

Wpływ warunków meteorologicznych na organizm człowieka

Influence of meteorological factors on human body

Jakub Krzeszowiak, Krystyna Pawlas

Katedra i Zakład Higieny Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu. Kierownik: prof. dr hab. Krystyna Pawlas

STRESZCZENIE

Warunki meteorologiczne oddziałują na organizm człowieka w sposób ciągły, prowadząc do szeregu reakcji fizjologicznych i behawioralnych. W dużej mierze to właśnie warunki meteorologiczne kształtowały cywilizację, sposób ich życia, architekturę i sztukę. W dzisiejszych czasach, w których obserwowane są dynamiczne zmiany klimatu oraz częste i gwałtowne anomalie pogodowe, warunki meteorologiczne stają się czynnikiem bezpośrednio wpływającym na jakość życia, a niejednokrotnie zagrażają zdrowiu człowieka. W tym zakresie szczególnego znaczenia nabierają fale upałów i chłodu, których efektem jest gwałtowny wzrost umieralności. Duże znaczenie mają również znaczne międzydobowe zmiany ciśnienia atmosferycznego, które prowadzą do gorszego samopoczucia oraz skłonności do zachowań agresywnych lub osłabienia zdolności koncentracji. Z powodu coraz częściej pojawiających się powyższych anomalii pogodowych coraz liczniejsza grupa ludzi jest narażona na skutki ich oddziaływania, szczególnie wrażliwą grupą są osoby w podeszłym wieku. Istotne z tego względu jest stworzenie systemu wczesnego ostrzegania przed niekorzystnymi warunkami meteorologicznymi wraz z przekazaniem rzetelnej informacji jak skutecznie zabezpieczyć się przed ich wpływem.

W pracy przedstawiono mechanizm oddziaływania na organizm człowieka wysokich i niskich temperatur, aż do stanu bezpośrednio zagrażających życiu. Dokonano również opisu skutków zdrowotnych wpływu znacznych zmian międzydobowego ciśnienia atmosferycznego.

Słowa kluczowe: biometeorologia, warunki atmosferyczne, hipertermia, hipotermia

ABSTRACT

Meteorological conditions have an impact on the human body on a permanent basis and lead to numerous of physiological and behavioural reactions. To a large extent, the meteorological conditions have shaped the civilisations, way of life, architecture and art. Nowadays, where dynamic changes of climate and frequent and violent weather anomalies are observed, the meteorological conditions are becoming a factor which directly influence the quality of life and which are often hazardous to the human health. In this range, heat and cold waves which cause a rapid increase in mortality are of the significant importance. Large diurnal changes in atmospheric pressure which lead to a worse well-being and tendency to aggression or weakened concentration are also significant. Due to more frequent weather anomalies, more and more people is exposed to the weather's effects and elderly people constitute the most endangered group. In this regard, it is crucial to create an early warning system for unfavourable meteorological conditions altogether with providing a thorough information regarding the way of an effective protection against their influence.

The mechanism of the impact of high and low temperatures to the human body has been presented in the thesis, including the life-threatening condition. A description of health effects of the influence of significant changes of the diurnal atmospheric pressure has been also provided.

Key words: biometeorology, atmospheric conditions, hyperthermia, hypothermia

WSTĘP

Warunki meteorologiczne ukształtowały w znacznym stopniu formę dzisiejszego świata. Z tego też względu we współczesnej Europie wy-

rażna jest różnica pomiędzy krajami południowymi, a położonymi na północy. Mieszkańcy strefy umiarkowanej, jak i państw północy, z powodu surowych warunków pogodowych, cykliczności w dostępności do pożywienia, byli zmuszeni do ciągłego

„udoskonalania warunków bytowych”. Zwiększająca się liczba populacji wymuszała udoskonalanie metod uprawy rolnictwa oraz przechowywania żywności. Jednocześnie mniejsza liczba dni słonecznych oraz niekorzystne warunki atmosferyczne nie sprzyjały życiu towarzyskiemu. Inaczej rozwijały się państwa południowe. Łagodny klimat, długi okres wegetacji, słoneczna pogoda sprzyjały bardziej rozwojowi otwartego życia społecznego. Różnice te przetrwały do dziś, wystarczy spojrzeć na powściągliwego Niemca bądź Norwega na tle hałaśliwego i ekspresyjnego Włocha bądź Hiszpana. Warunki meteorologiczne odcisnęły swoje piętno na architekturze i planowaniu miast, na sztuce, oraz innych aktywnościach życia. Czynniki meteorologiczne były również przyczyną konfliktów zbrojnych, kiedy to z powodu suszy bądź powodzi brakowało żywności lub wody pitnej. W 1816 roku, który został nazwany rokiem bez lata (erupcja wulkanu) zbiory zbóż w Irlandii były tak dramatycznie niskie, że wywołało to falę emigracji, a śmierć poniosło wiele tysięcy osób, zarówno z powodu głodu jak i panujących później epidemii chorób [1].

Warunki meteorologiczne wciąż oddziałują na formę współczesnego świata m.in. z powodu obserwowanego globalnego ocieplenia, co niesie ze sobą coraz częstsze występowanie ekstremalnych zjawisk pogodowych [2]. Katastrofy naturalne takie jak powodzie czy huragany pochłonęły wiele istnień ludzkich. Prócz katastrof, również anomalie pogodowe, którym towarzyszy występowanie warunków atmosferycznych niespotykanych na danym terenie, takich jak fale upałów czy fale mrozów są przyczyną gwałtownego wzrostu liczby zgonów dziennych [3]. Również inne czynniki takie jak międzydobowa zmiana ciśnienia atmosferycznego, przechodzenie frontów atmosferycznych wraz z silnymi wiatrami, powodują, że u części osób występują objawy chorobowe i złe samopoczucie [4].

WARUNKI TERMICZNE

Warunki termiczne panujące na danym terenie są kształtowane przez temperaturę powietrza, wilgotność powietrza oraz prędkość wiatru, które to składają się na temperaturę odczuwalną. Oddziałują one na człowieka pod postacią bodźca termiczno-wilgotnościowego. Natomiast prędkość wiatru jest bodźcem mechanicznym. Silny wiatr, w mroźne dni lub dni z niską temperaturą (ok. 0°C) i wysoką wilgotnością, może potęgować bodziec zimna. Wprawdzie w dni upalne wiatr łagodzi odczucie ciepła, ale po przekroczeniu pewnego progu

temperatury powietrza zdolność ochładzania wiatrem maleje. Dodatkowo wiatr może przenosić zanieczyszczenia pyłowe, z jednego obszaru na drugi. Łagodny wiatr wywołuje mikromasaż nieosłoniętych części ciała. Silny wiatr utrudnia oddychanie, a nawet może uniemożliwić poruszanie się, co wywołuje niepokój i trudności w zasypianiu. Wilgotność ma szczególne znaczenie w dni upalne, uniemożliwiając odparowanie potu z powierzchni skóry, utrudniając oddawanie ciepła z organizmu. W takich warunkach bilans cieplny w krótkim czasie osiąga wartość dodatnią. Warunki takie są charakterystyczne dla pogody parnej, które są szczególnie uciążliwe dla osób z chorobami w obrębie układu krążenia [5].

Powyższy opis pokazuje, że warunki tzw. termo neutralne (18–23°C) są stanem, który ciężko osiągnąć. Warunki takie nie wpływają bodźcowo na organizm człowieka. Trudno jest określić jaki stan warunków termiczno-wilgotnościowych wraz z prędkością wiatru jest pogodą idealną dla człowieka. Bodźce zbyt słabe powodują utratę przystosowania (wydelikacenie), bodźce zbyt silne powodują obciążenie organizmu. Z tego względu należy dostarczać bodźców umiarkowanych, jednak i one z powodu zjawiska aklimatyzowania się organizmu stają się bodźcami słabymi [6]. Należy więc zmieniać miejsca pobytu, aby dostarczać nowych bodźców i hartować organizm. Warunki termiczne mogą przyjąć wartości skrajne, stają się one wówczas niebezpieczne dla życia i zdrowia. W tym zakresie mówimy o falach upałów i falach mrozu.

FALE UPAŁÓW

Fale upałów są jedną z głównych przyczyn zgonów z powodu ekstremalnych zjawisk pogodowych [7]. Jak donosi Flynn A. i wsp. wynika to z kilku zasadniczych czynników. Populacja krajów wysokorozwiniętych starzeje się. Prowadzi to do występowania różnego rodzaju problemów społecznych. Na pierwszy plan wysuwa się osamotnienie osób starszych, które nie potrafią należycie o siebie zadbać, często nie docierają do nich komunikaty ostrzegawcze lub mają trudności z ich prawidłową interpretacją. Osoby starsze jednocześnie chorują na typowe dla wieku starczego choroby, gdzie główne miejsce zajmują choroby układu krążenia. Wśród chorób układu krążenia dominującą rolę odgrywają nadciśnienie, miażdżycza naczyń krwionośnych włącznie z naczyniami wieńcowymi, zaburzenia rytmu serca aż po niewydolność krążenia różnego stopnia. Dodatkowo zaburzenia czucia pragnienia,

które wśród przedstawicieli tej grupy społecznej niezwykle często można zaobserwować, prowadzą do przewlekłego odwodnienia. Jednocześnie przyjmowane przez nich leki np. diuretyki na obniżenie ciśnienia tętniczego, mogą nasilać stan odwodnienia, jednocześnie powodując zaburzenia elektrolitowe – hiperkaliemie [8]. Dla tych osób sytuacją skrajnie niebezpieczną jest moment w którym temperatura powietrza przez okres 2–3 kolejnych dni przekracza wartości ponad 30°C i/lub temperatura w nocy nie spada poniżej 20°C, wówczas mówi się o zjawisku fali upałów. Należy mieć na uwadze, że definicja fali upałów nie jest jednoznacznie określona.

Organizm człowieka, w celu obniżenia temperatury wewnętrznej, odpowiada fizjologiczną reakcją polegającą na rozszerzeniu naczyń krwionośnych, przez co zwiększa się ilość krwi przepływającej przez naczynia krwionośne, zlokalizowane w skórze. Skutkuje to większą skutecznością podstawowych mechanizmów termoregulacyjnych, tj. promieniowania, konwekcji, przewodzenia i parowania. Z chwilą pojawienia się kropeł potu na powierzchni skóry, parowanie staje się główną drogą oddawania ciepła do otoczenia. Wraz z parującym potem człowiek traci elektrolity, szczególnie sód (Na). Stan rozszerzonych naczyń krwionośnych skutkuje spadkiem ciśnienia tętniczego. W odpowiedzi na spadek ciśnienia wzrasta częstotliwość akcji serca, przez co jego praca staje się mniej ekonomiczna. Wzrost częstości akcji serca u osób z miażdżycą naczyń krwionośnych może być przyczyną niedotlenienia mięśnia sercowego, co wynika z faktu, że naczynia wieńcowe napełniają się w czasie rozkurczu mięśnia sercowego. Dalsza utrata wody wraz elektrolitami prowadzi do dalszego spadku ciśnienia oraz wzrostu częstości akcji serca, prowadzi to do obniżenia perfuzji obwodowej. U osób ze znacznymi złogami miażdżycowymi w obrębie tętnic zaopatrujących centralny układ nerwowy może dojść do wystąpienia objawów zawału mózgu (TIA – *Transient Ischemic Attack*). Wysoka liczba skurczów serca wśród osób z rozpoznanymi zaburzeniami rytmu serca (trzępotanie, migotanie przedsionków, komorowe zaburzenia rytmu) z jednoczesnymi zaburzeniami elektrolitowymi może być przyczyną pogłębienia się stanu niewydolności krążenia. W najcięższych przypadkach zaburzeń elektrolitowych możliwe jest wystąpienie migotania komór. Osoby ze znaczną niewydolnością lewokomorową z powodu wzrostu częstotliwości akcji serca mogą doznać objawów obrzęku płuc. Jest to skutek niedostatecznego wypełnienia lewej komory, a tym samym, spadku siły skurczu

serca (prawo Francka-Starlinga). W takiej sytuacji ciśnienie w obrębie lewej komory znacznie wzrasta, co tym samym prowadzi do wzrostu ciśnienia w żyłę płucnej, aż do przekroczenia wartości ciśnienia hydrostatycznego i przesączenia płynu do przestrzeni pęcherzyków płucnych. Starsze osoby z niewydolnością prawokomorową mogą cierpieć z powodu masywnych obrzęków kończyn dolnych, z których, już z powodu rozszerzenia naczyń krwionośnych, odpływ krwi jest utrudniony. A osłabienie siły skurczów prawej komory według analogicznej zasady co w przypadku lewej komory serca, pogłębia obrzęki obwodowe [9, 10].

Z powodu powyżej opisanych konsekwencji wpływ ekstremalnych fal upałów na osoby starsze jest szczególnie niebezpieczny. Jest to grupa, która wymaga bardzo dużej uwagi oraz szybkich działań z chwilą wystąpienia niekorzystnych warunków atmosferycznych. Przegrzaniu organizmu towarzyszy odwodnienie oraz hiponatremia. Niedobór sodu i wody prowadzi do wystąpienia szeregu negatywnych konsekwencji zdrowotnych, zależnych od poziomu ich niedoboru. Przy niedoborze wody wyczerpują się możliwości oddawania ciepła przez parowanie potu. Z tą chwilą przegrzanie organizmu przybiera dramatyczny obrót. Niedobór sodu wyznacza kolejne etapy odwodnienia. Przy jego niedobrze w przestrzeni międzykomórkowej dochodzi do przemieszczenia się wody do wnętrza komórek, co w konsekwencji prowadzi do obrzęku komórek. W zależności od poziomu niedoboru sodu objawy mogą mieć charakter łagodny, związany głównie z zaburzeniami jelitowo-żołądkowymi oraz obrzękami stóp i rąk. Przy średnio nasilonej hiponatremii pojawiają się bóle głowy wynikające z rozwijającego się obrzęku mózgu przy współobecnych nudnościach, wymiotach czy objawach neurologicznych głównie niepokoju, a nawet splątania. Przy pogłębieniu się hiponatremii obserwuje się kurcze mięśniowe, wyczerpanie, drgawki, utratę przytomności aż po śmierć w wyniku obrzęku płuc lub mózgu [9].

Nie zawsze jednak ocena poziomu elektrolitów jest dostępna. Błażejczyk K. i Szyguła Z. [11] wskazują, że w procesie przegrzewania organizmu można wyróżnić 4 kolejne stadia charakteryzujące się innymi objawami, ale doskonale obrazującymi proces wyczerpania możliwości oddawania ciepła do otoczenia któremu towarzyszy ubytek sodu i wody.

Kurcze ciepłne

Dotykają one szczególnie ludzi wykonujących ciężki wysiłek fizyczny w upalne dni tj. sportowcy i robotnicy, którzy spożywają znaczne ilości wody.

Intensywne pocenie się prowadzi do ubytków chlorku sodu, który jest jednocześnie rozcieńczany przez wypijaną wodę. Konsekwencją tego jest pojawienie się bolesnych skurczy w obrębie kończyn dolnych i górnych, a nawet mięśni brzucha, co może imitować tzw. „ostry brzuch”. Kurcze ciepłe mogą być również spowodowane przez odwodnienie, zmęczenie nerwowo-mięśniowe lub być wynikiem zaburzeń aktywności odruchowej na poziomie rdzenia kręgowego. Bardzo istotną, a zarazem łatwą profilaktyką tego stanu jest dodawanie soli kuchennej do wody.

Omdlenie ciepłe

Z powodu odpływu krwi do naczyń krwionośnych zlokalizowanych w skórze, a tym samym zmniejszeniu powrotu żylnego do serca dochodzi do obniżenia objętości wyrzutowej serca. Obniżona perfuzja mózgowia objawia się uczuciem osłabienia i zawrotami głowy, dalszym spadkiem ciśnienia tętniczego co skutkuje omdleniem, przy wcześniejszej obecności objawów poprzedniego stanu (kurczy ciepłych).

Wyczerpanie ciepłe

Jest to stan, w którym ulegają wyczerpaniu mechanizmy obrony organizmu przed przegrzaniem. Jest to głównie spowodowane wyczerpaniem zapasów wody w organizmie, a ubytek masy ciała sięga w skrajnych przypadkach 10%. Tak nasilone odwodnienie skutkuje zmniejszeniem objętości osocza i krwi krążącej, co bezpośrednio przekłada się na spadek pojemności wyrzutowej serca, ciśnienie krwi znacznie się obniża. Brak potów, zmniejszeniu ulega przepływ krwi przez skórę, a tym samym możliwości rozpraszania ciepła do otoczenia ustają. Dodatkowo pojawić się mogą dwa poprzednie stany, tj. kurcze ciepłe i omdlenia z jednoczasowymi objawami ze strony ośrodkowego układu nerwowego (OUN) pod postacią zaburzeń w orientacji i koordynacji ruchowej. Brak wdrożenia intensywnego ochładzania z podażą płynów może doprowadzić do zejścia śmiertelnego.

Udar cieplny

Jest to stan bezpośrednio zagrażający życiu w wyniku osiągnięcia temperatury wewnętrznej ciała powyżej 40°C. Towarzyszą mu we wcześniejszych fazach wszystkie powyżej wymienione stany przegrzania organizmu, kończące się skrajną apatią, omamami wzrokowymi i słuchowymi. Objawy te w skrajnym stadium przechodzą w drgawki i utratę przytomności. Pomimo normalizacji temperatury wewnętrznej organizmu nie dochodzi do odzyska-

nia przytomności, a nawet po jej odzyskaniu obserwowane są trwałe deficyty neurologiczne związane z uszkodzeniem ośrodkowego układu nerwowego. Skutkiem powyższych objawów jest wzrost ciśnienia śródczaszkowego. Jednocześnie dochodzi do rabdomiolizy, co może mieć negatywne konsekwencje dla nerek oraz przedostawaniu się endotoksyn z układu pokarmowego (jelita cienkiego) do krwioobiegu. Śmiertelność w udarze cieplnym sięga 70%.

Jak wynika z powyższych rozważań fale upałów mogą być bardzo niebezpieczne dla życia i zdrowia ludzi. Obrazują to dane z 2003 roku, kiedy to Europa została nawiedzona przez fale upałów. We Francji latem 2003 z powodu ekstremalnie wysokiej temperatury zmarło 14 800 osób, w Portugalii 2100, w Szwajcarii 975, a w Niemczech 300. Patrząc na doświadczenia krajów gdzie fale upałów pojawiają się corocznie z większym lub mniejszym nasileniem, wypracowały one odpowiednie protokoły bezpieczeństwa, których zadaniem jest ostrzeżenie ludzi przed ekstremami termicznymi [12]. W Polsce wciąż brakuje sprawnego systemu ostrzegania, a raczej wydawania zaleceń dla ludności, które będą łatwo dostępne i będą miały charakter wyczerpującej kompleksowej informacji. Na tę chwilę zalecenia te są tworzone na bieżąco w zależności od wystąpienia niebezpiecznego zjawiska meteorologicznego. Jednak zmieniający się klimat w Polsce (od 2006 nie zdarzył się żaden miesiąc z temperaturą poniżej normy), będzie powodował coraz częstsze występowanie zjawisk meteorologicznych o charakterze skrajnym [13].

Brak jest jednoznacznie określonych kryteriów „fal upału”, samo określenie wartości temperatury może być niewystarczające, należy również brać pod uwagę poziom wilgotności. W tym celu został stworzony wskaźnik *Humidex*. Wskaźnik ten obrazuje temperaturę odczuwalną przez człowieka, która jest kształtowana przez warunki termiczno-wilgotnościowe. W krajach południowej Europy, Stanach Zjednoczonych oraz Kanadzie wartości wskaźnika *Humidex* podawana są w dni upalne w wiadomościach [14]. Poniżej przedstawiono w tabeli I skalę wskaźnika *Humidex*.

Wskaźnik ten nie jest jednak doskonały, nie uwzględnia prędkości wiatru. Wiatr szczególnie w warunkach Polski działa ochładzająco, choć przy ciszy meteorologicznej może potęgować odczucie gorąca. W tym celu są potrzebne bardziej kompleksowe wskaźniki biometeorologiczne, lub inne analizy zależności przyczynowo skutkowej, które w szybkim czasie wskażą możliwość wystąpienia zagrożenia dla życia i zdrowia ludzi.

Tabela I. Wartość wskaźnika HUMIDEX z określeniem stopnia zagrożenia dla człowieka wraz z odczuwalnymi objawami. W modyfikacji własnej [15]

Table I. An index value of HUMIDEX specifying the degree of hazard for humans with significant symptoms. In the self modification [15]

Humidex (°C)	Stopień zagrożenia	Odczuwane objawy
od 23 do 29	poziom ostrzegawczy	Niewielki dyskomfort. Długotrwały wysiłek może doprowadzić do stanu przemęczenia
od 29 do 39	wzrost zagrożenia	Znaczny dyskomfort. Długotrwały wysiłek może doprowadzić do udaru cieplnego
od 39 do 54	znaczne zagrożenie	Duży dyskomfort. Niebezpieczeństwo udaru cieplnego nawet przy krótkotrwałym wysiłku
54 i więcej	duże zagrożenie	Możliwość udaru cieplnego podczas pobytu na terenie otwartym

FALE CHŁODU

W sytuacji której bilans cieplny jest ujemny, tj. promieniowanie i konwekcja przekraczają możliwości produkcji ciepła przy jednoczesnym braku dostarczania ciepła ze środowiska, mówimy o środowisku zimnym w którym mamy do czynienia z dyskomfortem zimna. Warunki takie prowadzą do obciążenia fizjologicznego powodując niedobór ciepła. Niedobór ciepła przy braku zastosowania odpowiedniej odzieży lub/i w sytuacjach niedostatecznej podaży energetycznej z pokarmem może prowadzić do rozwoju hipotermii [16]. Nim zostaną uruchomione fizjologiczne reakcje organizmu na zimno człowiek reaguje behawioralnie przemieszczając się do miejsc dostarczających większy komfort termiczny oraz zwiększając izolacyjność termiczną odzieży, zazwyczaj przez dodanie kolejnej jej warstwy [17]. Przy braku skuteczności powyższych działań zostają uruchomione fizjologiczne reakcje ochrony przed zimnem.

Generalnie reakcje te skupiają się na zwiększeniu zdolności zatrzymania ciepła przez organizm oraz na wzmożeniu jego wytwarzania. Podstawową reakcją fizjologiczną organizmu człowieka na zimno jest obkurczenie naczyń krwionośnych, szczególnie obwodowych. Jednocześnie tempo przemian metabolicznych przyspiesza, oddychanie komórkowe oraz proces fosforylacji oksydacyjnej w obrębie brunatnej tkanki tłuszczowej, co skutkuje wytworzeniem ciepła. W trakcie stopniowego wychładzania organizmu (hipotermii) dochodzi do wzrostu objętości wydalanego moczu tzw. zimna diureza (obniżona reakcja na wazopresynę). Skutkuje to zmniejszeniem objętości osocza jednocześnie obniżając poziom perfuzji w dystalnych części ciała, co predysponuje je do rozwoju odmrożeń przy niekorzystnych warunkach zewnętrznych. Obserwowany jest wzrost częstości akcji serca i przyspieszenia częstości oddechu. Odpowiedzi te są związane z wydzielaniem adrenaliny, która dodatkowo podnosi poziom glukozy, która

jest wykorzystywana na potrzeby termogenezy. Z chwilą kiedy te procesy stają się niewystarczające dochodzi do mimowolnych nieskoordynowanych kurczy włókien nerwowych. Ich drżenie (praca mechaniczna) jest zamieniane na ciepło, co jest określane mianem termogenezy drżeniowej. Skuteczność dwóch powyższych mechanizmów trwa tak długo jak długie są obecne rezerwy energetyczne organizmu, jeżeli nie ma odpowiednio wysokiej podaży z bieżącymi posiłkami. Wyczerpanie rezerw energetycznych nie pozwala dalej bronić się organizmowi przed zimnem, od tego momentu rozpoczyna się powolny proces umierania. Pojawia się bradykardia hipotermiczna oraz zwolnienie akcji oddechowej wraz ze spłyceniem oddechu. Spada zużycie tlenu, zwolnieniu ulegają procesy metaboliczne. Dalszy spadek temperatury prowadzi do upośledzenia funkcjonowania ośrodkowego, co wynika z niskiego poziomu dwutlenku węgla przez obniżony poziom metabolizmu. Dodatkowo może wystąpić śmiertelne powikłanie pod postacią migotania komór, co najprawdopodobniej wynika z ochłodzenia miokardium. Do wyżej opisanych reakcji fizjologicznych i patofizjologicznych hipotermii, może dołączyć się depresyjny wpływ na ośrodkowy układ nerwowy, co sprzyja wystąpieniu zachowań irracjonalnych, a w końcu zanikają czynności elektryczne mózgu [10, 18].

Tak skrótowo przedstawia się proces wchodzenia organizmu człowieka w stan głębokiej hipotermii. Należy również pamiętać o możliwości rozwoju odmrożeń części ciała. Odmrożenia nie są stanem bezpośrednio zagrażającym życiu, ale mogąym prowadzić do trwałego poważnego kalectwa, co niesie ze sobą znaczne konsekwencje społeczne.

Niestety, w Polsce liczba zgonów z powodu hipotermii sięga od kilkunastu do ponad stu rocznie i zbliżona liczba osób odmraża się. W mieszkaniach odnajdywane są też starsze osoby w stanie skrajnego wychłodzenia [19]. Problem ten dotyczy z jednej strony ludzi bezdomnych, z drugiej strony osób

żyjących w stanie skrajnego ubóstwa. Jednocześnie należy pamiętać, że niektóre stany chorobowe tj. niedoczynność tarczycy, parkinsonizm, niedowład i niesprawność oraz niektóre leki: aspiryna, leki przeciwdepresyjne, przeciw bólowe i uspokajające potęgują możliwość wychłodzenia [20]. Niestety niechlubnym faktem jest to, że 80% epizodów hipotermii na zewnątrz jest związanych z upojeniem alkoholowym [21]. Problem leży również po stronie niedostatecznej informacji „pogodowej” dla ludzi, a nawet dla służb porządkowych i ratunkowych. Dodatkowo brak definicji fal chłodu, jak i trudności interpretacji wartości temperatury i prędkości wiatru, może z jednej strony prowadzić do nadinterpretacji, a z drugiej do niedoszacowania zagrożenia.

Fala chłodu jest definiowana przez IMGW (Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej) jako „okres co najmniej pięciu kolejnych dni z dobową temperaturą minimalną mniejszą od średniej dobowej wartości wieloletniej o więcej niż jedno odchylenie standardowe dla danego dnia”, z tego względu

fala chłodu może być częstym zjawiskiem. Sytuacje takie są szczególnie niebezpieczne zimą, kiedy temperatura osiągnie skrajnie niskie wartości. Takie warunki meteorologiczne są z oczywistych względów niebezpieczne dla życia i zdrowia. Jednak w sytuacjach kiedy temperatura nie jest bardzo niska, ale towarzyszy jej silny wiatr, odczucie zimna potęguje się. Takie warunki często przechodzą niezauważone, a często są dużo bardziej niebezpieczne. W tym celu stworzono kilka wskaźników, m.in. WCI (*Wind Chill Index*). WCI został stworzony w czasie badań na Antarktydzie. Określa on straty ciepła wyrażone w $W \cdot m^2$, a nie jest jednak powszechnie wykorzystywany [6]. Innym wskaźnikiem jest WCT (*Wind Chill Temperature* lub *Wind Chill Factor*). Wskaźnik ten został opracowany w Kanadzie i Stanach Zjednoczonych. Uwzględnia on temperaturę i prędkość wiatru, a wynik jest wyrażony w $^{\circ}C$ [22]. Jest on w tych krajach podawany w wiadomościach, a jego wartość jest poważnie brana pod uwagę przez mieszkańców. W celu samodzielnej interpretacji stworzono *Wind Chill Chart* (tabela II).

Tabela II. Przykład Wind Chill Chart [23]

Table II. Example of Wind Chill Chart [23]

T $^{\circ}C$	Oszacowanie prędkości wiatru	Temperatura odczuwalna (WCT)									
		0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
10 km/h	Wiatrowskaz zaczyna się poruszać, wiatr wyczuwalny na twarzy	-3	-9	-15	-21	-27	-33	-39	-45	-51	-57
20 km/h	Małe flagi zaczynają powiewać	-5	-12	-18	-24	-30	-37	-43	-49	-56	-62
30 km/h	Wiatr podnosi papier, duże flagi zaczynają topotać, gałęzie małych drzew poruszają się	-6	-13	-20	-26	-33	-39	-45	-52	-59	-65
40 km/h	Małe drzewa zaczynają się kołysać, duże flagi zaczynają powiewać i silnie topotać	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-48	-54	-61	-68
50 km/h	Gałęzie dużych drzew poruszają się, pojawia się świst wiatru, użycie parasola jest niemożliwe	-8	-15	-22	-29	-35	-42	-49	-56	-63	-69
60 km/h	Duże drzewa uginają się, marsz pod wiatr jest praktycznie niemożliwy	-9	-16	-23	-30	-36	-43	-50	-57	-64	-71

Dodatkowo do wartości wskaźnika WCT stworzono skalę zagrożeń (tabela III).

Wskaźnik WCT nie jest w 100% idealny, gdyż nie zawiera on poziomu wilgotności, co w warunkach Polski może mieć istotne znaczenie. Niemniej jednak jest to wskaźnik niezwykle praktyczny, mówiący o wiele więcej niż wartość temperatury

i prędkość wiatru. Wskaźnik WCT mógłby być istotną informacją dla pracujących lub planujących przebywać dłuższy czas zimą poza „schronieniem”. Pozwoliło by to zredukować liczbę tragedii pod postacią śmierci z wychłodzenia lub poważnych odmrożeń.

Tabela III. Wartości wskaźnika WCT w stosunku do odczuć zimna, możliwych zagrożeń oraz sposobu przeciw działania im. W modyfikacji własnej [6]

Table III. An index value of WCT relative to cold feelings, the possible risks and how to reduce them. In the self modification [6]

WCT (°C)	Odczucie zimna	Zagrożenie	Sposób przeciwdziałania
Od 0 do -10	Niewielkie	Nieznaczny wzrost dyskomfortu	Ciepłe ubranie
-10 do -25	Umiarkowane	Możliwe wychłodzenia w przypadku nieodpowiedniej odzieży	Ciepłe wielowarstwowe ubranie oraz nakrycie głowy. Konieczny ruch
-25 do -45	Znaczne	Możliwość odmrożeń odsłoniętych części ciała. Możliwe wychłodzenie bez odpowiednich zabezpieczeń i odzieży	Ciepłe wielowarstwowe ubranie, nakrycie głowy, osłonięcie twarzy od wiatru. Konieczność wykonywania ruchu
-45 do -60	Duże	Nieosłonięta skóra ulega odmrożeniu już po kilku minutach. Znaczne niebezpieczeństwo wychłodzenia organizmu	Bardzo ciepłe wielowarstwowe ubranie, nakrycie głowy, osłonięcie twarzy. Ograniczyć pobyt na terenie otwartym
-60	Bardzo duże	Niebezpieczeństwo dla zdrowia i życia. Nieosłonięta skóra ulega odmrożeniu już po dwóch minutach	Najbezpieczniej pozostać w domu

BODŹCE MECHANICZNE

Prócz bodźców termiczno-wilgotnościowych, bodźce mechaniczne mogą w znaczący sposób wpływać na organizm człowieka i samą aktywność ludzi.

Do bodźców mechanicznych zalicza się siłę wiatru oraz ciśnienie atmosferyczne. Wiatr ma szczególne znaczenie w dni mroźne, ponieważ może potęgować odczucie chłodu, w dni upalne natomiast może zmniejszać odczucie gorąca. Wiatr, szczególnie typu fenowego, może nieść ze sobą gwałtowne spadki ciśnienia. Znaczne różnice ciśnienia między dobowych oraz ciśnienia ponadprzeciętnie wysokie lub niskie oddziałują w sposób bodźcowy na organizm człowieka. Według doniesień z zakresu biometeorologii człowieka zmiany ciśnienia atmosferycznego oddziałują szczególnie na błonę bębenkową powodując jej odkształcanie, wywołując tym samym uczucie kłucia, ucisku, dzwonienia aż po przejściowe przytępienie słuchu [4]. W okresie znacznych i gwałtownych zmian ciśnienia obserwowana jest większa liczba zgłoszeń do szpitali z powodu chorób układu krążenia, a szczególnie ostrych incydentów wieńcowych [24]. Ciężko jest jednoznacznie wskazać na mechanizm patofizjologiczny tego zjawiska, najpewniej wynika ona ze wzmożonej aktywności układu współczulnego. Potwierdzeniem tego są doniesienia dotyczące zmian ciśnienia atmosferycznego i występowania wśród niektórych ludzi niepokoju, rozdrażnienia oraz zmian zachowań [25]. Z tego też

powodu w niektórych krajach gdzie występują wiatry fenowe, popełnienie przestępstwa w okresie występowania tego typu wiatru może być przed sądem okolicznością łagodzącą. Szczególnie narażonymi osobami w trakcie tego typu warunków pogodowych są osoby ze schorzeniami układu nerwowego, a dokładnie z zaburzeniami psychicznymi. W trakcie spadku ciśnienia obserwowany jest pogorszony stan pacjentów cierpiących z powodu epilepsji, nerwicy, depresji oraz osób uzależnionych od alkoholu i narkotyków [26]. Jednocześnie wpływ ten wyraźnie destrukcyjnie wpływa na psychikę osób potencjalnie zdrowych. Badania przeprowadzone w Polsce, w Krakowie i Zakopanem, pokazały, że w okresie wiatrów fenowych dochodziło do większej liczby samobójstw oraz bójek [27]. Dodatkowo, w cyklonalnych fazach pogody, liczba wypadków drogowych wyraźnie się zwiększa [28]. Jest to związane z obniżeniem sprawności psychofizycznej.

FALE UPAŁÓW I MROZÓW, A KOMPLEKSOWE WSKAŹNIKI BIOMETEOROLOGICZNE

Liczba wskaźników biometeorologicznych jest znaczna, jednak nie spełniają one wymagania kompleksowości. Od początku XX w. trwają prace nad opracowaniem wskaźnika, który w sposób kompletny obrazowałby wpływ czynników meteorologicznych na organizm człowieka, uwzględniając przy tym: temperaturę, wilgotność, prędkość wiatru

i promieniowanie słoneczne. Jednym z takich wskaźników był MENEX_2005. Model ten pozwala na analizę bilansu cieplnego człowieka odnosząc się jednocześnie do rzeczywistych reakcji fizjologicznych człowieka [29]. Został on zastąpiony przez nowszy wskaźnik UTCI (Universal Thermal Climate Index), który opiera się również o analizę bilansu cieplnego organizmu. Określa on obciążenie cieplne człowieka jako „pełne informacje o procesach termofizjologicznych w pełnym zakresie możliwych warunków środowiskowych (z uwzględnieniem sezonowości klimatu) i we wszystkich skalach przestrzennych, z możliwością zastosowania w najważniejszych aplikacjach z zakresu bioklimatologii człowieka” [30]. Wskaźnik ten pomimo jego kompleksowości wymaga przeprowadzenia analizy wielu danych wejściowych, niejednokrotnie o złożonym charakterze. Z tego względu łatwiejsze i bardziej praktyczne jest określenie na podstawie badań epidemiologicznych, przy jakich warunkach meteorologicznych (temperatura, wilgotność, prędkość wiatru) występuje największa liczba niekorzystnych zdarzeń zdrowotnych na danym terenie. Analizy takie wymagają dużego nakładu pracy na wstępie, jednak opracowanie modelu na tej podstawie pozwala prognozować możliwość wystąpienia konkretnych zdarzeń zdrowotnych w zależności od warunków. Takie analizy muszą zostać uzupełnione o poziomy zanieczyszczeń powietrza na danym terenie, które wywierają istotny wpływ na organizm człowieka, a ich stężenie w powietrzu jest min. związane z warunkami meteorologicznymi.

PODSUMOWANIE

Warunki meteorologiczne są często pomijane w analizach wpływu środowiska zamieszkania na ludzi. Jak wynika z powyżej przedstawionych informacji wywierają one bardzo duży wpływ na zdrowie człowieka i jego aktywność. Niezwykle istotne jest wczesne prognozowanie wystąpienia sytuacji meteorologicznych i meteotropowych, które mogą negatywnie wpływać na organizm człowieka. Pozwoliłoby to uniknąć pewnej liczby przedwczesnych zgonów. Odpowiedni komunikat, pozwoliłby by zrozumieć odbiorcom pod wpływem jakich warunków meteorologicznych się znajdują i jaki może mieć to konsekwencje, zarówno pozytywne jak i negatywne. Wymaga to jednak wcześniej wspomnianych analiz, dla danego miasta/rejonu, które dałyby odpowiedź jakie sytuacje meteorologiczne niosą największe zagrożenie, zarówno ze strony samych czynników atmosferycznych jak i zmiennej koncentracji zanieczyszczeń powietrza.

PIŚMIENICTWO

1. Kozłowska-Szczęśna T., Błażejczyk K.: Wpływ środowiska atmosferycznego na społeczeństwo jako przedmiot badań biometeorologii społecznej. *Przegląd Geograficzny* 2010, 82: 5-48.
2. Maarten K.: The impacts of climate change on the risk of natural disasters. *Disasters* 2006; 30: 5-18.
3. Diaz J.H.: The influence of global warming on natural disasters and their public health outcomes. *Am J Disaster Med* 2007; 2: 33-42
4. Höppe P.: Aspects of human biometeorology in past, present and future. *Int J Biometeorol* 1997; 40:19-23
5. Kozłowska-Szczęśna T., Błażejczyk K., Krawczyk B.: Oddziaływanie środowiska atmosferycznego na człowieka [w]: *Bioklimatologia Człowieka. Metody i ich zastosowania w badaniach bioklimatu Polski*, Kozłowska-Szczęśna T., Państwowa Akademia Nauk. Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania. Warszawa 1997.
6. Błażejczyk K.: Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce. Państwowa Akademia Nauk. Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania. Warszawa 2004.
7. Robinson P.J.: On the Definition of a Heat Wave. *J Appl Meteor* 2001; 40, 762-775.
8. Flynn A., Mcgreevy C., Mulkerrin E.C.: Why do older patients die in a heatwave? *Q J Med* 2005; 98:227-229
9. Bouchama A., Knochel J.P.: Heat Stroke. *N Engl J Med* 2002; 346:1978-1988
10. Guzek J.W.: Czynniki chorobotwórcze zewnątrz pochodne. [w]: *Patofizjologia człowieka w zarysie*, Guzek J.W., Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 2008
11. Błażejczyk K., Szyguła Z.: Wpływ gorącego otoczenia na zdolność wysiłkową sportowców. Jak przygotować zawodnika do startu w Igrzyskach Olimpijskich w Atenach. *Sport Wyczynowy* 2004; 5-6: 473-474
12. Kovats R.S., Ebi K.L.: Heatwaves and public health in Europe. *European Journal of Public Health*, brak roku Vol. 16, No. 6, 592-599
13. Starkel L., Kundzewicz Z.W.: Konsekwencje zmian klimatu dla zagospodarowania przestrzennego kraju. *Nauka* 2008; 1: 85-101.
14. Kalkstein S.L., Sheridan S.C., Kalkstein A.J.: Heat/Health Warning Systems: Development, Implementation, and Intervention Activities [w]: *Biometeorology for Adaptation to Climate Variability and Change* Biometeorology, red.: Ebi K.L., Burton I., McGregor G. Springer, 2009; 33-48.
15. www.compumart.at.ca
16. PN-EN ISO 7730:2006 Ergonomia środowiska termicznego Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego.
17. Parsons K.: *Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort and Performance*, CRC Press, 2015.
18. Mallet M.L.: Pathophysiology of accidental hypothermia. *Q J Med* 2002; 95: 775-785.
19. www.stat.gov.pl
20. Epstein E., Anna K.: Accidental hypothermia. *BMJ* 2006; 332:706
21. www.statystyka.policja.pl
22. Osczevski R., Bluestein M.: The new wind chill equivalent temperature chart. *Bull Amer Meteor Soc* 2005; 86, 1453-1458.
23. www.weather.gov

24. Houck P.D., Lethen J.E., Riggs M.W.: Relation of Atmospheric Pressure Changes and the Occurrences of Acute Myocardial Infarction and Stroke. *Am J Cardiol* 2005; 96: 45–51.
25. Keller M.C., Fredrickson B.L., Ybarra O.: A Warm Heart and a Clear Head. The Contingent Effects of Weather on Mood and Cognition. *Psychol Sci* 2005; 16: 724-31.
26. McWilliams S., Kinsella A., O'Callaghan E.: The effects of daily weather variables on psychosis admissions to psychiatric hospitals. *Int J Biometeorol* 2013; 57(4): 497–508.
27. Koszewska I., Boguszewska L.: Rozpowszechnienie wybranych zaburzeń psychicznych wśród mieszkańców powiatu tatrzańskiego. *Postępy Psychiatrii i Neurologii* 2009; 18 (4): 323-331.
28. Qiu L., Nixon W.A.: Effects of Adverse Weather on Traffic Crashes: Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of the Transportation Research Board* 2008; 139-146.
29. Błażejczyk K., 2006, MENEX_2005 – the updated version of man-environment heat exchange model – wersja pdf dostępna on line na stronie internetowej IGiPZ PAN: www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/blaz/MENEX_2005.pdf
30. Błażejczyk K., Broede P., Fiala D.: UTCI – nowy wskaźnik oceny obciążeń cieplnych człowieka. *Przegląd geograficzny* 2010; 82: 1, 49–71.

Adres do korespondencji:

*Jakub Krzeszowiak
Katedra i Zakład Higieny
Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu
ul. Mikulicza Radeckiego 7
50-435 Wrocław
e-mail: jkrzeszowiak@wp.pl*