5$ ). M. Dzierżyński i W. Wojtowicz (1961) badali związek pomiędzy występowaniem dolegliwości w zeszytniającym zapaleniu stawów kręgosłupa a sytuacją synoptyczną. Stwier-

dzono, że najczęściej pogorszeń stanu zdrowia tej grupy chorych obserwuje się w sytuacji synoptycznej związanej z obecnością niżów bliskich oraz tzw. wyżów zaburzonych i sytuacji przejściowych. A. Kazior (1979), na podstawie badań 1000-osobowej grupy chorych wyróżnił „wybitną”, „przeciętną” i „nikłą” zależność różnych typów dolegliwości reumatycznych od stanu pogody, co może mieć znaczenie przy doborze właściwego postępowania leczniczego.

Wyniki badań innych autorów pochodzące ze strefy klimatu umiarkowanego (Jamison i inni, 1995; Aikman, 1997) potwierdzają spostrzeżenia polskich badaczy. Dolegliwości bólowe w obrębie narządów ruchu nasilają się przede wszystkim przy spadku temperatury (w 42% przypadków) i wzroście wilgotności względnej (w 15% przypadków). Zmiany ciśnienia atmosferycznego natomiast wywołują dolegliwości u około 25% chorych (Gorin i inni, 1999). Podkreśla się także, że chociaż zmiany stanu fizycznego atmosfery postrzegane są przez chorych jako przyczyna nasilenia się ich dolegliwości, to mechanizm oddziaływania tych zmian, w przypadku występowania dolegliwości reumatycznych, nie został jeszcze wyjaśniony.

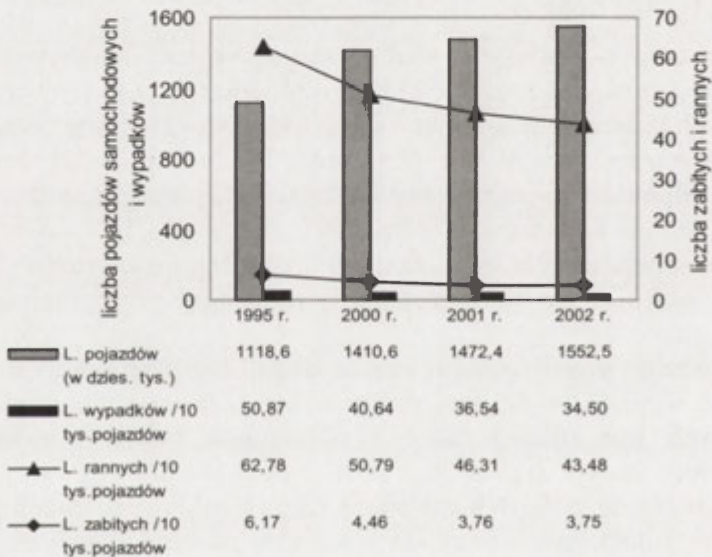
## 2.5. Wypadki drogowe

Najbardziej oczywistym rezultatem pogorszenia się warunków jazdy jest wzrost liczby wypadków (gdy uszkodzony jest człowiek) i kolizji drogowych (zdarzeń, w których uszczerbku doznał jedynie pojazd). Liczba tych zdarzeń jest traktowana jako miara warunków jazdy zarówno przez władze, odpowiedzialne za rozwiązania komunikacyjne, służby miejskie odpowiedzialne za stan dróg w mieście, policję i służby medyczne, ale też meteorologów, którzy w wielu krajach prowadzą osłonę ruchu drogowego, podając komunikaty dla kierowców ostrzegające przed niebezpiecznymi zjawiskami.

W rozdziale przedstawiono wyniki badań biometeorologicznych analizujących wypadkowość drogową w różnych typach pogody i układach barycznych, przy różnym rodzaju i aktywności frontów atmosferycznych i w zróżnicowanym środowisku termicznym. Podstawą tego typu analiz jest dowiedzione przez lekarzy założenie, że zakłócenia przebiegu procesów meteorologicznych znajdują odbicie w nieprawidłowościach funkcji fizjologicznych i sprawności psychofizycznej człowieka. Osłabienie sprawności organizmu, zarówno kierowców jak i pieszych, oznacza zwiększenie prawdopodobieństwa wypadku. Jednakże wypadkowość drogową jest kształtowana przede wszystkim przez czynniki nie związane z pogodą, takie jak: rozwój motoryzacji, natężenie ruchu na drodze, alkohol, zmęczenie lub nieuwaga kierowcy itp. Czynniki meteorotropowe (po wyeliminowaniu zjawisk utrudniających jazdę) są odpowiedzialne za od około 8–10% według B. Mączyńskiego (1972) do 23% wypadków według

W. Kóhna (Baranowska i Gurba, 1979). Dlatego, aby nie tworzyć fałszywego obrazu dominującego wpływu pogody na liczbę wypadków i kolizji drogowych, w pierwszej kolejności przedstawione zostaną pozostałe determinanty wypadkowości.

Wraz z szybkim rozwojem motoryzacji i rosnącą liczbą rejestrowanych pojazdów samochodowych w Polsce wzrastała także liczba wypadków drogowych, która osiągnęła maksimum w roku 1997 (66 586 zdarzeń). Od tego czasu liczba ta wolno maleje (w 2002 r. było to już 53 559). Wzrasta liczba rannych w wypadkach, choć maleje liczba ofiar śmiertelnych. Ogólnie w Polsce notuje się (ryc. 2.5.1) wyraźne zmniejszenie się liczby wypadków i ofiar w przeliczeniu na liczbę zarejestrowanych pojazdów samochodowych (*Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej* oraz statystyki Komendy Głównej Policji). Pomimo to Polska z liczbą 3,75 ofiar śmiertelnych w przeliczeniu na 10 000 pojazdów (2002 r.) nie może porównywać się z krajami o lepszej sieci dróg oraz rozwiniętym ratownictwem medycznym: z Niemcami – odpowiednio 1,54 ofiary, Norwegią – 1,20 czy z Kanadą, w której liczba 1,62 ofiary na 10 000 pojazdów jest uważana za bardzo wysoką (*Road Safety Vision 2001*).



Ryc. 2.5.1. Liczba zarejestrowanych w Polsce pojazdów samochodowych oraz wypadków drogowych i poszkodowanych w wypadkach w przeliczeniu na 10 000 pojazdów

Liczba wypadków i kolizji drogowych jest zależna przede wszystkim od natężenia ruchu drogowego i wykazuje wyraźny rytm dobowy, tygodniowy i roczny. Według danych Komendy Głównej Policji najwięcej wypadków oraz największą liczbę osób zabitych i rannych odnotowuje się pod koniec

tygodnia, tj. w piątki i soboty. W ciągu dnia najniebezpieczniejsze są godziny 17–18, czyli czas bardzo dużego natężenia ruchu. Do lat 1990. najczęściej wypadków rejestrowano latem i nadal jest to okres największej liczby rannych w wypadkach w całej Polsce (ryc. 2.5.2). Jednak w ostatnich latach maksymalna liczba wypadków notowana jest w październiku, w tym też miesiącu najczęściej osób ginie na drogach. W sumie człowiek odpowiada za 98% wypadków drogowych, w tym w 12–14% będąc pod wpływem alkoholu. Najczęstszymi przyczynami wypadków są: niedostosowanie prędkości do warunków jazdy, nieprzestrzeganie pierwszeństwa przejazdu, nieprawidłowe przejeżdżanie przejść dla pieszych oraz spożycie alkoholu.

Elementem wspólnym oddziałującym na stan dróg, pojazdy i ludzi są warunki atmosferyczne, ale ujemny wpływ pogody na bezpieczeństwo transportu kojarzy się przede wszystkim z takimi zjawiskami atmosferycznymi jak: opad deszczu, śniegu i gołoledź, powodujące śliskość nawierzchni oraz mgła, zamglenie czy zamieć śnieżna, utrudniające jazdę. Jednakże według polskich statystyk policyjnych aż 67% wypadków ma miejsce w „dobrych” warunkach atmosferycznych, a 14,1% w dniach pochmurnych bez opadów, co daje łącznie 81,1% (64% przy suchej nawierzchni), a jedynie 18,4% – w warunkach niekorzystnych, w czasie opadów, mgły lub przy oślepiającym słońcu. Podobnie jest w krajach o najlepszej infrastrukturze drogowej na świecie, co ilustruje tabela 2.5.1.

Tabela 2.5.1. Warunki atmosferyczne a częstość wypadków i kolizji drogowych w różnych krajach

Warunki atmosferyczne w czasie wypadku (%)	Polska <sup>1</sup>	USA <sup>2</sup>	Wielka Brytania <sup>3</sup>	Kanada <sup>4</sup>	Słowenia <sup>5</sup>
Brak opadów	81,1	83,3	82,0	77,0	75,0
Opady deszczu	13,5	12,1	16,2	11,9	16,0
Opady śniegu, marznący deszcz	2,7	3,4	0,7	7,6	3,0
Mgła, zamglenie	0,9	–	1,1	0,9	5,0
Inne (wiatr, oślepienie słońcem itp.)	1,8	1,2	0,0	1,7	1,0

<sup>1</sup> 1998 r. (Komenda Główna Policji),

<sup>2</sup> 1996 r.,

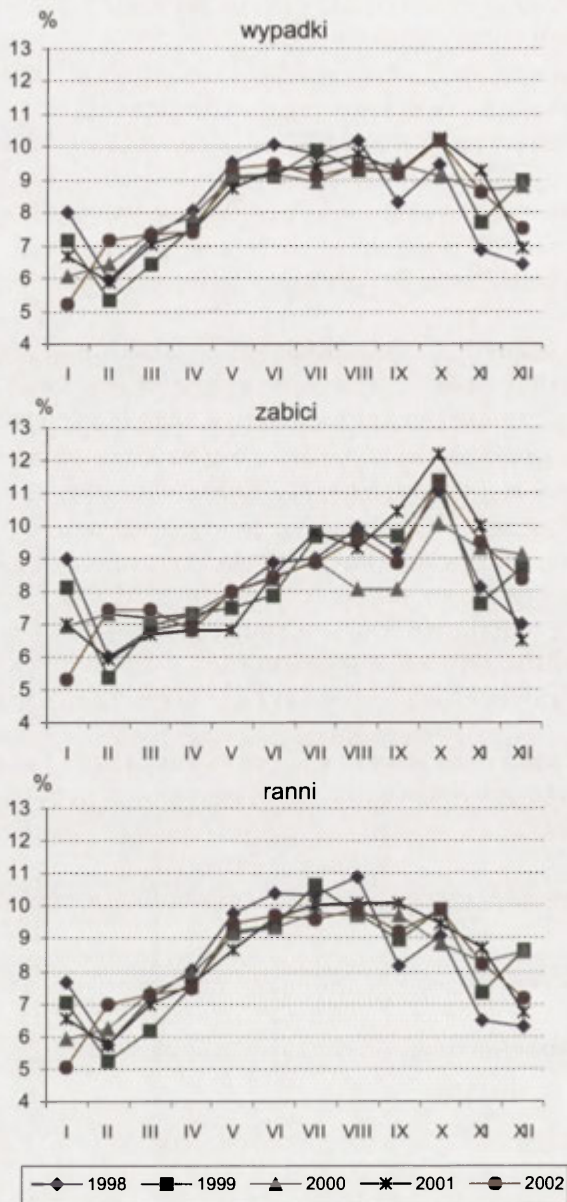
<sup>3</sup> średnia z lat 1980–1993.

<sup>4</sup> średnia z lat 1996–1998 (Suggett, 2003),

<sup>5</sup> średnia z lat 1986–1989 (Cegnar i inni, 1996).

W wielu pracach dokładnie przedstawiono utrudnienia jazdy spowodowane:

- zjawiskami lodowymi (tj. *black ice* – cienka warstewka przezroczystego lodu na nawierzchni, czy gołoledź),
- opadami deszczu i śniegu,



Ryc. 2.5.2. Roczna liczba wypadków drogowych i ich ofiar w Polsce w latach 1998–2002

- pogorszeniem widzialności,
- osadzaniem się kropelek mgły na słabo nagrzewających się powierzchniach, tj. na kostce kamiennej lub bruku, a jest to zjawisko niebez-

pieczne, kierowca bowiem nie oczekuje nagłej zmiany warunków jazdy, gdyż nawierzchnie asfaltowe są w tym czasie suche,  
– silnym wiatrem, odpowiedzialnym także za powstawanie zasp i zamieci śnieżnych (Drogosz, 1980; Leśniak i Trepieńska, 1985; Dąbrowska, 1987; Mills i Andrey, 2002).

Badania ankietowe dotyczące postrzegania zagrożenia na drodze przeprowadzone w Kanadzie (Ottawa i Hamilton), w warunkach klimatycznych zbliżonych do polskich (strefa klimatu umiarkowanego, przejściowego) wykazują, że spośród czynników związanych z pogodą najbardziej niebezpieczny dla kierowców jest marznący deszcz (wśród wszystkich zagrożeń jazdy zajął miejsce drugie, tuż za spożyciem alkoholu). Mgła, opady śniegu czy oślepienie słońcem są postrzegane jako średnio groźne, a opady deszczu czy silne wiatry – jako zupełnie niegroźne, gdyż redukcja prędkości czy zwiększenie dystansu do samochodu jadącego przodem są według respondentów wystarczające, by uchronić się przed wypadkiem. Wyniki te są interesujące, gdyż w czasie owej „łagodnej” pogody notuje się wzrost liczby kolizji, co świadczy, że wymienione zachowania przystosowawcze do warunków na drodze są niewystarczające (Andrey i Knapper, 2003).

W badaniach z zakresu medycyny pracy dużej grupy zawodowej jaką stanowią kierowcy, wśród czynników wpływających na ich stan psychofizyczny wymienia się: długość pracy, hałas, wibracje, stężenie szkodliwych dla człowieka gazów, wydzielanych przez samochód, a także zmiany oświetlenia powodujące wzrost zmęczenia, obniżenie spostrzegawczości i wydłużenie czasu reakcji prostej (przedział czasu potrzebny człowiekowi do zareagowania na bodziec zewnętrzny, świetlny lub akustyczny) (Bena i inni, 1964; Grzegorzczak i inni, 1974; Gąsiński, 1977; Iwanow, 1979; Korsak, 1981). Tylko w nielicznych tego typu pracach opisane są czynniki atmosferyczne: temperatura powietrza, wilgotność i ruch powietrza, ciśnienie atmosferyczne, promieniowanie jonizujące oraz biodynamiczne oddziaływanie frontów atmosferycznych (Rokicka, 1969). Niewiele prac dotyczy także wpływu pogody i warunków jazdy na samopoczucie kierowców (Oździński, 1976). Dobre samopoczucie kierowców występuje przy niewielkim zachmurzeniu, najgorsze w dni z mgłą, deszczem, opadem śniegu, burzami i silnym wiatrem. Dni pochmurne dla jednych kierowców są czynnikiem dodatnim, dla innych ujemnym. Z przeprowadzonych wywiadów wynika, że 60% kierowców spośród 6 pór roku nie wyróżnia żadne, reszta za korzystną uważa przedwiośnie i lato, a następnie wiosnę i „złotą” jesień, a za niekorzystną szarugę jesienną i zimą.

Efekty wpływu pogody na stan psychiczny kierowców są bardzo trudne do określenia między innymi z uwagi na niejasności w sprecyzowaniu czynników meteorologicznych, od których zależą zmiany w zakresie poszczególnych funkcji psychomotorycznych. Jednak gdy występują

omówione w podrozdziale 1.1 uwarunkowane meteorotropowo zmiany w procesach psychicznych (m.in. w spostrzeganiu, w możliwości skupienia uwagi), często dochodzi do wypadku (Kocur, 1980).

Niemieckie badania wiążące aktywność meteorotropową pewnych rodzajów pogody ze wzrostem wypadkowości wykazały 37-procentowy wzrost częstości wypadków w pogłębiającym się niżu (cyklogeneza) i to po wyeliminowaniu zjawisk utrudniających jazdę, a ogólnie o 12% w układach niżowych (po wyłączeniu zjawisk utrudniających jazdę) (Baranowska i Gurba, 1979). Inni badacze wykazywali podobny efekt podczas występowania wiatru orograficznego, zwłaszcza typu fenowego (Schiffer, 1986a; Nkemdirim, 1993). W analizach wypadkowości wykorzystywano także badanie długości czasu reakcji prostej (CRP) rozumianej jako kryterium sprawności psychofizycznej człowieka w różnych sytuacjach pogodowych. Średni czas reakcji prostej, który przebiega zgodnie z krzywą rytmu zmian długości dnia wykazuje rytm roczny i jest najdłuższy w czerwcu, a najkrótszy w grudniu. Roczny rytm liczby wypadków drogowych wykazuje opóźnienie w stosunku do czasu reakcji prostej o 1,5–2 miesiące, co świadczy o braku bezpośredniego związku pomiędzy obu rodzajami rytmów oraz braku związku wypadkowości z długością dnia (Falkiewicz i Mączyński, 1973; Mączyński, 1973). Dużą rolę w wielkości wypadkowości odgrywa więc skracanie i wydłużanie CRP w pojedynczych dniach lub krótkich okresach, np. skracanie CRP podczas suchej, chłodnej pogody wyżowej (Mączyński, 1972). Kolejne analizy dowodziły wydłużania się czasu reakcji prostej w okresach zaburzeń fal elektromagnetycznych o częstotliwości 5–12 i 10–50 kHz, jakie towarzyszą strefom frontów atmosferycznych i centrom niżów, co prowadzi do zwiększenia wypadkowości drogowej o 30%, a nawet o 70% wraz z pojawieniem się zjawisk meteorologicznych utrudniających jazdę (Reiter, 1960).

Opracowana pod koniec lat 40. XX w. klasyfikacja pogody Ungeheuera-Brezowsky'ego (patrz część II, rozdz. 6), wyróżniająca fazy pogody o okresowym i nieokresowym przebiegu dobowym elementów meteorologicznych, charakteryzujące się adwekcją mas powietrza i występowaniem frontów atmosferycznych, stała się podstawą nowego, kompleksowego podejścia do analizy biotropowego oddziaływania pogody na człowieka. Analizując wypadkowość drogową w swych miastach, liczni autorzy dowodzili jej wzrostu o 15–20% w 3 (fenowej), 4 i 5 (niżowych) fazach pogody tej klasyfikacji.

Zaznaczyć należy, że niemieckie badania wykazały, iż tzw. popularne niebezpieczeństwa pogodowe, pogarszające warunki jazdy, takie jak mgła i gołoledź, odgrywały znacznie mniejszą rolę jako przyczyny wypadków niż zaburzenia w ludzkim organizmie, spowodowane bezpośrednim wpływem bodźca pogodowego. W Hamburgu w dniach z gołoledzią zaznaczył się wzrost liczby wypadków o 6,4% oraz o 5,2% przy mgle. W tym samym



okresie liczba ta wzrosła o ponad 30% w rezultacie zaburzeń meteorotropowych w organizmie ludzkim.

W końcu lat 1960. rozwój motoryzacji w Polsce pociągnął za sobą początkowo zainteresowanie czynnikami utrudniającymi jazdę oraz warunkami pracy kierowców, a z czasem także badaniami biotropowego oddziaływania pogody. Głównymi ośrodkami prowadzącymi te badania były: Instytut Balneoklimatyczny w Poznaniu, a od początku lat 70. także Pracownia Bioklimatologii Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie.

W pierwszych polskich badaniach z końca lat 60. dowodzących wzrostu wypadkowości w okresie aktywnej biotropowo pogody, analizowano zdarzenia drogowe w Poznaniu (Bogucki, 1967b; Mączyński, 1968, 1972). Wykazano, że liczba zdarzeń na drodze wzrastała o:

- 31% w tzw. zaburzonym wyżu – w sytuacji gdy w czasie pogody wyżowej pojawiała się zatoka niżowa i/lub front atmosferyczny,
- 18% w niżu bliskim (gdy centrum niżu znajdowało się w odległości od Poznania mniejszej niż 300 km),
- 22% przy wielofrontowości (gdy w ciągu dnia nad miastem przechodzą dwa lub więcej fronty atmosferyczne),
- 38% gdy niż bliski i wielofrontowość występowały razem.

Wyniki te obejmowały także dni z utrudnieniami jazdy. Jednak analiza wypadków tylko w dniach, w których panowały warunki utrudniające jazdę wykazała, podobnie jak badania niemieckie, że opady deszczu, śniegu, czy nawet gołoledź nie stanowią większego zagrożenia na drodze gdy nie towarzyszą im aktywne meteorotropowo typy pogody. Dopiero gdy współwystępują z nimi, prowadzą do wzrostu wypadkowości o średnio 43%. Jedynym wyjątkiem wśród tych zjawisk jest zamieć śnieżna, w czasie której w każdym przypadku notowany jest wzrost liczby wypadków. Stwierdzono zarówno wydłużanie się czasu reakcji prostej w sytuacjach aktywnych meteorotropowo, jak również jego dużą labilność, w czasie tego rodzaju pogody. W sumie w dniach z pogodą biotropową, gdy u większości meteoropatów występowały znaczne odchylenia od optymalnego czasu reakcji prostej, liczba wypadków wzrastała ponad średnią z 81% prawdopodobieństwem (Mączyński, 1972).

W Łodzi, w latach 1967–1970, największy wzrost liczby zdarzeń na drodze występował w przedfrontalnej części niżu (o 28% w stosunku do średniej rocznej) i w dniach z frontem zokludowanym (o 23%). Ogólnie w cyklonalnych układach barycznych średnia liczba wypadków była o 16% wyższa niż w układach antycyklonalnych (Marciniak i Stachlewski, 1974).

W niedziele i święta w większości aktywnych meteorotropowo sytuacji synoptycznych, a także podczas zamieci śnieżnych występuje zmniejszenie się dziennej liczby wypadków. Dowodzi to, że w dniach gdy pojawiają się niekorzystne zjawiska meteorologiczne: deszcz, ochłodzenie itd., maleje

niedzielny i świąteczny ruch pojazdów, związany z turystyką i wypoczynkiem (Mączyński, 1976).

Liczbę kolizji i wypadków drogowych, jakim uległy pojazdy komunikacji miejskiej w Warszawie w latach 1970–1971 i w roku 1974 analizowano w dwóch okresach roku: ciepłym i chłodnym, wydzielonych na podstawie kryterium termicznego – daty przejścia temperatury minimalnej przez 0°C (Baranowska, 1975, 1979; Baranowska i Gurba, 1979). Badania wykazały, że w okresie ciepłym znaczną rolę w kształtowaniu się liczby kolizji i wypadków drogowych odgrywają warunki solarne. Wzrost wypadkowości stwierdzono przy niedostatku bodźców świetlnych, wyrażonym wartością usłonecznienia poniżej 2 godzin dziennie. Warunki takie występują najczęściej w układach pogody niżowej, a szczególnie w okresach przemieszczania się aktywnych frontów, zwłaszcza frontu ciepłego, któremu towarzyszy wzrost wypadkowości o 20% w stosunku do średniej z danego okresu oraz frontu zokludowanego ze wzrostem o 27%. Bezwzględne maksimum liczby wypadków zaznacza się w dniach przejścia dwóch aktywnych frontów, ale niewystarczająca liczba tych sytuacji w badanym okresie sprawia, że wynik ten jest nieistotny statystycznie. Sytuacje takie są związane z szybko przemieszczającą się zatoką lub ośrodkiem niżowym z centrum nad Polską. Z kolei wzrostowi usłonecznienia i promieniowania towarzyszy spadek liczby wypadków, osiągający minimum przy usłonecznieniu 8 godzin i więcej dziennie. Tego rodzaju warunki mają miejsce w niektórych układach pogody wyżowej i można je zaliczyć do sprzyjających bezpieczeństwu na drodze.

W chłodnej porze roku mniej wypadków notuje się głównie w początkowym okresie zalegania wyżu. W dłużej zalegającym układzie wyżowym przeważa pogoda mgliста i pochmurna, wówczas wzrasta liczba wypadków. W okresie chłodnym najwięcej zdarzeń na drodze notowano w dniach przemieszczania się aktywnego frontu zokludowanego, mającego o tej porze roku cechy frontu ciepłego (Baranowska i Gurba, 1979).

Kolejną analizę kolizji i wypadków pojazdów komunikacji miejskiej w latach 1970–1977 wykonano z podziałem na cztery pory roku, a do opisu warunków pogody dodano: temperaturę efektywną, zawartość węgla tlenku oraz układy baryczne nad Warszawą, wydzielone według klasyfikacji układów i frontów atmosferycznych M. Baranowskiej (1987) (patrz część II, rozdz. 6). Wykazano, że najwyższe dobowe sumy kolizji i wypadków (Lkw) występowały w okresach niedoboru bodźców świetlnych, co potwierdziło wyniki uzyskane w Poznaniu, gdzie aż 92% dni ze wzrostem wypadkowości zanotowano w dniach pochmurnych (Mączyński, 1972). W Warszawie najmniejsza liczba wypadków i kolizji drogowych, niezależnie od pory roku, występowała w okresach małej zmienności międzydobowej warunków termicznych, czyli w klasie zmian nieodczuwalnych lub obojętnych dla organizmu. Duże dobowe sumy wypadków skupiały się

dniach, w których temperatura efektywna była znacząco niższa od średniej dla danej pory roku. Spośród układów barycznych najbardziej niekorzystne okazały się: wiosną i latem – niż z centrum nad Polską, zaś jesienią i zimą – zatoka niżowa, która na krótko przerywa zaleganie wyżu, czyli tzw. zatoka w wyżu – odpowiednik terminu „wyż zaburzony” używanego w badaniach poznańskich (Baranowska i Gabryl, 1981; Baranowska i Gabryl-Wojtach, 1986).

Ocenę zdarzeń drogowych w Radomiu w 1993 r. spowodowanych błędem człowieka w zależności od sytuacji synoptycznej, zjawisk utrudniających jazdę oraz środowiska termicznego, przeprowadziła M. Kuchcik. Wykorzystano metody opracowane w Pracowni Bioklimatologii IMGW, a wyniki pracy porównano z wcześniejszymi rezultatami uzyskanymi w Warszawie. Stwierdzono wzrost częstości dni niebezpiecznych dla ruchu drogowego (z liczbą wypadków i kolizji drogowych wyższą od średniej o 1δ) o 71% w niżu z centrum nad Polską (tab. 2.5.2). I choć w Warszawie, przy dłuższej serii danych, wzrost ów wyniósł 22%, w obu przypadkach były to najwyższe odchylenia od średniej, co świadczy o istotnym oddziaływaniu meteorotropowym tego układu barycznego. Zbliżone wyniki określające wzrost bezpieczeństwa jazdy charakteryzują wyż i klin wyżowy za frontem chłodnym (Śmietanka, 1995; Kuchcik, 2002).

Tabela 2.5.2. Odchylenie od średniej częstości (%) dni z małą i dużą liczbą kolizji oraz wypadków drogowych (Lkw) w wybranych układach barycznych i frontach atmosferycznych. Porównanie wyników badań z Radomia (1993 r.) i Warszawy (lata 1970–1977) – (wg: Śmietanka, 1995)

Dni z wybranymi układami barycznymi i frontami atmosferycznymi	Odch. od średniej dni z Lkw < śr – 1δ		Odch. od średniej dni z Lkw > śr +1δ	
	Radom	W-wa	Radom	W-wa
Niż	-20	-5	+4	+6
Niż z centrum nad Polską	-28	-15	+71	+22
Zatoka niżowa	-1	-2	+11	+1
Wyż	+11	+19	-9	-18
Klin wyżowy za frontem chłodnym	+10	+6	-14	-8
Zmiana układu z wyżu do niżu	-11	-3	+1	+2
Front chłodny słaby	+22	+19	-10	-22
Front chłodny silny	-28	-19	+46	+16
Front ciepły silny	+5	-28	-29	+39

W Radomiu, w grupie dni z silnym frontem chłodnym zanotowano spadek udziału dni z małą wypadkowością o 28%, zaś wzrost częstości dni niebezpiecznych o 46%, w Warszawie wartości te wyniosły odpowiednio 19 i 16%. Podobieństwo widoczne było również we wzroście liczby dni

bezpiecznych (Radom o 22%, Warszawa o 19%) przy przechodzeniu frontów słabych, nawet gdy towarzyszył im całodobowy opad deszczu (tab. 2.5.2). Wynik ten sugeruje brak meteorotropowego oddziaływania frontów słabych i potwierdza fakt, że sam opad, nawet długotrwały, nie powoduje wzrostu zagrożenia na drodze jeśli nie występuje z aktywną biotropowo pogodą. Potwierdziła się także teza meteorotropowego oddziaływania silnych frontów chłodnych, które powodują wzrost zagrożenia wypadkami nawet gdy nie towarzyszą im niekorzystne dla ruchu drogowego zjawiska pogodowe. Ta sama teza dotyczy silnych frontów ciepłych, jednak pod warunkiem, że współwystępują ze zjawiskami utrudniającymi jazdę, w tym przede wszystkim z opadem. Analiza zależności wypadkowości od środowiska termicznego, w której wykorzystano skalę odczucia cieplnego, nie dała wyników istotnych. Zaznaczył się jedynie trend wzrostu liczby kolizji i wypadków drogowych w warunkach odczuwanych jako gorące (Śmietanka, 1995, 1998; Kuchcik, 2001b).

Nadrzędnym celem badań wpływu pogody na zdarzenia na drodze jest zorganizowanie systemu ostrzeżeń uczestników ruchu przed niekorzystnymi warunkami atmosferycznymi, czyli meteorologiczną i biometeorologiczną osłoną ruchu drogowego. Wprowadzenie biometeorologicznych komunikatów ostrzegających kierowców MZK przed niekorzystnymi warunkami pogodowymi w Warszawie w 1973 roku zaowocowało 18-procentowym spadkiem liczby wypadków i kolizji drogowych w stosunku do okresu poprzedzającego, pomimo równoległego wzrostu liczby pojazdów MZK o 26%. W modelu biometeorologicznej osłony ruchu drogowego uwzględniono: ważniejsze zjawiska utrudniające jazdę, dobową liczbę kolizji i wypadków drogowych oraz kompilowane na podstawie literatury krajowej i zagranicznej: czas reakcji prostej i meteorotropowe objawy psychosomatyczne (Baranowska, 1975, 1979; Baranowska i Gabryl-Wojtach, 1986).

Przeprowadzone przez zespół pod kierunkiem M. Baranowskiej w 1984 r., badania czasu reakcji prostej wykazały statystycznie istotne jego wydłużenie w biotropowych sytuacjach pogodowych: niżu z centrum nad Polską, w słabogradientowej pogodzie niżowej i zatoce niżowej w wyżu, a skrócenie – w słabogradientowym obszarze podwyższonego ciśnienia. Zauważono także istotne wydłużenie czasu reakcji prostej przy subiektywnym odczuciu termicznym „bardzo gorąco” i „bardzo zimno”, a skrócenie przy „zimno” i „komfort” – rodzajach odczucia najczęstszych w układach wyżowych. Zależność czasu reakcji prostej od wagowej zawartości tlenu w powietrzu wykazuje następującą tendencję: im niższa zawartość tlenu w powietrzu tym dłuższy czas reakcji prostej. Z kolei wagowa zawartość tlenu maleje wraz ze wzrostem temperatury powietrza, prężności pary wodnej i przy spadkach ciśnienia atmosferycznego, czyli w ciepłych wycinkach niżów i w strefach frontu ciepłego. Dlatego skrócenie

czasu reakcji notowano w umiarkowanie chłodnych warunkach atmosferycznych z rosnącą zawartością tlenu, zaś wydłużenie – w skrajnie ciepłym środowisku z silnie obniżoną zawartością tlenu, charakterystycznym dla wypełniającego się niżu i zanikającego wyżu. Długość czasu reakcji prostej rosła także przy gorszym samopoczuciu badanych (Baranowska i inni, 2000). W 1991 r. wyniki tych analiz wdrożono w działający uprzednio biosynoptyczny schemat osłony ruchu drogowego w Warszawie, który okazał się skuteczny na tyle, że liczba wypadków i kolizji drogowych pojazdów MZK zimą w czasie opadów śniegu, deszczu czy gołoledzi jest w ostatnich latach niższa od notowanej przy niekorzystnych warunkach (opad deszczu, burza, silny wiatr) w okresie letnim (Wojtach, 2001b).

W związku z małą skutecznością klasycznych komunikatów ostrzegających przed niekorzystną sytuacją pogodową oddziałującą na człowieka oraz na warunki jazdy, służby drogowe w krajach wysoko rozwiniętych są zainteresowane wprowadzeniem „inteligentnych” systemów drogowych, które reagowałyby na zmieniające się warunki jazdy. Miałyby one na celu usprawnienie ruchu na drodze, a tym samym wzrost bezpieczeństwa jazdy oraz redukcję zużycia paliwa, czyli zmniejszenie emisji gazów pochodzących z jego spalania.

## 2.6. Wypadki przy pracy

Główną przyczyną wypadków przy pracy jest osłabiona sprawność psychiczno-nerwowa człowieka przejawiająca się w zmniejszeniu koncentracji i spowolnieniu reakcji organizmu, dezorientacji, a także upośledzeniu sprawności oceny niebezpieczeństwa oraz pomyłkach. Jedną z przyczyn mniejszej sprawności psychiczno-nerwowej człowieka, a tym samym wypadków przy pracy, są niesprzyjające warunki pogodowe. Niestety mimo ważności zagadnienia opracowań na ten temat jest niewiele.

Analiza warunków wystąpienia około 3400 wypadków przy pracy, które wydarzyły się w Łodzi w ciągu 3 lat w przemyśle lekkim (przemysł włókienniczy, odzieżowy i skórzany) wykazała, że połowa z nich miała miejsce w czasie burz i zakłóceń pola magnetycznego Ziemi. Wyniki tych badań wskazują, że podczas burz magnetycznych średnia dzienna liczba wypadków jest ponad dwukrotnie większa w porównaniu z okresem bez zakłóceń ziemskiego pola magnetycznego (tab. 2.6.1). Największa liczba wypadków przypada na styczeń, luty i marzec, czyli w okresie nie tylko występowania tych zakłóceń, ale także niskiej temperatury powietrza (Leszczyński, 1973a, 1974).

Przyczyn osłabionej sprawności układu nerwowego człowieka poszukiwano także w zmianach ciśnienia atmosferycznego. Wykazano (na podstawie analizy około 2200 przypadków), że przy ciśnieniu atmosferycznym zarówno powyżej 1000 hPa, jak i poniżej 990 hPa występował istotny

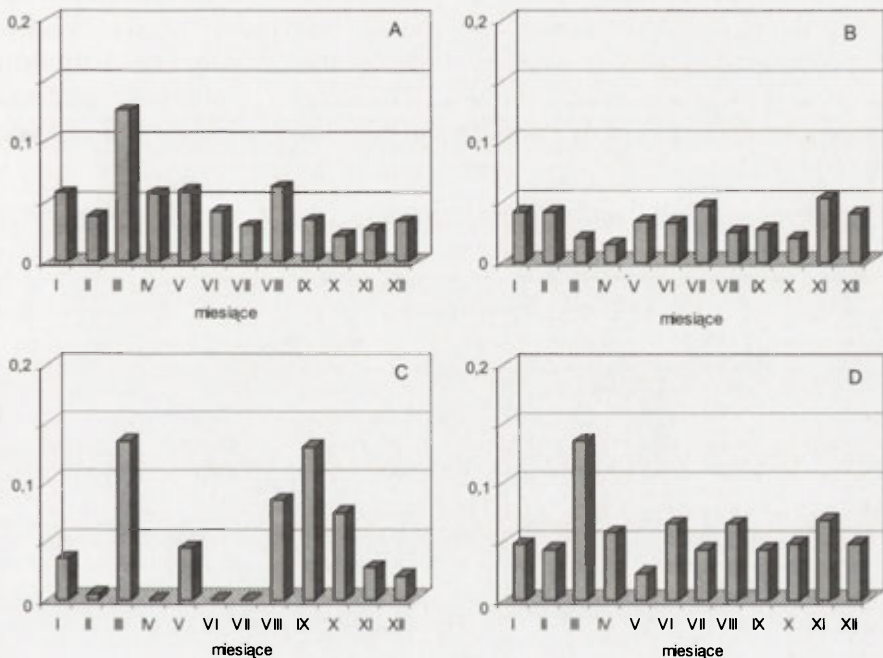
wzrost liczby wypadków przy pracy w przemyśle lekkim w Łodzi, przy czym średnia dzienna ich liczba była wyższa przy spadku ciśnienia niż przy jego wzroście (Leszczyński, 1979). Analizując wpływ warunków pogodowych na występowanie wypadków przy pracy B. Leszczyński (1979) zastosował kryterium tzw. „złej pogody” określone przez normy międzynarodowe. Na pogodę niekorzystną składają się następujące zjawiska: opad atmosferyczny, mgła, zamglenie, burza, pokrycie nieba chmurami piętra niskiego  $>3/10$ , bardzo wysokie ( $>1000 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ ) wartości natężenia pola elektrycznego. Analiza warunków meteorologicznych około 6 000 wypadków w przemyśle lekkim (tab. 2.6.1) wykazała, że częstość wypadków przy pracy jest dwukrotnie większa w czasie pogody niekorzystnej, określonej wyżej wymienionymi kryteriami, niż w czasie pogody korzystnej dla człowieka (tzw. „piękna” pogoda).

Tabela 2.6.1. Częstość wypadków przy pracy w Łodzi w przemyśle lekkim w zależności od wybranych czynników i sytuacji meteorologicznych (wg: Leszczyński, 1973a, 1974a, 1979)

Warunki meteorologiczne	Średnia dzienna liczba wypadków przy pracy
Ciśnienie atmosferyczne:	
<990 hPa	7,95
991–1010 hPa	5,74
>1011 hPa	6,66
„Piękna” (korzystna) pogoda	4,71
„Zła” (niekorzystna) pogoda	7,06
Bez zakłóceń pola magnetycznego Ziemi	2,82
Zakłócenia pola magnetycznego Ziemi	5,60
Burze magnetyczne	6,91

Szczególny charakter pracy w budownictwie (praca w terenie otwartym, często na dużych wysokościach) sprawia, że warunki pogodowe mogą być bezpośrednią przyczyną wypadków przy pracy. Badania tego rodzaju przeprowadzono na materiale klinicznym obejmującym 10 630 robotników zatrudnionych w 42 przedsiębiorstwach budowlanych położonych w różnych regionach Polski: w regionie podgórskim, nadmorskim i w nizinnym regionie metropolitalnym Warszawy. Materiał meteorologiczny stanowiły dane synoptyczne i wyniki obserwacji 25 stacji IMGW za okres 1966–1970 (Kozłowska-Szczęsna i Grzędziński, 1990/1991). W wymienionej grupie robotników w 5-letnim okresie zanotowano 1732 wypadki przy pracy. Każdy wypadek, dokładnie opisany przez lekarza, został przypisany określonej sytuacji synoptycznej, a następnie obliczono częstość wypadków przy pracy na 1000 osób zatrudnionych w budownictwie (ryc. 2.6.1). Określono korelację wypadków w zależności od występo-

wania różnych układów barycznych, frontów atmosferycznych i mas powietrza. Stwierdzono, że w układach niżowych wypadki przy pracy są około dwa razy częstsze niż podczas układów wyżowych. Wypadki te notowano najczęściej wiosną, a także na przełomie jesieni i zimy (XI, XII). W sytuacjach wyżowych wypadki przy pracy w budownictwie występowały najczęściej w lecie (VII) i w okresie jesienno-zimowym (XI–I). W odniesieniu do ogólnej liczby wypadków przy pracy w analizowanym okresie, we wszystkich przedsiębiorstwach, 32–40% wypadków zdarzyło się podczas układów niżowych, a 19–26% w sytuacjach wyżowych, lecz najwięcej wypadków odnotowano w czasie zmiany układów barycznych – aż 35–50%.



Ryc. 2.6.1. Wskaźnik występowania wypadków przy pracy w budownictwie na terenie Warszawy w latach 1966–1970 (wg: Kozłowska-Szczęśna i Grzędziński, 1990/1991)

A – w sytuacjach niżowych, B – w sytuacjach wyżowych, C – w czasie przejścia frontu ciepłego, D – w czasie przejścia frontu chłodnego

Jeżeli chodzi o występowanie wypadków przy pracy podczas przechodzenia frontów atmosferycznych to stwierdzono, że wypadki zdarzały się częściej podczas przechodzenia frontu chłodnego (20–27%) niż ciepłego (10–12%). Uwidocznili się także wyraźny wpływ przejścia frontu zokludowanego na częstość wypadków (10–18%). Na rycinie 2.6.1 przykładowo pokazano występowanie wypadków przy pracy wśród robotników

budowlanych w Warszawie w zależności od układów barycznych i przechodzenia frontów atmosferycznych.

Przeanalizowano także częstość wypadków przy pracy w budownictwie w okresach napływu różnych mas powietrza na obszar Polski. Stwierdzono, że wypadki przy pracy zdarzały się najczęściej wtedy, gdy do Polski napływało powietrze arktyczne, zwłaszcza w kwietniu, czerwcu i grudniu, niosąc gwałtowne ochłodzenie i pogorszenie warunków biometeorologicznych, a także wtedy, gdy pojawiało się powietrze zwrotnikowe. Wypadki przy pracy w budownictwie zdarzały się najrzadziej przy napływie powietrza polarnego-kontynentalnego.

Porównanie występowania wypadków przy pracy w różnych regionach geograficznych Polski wykazało, że najwięcej wypadków zanotowano w obszarach nadmorskich, gdzie silne, wiatry sztormowe, a także częstsze występowanie układów niżowych, w porównaniu z innymi regionami kraju, pogarszają samopoczucie człowieka. Najmniej wypadków stwierdzono na terenach nizinnych, w Warszawie (Kozłowska-Szczęsna i Grzędziński, 1990/1991).



# CZEŚĆ IV

## BIOMETEOROLOGICZNE PRZYCZYNY ZGONÓW

---

### 1. Wpływ czynników atmosferycznych na umieralność

#### 1.1. Zmiany sezonowe umieralności

Badania wpływu „działaczy meteorologicznych na śmiertelność” pierwsi podejmowali lekarze już w XIX w. J. Majer (1845) tak pisał o optimum termicznym: „najprzyjaźniejszą dla życia jest pewna średnia wysokość termometryczna, tak, że gdy stan termometru w jedną lub drugą stronę od niej się oddala, śmiertelność się powiększa”. W Krakowie według niego był to stan „ciepłoty” 12–14°C.

Pierwsze prace z zakresu meteoropatologii dotyczyły głównie sezonowej zmienności umieralności (Baranowski, 1936; Wiecha, 1952). Na początku XIX w. liczba zgonów w strefie klimatu umiarkowanego wykazywała dwa maksima, zimowe i letnie, ale upowszechnienie urządzeń chłodniczych, szczepienia, poprawa sposobu odżywiania i higieny wyeliminowały letni wzrost umieralności. W krajach rozwiniętych następowało ciągle spłaszczanie krzywych zmienności sezonowej dziennej liczby zgonów z ogółu przyczyn. Przykładem tego jest analiza liczby zgonów w 6 stanach USA w latach 1921–1985, która wykazała, że istniejące na początku XX w. maksimum roczne umieralności w okresie od stycznia do marca pod koniec wieku praktycznie zanikło (Larsen, 1990). Także wyniki badań niemieckich dowodziły, że 20–30% odchylenie liczby zgonów w okresie zimowym w stosunku do średniej rocznej w latach 50. zmalało do niecałych 10% w latach 90. (Lerchl, 1998).

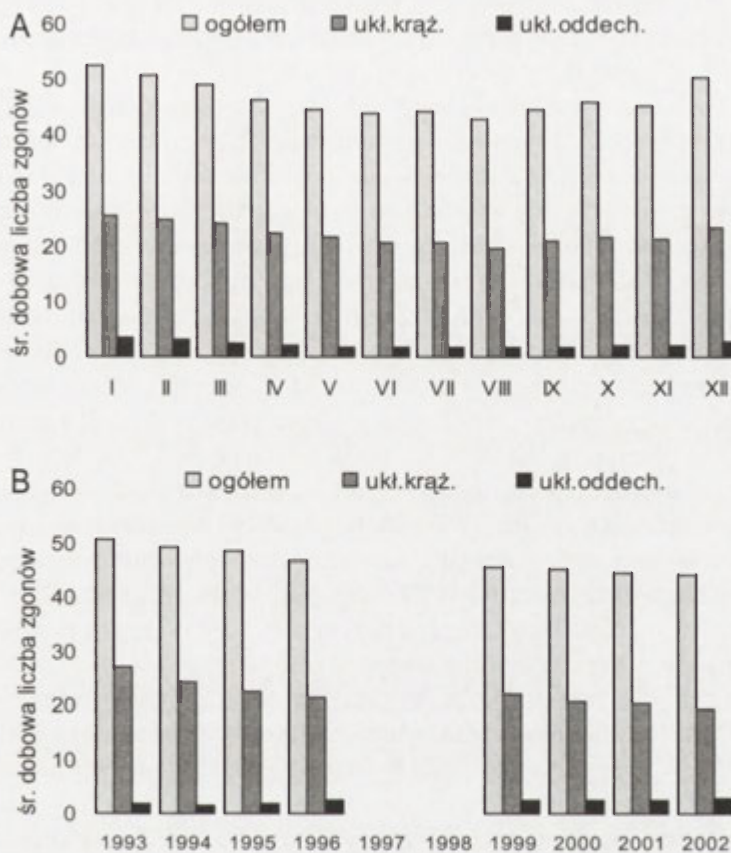
W Polsce maksimum umieralności występuje w miesiącach grudzień–marzec (ryc. 1.1.1), a średnia roczna liczba zgonów ogółem stale maleje (Jankowiak, red., 1976; Kożuchowski i inni, 1998; Kuchcik, 2000; *Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej*, 2003), choć wynika to głównie ze zmniejszenia umieralności kobiet. Wśród mężczyzn, w wybranych przedziałach wieku, umieralność rośnie. Na przykład: od połowy lat 60. do początku lat 90. zaznaczył się wyraźny wzrost umieralności przedwczesnej wśród mężczyzn w wieku 35–64 lat (Bejnarowicz, 1997). Zmienia

się także struktura umieralności. Do końca lat 40. główną przyczyną zgonów były choroby zakaźne i pasożytnicze, a w dalszej kolejności choroby układu krążenia i nowotwory. Od lat 60., wraz ze zmianami kulturowymi i urbanizacją (nowoczesnym stylem pracy i życia), rozpoczął się wzrost umieralności na choroby cywilizacyjne – liczba zgonów z powodu chorób układu krążenia wzrosła o ponad 250% i zajmuje pierwsze miejsce wśród przyczyn zgonów, zaś nowotworów wzrosła o 150% (Biernacki, 1995). Liczba zgonów w zależności od przyczyny cechuje się odmienną rytmiką roczną. Umieralność na choroby układu oddechowego wykazuje większe zróżnicowanie w ciągu roku (w Warszawie maksimum równe 3,5 przypadków występuje w styczniu, minimum 1,6 – w sierpniu) niż liczba zgonów spowodowanych chorobami układu krążenia (odpowiednio 25,5 i 19,6) (ryc. 1.1.1). Również w samej dużej grupie chorób układu krążenia zaznacza się sezonowa zmienność, gdyż np. średnio w Polsce śmiertelność na udar mózgu i zawał jest najwyższa w styczniu i lutym, najniższa w lipcu i w sierpniu (Leszczyński, 1974b). Wyraźna jest także dobowy rytmika umieralności z dwoma maksimumami: około godz. 5<sup>00</sup>–6<sup>00</sup> i 17<sup>00</sup>–20<sup>00</sup>, wynikająca z dobowego cyklu fizjologicznego organizmu człowieka, który ulega pewnym zmianom w zależności od pory roku (Bogucki i inni, 1961).

Dokładna analiza zmienności umieralności zarówno sezonowej, jak i tygodniowej, a także zmian z dnia na dzień prowadzona była między innymi w Krakowie (Wiecha, 1952), w Poznaniu (Bogucki i inni, 1961; Pasieczny i inni, 1979), w Łodzi (Dubaniewicz i inni, 1981), w Kielcach (Żarnowiecki, 1998), czy w Warszawie (Kuchcik, 2001a).

W strefie klimatu umiarkowanego, gdzie o zmianach umieralności decydują w dużej mierze zmiany temperatury powietrza w ciągu roku, sezonowe wahania liczby zgonów są wciąż dosyć wyraźne. W Polsce, Anglii czy Holandii liczba zgonów rośnie liniowo wraz ze spadkiem temperatury powietrza i zimą jest o 10–25% większa niż latem. W tej samej strefie, ale w miejscach cechujących się ostrzejszym klimatem, np. w Montrealu (Kanada), czy Minneapolis (USA), w miarę spadku temperatury powietrza, nawet w ekstremalnych warunkach wzrost umieralności jest niewielki (Kalkstein, 1998). Z kolei w strefie klimatu zwrotnikowego, np. w Los Angeles i na Hawajach (Stany Zjednoczone Ameryki Północnej) przebieg roczny umieralności jest prawie wyrównany (Goldsmith i Perkins, 1967). Wynikać to może jednak z wysokiego poziomu opieki medycznej w tym kraju, gdyż w Sri Lance, położonej także w strefie klimatu zwrotnikowego, lecz w jego odmianie monsunowej, sytuacja jest inna. W okresie monsunów notuje się tam wyraźny wzrost liczby zgonów, a umieralność ściśle zależy od wysokości opadu i dużej wilgotności powietrza wzmagającej aktywność wirusów, które wywołują nagłe infekcje układu oddechowego, prowadzące często do zgonu (Motohashi i inni, 1996). Analizy zmienności sezonowej umieralności oraz rozkładów prze-

strzennych zachorowalności czy zgonów z powodu różnych chorób można znaleźć w opracowaniach z zakresu geografii medycznej (Zemła, 1984; Pacione, 1986; Michalski i Malinowska, 2002) oraz epidemiologii środowiskowej (Thomas, 1990; Schofield i inni, 1991).



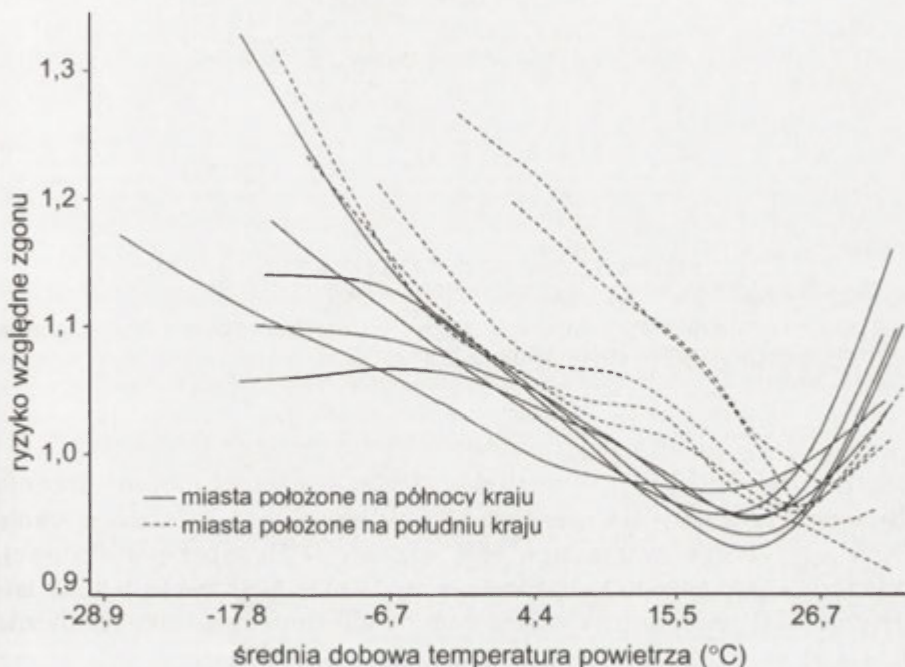
Ryc. 1.1.1. Średnia dobowa liczba zgonów w przebiegu rocznym (A) i wieloletnim (B) w Warszawie w latach 1993–1996 oraz 1999–2002

Badania związku umieralności z warunkami pogodowymi prowadzone są zarówno przez lekarzy i epidemiologów, jak i klimatologów. W większości typowych prac epidemiologicznych analizowane są szeregi czasowe, w których umieralność jest przedstawiona szczegółowo, z podziałem na przyczynę zgonu, wiek, płeć, sytuację socjalną i rasę, zaś pogoda i klimat sprawdzone jedynie do pojedynczych elementów meteorologicznych. Najczęściej uwzględniana jest temperatura powietrza (Kunst i inni, 1993; Chestnut i inni, 1998; Eng i Mercer, 2000), czasem dodatkowo wilgotność powietrza, prędkość wiatru czy też inne elementy, zawsze jednak traktowane jako

osobne parametry (Saez i inni, 1995; Gemmell i inni, 2000; Keatinge i Donaldson, 2001; Braga i inni, 2002; Diaz i inni, 2002; Hajat i inni, 2002; Pattenden i inni, 2003). Dzieje się tak, pomimo że już w latach 60. głośzono, że zmienność liczby zgonów w niewielkim stopniu zależy od warunków pogodowych charakteryzowanych poprzez elementy meteorologiczne, a w większym od typów pogody (Bogucki, 1967a). Liczne opracowania prezentują także zanieczyszczenie powietrza jako czynnik ryzyka zgonu (patrz część IV, rozdz. 1.4). Jednak analiza zarówno elementów pogody, jak i zmian koncentracji szkodliwych domieszek w powietrzu w miastach o średnim poziomie zanieczyszczenia powietrza wykazuje, że dobowe sumy zgonów są silniej skorelowane z warunkami pogodowymi niż z zanieczyszczeniem powietrza, w tym bardziej z zespołem elementów meteorologicznych niż z samą temperaturą powietrza (Kalkstein, 1991; Kuchcik, 2001a). Dlatego we wspólnych pracach epidemiologów i klimatologów podkreślany jest wielowymiarowy charakter pogody wpływającej na człowieka, opisywanej poprzez wskaźniki biometeorologiczne (patrz część II, rozdz. 4 i 5) (Kunst i inni, 1993; Kuchcik i Błażejczyk, 2001; Laschewski i Jendritzky, 2002; Davis i inni, 2003; O'Neill i inni, 2003), rodzaje mas powietrza (Kalkstein, 1991; McGregor, 1999; Kysely i Huth, 2004), typy cyrkulacji atmosferycznej (Kassomenos, 2001; McGregor, 2001). Nieliczna grupa prac dotyczy także aktywności słonecznej, w tym przede wszystkim wpływu rozbłysków słonecznych i burz geomagnetycznych na umieralność (Bogucki i Kiełczewski, 1968; Strešćik i Sitar, 1996). Obok długich ciągów danych, analizowane są często okresy pogody szczególnie niekorzystnej dla człowieka.

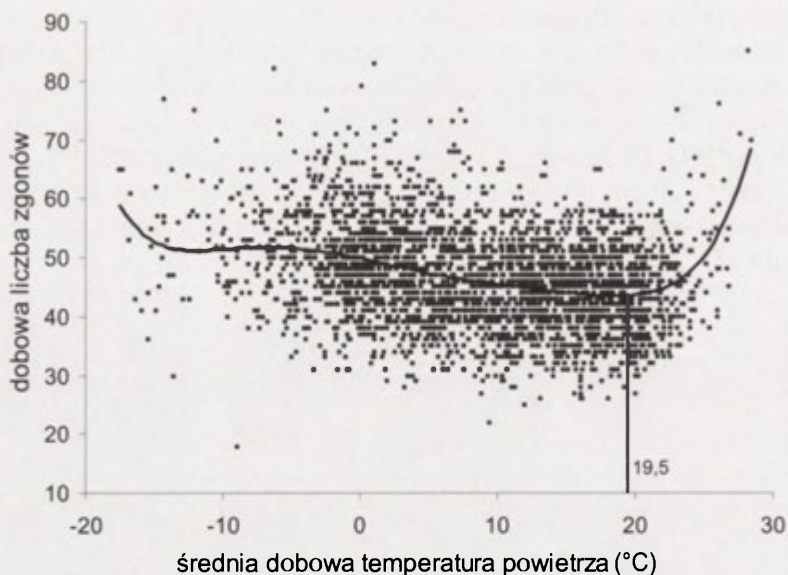
Według niektórych naukowców w krajach, w których zaobserwowano zależność umieralności od warunków termicznych, za około 80% zmian w tygodniowym biegu liczby zgonów odpowiedzialne są zmiany temperatury powietrza (Langford i Bentham, 1995), a w porach roku – odchylenia od rytmicznego przebiegu temperatury (Bogucki, 1967a). Jednak warunki termiczne stanowią silny bodziec zazwyczaj w grupie osób starszych, powyżej 65 roku życia, w tym szczególnie powyżej 75 lat (Ellis i Nelson, 1978; Hsia i Lu, 1988; Mannino i Washburn, 1989; Curriero i inni, 2003). Prace dotyczące nagłych zejść śmiertelnych, prowadzone w klimacie szerokości umiarkowanych (w Nowym Jorku, Anglii i Walii), wykazały gwałtowny wzrost liczby zgonów w dniach z minimalną temperaturą powietrza poniżej  $-10^{\circ}\text{C}$  oraz maksymalną powyżej  $25^{\circ}\text{C}$ . Dlatego przedział pomiędzy tymi wartościami temperatury uznano za sprzyjający dla organizmu człowieka w tej strefie klimatycznej (Bull i Morton, 1978). E. Rogot i S. Padgett w 1976 r. zasugerowali uniwersalny w szerokościach umiarkowanych przedział średniej dobowej temperatury powietrza od  $15,6^{\circ}\text{C}$  do  $26,6^{\circ}\text{C}$ , w którym układ sercowo-naczyniowy pracuje najlepiej (Auliciems i Skinner, 1989). Liczne studia wykazały, że wartość temperatury powie-

trza, przy której notowana jest najniższa umieralność jest inna nie tylko w różnych strefach klimatycznych, ale też w różnych regionach czy w poszczególnych miejscowościach. Zależność między temperaturą powietrza a umieralnością przybiera graficzną postać litery U, V lub J (ryc. 1.1.2). Wzrost umieralności towarzyszący wysokiej temperaturze powietrza jest szybszy i bardziej stromy niż w niskiej temperaturze, jednak średnia liczba dni po „chłodnej stronie” jest znacznie większa niż liczba dni gorących, co w efekcie daje w roku więcej zgonów związanych ze stresem zimna niż ze stresem gorąca (ryc. 1.1.3).



Ryc. 1.1.2. Ryzyko względne zgonu (RR) w zależności od średniej dobowej temperatury powietrza w 11 miastach Stanów Zjednoczonych AP, w latach 1973–1994 (wg: Curriero i inni, 2002)

Optimum termiczne, wyznaczone na podstawie średniej temperatury powietrza odpowiadającej najniższej umieralności wynosi w Holandii 16,5°C (Kunst i inni, 1993), w Polsce 19–20°C (w Warszawie 19,5 – ryc. 1.1.3), w Czechach 20°C (Kysely i Huth, 2004), w Rzymie 23,5°C (Miche-lozzi i inni, 2000), średnio w Europie 18°C (Eurowinter Group, 1997). Jednakże, o ile możliwe jest wyznaczanie progów temperatury określających stres gorąca, powyżej których umieralność zawsze wzrasta (Katsouyan-ni i inni, 1993; Sartor i inni, 1995), o tyle trudno jest podać podobne pro-gowe wartości niskiej temperatury powietrza, gdyż badania potwierdzają raczej liniowy wzrost liczby zgonów wraz z obniżaniem się temperatury



Ryc. 1.1.3. Średnia dobowa temperatura powietrza w Warszawie a liczba zgonów w latach 1993–1996, 1998–2002

powietrza (Laschewski i Jendritzky, 2002). Oszacowano, że średnio w Europie na każdy  $1^{\circ}\text{C}$  poniżej  $18^{\circ}\text{C}$  umieralność wzrasta o około 1–1,5%, przy czym wzrost ten jest większy w Europie południowej, a mniejszy w północnej (Eurowinter Group, 1997). Najczęściej jednak istnieje przedział temperatury określający komfortowe warunki termiczne (tab. 1.1.1), powyżej i poniżej którego umieralność rośnie.

## 1.2. Skrajne warunki pogodowe

### 1.2.1. Fale upałów

Skrajne warunki pogodowe to według Międzypaństwowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (IPCC) rzadko występujące w danym miejscu sytuacje pogodowe (według rozkładu statystycznego – odpowiadają 10 i 90 procentylowi). Należą do nich m.in. kilkudniowe okresy szczególnie gorące zwane falami upałów (*heat waves*), które są różnie definiowane w różnych krajach. Najczęściej określane są jako okresy z temperaturą maksymalną powyżej danej progowej wartości czy, jak we Włoszech, jako okres z temperaturą pozorną (*AT*) powyżej 90 rocznego percentyla zaczynający

się przynajmniej 2-stopniowym wzrostem w stosunku do okresu poprzedzającego (Koppe i inni, 2003):

kraj	wartość maksymalnej temperatury powietrza
Finlandia	25°C
Holandia	25°C – 5 kolejnych dni, z czego 3 dni z $t_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$
Austria, Polska	30°C
Czechy	30°C – 3 kolejne dni
Wielka Brytania	3°C ponad średnią – 5 kolejnych dni
Grecja	38°C – 3 kolejne dni
Włochy	temperatura pozorną $AT > 90$ rocznego percentyla – 6 dni zaczynające się min. 2° wzrostem w stosunku do okresu poprzedzającego

Tabela 1.1.1. Przedział średniej dobowej temperatury powietrza odpowiadający najniższej liczbie zgonów ludności (na milion ludności w wieku 65–74), zamieszkującej ciepłe i chłodne regiony Europy (Keatinge i inni, 2000) oraz wzrost umieralności poniżej tzw. „proggu chłodu” (wg: Eurowinter Group, 1997)

	Finlandia północna	Finlandia południowa	Holandia	Badenia-Wirtembergia (Niemcy)	Włochy północne	Londyn (Wielka Brytania)	Ateny (Grecja)
1. $t_{\text{sr}}$ (°C)	14,3–17,3	13,3–16,3	17,3–20,3	19,0–22,0	16,8–19,8	19,3–22,3	22,7–25,7
2. wzrost o 1°C	6,2	1,8	1,3	1,4	0,8	3,6	2,7
3. spadek o 1°C	0,58	0,54	0,54	0,53	0,73	1,25	1,6
4. spadek o 1°C poniżej 18°C	0,29	0,27	0,59	0,60	0,51	1,37	2,15

1. przedział średniej dobowej temperatury powietrza o zakresie 3°C o najmniejszej liczbie zgonów;
2. średni wzrost dobowej liczby zgonów na każdy 1°C powyżej przedziału minimalnej wartości umieralności;
3. średni wzrost dobowej liczby zgonów na każdy 1°C poniżej przedziału minimalnej wartości umieralności;
4. średni wzrost dobowej liczby zgonów na każdy 1°C poniżej 18°C („próg chłodu”).

Różne definiowanie fal upałów utrudnia porównywanie wyników prac, a przyjmowanie sztucznych wartości progowych różnych wskaźników uniemożliwia określenie np. wiosennych fal upałów, w których temperatura powietrza nie osiąga jeszcze wartości notowanych latem. Ciekawe jest, że podczas upałów wzrasta umieralność na choroby układu sercowo-naczyniowego i oddechowego oraz spowodowana osłabieniem systemu odpornościowego lub wypadkami, a objawy kojarzone bezpośrednio z upałem, tj. udary i wyczerpanie stanowią niewielki procent przyczyn zgonów w tym okresie (Ellis i inni, 1980; Larsen, 1990). Notowany od lat

80. XX w. wzrost częstości fal upałów w Europie i Ameryce Północnej spowodował zwiększenie zainteresowania tym problemem, szczególnie w Wielkiej Brytanii, Belgii, Holandii, w południowej Europie – od Portugalii po Grecję, a także w Polsce i w Czechach.

Pierwsze opisane w literaturze fale upałów i towarzyszący im wzrost umieralności miały miejsce w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej. W Saint Louis w 1936 r. większość zgonów w czasie fali upałów dotyczyła osób w wieku 40–80 lat, zaś w 1966 r. – grupy wiekowej 60–90 lat, z czego 74% tej populacji stanowiły osoby żyjące samotnie. W Nowym Jorku w 1948 r. w ciągu 7 dni pod koniec sierpnia, kiedy temperatura maksymalna osiągnęła 38,3°C, zanotowano ponad 100% wzrost umieralności w stosunku do liczby oczekiwanej. W tym samym mieście w 1975 r. w ciągu tygodnia na przełomie lipca i sierpnia, przy maksymalnej temperaturze powietrza sięgającej 36,7°C, liczba zgonów ogółem wzrosła o 58% (Ellis i Nelson, 1978).

W roku 1994 silne upały dotknęły Europę Środkową i kraje Beneluk-su. W Warszawie w dniach 25 lipca – 7 sierpnia, w czasie 14-dniowej fali upałów, najwyższa temperatura maksymalna wyniosła 36,4°C, a dobowa liczba wszystkich zgonów sięgnęła 66, w tym z powodu chorób układu krążenia 30. Zanotowano wówczas najwyższe w roku dobowe liczby zgonów, pomimo że zwykle w Polsce lipiec i sierpień to miesiące o najmniejszej umieralności. Dla porównania: w tym samym okresie w 1995 r., średnia maksymalna temperatura powietrza wyniosła jedynie 25,5°C, a liczba zgonów była odpowiednio o 33% i 48% niższa (Kuchcik, 2001a).

W dwóch falach upałów, które miały miejsce latem 1994 r. w Czechach, wzrost umieralności ogólnej wyniósł 10,3% w stosunku do wartości oczekiwanej (456 zgonów ponad średnią) w okresie 17–30 czerwca oraz 12,3% (598 zgonów) w dniach od 24 lipca do 8 sierpnia. Dowiedziony także został spadek umieralności w okresie po fali upałów. Rzeczywistą liczbę ofiar fali upałów oszacowano więc na 50% zanotowanej liczby zgonów; na pozostałą część składały się zgony, które wystąpiłyby w krótkim czasie, niezależnie od warunków pogodowych (Kysely, 2004; Kysely i Huth, 2004).

W tym samym roku, do fali upałów w Belgii zakwalifikowano 42 dni – okres od 27 czerwca do 7 sierpnia. Wzrost umieralności ogólnej w stosunku do wartości oczekiwanej wyniósł 9,4% w grupie osób w wieku do 64 lat oraz 13,2% wśród osób powyżej 65 roku życia. W tym okresie temperatura powietrza oraz stężenie ozonu były odpowiedzialne za aż 39,5% zmian umieralności osób powyżej 65 roku życia, a tylko 4,5% – osób młodszych (Sartor i inni, 1995).

W roku 1995 silna fala upałów dotknęła z kolei Wyspy Brytyjskie oraz Amerykę Północną. W Anglii i Walii zanotowano wówczas najwyższą w historii pomiarów instrumentalnych temperaturę powietrza, wynoszącą



35,2°C. W ciągu 5 dni (od 30 lipca do 3 sierpnia) średni wzrost umieralności w porównaniu z latami 1993–1994 wyniósł w Londynie 23%, a w Anglii i Walii 11,2%. W Londynie ten wzrost zaznaczył się najwyraźniej w grupie osób powyżej 85 roku życia, w tym szczególnie wśród samotnie mieszkających kobiet (trzykrotnie więcej zgonów kobiet niż mężczyzn), co wynika głównie ze struktury wiekowej ludności (dłuższego życia kobiet) oraz faktu, że wiele kobiet owdowiałych mieszka w miastach samotnie. Główną przyczynę zgonów stanowiły choroby naczyniowo-mózgowe (39%). W całej Anglii i Walii proporcje te nie były już tak wyraźne (Rooney i inni, 1998).

W okresie fali upałów w lipcu 1995 r. w Chicago zanotowano 11-procentowy wzrost przyjęć do szpitala, w tym: 23% osób z chorobami układu krążenia, 30% z cukrzycą, 52% z chorobami nerek i 20% z zaburzeniami układu nerwowego. Jednak wśród przyczyn 700 zgonów (ponad wartość oczekiwaną) dominowało odwodnienie, wyczerpanie oraz udar cieplny. Zwiększone ryzyko zgonu w czasie upałów dotyczyło kolejno: chorych w stanie ciężkim, pozostających na stałe w łóżku; osób nie opuszczających miejsca zamieszkania (potrojenie ryzyka zgonu); mieszkających samotnie (podwojone ryzyko zgonu); mieszkających na ostatnim piętrze budynku; osób z niskim wykształceniem i o niskim dochodzie (Semenza i inni, 1996). Najlepiej zapobiegała zgonom działająca w domu klimatyzacja, w przeciwieństwie do wentylatorów, które jedynie mieszają gorące powietrze i nie zmniejszają ryzyka odwodnienia organizmu czy wystąpienia udaru cieplnego (Naughton i inni, 2002).

Lato 2003 r., w tym zwłaszcza sierpień, przyniosło rekordowo wysoką temperaturę powietrza w zachodniej i południowej Europie. We Francji było to najgorętsze lato od 1947 r., z temperaturą maksymalną powyżej 40°C. Tylko w sierpniu, miesiącu wakacyjnych podróży Francuzów, już w połowie miesiąca notowano od 3 do 5 tysięcy zgonów starszych osób pozostawionych bez opieki w domach (Knox, 2003), z końcem roku liczbę ofiar sierpniowej fali upałów szacowano nawet na 14 800 (Dhainaut i inni, 2003). We Włoszech, w samym Rzymie, liczba ofiar lata 2003 r. sięgnęła 1094, z czego 57% stanowiły osoby powyżej 84 roku życia, w tym 72% to kobiety (Michelozzi i inni, 2004). Pomimo równie wysokiej temperatury powietrza jak we Francji, liczba ofiar we Włoszech była jednak znacznie mniejsza, dzięki silniejszym niż we Francji więziom rodzinnym i innym wzorcom kulturowym, w rezultacie których osoby starsze nie pozostają bez opieki.

Fale upałów, które analizowano w powiązaniu z umieralnością wystąpiły także w: 1987 r. w Atenach (Matzarakis i Mayer, 1991), w latach 1980 i 1995 w St. Louis (Smoyer, 1998), a w 1999 r. w Toronto (Smoyer-Tomic i Rainham, 2001) i Chicago (Naughton i inni, 2002).

Ogólnie wzrost umieralności w czasie upałów widoczny jest prawie natychmiast, występuje zazwyczaj już w dzień po wzroście temperatury powietrza i utrzymuje się kilka dni po ustaniu okresu gorącego, po czym następuje spadek liczby zgonów (Kunst i inni, 1993; Rooney i inni, 1998; Braga i inni, 2002). Ostateczna liczba zgonów w wyniku fali upałów w dłuższym okresie jest więc niższa od tej, jaką notuje się w czasie wysokiej temperatury powietrza. Fala upałów w dużej mierze jedynie przyspiesza zgon osób chorych, które i tak zmarłyby w krótkim okresie niezależnie od warunków pogodowych, a zjawisko to określa się mianem „efektu żniw” (*harvesting effect*).

Prognozowanie fal upałów pozwala zapobiegać ich skutkom. Połączone działanie: systemów ostrzegania przed uciążliwą dla ludzi pogodą, jednostek służby zdrowia oraz mediów informujących o koniecznych zachowaniach mogą skutecznie zredukować umieralność podczas fali upałów (Kalkstein i inni, 1996b; Teisberg i inni, 2004).

### 1.2.2. Fale zimna

W klimacie umiarkowanym także nadejście fali zimna doprowadza do wzrostu liczby zgonów (Frost i Auliciems, 1993), jednak z większym opóźnieniem niż w przypadku fali upału (Kalkstein, 1998). W chłodnej porze roku liczba zgonów jest średnio o 5–30% (w czasie srogich zim – nawet o 70%) wyższa niż w cieplej (Healy, 2003; Wilmschurt, 1994). Na wzrost ten nie składają się ani epidemie grypy, których wpływ szacowany jest jedynie na mniej niż 5% (Donaldson i Keatinge, 2002), ani zgony z powodu hipotermii, których w krajach rozwiniętych notuje się niewiele. Podobnie jak w całym roku, także w zimie główną przyczyną zgonów są choroby układu krążenia, w tym choroba niedokrwienna serca (około 50% zgonów). Największą liczbę przypadków zgonów na tę chorobę rejestruje się już 2 dni po nagłym spadku temperatury powietrza, w przeciwieństwie do zgonów na choroby układu oddechowego, które osiągają maksimum częstości z 10–12-dniowym opóźnieniem. Wszelkie zmiany hematologiczne w organizmie wskutek reakcji termoreceptorów skórnych na zimno mogą stać się przyczyną miażdżycy naczyń krwionośnych i prowadzić do arytmii serca, niewydolności krążenia i zawałów (Vuori, 1987). Najbardziej niebezpieczne dla organizmu są jednak duże, nagłe spadki temperatury powietrza, które powodują zwiększenie lepkości krwi i skłonności do tworzenia skrzepów, które mogą stać się przyczyną nagłych zgonów, zwłaszcza wśród osób starszych, z chorobami tętnic czy z chorobą niedokrwienną serca. Samo oddychanie zimnym powietrzem okazuje się być dużo mniej szkodliwe, chociaż wszelkie infekcje górnych dróg oddechowych mogą także zwiększać ryzyko powstawania skrzepów (Donaldson i Keatinge, 1997; Keatinge, 2002). Badania prowadzone w krajach wysoko rozwi-

niętych, w regionach o dużych opadach śniegu i częstych burzach śnieżnych potwierdzają również przypadki zgonów osób starszych spowodowane atakami serca wywołanymi wysiłkiem fizycznym przy odśnieżaniu posesji (Gorjanc i inni, 1999; Mills i inni, 2003).

W warunkach klimatu umiarkowanego chłodnego, kontynentalnego (Kanada, azjatycka część Rosji) występuje spadek liczby zgonów w dniach skrajnie mroźnych, tłumaczony zarówno nastawieniem procesów termoregulacyjnych na wytwarzanie ciepła, jak i zachowaniem ludzi, którzy albo zakładają odzież o odpowiedniej izolacyjności albo, unikając mrozu pozostają w domach (Auliciems i Frost, 1989). Nie bez znaczenia jest zmniejszenie liczby drobnoustrojów chorobotwórczych w zimnym powietrzu. Przykładem może tu być sytuacja w Jakucku, we wschodniej Syberii, gdzie w warunkach skrajnego zima (gdy średnia dobową temperaturą powietrza spada do  $-48,2^{\circ}\text{C}$ ) umieralność ogólna nie wzrasta, notuje się jedynie niewielki wzrost umieralności na choroby układu oddechowego, zaś obserwuje się spadek zgonów spowodowanych wypadkami i urazami (Donaldson i inni, 1998). Liczba zgonów wywołanych zimnem jest zatem mniejsza w warunkach klimatu skrajnie chłodnego, a większa w regionach o łagodnym klimacie. Przyczyną tego stanu jest mała adaptacja do zima, nieadekwatne do warunków zewnętrznych zachowania ludzi żyjących w klimacie łagodnym, brak centralnego ogrzewania w domach, słaba izolacja mieszkań, a w konsekwencji bardzo niska temperatura wewnątrz pomieszczeń (Healy, 2003).

W świetle prognozowanego wzrostu częstości występowania warunków skrajnych i nietypowych w danych warunkach klimatycznych (fale upałów w klimacie chłodniejszym, fale zima – w cieplejszym), w celu zmniejszenia liczby ofiar należy prowadzić działalność edukacyjną propagującą właściwe zachowania ochronne, zmodyfikować system ochrony zdrowia i pomocy społecznej, wprowadzić zmiany w technologii budowy mieszkań i inne.

### 1.3. Czynniki synoptyczne

W większości badań wpływu czynników synoptycznych (cyrkulacji atmosferycznej, rodzajów mas powietrza i układów barycznych) na umieralność podstawą analizy są opisane w części II, w rozdziale 6 biometeorologiczne klasyfikacje pogody. Pogodę w tym przypadku traktuje się jako całość, w przeciwieństwie do podejścia uwzględniającego jedynie wybrane elementy meteorologiczne.

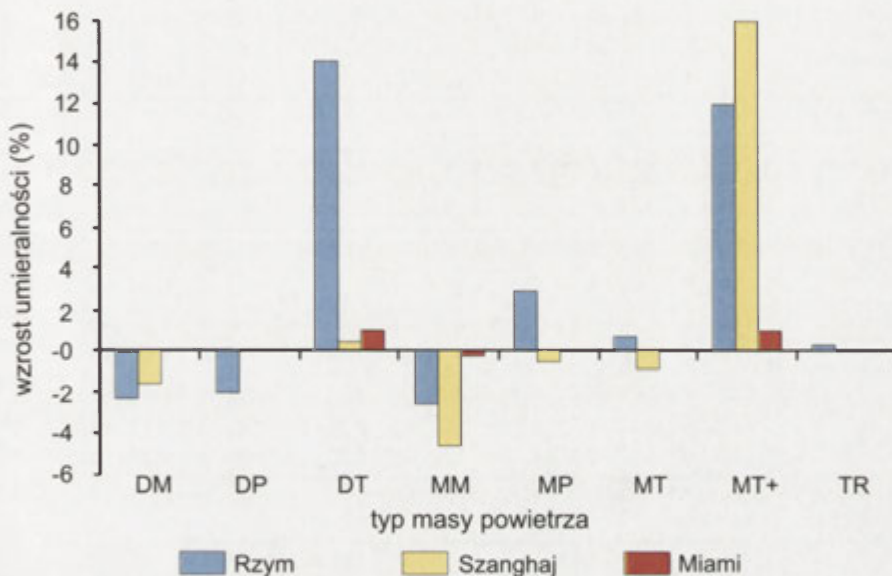
Na podstawie badań wykonanych w 1959 r. w Poznaniu uznano, że sytuacje synoptyczne, przy których wzrastała liczba zgonów wywołanych zawałem serca, to: pogłębiający się bliski niż, sytuacja przejścia z niżu do wyżu oraz wyż z zaburzeniami (Kaczorowski i inni, 1961; Wojtowicz i Dzierżyński, 1962; Wojtowicz, 1966).

W Warszawie w latach 1994–1995, największą umieralność notowano w słabogradentowym obszarze obniżonego ciśnienia (umieralność ogólna o 7% wyższa od średniej, a z powodu chorób układu krążenia – o 13%) oraz w wyżu z zaburzeniami. Ogólnie liczba zgonów była większa w czasie pogody niżowej (tab. 1.3.1). W odniesieniu do frontów atmosferycznych – 10% wzrost umieralności w grupie chorób układu krążenia notowano 48 godzin po dniu wielofrontalnym (z dwoma lub więcej frontami atmosferycznymi); 6% wzrost umieralności ogólnej i 5% wzrost liczby zgonów z powodu chorób układu krążenia notowano w ciepłym wycinku niżu, dzień po przejściu frontu ciepłego i w tym samym dniu, w którym pojawiał się już front chłodny (Kuchcik, 2000). Wiosną i latem wyższą liczbę zgonów notowano w dniach z frontem chłodnym, a jesienią i zimą – w dniach z frontem ciepłym (Żarnowiecki, 1998; Kuchcik, 2001b). W wielu pracach osiągnięto istotną statystycznie korelację silnych frontów ze wzrostem umieralności na zawały (Chrobok i inni, 1966) i udary mózgu (Czarski, 1964; Leszczyński, 1974b), w innych opracowaniach takich zależności nie znaleziono (Kaczorowski i inni, 1961; Driscoll i Landsberg, 1967; Podstawczyńska i Adamkiewicz, 1998).

Wśród mas powietrza największy wpływ na umieralność w Polsce obserwowano w masie gorącego powietrza zwrotnikowego, morskiego lub kontynentalnego. W 1950 r. w Krakowie zanotowano w powietrzu zwrotnikowym najwyższą liczbę zgonów, a pisano o nim jako o „znacznie różniącym się od mas powietrza charakterystycznych dla naszej strefy klimatycznej” (Wiecha, 1952). Podobnie w Warszawie w latach 1994–1995 w powietrzu zwrotnikowym, w którym najczęściej powstają fale upałów, występował 6% wzrost umieralności ogólnej i 7% – z powodu chorób układu krążenia. Jedyna różnica polegała na częstości napływu tego rodzaju powietrza nad Polskę – w latach 50. masę powietrza zwrotnikowego notowano w 1–2% dni, a w latach 90. już w 7% dni w roku (Kuchcik, 2001b). W Kielcach z kolei najwyższa średnia dobowa liczba zgonów przez prawie cały rok występowała w masie powietrza polarnego kontynentalnego w sytuacji cyklonalnej, zaś powietrze zwrotnikowe oddziaływało negatywnie jedynie w okresie od października do grudnia (Żarnowiecki, 1998).

W Rzymie, określone z wykorzystaniem Przestrzennej Klasyfikacji Synoptycznej (patrz część II, rozdz. 6), suche i bardzo wilgotne powietrze zwrotnikowe powoduje wzrost umieralności o 14%, a bardzo wilgotne zwrotnikowe o 12%. W Szanghaju z kolei, w bardzo wilgotnym powietrzu zwrotnikowym notowany jest 16% wzrost liczby zgonów w stosunku do wartości oczekiwanej (ryc. 1.3.1). Wykorzystując tę samą metodę klasyfikacji warunków pogodowych, w Czechach za najbardziej uciążliwą masę powietrza uznano powietrze zwrotnikowe kontynentalne, prowadzące do 7–10% wzrostu umieralności, porównywalnego do wzrostu notowanego w falach upałów w tym kraju – 13% (Kysely i Huth, 2004). W Birmingham

(Wielka Brytania), w okresie od listopada do lutego największą umieralność na chorobę niedokrwienną serca zanotowano w powietrzu polarnym kontynentalnym – zimnym i suchym, w układzie antycyklonalnym oraz w powietrzu polarnym morskim – umiarkowanie ciepłym i wilgotnym, z silnym wiatrem południowo-zachodnim (McGregor, 1999). Wydzielono także typy cyrkulacji atmosferycznej nad Wielką Brytanią, w których notuje się więcej zgonów na chorobę niedokrwienną serca, między innymi głębokie niższe przemieszczające się nad Atlantykiem i klin antycyklonalny wyżu z centrum nad Skandynawią lub Syberią powodujący napływ zimnego powietrza ze wschodu (McGregor, 2001).



Ryc. 1.3.1. Umieralność w Rzymie (Włochy), Szanghaju (Chiny) i Miami (Floryda, USA) w zależności od typu mas powietrza (wg: Kalkstein, 2004)

Powietrze: DM – suche szerokości umiarkowanych, DP – suche polarne, DT – suche zwrotnikowe, MM – wilgotne szerokości umiarkowanych, MP – wilgotne polarne, MT – wilgotne zwrotnikowe, MT+ – bardzo wilgotne zwrotnikowe, TR – sytuacja przejściowa.

Z pochmurną, zmienną, pogodą niżową i silnymi wiatrami wiąże się pogorszenie samopoczucia ludzi, opisywane szerzej w rozdziale dotyczącym meteoropatii (część III, rozdz. 1.2), które może znajdować odzwierciedlenie w częstszych próbach samobójczych. Każdy czynnik wpływający ujemnie na stan psychiczny człowieka stanowi potencjalne zagrożenie samobójcze, zwłaszcza u osób, u których już wcześniej wskaźnik ryzyka samobójstw był wysoki, tzn. u ludzi z depresją, zaburzeniami osobowości, schizofrenią i innymi zaburzeniami psychicznymi (Kocur, 1980, 1981).

Tabela 1.3.1. Umieralność w dniach z poszczególnymi rodzajami układów barycznych (A) oraz frontów atmosferycznych (B, C) wyrażona zmienną Z oraz odchyleniem od średniej liczby zgonów (%) w Warszawie w latach 1994–1995 (wg: Kuchcik, 2000)

A

Zgony	dzień	niż		zatoka		zatoka w wyżu		„zero” niżowe		„zero” wyżowe		wyż		układy niżowe		układy wyżowe	
		Z	%	Z	%	Z	%	Z	%	Z	%	Z	%	Z	%	Z	%
		Ogółem	0	1,6	+2	1,0	+2	1,2	+4	-0,1	0	-1,4	-2	-1,2	-1	1,6	+2
	+1	-0,2	0	<b>2,2</b>	<b>+4</b>	1,4	+3	<b>2,2</b>	<b>+7</b>	-1,1	-2	-0,5	-1	<b>2,2</b>	<b>+2</b>	-1,0	-1
	+2	0,9	+1	-0,7	-1	-1,8	-5	0,9	+3	-0,3	0	3,3	+4	-0,4	0	1,3	+1
Układ krążenia	0	0,3	+1	1,3	+3	0,9	+5	-0,0	0	0,1	0	-1,2	-2	1,0	+1	-0,8	-1
	+1	0,5	+1	0,8	+2	0,8	+3	2,8	+13	-1,0	-2	-0,5	-1	1,8	+2	-0,9	-1
	+2	0,7	+1	0,2	0	-1,2	-4	0,9	+4	-0,2	-1	1,1	+2	0,5	+1	0,2	0

B

Zgony	dzień	chłodny silny		chłodny słaby		ciepły silny		ciepły słaby		zokludowany		wielofr. słaby		wielofr. silny	
		Z	%	Z	%	Z	%	Z	%	Z	%	Z	%	Z	%
		Ogółem	0	<b>1,9</b>	<b>+6</b>	-1,5	-3	-0,1	0	-0,4	-1	0,3	+1	-0,4	-2
	+1	-2,0	-4	0,3	0	<b>1,7</b>	<b>+5</b>	1,2	+4	1,6	+5	-1,5	-6	1,0	+3
	+2	-1,0	-2	-1,4	-3	0,0	0	1,1	+3	-1,2	-4	-0,1	0	1,0	+3
Układ krążenia	0	1,3	+4	-1,0	-3	0,2	+1	-1,1	-4	1,5	+6	-1,0	-6	0,9	+4
	+1	-1,2	-5	0,3	+1	1,5	+5	0,2	+1	<b>2,1</b>	<b>+10</b>	-0,8	-4	1,1	+4
	+2	-1,8	-6	-0,7	-2	1,4	+6	0,4	+2	-0,7	-3	-0,5	-3	<b>2,2</b>	<b>+10</b>

C

Zgony	dzień	fronty chłodne		fronty ciepłe		fronty inne		fronty silne		fronty słabe		dni wielofrontalne	
		Z	%	Z	%	Z	%	Z	%	Z	%	Z	%
		Ogółem	0	0,3	0	-0,3	-1	0,1	0	<b>1,6</b>	<b>+3</b>	-1,6	-2
	+1	-1,0	-1	<b>2,0</b>	<b>+4</b>	0,8	+1	0,1	0	1,2	+2	0,1	0
	+2	-1,7	-2	0,7	+2	-1,2	-2	-1,2	-2	-1,6	-2	0,7	+2
Układ krążenia	0	-0,1	0	-0,6	-2	0,6	+1	1,2	+3	-1,0	-2	0,3	+1
	+1	-0,6	-1	1,1	+3	1,5	+4	0,5	+1	0,9	+2	0,5	+2
	+2	-1,5	-3	1,3	+4	0,4	+1	-0,3	-1	-1,0	-2	<b>1,6</b>	<b>+6</b>

$Z = \frac{(X-\mu)\sqrt{n}}{\delta}$  gdzie: X – średnia liczba zgonów w dniu z daną sytuacją pogodową,

n – liczba dni z daną sytuacją,

$\mu$  – średnia ogólna liczba zgonów,

$\delta$  – odchylenie standardowe liczby zgonów w dniu z daną sytuacją pogodową.

Wartości istotnie różniące się od średniej: na poziomie 2,5 %, gdy  $-1,96 > Z > 1,96$ , na poziomie 5 %, gdy  $-1,645 > Z > 1,645$ ; na poziomie 10 %, gdy  $-1,28 > Z > 1,28$

Jednak tylko nieliczne analizy z dziedziny meteoropatologii dotyczą samobójstw. Wyniki badań prowadzonych w latach 30. i 40. XX w. w krajach alpejskich wskazywały na istotny wzrost liczby samobójstw w okresach pogody fenowej i w dniach z ciepłym frontem atmosferycznym lub z temperaturą powietrza wyższą od średniej dla danego okresu. Inne przedwojenne badania podkreślały rolę dużych spadków ciśnienia atmosferycznego (Dixon i Shulman, 1983).

Badania polskie z 1972 r., obejmujące Warszawę, Łódź i Poznań, potwierdziły istotny wzrost liczby samobójstw w dniach wielofrontalnych oraz w okresach spiętrzenia aktywnych meteorotropowo sytuacji synoptycznych (Gostyński i inni, 1975). W Krakowie i Zakopanem notowano istotnie większą liczbę samobójstw zarówno w czasie silnego, suchego i ciepłego wiatru halnego, jak i w dniach przechodzenia frontów atmosferycznych, w tym zwłaszcza frontu chłodnego (Schiffer, 1986a). Podobnie w Calgary (Kanada), chinook – wiatr fenowy wiejący z Gór Skalistych, prowadzi do 13% wzrostu liczby prób samobójczych (Nkemdirim, 1993). Analiza 9000 prób samobójczych w Holandii w latach 1954–1970 prowadzona przez S.W. Trompa i J. Boumę wykazała, że większość dni z dużą liczbą samobójstw przypada na okresy z silnymi frontami atmosferycznymi: z dużymi zmianami temperatury powietrza, silnymi wiatrami i opadami. Badania potwierdzały tezę, że warunki pogodowe mogą wpływać na psychiczny i fizjologiczny stan osób z predyspozycjami do prób samobójczych. Jednak inne badania, uwzględniające szereg innych czynników ryzyka, wskazują na niewielki wpływ pogody na podejmowanie decyzji o samobójstwie (Dixon i Shulman, 1983).

#### 1.4. Czynniki antropogeniczne

Wśród cywilizacyjnych czynników pogorszenia stanu zdrowia ludności wymienia się przede wszystkim te związane ze stylem życia: niewłaściwą dietę i podwyższony poziom związków tłuszczowych we krwi, palenie tytoniu, otyłość, niską aktywność fizyczną, alkohol czy stres psychospołeczny (Bejnarowicz, 1997). Jednak duże znaczenie ma także przekształcenie środowiska naturalnego powodujące wzrost zanieczyszczenia powietrza. Wpływ poszczególnych związków zanieczyszczających powietrze na organizm człowieka został ogólnie opisany w części I w rozdziale 3.1. Dokładniejsze informacje na ten temat można znaleźć w podręcznikach z zakresu epidemiologii zanieczyszczeń i toksykologii (Jędrychowski, 1986; Seńczuk, 2002).

Chorobami i objawami powszechnie uznanymi za powiązane z zanieczyszczeniem powietrza są: astma, kaszel, duszność, nagłe zapalenie oskrzeli i oskrzelików, różne rodzaje zapalenia płuc, rozedma i pylica płuc, ostre zapalenie górnych dróg oddechowych, zapalenie krtani, zapalenie

zatok, zapalenie spojówek, choroba niedokrwienna serca itp. Stany atmosfery, w których wzrasta stopień zanieczyszczenia powietrza, są pośrednio odpowiedzialne za zaostrzenie wielu z powyższych chorób, a nawet zgony. Wysokim stężeniom pyłu,  $\text{SO}_2$  i CO w powietrzu sprzyja antycyklonalna cyrkulacja atmosferyczna, w tym szczególnie: niska temperatura powietrza, mała prędkość wiatru i brak opadów atmosferycznych, a także system ogrzewania mieszkań.

Położenie Londynu sprzyjające powstawaniu mgieł, a także duże zanieczyszczenie powietrza spowodowane uprzemysłowieniem miasta oraz istnieniem licznych kotłowni węglowych doprowadziło zimą w latach 1952, 1956 i 1957 do fatalnych w skutkach przypadków skrajnie wysokiego zanieczyszczenia powietrza. Smog w grudniu 1952 r. w Londynie był najtragiczniejszy i zarazem pierwszy, w którym zebrano dane zarówno o warunkach meteorologicznych, jak i o skutkach zdrowotnych. Mgła utrzymywała się w dniach 5–9 grudnia, stężenie pyłu sięgało blisko  $4500 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ , a  $\text{SO}_2$  – ponad  $3800 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ . Prawie trzykrotny wzrost umieralności ogólnej w stosunku do liczby zgonów z okresu 1947–1951 notowano z 1,5-dobowym opóźnieniem w stosunku do najwyższego stężenia zanieczyszczeń. Dwukrotnie wyższa umieralność utrzymywała się przez kolejne 2 tygodnie, zaś w styczniu i lutym 1953 r. umieralność była nadal o 50% wyższa od oczekiwanej. Analizy wykazały, że niekorzystne warunki aerosanitarne stanowiły przyczynę 70% zgonów i 50% zachorowań. W sumie szacuje się, że liczba ofiar tego smogu sięgnęła 7000 (Stern, 1977; Whittenberger, 1989; Lipfert, 1993; Boubel i inni, 1994; Bell i Davis, 2001).

W listopadzie 1953 r. w Nowym Jorku podwyższenie temperatury powietrza i brak przewietrzania doprowadziło do wzrostu koncentracji  $\text{SO}_2$  do poziomu  $2490 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ , a pyłu zawieszonego do  $642 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ . Natychmiastowe zwiększenie liczby zachorowań na choroby układu oddechowego oraz z powodu niewydolności serca (pojawiające się z trzydniowym opóźnieniem) wydawało się silniej związane ze stężeniem pyłu zawieszonego niż  $\text{SO}_2$ , a wzrost liczby zachorowań był większy niż liczba zgonów (McCormac, 1971; Lipfert, 1993).

Sytuacja smogowa w styczniu 1985 r. w Zagłębiu Ruhry wywołana została silną inwersją termiczną, zaś bardzo niska temperatura powietrza spotęgowała jego negatywne oddziaływanie. Średnie dobowe stężenie  $\text{SO}_2$  sięgnęło  $830 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ , a pyłu zawieszonego  $600 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ . W całym regionie zanotowano średnio 8% wzrost liczby zgonów z grupy sercowo-naczyniowych i płucnych, mniejszy z powodu chorób górnych dróg oddechowych, mimo skrajnie zimnego powietrza (Wichmann i inni, 1989). Równocześnie umieralność mieszkańców Kolonii wzrosła o 17%, a jeszcze wyższa była wśród osób starszych, zamieszkujących słabo przewietrzane centrum miasta (Spix i Wichmann, 1996).



Analiza fali upałów z lipca 1987 r. w Atenach i towarzyszącego jej wzrostu zanieczyszczenia powietrza wykazała statystycznie istotne, łączne oddziaływanie wysokiej temperatury powietrza (powyżej 30 C) i dużego stężenia SO<sub>2</sub> oraz prawdopodobnie O<sub>3</sub> oraz pyłu (Katsouyanni i inni, 1993). Adaptacja organizmu do wysokiej temperatury otoczenia prowadzi do wzrostu częstości oddechu, a tym samym niestety, do wzmożonej wentylacji płuc zanieczyszczonym powietrzem. Dlatego w opisaney sytuacji liczba zgonów w Atenach wzrosła aż o 97% w stosunku do wartości średniej.

Z powodu powszechności nałogu palenia papierosów trudne jest oddzielenie trującego wpływu dymu tytoniowego od wpływu pyłu o średnicy poniżej 10 μm (PM10), wdychanego wraz z powietrzem, na zaostrzenie stanów przewlekłych chorób układu oddechowego i krążenia. Dlatego bardzo ważne są wyniki amerykańskich badań prowadzonych wśród mieszkańców Doliny Utah, w większości Mormonów, którzy z racji swego wyznania prowadzą bardzo higieniczny tryb życia i nie palą papierosów. Dolinę Utah cechuje bardzo niskie stężenie wszystkich zanieczyszczeń z wyjątkiem pyłu zawieszonego, którego zawartość w powietrzu istotnie wzrasta szczególnie w czasie częstych zimą inwersji termicznych. W latach 80. XX w. wzrost pięciodniowego średniego stężenia pyłu zawieszonego o 100 μg·m<sup>-3</sup> spowodował tam wzrost umieralności ogólnej o 16%, w tym przede wszystkim w grupie chorób układu oddechowego, a następnie układu krążenia (Pope III i inni, 1992). Dane te dowodzą, że wdychany pył jest istotnym czynnikiem ryzyka chorób układu oddechowego oraz umieralności na choroby krążeniowo-płucne, zaś zgony z powodu chorób sercowo-naczyniowych w dniach z wysokim stężeniem pyłu są w rzeczywistości następstwem rozwoju ostrych stanów chorób układu oddechowego (Pope III i inni, 1995; Pope III i Kalkstein, 1996).

Wiele badań zależności zgonów od stanu sanitarnego atmosfery w danym miejscu ma charakter epidemiologiczny, dotyczy długich okresów i uwzględnia czasem w analizie średnią temperaturę powietrza. Wyniki badań prowadzonych w Wielkiej Brytanii, Niemczech, Hiszpanii oraz w Stanach Zjednoczonych i Brazylii donoszą, że średni wzrost stężenia pyłu zawieszonego o 10 μg·m<sup>-3</sup> pociąga za sobą, opóźnione o 1–2 dni, zwiększenie o 1–4% liczby wizyt w szpitalu, a o 0,5–1,5% – liczby zgonów. W miastach o wysokim zapyleniu powietrza ryzyko śmierci jest o 15–25% wyższe niż w miastach o małym zapyleniu, a wzrost stężenia o 10 μg·m<sup>-3</sup> powoduje co najmniej 3% wzrost umieralności ogólnej.

Część prac dotyczy także czynników ryzyka zgonu wśród mieszkańców różnych dzielnic tego samego miasta. Na przykład w dzielnicy Warszawa Śródmieście w latach 1947–1952 umieralność była o 56% wyższa w porównaniu do średniej z całego miasta i tej nadwyżki nie dało się wytłumaczyć jedynie strukturą demograficzną, a raczej dużym zanieczyszczeniem powietrza o pochodzeniu komunikacyjnym w centrum stolicy (Biernacki, 1995).

Tabela 1.4.1. Współczynnik korelacji liniowej Pearsona między liczbą zgonów i stężeniem poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń powietrza średnio w roku oraz w półroczach w Warszawie w latach 1994–1995 (wg: Kuchcik, 2000)

\* – poziom istotności  $p < 0.001$ .

półrocze chłodne

5-dniowe średnie konsekwtywne						
Zgony	dzień	CO	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	pył	NO <sub>2</sub>
Ogółem	0	,149	,154	,078	,100	,110
	+1	,178	,204 *	,030	,133	,137
	+2	,200	,232 *	,002	,133	,140
Układ krążenia	0	,071	,107	,151	-.054	,091
	+1	,106	,150	,108	-.006	,116
	+2	,144	,198 *	,070	,024	,131
Układ oddech.	0	,091	,193 *	,165	,154	,003
	+1	,128	,237 *	,145	,178	,046
	+2	,139	,241 *	,133	,174	,045
10-dniowe średnie konsekwtywne						
Zgony	dzień	CO	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	pył	NO <sub>2</sub>
Ogółem	0	,191	,223 *	,116	,026	,084
	+1	,218 *	,270 *	,087	,055	,109
	+2	,240 *	,301 *	,065	,077	,131
Układ krążenia	0	,141	,220 *	,169	-.136	,122
	+1	,163	,262 *	,148	-.103	,141
	+2	,187	,295 *	,127	-.070	,163
Układ oddech.	0	,123	,198 *	,193 *	,125	-.077
	+1	,158	,242 *	,165	,143	-.050
	+2	,182	,270 *	,139	,147	-.034

półrocze ciepłe

Wartości dobowe, rok						
Zgony	dzień	CO	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	pył	NO <sub>2</sub>
Ogółem	0	,200 *	,153 *	-.017	,169 *	,137
	+1	,193 *	,204 *	-.013	,178 *	,135
	+2	,136	,152 *	-.002	,109	,048
Układ krążenia	0	,131	,117	,011	,097	,120
	+1	,156 *	,167 *	,028	,139	,104
	+2	,106	,136 *	,024	,101	,024
Układ oddech.	0	,134	,147 *	-.084	,124	,036
	+1	,164 *	,186 *	-.070	,144	,088
	+2	,184 *	,145 *	-.105	,086	,088
5-dniowe średnie konsekwtywne						
Zgony	dzień	CO	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	pył	NO <sub>2</sub>
Ogółem	0	,245 *	,269 *	,306 *	,382 *	,324 *
	+1	,178	,256 *	,311 *	,323 *	,243 *
	+2	,131	,234 *	,293 *	,293 *	,196 *
Układ krążenia	0	,251 *	,335 *	,284 *	,429 *	,384 *
	+1	,174	,294 *	,303 *	,368 *	,304 *
	+2	,130	,262 *	,292 *	,336 *	,277 *
Układ oddech.	0	,272 *	,267 *	-.140	,082	,126
	+1	,352 *	,333 *	-.159	,130 *	,187 *
	+2	,376 *	,340 *	-.164	,170	,179 *
10-dniowe średnie konsekwtywne						
Zgony	dzień	CO	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	pył	NO <sub>2</sub>
Ogółem	0	,257 *	,331 *	,299 *	,503 *	,365 *
	+1	,193 *	,327 *	,296 *	,445 *	,313 *
	+2	,148	,314 *	,288 *	,404 *	,274 *
Układ krążenia	0	,282 *	,440 *	,270 *	,593 *	,473 *
	+1	,217 *	,426 *	,291 *	,546 *	,418 *
	+2	,175	,408 *	,292 *	,507 *	,387 *
Układ oddech.	0	,319 *	,309 *	-.202 *	,100	,117
	+1	,393 *	,348 *	-.224 *	,149	,172
	+2	,417 *	,343 *	-.228 *	,164	,179 *

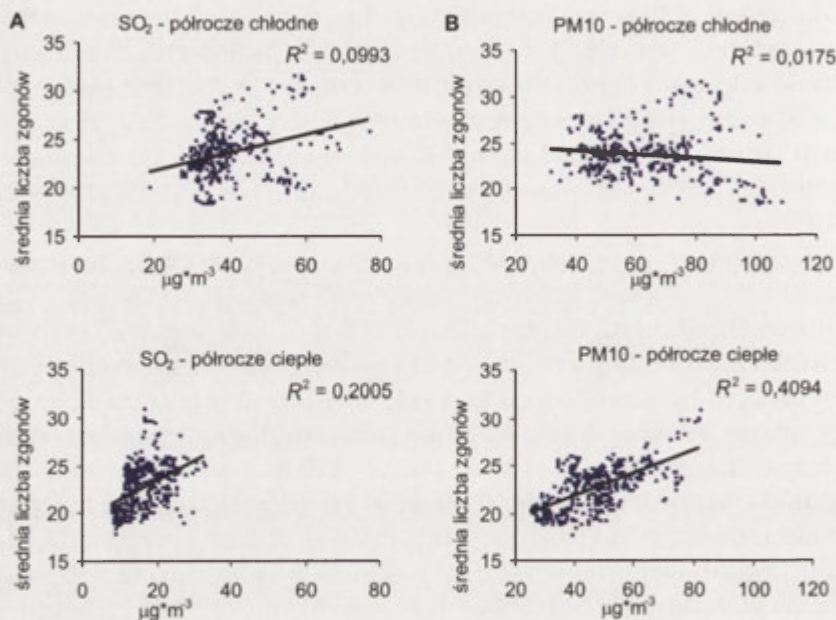
W Krakowie w miesiącach zimowych w latach 1978–1979 stwierdzono istotną korelację dodatnią między stężeniem  $\text{SO}_2$  i zgonami spowodowanymi chorobami naczyń mózgu u osób w wieku powyżej 60 lat oraz między stężeniem pyłu (o średnicy  $>20 \mu\text{m}$ ) a zgonami z powodu chorób układu oddechowego, przy czym największy wzrost umieralności obserwowano w drugiej dobie po odnotowanym wzroście zanieczyszczenia powietrza. W okresie ciepłym istotną zależność stwierdzono pomiędzy stężeniem pyłów oraz zgonami z powodu chorób naczyń mózgu i pozostałymi chorobami układu krwionośnego (Morawska-Horawska i inni, 1984; Powroźnik i inni, 1982/1983). Kolejna analiza związków umieralności mieszkańców Krakowa na choroby układu oddechowego z zanieczyszczeniem powietrza w dłuższym okresie (1977–1989) potwierdziła istotną zależność częstości zgonów od średniego dobowego stężenia pyłu (o średnicy  $>20 \mu\text{m}$ ) i  $\text{SO}_2$  z dnia poprzedniego. Oszacowano też, że wskutek wzrostu stężenia  $\text{SO}_2$  o  $100 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  liczba zgonów z powodu chorób układu oddechowego wzrastała o 19%, a układu krążenia o 10% (Jędrzychowski, 1995).

W europejskim programie APHEA („Short-term effects of air pollution on health: an European approach using epidemiological time series data” – „Europejskie badania epidemiologiczne nad krótkookresowym wpływem zanieczyszczenia powietrza na zdrowie”), badającym krótkoterminowy wpływ pyłu BS (mierzonego metodą reflektometryczną) i  $\text{SO}_2$  na zgony wzięły udział: Kraków, Łódź, Wrocław i Poznań. Istotna (pomimo niskich współczynników korelacji rzędu 0,1–0,2) dodatnia korelacja ogólnej liczby zgonów obserwowana była w miastach o największym zanieczyszczeniu powietrza: w Łodzi i Krakowie, w tym drugim duże stężenie  $\text{SO}_2$  powodowało dodatkowo większą liczbę zgonów z powodu chorób układu krążenia. W żadnym z tych miast nie stwierdzono zależności liczby zgonów z powodu chorób układu oddechowego od stanu higienicznego powietrza, mimo że większość badań na świecie dowodzi najsilniejszego ich związku (Wojtyniak i Piekarski, 1996).

Korelacja liczby zgonów w Warszawie w latach 1994–1995 z zanieczyszczeniem powietrza ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , CO,  $\text{O}_3$ , PM10) wykazała, że średnio w roku 22% zmienności liczby zgonów z powodu chorób układu krążenia wyjaśniona jest zmianami zanieczyszczenia powietrza, w tym 28% w półroczu chłodnym, a 21% w półroczu ciepłym. Stan zanieczyszczenia powietrza wyjaśnia także 23% wariancji ogólnej liczby zgonów w półroczu ciepłym, na co wskazują istotne statystycznie wartości współczynnika korelacji wielokrotnej i współczynnika determinacji. Z kolei wartości współczynników korelacji liniowej pomiędzy rozpatrywanymi osobno związkami zanieczyszczającymi powietrze i liczbą zgonów są średnio w roku małe, podobnie jak w innych badaniach, i nie przekraczają 0,2 (tab. 1.4.1). W okresie ciepłym wpływ dwutlenku siarki, pyłu zawieszonego

oraz ozonu zaznacza się silniej niż w chłodnym (ryc. 1.4.1), a współczynniki korelacji sięgają 0,4 (Kuchcik, 2000, 2001a, 2003).

Pomimo że zanieczyszczenie powietrza miejskiego w Polsce nie osiąga notowanych w Europie ekstremalnych stężeń, a jego wpływ na zgony nie jest tak silny jak w opisanych powyżej przykładach smogu, powszechność oddziaływania zanieczyszczenia powietrza na ludzi i zaznaczający się stały spadek odporności mieszkańców miast, potwierdza konieczność badań skutków zdrowotnych, jakie powoduje zanieczyszczenie powietrza w miastach.



Ryc. 1.4.1. Dwutlenek siarki (A) oraz pył zawieszony PM10 (B) a 15-dniowe średnie konsekwentne liczby zgonów z powodu chorób układu krążenia oraz linie trendu i wartość współczynników determinacji  $R^2$  (wg: Kuchcik, 2000)

## 2. Częstość zgonów w Polsce w zależności od warunków meteorologicznych

### 2.1. Materiał i metoda

Podstawą opracowania były codzienne dane dotyczące warunków pogodowych i liczby zgonów w 17 dużych miastach, położonych w różnych obszarach Polski: Białystok, Bydgoszcz, Gdańsk, Katowice, Kosza-

lin, Kraków, Lublin, Łódź, Olsztyn, Płock, Poznań, Rzeszów, Szczecin, Toruń, Warszawa, Wrocław i Zielona Góra. Dane pochodziły z lat 1993–1996 oraz 1999–2002. Dwuletnia przerwa w latach 1997–1998 jest następstwem strajku lekarzy, którzy w tym okresie nie notowali przyczyn zgonów pacjentów.

Dane meteorologiczne obejmowały codzienne wartości dobowe (średnia dobową temperaturę powietrza, temperaturę maksymalną i minimalną) oraz dane terminowe z godz. 12 UTC elementów meteorologicznych (temperatura powietrza, charakterystyki wilgotnościowe i anemologiczne, zachmurzenie), a także rodzaj masy powietrza. Elementy meteorologiczne posłużyły do obliczenia wskaźników biometeorologicznych (patrz część II, rozdziały 3 i 5): temperatury efektywnej (*TE*) i stresu termofizjologicznego (*PhS*), na podstawie których określono następnie rodzaj odczucia termicznego. Kolejny wskaźnik – temperatura pozorna (*AT*) – posłużył do wydzielenia fal upałów.

Informacje o umieralności, to dzienne liczby zgonów z ogółu przyczyn w grupach wiekowych (bez przyczyn zewnętrznych czyli bez przypadków zgonów nie będących bezpośrednim następstwem chorób i schorzeń tj. wypadki, samobójstwa, zabójstwa) oraz z powodu chorób układu krążenia, w skład których wchodzi jednostki chorobowe o symbolach 390–459 wg Międzynarodowej Klasyfikacji Chorób, Urazów i Przyczyn zgonów ICD-9 (1983) lub I00–I99 wg Międzynarodowej Statystycznej Klasyfikacji Chorób i Problemów Zdrowotnych ICD-10 (2000). Są to między innymi: choroba niedokrwienna serca, choroba reumatyczna serca, choroby krążenia płucnego, naczyń mózgowych, tętnic, naczyń włosowatych i żył.

Badania prowadzono przy użyciu metod statystycznych analizy szeregów czasowych. W każdym z miast objętych badaniem i dla każdej z rozważanych przyczyn zgonów zbudowany został model opisujący związek warunków meteorologicznych z dzienną liczbą zgonów, uwzględniający dodatkowo ich długookresowy trend i sezonowość oraz dzień tygodnia jako tzw. zmienne zakłócające.

Do analizy danych zastosowano uogólnione modele addytywne (*generalized additive models, GAM*) (Hastie i Tibshirani, 1990), które są nowoczesnym narzędziem pozwalającym na regresyjną analizę zależności krzywoliniowych bez mocnych założeń o ich kształcie (inaczej niż w klasycznej analizie regresji). Umożliwiają również modelowanie zmiennych o rozkładzie Poissona (takich jak analizowana dzienna liczba zgonów).

Wyniki przedstawiono jako ryzyko względne (*RR*) – stosunek oczekiwanej liczby zgonów w dniu, w którym obserwuje się określone warunki meteorologiczne do dni, w których warunki meteorologiczne przyjmują wartość referencyjną. Aby zwiększyć czytelność, *RR* przeliczono na procenty i w tej formie ryzyko względne przedstawiono na wykresach, na przykład ryzyko względne zgonu 1,10 (1,03–1,18) oznacza 10% wzrost

w stosunku do wartości referencyjnej, zaś 95% przedział ufności wynosi od 3 do 18%.

Zbiorcze oszacowania wpływu rozważanych czynników meteorologicznych na umieralność w skali całego kraju oraz w obrębie różnych obszarów uzyskano przeprowadzając serię metaanaliz, w których uśredniano wyniki pochodzące z pojedynczych analiz uwzględniając precyzję tych badań (Normand, 1999). Wszystkie obliczenia przeprowadzono przy użyciu pakietu statystycznego S-PLUS 2000.

Z powodu niewielkiej liczby zgonów w wielu mniejszych miastach ujętych w opracowaniu, w celu zwiększenia istotności wyników analizy statystycznej, 17 analizowanych miast pogrupowano: według średniej rocznej temperatury powietrza (tab. 2.1.1) oraz w zależności od położenia w różnych obszarach Polski (tab. 2.1.2).

Tabela 2.1.1. Podział wybranych miast Polski według średniej rocznej temperatury powietrza z okresu 1993–2002

$t_{\text{sr.roc}}^{\text{czna}}$	Miasta
< 8°C	Białystok (7,4°C), Olsztyn (7,6°C), Lublin (7,8°C),
8–9°C	Bydgoszcz (8,3°C), Łódź (8,4°C), Płock (8,4°C), Rzeszów (8,4°C), Warszawa (8,4°C), Koszalin (8,5°C), Gdańsk (8,6°C), Kraków (8,6°C), Toruń (8,6°C), Katowice (8,7°C), Poznań (8,9°C)
>9°C	Zielona Góra (9,0°C), Szczecin (9,1°C), Wrocław (9,2°C)

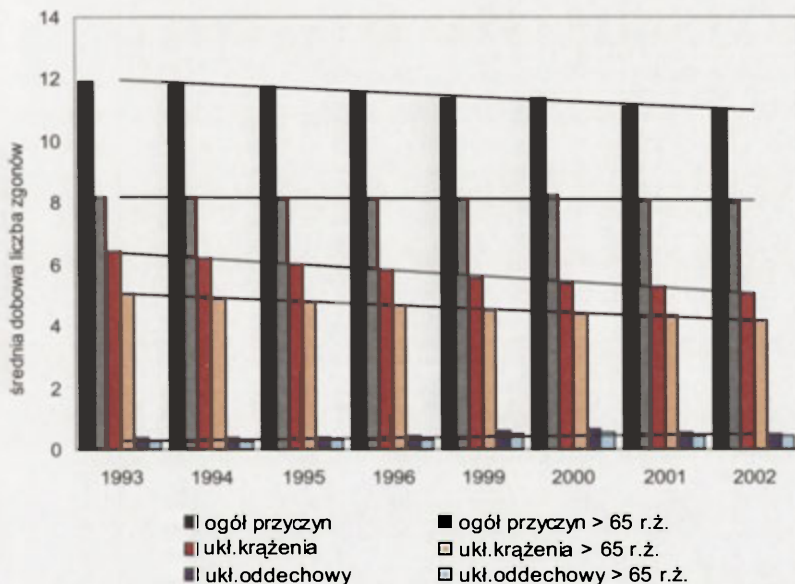
Tabela 2.1.2. Położenie wybranych miast w różnych obszarach Polski

Obszar	Miasta	Opis
1	Gdańsk, Koszalin, Szczecin	obszar nadmorski
2	Bydgoszcz, Łódź, Płock, Poznań, Toruń, Warszawa, Wrocław, Zielona Góra	obszar środkowy
3	Katowice, Kraków, Lublin, Rzeszów	obszar południowo-wschodni,
4	Białystok, Olsztyn	obszar północno-wschodni,

## 2.2. Charakterystyka umieralności w wybranych miastach

Umieralność w Polsce jest znacznie zróżnicowana przestrzennie i wynosi od 13,2 zgonów w roku na 1000 mieszkańców w Łodzi do 6,7 w Olsztynie (tab. 2.2.1). Spośród analizowanych miast w okresie 1993–1996 i 1999–2002 najwięcej zgonów zarejestrowano w największym z analizowanych miast – Warszawie, najmniej w najmniejszym – Koszalinie. W całej Polsce z roku na rok średnia liczba zgonów z ogółu przyczyn i z powodu chorób układu krążenia maleje. Jednak liczba

zgonów wśród osób powyżej 65 roku życia utrzymuje się na tym samym poziomie, rośnie zaś – z powodu chorób układu oddechowego. Liczba zgonów w 2002 r. w porównaniu z rokiem 1993 była o 8% niższa wśród zgonów z ogółu przyczyn i o 21% z powodu chorób układu krążenia, w tym wśród osób powyżej 65 roku życia odpowiednio o 2% i 17% (ryc. 2.2.1). Spadek umieralności jest najwyraźniejszy w największych miastach Polski (w Warszawie, Łodzi, Poznaniu, Krakowie), w kilku miastach umieralność w latach 1993–2002 utrzymuje się na podobnym poziomie (Toruń, Wrocław), w pozostałych zaś rośnie (Rzeszów, Gdańsk, Szczecin, Zielona Góra), zwłaszcza liczba zgonów osób powyżej 65 roku życia, co świadczy o starzeniu się społeczności tych miast. We wszystkich jednak miastach, bez wyjątku, w latach 1993–2002 rośnie liczba zgonów spowodowanych chorobami układu oddechowego, od średnio 139 w 1993 r., przez 237 w 2000 do 188 w 2002 r. (35% wzrost w stosunku do 1993 r.).



Ryc. 2.2.1. Średnia dobowa liczba zgonów w 17 analizowanych miastach Polski w latach 1993–1995 oraz 1999–2002

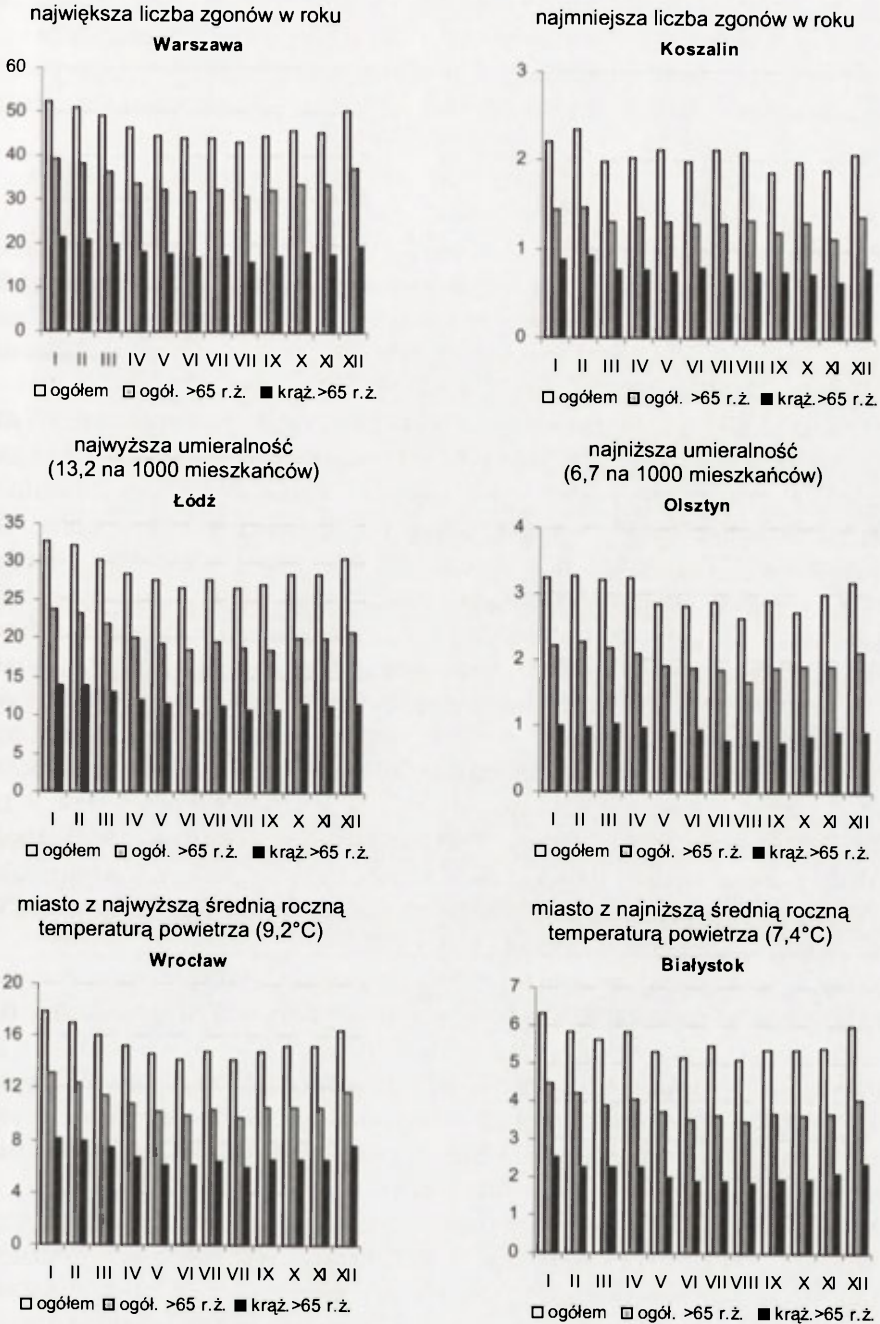
Maksimum liczby zgonów notowane jest od grudnia do lutego, minimum od czerwca do sierpnia (ryc. 2.2.2). Największe sezonowe zróżnicowanie umieralności cechuje Zieloną Górę (odchylenie średniej miesięcznej liczby zgonów od średniej rocznej waha się od +11,1% w styczniu do -17,2% w czerwcu), najmniejsze Szczecin (odpowiednio od +8,9% w styczniu do -8% w sierpniu). Ogólnie biorąc, najmniejsze zróżnicowanie sezonowe umieralności występuje na Pomorzu (Gdańsk, Koszalin, Szczecin).

Tabela 2.2.1. Charakterystyki umieralności w 17 miastach Polski

Miasta	Ludność w 2002 r.*	Liczba zgonów w 2002 r.*	L. zgonów na 1000 mieszk.	Zgony w latach 1993–1996 oraz 1999–2002 wg przyczyn									
				ogółem		ogółem >65 r.ż.		ukł. krążenia		ukł. krąż. >65 r.ż.		ukł. oddech.	
				suma	śr.dob.	suma	śr.dob.	suma	śr.dob.	suma	śr.dob.	suma	śr.dob.
Białystok	291660	2192	7,5	16273	5,6	11208	3,8	7773	2,7	6187	2,1	653	0,2
Bydgoszcz	372104	3443	9,2	27329	9,4	19096	6,5	13782	4,7	10971	3,8	1188	0,4
Gdańsk	461653	4284	9,3	31683	10,8	21896	7,5	13950	4,8	11062	3,8	1425	0,5
Katowice	325045	3518	10,8	27436	9,4	18432	6,3	13091	4,5	9650	3,3	1280	0,4
Koszalin	108480	805	7,4	6016	2,1	3843	1,3	3022	1,0	2239	0,8	103	0,0
Kraków	757547	6645	8,8	66628	18,2	39128	13,4	28542	9,8	24077	8,2	1583	0,5
Lublin	358354	3001	8,4	23442	8,0	15740	5,4	12150	4,2	9790	3,4	827	0,3
Łódź	785134	10367	13,2	84505	28,9	59568	20,4	43443	14,9	34466	11,8	4705	1,6
Olsztyn	172467	1163	6,7	8756	3,0	5815	2,0	3375	1,2	2619	0,9	461	0,2
Płock	128208	1052	8,2	7310	2,5	4616	1,6	3314	1,1	2574	0,9	295	0,1
Poznań	577117	5551	9,6	45606	15,6	33354	11,4	24419	8,4	19981	6,8	1451	0,5
Rzeszów	159791	1150	7,2	8200	2,8	5801	2,0	4735	1,6	3778	1,3	244	0,1
Szczecin	415117	3988	9,6	28800	9,9	19397	6,6	14421	4,9	10828	3,7	975	0,3
Toruń	210702	1663	7,9	12757	4,4	8774	3,0	5458	1,9	4203	1,4	780	0,3
Warszawa	1688194	17370	10,3	136561	46,7	100076	34,2	64651	22,1	53824	18,4	6384	2,2
Wrocław	639150	5761	9,0	45238	15,5	32039	11,0	24847	8,5	19992	6,8	1559	0,5
Zielona Góra	118362	965	8,2	6979	2,4	4549	1,6	2740	0,9	2099	0,7	229	0,1

\* – źródło – Rocznik Statystyczny GUS, Warszawa 2003.





Ryc. 2.2.2. Średnia dobowa liczba zgonów z ogółu przyczyn we wszystkich grupach wiekowych oraz zgonów z ogółu przyczyn i z powodu chorób układu krążenia wśród osób powyżej 65 roku życia w 17 miastach Polski, w latach 1993–1996 oraz 1999–2002

Także w miastach o najniższej średniej rocznej temperaturze powietrza (Białystok, Lublin, Olsztyn) roczny przebieg umieralności nie wykazuje wyraźnego maksimum rocznego w jednym miesiącu, a raczej przybiera postać zwiększonej umieralności w całym okresie od grudnia do kwietnia.

### 2.3. Odczucie ciepłe a zgony

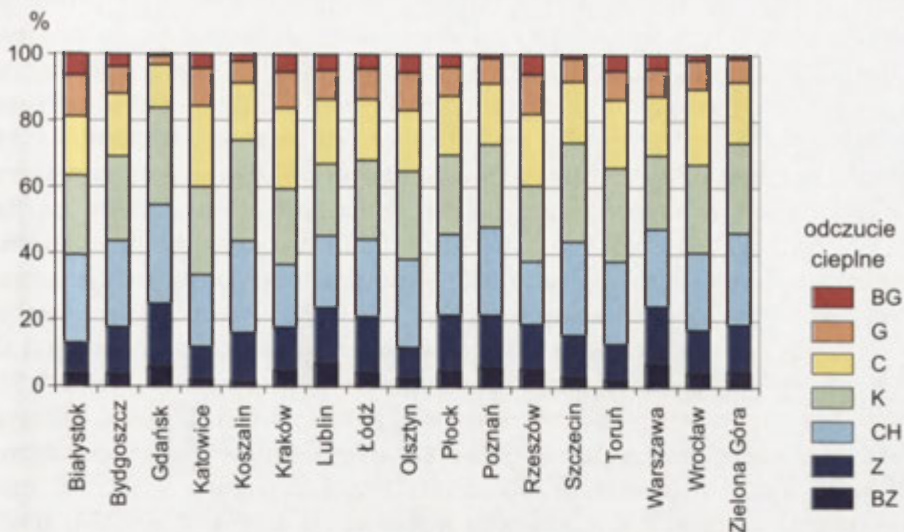
W analizie zależności liczby zgonów od warunków termicznych posłużono się dwoma wskaźnikami biometeorologicznymi: temperaturą efektywną (*TE*), która łączy w sobie temperaturę i wilgotność powietrza oraz prędkość wiatru i stresem termofizjologicznym (*PhS*), opartym na bilansie cieplnym człowieka (patrz część II, rozdz. 5).

Według skali odczuwalności cieplnej opracowanej na podstawie *TE* dla obszarów Polski o różnej średniej rocznej temperaturze powietrza (poniżej 7°C, 7–8°C oraz powyżej 8°C) w 17 miastach Polski notuje się średnio w roku 13 dni z odczuciem „bardzo gorąco”, 32 „gorąco”, 70 „ciepło”, 93 „komfortowe”, 90 z odczuciem „chłodno”, 50 „zimno” oraz 16 z „bardzo zimno” w okresie 1993–2002 (Baranowska i inni, 1986). Odczucie „bardzo gorąco” występowało najczęściej w Białymstoku, Rzeszowie oraz Krakowie, najrzadziej w Gdańsku, „bardzo zimno” zaś najczęściej pojawiało się w Lublinie (ryc. 2.3.1). Wyniki te świadczą o pewnej nieadekwatności progów temperatury efektywnej wyznaczających rodzaje odczucia termicznego – skali opracowanej na początku lat 80. – do obecnych warunków, gdyż w wielu miastach średnia roczna temperatura powietrza z lat 1993–2002 jest wyższa o blisko 1°C w porównaniu z okresem 1950–1980. Średnia roczna temperatura w latach 90. była wyższa w Białymstoku o 0,6°C, w Warszawie o 0,7°C, w Gdańsku, Olsztynie i Rzeszowie o 0,8°C, w Koszalinie, Katowicach i Wrocławiu o 1°C.

Według wskaźnika stresu termofizjologicznego (*PhS*) w Polsce występują średnio w roku: 4 dni z dużym natężeniem stresu gorąca (cd 6,3 w Rzeszowie, 6,0 w Toruniu przez 4,6 w Warszawie do 0,4 w Gdańsku), 27 dni ze znacznym stresem gorąca, 124 z warunkami termoneutralnymi oraz 210 ze znacznym natężeniem stresu zimna (ryc. 2.3.2). Takie kryterium wyznaczania dni z dużym stresem gorąca powoduje, że jest ich niewiele, ale są to skrajnie upalne dni w roku.

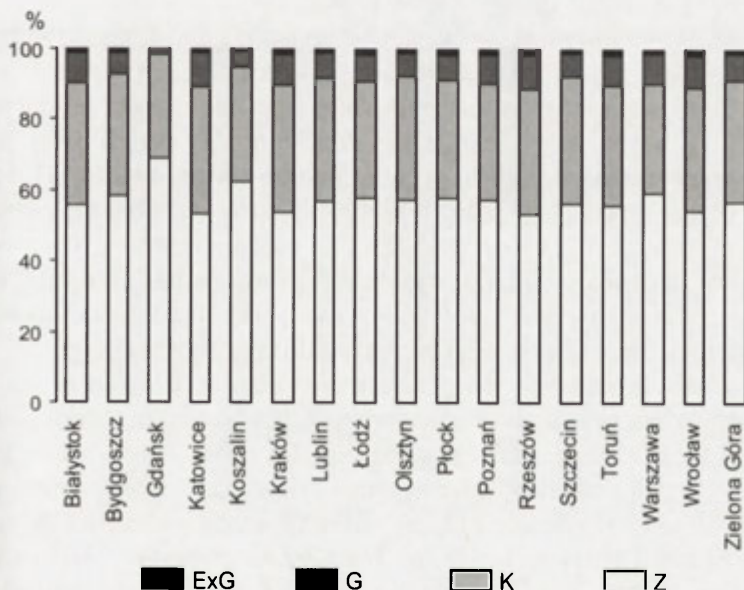
Wyniki metaanalizy zgonów z ogółu przyczyn i na choroby układu krążenia osób powyżej 65 roku życia w poszczególnych rodzajach odczucia termicznego w porównaniu do warunków termoneutralnych w miastach o różnej średniej rocznej temperaturze powietrza i położonych w różnych regionach Polski przedstawiono na rycinach 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5.

We wszystkich miastach Polski zwiększoną umieralność notowano w skrajnych warunkach termicznych: „bardzo gorąco” oraz „bardzo zimno”. Największe ryzyko względne zgonu (RR) w warunkach dużego natężenia



Ryc. 2.3.1. Częstość poszczególnych rodzajów odczucia termicznego według skali temperatury efektywnej (TE) w poszczególnych miastach Polski w latach 1993–2002

Odczucie ciepłne: BG – bardzo gorąco, G – gorąco, C – ciepło, K – komfort, CH – chłodno, Z – zimno, BZ – bardzo zimno



Ryc. 2.3.2. Częstość poszczególnych rodzajów stresu termicznego według wskaźnika PhS w poszczególnych miastach Polski w latach 1993–2002

Natężenie stresu zimna i gorąca: ExG – duże natężenie stresu gorąca, G – znaczne natężenie stresu gorąca, K – warunki termoneutralne, Z – znaczne natężenie stresu zimna

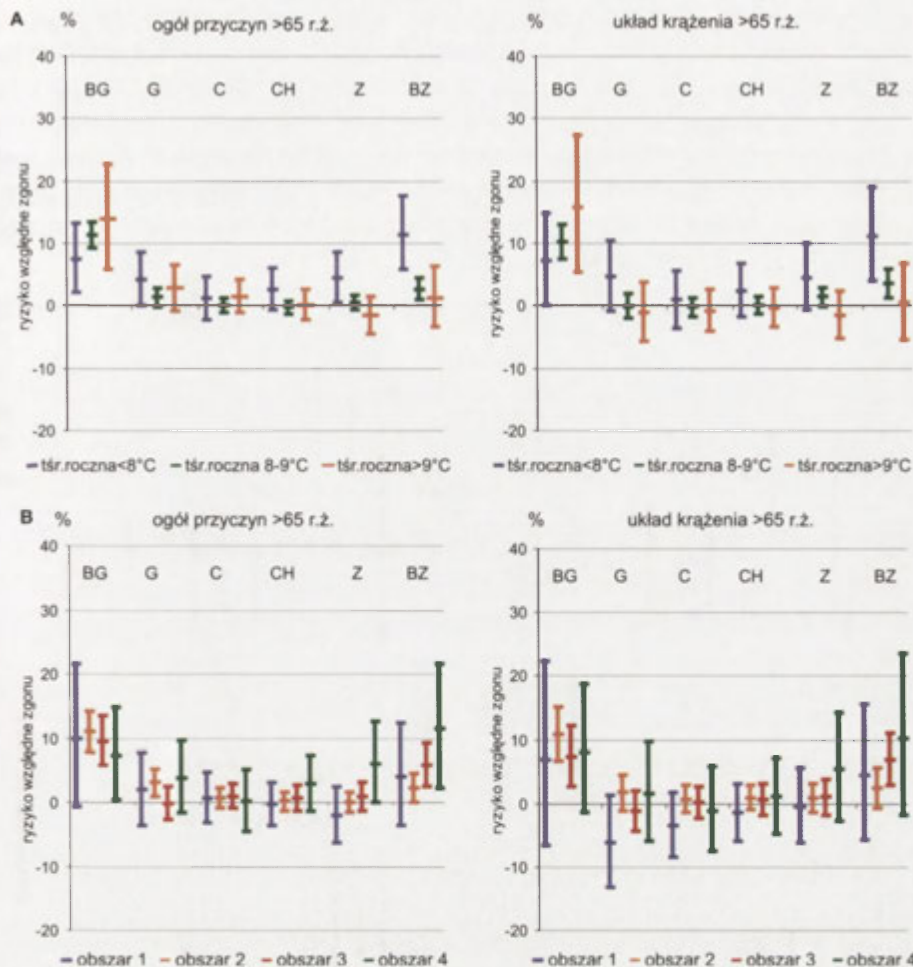
stresu gorąca cechuje miasta o średniej rocznej temperaturze powietrza 8–9°C i wynosi 1,25 w stosunku do warunków komfortu termicznego (ryc. 2.3.4). Najmniejsza liczba zgonów w warunkach stresu gorąca występuje w miastach położonych w północno-wschodnim (4), najchłodniejszym obszarze Polski, gdzie ryzyko względne wynosi jedynie 1,02 (0,83–1,24). Obszar ten jednakże cechuje się najwyższym ryzykiem względnym zgonu z ogółu przyczyn, wynoszącym 1,12 (1,02–1,22) w warunkach „bardzo zimno” (ryc. 2.3.3). Z kolei w najcieplejszych miastach, o średniej rocznej temperaturze powietrza powyżej 9°C, skrajnie zimno nie powoduje żadnego wzrostu ryzyka zgonu, które wynosi tyle co w warunkach referencyjnych, czyli 1,00 (0,95–1,07) w przypadku ogółu przyczyn zgonów i 1,01 (0,97–1,06) przy zgonach z powodu chorób układu krążenia (ryc. 2.3.3).

W miastach o temperaturze powietrza poniżej 8°C (Białystok, Olsztyn, Lublin) w warunkach skrajnie gorących wzrost umieralności niezależnie od analizowanego wskaźnika bioklimatycznego wynosi 7–9%. W miastach nieco cieplejszych ( $t_{sr}$  8–9°C) waha się od 10% (TE) do 25% (PhS), a w miastach najcieplejszych od 14% (TE) do 25% (PhS).

Wzrost liczby zgonów w stosunku do warunków komfortu termicznego w przypadku skrajnego zimna wynosi w opisanych grupach miast odpowiednio: 8–11%, około 3%, 0,5–3,5% (w przypadku miast najcieplejszych – nieistotny statystycznie), jest więc znacznie niższy w porównaniu z warunkami gorąca i o mniejszym zakresie.

W dniach z odczuciem termicznym od „gorąco” do „zimno” (wyznaczonym według TE) różnica ryzyka względnego zgonu w porównaniu z komfortem termicznym nie jest duża (z jednym wyjątkiem jest nieistotna statystycznie) i zawiera się w granicach od -6% (zgony na choroby układu krążenia, przy odczuciu „gorąco” w obszarze nadmorskim (1) do +6% (zgony z ogółu przyczyn, przy odczuciu „zimno”, obszar północno-wschodni (4) (ryc. 2.3.3). W większości przypadków notowany jest wzrost liczby zgonów z ogółu przyczyn, wyjątkiem jest odczucie „chłodu” i „zimna”, w czasie którego w miastach położonych nad morzem notowana jest mniejsza umieralność niż w warunkach komfortu termicznego.

Na wykresach zaznaczono procentowy wzrost umieralności (wraz z 95% przedziałem ufności) związany z występowaniem np. danego rodzaju odczucia termicznego, masy powietrza, fali upałów lub zimna w porównaniu z warunkami referencyjnymi, które oznaczają odpowiednio: warunki termoneutralne, powietrze polarne morskie stare, okres bez fal upałów i zimna. Kolorami zaznaczono różne obszary kraju (tabele 2.1.1 i 2.1.2). Znaczniki powyżej 0 na osi Y oznaczają wzrost ryzyka zgonu, poniżej – jego spadek. Cały słupek nad osią X – oznacza istotny statystycznie (na poziomie 0,05) wzrost ryzyka zgonu, cały słupek poniżej osi X – oznacza istotny statystycznie spadek ryzyka zgonu, a przecięcie słupka z osią X oznacza brak istotności statystycznej wyniku analizy w danym przypadku.

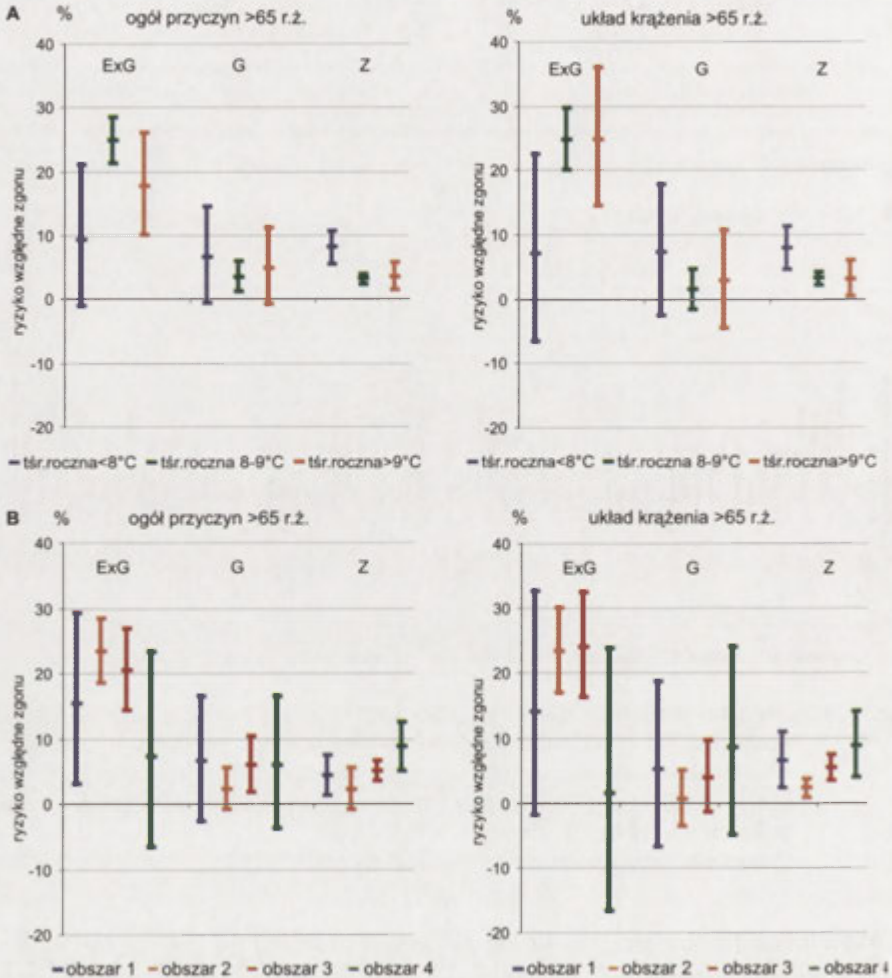


Ryc. 2.3.3. Ryzyko względne zgonu z ogółu przyczyn i z powodu chorób układu krążenia (%) w rodzajach odczucia termicznego wg TE w porównaniu z warunkami komfortu termicznego. Metaanaliza umiæralności w miastach w zależności od średniej rocznej temperatury powietrza (A) i ich położenia w różnych obszarach Polski (B)

Oznaczenia rodzaju odczucia ciepłego jak na ryc. 2.3.1, nazwy obszarów w tab. 2.1.2

Niewielka liczba przypadków dużego i znacznego natężenia stresu gorąca wyznaczonego na podstawie wskaźnika stresu termofizjologicznego ( $PhS$ ) powoduje, że ryzyko względne zgonu przy dużym natężeniu stresu gorąca jest w większości przypadków znacznie wyższe od notowanego w przypadku odczucia „bardzo gorąco” według TE. W takich warunkach największy wzrost ogólnej liczby zgonów i w grupie chorób układu krążenia cechuje miasta o średniej rocznej temperaturze powietrza 8–9°C (+25%) oraz miasta leżące w centralnej i południowej Polsce (obszar 2 i 3).

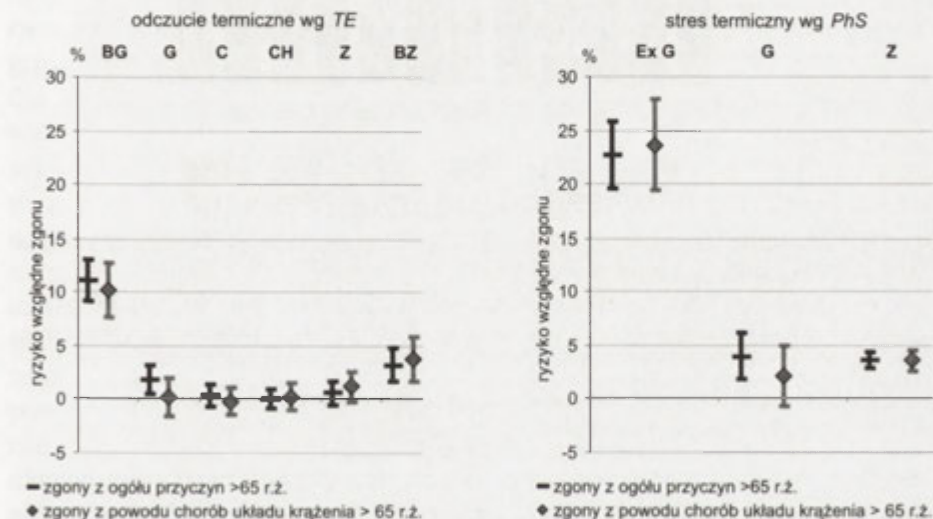
Niestety mniejsza liczba dni branych pod uwagę w obliczeniach jest przyczyną większej przypadkowości, szerokiego przedziału ufności dla ryzyka względnego zgonu, a tym samym braku istotności statystycznej widu wyników, zwłaszcza zależności umieralności od znacznego natężenia stresu gorąca (ryc. 2.3.4), w którym czasami ryzyko względne zgonu jest mniejsze niż w warunkach termoneutralnych. Z kolei przy szerszym przedziale stresu zimna ryzyko zgonu jest mniejsze niż w warunkach „barczo zimno”, choć istotne statystycznie.



Ryc. 2.3.4. Ryzyko względne zgonu z ogółu przyczyn i z powodu chorób układu krążenia (%) w zależności od stresu termicznego wg PhS w porównaniu z warunkami termoneutralnymi. Metaanaliza umieralności w miastach w zależności od średniej rocznej temperatury powietrza (A) i ich położenia w różnych obszarach Polski (B)

Oznaczenia rodzaju stresu termicznego jak na ryc. 2.3.2., nazwy obszarów w tab. 2.1.2

Metaanaliza liczby zgonów we wszystkich analizowanych miastach, niezależnie od temperatury powietrza charakterystycznej dla danego miasta czy położenia na danym obszarze, wykazała istotny statystycznie i bardzo wyraźny wzrost liczby zgonów w okresach, gdy występują warunki inne niż termoneutralne (według wskaźnika stresu termofizjologicznego *PhS*). Jedyny wyjątek stanowi umieralność na choroby układu krążenia po dniu ze znacznym natężeniem stresu gorąca (ryc. 2.3.5B). Średnio w Polsce najwyższe ryzyko względne zgonu towarzyszy dużemu stresowi gorąca i wynosi (według *PhS*) dla zgonów z ogółu przyczyn 1,23 (1,19–1,26) w stosunku do warunków termoneutralnych i 1,24 (1,19–1,28) dla zgonów z powodu chorób układu krążenia. Według *TE* ryzyko względne zgonu wynosi odpowiednio 1,11 (1,09–1,13) i 1,10 (1,08–1,13) (ryc. 2.3.5A). Wzrost liczby zgonów w dniach ze znacznym stresem zimna wyniósł, dla obu rodzajów rozpatrywanych przyczyn, około 3,5%.

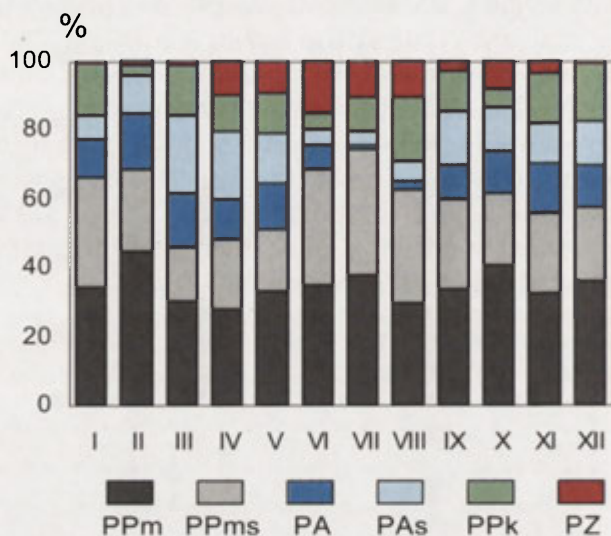


Ryc. 2.3.5. Ryzyko względne zgonu z ogółu przyczyn i z powodu chorób układu krążenia wśród osób powyżej 65 roku życia (%) w rodzajach odczucia termicznego wg *TE* i stresu termicznego wg *PhS* w porównaniu z warunkami termoneutralnymi. Metaanaliza z 17 wybranych miast Polski  
 Oznaczenia rodzaju odczucia ciepłego i stresu termicznego jak na ryc. 2.3.1 i 2.3.2.

## 2.4. Masy powietrza a zgony

Najczęściej obserwowaną masą powietrza w Polsce jest masa powietrza polarnego morskiego świeżego (PPm), najrzadziej – masa powietrza zwrotnikowego (PZ), która występuje zazwyczaj od kwietnia do sierpnia (ryc. 2.4.1). Wiosną zaznacza się spadek częstości napływu powietrza polarnego morskiego świeżego, wzrasta zaś wyraźnie udział powietrza arktycznego

starego (PAs). Latem zdecydowanie dominuje powietrze polarne morskie stare (PPms) i świeże (PPm) oraz powietrze zwrotnikowe. Jesienią nad Polską centralną rzadziej notuje się powietrze polarne morskie stare, częściej natomiast – powietrze arktyczne (PA). Zimą wzrasta udział powietrza polarne kontynentalnego (PPk), zaś nie występuje powietrze zwrotnikowe.



Ryc. 2.4.1. Średnia częstość poszczególnych rodzajów mas powietrza w roku w Warszawie w latach 1993–2002

Powietrze: PPm – polarne morskie świeże, PPms – polarne morskie stare, PA – arktyczne świeże, PAs – arktyczne stare, PPk – polarne kontynentalne, PZ – zwrotnikowe

Średnią roczną częstość poszczególnych mas powietrza występujących w Warszawie w latach 1993–2002 przedstawiono poniżej. W poszczególnych latach częstość ta może się dość znacznie różnić:

Częstość	Masa powietrza					
	PPm	PPms	PAs	PPk	PA	PZ
średnia (%)	34,6	25,4	11,9	11,4	10,5	6,1
minimalna (%)	25,5	19,4	8,8	7,1	8,0	4,4
rok	1996	1995	1998	2000 2001	1993	1997
maksymalna (%)	39,2	32,0	17,8	18,9	14,8	9,6
rok	2002	1994	1995	1996	2001	2000

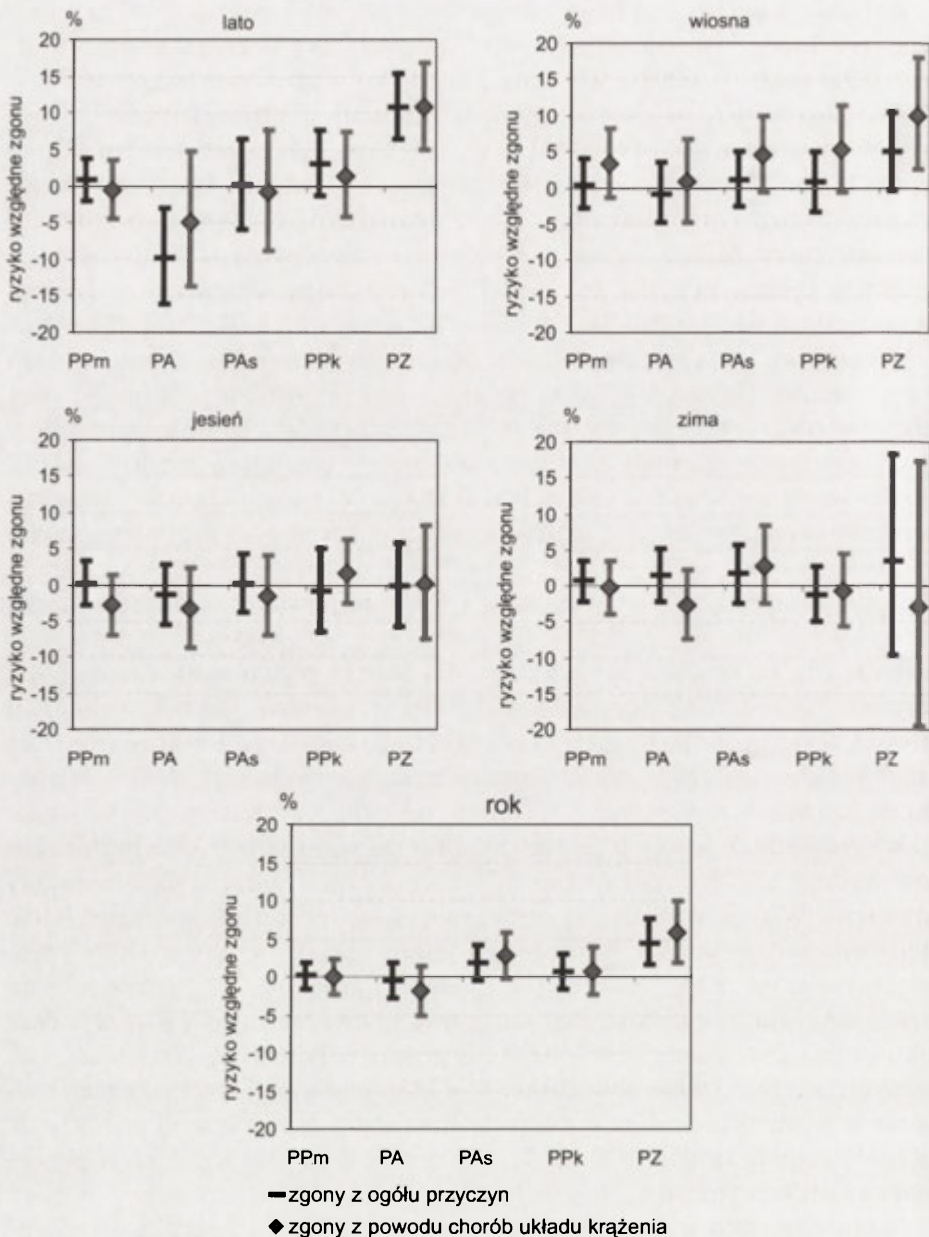


Wyjątkowy był np. rok 1996 z 26-procentową częstością powietrza polarnego morskigo świeżego (PPm) i aż 19% powietrza polarnego kontynentalnego (PPk) oraz rok 2000 z 9,6% dni z powietrzem zwrotnikowym (PZ).

Za referencyjną masę powietrza w analizie zależności umieralności przyjęto powietrze polarne morskie stare (PPms), ponieważ jest ona typowa dla Polski, a wartości elementów meteorologicznych charakteryzujące ją są zbliżone do średnich z pięciu pozostałych mas. W związku z dużym sezonowym zróżnicowaniem częstości mas powietrza w Polsce oprócz analizy w ujęciu rocznym dokonano obliczeń z uproszczonym podziałem na pory roku: wiosna (III–V), lato (VI–VIII), jesień (IX–XI), zima (XII–II).

Wiosną we wszystkich masach powietrza umieralność jest wyższa w porównaniu z masą powietrza polarnego morskigo starego (masą referencyjną) (ryc. 2.4.2), jednak statystycznie istotny jest jedynie wzrost liczby zgonów z powodu chorób układu krążenia w powietrzu zwrotnikowym. Ryzyko względne w masie PZ wynosi 1,10 (1,03–1,18). Latem w powietrzu zwrotnikowym istotny jest wzrost umieralności w obu rozpatrywanych grupach zgonów i wynosi +11%. Świadczy to o szczególnie niekorzystnym dla ludzi środowisku termicznym w tej masie powietrza. Ponadto latem widoczny jest istotny spadek (o 10%) dziennej liczby zgonów w powietrzu arktycznym, co dowodzi korzystnego dla ludzi wpływu ochłodzenia jakie przynosi ta najchłodniejsza latem masa powietrza. Szeroki przedział ufności obliczony dla powietrza arktycznego świeżego i starego wynika z małej liczby dni z tymi masami powietrza w porze letniej. Jesień odznacza się bardzo wyrównanym i zbliżonym do 1,00 ryzykiem względnym zgonu we wszystkich masach powietrza, dlatego w tej porze roku liczba zgonów wydaje się być niezależna od zalegającej w danym okresie masy powietrza. W najchłodniejszej porze roku zwiększona umieralność (choć nieistotna statystycznie) cechuje powietrze arktyczne stare. Duży przedział ufności ryzyka zgonu w masie powietrza zwrotnikowego zimą wynika przede wszystkim z bardzo rzadkiego występowania masy PZ w tej porze roku (6 dni z w latach 1993–2002 od grudnia do lutego), ale też z gwałtownych ociepleń, jakie powoduje PZ, a które zimą są bardzo niebezpieczne dla organizmu: średnia dobową temperatura powietrza od grudnia do lutego w latach 1993–2002 to  $-1,0^{\circ}\text{C}$ , zaś średnia temperatura w powietrzu zwrotnikowym z owych 6 dni wynosi  $7,1^{\circ}\text{C}$ .

Ogólnie w roku jedyną masą powietrza, w której umieralność rośnie istotnie jest powietrze zwrotnikowe (ryc. 2.4.2). Liczba zgonów z ogółu przyczyn wzrasta podczas jego napływu o 4,5%, zaś zgonów w grupie chorób układu krążenia o 5,8%. Zwiększoną umieralność (choć nieistotną statystycznie) notuje się także w powietrzu arktycznym starym.



Ryc. 2.4.2. Ryzyko względne zgonu z ogółu przyczyn i z powodu chorób układu krążenia wśród osób powyżej 65 roku życia (%) w poszczególnych rodzajach mas powietrza w porównaniu z ryzykiem w masie powietrza polarnego morskigo starego (PPms). Warszawa, 1993–1996 i 1999–2002. Oznaczenia mas powietrza jak na ryc. 2.4.1.

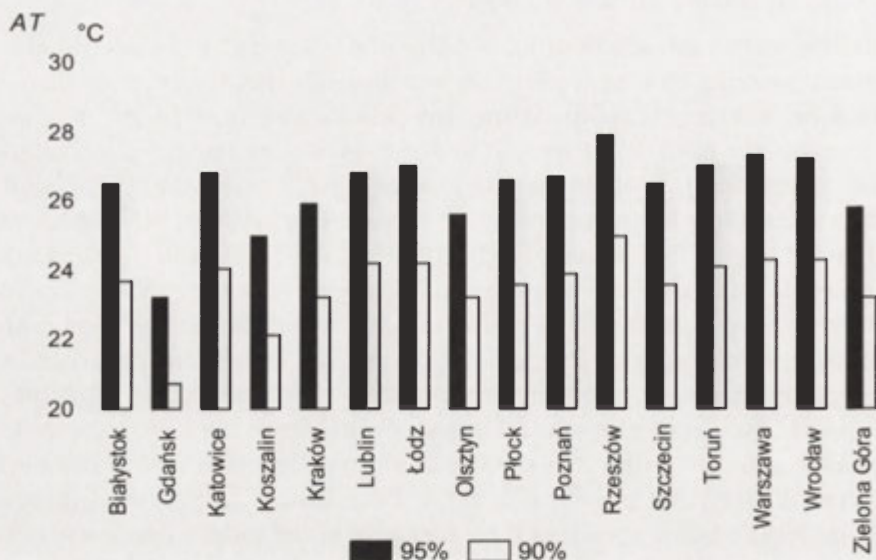
## 2.5. Fale upałów i zimna a zgony

Zdefiniowanie fali upałów jako okresu z temperaturą maksymalną powietrza powyżej 30°C powoduje, że wszelkie okresy gorące, pojawiające się wiosną, w których temperatura nie przekracza tego progu, a które jako pierwsze w roku po okresie chłodu stają się też bardzo obciążające dla ludzi, nie zostają ujęte w analizie. Dodatkowo wskutek dużego zróżnicowania warunków klimatycznych w Polsce przyjęcie progu 30°C sprawia, że np. w Gdańsku, Koszalinie czy Olsztynie fal upałów wcale się nie notuje, a przecież tam także istnieją warunki, które mieszkańcy zaadaptowani do nieco niższej temperatury powietrza odczuwają jako upały. Podobnie dzieje się z falami zimna. Przyjęcie uznanego za kryterium dnia bardzo mroźnego temperatury maksymalnej poniżej -10°C spowoduje, że w miastach położonych nad morzem fal zimna praktycznie nie będzie się notować. Także „zimno” organizm człowieka zaczyna odczuwać w innej temperaturze w Białymstoku, a w innej w Poznaniu. Dlatego w niniejszej pracy, podobnie jak w systemach ostrzegania przed falami upałów w USA (Kalkstein i inni, 1996b), Kanadzie (Smoyer-Tomic i Rainham, 2001) czy we Włoszech (Michelozzi i inni, 2004), przyjęto definicję fali upałów opartą na częstości występowania dni, w których temperatura pozorną ( $AT$  – patrz część II, rozdz. 5) osiąga wartość mieszczącą się w 5% najwyższych wartości. W podobny sposób zdefiniowano falę zimna jako okres, w którym wartość temperatury minimalnej powietrza znajdzie się w 5% najniższych wartości z dłuższego okresu.

Z powodu aklimatyzacji organizmu do warunków gorąca analizę umiæralności w falach upałów przeprowadzono z podziałem na fale wiosenne (rozpoczynające się w maju lub czerwcu), lipcowe i sierpniowe.

Przyjęta definicja fali upałów jest następująca: minimum 6-dniowy (5-dniowy w przypadku fali upałów występującej w maju lub w czerwcu) okres z temperaturą pozorną ( $AT$ ) z godz. 12 UTC powyżej 95 percentyla (wartość, której nie przekracza 95% wyników), rozpoczynający się wzrostem temperatury o minimum 2°C w stosunku do dnia poprzedniego. W możliwych przerwach jednodniowych wartość  $AT$  nie może być niższa od 90 percentyla. Wartości 90 i 95 percentyla temperatury pozornej w analizowanych miastach przedstawiono na rycinie 2.5.1.

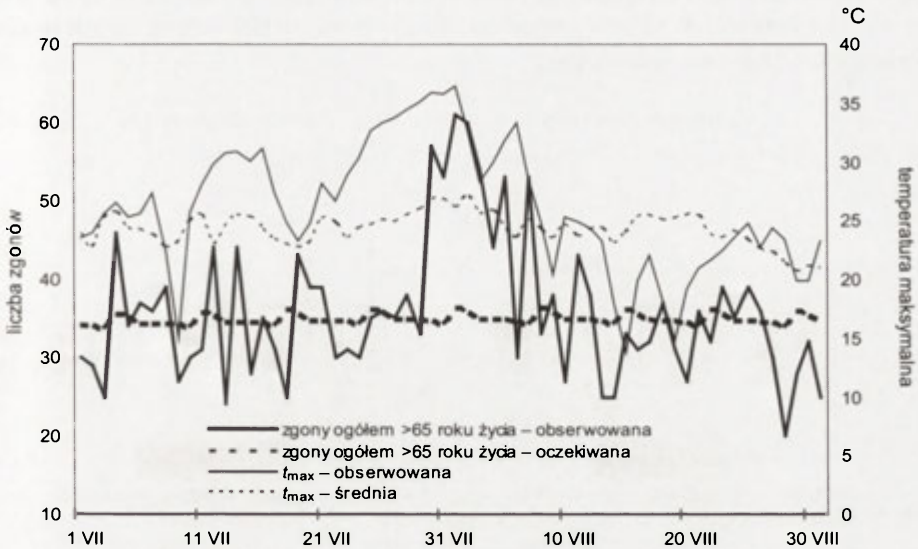
Wartość 95% progu temperatury pozornej, który przy spełnieniu pozostałych warunków wyznacza fale upałów, wynosi od 23,2°C w Gdańsku do 27,9°C w Rzeszowie, najczęściej przyjmując wartość około 26–27°C, czyli średnio o 3–4°C mniej od powszechnie stosowanego progu 30°C. Najwyższy 90 i 95% próg temperatury pozornej nie występuje w najcieplejszym mieście z analizowanych (Wrocław), ale w Rzeszowie – mieście o bardziej kontynentalnych cechach klimatu.



Ryc. 2.5.1. Wartości 90 i 95 percentyla temperatury pozornej (AT) z godz. 12 UTC w poszczególnych miastach Polski w latach 1993–1996 i 1999–2002

Fale upałów zdefiniowane w powyższy sposób występują średnio raz na 16 miesięcy. W latach: 1993–1996 oraz 1999–2002 najmniej fal upałów zanotowano w Gdańsku (2), najwięcej w Olsztynie (9). Najczęściej były to okresy 6-dniowe, tylko 17% notowanych fal upałów trwało dłużej niż 10 dni. Najdłuższa fala upałów, trwająca 21 dni, wystąpiła w Gdańsku w 1994 r. Trzeba dodać, że przełom lipca i sierpnia 1994 był najcieplejszym okresem w ciągu badanego 8-letnia w całym kraju. Nad Polskę napłynęło wtedy początkowo gorące powietrze polarne kontynentalne, a następnie zwrotnikowe, a temperatura maksymalna powietrza przez długi czas przekraczała 30°C.

Fale upałów są okresami pogody najbardziej niekorzystnej dla człowieka, co objawia się najwyższym obserwowanym wzrostem umieralności, zwłaszcza z powodu chorób układu krążenia. Na przykład w czasie dwóch fal upałów w Warszawie latem 1994 r. (10–17 VII oraz 23 VII–7 VIII), przedzielonych krótkim okresem z niższą temperaturą powietrza, zanotowano wśród osób powyżej 65 roku życia 132 zgony więcej ponad wartość oczekiwaną dla tego okresu (w tym 77 na choroby układu krążenia) (ryc. 2.5.2). Jednakże w ciągu 30 dni po fali upałów pojawiło się naturalne zmniejszenie liczby zgonów o 85 (z powodu chorób układu krążenia o 43). W sumie więc liczbę ofiar tej fali upałów w grupie osób powyżej 65 roku życia w Warszawie ocenić można na 47, w tym 34 z powodu chorób układu krążenia.



Ryc. 2.5.2. Temperatura maksymalna powietrza ( $t_{max}$ ) oraz liczba zgonów z ogółu przyczyn w Warszawie w okresie od 1 lipca do 31 sierpnia 1994 r. (fale upałów: 10–17 lipca oraz 23 lipca–7 sierpnia)

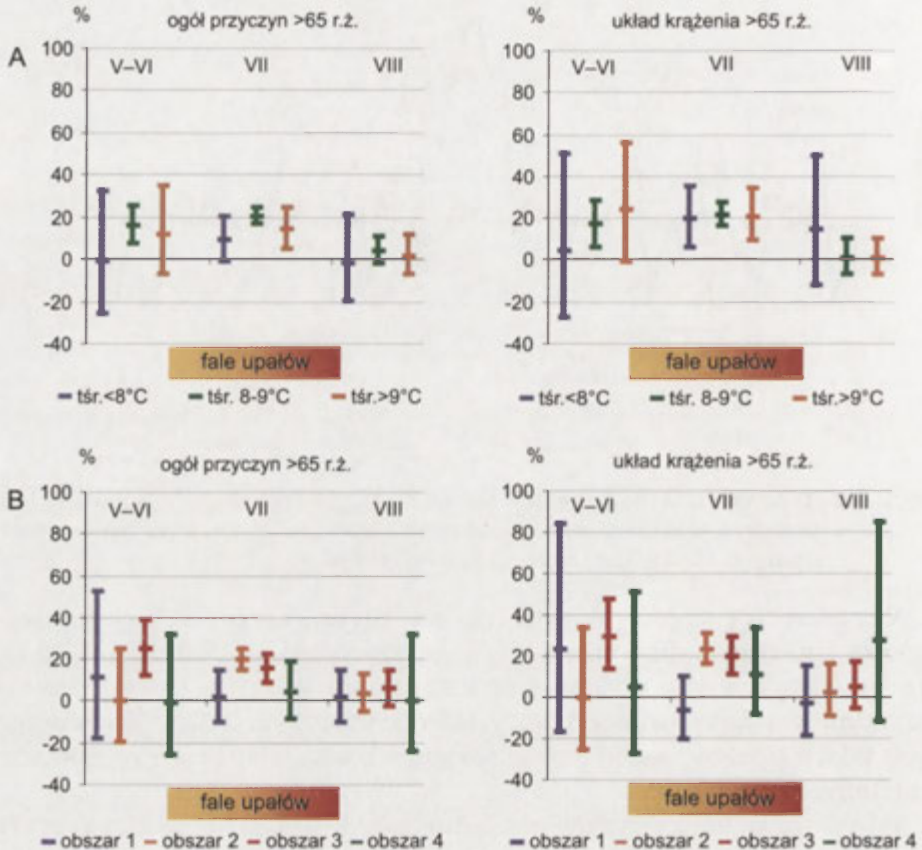
Wiosenne fale upałów, występujące w maju i czerwcu, cechuje największa zmienność umieralności (najszerze przedziały ufności). Z kolei istotny statystycznie wzrost umieralności zanotowany został przede wszystkim w falach rozpoczynających się w lipcu (ryc. 2.5.3). W sierpniowych falach upałów, żaden z obserwowanych wzrostów liczby zgonów nie był istotny statystycznie.

Najwyższe w Polsce ryzyko względne zgonu wynosi 1,30 (1,14–1,47) w odniesieniu do zgonów z powodu chorób układu krążenia i 1,25 (1,13–1,39) dla ogółu przyczyn. Występuje ono w czasie wiosennych fal upałów w miastach położonych na południu Polski (3) (ryc. 2.5.3B). Na północy kraju z kolei, w obszarze nadmorskim (1), najszerze przedziały ufności dla ryzyka względnego zgonu charakteryzują wiosnę, co świadczy o tym, że notowano tam największą zmienność umieralności. Ryzyko względne zgonu, choć nieistotne statystycznie, wynosi tam: z ogółu przyczyn 1,12 (0,82–1,53), a z powodu chorób układu krążenia 1,24 (0,83–1,84).

Nadejście fali upałów w lipcu w większości miast Polski pociąga za sobą wzrost liczby zgonów z powodu chorób układu krążenia: od 11% w miastach w północno-wschodniej Polski do 20–24% w pozostałej części kraju z wyjątkiem Pomorza.

Nad morzem po wiosennych falach upałów, upały lipcowe i sierpniowe wydają się nie oddziaływać negatywnie na ludzi, gdyż notuje się w nich jedynie niewielki wzrost liczby zgonów z ogółu przyczyn oraz spadek

umieralności w grupie chorób układu krążenia (ryc. 2.5.3A). W sierpniowych falach upałów żaden z obserwowanych wzrostów liczby zgonów nie osiąga istotności statystycznej.



Ryc. 2.5.3. Ryzyko względne zgonu z ogółu przyczyn i z powodu chorób układu krążenia (%) w falach upałów w porównaniu z odpowiadającymi im okresami bez fal upałów (wiosną – V–VI, w lipcu – VII i w sierpniu – VIII). Metaanaliza umieralności w miastach w zależności od średniej rocznej temperatury powietrza (A) i położenia w różnych obszarach Polski (B). Nazwy obszarów w tab. 2.1.2

Średnio w całej Polsce istotny wzrost umieralności notowany jest w falach upałów występujących od maja do lipca i wynosi w zależności od przyczyny od 15 do 22% (tab. 2.5.1).

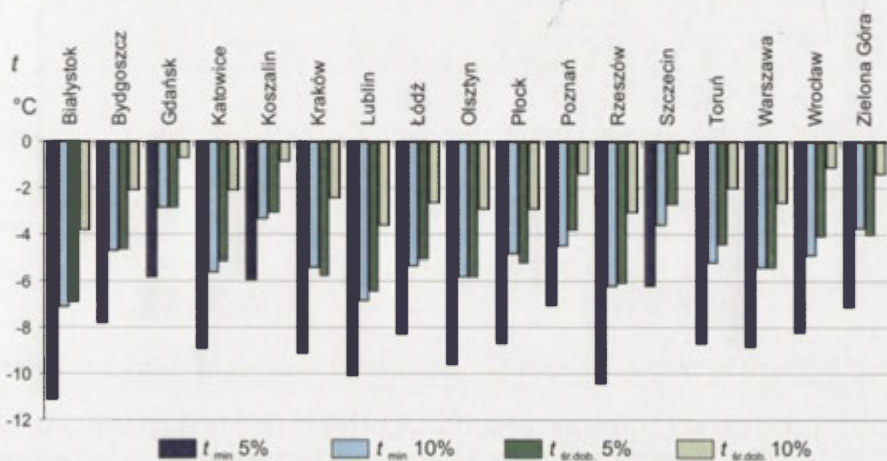
Falę zimna zdefiniowano następująco: minimum 6-dniowy okres z minimalną ( $t_{\min}$ ) oraz średnią dobową temperaturą powietrza ( $t_{\text{sr}}$ ) poniżej 5 percentyla (wartość, której nie przekracza 5% wyników) rozpoczynający się spadkiem temperatury minimalnej o przynajmniej 2°C w stosunku do dnia poprzedniego. W możliwych przerwach jednodniowych wartość  $t_{\min}$

i  $t_{sr}$  nie przekracza 10 percentyla. Wartości 5 i 10 percentyla minimalnej i średniej dobowej temperatury powietrza we wszystkich analizowanych miastach przedstawiono na rycinie 2.5.4.

Tabela 2.5.1. Ryzyko względne zgonu wraz z 95-procentowymi przedziałami ufności w falach upałów w porównaniu z odpowiadającymi im okresami bez fal upałów. Metaanaliza z 16 wybranych miast Polski.

Fale upałów	Ryzyko względne zgonu z ogółu przyczyn	Ryzyko względne zgonu z powodu chorób układu krążenia
Wiosenne	1,15 (1,07–1,23)*	1,18 (1,08–1,28)*
Lipcowe	1,19 (1,16–1,22)*	1,22 (1,17–1,27)*
Sierpniowe	1,03 (0,98–1,09)	1,01 (0,95–1,08)

\* – wynik istotny na poziomie 95%.



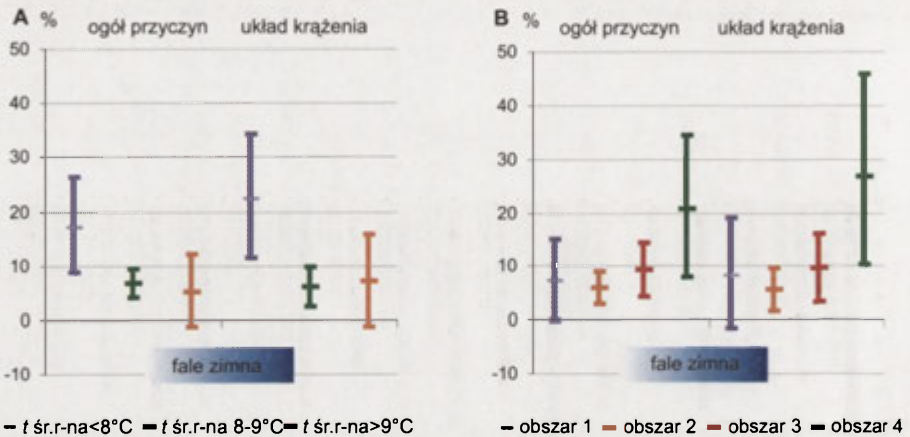
Ryc. 2.5.4. Wartości 5 i 10 percentyla temperatury minimalnej ( $t_{min}$ ) oraz średniej dobowej temperatury powietrza ( $t_{sr.dob}$ ) w poszczególnych miastach Polski w latach 1993–1996 i 1999–2002

Wartość 5% progu temperatury minimalnej, który przy spełnieniu pozostałych warunków wyznacza fale zimna, waha się od około  $-6^{\circ}\text{C}$  w Gdańsku, Koszalinie i Szczecinie do  $-11,1^{\circ}\text{C}$  w Białymstoku. Jedynie w Białymstoku, Rzeszowie i Lublinie wartość ta spełnia kryterium progu temperatury minimalnej, który klasyfikuje dni jak bardzo mroźne ( $t_{max} < -10^{\circ}\text{C}$ ), w pozostałych miastach jest to wartość wyższa.

W analizowanym okresie najmniej fal zimna zanotowano w Katowicach (4), najwięcej w Lublinie (8). Były to najczęściej okresy 6–8-dniowe (w sumie 56% wszystkich fal zimna), ale aż 25% fal zimna trwało 11 dni i dłużej. Najdłuższą falę zimna zanotowano w całej Polsce na przełomie roku 1996 i 1997. W Koszalinie, Łodzi i Warszawie trwała ona rekordowo

długo, bo aż 24 dni. Był to nie tylko najdłuższy okres zimna, ale także najbardziej srogi w badanym okresie: 27 grudnia 1996 r. w Warszawie temperatura minimalna spadła do  $-21,6^{\circ}\text{C}$ , zaś w Białymstoku do  $-29,3^{\circ}\text{C}$ .

We wszystkich analizowanych miastach występuje wzrost liczby zgonów w falach zimna, w przeciwieństwie do fal upałów, w których czasami obserwuje się jej spadek (ryc. 2.5.5). Także przedziały ufności ryzyka zgonu w falach zimna są mniejsze niż w falach upałów, co świadczy o większej jednorodności i istotności wyników. Średnio w całej Polsce wzrost liczby zgonów z ogółu przyczyn i z powodu chorób układu krążenia w falach zimna, po uwzględnieniu zmienności sezonowej umieralności, jest podobny i wynosi: 7,6% oraz 7,9%.



Ryc. 2.5.5. Ryzyko względne zgonu z ogółu przyczyn i z powodu chorób układu krążenia (%) w falach zimna w porównaniu z odpowiadającymi im okresami bez fal zimna. Metaanaliza umieralności z jednodniowym opóźnieniem w miastach w zależności od średniej rocznej temperatury powietrza (A) i ich położenia w różnych obszarach Polski (B)

Nazwy obszarów w tab. 2.1.2

Ryzyko względne zgonu z ogółu przyczyn w falach zimna waha się od 1,05 (0,99–1,12) w najcieplejszych miastach Polski do 1,21 (1,08–1,35) w najchłodniejszych. Ryzyko względne zgonu z powodu chorób układu krążenia jest wyższe i wynosi od 1,06 (1,02–1,10) na obszarze środkowej Polski (2) do 1,27 (1,10–1,46) na obszarze północno-wschodnim (4).

Największy wzrost umieralności w falach zimna notuje się w najzimniejszych miastach Polski (Białystok, Lublin, Olsztyn), najmniejszy zaś i statystycznie nieistotny – w miastach zakwalifikowanych jako najcieplejsze oraz w miastach leżących nad morzem (por. tabele 2.1.1 i 2.1.2). Przypomina to prawidłowość stwierdzoną w przypadku fal upałów, które największy wzrost umieralności powodowały w miastach najcieplejszych.



Powyższe wyniki mogą świadczyć o istnieniu pewnego uniwersalnego modelu zachowań Polaków w okresach skrajnego zimna i gorąca, który niestety nie stanowi wystarczającego zabezpieczenia przed negatywnym oddziaływaniem środowiska termicznego.

Dokładne poznanie wpływu pogody na częstość zgonów w różnych obszarach kraju, a tym samym w różnych warunkach bioklimatycznych oraz coraz dokładniejsze prognozy pogody umożliwiają wprowadzenie systemu ostrzeżeń przed silnie obciążającymi warunkami atmosferycznymi, zwłaszcza przed falami gorąca. System taki działa już w wielu miastach Europy Zachodniej i Ameryki Północnej, latem ostrzegając przed niebezpieczeństwem upałów i smogiem fotochemicznym, zimą zaś przed silnymi mrozami i smogiem kwaśnym, co ma szczególne znaczenie dla ludzi chorych i w podeszłym wieku.



## BIBLIOGRAFIA

---

- Aihara H., Aihara M., 1996, *Influence of meteorological factors on bronchial asthma deaths*, [w:] *Proceedings of 14th International Congress of Biometeorology, September 1-8, 1996, Ljubljana, Slovenia*, Biometeorology, 14, 2, 3, s. 11-16.
- Aikman H., 1997, *The association between arthritis and the weather*, International Journal of Biometeorology, 40, 4, s. 192-199.
- Aleksandrowicz J., 1971, *Biometeorologia w służbie zdrowia*, Nauka dla Wszystkich, 147, PAN, Oddział w Krakowie, Kraków.
- Andrey J., Knapper Ch., 2003, *Motorists' perceptions of and responses to weather hazards*, [w:] Andrey J., Knapper Ch. (red.), *Weather and Transportation in Canada*, Department of Geography Publication Series, University of Waterloo, s. 95-118.
- Andrey J., Mills B.N., Vandermolten J., 2003, *Road safety and weather information*, [w:] Andrey J., Knapper Ch. (red.), *Weather and Transportation in Canada*, Department of Geography Publication Series, University of Waterloo, s. 11-65.
- Assmann D., 1955, *Die Wetterfühligkeit des Menschen. Ursachen und Pathogenese der biologischen Wetterwirkung*, Gustav Fischer Verlag, Jena.
- , 1963, *Die Wetterfühligkeit des Menschen*, Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Auliciems A., Frost D., 1989, *Temperature and cardiovascular deaths in Montreal*, International Journal of Biometeorology, 33, 3, s. 151-156.
- Auliciems A., Skinner J.L., 1989, *Cardiovascular deaths and temperature in subtropical Brisbane*, International Journal of Biometeorology, 33, 4, s. 215-221.
- Baranowska M., 1968, *Badania wpływu pogody na chorych z nadciśnieniem tętniczym*, Materiały PIHM, 387 (maszynopis).
- , 1975, *Meteorotropizm kolizji i wypadków drogowych w komunikacji miejskiej miasta stołecznego Warszawy*, Gazeta Obserwatora IMGW, 28, 10, s. 3-7.
- , 1979, *Biometeorologiczna osłona ruchu drogowego*, Przegląd Geofizyczny, 24(32), 1, s. 65-68.

- , 1987, *Klasyfikacja układów i frontów dla potrzeb badań korelacyjnych z dobową liczbą kolizji i wypadków w komunikacji miejskiej Warszawy*, Raport grupy tematycznej R-11.2.3, zadanie 2, IMGW, Warszawa (maszynopis).
- Baranowska M., Boniecka-Żółcik H., Gurba A., 1986, *Weryfikacja skali klimatu odczuwalnego dla Polski*, Przegląd Geofizyczny, 31, 1, s. 27-40.
- Baranowska M., Cedzyńska-Ziemia J., 1997, *Meteoropatia w świetle wyników badań ankietowych przeprowadzonych wśród wybranych populacji zamieszkałych w warunkach klimatu Polski*, Gazeta Obserwatora IMGW, 46, 3, s. 13-18.
- Baranowska M., Czarniecki W., Grzędziński E., 1968, *Badania wpływu bioklimatycznie uciążliwych dni lata (z uwzględnieniem dni parnych, gorących i upalnych) na dolegliwości podmiotowe osób zdrowych i chorych z nadciśnieniem tętniczym*, Polskie Archiwum Medycyny Wewnętrznej, 41, 3/9, s. 317-324.
- Baranowska M., Gabryl B., 1981, *Biometeorological norm as tolerance interval of man to weather stimuli*, International Journal of Biometeorology, 25, 2, s. 123-126.
- , 1981b, *Próba przyjęcia odchylenia od średniej normalnej jako wskaźnika zakłóceń procesów przystosowawczych organizmu ludzkiego*, Problemy Uzdrawiskowe, 1-4 (159-162), s. 295-300.
- Baranowska M., Gabryl-Wojtach B., 1987, *Biometeorological warning system for municipal traffic safety*, [w:] *Climate and Human Health, Proceedings of the symposium in Leningrad, 22-26 Sep. 1986*, vol. II, World Meteorological Organization, s. 143-148.
- Baranowska M., Gurba A., 1979, *Wyniki badań zależności wypadków drogowych od warunków meteorologicznych i próby praktycznego wyzyskania tych wyników*, Problemy Uzdrawiskowe, 9/10 (143/144), s. 89-99.
- Baranowska M., Janik-Strobel Z., 1973, *Wpływ czynników klimatycznych i pogody na częstość występowania objawów podmiotowych u chorych po zawale serca i po operacji serca*, Balneologia Polska, 18, 4, s. 523-529.
- Baranowska M., Kontowt A., 1969, *Badania wpływu pogody na walenia ciśnienia tętniczego krwi u chorych z nadciśnieniem tętniczym*, Balneologia Polska, 14, 1/2, s. 223-228.
- , 1970, *Czynniki meteorologiczne i ich oddziaływanie na ustrój ludzki*, Polski Tygodnik Lekarski, 25, 39, s. 1473-1475.
- Baranowska M., Wojtach B., Cedzyńska J., Martynuska A., 2000, *Czas reakcji a pogoda. Wyniki eksperymentu pomiarowego MZK z 1984 r. po eliminacji procesu uczenia się*, [w:] *Doskonalenie systemu reformacji biometeorologicznej*, Raport końcowy grupy tematycznej M-15, IMGW, Warszawa (maszynopis).
- Baranowski W., 1936, *Kilka uwag o wpływie czynników atmosferycznych na częstość zgonów*, Polska Gazeta Lekarska, 35, 15, s. 686-687.

- Barnston A.G., 1988, *The effect of weather on mood productivity, and frequency of emotional crisis in a temperate continental climate*, International Journal of Biometeorology, 32, 2, s. 134–143.
- Bejnarowicz J., 1997, *Ewolucja stanu zdrowia Polaków i jego uwarunkowań z uwzględnieniem niektórych porównań międzynarodowych*, Człowiek i Przyroda, 7, KUL, s. 69–75.
- Beer J., Mączak S., 1977, *Naturalne związki bakteriobójcze w lasach sosnowych Konstancina*, Miasto, 27, 10, s. 19–21.
- Bell M.L., Davis D.L., 2001, *Reassessment of the lethal London Fog 1952: Novel indicators of acute and chronic consequences of acute exposure to air pollution*, Environmental Health Perspectives, 109, suppl. 3, s. 389–394.
- Bena E., Hoskovec J., Štikar J., 1964, *Psychologia i fizjologia kierowcy*, WKiŁ, Warszawa.
- Bielecki A., Dąbrowski T., Jaszewski Z., 1974, *Wpływ stanu jonizacji powietrza na żywe organizmy*, Problemy Uzdrowiskowe, 9/10 (87/88), cz. I, s. 69–82.
- Biernacki Z., 1995, *Environmental pollution and the health status of the population in Warsaw*, Geographia Polonica, 64, s. 37–47.
- Biernacki A., Czarniecki W., Grzędziński E., Chełchowski W., 1965, *Badania nad wpływem biometeorologicznym zespołu tzw. parności na ciśnienie tętnicze*, Polskie Archiwum Medycyny Wewnętrznej, 35, 11, s. 1549–1555 (także: Wiadomości Uzdrowiskowe, 1966, 11, 1/2, s. 77–83).
- Błażejczyk K., 1979, *Typologia pogody na potrzeby klimatoterapii*, [w:] Kozłowska-Szczęśna T. (red.), *Problemy bioklimatologii uzdrowiskowej cz. III*, Dokumentacja Geograficzna, 2, s. 12–24.
- , 1983, *Bioklimatyczna ocena i typologia uzdrowisk Polski*, Dokumentacja Geograficzna, 3.
- , 1993, *Wymiana ciepła pomiędzy człowiekiem i otoczeniem w różnych warunkach środowiska geograficznego*, Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 159.
- , 1998, *Promieniowanie słoneczne a gospodarka cieplna organizmu człowieka*, Zeszyty IGiPZ PAN, 51.
- , 2002, *Znaczenie czynników cyrkulacyjnych i lokalnych w kształtowaniu klimatu i bioklimatu aglomeracji warszawskiej*, Dokumentacja Geograficzna, 26.
- , 2003, *Biotermiczne cechy klimatu Polski*, Przegląd Geograficzny, 75, 4, s. 525–543.
- , 2004, *Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce*, Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 192.
- Błażejczyk K., Baranowski J., 2003, *Solar and UV radiation in the Warsaw downtown*, [w:] Kłysik K., Oke T., Fortuniak K., Grimmaud S., Wibig J. (red.), *Proceedings Fifth International Conference on Urban Climate, Łódź, 1–5 Sep.*, Univ. of Łódź, Łódź, s. 263–266.
- Błażejczyk K., Baranowski J., Pisarczyk S., Śmietanka M., 1998, *Wpływ warunków meteorologicznych na zachorowalność mieszkańców*

- Warszawy, Acta Universitatis Lodziensis, Folia Geographica Physica, 3, s. 145–151.
- Błażejczyk K., Baranowski J., Śmietanka M., Pisarczyk S., Szpot M., 2000, *Influence of the human heat balance on respiratory and circulatory diseases*, [w:] de Dear R. J. (red.) *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millennium: Selected Papers from the Conference ICB-ICUC'99*, WMO/TD – 1026, s. 107–111.
- Błażejczyk K., Krawczyk B., 1991, *The influence of climatic conditions on the heat balance of the human body*, International Journal of Biometeorology, 35, 2, s. 103–106.
- Błażejczyk K., Lipska A., 1980, *Warunki akustyczne na terenie Dźwirzyna*, Problemy Uzdrawiskowe, 9, (155), s. 101–108.
- Bogucki J., 1967a, *Nowa typologia pogody dla analizy biometeorologicznych podstaw rytmów biologicznych*, Monografie, Podręczniki, Skrypty WSWF w Poznaniu, Monografie, 21.
- , 1967b, *Wstępne uwagi z badań rytmu dobowego wypadków drogowych w mieście Poznaniu*, Monografie, Podręczniki, Skrypty WSWF w Poznaniu, Monografie, 19.
- , 1988, *Wstęp do użytkowania rekreacyjnego lasu, wybrane zagadnienia z ekologii i sozologii*, Monografie, Podręczniki, Skrypty AWF w Poznaniu, Skrypty, 112.
- Bogucki J. (red.), 1999, *Biometeorologia turystyki i rekreacji*, AWF w Poznaniu, Podręczniki, 48.
- Bogucki J., Falkiewicz B., 1966, *Próba oceny pogody dla potrzeb biometeorologii metodą kompleksową*, Roczniki Naukowe WSWF w Poznaniu, 12, s. 251–258.
- Bogucki J., Kiełczewski B., Tyczka S., 1961, *Rytmika dobową umieralności dla Poznania w latach 1955–56*, Wiadomości Uzdrawiskowe, 1/2, s. 47–50.
- Bogucki J., Kiełczewski B., 1968, *Umieralność w Poznaniu na tle plam słonecznych i rozbłysków (erupcji)*, [w:] *Zagadnienia klimatu i warunków higienicznych na obszarze Poznania i strefy podmiejskiej*, PTPN, Komisja Upowszechniania Nauki, 3, s. 151–158.
- Boksa V.G., Boguckij B.V., 1980, *Medycynskaja klimatologija i klimatoterapija*, Zdorovja, Kiev.
- Borisenkov E.P., Kobzareva E.N., Krushatina I.A., Nikoforova L.N., Uspenskaya V.G., Shiarts Ya.M., 2000, *Relation of meteorotropic reactions in cardiac patients to atmospheric electric factors*, [w:] *Human Biometeorology. Material of Congress*, St. Petersburg, 18–22 Sep., Gidrometeoizdat, St. Petersburg, s. 146–147.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Grabowska K., Błażek E., Skrzypczuk J., 2002, *Prognozy zmian klimatu Polski*.

- Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Boubel R. W., Fox D. L., Turner D. B., Stern A. C., 1994, *Fundamentals of Air Pollution*, Academic Press, London.
- Braga A., Zanobetti A., Schwartz J., 2002, *The effect of weather on respiratory and cardiovascular deaths in 12 US cities*, *Environmental Health Perspectives*, 110, 9, s. 859–863.
- Bucher K., Haase C., 1993, *Meteorology and medical-meteorological forecasts*, *Experientia*, 49, Birkhäuser Verlag, CH-4010 Basel/Switzerland, s. 759–768.
- Bull G. M., Morton J., 1978, *Environment, temperature and deaths rates*, *Age Ageing*, 7, 1, s. 210–224.
- Burroughs W. J., 1997, *Pogoda czy fatum. Wpływ zmian klimatycznych na życie społeczeństw*, Amber, Warszawa.
- Cebulak E., 1999, *Ryzyko występowania upałów w Polsce*, [w:] *Zmiany i zmienność klimatu Polski. Ich wpływ na gospodarkę i ekosystemy człowieka*, Polskie Towarzystwo Geofizyczne, IGBP Global Change, Universitas Lodziensis, Ogólnopolska Konferencja Naukowa, Łódź 4–6 XI 1999, s. 29–33.
- Cegnar T., Mekinda-Majaron T., Vida M., 1996, *Biometeorology and road accidents*, [w:] *Proceedings of the 14th International Congress of Biometeorology, Ljubljana, Slovenia*, *Biometeorology*, 14, 2, s. 199–204.
- Cegnar T., Vida M., Furlan J., Čopi B., 1992, *Biometeorological studies in Slovenia. Internationale Tagung für Human-Biometeorologie, 16–18 Sep. 1992 in Freiburg*, *Annalen der Meteorologie*, 28, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main.
- Chełchowski W., 1961a, *Klasyfikacja bioklimatologii i biometeorologii*, *Przegląd Geofizyczny*, 6(14), 3, s. 203–206.
- , 1961b, *Klasyfikacja biometeorologii wg J. Hoffmeistera*, *Przegląd Geofizyczny*, 6(14), 4, s. 292–293.
- Chestnut L., Breffle W., Smith J., Kalkstein L., 1998, *Analysis of differences in hot-weather-related mortality across 44 U.S. metropolitan areas*, *Environmental Science & Policy*, 1, 1, s. 59–70.
- Chrobok H., Wójcik G., Zajczek J., 1966, *Wpływ warunków meteorologicznych i stanów pogodowych na dychawicę oskrzelową, zawały serca i zgony*, *Przegląd Lekarski*, 22, 5, s. 419–421.
- Chrobok H., Wójcik G., 1968, *Ciśnienie tętnicze krwi a warunki pogodowe*, *Przegląd Lekarski*, 24, 7, s. 591–593.
- Chudzikiewicz T., 1957, *Zawód, wiek i pora roku a zawał mięśnia serca*, *Polski Tygodnik Lekarski*, 10, 24, s. 901–904.
- Chybalski J., Kubiak Sz., Marciniak K., 1979, *Wpływ czynników pogodowych na występowanie nagłych zachorowań i ostrych dolegliwości*

- bólowych u pacjentów leczonych w Wojskowym Zespole Sanatoryjnym w Ciechocinku, *Problemy Uzdrawiskowe*, 9/10, (143/144), s. 67–77.
- Clark R.P., Edholm O.G., 1985, *Man and his Thermal Environment*, E. Arnold Ltd., London.
- Collier C.G., 1992, *Weather conditions prior to major outbreaks of meningococcal meningitis in the United Kingdom*, *International Journal of Biometeorology* 36, 1, 18–29.
- Curriero F., Heiner K., Samet J., Zeger S., Strug L., Patz J., 2002, *Temperature and Mortality in 11 Cities of the Eastern United States*, *American Journal of Epidemiology*, 155, 1, s. 80–87.
- Czaja S., 1998., *Globalne zmiany klimatyczne*, Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok.
- Czarniecki W., 1973, *Znaczenie wpływu czynników meteorologicznych na ustrój człowieka*, *Problemy Uzdrawiskowe*, 5(71), s. 69–81.
- Czarniecki W., 1993, *Circadian and seasonal patterns in cardiology*, [w:] Maarouf A.R., Barthalaur N.N., Haufe W.O. (red.), *Proceedings of 13th International Congress of Biometeorology, Calgary, Canada*, *Biometeorology*, 2, 2, Publ. Environment Canada, Ontario, s. 762–772.
- Czarniecki W., Grzędziński E., Gajewski J., Kopacz M., 1969, *Badania nad wpływem wybranych czynników meteorologicznych na niektóre objawy podmiotowe w zakresie krążenia*, *Balneologia Polska*, 14, 1/2, s. 229–241 (także w: *Polskie Archiwum Medycyny Wewnętrznej*, 43, 3/9, s. 1229–1239).
- Czarniecki W., Kopacz M., Grzędziński E., Gajewski J., Jaworski M., 1973, *Niektóre wyniki badań nad wpływem czynników meteorologicznych na ustrój człowieka*, *Problemy Uzdrawiskowe*, 5(71), s. 175–180.
- Czarski Z., 1964, *Wpływ czynników atmosferycznych na występowanie udarów mózgu*, *Neurologia, Neurochirurgia i Psychiatria Polska*, 14, 1, s. 43–49.
- Danilova N., 1988, *Przyroda i nasze zdrowie*, Wiedza Powszechna, Warszawa.
- Davis R., Knappenberger P., Michaels P., Novicoff W., 2003, *Changing heat-related mortality in the United States*, *Environmental Health Perspectives*, 111, 14, s.1712–1718.
- Dąbrowska G., 1987, *Klasyfikacja i określenie w kategoriach meteorologicznych FWJ – fizycznych warunków jazdy kształtowanych przez atmosferę*, IMGW, Warszawa (maszynopis).
- Delyukov A., Didyk L., 1999, *The effects of extra-low-frequency atmospheric pressure oscillations on human mental activity*, *International Journal of Biometeorology*, 43, 1, s. 31–37.
- Demidowicz G., Deputat T., Górski T., 1999, *Prawdopodobne zmiany w produkcji roślinnej w związku ze spodziewanymi zmianami klimatu Polski*, [w:] *Zmiany i zmienność klimatu Polski. Ich wpływ na gospodarkę i ekosystemy człowieka*, Polskie Towarzystwo Geofizyczne, IGBP Global Change,



- Universitas Lodziensis, Ogólnopolska Konferencja Naukowa, Łódź 4–6 XI 1999, Łódź, s. 43–48.
- Dhainaut J.F., Claessens Y.E., Ginsburg C., Riou B., 2003, *Unprecedented heat-related deaths during the 2003 heat wave in Paris: consequences on emergency departments*  
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/>
- Diaz J., Garcia R., Velazquez de Castro F., Hernandez E., Lopez C., Otero A., 2002, *Effects of extremely hot days on people older than 65 years in Seville (Spain) from 1986–1997*, *International Journal of Biometeorology*, 46, 1, s. 145–149.
- Dixon K., Shulman M., 1983, *A statistical investigation into the relationship between meteorological parameters and suicide*, *International Journal of Biometeorology*, 27, 2, s. 93–105.
- Donaldson G.C., Ermakov S.P., Komarov Y.M., McDonald C.P., Keatinge W.R., 1998, *Cold related mortalities and protection against cold in Yakutsk, eastern Siberia: observation and interview study*, *British Medical Journal*, 317, 7164, s. 978–982.
- Donaldson G.C., Keatinge W.R., 1997, *Early increases in ischaemic heart disease mortality dissociated from and later changes associated with respiratory mortality after cold weather in south east England*, *Journal of Epidemiology and Community Health*, 51, 6, s. 643–648.
- , 2002, *Excess winter mortality: influenza or cold stress? Observational study*, *British Medical Journal*, 324, 7329, s. 89–90.
- Driscoll D.M., Landsberg H.E., 1967, *Synoptic aspects of mortality. A case study*, *International Journal of Biometeorology*, 11, 3, s. 323–328.
- Drogosz J., 1980, *Szkodliwe warunki meteorologiczne zimy dla transportu drogowego*, *Przegląd Komunikacyjny*, 19, 2, s. 66–69.
- Dubaniewicz H., Pawłowski L., Świątczak J., 1981, *Próba określenia zależności zgonów na udar mózgu i zawał serca od warunków meteorologicznych i aerosanitarnych w Łodzi w latach 1971–1974*, *Problemy Uzdrawiskowe*, 1/2 (159/162), s. 147–156.
- Dubaniewicz H., Nurek T., Zawadzka A., 1988, *Biometeorologia turystyki. Wybrane zagadnienia z biometeorologii człowieka. Cz. I*, AWF, Gdańsk.
- , 1989, *Biometeorologia turystyki. Wybrane zagadnienia z biometeorologii człowieka. Cz. II*, AWF, Gdańsk.
- Dziadziuszko Z., Nowak B., Walczyński Z., 1969, *Zakażenia górnych dróg oddechowych u dzieci a warunki meteorologiczne*, *Balneologia Polska*, 14, 1/2, s. 215–221.
- Dzierżyński M., Wojtowicz W., 1961, *Meteorotropizm choroby Bechterewa*, *Wiadomości Uzdrawiskowe*, 1/2, s. 26–30.

- Ellis F.P., Prince H.P., Lovatt G., Whittington R.M., 1980, *Mortality and morbidity in Birmingham during the 1976 heat wave*, Quarterly Journal of Medicine, New Series, 193, 1, s. 1–8.
- Ellis F.P., Nelson F., 1978, *Mortality in the elderly in a heat wave in New York City, August 1975*, Environmental Research, 15, s. 504–512.
- Eng H., Mercer J., 2000, *Mortality from cardiovascular diseases and its relationship to air temperature during the winter months in Dublin and Oslo/Akershus*, International Journal of Circumpolar Health, 59, 3–4, s. 176–181.
- Engel Z., 2001, *Ochrona środowiska przez drganiami i hałasem*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- Eurowinter Group, 1997, *Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe*, Lancet, 349, 9062, s. 1341–1346.
- Falkiewicz B., 1966, *Zmiany ciśnienia tętniczego krwi jako wyraz adaptacji ustroju do różnych klimatów*, Roczniki Naukowe WSWF w Poznaniu, 12, s. 399–405.
- Falkiewicz B., Mączyński B., 1973, *Rytm roczny miesięcznych częstotliwości wypadków drogowych w różnych regionach klimatycznych Polski*, Monografie, Podręczniki, Skrypty WSWF w Poznaniu, Monografie, 43, s. 91–96.
- Fanger P.O., 1974, *Komfort cieplny*, Arkady, Warszawa.
- Faust V., 1969, *Biometeorologie. Der Einfluss von Wetter und Klima auf Gesunde und Kranke*, Hippokrates-Verlag, Stuttgart.
- Flemming G., 1983, *Klimat-środowisko-człowiek*, PWRiL, Warszawa.
- Fletcher R.J., 1988, *„Foehn illness” and human biometeorology in the chinook area of Canada*, International Journal of Biometeorology, 32, 3, s. 168–175.
- Folinsbee L.J., 1993, *Human health effects of air pollution*, Environmental Health Perspectives, 100, s. 45–56.
- Frost D., Auliciems A., 1993, *Myocardial infarct death, the population at risk and temperature habituation*, International Journal of Biometeorology, 37, 1, s. 14–17.
- Fusco D., Forastiere P., Michelozzi P., Spadea T., Ostro B., Arca M., Perucci C.A., 2001, *Air pollution and hospital admission for respiratory conditions in Rome Italy 2001*, European Respiratory Journal, 17, 6, s. 1143–1150.
- Gąsiński J., 1977, *Biometeorologia a wypadki*, Ochrona Pracy, 31, 2, s. 10–12.
- Gemmell I., McLoone P., Boddy F., Dickinson G., Watt G.C.M., 2000, *Seasonal variation in mortality in Scotland*, International Journal of Epidemiology, 29, 2, s. 274–279.

- Gocek T., 1973, *Nomogram zawartości wagowej tlenu w g/m<sup>3</sup> w zależności od ciśnienia atmosferycznego i temperatury powietrza w Polsce*. Problemy Uzdrowiskowe. 5 (71), s. 153–164.
- Goldsmith J.R., Perkins N.M., 1967, *Seasonal variations in mortality*, [w:] Tromp S.W., Weihe W.H. (red.), *Proceedings of the Third International Biometeorological Congress*, Biometeorology, 2, s. 97–113.
- Goldstein I.F., 1980, *Weather patterns and asthma epidemics in New York City and New Orleans. USA*, International Journal of Biometeorology, 24, 4, s. 329–339.
- Gorjanc M.J., Flanders W.D., VanDerslice J., Hersh J., Malilay J., 1999, *Effects of temperature and snowfall on mortality in Pennsylvania*, American Journal of Epidemiology, 149, 12, s. 1152–1160.
- Gorin A.A., Smyth J.M., Weisberg J.N., Affleck G., Tennen H., Urrows S., Stone A.A., 1999, *Rheumatoid arthritis patients show weather sensitivity in daily life, but the relationship is not clinically significant*, Pain, 81, 2, 173–177.
- Gostyński M., Mączyński B., Marcinkowski J.T., 1975, *Rola aktywności meteorotropowej pogody w epidemiologii samobójstw*, Balneologia Polska, 20, 1/2, s. 209–215.
- Grączewski J., 1972, *Wpływ pogody na zdrowie człowieka. Uwagi lekarza o biometeorologii*, PZWL, Warszawa.
- Grzegorzczak L., Chyc K., Walanek M., 1974, *Medycyna ruchu drogowego – zagadnienia wybrane*, PZWL, Warszawa.
- Góra T., 1973, *Określenie czasu fotochemicznej aktywności promieniowania słonecznego dla potrzeb klimatoterapii*, Problemy Uzdrowiskowe, 5(71), s. 133–142.
- Grzędziński E., Czarniecki W., Baranowska M., 1969, *Badania nad wpływem prężności pary wodnej i temperatury powietrza (ze szczególnym uwzględnieniem dni parnych, gorących i upalnych) na ciśnienie tętnicze krwi*, Polskie Archiwum Medycyny Wewnętrznej, 43, 5(11), s. 1459–1464.
- Grzędziński E., Kopacz M., Czarniecki W., Jaworski W., Gajewski J., Okolowicz W., 1972, *Recherches sur l'influence des facteurs météorologiques sur les symptômes subjectifs humains*, Cahiers de l'Association Française de Biometeorologie, 5, 4, s. 5–21.
- Hajat S., Kovats R., Atkinson R., Haines A., 2002, *Impact of hot temperatures on death in London: a time series approach*, Journal of Epidemiology and Community Health, 56, 5, s.367–372.
- Halawa B., 1983, *Ocena wyników leczenia inhalacjami radonowymi niektórych schorzeń układu krążenia*, Problemy Uzdrowiskowe, 1/2 (183/184), s. 62–84.
- Hankiewicz J., Machalski W., 1967, *Rola czynników meteorologicznych w powstawaniu zawałów serca*, Kardiologia Polska, 10, 2, s. 115–121.

- Harlfinger O., 1993, *Weather sensitivity among elementary school children*, [w:] Maarouf A.R., Bartholaur N.N., Haufe W.O. (red.), *Proceeding of the 13th International Congress of Biometeorology, Calgary, Canada*, Biometeorology, 2, 2, Publ. Environment Canada, Ontario, s. 644–652.
- Hasik J., Wójtowicz W., Tyczka S., 1961, *Zachorowalność pracowników przemysłu piekarniczego w Poznaniu w zależności od pór roku i warunków pogodowych*, *Wiadomości Uzdrawiskowe*, 1/2, s. 31–40.
- Hastie T., Tibshirani R., 1990, *Generalized Additive Models*, Chapman and Hall, London.
- Healy J., 2003, *Excess winter mortality in Europe: a cross-country analysis identifying key risk factors*, *Journal of Epidemiology and Community Health*, 57, 10, s. 784–789.
- Hess P., Brezowsky H., 1952, *Katalog der Grosswetterlagen Europas. Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US Zone*, *Deutscher Wetterdienst*, 5, 35, s. 42–48.
- Hessman-Kosaris A., 1998, *Wpływ pogody na samopoczucie*, Diogenes, Warszawa.
- Höppe P., 1995, *Effects of environmental ozon on the lung function of senior citizens*, *International Journal of Biometeorology*, 38, 2, s. 122–125.
- , 1996, *Are there risk groups in respect to acute effects of environmental ozone?* [w:] *Proceedings of the 14th International Congress of Biometeorology, Ljubljana, Slovenia*, *Biometeorology*, 14, 2, 2, s. 40–49.
- , 2002, *Prevalence of weather sensitivity in Germany*, [w:] *15th Conference on Biometeorology and Aerobiology joint with the 16th International Congress on Biometeorology, Kansas City, USA*, American Meteorological Society, Boston, s. 76–79.
- Höppe P., Lindner J., Praml G., Brönner N., 1993, *Effects of environmental ozone on the lung function of potential risk groups*, [w:] Maarouf A.R., Bartholour N.N., Haufe W.O. (red.), *Proceedings of the 13th International Congress of Biometeorology, Calgary, Canada*, *Biometeorology*, 2, 2, Publ. Environment Canada, Ontario, s. 636–643.
- Hsia L.B., Lu J.K., 1988, *Association between temperature and death in residential populations in Shanghai*, *International Journal of Biometeorology*, 32, 1, s. 47–51.
- ISO/DC 11079, *Evaluation of Cold Environments. Determination of Required Clothing Insulation*. International Organisation of Standarization, Geneva.
- ISO 8996. *Ergonomics – Determination of Metabolic Heat Production*, International Organisation of Standarization, Geneva.
- Iwanow W.N., 1979, *Zza kierownicy samochodu*, WKiL, Warszawa.
- Iwanowska M., 1954, *Wpływ pogody na bóle gośćcowe*, *Postępy Reumatologii*, I, s. 221–240.

- Jamison R.N., Anderson K.O., Slater M.A., 1995, *Weather changes and pain: perceived influence of local climate on pain complaint in chronic pain patients*, *Pain*, 61, 2, s. 309–315.
- Jankowiak J. (red.), 1976, *Biometeorologia człowieka*, PZWL, Warszawa.
- Jankowiak J., Tyczka S., 1963, *Zagadnienie meteorotropizmu u psychicznie i nerwowo chorych*, *Wiadomości Uzdrawiskowe*, 8, 3/4, s. 282–286.
- Jendritzky G., 1995, *Human health and atmospheric environment*, [w:] *Report from the Meeting of Experts on Climate, Tourism and Human Health*, WMO/TD, No 682.
- , 2002, *Wirkungen von Wetter und Klima auf die Gesundheit des Menschen*, [w:] Wichman H.E., Schlipkoeter H.W., Fulgraff G. (red.), *Handbuch Umweltmedizin. Andere Umweltfaktoren, Wetter-Klima-Mensch VII – 3*, s. 1–14.
- Jethon Z., Grzybowski A. (red.), 2000, *Medycyna zapobiegawcza i środowiskowa*. Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa.
- Jędrychowski W., 1986, *Epidemiologia. Wprowadzenie i metody*, PZWL, Warszawa.
- , 1995, *Review of recent studies from Central and Eastern Europe associating respiratory health effects with high levels of exposure to "traditional" air pollutants*, *Environmental Health Perspectives*, 103, supp. 2, s. 15–21.
- Juda J., Chróściel S., 1974, *Ochrona powietrza atmosferycznego*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Juda-Rezler K., 2000, *Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na środowisko*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Jura Z., Nizioł B., 1979, *Zagadnienie jonizacji w aspekcie bioklimatycznych właściwości powietrza*, *Problemy Uzdrawiskowe*, 9/10 (143/144), s. 215–220.
- Juska D., Skrobowski A., Szyszkowski A., 1985, *Choroby układu krążenia jako przyczyna hospitalizacji w latach 1975–1979*, *Lekarz Wojskowy*, 7–8 (IV), s. 446–454.
- Kaciuba-Uściłko H., Kruk B., 1995, *Termoregulacja i wpływ warunków środowiska termicznego na organizm człowieka*, [w:] Kozłowski S., Nazar K. (red.), *Wprowadzenie do fizjologii klinicznej*, Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa.
- Kaczorowski R., Wojtowicz W., Tyczka S., 1961, *Wpływ pogody na przebieg zgonów w Poznaniu*, *Wiadomości Uzdrawiskowe*, 1/2, s. 41–46.
- Kalkstein L., 1991, *A new approach to evaluate the impact of climate on human mortality*, *Environmental Health Perspectives*, 96, s. 145–150.
- , 1998, *Climate and human mortality: relationships and mitigating measures*, [w:] Auliciems A. (red.), *Human Bioclimatology, Advances in Bioclimatology*, 5, s. 161–177.

- , 2004, *Heat and Health: Methodological Considerations for Warning System Development*. Workshop on Climate Changes, Heat Waves, and Population Health Organized by the Municipality of Rome. March 30 (w druku).
- Kalkstein L.S., Barthel C.D., Greene J.S., Nichols M.C., 1996a, *A new spatial synoptic classification: Application to air mass analysis*, *International Journal of Climatology*, 16, 9, s. 983–1004.
- Kalkstein L.S., Corrigan P., 1986, *A synoptic Climatological Approach for geographical analysis: assessment of sulfur dioxide concentrations*, *Annals of the Association of American Geographers*, 76, 3, s. 381–395.
- Kalkstein L.S., Greene J., 1997, *An evaluation of climate/mortality relationships in large U.S. cities and the possible impacts of a climate change*, *Environmental Health Perspectives*, 105, 1, s. 84–93.
- Kalkstein L.S., Jamason P.F., Greene J.S., Libby J., Robinson L., 1996b, *The Philadelphia hot weather – health watch/warning system: development and application, summer 1995*, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 7, s. 1519–1528.
- Kalkstein L.S., Tan G., Skindlov J., 1987, *An evaluation of three clustering for use in synoptic climatological classification*, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26, 6, s. 717–730.
- Kalkstein L.S., Valimont K., 1986, *An evaluation of summer discomfort in the United States using a Relative Climatological Index*, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 67, 7, s. 842–848.
- Kassomenos P., Gryparis A., Samoli E., Katsouyanni K., Lykoudis S., Flocas H., 2001, *Atmospheric circulation types and daily mortality in Athens, Greece*, *Environmental Health Perspectives*, 109, 6, s. 591–596.
- Katsouyanni K., Pantazopoulou A., Toiloumi G., Tselepidaki I., Moustiris K., Asimakopoulos D., Pouloupoulou G., Trichopoulos D., 1993, *Evidence for interaction between air pollution and high temperature in the causation of excess mortality*, *Archives of Environmental Health*, 48, 4, s. 235–242.
- Kazior A., 1979, *Zagadnienie obiektywizacji tak zwanych dolegliwości pogodowych*, *Problemy Uzdrowiskowe*, 9/10 (143/144), s. 63–66.
- Keatinge W.R., 2002, *Winter mortality and its causes*, *International Journal of Circumpolar Health*, 61, 4, s. 292–299.
- Keatinge W.R., Donaldson G.C., 2001, *Mortality related to cold and air pollution in London after allowance for effects of associated weather patterns*, *Environmental Research Section A*, 86, 3, s. 209–216.
- Keatinge W.R., Donaldson G.C., Cordioli E., Martinell M., Kunst A., Mackenbach J., Nayha S., Vuori I., 2000, *Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: observational study*, *British Medical Journal*, 321, 7262, s. 670–673.

- Kerdó I., 1963, *Współczesna problematyka badań meteoropatologicznych*, Wiadomości Uzdrowiskowe, 8, 1/2, s. 114–118.
- Kevan S.M., 1993, *Quest for cures: a history of tourism for climate health*, International Journal of Biometeorology, 37, 3, s. 113–124.
- Khaw K.T., 1995, *Temperature and cardiovascular mortality*, Lancet, 345, 8946, s. 337–338.
- Kielczewski B., Bogucki J., 1972, *Zarys biometeorologii sportu*, Sport i Turystyka, Warszawa.
- Klonowicz S., Kozłowski S., 1970, *Człowiek a środowisko termiczne*, PZWL, Warszawa.
- Knox N., 2003, *French health officials: heat wave kills about 3,000* [http://www.usatoday.com/weather/news/2003-08-14-heat-wave\\_x.htm](http://www.usatoday.com/weather/news/2003-08-14-heat-wave_x.htm)
- Kocur J., 1980, *Biometeorologia a wypadkowość drogowa: uwarunkowania psychologiczno-psychiatryczne*, Lekarz Wojskowy, 56, 11/12, s. 592–595.
- , 1981, *Samobójstwa a czynniki biometeorologiczne*, Lekarz Wojskowy, 57, 9/10, s. 505–507.
- Koppe Ch., Kovats S., Jendritzky G., 2003, *Heat health warning systems*, Workshop draft for: Climate change and adaptation strategies for human health, Workshop on vulnerability to thermal stresses, 5–7 May 2003, Freiburg, Germany.
- Korczyński L., 1933, *Zarys klimatologii lekarskiej, t. I*, Polskie Towarzystwo Balneologiczne, Kraków-Lwów.
- , 1936, *Zarys klimatologii lekarskiej, t. II*, Polskie Towarzystwo Balneologiczne, Kraków-Lwów.
- Korsak A., 1981, *Zdrowie za kierownicą – higiena, szkodliwości, wypoczynek, wypadek*, WKiŁ, Warszawa.
- Kostin S., Pokrowska T., 1957, *Klimatologia*, PWN, Warszawa.
- Kostrowicki A.S., 1999, *Geografia biosfery, Biogeografia dynamiczna lądów*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- Kowalenko H., 1973, *Klimat jako czynnik kształtujący psychikę ludzką w świetle poglądów teoretyków XVIII w.*, Problemy Uzdrowiskowe, 5(71), s. 39–46.
- , 1975, *Zarys historii biometeorologii*, Balneologia Polska, 20, 3–4, s. 261–271.
- , 1976, *Myśl biometeorologiczna w XVI w.*, Monografie AWF w Poznaniu, 40, s. 21–32.
- Kozłowska-Szczęśna T., 1959, *Badania zawartości ozonu w przyziemnej warstwie powietrza na terenie Ciechocinka*, Wiadomości Uzdrowiskowe, 4, 1/2, s. 67–77.
- , 1965, *Bioklimat Ciechocinka*, Problemy Uzdrowiskowe, 4 (26).
- Kozłowska-Szczęśna (red.), 1985, *Metody badań bioklimatu człowieka*, Problemy Uzdrowiskowe, 1/2 (207–208).

- Kozłowska-Szczęсна T., Grzędziński E., 1983, *Die Behandlung mit den radioaktiven Wässern in polnischen Kurorten*, [w:] *Congresso Internazionale su Radioattività naturale e Termalismo (Merano, 17-19 11. 1983)*, Univ. Milano, Milano, s. 122-126.
- , 1988, *Warunki bioklimatyczne ograniczające możliwości leczenia uzdrowiskowego*, *Problemy Uzdrowiskowe*, 5/6 (247/248), s. 39-47.
- , 1990/1991, *The influence of atmospheric environment upon the occurrence of accidents among construction workers*, *Energy and Buildings*, 15/16, s. 749-753, Elsevier Sequoia.
- Kozłowska-Szczęсна T., Błażejczyk K., 1998, *Promieniowanie słoneczne i jego wpływ na organizm człowieka*, *Balneologia Polska*, 40. 1/2, s. 130-141.
- Kozłowska-Szczęсна T., Błażejczyk K., Krawczyk B., 1997, *Bioklimatologia człowieka. Metody i ich zastosowanie w badaniach bioklimatu Polski*, IGiPZ PAN, Monografie, 1.
- Kozłowska-Szczęсна T., Błażejczyk K., Krawczyk B., Limańówka D., 2002, *Bioklimat uzdrowisk polskich i możliwości jego wykorzystania w lecznictwie*, IGiPZ PAN, Monografie, 3.
- Kozłowski S., 1986, *Granice przystosowania*, Wiedza Powszechna, Warszawa.
- Kożuchowski K., 1998, *Atmosfera, klimat, ekoklimat*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- Kożuchowski K. (red.), 2000, *Pory roku w Polsce. Sezonowe zmiany w środowisku a wieloletnie tendencje klimatyczne*, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- , 2004, *Skala, uwarunkowania i perspektywy współczesnych zmian klimatycznych w Polsce*, Wyd. Biblioteka, Łódź.
- Kożuchowski K., Degirmendzić I., Fortuniak K., Wibig J., 1999, *Tendencje zmian sezonowych aspektów klimatu w Polsce*, [w:] *Zmiany i zmienność klimatu Polski. Ich wpływ na gospodarkę i ekosystemy człowieka. Ogólnopolska Konferencja Naukowa. Łódź, 4-6 XI 1999*, Polskie Towarzystwo Geofizyczne. IGBP Global Change, Universitas Łodziensis, Łódź, s. 107-122.
- Kożuchowski K., Lenartowicz B., Papiernik Ż., 1998, *Sezonowe wahania naturalnego ruchu ludności i roczny cykl klimatyczny*, *Czasopismo Geograficzne*, 69, 1, s. 13-24.
- Krawczyk B., 1979, *Bilans cieplny człowieka jako podstawa podziału bioklimatycznego obszaru Iwonicza*, *Prace Geograficzne*, IGiPZ PAN, 131.
- , 1993, *Typologia i ocena bioklimatu Polski na podstawie bilansu cieplnego ciała człowieka*, *Prace Geograficzne*, IGiPZ PAN, 160.
- , 1996, *Biometeorologia człowieka*, *Biologia w Szkole*, 249(49), s. 125-131.
- , 2000, *Izolacyjność cieplna odzieży jako wskaźnik oceny warunków biotermicznych*, *Balneologia Polska*, 62, 3-4, s. 105-111.



- , 2002, *Wpływ pogody na zdrowie*, Roczniki Warszawskiej Szkoły Zdrowia, II, 2, s. 49–55.
- , 2003a, *Stres ciepła – cecha bioklimatu Polski*, [w:] Błażejczyk K., Krawczyk B., Kuchcik M. (red.), *Postępy w badaniach klimatycznych i bioklimatycznych*, Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 188, s. 283–294.
- , 2003b, *Kryteria oceny bioklimatu uzdrowisk*, *Balneologia Polska*, 45, 3–4, s. 78–87.
- Krawczyk B., Błażejczyk K., 1999, *Klimatyczna i bioklimatyczna charakterystyka Polski północno-wschodniej*, *Zeszyty IGiPZ PAN*, 58.
- Krupiński M., Wojtowicz W., 1963, *Meteorotropizm objawów chorobowych obserwowanych u chorych przebywających na leczeniu w Ciechocinku*, *Wiadomości Uzdrowskowe*, 3/4, s. 225–231.
- Krzymowska-Kostrowicka A., 1997, *Geoekologia turystyki i wypoczynku*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- Kuchcik M., 2000, *Wpływ warunków aerosanitarnych i biometeorologicznych na zgony mieszkańców Warszawy*, maszynopis w IGiPZ PAN w Warszawie.
- , 2001a, *Mortality in Warsaw: is there any connection with weather and air pollution?*, *Geographia Polonica*, 74, 1, s. 29–45.
- , 2001b, *Umieralność i wypadkowość drogową w różnych typach sytuacji synoptycznej*, *Balneologia Polska*, 43, 1/2, s. 94–99.
- , 2002, *Deaths and car accidents under different synoptic situations*, [w:] *Proceedings of the 15th Conference on Biometeorology and Aerobiology joint with the 16th Congress on Biometeorology*, Kansas City, USA, American Meteorological Society, Boston, s. 38–39.
- , 2003, *The influence of aerosanitary and biometeorological conditions on the health and mortality of the inhabitants of Warsaw*, [w:] Stopa-Boryczka M. (red.), *Studies on the Climate of Warsaw*, Warsaw University, Faculty of Geography and Regional Studies, Warsaw, s. 155–166.
- Kuchcik M., Błażejczyk K., 2001, *Wpływ warunków pogodowych na zachorowalność i umieralność mieszkańców Warszawy*, [w:] Krawczyk B., Węclawowicz G. (red.), *Badania środowiska fizycznogeograficznego aglomeracji warszawskiej*, Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 180, s. 71–81.
- Kuczmarowski M., 1990, *Ustępczość Polski i jego przydatność dla helioterapii*, *Dokumentacja Geograficzna*, 4.
- Kunst A., Looman C., Mackenbach J., 1993, *Outdoor air temperature and mortality in the Netherlands: a time-series analysis*, *American Journal of Epidemiology*, 137, 3, s. 331–341.
- Kveton V., 1991, *Weather fronts and acute myocardial infarction*, *International Journal of Biometeorology*, 35, 1, 10–13.
- Kysely J., 2004, *Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic*, *International Journal of Biometeorology*, 99, 2, s. 98–105.

- Kysely J., Huth R., 2004. *Heat-related mortality in the Czech Republic examined through synoptic and „traditional” approaches*, *Climate Research*, 25, 3, s. 265–274.
- Landsberg H.E., 1969, *Weather and Health: An Introduction to Biometeorology*, Doubleday & Company, New York.
- Langford I., Bentham G., 1995, *The potential effects of climate change on winter mortality in England and Wales*, *International Journal of Biometeorology*, 38, 3, s. 141–147.
- Larsen U., 1990, *The effects of monthly fluctuations on mortality in the United States from 1921 to 1985*, *International Journal of Biometeorology*, 34, 3, s. 136–145.
- Laschewski G., Jendritzky G., 2002, *Effects of the thermal environment on human health: an investigation of 30 years of daily mortality data from SW Germany*, *Climate Research*, 21, 1, s. 91–103.
- Lerchl A., 1998, *Changes in the seasonality of mortality in Germany from 1946 to 1995: the role of temperature*, *International Journal of Biometeorology*, 42, 2, s. 84–88.
- Leszczyński B., 1967, *Meteoropatologia chorób reumatycznych*, *Wiadomości Lekarskie*, 20, 7, s. 629–632.
- , 1968, *Niektóre zagadnienia neuroendokrynologii w świetle rozważań biometeorologicznych*, *Wiadomości Lekarskie*, 21, 16, s. 1421–1425.
- , 1969, *Wpływ czynników meteorologicznych na przebieg choroby wieńcowej serca wg własnych obserwacji*, *Polski Tygodnik Lekarski*, 24, 42, s. 1612–1613.
- , 1970, *Wpływ pogody i klimatu na występowanie udarów mózgowych*, *Wiadomości Lekarskie*, 23, 17, s. 1477–1480.
- , 1973a, *Badania nad wpływem zakażeń i burz oraz zmian w natężeniu pola magnetycznego Ziemi na wypadkowość przy pracy z uwzględnieniem warunków pogodowych i klimatu poszczególnych miesięcy*, *Problemy Uzdrawiskowe*, 5(71), s. 181–184.
- , 1973b, *Występowanie zawałów serca w zależności od ekstremalnych wartości zespołu czynników meteorologicznych*, *Problemy Uzdrawiskowe*, 5(71), s. 185–189.
- , 1973c, *Badania nad wpływem prężności pary wodnej i temperatury powietrza ze szczególnym uwzględnieniem wpływu dni parnych, gorących i upalnych na ciśnienie tętnicze krwi*, *Problemy Uzdrawiskowe*, 5(71), s. 181–184.
- , 1974a, *Badania nad wpływem pola magnetycznego Ziemi na układ nerwowy i wypadkowość podczas pracy*, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Łódzkiego*, II, 63, s. 95–101.
- , 1974b, *Choroby meteorotropowe rozpoznawane na nowych kryteriach starów pogodowych*, *Wiadomości Lekarskie*, 27, 5, s. 473–476.
- , 1979, *Wypadkowość podczas pracy w świetle badań biometeorologicznych*, *Problemy Uzdrawiskowe*, 9/10 (143/144), s. 101–105.

- Leśniak B., Trepińska J., 1985, *Warunki komunikacji drogowej w górach w okresie występowania opadów śniegu i pokrywy śnieżnej na przykładzie trasy Kraków-Łysa Polana*. Folia Geographica, Series Geographica-Physica, 17, s. 79-91.
- Lewińska J., 2000-2001, *Wiatry halne w Polsce. Przegląd literatury i ocena wyników*. Folia Geographica, Series Geographica-Physica, 31-32, s. 135-150.
- Limanówka D., 1999, *Ryzyko występowania silnych mrozów w Polsce*, [w:] *Zmiany i zmienność klimatu Polski. Ich wpływ na gospodarkę i ekosystemy człowieka*, Polskie Towarzystwo Geofizyczne, IGBP Global Change, Uniwersytet Łódzki, Ogólnopolska Konferencja Naukowa, Łódź 4-6 XI 1999, Łódź, s. 123-127.
- Limanówka D., Niedźwiedz T., Ustrnul Z., 1993, *Prawdopodobieństwo występowania wybranych ekstremalnych charakterystyk termicznych w Polsce*, [w:] *Kozłowska-Szczęsna T., Limanówka D., Niedźwiedz T., Ustrnul Z., Paczos S., Charakterystyka termiczna Polski*, Zeszyty IGiPZ PAN, 18, s. 34-37.
- Lipfert F., 1993, *A critical review of studies of the association between demands for hospital services and air pollution*, Environmental Health Perspectives, 101, suppl. 2, s. 229-268.
- Lityńska Z., Łapeta B., Wolska H., 2001, *Indeks UV a człowiek*. Inspekcja Ochrony Środowiska, IMiGW, Warszawa.
- Lorenc H., 2001, *Tendencje zmian klimatu*, [w:] *Karczewski A., Zwoliński Z. (red.), Funkcjonowanie geosystemów w zróżnicowanych warunkach morfoklimatycznych. Monitoring, ochrona, edukacja*, Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich, Poznań, s. 319-330.
- Łazowski J., Świstak A., Marciniak K., Nowak J., 1979a, *Analiza częstości zgonów przy różnych sytuacjach pogodowych*, Problemy Uzdrowskowe, 9/10 (143/144), s. 79-83.
- Łazowski J., Pasieczny J., Marciniak K., Wiaderny J., 1979b, *Rytm dobowy objawów choroby nadciśnieniowej przy różnych sytuacjach pogodowych*, Problemy Uzdrowskowe, 9/10 (143/144), s. 73-77.
- Łykowski B., Szwed-Ilnicka Cz., 1999, *Biometeorologia i bioklimat Polski*, [w:] *Łykowski B. (red.), Podstawy klimatologii stosowanej. Działy wybrane*, Wyd. SGGW, Warszawa.
- Machalek A., 1997, *Czy jestem meteoropatą ?*, W.A.B., Warszawa.
- Maes M., Meyer F., Peeters D., Meltzer., Cosyns P., Schotte C., 1992, *Seasonal variation and meteorotropism in various self-rated psychological and physiological features of a normal couple*, International Journal of Biometeorology, 36, 4, s. 195-200.
- Maes M., Meyer F., Peeters D., Meltzer., Schotte C., Scharpe S., Cosyns P., 1993, *The periodicities in and biometeorological relationships*

- with bed occupancy of acute psychiatric ward in Antwerp, Belgium, *International Journal of Biometeorology*, 37, 1, s. 78–82.
- Majer J., 1845, *Wpływ stanu meteorologicznego na śmiertelność oceniony według dziesięcioletnich spostrzeżeń w Krakowie*, *Roczniki Wydziału Lekarskiego UJ*, 8.
- Mannino J., Washburn R., 1989, *Environmental temperature and mortality from acute myocardial infarction*, *International Journal of Biometeorology*, 33, 1, s. 32–35.
- Marciniak K., Stachlewski W., 1974, *Występowanie wypadków drogowych w Łodzi przy różnych sytuacjach pogodowych*, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Łódzkiego*, II, 64, s. 127–132.
- Maarouf A.R., 1993, *The weather and headache: A review and a case study*, [w:] Maarouf A.R., Barthalaur N.N., Haufe W.O. (red.), *Proceedings of the 13th International Congress of Biometeorology, Calgary, Canada*, *Biometeorology*, 2, 2, Publ. Environment Canada, Ontario, s. 705–716.
- Martynuska A., Baranowska M., 1996, *O wpływie promieniowania UV na człowieka*, *Gazeta Obserwatora IMGW*, 45, 3, s. 3–6.
- Martynuska A., Wojtach B., Baranowska M., 2003, *La relation entre la météosensibilité et l'état de de santé*, [w:] Błażejczyk K., Adamczyk A.B. (red.), *Les relations Climat-Homme-Climat*, *Dokumentacja Geograficzna*, 29, s. 225–229.
- Matzarakis A., Mayer H., 1991, *The extreme heat wave in Athens in July 1987 from the point of view of human biometeorology*, *Atmospheric Environment*, 25B, 2, s. 203–211.
- Mączyński B., 1968, *Czy pogoda wpływa na wypadki drogowe*, *Problemy*, 11, s. 677–680.
- , 1972, *Warunki pogody – czas reakcji prostej i wypadki drogowe w Wielkopolsce*, *Balneologia Polska*, 17, 1/2, s. 107–131 oraz 3, s. 307–336.
- , 1973, *Roczny rytm biologiczny reakcji prostej i sezonowy rytm wypadków drogowych w Wielkopolsce na przestrzeni roku*, *Monografie, Podręczniki, Skrypty WSWF w Poznaniu, Monografie*, 43, s. 81–89.
- , 1976, *Wypadki drogowe podczas niedziel i świąt, a warunki pogody*, *Monografie, Podręczniki, Skrypty WSWF w Poznaniu, Monografie*, 58, s. 523–526.
- , 1978, *Lecznictwo klimatyczne*, PZWL, Warszawa.
- , 1979, *Wybiórcza wrażliwość meteorotropowa u ludzi zdrowych*, *Problemy Uzdrowiskowe*, 9/10 (143/144), s. 84–88.
- McCormac B.M., 1971, *Introduction to the Scientific Study of Atmospheric Pollution*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
- McGregor G.R., 1999, *Winter ischaemic heart disease deaths in Birmingham, United Kingdom: a synoptic climatological analysis*, *Climate Research*, 13, 1, s. 17–31.

- , 2001, *The meteorological sensitivity of ischaemic heart disease mortality events in Birmingham, UK*, International Journal of Biometeorology, 45, 3, s. 133–142.
- McGregor G.R., Bamzels D., 1995, *Synoptic typing and its application to the investigation of weather air pollution relationships*, Birmingham, United Kingdom, Theoretical and Applied Climatology, 51, 3–4, s. 223–236.
- McGregor G.R., Walters S., Wordley J., 1999, *Daily hospital respiratory admissions and winter air mass types, Birmingham, UK*, International Journal of Biometeorology, 43, 1, s. 21–30.
- McMichel A., J., Haines R., Slooff R., Kovats S. (red.), 1996, *Climate Change and Human Health*, WHO, Geneva.
- Mester A., 1937, *Meteoropatologia w schorzeniach wewnętrznych, szczególnie gośćcowych*, Acta Balneologica Polonica, 1, s. 23–26.
- Michalski T., Malinowska M., 2002, *Warunki bioklimatyczne i aerosanitarnie a sytuacja zdrowotna mieszkańców Aglomeracji Gdańskiej*, Regiony Nadmorskie, 4, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.
- Michelozzi P., Fano V., Forastiere F., Barca A., Kalkstein L., Perucci C., 2000, *Weather conditions and elderly mortality in Rome during summer*, World Meteorological Organization Bulletin, 49, 4, s. 348–355.
- Michelozzi P., De Donato F., Accetta G., Forastiere F., D'Ovidio M., Perucci C., Kalkstein L., 2004, *Impact of heat waves on mortality – Rome, Italy, June–August 2003*, Morbidity and Mortality Weekly Report, 53, 17, s. 369–371.
- Międzynarodowa Klasyfikacja Chorób, Urazów i Przyczyn Zgonów. Rewizja Dziewiąta*, 1983, Ministerstwo Zdrowia i Opieki Społecznej, PZWL, Warszawa.
- Międzynarodowa Statystyczna Klasyfikacja Chorób i Problemów Zdrowotnych. Rewizja Dziesiąta*, 2000, Uniwersyteckie Wydawnictwo Medyczne „Vesalius”, Kraków.
- Mills B.N., Andrey J., 2002, *Road safety in Canada: weather or not the atmosphere makes a difference*, [w:] *Proceedings of the 15th Conference on Biometeorology and Aerobiology joint with the 16th Congress on Biometeorology, Kansas City, USA*, American Meteorological Society, Boston, s. 360–362.
- Mills B.N., Suggett J., Wenger L., 2003, *You and whose army? A review of the January 1999 Toronto snow emergency*, [w:] Andrey J., Knapper Ch. (red.), *Weather and Transportation in Canada*, Department of Geography Publication Series, University of Waterloo, s. 161–195.
- Morawska-Horawska M., Powroźnik M., Rysz M., Tumidajski T., 1984, *Wpływ warunków meteorologicznych i aerosanitarnych na liczbę interwencji zespołów wjazdowych pomocy doraźnej w niektórych grupach chorób na terenie Krakowa*, Problemy Uzdrowiskowe, 1/2 (195/196), s. 109–114.

- Motohashi Y., Takehito T., Nakamura K., Nakata K., Tanaka M., 1996, *Seasonality of mortality in Sri Lanka: biometeorological considerations*, International Journal of Biometeorology, 39, 3, s. 121–126.
- Mroccka A., 1992, *Zarys biometeorologii człowieka*, Wyd. Skryptowe AWF, 120, Kraków.
- Munn R.E., 1970, *Biometeorological Methods*, Academic Press INC, New York.
- Myers D.H., Davies P., 1978, *The seasonal incidence of mania and its relationship to climatic variables*, Psychological Medicine, 8, s. 433–440.
- Naughton M.P., Henderson A., Mirabelli M., Kaiser R., Wilhelm J., Kieszak S., Rubin C., McGeehin M., 2002, *Heat-related mortality during a 1999 heat wave in Chicago*, American Journal of Preventive Medicine, 22, 4, s. 221–227.
- Nizioł B., Jura Z., 1986, *Wpływ zanieczyszczeń powietrza na koncentrację jonów znajdujących się w powietrzu*, [w:] Wojtusiak R.J. (red.), *Biometeorologia a organizm ludzi i zwierząt*, PWN, Warszawa-Kraków, s. 73–81.
- Nkemdirim L.C., 1993, *Do chinooks cause illness?*, [w:] Maarouf A.R., Barthalur N.N., Haufe W.O. (red.), *Proceedings of the 13th Congress of Biometeorology, Calgary, Canada*, Biometeorology, 2, 2, Publ. Environment Canada, Ontario, s. 554–563.
- Normand S-L., 1999, *Meta-analysis: formulating, evaluating, combining and reporting*, Statistics in Medicine, 18, 3, s. 321–359.
- Nurkowska J., 1997, *Stoneczne złego początki*, Wiedza i Życie, 8, s. 12–17.
- Obrębska-Starkel B., Starkel L., 1991, *Efekt cieplarniany a globalne zmiany środowiska przyrodniczego*, Zeszyty IGiPZ PAN, 4.
- O'Neill M., Zanobetti A., Schwartz S., 2003, *Modifiers of the temperature and mortality association in seven US cities*, American Journal of Epidemiology, 157, 12, s. 1074–1082.
- Oppenheimer Z., 1874, *Wpływ klimatu na człowieka*, Wyd. Gebethner i Wolff, Warszawa.
- Oździński J., 1976, *Wpływ pogody i warunków jazdy na samopoczucie kierowców transportu samochodowego*, Monografie, Podręczniki, Skrypty AWF w Poznaniu, Monografie, 58, s. 481–486.
- Pabiańczyk M., 2003, *Wpływ sytuacji synoptycznych na zaostrzenia wybranych stanów chorobowych u pacjentów kardiologicznych w Krakowie*, maszynopis w Zakładzie Klimatologii IG UJ w Krakowie.
- Pacione M. (red.), 1986, *Medical Geography*, Croom Helm, London.
- Papiernik Z., 2004, *Wskaźnik klimatu odczuwalnego w Polsce: zmiany w okresie 1951–2000 i prognoza na lata 2051–2060*, [w:] Kożuchowski K. (red.), *Skala, uwarunkowania i perspektywy współczesnych zmian klimatycznych w Polsce*, Wyd. Biblioteka, Łódź, s. 139–169.
- Parsons K.C., 1993, *Human Thermal Environments*, Taylor & Francis Publ., London.

- Pasieczny J., Łazowski J., Świsłak A., Marciniak K., Wiaderny J., 1977, *Wpływ warunków pogodowych w Ciechocinku na objawy choroby wieńcowej*, Biuletyn Wojskowej Akademii Medycznej im. gen. B. Szareckiego, supl. IV, 22, s. 8–15.
- Pasieczny J., Łazowski J., Świsłak A., Marciniak K., Nowak J., 1979, *Analiza częstości zgonów przy różnych sytuacjach pogodowych*, Problemy Uzdrowiskowe, 9/10 (143/144), s. 79–83.
- Pasyk S., 1960, *Wpływ czynników meteorologicznych na występowanie zawału mięśnia sercowego*, Polskie Archiwum Medycyny Wewnętrznej, 30, 2, s. 233–242.
- Paszyński J., Niedźwiedź T., 1999, *Klimat*, [w:] Starkel L. (red.), *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, s. 238–343.
- Pattenden S., Nikiforov B., Armstrong B.G., 2003, *Mortality and temperature in Sofia and London*, Journal of Epidemiology and Community Health, 57, 8, s. 628–633.
- Petersen W.F., 1935, *Patient and the Weather*, Ann Arbor, Edward Brothers.
- Poddany K., 1981, *Próba oceny wpływu niektórych czynników biometeorologicznych na zachorowania na zawał serca (doniesienie wstępne)*, Problemy Uzdrowiskowe, 1/4 (159/162), s. 237–240.
- Podstawczyńska A., Adamkiewicz B., 1998, *Częstość występowania krwotoków podpajęczynówkowych w województwie łódzkim w latach 1992–1995 w świetle typologii pogody*, Acta Universitatis Lodzianensis, Folia Geographica Physica, 3, s. 547–558.
- Pokorski M., 1999, *Diagnostyka nadciśnienia u osób starszych w oparciu o koncepcje „obciążenia ciśnieniem”*, Informator Naukowy Mokotowskiego Uniwersytetu Trzeciego Wieku, 6, Towarzystwo Mokotowskiego UTW, Warszawa – Towarzystwo Normalizacyjne Spółka z o.o. Alfa, Warszawa.
- Ponikowska I. (red.), 1995, *Medycyna uzdrowiskowa w zarysie*, Wyd. WATEXT'S, Warszawa.
- Pope III A., Bates D., Raizenne M., 1995, *Health effects of particulate air pollution: time for reassessment?*, Environmental Health Perspectives, 103, 5, s. 472–480.
- Pope III C.A., Kalkstein L.S., 1996, *Synoptic Weather Modelling and estimates of the exposure-response relationship between daily mortality and particulate air pollution*, Environmental Health Perspectives, 104, 4, s. 414–420.
- Pope III A., Schwartz J., Ransom M., 1992, *Daily mortality and PM10 pollution in Utah Valley*, Archives of Environmental Health, 47, s. 211–217.
- Powroźnik M., Morawska-Horawska M., Rysz M., Tumidajski T., 1982/1983, *Badania związków między warunkami aerosanitarnymi*

- a liczbą zgonów w Krakowie dla wybranych jednostek i grup chorobowych, *Folia Medica Cracoviensia*, 24, 3-4, s. 211-220.
- Przybyła R., 1994. *Próba określenia wpływu stanów pogody na samopoczucie chorych psychicznie w Zakopanem*. [w:] Bokwa A., Mrocza A., Przybyła R., Śmiałkowski J., Twardosz R., *Wybrane zagadnienia z klimatologii i bioklimatologii*, Zeszyty IGiPZ PAN, 24, s. 31-48.
- Rafiński K., Andron C., Cieślukowski Z., Chobot-Maciejewska H., Marusik T., Orzechowska B., Łopucka F., Wycisk Z., 1973, *Wpływ czynników biometeorologicznych na przebieg astmy oskrzelowej u dzieci leczonych w klimacie morskim*, *Problemy Uzdrowiskowe*, 5(71), s. 171-174.
- Reiter R., 1960, *Meteorologie und Elektrizität der Atmosphäre. Probleme der Bioklimatologie*, Verlagsgesellschaft, Leipzig.
- Road Safety Vision 2001, [http://www.tc.gc.ca/road safety/vision/2001/menu.htm](http://www.tc.gc.ca/road%20safety/vision/2001/menu.htm)
- Rokicka D., 1969, *Wpływ warunków biometeorologicznych na sprawność somatyczną i psychiczną kierowcy*, [w:] *Zdrowie kierowcy*, WKiŁ. Warszawa.
- Rooney C., McMichael A., Kovats S., Coleman M., 1998, *Excess mortality in England and Wales, and in Greater London, during the 1995 heatwave*, *Journal of Epidemiology and Community Health*, 52, 8, s. 482-486.
- Saez M., Sunyer J., Castellsague J., Murillo C., Anto J., 1995, *Relationship between weather, temperature and mortality: a time series analysis approach in Barcelona*, *International Journal of Epidemiology*, 24, 3, s. 576-582.
- Sabatowski A., 1956, *Kierunki rozwojowe balneoklimatologii polskiej*, *Problemy Lekarskie*, 3, 1, s. 1-7.
- Sartor F., Snacken R., Demuth C., Walckiers D., 1995, *Temperature, ambient ozone levels, and mortality during summer, 1994, in Belgium*, *Environmental Research*, 70, 2, s. 105-113.
- Schiffer Z., 1986a, *Wiatr halny a samobójstwa i bójki*, [w:] Wojtusiak R.J. (red.), *Biometeorologia a organizm ludzi i zwierząt*, PWN, Warszawa-Kraków, s. 35-43.
- , 1986b, *Próba określenia faz pogody i ich wpływu na nasilenie się schorzeń meteorotropowych*, [w:] Wojtusiak R.J. (red.), *Biometeorologia a organizm ludzi i zwierząt*, PWN, Warszawa-Kraków, s. 21-32.
- Schofield R., Reher D., Bideau A. (red.), 1991, *The Decline of Mortality in Europe*, Clarendon Press, Oxford.
- Schuh A., 1995, *Angewandte Medizinische Klimatologie*. Sonntag Verlag, Stuttgart.
- Schönweise Ch-D., 1997, *Klimat i człowiek*, Prószyński i S-ka, Warszawa.



- Semenza J., Rubin C., Falter K., Selanikio J., Flanders W. D., Howe H., Wilhelm J., 1996, *Heat-related deaths during the July 1995 heat wave in Chicago*, The New England Journal of Medicine, 335, 2, s. 84–90.
- Seńczuk W., 2002, *Toksykologia*, Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa.
- Siemiński M., 2001, *Środowiskowe zagrożenia zdrowia*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- Sheridan S.C., 2002, *The redevelopment of a weather-type classification scheme for north America*, International Journal of Climatology, 22, 1, s. 51–68.
- Skrobowski A., 1989, *Wpływ wybranych czynników atmosferycznych na częstość występowania zawału serca*, Lekarz Wojskowy, 65, 11–12(VI), s. 691–699.
- , 1998, *Wpływ wybranych warunków atmosferycznych na ciśnienie tętnicze krwi*, Wojskowa Akademia Medyczna, Warszawa.
- Skrobowski A., Cholewa A., Błaszczyszyn M., 1999, *Wpływ ekstremalnych warunków zewnętrznych środowiska termicznego na wartości ciśnień tętniczych krwi w 24-godzinny automatyczny pomiarze ciśnienia tętniczego*, Lekarz Wojskowy, 75, 3–4(II), s. 140–149.
- Skrzypski J., 1976, *Porównanie zawartości tlenu (O<sub>2</sub>) w powietrzu w Krynicy i w innych wybranych miejscowościach Polski*, Przegląd Geofizyczny, 21(29), 4, s. 253–261.
- , 1989, *Zastosowanie analizy bilansu cieplnego metodą Fanger'a do oceny termicznych warunków klimatoterapii*, Problemy Uzdrawiskowe, 7/8 (261/262).
- Smoyer K.E., 1996, *Environmental risk factors in heat wave mortality: implications for mortality projections under climate change scenarios*, [w:] *Proceedings of the 14th Congress of Biometeorology*, Ljubljana, Slovenia, Biometeorology, 14, 2, 3, s. 150–157.
- , 1998, *A comparative analysis of heat waves and associated mortality in St. Louis, Missouri – 1980 and 1995*, International Journal of Biometeorology, 42, 1, s. 44–50.
- Smoyer-Tomic K., Rainham D., 2001, *Beating the heat: Development and evaluation of a Canadian Hot Weather Health-Response Plan*, Environmental Health Perspectives, 109, 12, s. 1241–1248.
- Sorbjan Z., 2002, *Pogoda, klimat i życie – dawniej i dziś*, Gazeta Obserwatora IMGW, 51, 6, s. 16–19.
- , 2004, *Pogoda dla koneserów*, Wyd. Meteor, Warszawa.
- Spix C., Wichmann H.E., 1996, *Daily mortality and air pollutants: findings from Köln, Germany*, Journal of Epidemiology and Community Health, 50, suppl. 1, s. 52–58.

- Sroczyński J., 1988, *Wpływ zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego na zdrowie ludzi*, PAN, Prace i Studia, 36, Ossolineum, Wrocław.
- Stawczyk Z., 1965, *Wpływ wybranych typów pogody na ogólną sprawność fizyczną*, Monografie, Podręczniki, Skrypty WSWF w Poznaniu, Monografie, 7, s. 417–423.
- Steadman R.G., 1984, *An universal scale of Apparent Temperature*, *Journal of Applied Meteorology*, 23, 12, s. 1674–1687.
- Stern A. (red.), 1977, *Air Pollution*, t. 2, Acad Press, New York.
- Straburzyński G., 1980, *Aerzoloterapia w polskim lecznictwie uzdrowiskowym*, *Problemy Uzdrowiskowe*, 8(154), s. 21–24.
- Strešnik J., Sitar J., 1996, *The influence of heliogeophysical and meteorological factors on sudden cardiovascular mortality*, [w:] *Proceedings of the 14th Congress of Biometeorology*, Ljubljana, Slovenia, *Biometeorology*, 14, 2, 3, s. 166–173.
- Suggett J., 2003, *Weather-related collisions in Regina, Saskatchewan*, [w:] Andrey J., Knapper Ch. (red.), *Weather and Transportation in Canada*, Department of Geography Publication Series, University of Waterloo, s. 67–94.
- Sulman F.G., 1982, *Short- and long-term changes in climate*, vol. I, II, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida.
- Suzuki S., Kamakura T., Tadokoro K., Takeuchi F., Yukiya Y., Miyamoto T., 1988, *Correlation between the atmospheric conditions and the asthmatic symptom*, *International Journal of Biometeorology*, 32, 2, s. 129–133.
- Synoradzka K., Christman R., Majewska M., Łyjak W., 1972, *Zawał mięśnia sercowego i dusznica bolesna w latach 1967–1968 w materiale trzech klinik szczecińskich, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu wybranych czynników meteorologicznych*, *Polskie Archiwum Medycyny Wewnętrznej*, 28, 3, s. 287–297.
- Szczepański L., Jach A., Bednarzewski J., Michałowski M., 1973, *Wpływ warunków meteorologicznych na zachorowania na zawał serca*, *Polski Tygodnik Lekarski*, 28, 32, s. 1225–1228.
- Szpot M., 2000, *Ostre zespoły wieńcowe a czynniki biometeorologiczne*, maszynopis w Collegium Medicum UJ, Kraków.
- Śmietanka M., 1995, *Wpływ warunków atmosferycznych na wypadki drogowe w Radomiu*, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych UW, Warszawa (maszynopis).
- , 1998, *Influence of atmospheric conditions on traffic accidents. The case of Radom*, *Miscellanea Geographica*, 8, s. 141–147.
- Taesler R., 1987, *Climate characteristics and human health*, [w:] *Climate and Human Health. Proceedings of the Symposium in Leningrad, 22–26 Sep. 1986, I*, World Meteorological Organization, s. 81–120.

- Teisberg T.J., Ebi K.L., Kalkstein L.S., Robinson L., Weiher R.F., 2004, *Heat Watch/Warning Systems Save Lives: Estimated Costs and Benefits for Philadelphia 1995-1998*, Bulletin of the American Meteorological Society, 85, 8, s. 1067-1073.
- Teodoreanu E., 2002, *Bioclimatologie umană*, Editura Academiei Romane, București.
- Thomas R.W. (red.), 1990, *Spatial Epidemiology*, Pion, London.
- Thompson D.R., Pohl J.E., Yiu-Yu S. Tse, Hiorns R.W., 1996, *Meteorological factors and the time of onset of chest pain in acute myocardial infarction*, International Journal of Biometeorology, 39, 2, s. 116-120.
- Trojan P., 1985, *Biometeorologia ekologiczna*, PWN, Warszawa.
- Tromp S.W., 1963, *Medical Biometeorology*, Elsevier, Amsterdam-London-New York.
- , 1968, *Influence of weather and climate on asthma and bronchitis*, Review of Allergy, 22, November, s. 1027-1044.
- , 1980, *Biometeorology*, Heyden, London.
- Tyczka S., 1966, *Zastosowanie metod statystycznych w biometeorologii*, [w:] II Krajowe Sympozjum Biometeorologii Sportu, Roczniki Naukowe WSWF w Poznaniu, 12, s. 259-264.
- , 1969, *Zmiany jonizacji powietrza atmosferycznego w zależności od czynników kosmometeorologicznych i higienicznych*, Uniwersytet Łódzki, Łódź.
- , 1975, *Podstawy meteorologiczne zorganizowanej klimatoterapii w uzdrowiskach polskich*, Problemy Uzdrowiskowe, 9/10 (97/98), s. 43-67.
- , 1980, *Znaczenie czynników klimatycznych w profilaktyce zdrowotnej*, Problemy Uzdrowiskowe, 4(150), s. 49-56.
- , 1981, *Problematyka, zadania i osiągnięcia współczesnej biometeorologii*, Problemy Uzdrowiskowe, 1-4 (159-162), s. 45-51.
- Tyczka S., Marusik T., Wolski J., Czajkowska D., 1988, *Obiektywna ocena meteorotropowych sytuacji pogodowych na zachodnim wybrzeżu Bałtyku - w rejonie Kamienia Pomorskiego*, Problemy Uzdrowiskowe, 9/10 (251/252), s. 5-65.
- Tyczka S., Młynarska T., Roszkowska T., Czajkowska D., 1986, *Zagadnienie meteorotropizmu w alergicznych chorobach układu oddechowego u dzieci i dorosłych przebywających na leczeniu w Rymanowie Zdroju*, Problemy Uzdrowiskowe, 10/12 (228/230), s. 7-62.
- Tyczka S., Ponikowska I., 1983, *Człowiek, pogoda, klimat*, PZWL, Warszawa.
- Tyczka S., Ponikowska T., Marusik T., 1971, *Średnie dawki promieniowania słonecznego dla osób zdrowych, określone w warunkach klimatycznych polskiego wybrzeża Bałtyku*, Balneologia Polska, 16, 3/4, s. 217-222.

- , 1975, *Dawki rumieniowe promieniowania słonecznego w zabiegach helioterapeutycznych na wybrzeżu Bałtyku*, *Problemy Uzdrawiskowe*, 1/2 (89/90), s. 111–118.
- Ungeheuer H., 1957, *Das menschliche Befinden bei verschieden Wetter-typen*, *Therapiewoche*, 7, s. 11–17.
- Verlato G., Calabrese R., De Marco R., 2002, *Correlation between asthma and climate in the European Community Respiratory Health Survey*, *Archives of Environmental Health*, 57, 1, s. 48–52.
- Vuori I., 1987, *The heart and the cold: a review*, *Annals of Clinical Research*, 19, 3, s. 156–162.
- Warakomska-Grzycka S., 1964, *Próby uchwycenia zależności w występowaniu i klinicznym przebiegu pneumopatii u dzieci od pewnych czynników meteorologicznych*, *Polski Tygodnik Lekarski*, 19, 48, s. 1840–1842.
- Weihe W.H., 1988, *Climate change and human health*, *Climate and Development*, Nov. 7–10 1988, Hamburg.
- Whiteman C.D., 2000, *Mountain Meteorology. Fundamentals and Applications*, Oxford University Press, New York-Oxford.
- Whittenberger J., 1989, *Health effects of air pollution: some historical notes*, *Environmental Health Perspectives*, 81, s. 129–130.
- Wichmann H.E., Mueller W., Allhoff P., Beckmann M., Bocter N., Csicsaky M.J., Jung M., Molik B., Schoeneberg G., 1989, *Health effects during a smog episode in West Germany in 1985*, *Environmental Health Perspectives*, 79, s. 9–99.
- Wiecha D., 1952, *Wpływ warunków meteorologicznych na śmiertelność na terenie miasta Krakowa w roku 1950*, *Rozprawy Wydziału Lekarskiego PAU*, S I, 13, 2, s. 23–58.
- Więclaw M., 2004, *Masy powietrza nad Polską i ich wpływ na typy pogody*, *Wyd. Akademii Bydgoskiej im. Kazimierza Wielkiego*, Bydgoszcz.
- Wilmhurst P., 1994, *Temperature and cardiovascular mortality*, *British Medical Journal*, 309, 6961, s. 1029–1030.
- Wojtach B., 2001a, *Metodyka obiektywnej biometeorologicznej oceny zmienności pogody oraz propozycja wniosku przyczynowego w biometeorologii*. [w:] *Doskonalenie systemu informacji biometeorologicznej*, Raport końcowy grupy tematycznej M-15, IMGW, Warszawa (maszynopis).
- , 2001b, *Związek dobowej statystyki wypadków i kolizji w Warszawie (MZK, MZA, TW) w latach 1970–2000 z meteorologicznymi warunkami jazdy i biotropią pogody*. [w:] *Doskonalenie systemu informacji biometeorologicznej*, Raport końcowy grupy tematycznej M-15, IMGW, Warszawa (maszynopis).
- , 2002, *Nasze serce a pogoda*, *Gazeta Obserwatora IMGW*, 2, s. 13–14.
- , 2003, *Le milieu „Oxygeno-thermique” commel’instrument d’evaluation de variabilité du temps*, [w:] Błażejczyk K., Adamczyk A.B. (red.), *Les relations Climat-Homme-Climat*, *Dokumentacja Geograficzna*, 29, s. 363–366.

- Wojtach B., Król J., Sawicki S., Martynuska A., 2003, *Les relations entre le nombre journalier des hospitalisations provoquées par l'infarctus aigu et le temps*, [w:] Błażejczyk K., Adamczyk A.B. (red.), *Les relations Climat-Homme-Climat*, Dokumentacja Geograficzna, 29, s. 367-371.
- Wojtyniak B., Piekarski T., 1996, *Short term effects of air pollution on mortality in Polish urban populations-what is different*, *Journal of Epidemiology and Community Health*, 50, suppl. 1, s. 36-40.
- Woś A., 1999, *Klimat Polski*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- Wojtowicz W., 1966, *Zagadnienia metodyczne w badaniach meteoropatologicznych*, *Wiadomości Uzdrawiskowe*, 1/2, s. 33-36.
- , 1968, *Zjawisko meteorotropizmu w świetle badań przeprowadzonych na terenie Poznania*, [w:] Jankowski J. (red.), *Zagadnienia klimatu i warunków higienicznych na obszarze Poznania i strefy podmiejskiej*, Poznańskie TPN, Komisja Upowszechniania Nauki, 3, s. 137-140.
- Wojtowicz W., Dzierżyński M., 1962, *Zawał serca a pogoda*, *Przegląd Lekarski*, 9, II, 9, s. 357-376.
- [www.gees.bham.ac.uk/research/climate/iache/workshop2.htm](http://www.gees.bham.ac.uk/research/climate/iache/workshop2.htm)
- European Union ENRICH Programme, Interdisciplinary Approach to Climate and Health Research (IACHE), Report on Workshop 2, Lisbon, February 2000.
- Zaninovic K., 2002, *The influence of meteorological parameters on the asthmatic attacks in children*, [w:] *Proceedings of the 15th Conference on Biometeorology and Aerobiology joint with the 16th International Congress on Biometeorology*, Kansas City, USA, American Meteorological Society, Boston, s. 12-14.
- Zawiślak T., 1997, *Choroby układu krążenia a warunki meteorologiczne w świetle dotychczasowych badań*, *Wiadomości IMGW*, 20(41), 3, s. 73-86.
- Zemła B., 1984, *Geografia nowotworów złośliwych najczęstszych umiejscowień wśród mężczyzn i kobiet w świetle uprzemysłowienia i innych czynników ryzyka*, Ossolineum, Wrocław.
- Zielonka E., Lewińska J., Wodzień M., Zaborski W., 1981, *Wpływ czynników meteorologicznych na stan podmiotowy chorych reumatycznych*, *Problemy Uzdrawiskowe*, 1/4 (159/162), s. 241-249.
- Zinkiewicz Wł., 1953, *Zagadnienie kompleksów pogodowych*, *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Sectio B*, 8, 6, s. 311-341.
- Zwierzchowski R., 1963, *Rola czynnika zaziębienia, termoregulacji i adaptacji w patogenezie schorzeń górnych dróg oddechowych w warunkach zasadniczej służby wojskowej*, *Wiadomości Uzdrawiskowe*, 1/2, s. 107-113.
- Zych S., 1962, *Najważniejsze problemy badań biometeorologicznych dotyczących człowieka w Polsce i rola Instytutu Balneoklimatycznego w ich realizacji*, *Balneologia Polska*, 11, s. 77-80.
- , 1973, *Korzystne i niekorzystne działanie czynników atmosferycznych na rośliny, zwierzęta i człowieka*, [w:] *Pamiętnik VIII Krajowej Konferencji*

*Biometeorologicznej, Szczawnica 18-21 V 1972, cz. I, Problemy Uzdrawiskowe* 5(71), 1-6.

Żarnowiecki G., 1977, *Umieralność w Kielcach na tle warunków synoptycznych*, Kieleckie TN, Kielce.

-, 1998, *Umieralność w Kielcach na tle warunków synoptycznych*, Rocznik Świętokrzyski, Seria B-Nauki Przyrodnicze, 25, s. 121-133.

Żoła-Ślęczek E., Szczeklik J., Niedźwiedź T., 1978, *Wpływ niektórych czynników meteorologicznych na częstość występowania zawału serca*. *Kardiologia Polska*, 21, 5, s. 453-463.

# THE INFLUENCE OF ATMOSPHERIC ENVIRONMENT ON THE HUMAN HEALTH AND WELL BEING (summary)

---

*The subject area of the book deals with human biometeorology – the branch of knowledge concerns the influence of weather and non-weather factors on human being. The book is the kind of monography aimed at the presentation of the Polish biometeorological research starting from the 60. of the 20th century until presence on a background survey of the world's biometeorological knowledge. It presents in detail the impact of weather and anthropogenic factors on human: an occurrence of meteorotropic diseases, road accidents, accidents among workers, and the mortality. It discusses the most recent research methods and estimates the impact of extreme weather conditions on Polish citizens.*

*The volume has been elaborated by the Staff of the Climatology Department of the Institute of Geography and Spatial Organization, Polish Academy of Sciences. It is addressed to wide range of users: geographers, climatologists, medical doctors, teachers and academic students.*

*This monograph consists of four main parts. The first one entitled "The basis of biometeorology" provided the definition, history and research problems of biometeorology. The attention was paid to the climatological circumstances, especially types of air masses and baric systems, of the morbidity and mortality in Poland. There is also systematically presented the influence of particular meteorological elements on man as well as the complexes of these elements in the form of atmospheric stimuli (physical, chemical and biological). One can find the pathogenic human reactions to some weather conditions (meteorotropism). In the group of physical stimuli there were considered: radiation stimuli (solar radiation), thermo-humid (air temperature and humidity), mechanical (wind, atmospheric pressure), electric (electromagnetic field, air ionization) and acoustic stimuli (the noise). Among chemical stimuli several natural air components and anthropogenic pollutants were discussed. The biological stimuli refer to the*

organic particles in the air (microscopic plants' and animals' particles, microorganisms).

It was determined the probability of the occurrence of especially unfavourable for man thermal and baric characteristics in Poland. There are: the frequency of the occurrence of: days with the changes of atmospheric pressure  $\geq 8$  hPa, hot days (maximum temperature  $\geq 25^{\circ}\text{C}$ ), very hot days (maximum temperature  $>30^{\circ}\text{C}$ ), extremely hot days (maximum temperature  $>35^{\circ}\text{C}$ ), sultry days (vapour pressure  $\geq 18.8$  hPa), frosty days (maximum temperature  $<0^{\circ}\text{C}$ ) and very frosty days (maximum temperature  $<-15^{\circ}\text{C}$ ). Some attention was also paid to biometeorological aspects of the expected climate changes. As a load anthropogenic factors have been considered: the air pollution and the noise. Among those the most important for the human health are gaseous pollution (sulphur dioxide, nitrogen dioxide, carbon monoxide, ozone), suspended particulate matter, and heavy metals (lead, cadmium, mercury, arsenic). The threshold values of harmful effect of noise, undesirable and vexing stimulus influence man, were described too.

In the second part of monography the latest research methods in biometeorology was composed. There are experiment research (medical-meteorological), measurement methods (using devices being the analogues of the human body), analytical methods (biometeorological indices), mathematical modelling, particularly human heat balance models. The survey of biometeorological weather classifications, starting from the oldest date from the 30. of the 20th century to the most recent, based on large-scaled weather processes.

The model of man-environment heat exchange, MENEX\_2002, developed in Climatology Department of the Institute of Geography and Spatial Organization by K. Błażejczyk, is more precisely described. That model could be used in different biometeorology conditions. Few biometeorological indices were proposed to use widely in evaluation of the heat load and thermal sensations in man staying outside, all based on the human heat balance: heat load (HL), effective clothing insulation (ECI), heat stress index (HSI), physiological strain (PhS), subjective temperature index (STI), skin temperature ( $T_{sk}$ ) and others.

In the third part - "Meteoropathology in the recent investigations" - the pathogenic human reaction to some weather conditions (meteorotropism) has been described. The weather is considered as a risk factor in some diseases and accidents (primarily based on Polish searches), especially for cardiovascular system diseases (blood pressure, infarct), respiratory system diseases (bronchial asthma), nervous system and musculoskeletal system. Weather impact on road collisions and accidents, especially through the direct influence on drivers not on the pavement, were



described here as well as the accidents among workers in different branches of industry (construction workers and consumer good industry).

The four part, "Mortality dependence of biometeorological factors" presents the analysis, based partly on the own data set, of the dependence of mortality on atmospheric conditions, especially in temperate climate. Particular attention was focused on extreme weather conditions (heat waves and cold spells) and the role of air masses, baric systems and air pollution. The issue was presented with the wide survey of international literature.

The results of original research of the mortality in Poland in relation to weather are presented. The analysis was based on the latest data (over the periods 1993–1996 and 1999–2002) of daily number of deaths from all reasons and from cardiovascular diseases in 17 Polish cities. The relative death risk in each city were determined. Then, using the series of meta-analysis the influence of several weather factors on mortality in previously defined groups of cities was evaluated.

The monograph is supplied by wide bibliography, comprises approximately 400 items, of the Polish and foreign papers concern human biometeorology.

This kind of book which systematically presents the knowledge of the significance of atmospheric environment for many sphere of human life and posses not only scientific feature but also important social and practical character. The use of the book's contents could facilitate preventive actions to protect both healthy and sick people against the effect of extreme weather conditions, to reduce number of road accidents and maybe even number of premature deaths.

## SKOROWIDZ RZECZOWY

---

- Aerozol atmosferyczny**, 33,  
**Azot**, 29,  
**Bilans cieplny człowieka**, 62,  
– model Menex, 63, 64,  
– warunki stacjonarne wymiany ciepła, 63,  
– warunki niestacjonarne wymiany ciepła, 63,  
**Biometeorologia**:  
– definicja, 9,  
– historia, 10, 11,  
– podział, 10,  
– Międzynarodowe Towarzystwo Biometeorologii, 12,  
– Polskie Towarzystwo Balneologii i Medycyny Fizykalnej, 12,  
**Biometeorologiczne i bioklimatyczne klasyfikacje pogody**:  
– M. Baranowskiej, 78, 79,  
– F. Beckera, 72,  
– J. Boguckiego, 77,  
– K. Dauberta, 72,  
– H. Kühnkego, 72,  
– H. Ungeheuera, 73,  
– B. Wojtach, 80–82,  
– W. Wojtowicza, 78, 79,  
– Obiektywna klasyfikacja pogody (DWD Freiburg), 73, 75,  
– Przestrzenna Klasyfikacja Synoptyczna (SSC), 76, 77,  
– Tymczasowy Wskaźnik Synoptyczny (TSI), 74,  
**Bodźce atmosferyczne**, 16, 17,  
– akustyczne, 28,  
– elektryczne, 25,  
– mechaniczne, 23,  
– radiacyjne, 18, 19,  
– termiczno-wilgotnościowe, 22, 23,  
**zespoły bodźców**:  
– biologicznych, 33,  
– chemicznych, 29,  
– fizycznych, 18,  
**Burza**, 25,  
**Ciśnienie atmosferyczne**:  
– zmiany dobowe, 24, 37,  
– zmiany z wysokością, 25,  
**Choroba fenowa**, 24,  
**Dawka rumieniowa skóry**, 21,  
**Dni: gorące**, 36,  
– upalne, 36,  
– parne, 38, 39,  
– bardzo mroźne, 39, 40,  
– mroźne, 39,  
– z silnym mrozem, 40,  
**Elektryczność atmosferyczna**  
– pole elektryczne, 25,  
– pole magnetyczne, 26,  
**Fale upałów**, 125,  
**Fale zimna**, 128,  
**Fitoncydy**, 33, 34,  
**Fronty atmosferyczne, częstość występowania**, 16,  
**Hałas**, 48,

- dopuszczalne normy, 49,
- uciążliwość, 50,
- Jonizacja powietrza**, 27,
- jony dodatnie, 27,
- jony ujemne, 28,
- Komfort termiczny**, 62,
- Masy powietrza**, częstość występowania, 13, 14,
- Metaanaliza**, 140,
- Metaboliczna produkcja ciepła**, 60,
- Meteoropatia**, 85–87,
- reakcje meteorotropowe, 88, 90,
- sytuacje meteorotropowe, 89,
- Meteorotropowe choroby**:
- układu krążenia, 91, 92,
- - nadciśnienie tętnicze, 93–95,
- - zawał serca, 96, 97,
- układu oddechowego, 97, 98,
- - astma oskrzelowa, 99, 100,
- układu nerwowego, 101,
- - nerwice, psychozy, schizofrenia, 102,
- - udary mózgowie, 103,
- układu narządów ruchu, 104,
- - choroby reumatyczne, 104, 105,
- Odzież**:
- izolacyjność termiczna, 61,
- oczekiwana izolacyjność odzieży (wskaźnik *ECl*), 65, 66,
- Ozon troposferyczny**, 31,
- dopuszczalne normy, 32,
- Parność**, 22,
- Promieniowanie słoneczne**:
- nadfioletowe, 18–21,
- podczerwone, 22,
- widzialne, 21,
- Przyrządy pomiarowe**:
- frygorygraf, 54,
- frygorymetr, 54,
- katatermometr, 53,
- manekin ciepły, 54,
- miernik odczuć ciepłych, 54,
- termometr kulisty, 54,
- Skóra człowieka**:
- pigmentacja, 20, 21,
- temperatura (*T<sub>sk</sub>*), 66, 67,
- Szata roślinna**, oddziaływanie, 34, 35,
- Smog fotochemiczny**, 31, 32,
- Smog „londyński”** 44,
- Synergizm**, 17,
- Termoregulacja**, reakcje, 59, 60,
- Tlen**, 29, 31,
- ciśnienie cząsteczkowe, 29,
- niedotlenienie, 30,
- Układy baryczne**, częstość występowania, 15,
- Umieralność**, 119, 120,
- zmiany sezonowe, 121,
- częstość zgonów w Polsce, 139–144,
- odczucia ciepłe a zgony, 146–148,
- wpływ fal upałów i zimna, 124–128, 153–159,
- wpływ mas powietrza, 130, 149–152,
- wpływ sytuacji synoptycznych, 129, 131, 132,
- wpływ zanieczyszczeń powietrza, 133–138,
- Wskaźniki biometeorologiczne**, 55,
- temperatura odczuwalna (*STI*), 69–70,
- temperatura pozorną (*AT*), 70,
- temperatura ochładzania wiatrem (*WCT*), 58,
- ekwiwalent ochładzania wiatrem (*WCET*), 58,
- wskaźnik *Humidex*, 58,
- wskaźnik meteorotropizmu de Rudder'a (*WM*), 53,

- wskaźnik patogenności pogody (I), 56, 57,
- wskaźnik obciążenia cieplnego (HL), 64, 65,
- wskaźnik stresu cieplnego (HSI), 68,
- wskaźnik stresu termofizjologicznego (PhS), 69,

Wypadki przy pracy, 115,

- przyczyny, 116, 117,

Wypadki drogowe, 105,

- przyczyny, 106, 110-113,
- zmiany sezonowe, 108, 109,

**Zanieczyszczenie powietrza, 42,**

- dopuszczalne normy, 43,
- zanieczyszczenia gazowe:
  - - dwutlenek azotu, 45,
  - - dwutlenek siarki, 44,
  - - dwutlenek węgla, 32,
  - - tlenek węgla, 45,
  - - pył, 46,
- metale ciężkie:
  - - arsen, 48,
  - - kadm, 47,
  - - ołów, 47,
  - - rtęć, 48,

Zdrowie, definicja, 7,

Zmiany klimatu, 40, 41, 42.



ISBN 83-87954-14-4  
PL ISSN 1643-2312

Książka została opracowana przez zespół pracowników Zakładu Klimatologii Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN i przeznaczona jest dla szerokiego grona odbiorców zainteresowanych biometeorologią człowieka – gałęzią wiedzy zajmującą się badaniem wpływu czynników atmosferycznych i pozaatmosferycznych na organizm człowieka. Książka ma charakter monografii i może być przydatna również jako podręcznik akademicki

Szczegółowo przedstawiono w niej wyniki badań wpływu środowiska atmosferycznego na występowanie chorób meteorotropowych, wypadków drogowych i przy pracy oraz na umieralność. Uwzględniono także czynniki antropogeniczne Omówiono najnowsze metody badawcze oraz dokonano oceny wpływu ekstremalnych warunków meteorologicznych na zdrowie mieszkańców Polski.