

**Wpływ zmian klimatu
na gospodarkę Polski
na przykładzie wybranych
miast wojewódzkich**

Cytowanie:

Leszczyński, P., Markiewicz, J., Mądry, T., Mierzejewski, M., Ogórek, S., Rybacki, J. (2023), *Wpływ zmian klimatu na gospodarkę Polski na przykładzie wybranych miast wojewódzkich*, Working Paper, nr 4, Polski Instytut Ekonomiczny, Warszawa.

Warszawa, wrzesień 2023 r.

Autorzy: Paweł Leszczyński, Jan Markiewicz, Tomasz Mądry, Mateusz Mierzejewski, Szymon Ogórek, Jakub Rybacki

Redakcja merytoryczna: Jakub Rybacki, Paweł Śliwowski

Redakcja: Jakub Nowak, Małgorzata Wieteska

Projekt graficzny: Anna Olczak

Skład i łamanie: Sławomir Jarząbek

Polski Instytut Ekonomiczny

Al. Jerozolimskie 87

02-001 Warszawa

© Copyright by Polski Instytut Ekonomiczny

ISBN 978-83-67575-48-5

Spis treści

| | |
|---|----|
| Kluczowe liczby. | 4 |
| Kluczowe wnioski. | 5 |
| Wstęp. | 6 |
| Rozdział 1. Fale upału w kontekście wyzwań klimatycznych dla regionów i miast. | 7 |
| 1.1. Częstotliwość fal upału. | 7 |
| 1.2. Fale upału w Europie i Polsce. | 7 |
| 1.3. Miejska wyspa ciepła. | 9 |
| 1.4. Prognozy fal upału. | 12 |
| Rozdział 2. Wpływ fal upału na społeczeństwo i gospodarkę. | 16 |
| 2.1. Wpływ społeczno-gospodarczy fal upałów: śmiertelność. | 17 |
| 2.2. Wpływ społeczno-gospodarczy fal upałów: konsekwencje gospodarcze. | 20 |
| Rozdział 3. Możliwości łagodzenia i adaptowania się do skutków fal upału w miastach. Analiza przypadków. | 26 |
| 3.1. Miasto – katalizator i ofiara zmian klimatu. | 26 |
| 3.2. Kierunki adaptacji miast do konsekwencji ocieplania się Ziemi. | 27 |
| 3.3. Kierunki adaptacji do skutków fal upałów. | 27 |
| Aneks metodologiczny. | 31 |
| Skróty i definicje. | 31 |
| Załącznik 1. Śmiertelność. | 32 |
| Załącznik 2. Produktywność. | 33 |
| Bibliografia. | 35 |
| Spis tabel, ramek, map, schematów i wykresów. | 40 |

Kluczowe liczby

12 z 16

tyle spośród najsilniejszych w historii fal upałów w Europie wystąpiło w XXI w.

2-krotnie

o tyle globalnie wzrosła średnia długość i częstość występowania fal upału w latach 1971-2020

o 50 proc.

więcej fal upałów było w 10 polskich miastach w drugiej dekadzie XXI w. w porównaniu z pierwszą

0,4 proc.

warszawskiego PKB w sierpniu 2015 r. zostało straconych przez fale upałów, to koszt bliski 1,1 mld PLN

577

osób w wieku 60+ przeciętnie umierało w rok w wyniku fal upałów w 10 największych polskich miastach w latach 2010-2019

1373

osoby w wieku 60+ przeciętnie będzie rocznie umierać w wyniku fal upałów w tych miastach za 50 lat

do 30 proc.

należy zwiększyć zadrzewienie miast (przy średniej europejskiej wynoszącej 14,9 proc.), aby obniżyć temperaturę średnio o 0,4°C i zmniejszyć liczbę zgonów o 39,5 proc.

Kluczowe wnioski

- ▶ **Fale upałów są przyczyną nadmiarowej śmierci osób starszych.** Podczas każdej ogólnopolskiej fali upału w 10 największych miastach Polski umiera średnio więcej o 153 osoby w wieku 60+ niż gdyby fala upału nie wystąpiła. To porównywalna wielkość do ok. 25 proc. liczby ofiar wypadków drogowych. Wszystkie fale upałów w latach 2010–2019 spowodowały śmierć około 6 tys. osób. Liczba zgonów rośnie z dekady na dekadę.
- ▶ **Fale upałów przyczyniają się też do strat ekonomicznych.** Mogą przekładać się na straty produktywności w miastach sięgające nawet 30 proc. Szacujemy, że **w trakcie rekordowej fali upału w sierpniu 2015 r. aglomeracja warszawska traciła 110 mln PLN dziennie ze względu na spadek produktywności osób pracujących w tym regionie.** Oprócz działań na rzecz łagodzenia procesu ocieplania się klimatu konieczne jest wdrażanie rozwiązań miejskich niwelujących efekty wzrostu temperatur w miejscach pracy.
- ▶ **Miasta zwiększają uciążliwość fal upałów ze względu na dużą gęstość zabudowy i zaludnienia.** Temperatura w miastach w okresach wysokich temperatur jest o kilka stopni Celsjusza wyższa niż poza nimi.
- ▶ **Tempo ocieplania się klimatu w Europie od 1980 r. jest dwukrotnie większe niż w reszcie świata.** To jedno z głównych wyzwań regionu. Przyczynia się do wzrostu częstotliwości i siły oddziaływania kolejnych fal upałów. Instytut Globalnego Zdrowia w Barcelonie oszacował, że tylko w okresie czerwiec–sierpień 2022 r. w 35 krajach europejskich zmarło prawie 62 tys. ludzi w wyniku fal upałów (Balester, 2023).
- ▶ **Liczba upalnych dni w Europie może wzrosnąć nawet czterokrotnie do końca stulecia, jeżeli zrealizuje się scenariusz wysokich emisji.** Oznacza to, że upalne lata, jak w 2015 r., nie będą wyjątkiem, a staną się normą.

Wiele wskazuje na to, że cały 2023 r. będzie najcieplejszym w historii pomiarów temperatur (www1, www2). Czerwiec i lipiec były najcieplejszymi miesiącami w historii pomiarów, co zostało potwierdzone m.in. przez NASA (www3, www4). W czerwcu średnia globalna temperatura powietrza wyniosła 16,55°C i była wyższa o ponad 1,0°C od średniej z XX w. W lipcu było to blisko 1,2°C więcej (www5).

W wakacje intensywne fale upału i rekordowe temperatury dotknęły wiele regionów. Upały rozpoczęły się już z kwietniową falą na południu Europy – w Hiszpanii temperatura powietrza zbliżyła się do 40°C. To kwietniowy rekord temperatury dla kontynentu. Podobne zjawiska dotknęły też m.in. Kanadę w maju (www6), co przyczyniło się do rozległych pożarów w tym państwie.

Europa doświadczyła silnego upału także w 2022 r. Wiele europejskich państw zanotowało najgorętsze lato w historii. Rekordy temperatur padały m.in. w Anglii, gdzie temperatura powietrza pierwszy raz przekroczyła 40°C. W efekcie zeszłoroczne lato doprowadziło do wielu nadmiarowych zgonów (ok. 62 tys.) w Europie (głównie Południowej) (Balester, 2023). Zbiegło się też z pojawieniem się największej, odkąd są prowadzone badania, suszy nad zachodnią i południową częścią kontynentu. W Polsce najsilniejsza w bieżącym wieku fala upału wystąpiła w sierpniu 2015 r. – dla przykładu, w Słubicach maksymalna temperatura powietrza przekraczała 30°C przez 31 dni z rzędu. Prognozy na kolejne dekady zakładają wzrost średniej temperatury powietrza i nieproporcjonalnie częstsze fale upału. Tę tendencję można jednak łagodzić.

Upał szczególnie dotyka duże miasta, w których tworzą się wyspy ciepła.

W efekcie temperatura powietrza wyraźnie przewyższa średnią w województwie. Miasta, jako centra aktywności społecznej i gospodarczej, muszą radzić sobie z tym problemem.

W publikacji przeanalizowaliśmy wpływ fal upału na śmiertelność w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem największych dziesięciu miast, a także wpływ najbardziej dotkliwej fali upałów na produktywność pracowników w aglomeracji warszawskiej. Przedstawiliśmy również wybrane kierunki polityki miejskiej, które mają na celu łagodzenie wpływu upałów i przystosowanie przestrzeni miejskiej do skutków zmian klimatu. Omówiliśmy również możliwość zastosowania danych rozwiązań w polskich miastach.

Rozdział 1. Fale upału w kontekście wyzwań klimatycznych dla regionów i miast

1.1. Częstotliwość fal upału

IPCC jednoznacznie stwierdza, że zwiększenie liczby i intensywności fal upałów jest wynikiem zmian klimatycznych spowodowanych przez ludzkość.

W latach 1971-2020 liczba fal upałów oraz ich długość zwiększały się w tempie odpowiednio 0,4 raza i 2 dni na dekadę. W 1971 r. średnio w skali globu liczba fal upałów wynosiła 2, pół wieku później 4, natomiast średnia długość fali upału zwiększyła się z 9 do 18 dni (Yin i in., 2022). Najsilniej wzrasta liczba skrajnie silnych fal upałów – w drugiej dekadzie XXI w. prawdopodobieństwo ich wystąpienia było aż 90 razy większe niż w latach 1951-1980 (Eyring, Gillett, 2021).

Częstsze występowanie fal upałów można tłumaczyć względnie szybkim wzrostem średniej temperatury powietrza w wysokich szerokościach geograficznych, np. w pobliżu Bieguna Północnego (www7). Sytuacja ta przyczynia się do osłabnięcia przeważającego kierunku napływu powietrza i formowania się stacjonarnych układów wysokiego ciśnienia, czyli wyżów barycznych (Coumou i in., 2022). To z kolei sprzyja tworzeniu się długotrwałych upałów. Nie bez znaczenia są także czynniki lokalne, jak np. ilość aerozoli emitowanych do atmosfery, a także stopień wylesiania i modyfikacji podłoża (IPCC, 2023).

1.2. Fale upału w Europie i Polsce

Światowa Organizacja Meteorologiczna wskazuje, że **Europa jest najszybciej ocieplającym się regionem na świecie**. Tempo ocieplania się klimatu na naszym kontynencie od 1980 r. jest dwa razy większe niż średnio na świecie. Średnie tempo wzrostu temperatury w Europie wynosi $0,47 \pm 0,10^{\circ}\text{C}$ na dekadę od 1979 do 2022 r. (www8).

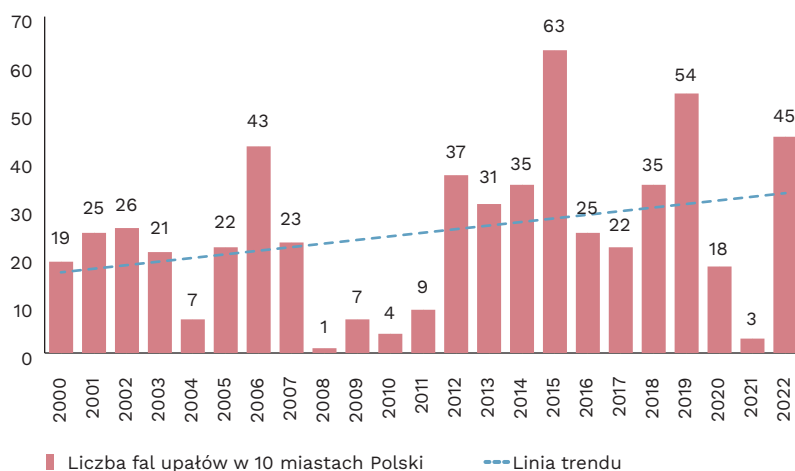
Wrz z ociepleniem postępują upały. Największa fala upału w Europie wystąpiła w 2003 r. i objęła głównie zachodnią część kontynentu. We wschodniej części największa fala upału miała miejsce w 2010 r. Obie fale cechowały się dużymi anomaliami temperatury powietrza – mniej więcej na połowie

obszaru kontynentu został pobity 500-letni sezonowy rekord temperatury (Barriopedro i in., 2011).

W Europie większość fal upałów wystąpiła w tym wieku. 12 najbardziej ekstremalnych na naszym kontynencie wystąpiło w ostatnich dwóch dekadach, a tylko 4 przed rokiem 2000 (Lhotka, Kyselý, 2022).

W Polsce fale upału również występują coraz częściej. W ostatnich 20 latach w 10 największych polskich miastach zaobserwowano w sumie 647 fal upałów. Należy jednak zaznaczyć, że fala upału w każdym z dziesięciu miast jest przez nas liczona jako 10 osobnych fal. Najwięcej fal upałów – ponad 60 – wystąpiło w 2015 r., a najmniej – w 2008 r. Ponadto 40 proc. z nich miało miejsce w latach 2001-2011, a 60 proc. w latach 2012-2022, co świadczy o intensyfikacji tego zjawiska. Na wykresie 1 pokazaliśmy liczbę fal upałów w Polsce w zależności od roku i linię trendu.

Wykres 1. Liczba fal upałów w Polsce rośnie na przestrzeni lat



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych pomiarowych.

Fale upałów w Polsce nie są jednakowe – niektóre trwają tylko dwa dni w jednym mieście, a inne (jak np. w 25. tygodniu w 2000 r. czy w sierpniu 2015 r.) miały miejsce w całej Polsce, we wszystkich badanych 10 miastach przynajmniej 3 dni z rzędu. Najdłuższa fala upałów była obserwowana w Poznaniu w sierpniu 2015 r. i trwała 19 dni, co widać w tabeli 1. Równocześnie fale upałów niosły ze sobą najwyższe obserwowane temperatury w poszczególnych miastach. Największa fala upałów, tj. w 2015 r., cechowała się również najwyższymi notowanymi temperaturami: dziewięć najwyższych temperatur w ostatnich 22 latach przypada właśnie na rok 2015.

Tabela 1. Najdłuższe fale upałów w Polsce w okresie 2000-2022 na przykładzie analizowanych miast

| Miejscowość | Czas trwania (dni) | Termin |
|-------------|--------------------|--------------------|
| Poznań | 19 | 02.08 – 19.08.2015 |
| Warszawa | 13 | 03.08 – 16.08.2015 |
| Katowice | 13 | 02.08 – 15.08.2015 |
| Lublin | 12 | 03.08 – 15.08.2015 |
| Wrocław | 12 | 03.08 – 15.08.2015 |

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych pomiarowych IMGW-PIB.

1.3. Miejska wyspa ciepła

Upał szczególnie dotyka duże miasta. Podczas gorących dni temperatura powietrza panująca w mieście wyraźnie przewyższa tę na obszarach wiejskich, a ludność silniej doświadcza tzw. stresu cieplnego (Massetot i in., 2023). Zjawisko wyższych temperatur w mieście określa się terminem **miejskiej wyspy ciepła**.

Dotyczy ona zwłaszcza obszarów intensywnie zabudowanych, a więc przeważnie centrów aglomeracji. W niektórych przypadkach różnica ta może sięgać kilku, a w skrajnych sytuacjach – kilkunastu stopni Celsjusza, również ze względu na takie czynniki jak brak zachmurzenia czy słaby wiatr (Kłysik, Fortuniak, 1999).

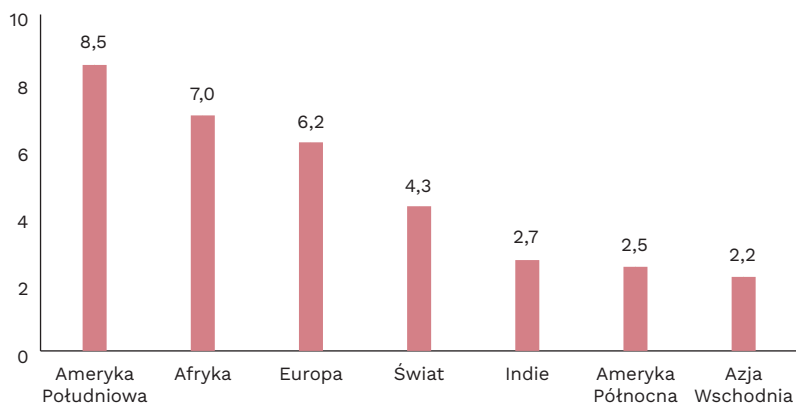
Dotkliwość upałów w miastach wynika z charakterystyki zabudowy i braku roślinności. Budynek i nawierzchnie utwardzone pochłaniają ciepło w dzień, a w nocy stopniowo je uwalniają. W efekcie miasta w nocy wychładzają się wolniej niż obszary zielone (Lizarraga, Picallo-Perze, 2020). Budynek utrudniają także przepływ powietrza. Ponadto miasta zazwyczaj mają mniej roślinności niż otaczające je obszary, tym samym spada chłodzenie związane z parowaniem zieleni. Dodatkowo ciepło z fabryk, pojazdów czy innych urządzeń z silnikami również podnosi temperaturę w miastach (World Bank, 2023b).

Większość miast europejskich w XXI w. zanotowała znaczny wzrost liczby dni z upałem oraz spadek liczby dni chłodnych, choć tendencje były zróżnicowane w zależności od regionu (Mishra i in., 2015). Mimo że na obszarach wiejskich liczba dni upalnych rosła, to jednak w miastach przyrost ten był większy. Na wykresie 2 przedstawiamy zmianę liczby dni ekstremalnie gorących w miastach według podziału na kontynenty – Europa jest zagrożona bardziej niż pozostałe regiony świata.

Problem jest rozległy: w państwach UE około 40 proc. ludności mieszka w miastach liczących co najmniej 50 tys. mieszkańców, a w Polsce ten odsetek jest podobny – ok. 36 proc. ludności mieszka w miastach powyżej 50 tys. (GUS, 2023). Łącznie w miastach o populacji powyżej 100 tys. osób

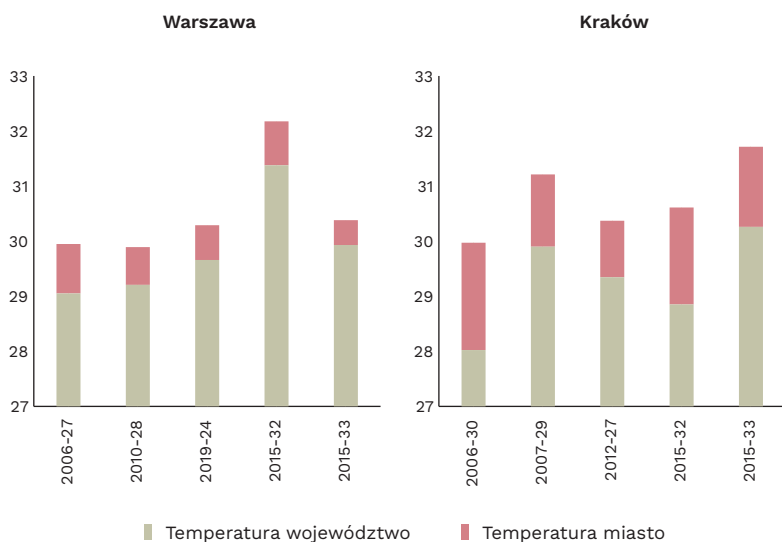
żyje ponad 10 mln ludzi, a dalsze 16-17 mln żyje w mniejszych miejscowościach. Oznacza to, że duża część populacji Polski będzie w coraz większym stopniu narażona na negatywne skutki fal upałów.

Wykres 2. Zmiana liczby dni ekstremalnie gorących w miastach w wybranych regionach świata w latach 1973-2012



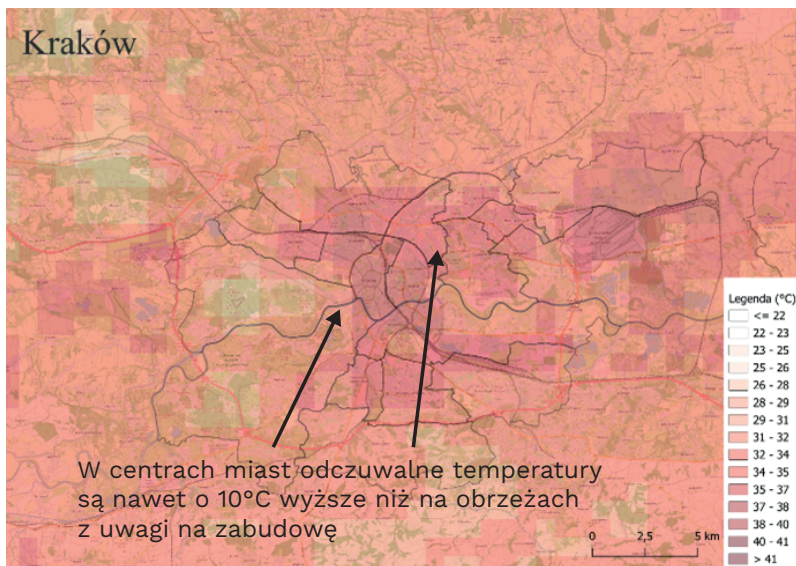
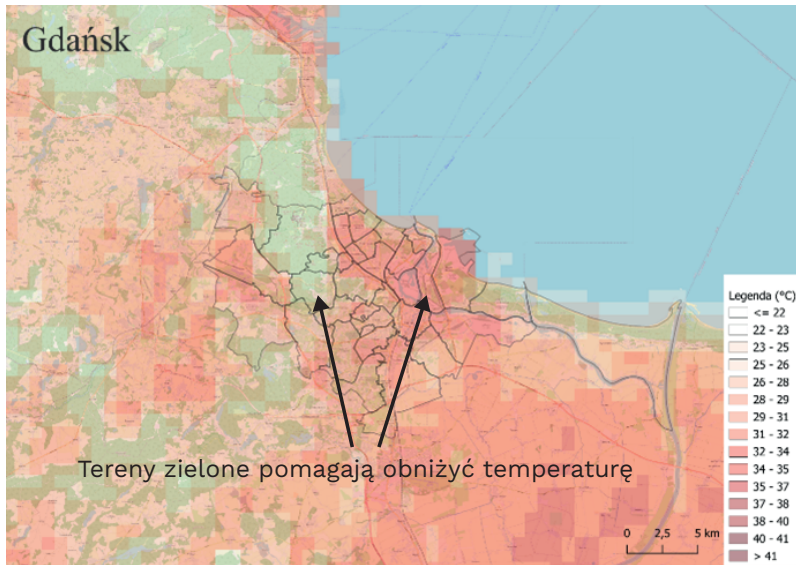
Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych IOP Science (Mishra, 2015).

Wykres 3. Nadwyżka temperatury powietrza w mieście względem województwa w wybranych tygodniach z falami upału (w °C)



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych ERA 5.

Mapa 1. Miejska wyspa ciepła na przykładzie Krakowa i Gdańska (średnia miesięczna temperatura powietrza w sierpniu 2015 r.)



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych satelitarnych (www24).

Problem miejskiej wyspy ciepła najbardziej odczuwają osoby o niższym statusie ekonomicznym i społecznym (Dodman i in., 2022). OECD zaobserwowało różnicę w intensywności upałów między biedniejszymi a bogatszymi dzielnicami (biedniejsze są gęściej zabudowane i mniej zacienione, mają też

mniej roślinności) oraz większą śmiertelność w mieszkaniach niewyposażonych w klimatyzację (www9).

Odczuwalne temperatury są wyższe w centrach miast niż na przedmieściach. Na wykresie 3 przedstawiamy średnią tygodniową różnicę temperatur między województwem a jego stolicą podczas szczególnie dotkliwych fal upałów, na przykładzie Warszawy i Krakowa. Natomiast na grafice porównano średnią miesięczną temperaturę powietrza rejonu Gdańska i Krakowa. Porównanie dotyczy miesiąca najbardziej upalnego od początku wieku, czyli sierpnia 2015 r. Najwyższa temperatura wystąpiła w obszarach gęsto zaludnionych i zabudowanych, widać również chłodzący efekt terenów zielonych.

1.4. Prognozy fal upału

Liczba upalnych dni w Europie do końca stulecia może wzrosnąć czterokrotnie. Taki rozwój sytuacji występuje w przypadku scenariusza wysokich emisji. Największy przyrost wystąpi w południowej Europie. Takie wnioski płyną z analizy dostępnych modeli klimatycznych¹.

Do 2080 r. Liczba osób narażonych na wyjątkowo gorące warunki na świecie wzrośnie 5-krotnie, nawet w przypadku działań klimatycznych (Dunn i in., 2023). Najbardziej prawdopodobny scenariusz ocieplenia się klimatu RCP 4.5 zakłada wzrost średniej globalnej temperatury powietrza o 2,5°C do końca bieżącego wieku względem epoki przedprzemysłowej (www10), jednak oddziaływanie będzie nierównomierne. Przykładowo w Madrycie średnia roczna liczba dni upalnych wzrośnie z obecnych 10 do 19 w 2050 r. i 25 w 2080 r. Dla porównania: w regionie warszawskim będzie to wzrost z 6 dni do 10 w 2050 r. i 11-12 w 2080 r.

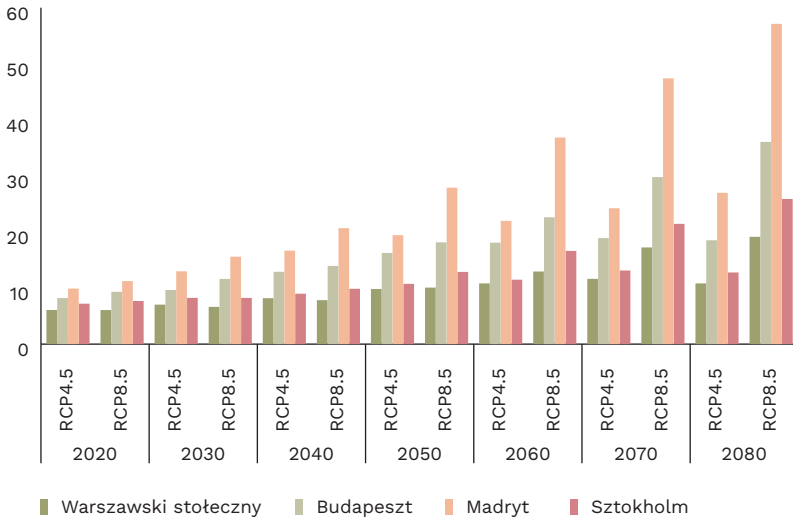
Ramka 1. Jak będą wyglądać europejskie miasta w połowie bieżącego wieku?

Naukowcy z Politechniki w Zurychu wykazali, że w przypadku scenariusza RCP 4,5 w połowie wieku klimat Madrytu będzie bardziej podobny do obecnego klimatu w Marrakeszu niż do dzisiejszego klimatu Madrytu; Londyn będzie bardziej podobny do Barcelony, Sztokholm do Budapesztu; a Moskwa do Sofii (Bastin i in., 2019). Wystawi to władze i mieszkańców tych miast na wyzwania w zakresie adaptacji infrastruktury fizycznej i społecznej do nowych, trudniejszych warunków życia. Już obecnie, w sytuacji wzrostu średniej globalnej temperatury o ok. 1°C w stosunku do epoki przedindustrialnej, częstość i dotkliwość fal upału radykalnie wzrasta. Szacuje się, że w przypadku ocieplenia sięgającego średnio 1,5°C, fala upałów, która doprowadziła do śmierci 1300 osób w Karczu w 2015 r., będzie mieć miejsce średnio co 3,6 roku (Matthews i in., 2017).

¹ Modele klimatyczne dość wiernie odwzorowują globalny wzrost temperatury powietrza: <https://www.realclimate.org/index.php/archives/2023/02/2022-updates-to-model-observation-comparisons/> [dostęp: 31.08.2023].

W przypadku braku działań klimatycznych efekt będzie silniejszy. Doświadczymy scenariusza wysokiej emisji (*business as usual* – RCP 8.5). Średnia temperatura powietrza wzrośnie globalnie o 4,5°C do końca XXI w. W takich warunkach w 2050 r. Madryt będzie notował średnio 28 upalnych dni, a w 2080 r. blisko 60. W regionie warszawskim będzie to odpowiednio 10 i 20 dni.

Wykres 4. Liczba dni upalnych w wybranych miastach – prognozy EuroHEAT project



Uwaga: scenariusz RCP 4.5 zakłada wzrost średniej temperatury globalnej o ok. 2,5°C do końca XXI w. Jego realizacja wymaga obostrzeń regulacyjnych i rozwoju technologii. Scenariusz RCP 8.5 zakłada wzrost temperatury o ok. 4,5°C w analogicznym okresie. To bazowa prognoza w przypadku braku działań klimatycznych.

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych z witryny Copernicus.eu.

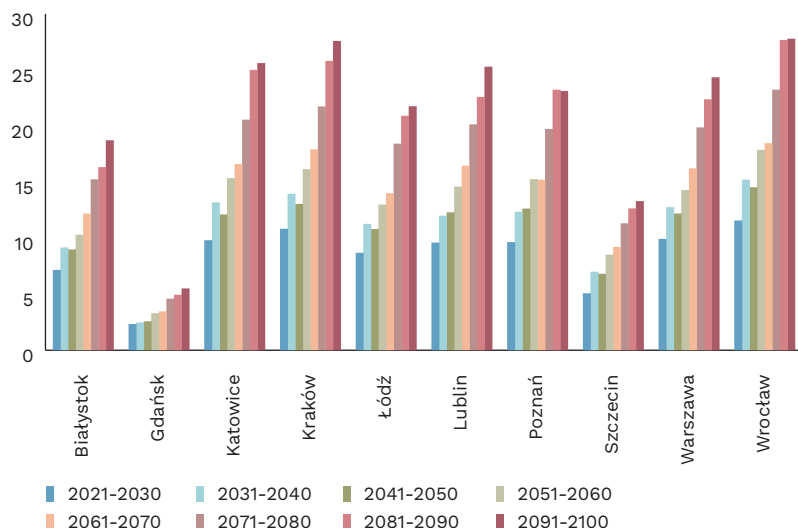
Ocieplenie w Polsce będzie miało daleko idące skutki. W przypadku zrealizowania się scenariusza klimatycznego RCP 4.5, w największych polskich miastach liczba dni upalnych zwiększy się blisko o połowę do końca tego wieku. Najwięcej dni upalnych wystąpi w Krakowie i we Wrocławiu (17-18), natomiast najmniej w stolicach województw nadmorskich: Szczecinie i Gdańsku (odpowiednio 3,5 i 9). W przypadku pesymistycznego wariantu (RCP 8.5), liczba dni upalnych będzie około 2,5 raza większa niż obecnie. Kraków i Wrocław pod koniec wieku będą miały średnio blisko 28 takich dni w roku. Rekordowa fala upału, która miała miejsce w Polsce w 2015 r., nie będzie wyjątkiem, a stanie się normą.

Wykres 5. Liczba dni upalnych w polskich miastach wg scenariusza RCP 4.5



Uwaga: scenariusz RCP 4,5 zakłada wzrost średniej temperatury globalnej o ok. 2,5°C do końca XXI w., a jego realizacja wymaga obostrzeń regulacyjnych i rozwoju technologii.
Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych EURO-CORDEX.

Wykres 6. Liczba dni upalnych w polskich miastach wg scenariusza RCP 8.5



Uwaga: scenariusz RCP 8.5 zakłada wzrost średniej temperatury globalnej o ok. 4,5°C do końca XXI w., to bazowa prognoza w przypadku braku działań klimatycznych.
Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych EURO-CORDEX.

Wzrost częstości występowania fal upału jest dużo większy niż pożarów, powodzi i susz (www11). 40-latek urodzony w 1983 r. mieszkający w Europie lub Azji Centralnej w ciągu swojego życia doświadczy przeciętnie 10 razy więcej fal upału niż w sytuacji, gdyby klimat się nie ocieplał. W przypadku 20-latka wzrost będzie 18-krotny, a 10-latka – 22-krotny.

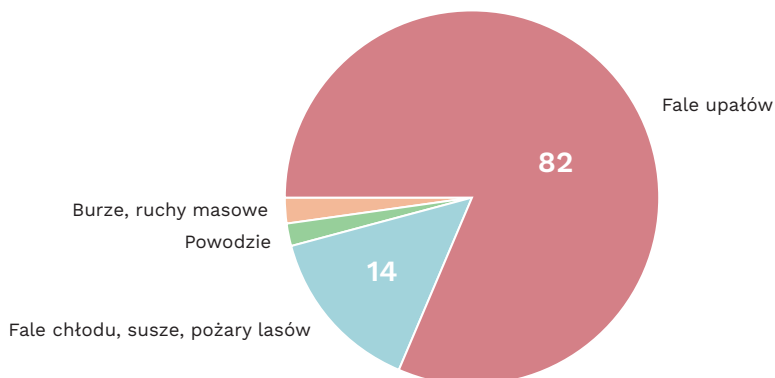
Rozdział 2. Wpływ fal upału na społeczeństwo i gospodarkę

Fale upału powodują skutki natury społeczno-ekonomicznej, a im dłuższa fala, tym bardziej dotkliwe konsekwencje. Wpływ jest widoczny w pięciu obszarach: zdrowie, energetyka, rolnictwo, transport oraz produktywność pracy.

Fale upału zwiększają intensywność innych naturalnych zagrożeń, szczególnie susz i pożarów. Długotrwały upał w połączeniu z niską wilgotnością powietrza i silnym wiatrem zwiększa ryzyko wystąpienia pożarów w lasach oraz na suchych obszarach roślinnych. Większość rekordowych fal upału wystąpiła łącznie z wielkoskalowymi pożarami, np. fala upału w 2010 r. na wschodzie Europy. Często występują wraz z suszą – takie problemy obserwowaliśmy w 2022 r. na zachodzie i południu Starego Kontynentu.

Wysokie temperatury generują problemy zdrowotne, a w ekstremalnych warunkach zagrażają życiu. Straty ekonomiczne fal upałów są mniejsze niż w przypadku powodzi i burz, niemniej prowadzą do zdecydowania większej liczby ofiar. W Unii Europejskiej w ostatnich 40 latach w wyniku upałów zmarło około 160 tys. osób, co odpowiada około 82 proc. ofiar wszystkich zdarzeń pogodowych.

Wykres 7. Odsetek ofiar śmiertelnych spowodowanych ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi i klimatycznymi w UE w latach 1980–2021 (w proc.)



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych EEA.

Dwie największe fale upału w Europie doprowadziły do ok. 40 i 55 tys. nadmiarowych zgonów. Utrzymywały się one przez kilka tygodni w 2003 r. i 2010 r. W 2022 r. na każdy milion mieszkańców 114 osób zmarło w wyniku fal upału, z czego najwięcej w państwach południa Europy. W Hiszpanii, Włoch i Grecji współczynnik ten w niektórych regionach przekraczał 350 (Balester, 2023).

Konsekwencje zdrowotne dotyczą głównie osób starszych. W grupie osób powyżej 75. roku życia na każdy 1°C wzrostu temperatury odczuwalnej liczba przyjęć do szpitali rosła o 4,5 proc. w miastach na południu Europy i 3,1 proc. w miastach w północnej części Europy (Balester, 2023). Fale upału zwiększają również ryzyko pogorszenia nastroju oraz nasilenia się chorób psychicznych (www12). Ze wzrostem liczby dni upalnych można wiązać m.in. także wzrost liczby samobójstw (Burke i in., 2018), oraz przestępstw, w tym zabójstw (Mares, Moffett, 2016).

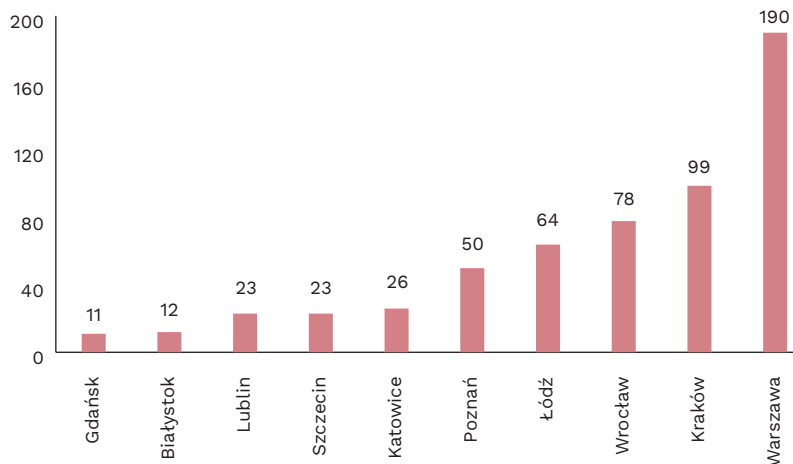
Ponadto fale upałów przyczyniają się do pogorszenia kondycji lokalnej gospodarki. Np. fala upałów w 2010 r. w Europie Wschodniej i zachodniej części Rosji spowodowała spadek produkcji żywności o 25 proc. Fala upałów w 2003 r. spowodowała spadek plonów kukurydzy we Włoszech o 36 proc. (Ciais i in., 2005).

2.1. Wpływ społeczno-gospodarczy fal upałów: śmiertelność

W tej części raportu szacujemy liczbę nadmiarowych zgonów powiązanych z falami upału w dziesięciu największych polskich miastach. Robimy to na podstawie danych demograficznych oraz meteorologicznych. Przy użyciu regresji panelowej oszacowaliśmy wpływ fal upałów na śmiertelność wśród osób powyżej 60. roku życia. Model wskazuje na istotny wpływ upałów na zgon w tej grupie wiekowej. Szczegółowy opis metodologii znajduje się w załączniku 1.

Wzrost temperatury maksymalnej powyżej 30°C sprawia, że w analizowanych miastach umiera przeciętnie więcej o 153 osoby w wieku ponad 60 lat, niż umarłoby bez tego wzrostu temperatury. Jeśli wydarzy się to dwa dni z rzędu, liczba nadmiarowych zgonów wzrasta do 367. Sumaryczna liczba zgonów, które można powiązać z falami upałów w latach 2002-2019 wyniosła 7742, co odpowiada około 25 proc. liczby ofiar śmiertelnych wypadków drogowych w tym okresie. To wciąż liczba znacznie mniejsza niż na południu Europy, jednak wraz z postępem zmian klimatu z dekady na dekadę notujemy wzrost śmiertelności w Polsce. Wszystkie prognozy wskazują na kontynuację tego trendu w przyszłości.

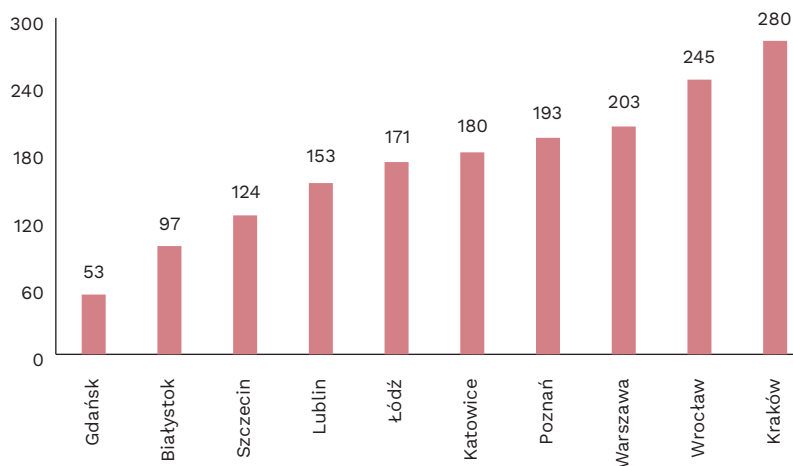
Wykres 8. Przeciętna roczna liczba nadmiarowych zgonów osób 60+ w wyniku fal upałów w latach 2010-2019



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych GUS i IMGW-PIB.

Czynnikiem decydującym o śmiertelności jest przede wszystkim wiek. Model wskazuje, że osoba w wieku 85+ jest dziesięciokrotnie bardziej narażona na śmierć w wyniku fali upału niż osoba między 60. a 65. rokiem życia. Jednak nie w każdym miesiącu ryzyko jest takie samo. Obrazują to dane z wykresu 9, dotyczące śmiertelności w wyniku fal upałów na 100 tys. mieszkańców w wieku ponad 60 lat w największych miastach Polski.

Wykres 9. Przeciętna roczna liczba zgonów spowodowanych upałami na 100 tys. mieszkańców 60+ w latach 2010-2019



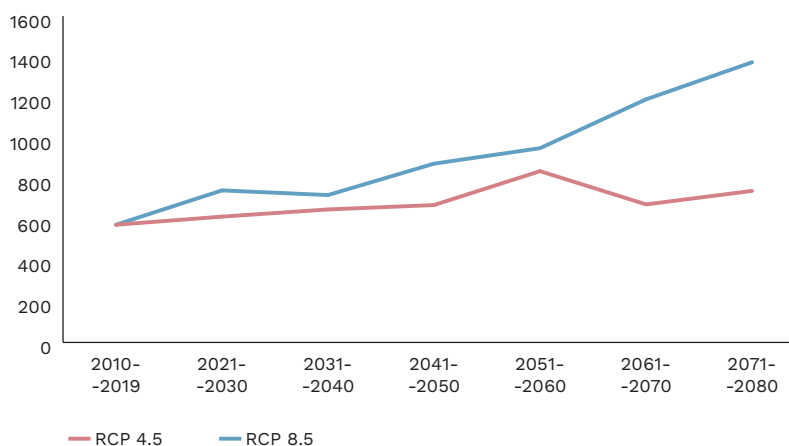
Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych GUS i IMGW-PIB.

Śmiertelność spowodowana falami upałów jest pozytywnie skorelowana z wielkością miasta. Rozbieżności wynikają z regionalnych różnic w klimacie, ale również z efektu miejskiej wyspy ciepła, który jest bardziej intensywny w dużych miastach niż małych. W badanym okresie w Krakowie odnotowano największą liczbę dni o temperaturze maksymalnej przekraczającej 30°C – przeciętnie 16,8°C rocznie. Równolegle Małopolska była województwem, w którym przeciętna temperatura była zbliżona do średniej w Polsce. Z kolei w Gdańsku było najmniej dni z upałami – przeciętnie 2,8 rocznie, co jest odzwierciedlone w najniższej śmiertelności.

Szacujemy, że efekt miejskiej wyspy ciepła w latach 2002-2019 doprowadził do śmierci prawie 1100 osób 60+ w badanych miastach. Zaobserwowaliśmy 503 przypadki fal upałów. W 432 z nich temperatura przekroczyła 30°C dwa dni z rzędu, zarówno w mieście, jak i w całym województwie. 71 fal upałów było bezpośrednio związanych z efektem miejskiej wyspy ciepła – to ok. 14 proc. badanych wydarzeń.

Brak poprawy jakości życia w miastach, przyczyni się do podwojenia przeciętnej liczby zgonów związanych z falami upałów w ciągu 50 lat. Korzystając ze scenariuszy wzrostu temperatur z modeli klimatycznych IPCC pozyskaliśmy prognozy liczby dni upalnych w analizowanych miastach dla następnych dziesięcioleci. W scenariuszu *business as usual* spodziewamy się podwojenia przeciętnej rocznej liczby zgonów w ciągu 40 lat.

Wykres 10. Prognozowana przeciętna liczba zgonów w wyniku fal upałów dla 10 największych polskich miast wg scenariuszy zmian klimatu IPCC



Uwaga: scenariusz RCP 4,5 zakłada wzrost średniej temperatury globalnej o ok. 2,5°C do końca XXI w., a jego realizacja wymaga obostrzeń regulacyjnych i rozwoju technologii. Scenariusz RCP 8,5 zakłada wzrost temperatury o ok. 4,5°C w analogicznym okresie, to bazowa prognoza w przypadku braku działań klimatycznych.

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych IMGW-PIB, GUS i projekcji IPCC.

2.2. Wpływ społeczno-gospodarczy fal upałów: konsekwencje gospodarcze

2.2.1. Energetyka

Fale upałów zwiększą zapotrzebowanie na energię elektryczną. Electric Power Research Institute szacuje, że wpływ zmian klimatycznych na sektor energetyczny będzie odpowiadał za większość globalnych szkód gospodarczych do końca bieżącego wieku oraz później (Auffhammer, 2017). Bank Światowy prognozuje, że do 2050 r. globalne zużycie energii na klimatyzację potroi się, powodując duże obciążenia dla sieci energetycznych (www13).

Wraz ze zwiększonym zużyciem pojawia się ryzyko przerw w dostawach energii elektrycznej, tzw. *blackoutów*. Analitycy z Australii wskazują na kumulowanie zapotrzebowania na energię w okresach maksymalnych temperatur. To prowadzi do problemów w dostawie prądu i niestabilności cen energii na rynkach hurtowych. Ilościowe skutki oraz badania odpowiadające tematyce przedstawiamy w tabeli 2.

Tabela 2. Przegląd literatury – skutki dla sektora energetycznego

| Badanie | Obszar | Wnioski autorów |
|-----------------------|------------|---|
| Belusko i in. (2016) | Australia | – niestabilność cen na rynkach hurtowych; wzrost z 30 do 12 tys. USD/MWh, – 30 proc. popytu przypada na 2 proc. czasu w szczycie upału, – 5,6 proc. wzrostu zużycia energii na każdy dodatkowy °C powyżej 35. |
| Clemmer, Davis (2014) | Kalifornia | – fale upałów mogą doprowadzić do deficytów dostaw energii elektrycznej w Kalifornii aż do 19 proc., – wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną przeznaczaną na chłodzenie w upalne dni wzrośnie do końca stulecia o 21 proc. |
| Beard i in. (2009) | USA | – wzrost kaskadowych awarii prowadzących do problemów w dostawie prądu. |

Źródło: opracowanie własne PIE.

Ramka 2. Skutki fal upałów dla systemów energetycznych

Podczas fali upału w sierpniu 2015 r. popyt na energię elektryczną – m.in. przez wykorzystanie urządzeń klimatyzujących – wzrósł do poziomu, któremu energetyka węglowa nie była w stanie sprostać. Operator systemu przesyłowego (PSE) ograniczył dostawy prądu do największych firm przemysłowych (www14).

Z *blackoutem* w lipcu 2023 r. musieli liczyć się mieszkańcy Sycylii. W Katanii doszło do dwudniowej przerwy w dostawie prądu wywołanej silną falą upału – temperatura powietrza przekraczała 40°C. Główną przyczyną przerw w dostawie energii elektrycznej było nadmierne obciążenie sieci energetycznej. Ponadto temperatura asfaltu na drogach była bardzo wysoka (przez kilka tygodni sięgała 50°C), co prowadziło do uszkodzenia kabli podziemnych (www15).

2.2.2. Transport

Wpływ fal upału na transport objawia się uszkodzoną infrastrukturą oraz opóźnieniami w kursowaniu pojazdów transportu publicznego.

Tabela 3. Przegląd literatury – skutki dla transportu

| Badanie | Obszar | Wnioski autorów |
|--|--------------------------|---|
| United Nations Economic Commission for Europe (2020) | Ameryka Północna, Europa | <ul style="list-style-type: none">– fale upałów w letnie dni mogą prowadzić do degradacji nawierzchni dróg, koleinowania asfaltu lub termicznego uszkodzenia mostów,– prowadzą do wybrzuszenia torów, przegrzewania się infrastruktury i lokomotyw lub problemów z sygnalizacją. |
| Leviäkangas i in. (2014) | Europa | <ul style="list-style-type: none">– fale upałów generują koszty transportu kolejowego już powyżej 25°C, m.in. przez opóźnienia w kursowaniu,– w przypadku transportu drogowego znacząco podwyższają wypadkowość. |
| Nemry, Demirel (2012) | Europa | <ul style="list-style-type: none">– występowanie szeregów zdarzeń niepożądanych: koleinowanie asfaltu, wybrzuszenie torów kolejowych, zmiana wymaganej długości pasa startowego na lotnisku, niski poziom wody do nawigacji, termiczne rozszerzenie mostów, przegrzewanie się silników wysokoprężnych. |
| Mulholland, Feyen (2021) | Europa | <ul style="list-style-type: none">– przy poziomie globalnego ocieplenia wynoszącym 4°C zwiększony poziom ekstremalnych upałów w UE i Wielkiej Brytanii powoduje wzrost rocznych kosztów eksploatacji i konserwacji transportu o 4,8 mld EUR, co odpowiada ogólnemu wzrostowi o 6,9 proc. w porównaniu z obecnymi wartościami. |

Źródło: opracowanie własne PIE.

2.2.3. Rolnictwo

Fale upału znacząco ograniczają plony rolnicze. Cierpią zarówno uprawy, jak i hodowane zwierzęta, które także odczuwają stres cieplny. Wyniki badań wskazują, że łączny spadek plonów potrafi przekraczać 30 proc., szczególnie w zimniejszych regionach. Mocno narażone są zboża oraz kukurydza. Zestawienie opracowań związanych z zagadnieniem przedstawiamy w tabeli 4.

Rolnictwo doświadcza też największej liczby utraconych godzin pracy z powodu wysokiej temperatury powietrza. Z szacunków „The Lancet” wynika, że globalnie w 2021 r. było to ok. 305 mld roboczogodzin. W najcieplejszym roku w historii pomiarów (2016), było to blisko 340 mld roboczogodzin. Dla porównania: w 2021 r. w budownictwie utracono w ten sposób około 85 mld roboczogodzin, w przemyśle 34 mld, a w usługach 45 mld (www16).

Tabela 4. Przegląd literatury – skutki dla sektora rolnego

| Badanie | Obszar | Spadek plonów (w proc.) | Wnioski autorów |
|--------------------------|--------|-------------------------|---|
| Brás i in. (2021) | Europa | 7,3 | – skumulowany wpływ upału i suszy wzrósł mniej więcej trzykrotnie w ostatnich 50 latach. |
| Ciais i in. (2005) | Włochy | 36 | – wyraźny spadek plonów w regionach rolniczych dotkniętych falą upału w 2003 r., największy wystąpił w przypadku upraw kukurydzy w dolinie Padu. |
| Fraga i in. (2020) | Europa | 30 | – fale upału mogą spowodować spadek plonów winorośli do 35 proc. w niektórych regionach, – większa strata w chłodniejszych regionach Europy Środkowej niż w cieplejszych regionach Europy Południowej. |
| Coumou, Rahmstorf (2012) | Rosja | 30 | – jedna z dwóch największych fal upału na kontynencie przyczyniła się do strat w zbiorach zbóż o 30 proc. |

Źródło: opracowanie własne PIE.

Ramka 3. Szacowane straty w rolnictwie w 2023 r.

Zdaniem związku rolniczego Copa Cogeca szczególnie upalne lato w południowej Europie sprawi, że produkcja zbóż spadnie tam nawet o 60 proc. w porównaniu z ubiegłym rokiem, a zbiory w 2023 r. będą najniższe od 2007 r. (www17).

2.2.4. Produktywność

Fale upałów obniżają produktywność pracy. Praca fizyczna wytwarza ciepło wewnątrz ciała, w związku z czym jej wykonywanie w trakcie upału jest utrudnione (Parsons, 2014). Spadek produktywności dotyczy również pracy kognitywnej i szeroko rozumianej biurowej. Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej do odpowiednich warunków pracy rekomenduje zachowanie temperatury w biurze w okolicach 23°C.

Podobnie szacuje amerykańska Agencja NASA twierdząc, że produktywność jest największa w temperaturze pokojowej i zaczyna spadać od momentu przekroczenia 24°C. Skala spadków rośnie gwałtowniej wraz z wyższymi temperaturami. Przy standardowych temperaturach rzędu 26-27°C spadek produktywności sięga 8 proc., natomiast przy przekroczeniu 32°C dochodzi do 29 proc. Dokładne oszacowania przedstawiamy w tabeli 5.

Tabela 5. Utrata produktywności przy wzroście temperatury w porównaniu do warunków pokojowych (22°C)

| | | | | | |
|---------------------------------|----|----|----|----|----|
| Temperatura powietrza (w °C) | 24 | 27 | 29 | 32 | 35 |
| Utrata produktywności (w proc.) | 3 | 8 | 18 | 29 | 45 |

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych NASA.

Wnioski zaraportowane przez NASA w latach 60. znajdują potwierdzenie w innych badaniach prezentowanych w XXI w. Raporty badające utratę produktywności w Rumunii oraz w Australii wykazują, że utrata produktywności podczas fal upałów wynosi ok. 30 proc. Pokazujemy to w tabeli 6, a skrótowy opis rumuńskiego badania w ramce 4.

Tabela 6. Utrata produktywności w badaniach ekonomicznych

| Badanie | Kraj | Szacowana strata produktywności | Analizowane dane |
|------------------------|-----------|---------------------------------|------------------|
| Zander i in. (2015) | Australia | 35 proc. | Ankietowe |
| Ciupertea i in. (2017) | Rumunia | 30 proc. | Ankietowe |
| NASA (1968) | USA | 32 proc. | Statystyki publ. |

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych NASA, Nature, Springer.

Ramka 4. Spadek produktywności w Rumunii – badanie z 2015 r.

Rumunia: podczas szczególnie gorącego lata i trzech fal upału w 2015 r. w Kluż-Napoce potencjalna strata produktywności wyniosła ponad 2,5 mln EUR w skali miasta za każdy dzień upału, łącznie ponad 38 mln EUR, co przełożyło się na straty rządu 1 proc. PKB w regionie (www18).

Fala upałów w 2015 r. obniżyła PKB Warszawy o 0,3-0,5 proc. Dla zobrazowania kosztów utraty produktywności zbadaliśmy jedną z najdłuższych fal upału w Polsce, która miała miejsce w sierpniu 2015 r. Wykorzystajmy przykład Warszawy – stolica Polski odpowiada za 20 proc. PKB kraju. GUS wskazuje, że liczba osób pracujących w Warszawie w 2015 r. wynosiła ok. 1 mln osób, co stanowi 54,9 proc. warszawskiej populacji. Praca w stolicy jednej osoby przynosiła średnio 92,3 PLN na godzinę, czyli ok. 700 PLN dziennie.

Fala upałów utrzymywała się od 3.08 do 15.08. Było to łącznie 13 dni, z czego 10 dni roboczych. Przeanalizowaliśmy temperatury oraz utratę produktywności w każdej z godzin roboczych od 7:00 do 19:00. Model NASA sugeruje, że średnia utrata produktywności w tych godzinach wynosiła 26 proc. Przy

takich założeniach i przy średnim scenariuszu urlopowym otrzymujemy koszty rzędu 1,1 mld PLN, czyli ok. 110 mln PLN dziennie.

Tabela 7. Jak spadek produktywności przekłada się na koszty gospodarcze?

| Dana | Wartość | | |
|---|--|--|--|
| Produktywność na godzinę* | 92,3 PLN | | |
| Produktywność na dzień pracy* | 700 PLN | | |
| Średnia utrata produktywności | 0,26 | | |
| Liczba pracujących | 957,3 tys. osób | | |
| | Scenariusz 1 urlopy 30 proc. kadry | Scenariusz 2 urlopy 40 proc. kadry | Scenariusz 3 urlopy 50 proc. kadry |
| Liczba pracujących w sierpniu po wyłączeniu urlopów (tys. osób) | 670,1 | 574,2 | 478,6 |
| Średni dzienny produkt (mln PLN) | 128 | 110 | 92 |
| Suma strat związanych z upałem (mld PLN) | 1,3 | 1,1 | 0,92 |

*dane z 2020 r.

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych GUS.

GUS wskazuje, że warszawskie PKB w 2015 r. wynosiło 300 mld PLN. Oznacza to, że fala upałów w sierpniu 2015 r. spowodowała straty na poziomie 0,3-0,5 proc. PKB, co daje zbliżone rezultaty do analiz z Australii (0,5 proc. PKB) i nieco niższe, niż zdiagnozowane w Rumunii (1 proc. PKB), ale takie same jak w analizie opublikowanej w czasopiśmie „Nature” dotyczące całej Europy (Garcia-Leon i in., 2021).

Fale upałów nasilają się, co zwiększy skalę problemów. Przygotowaliśmy prognozę strat ekonomicznych w przyszłych dekadach przy założeniu rosnącej liczby upalnych dni ze scenariuszy IPCC RCP 4.5 i 8.5.

Tabela 8. Oczekiwane straty ekonomiczne w Warszawie pod wpływem fal upałów w przyszłych dekadach (w cenach z 2015 r.)

| Lata | Koszty – scenariusz RCP 4.5 (mld PLN) | Koszty – scenariusz RCP 8.5 (mld PLN) |
|-----------|--|--|
| 2021-2030 | 1,69 | 1,38 |
| 2051-2060 | 1,89 | 1,99 |
| 2091-2100 | 2,44 | 3,3 |

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych Copernicus.eu.

Uwzględniając ocieplenie klimatu i wzrost częstotliwości fal upałów należy oczekiwać większych strat produktywności. Przy braku działań mających na celu ograniczenie ich konsekwencji można przewidywać, że **przez 50 najbliższych lat realna wartość strat w samej Warszawie podwoi się**. Należy zaznaczyć, że analizujemy tutaj koszty związane tylko z produktywnością, a nie wszystkie koszty związane ze zmianami klimatycznymi.

Rozdział 3. Możliwości łagodzenia i adaptowania się do skutków fal upału w miastach. Analiza przypadków

3.1. Miasto – katalizator i ofiara zmian klimatu

Większość ludzi na świecie żyje w miastach, które zajmują stosunkowo niewielki obszar – tj. około 3 proc. globalnej powierzchni. W miastach znajduje się większość kapitału, koncentruje się infrastruktura techniczna i przemysłowa. Miasta odpowiadają też za większość emisji gazów cieplarnianych oraz za większość zużycia energii elektrycznej, co przyczynia się do wzrostu temperatury powietrza. 70 proc. globalnej emisji gazów cieplarnianych ma miejsce w miastach, głównie w państwach wysoko uprzemysłowionych (Dasgupta, Lall, Wheeler, 2023).

Poza częstszym występowaniem dni upalnych niż na obszarach wiejskich, ocieplający się klimat miast będzie sprzyjać względnie częstszemu występowaniu innych ekstremalnych zjawisk, w tym intensywnych opadów deszczu czy burz. Skupienie się skutków zmiany klimatu w miastach może prowadzić do znacznych utrudnień w ich funkcjonowaniu w przyszłości, tym bardziej jeśli nie zostaną wykonane wystarczające akcje łagodzące (w tym ograniczanie emisji gazów cieplarnianych) i adaptacyjne. Inwestycje w te działania wydają się kosztowne, ale z badań wynika, że przynoszą więcej korzyści niż strat (EEA, 2007).

Ramka 5. Ile będzie kosztować brak przeciwdziałania zmianom klimatycznym?

Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030, czyli tzw. SPA2020 (MKiŚ, 2013) wskazuje, że koszty braku działań adaptacyjnych spowodują straty wywołane ekstremalnymi zjawiskami klimatycznymi w dekadzie 2021-2030 i mogą wynieść nawet do 120 mld PLN (ceny z 2010 r.). To oznaczałoby dwukrotny wzrost wobec dekady 2001-2010 (54 mld PLN).

3.2. Kierunki adaptacji miast do konsekwencji ocieplania się Ziemi

Aby łagodzić wpływ fali upałów na zdrowie, wydajność pracy, zapotrzebowanie na energię elektryczną i na infrastrukturę, władze miast powinny podejmować działania, które będą uzupełniać aktywność na innych poziomach zarządzania. OECD (www19) szacuje, że 65 proc. wszystkich celów zrównoważonego rozwoju nie może zostać zrealizowanych bez współpracy z samorządami lokalnymi i regionalnymi.

Wśród działań, które można podjąć na poziomie lokalnym, są m.in.:

1. Zwiększanie powierzchni terenów zielonych w miastach, ochrona dotychczas istniejących nasadzeń, korzystanie z nowych rozwiązań, jak mikro-parki, zielone elementy konstrukcji i elewacji budynków.
2. Ograniczanie niepotrzebnego, nadmiernego asfaltowania i betonowania powierzchni miejskiej.
3. Zmniejszenie udziału spalania węgla w wytwarzaniu energii. Poza ograniczeniem jego udziału w miksie energetycznym należy zwiększać efektywność wykorzystania energii, w tym przez termomodernizację budynków.
4. Ograniczanie suburbanizacji. Niekontrolowane rozlewanie się miast prowadzi do zwiększania udziału transportu samochodowego i zmniejsza tereny zielone w okolicy miast. Z drugiej strony zwiększanie się liczby fal upałów i pogarszanie warunków życia w miastach będzie tworzyło dodatkową presję suburbanizacyjną.
5. Ograniczanie transportu samochodowego na rzecz transportu publicznego, rozbudowa infrastruktury rowerowej i rozwiązań dla ruchu pieszego.
6. Odpowiednia gospodarka odpadami, w tym dążenie jak największego odzyskiwania surowców wtórnych i ograniczanie emisji w związku z nową produkcją.
7. Prowadzenie edukacji konsumenckiej i wspieranie postaw proekologicznych (np. oszczędzanie wody, przeciwdziałanie marnotrawieniu żywności (Polska rocznie marnuje średnio 247 kg żywności na osobę (www25), to piąty wynik w Unii Europejskiej), rozwój systemów współdzielenia i współużytkowania (PAN, 2021).

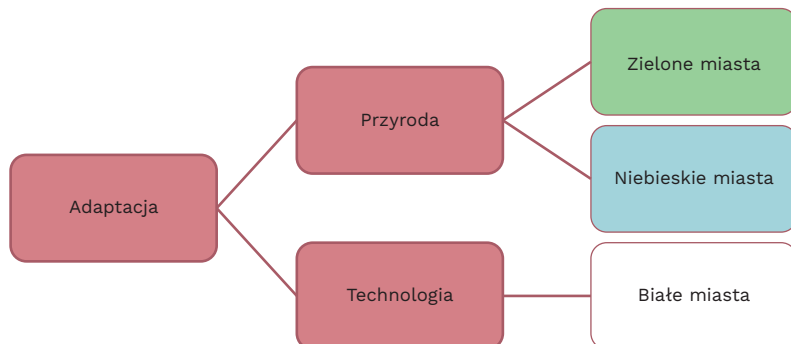
3.3. Kierunki adaptacji do skutków fal upałów

Wyróżnia się dwa główne kierunki adaptacji do zmieniającego się klimatu w miastach: **oparte na przyrodzie i na technologii** (World Bank, 2020).

Działania oparte na przyrodzie obejmują naturalne metody ograniczania skutku upałów, np. zwiększanie obszarów zielonych (tzw. zielone miasto) bądź przygotowanie nowych zbiorników wodnych (tzw. niebieskie miasto).

Rozwiązania technologiczne dotyczą wykorzystania specjalnych materiałów, które pozwalają ograniczyć ciepło (tzw. białe miasto).

Schemat 1. Kierunki adaptacji do zmieniającego się klimatu



Źródło: opracowanie własne PIE.

Ramka 6. Skutki przykładowych działań związanych z zazielenieniem miasta

Większy udział roślinności w miejskiej zabudowie pozwoli zmniejszyć śmiertelność. Roślinność zapewnia chłodzenie przez zacienienie oraz pobiera ciepło w trakcie parowania. Institute for Global Health w Barcelonie szacuje, że zwiększenie poziomu zadrzewienia ze średniej europejskiej wynoszącej 14,9 proc. do 30 proc. obszaru może obniżyć temperaturę w miastach średnio o 0,4°C i zmniejszyć liczbę zgonów o 39,5 proc. (Lungman, 2023).

Władze samorządowe mogą zwiększyć efektywność takich projektów. Najbardziej tradycyjnym rozwiązaniem jest tworzenie nowych parków i terenów zielonych. Dobrą praktyką jest kształtowanie zieleni na budynkach użyteczności publicznej, np. formowanie ogródków na dachach, ścianach itp. Długoterminowe działania powinny obejmować również rozszczelnienie gruntów i tworzenie bardziej przepuszczalnych nawierzchni.

Dodatkowe korzyści obejmują także retencję wody deszczowej, większą oszczędność energii, zachowanie walorów estetycznych. Obszary zielone dają też możliwość dodatkowej rekreacji i pozwalają zredukować hałas.

Przykładem takich działań w Polsce było wdrożenie lasów kieszonkowych w Poznaniu. Do tego typu rozwiązań wykorzystano metodę tworzenia rozbudowanych ekosystemów leśnych na niewielkiej powierzchni, którą stworzył w latach 80. XX w. japoński botanik Akira Miyawaki. Tzw. las Miyawakiego (kieszonkowy, mikrolas) jest inspirowany procesami zachodzącymi w naturze oraz jej różnorodnością. Wymaga zasadzenia gęsto od 15 do 40 rodzimych gatunków drzew i krzewów na niewielkim obszarze – wystarczy nawet teren o powierzchni 50 m². Taki sposób sadzenia przyspiesza wzrost roślin aż do 10 razy, co pozwala na efektywne zalesianie terenów miejskich. W lasach tych występuje również dużo większa bioróżnorodność niż w tradycyjnie sadzonych lasach (www20).

Ramka 7. Skutki przykładowych działań związanych z inwestycjami w zbiorniki wodne

Zbiorniki wodne (stawy, jeziora, rzeki) mogą ochładzać przez parowanie, absorpcję ciepła i jego transport. Wśród rozwiązań w tym zakresie można jeszcze wyróżnić kanały i renaturyzację rzek (przywrócenie do stanu naturalnego). Dodatkowe korzyści związane z inwestowaniem w zbiorniki wodne obejmują różnorodność biologiczną i wentylację.

Dobrym przykładem takiej działalności jest **renaturyzacja rzeki Izary w Monachium**. Została ona wykonana na odcinku miejskim o łącznej długości 8,3 km. Rzekę regulowano od początków epoki przemysłowej w celu produkowania energii i dostarczania wody. W drugiej połowie XX w. powstała koncepcja renaturyzacji rzeki, tj. usunięcia konstrukcji betonowych.

Prowadziło to do:

- nadania rzece bardziej naturalnego wyglądu i wkomponowania jej w krajobraz,
- poprawy bezpieczeństwa powodziowego,
- poprawy warunków środowiskowych i różnorodności siedliskowej,
- zwiększenia ilości wody pozostawianej w korycie rzeki,
- poprawy warunków rekreacji i zwiększenia dostępności rzeki, m.in. przez odpowiednie ukształtowanie brzegów,
- poprawy jakości wody (Bańkowska i in., 2010).

Rozwiązania oparte na przyrodzie są także opłacalne: średnio o 50 proc. tańsze niż „szara” infrastruktura techniczna (np. betonowanie) i o 28 proc. bardziej efektywne, a mimo tego w 2021 r. przeznaczono na nie jedynie 0,3 proc. całkowitych wydatków na infrastrukturę miejską (WEF, 2022), więcej drzew to także większa ochrona naturalnej bioróżnorodności, tak więc występują także korzyści ekologiczne.

Ramka 8. Skutki przykładowych działań związanych z inwestycjami w technologie odbłaskowe

Przyczynami powstawania miejskiej wyspy ciepła są wysokie pochłanianie promieniowania słonecznego i magazynowanie tego ciepła w powierzchniach terenów zabudowanych. Można temu przeciwdziałać przez stosowanie materiałów odbłaskowych, które odbijają więcej promieniowania słonecznego niż tradycyjne ciemniejsze materiały. Jest to pomysł stosunkowo tani, a także łatwy w realizacji, materiały odbłaskowe są też lekkie. Wśród dodatkowych korzyści można osiągnąć także oszczędność energii w budynku.

Dobrym przykładem jest tzw. białe miasto w Nowym Jorku. Ekstremalne upały były najbardziej śmiertelnościami zjawiskami pogodowymi, z jakimi mierzyła się metropolia. Miasto w związku z tym postanowiło pomalować blisko 1 mln m² dachów w Nowym Jorku na biało i koncentrować tę metodę w obszarach najbardziej narażonych na ciepło.

Miasto pracuje również nad zapewnieniem mieszkańcom bezpieczeństwa podczas fali upałów. Dostarcza klimatyzatory dziesiątkom tysięcy starszych mieszkańców o niskich dochodach oraz prowadzi program, który łączy wolontariuszy z osobami szczególnie narażonymi na skutki wysokich temperatur.

Optymalne podejście zakłada łączenie powyższych kierunków w odpowiedzi na lokalne uwarunkowania, w tym ukształtowanie terenu i użytkowanie gruntów oraz identyfikacji części miasta najbardziej narażonych na skutki fal

upału w postaci największego obciążenia cieplnego. W identyfikacji pomocne mogą być narzędzia w formie numerycznych modeli klimatu miast (Bucholz, 2016), które są w stanie dostarczyć danych o ilości zieleni niezbędnej do osiągnięcia oczekiwanego efektu chłodzącego, a także obrazowania satelitarne, które dostarczą informacji o panującej temperaturze.

Ramka 9. Identyfikacja miejskiej wyspy ciepła na przykładzie Wiednia

Modelowanie miejskiej wyspy ciepła dowiodło, że charakteryzuje się ona dużym zróżnicowaniem przestrzennym. Najwyższa temperatura występuje w centrum miasta, gdzie zabudowa jest gęsta, ale też w częściach mieszkalnych o płaskiej rzeźbie terenu. Tak więc poza gęstością zabudowy ważne jest także ukształtowanie terenu: na osiedlach położonych na zboczach o ekspozycji zachodniej efekt UHI jest mniejszy niż na terenach płaskich położonych na południu i wschodzie od centrum miasta. Symulacje wprowadzania różnych metod w celu zmniejszenia efektu UHI wykazały, że mają one rozległy wpływ także na nieco bardziej oddalone części miasta, ale jest uwarunkowane lokalnymi cechami, jak np. przeważający kierunek wiatru wynikający z ułożenia dominujących korytarzy powietrznych. Przykładowo lokalizowanie nowych parków w centrum miasta o powierzchni 347 ha wpłynęło na efekt chłodzący obszaru o powierzchni 4791 ha. Nowe parki poza centrami miast przyczyniłyby się do zmniejszenia efektu UHI na mniejszej powierzchni, ale intensywność oddziaływania byłaby większa.

Najbardziej efektywne jest wdrażanie wielu rozwiązań łącznie, w tym polegających na powiększaniu przestrzeni zielonych i wodnych, a także unikanie zwiększania gęstości zabudowy i twardej nawierzchni (Bucholz, 2016).

Poza inwestowaniem w infrastrukturę i w rozwiązania oparte na przyrodzie, skutek przynoszą także inwestycje „miękkie”, w tym prowadzenie kampanii edukacyjnych i informacyjnych. Jak dowodzi Bank Światowy, każdy dodatkowy rok edukacji średnio przekłada się na wzrost zachowań proekologicznych o 5,8 pkt. proc., a także o 1,0 pkt. proc. zwiększa przychyłność względem polityk klimatycznych (World Bank, 2023a).

Ramka 10. Sewilla – kompleksowe podejście do problemu upału

To hiszpańskie miasto jest jednym z najbardziej narażonych na fale upałów w całej Europie. W czerwcu 2022 r., aby zwiększyć świadomość społeczną nt. fal upałów, zaczęto nadawać im imiona oraz skalę, w podobny sposób jak nadaje się imiona np. huraganom. Zeszłoroczna fala upałów nazwana Zoe miała najwyższy stopień ze względu na swoją intensywność (ponad 40°C) i długość trwania (ponad 2 tygodnie). Wstępnie ocenia się, że dana polityka sprawdziła się – ludzie częściej sprawdzali samopoczucie swoich sąsiadów i wprowadzali metody zapobiegawcze. W 2023 r. Sewillę nawiedziła nowa fala upałów, nazwana Yago.

Miasto stosuje też inne sposoby radzenia sobie falami upału, w tym korzysta z rozwiązań „białych”, „zielonych” i „niebieskich”: instaluje publiczne fontanny, sadi 5000 drzew rocznie i wykorzystuje materiały budowlane odbijające ciepło (www21).

Aneks metodologiczny

Skróty i definicje

Falę upału definiujemy jako wystąpienie co najmniej dwóch dni z rzędu z maksymalną temperaturą dobową powietrza powyżej 30°C, zgodnie z definicją Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (dalej: IPCC). Definicja bywa poszerzana o dodatkowe elementy, takie jak wilgotność oraz prędkości wiatru, tym sposobem odnosząc się do temperatury odczuwalnej. Zestawienie wskaźników oraz sugerowane zastosowania można znaleźć w informacjach Zespołu ekspertów Światowej Organizacji Meteorologicznej ds. sektorowych wskaźników klimatycznych (ET-SCI) (www26). Przykłady najbardziej ekstremalnych fal upałów w Europie przedstawiamy w tabeli 1.

Tabela 1. Największe fale upału pod względem śmiertelności wg państw Europy od początku XX w.

| Kraj | Okres | Liczba dni | Liczba zgonów | Maksymalna temperatura (w °C) |
|-----------|-----------------------|------------|---------------|-------------------------------|
| Rosja | 2010, lipiec-sierpień | 38 | 55 736 | 40 |
| Włochy | 2003, lipiec-sierpień | 31 | 20 089 | 46 |
| Francja | 2003, sierpień | 20 | 19 490 | 43 |
| Hiszpania | 2003, sierpień | 11 | 15 090 | 45 |

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych EM-DAT Uniwersytetu w Louvain.

IPCC (Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu, Intergovernmental Panel on Climate Change) – organ ONZ powołany w celu oceny publikacji naukowych związanych ze zmianą klimatu.

Scenariusze RCP (Reprezentatywne Ścieżki Koncentracji, Representative Concentrations Pathways) – scenariusze zmiany koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze opracowane na potrzeby Piątego Raportu IPCC (IPCC,

2014). Opisują możliwe tory zmian klimatu w zależności od nasilenia działań na rzecz zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych.

RCP 4.5 – scenariusz RCP zakładający wprowadzanie nowych technologii w celu uzyskania wyższej niż obecnie redukcji emisji gazów cieplarnianych. Zakłada wzrost średniej temperatury globalnej o ok. 2,5°C do końca XXI w. (www22).

RCP 8.5 – scenariusz RCP zakładający utrzymanie aktualnego tempa wzrostu emisji gazów cieplarnianych, w formule *business as usual*. W tym scenariuszu średnia temperatura Ziemi wzrośnie o 4,5°C względem epoki przedindustrialnej. Scenariusz ten z 95-proc. prawdopodobieństwem oznacza nieodwracalną destabilizację klimatu Ziemi (www23).

UHI (Miejska Wyspa Ciepła, Urban Heat Island) – zjawisko występowania wyższej temperatury powietrza w miastach niż poza nimi, spowodowane m.in. pochłaniającymi promieniowanie materiałami używanymi do budowy, przede wszystkim betonem i asfaltem, oraz ograniczoną ilością roślinności.

WMO (Światowa Organizacja Meteorologiczna, World Meteorological Organization) – agencja ONZ ds. meteorologii, hydrologii.

Wskaźnik stresu cieplnego (Heat Stress Index) – kombinacja temperatury i wilgotności powietrza, wyrażany w stopniach Celsjusza. Wskazuje temperaturę odczuwalną przez człowieka, która przy wysokiej wilgotności jest wyraźnie wyższa od zwykłej temperatury powietrza.

Załącznik 1. Śmiertelność

W celu oszacowania liczby zgonów związanych z falami ciepła, przeprowadziliśmy analizę dotyczącą dziesięciu największych miast w Polsce. Najpierw stworzyliśmy szacunek oczekiwanej liczby zgonów na podstawie danych o ludności miast i oczekiwanej długości trwania życia z GUS. Następnie na podstawie tych danych oraz danych meteorologicznych ze stacji synoptycznych IMGW-PIB, stworzyliśmy ich tygodniowy rozkład na podstawie liczby zgonów w tygodniach, w których nie występowały fale upałów. Następnie oszacowaliśmy modele regresji panelowej dla sześciu grup wiekowych osób 60+. Rozpatrywaliśmy zgony od 15.05 do 2.10 każdego roku. Modele miały następującą postać:

$$y_{i,k,m} = \alpha_{i,m} + \beta_1 \cdot x_t + \beta_{2,i} \cdot HEATWAVE_{k,m} + \varepsilon_{i,k,m} ,$$

gdzie:

$Y_{i,k,m}$ – nadmiarowe zgony w danej grupie wiekowej (i), danym tygodniu (k) i mieście (m), w ujęciu na 100 tys. mieszkańców tego miasta w tej grupie wiekowej. Przez nadmiarowe zgony mamy na myśli liczbę zgonów rzeczywistych, od których odjęliśmy liczbę zgonów oczekiwanych,

$\beta_1 \cdot x_t$ – ujmuje element trendu, a więc roczną zmianę spodziewanej liczby zgonów,

$\beta_{2,i} \cdot HEATWAVE_{k,m}$ – przedstawia efekt fali upału; $HEATWAVE_{k,m}$ przyjmuje wartość 1, jeśli w danym tygodniu i mieście wystąpiła fala upału, i 0, jeśli nie wystąpiła,

$\varepsilon_{i,k,m}$ – wyraz wolny.

Szacunki liczby zgonów w wyniku fal upałów powstały po przemnożeniu oszacowanych parametrów $\beta_{2,i}$ przez populację miast w odpowiedniej grupie wiekowej w danym roku, a następnie przez liczbę fal upału w tym roku. Występowanie fal upałów istotnie wpływa na śmiertelność osób powyżej 60. roku życia, spośród których w latach 2002-2019 7741 zmarło w związku z wielodniowymi upałami. Modele szacowane dla grup wiekowych osób młodszych niż 60 lat dawały wyniki nieistotne statystycznie. Różne grupy wiekowe seniorów okazały się być w niejednakowym stopniu narażone na śmiertelne skutki upałów. Jedna fala upału zabijała przeciętnie 13,5 osób 85+ na 100 tys. osób w tym wieku, a jedynie 1,8 na 100 tys. osób w przedziale wiekowym 60-65.

Załącznik 2. Produktywność

Do obliczania ekonomicznych kosztów utraty produktywności użyliśmy następującego wzoru:

$$EL = E * P * Lr * D * A,$$

gdzie:

EL – utracona produktywność w PLN,

E – liczba pracujących w Warszawie w 2015 r.,

P – produktywność na godzinę

Lr – utrata produktywności (stała w wysokości 0,26 skalibrowana na podstawie badań NASA),

D – długość fali upałów w dniach, gdzie za dzień pracujący przyjmuje się 8 godzin, bez weekendów,

A – procent ludzi nieprzebywających na urlopie.

Procent ludzi nieprzebywających na urlopach został oszacowany na 0,6. Z danych pracuj.pl wynika, że 76 proc. pracowników planuje wolne w okresie lipiec-sierpień, przeprowadziliśmy więc trzy szacunki dla innych wartości urlopowych.

Bibliografia

- Auffhammer, M. (2017), *Climate change is projected to have severe impacts on the frequency and intensity of peak electricity demand across the United States*, PNAS.
- Balester, J. (2023), *Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022*, „Nature”, No. 29.
- Bańkowska, A., Sawa, K., Popek, Z., Wasilewicz, M., Żelazo, J. (2010), *Studia wybranych przypadków renaturyzacji rzek*, „Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich”, nr 9.
- Barriopedro, D. i in. (2011), *The hot summer of 2010: redrawing the temperature record map of Europe*, „Science”, No. 332.
- Bastin, J.F. i in. (2019), *Understanding climate change from a global analysis of city analogues*, „PLOS ONE”, <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0217592> [dostęp: 30.08.2023].
- Beard, M. i in. (2016), *Key Technical Challenges for the Electric Power Industry and Climate Change*, „IEEE Transactions on Energy Conversion”, No. 2.
- Belusko, M. i in. (2016), *Assessment of Heatwave Impacts*, „Procedia Engineering”, No. 169.
- Berezov, A. (2019), *More People Die In Winter Than Summer*, <https://www.acsh.org/news/2019/07/10/more-people-die-winter-summer-14146> [dostęp: 30.08.2023].
- Bras, T.A. i in. (2021), *Severity of drought and heatwave crop losses tripled over the last five decades in Europe*, „Environmental Research Letters”, No. 16.
- Bucholz, S. i in. (2016), *Modelling the potential of green and blue infrastructure to reduce urban heat load in the city of Vienna*, „Climatic Change”, No. 135.
- Burke, M. i in. (2018), *Higher temperatures increase suicide rates in the United States and Mexico*, „Nature Climate Change”, No. 8.
- Ciais, P. i in. (2005), *Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003*, „Nature”, No. 437.
- Ciupertea, A-F. i in. (2017), *The impact of heat waves on surface urban heat island and local economy in Cluj-Napoca city, Romania*, „Theoretical and Applied Climatology”, No. 133.
- Clemmer, S., Davis, M. (2014), *Power Failure*, Union of Concerned Scientists, Cambridge.
- Coumou, D., Rahmstorf, S. (2012), *A decade of weather extremes*, „Nature Climate Change”, No. 2.

- Coumou, D. i in. (2021), *Increasing heat and rainfall extremes now far outside the historical climate*, „Climate and Atmospheric Science”, No. 4.
- Coumou, D. i in. (2022), *Accelerated western European heatwave trends linked to more-persistent double jets over Eurasia*, „Nature Communication”, No. 13.
- Dasgupta, S., Lall, S., Wheeler, D. (2023), *Cutting global carbon emissions: where do cities stand?*, <https://blogs.worldbank.org/sustainablecities/cutting-global-carbon-emissions-where-do-cities-stand> [dostęp: 30.09.2023].
- Dodman, D.B. i in. (2022), *2022: Cities, Settlements and Key Infrastructure*, (w:) IPCC, *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Dunn, R. i in. (2023), *Quantifying the human cost of global warming*, „Nature Sustainability” <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01132-6>.
- EEA (2007), *Climate change: the cost of inaction*, Luksembourg.
- Eyring, V., Gillett, N. (2021), *2021: Human Influence on the Climate System. In Climate Change*, (w:) IPCC, *2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Fraga, H. i in. (2020), *What Is the Impact of Heatwaves on European Viticulture*, „Applied Sciences”, No. 10(9).
- Ganguly, A. i in. (2015), *Changes in observed climate extremes in global urban areas*, „Environmental Research Letters”, No. 10(2).
- Garcia-Leon, D. i in. (2021), *Current and projected regional economic impacts of heatwaves in Europe*, „Nature Communications”, No. 12.
- GUS (2023), *Powierzchnia i ludność w przekroju terytorialnym w 2023 r.*, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/ludnosc/ludnosc/powierzchnia-i-ludnosc-w-przekroju-terytorialnym-w-2023-roku,7,20.html> [dostęp: 30.09.2023].
- Hanigan, I.C., Dear, B.K., Woodward, A. (2021), *Increased ratio of summer to winter deaths due to climate warming in Australia, 1968-2018*, „Australian and New Zealand Journal of Public Health”, No. 45(5).
- Hunt, A. (2007), *Study on the economic effects of the 2003 heat wave on transport*, Institute of Asphalt Technology National Conference, Telford.
- IPCC (2014), *The Fifth Assessment Report*, Geneva.
- IPCC (2023), *Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate*, (w:) IPCC, *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge.
- lungman, T. i in. (2023), *Cooling cities through urban green infrastructure: a health impact assessment of European cities*, „The Lancet”, No. 401(10376).

- Kłysik, K., Fortuniak, K. (1999), *Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Łódź, Poland*, „Atmospheric Environment”, No. 45.
- Lhotka, O., Kysely, J. (2022), *The 2021 European Heat Wave in the Context of Past Major Heat Waves*, „Earth and Space Science”, No. 9(11).
- Lizarraga, J., Picallo-Perze, A. (2020), *Exergy Analysis and Thermoconomics of Buildings. 4 – Exergy analysis of heat transfer in buildings*, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Lohmus, M. (2018), *Possible Biological Mechanisms Linking Mental Health and Heat-A Contemplative Review*, „International Journal Environmental Research and Public Health”, No. 15(7).
- Mares, D., Moffett, K. (2016), *Climate change and interpersonal violence: a “global” estimate and regional inequities*, „Climatic Change”, No. 135.
- Masselot, P. i in. (2023), *Excess mortality attributed to heat and cold: a health impact assessment study in 854 cities in Europe*, „The Lancet Planetary Health”, No. 7(4).
- Matthews T. i in. (2017), *Communicating the deadly consequences of global warming for human heat stress*, „Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America”, No. 114(15), <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28348220/> [dostęp: 30.09.2023].
- Molarius, R. i in. (2014), *The extreme weather risk indicators (EWRI) for the European transport system*, „Nat Hazards”, No. 72.
- Mishra, V. i in. (2015), *Changes in observed climate extremes in global urban areas*, „Environmental Research Letters”, No. 10(2).
- MKIŚ (2013), *Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020*, https://bip.mos.gov.pl/fileadmin/user_upload/bip/strategie_plany_programy/Strategiczny_plan_adaptacji_2020.pdf [dostęp: 30.08.2023].
- Mullholand, E. (2021), *Increased risk of extreme heat to European roads and railways with global warming*, „Climate Risk Management”, No. 34.
- NASA (1968), *Productivity and Work Area Temperatures in Industrial Facilities*, <https://www.azevap.com/workAreaTempProductivity.php> [dostęp: 31.08.2023].
- Nemry, F. (2012), *Impacts of Climate Change on transport: a focus on road and rail transport infrastructures*, Publications Office of the European Union, <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC72217> [dostęp: 31.08.2023].
- Parsons, K. (2014), *The effects of hot, moderate and cold temperatures on human health, comfort and performance*, CRC Press, Boca Raton.
- PAN (2021), *Komunikat 04/2021 na temat zagrożeń miast wobec kryzysu klimatycznego*, Warszawa.
- Rousi, E. i in. (2022), *Accelerated western European heatwave trends linked to more-persistent double jets over Eurasia*, „Nature Communications”, No. 13.
- World Bank (2023a), *The untapped potential of education in the battle against climate change*, <https://blogs.worldbank.org/developmenttalk/untapped-potential-education-battle-against-climate-change> [dostęp: 30.08.2023].

- World Bank (2023b), *Thriving: Making Cities Green, Resilient, and Inclusive in a Changing Climate*, Washington.
- World Bank (2020), *Analysis of Heat Waves and Urban Heat Island Effects in Central European Cities and Implications for Urban Planning*, Washington.
- World Economic Forum (2022), *BiodiverCities by 2030: Transforming Cities Relationship with Nature*, Cologne.
- UNDP (2016), *Climate Change and Labour: Impacts of heat in the workplace*, New York.
- United Nations Publications (2020), *Climate Change Impacts and Adaptation for Transport Networks and Nodes*, No. E.20.II.E.23.
- Yin, C. i in. (2022), *Changes in global heat waves and its socioeconomic exposure in a warmer future*, „Climate Risk Management”, No. 38.
- Zander, K., Botzen, W. i in. (2015), *Heat stress causes substantial labour productivity*, „Nature Climate Change”, No. 5.
- (www1) <https://www.carbonbrief.org/state-of-the-climate-2023-now-likely-hottest-year-on-record-after-extreme-summer/> [dostęp: 30.08.2023].
- (www2) <https://phys.org/news/2023-09-hottest-year-eu.html> [dostęp: 30.08.2023].
- (www3) <https://climate.nasa.gov/news/3276/nasa-finds-june-2023-hottest-on-record/> [dostęp: 30.08.2023].
- (www4) <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-clocks-july-2023-as-hottest-month-on-record-ever-since-1880> [dostęp: 30.08.2023].
- (www5) <https://earthobservatory.nasa.gov/images/151699/july-2023-was-the-hottest-month-on-record> [dostęp: 30.08.2023].
- (www6) <https://www.washingtonpost.com/weather/2023/05/15/record-heat-oregon-washington-alberta-british-columbia/> [dostęp: 30.08.2023].
- (www7) <https://climate.copernicus.eu/new-decade-brings-reference-period-change-climate-data> [dostęp: 30.08.2023].
- (www8) <https://climate.copernicus.eu/wmo-c3s-release-sombre-findings-joint-state-climate-europe-2022-report> [dostęp: 30.08.2023].
- (www9) <https://www.oecd.org/blog/2022/08/03/extreme-heat-is-the-silent-killer-of-climate-change-how-can-cities-beat-it/> [dostęp: 30.08.2023].
- (www10) <https://unfccc.int/news/climate-plans-remain-insufficient-more-ambitious-action-needed-now> [dostęp: 30.08.2023].
- (www11) <https://myclimatefuture.info> [dostęp: 30.08.2023].
- (www12) <https://www.weforum.org/agenda/2022/12/explained-how-climate-change-affects-mental-health> [dostęp: 30.08.2023].
- (www13) <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2019/04/24/new-program-to-scale-up-efficient-clean-cooling-in-developing-countries> [dostęp: 30.08.2023].
- (www14) <https://www.bankier.pl/wiadomosc/Fala-upalow-a-energetyka-Czy-Polsce-grozi-blackout-8587736.html> [dostęp: 30.08.2023].

- (www15) <https://www.lasicilia.it/cronaca/siracusa-senza-corrente-da-piu-di-12-ore-catania-senzacqua-per-i-continui-black-out-elettrici-e-con-40-gradi-e-il-caos-1852064/> [dostęp: 30.08.2023].
- (www16) <https://www.lancetcountdown.org/data-platform/health-hazards-exposures-and-impacts/1-1-health-and-heat/1-1-4-change-in-labour-capacity> [dostęp: 30.08.2023].
- (www17) <https://www.thegrocer.co.uk/sourcing/cereal-crops-decimated-by-europes-heatwave/681361.article> [dostęp: 30.08.2023].
- (www18) https://modis.gsfc.nasa.gov/sci_team/pubs/abstract_new.php?id=28087 [dostęp: 30.08.2023].
- (www19) <https://www.oecd.org/cfe/territorial-approach-sdgs.htm> [dostęp: 30.08.2023].
- (www20) <https://portalkomunalny.pl/pierwszy-w-polsce-las-kieszonkowy-rosnie-w-poznaniu-427560/> [dostęp: 30.08.2023].
- (www21) <https://www.euronews.com/my-europe/2022/06/22/how-spain-is-trying-to-adapt-to-more-frequent-heatwaves> [dostęp: 30.08.2023].
- (www22) <https://klimada2.ios.gov.pl/o-rcp/> [dostęp: 30.08.2023].
- (www23) <https://klimada2.ios.gov.pl/klimat-scenariusze-portal/> [dostęp: 30.08.2023].
- (www24) <https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/785ef9d3965442669bff899540747e28> [dostęp: 30.08.2023].
- (www25) https://pie.net.pl/wp-content/uploads/2019/08/Tygodnik_PIE_29-19.pdf [dostęp: 30.08.2023].
- (www26) <https://climimpact-sci.org/indices/> [dostęp: 30.08.2023].

Spis tabel, ramek, map, schematów i wykresów

SPIS TABEL

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Najdłuższe fale upału w Polsce w okresie 2000-2022 na przykładzie analizowanych miast | 9 |
| Tabela 2. Przegląd literatury – skutki dla sektora energetycznego | 20 |
| Tabela 3. Przegląd literatury – skutki dla transportu | 21 |
| Tabela 4. Przegląd literatury – skutki dla sektora rolnego | 22 |
| Tabela 5. Utrata produktywności przy wzroście temperatury w porównaniu do warunków pokojowych (22°C) | 23 |
| Tabela 6. Utrata produktywności w badaniach ekonomicznych | 23 |
| Tabela 7. Jak spadek produktywności przekłada się na koszty gospodarcze? | 24 |
| Tabela 8. Oczekiwane straty ekonomiczne w Warszawie pod wpływem fal upałów w przyszłych dekadach (w cenach z 2015 r.) | 24 |
| Tabela 1. Największe fale upału pod względem śmiertelności wg państw Europy od początku XX w. | 31 |

SPIS RAMEK

| | |
|--|----|
| Ramka 1. Jak będą wyglądać europejskie miasta w połowie bieżącego wieku? | 12 |
| Ramka 2. Skutki fal upałów dla systemów energetycznych | 20 |
| Ramka 3. Szacowane straty w rolnictwie w 2023 r. | 22 |
| Ramka 4. Spadek produktywności w Rumunii – badanie z 2015 r. | 23 |
| Ramka 5. Ile będzie kosztować brak przeciwdziałania zmianom klimatycznym? | 26 |
| Ramka 6. Skutki przykładowych działań związanych z zazielenieniem miasta | 28 |
| Ramka 7. Skutki przykładowych działań związanych z inwestycjami w zbiorniki wodne | 29 |
| Ramka 8. Skutki przykładowych działań związanych z inwestycjami w technologie odblaskowe | 29 |
| Ramka 9. Identyfikacja miejskiej wyspy ciepła na przykładzie Wiednia | 30 |
| Ramka 10. Sewilla – kompleksowe podejście do problemu upału | 30 |

SPIS MAP

| | |
|--|----|
| Mapa 1. Miejska wyspa ciepła na przykładzie Krakowa i Gdańska (średnia miesięczna temperatura powietrza w sierpniu 2015 r.) | 11 |
|--|----|

SPIS SCHEMATÓW

| | |
|--|----|
| Schemat 1. Kierunki adaptacji do zmieniającego się klimatu | 28 |
|--|----|

SPIS WYKRESÓW

| | |
|--|----|
| Wykres 1. Liczba fal upałów w Polsce rośnie na przestrzeni lat. | 8 |
| Wykres 2. Zmiana liczby dni ekstremalnie gorących w miastach w wybranych regionach świata w latach 1973-2012 | 10 |
| Wykres 3. Nadwyżka temperatury powietrza w mieście względem województwa w wybranych tygodniach z falami upału (w °C). | 10 |
| Wykres 4. Liczba dni upalnych w wybranych miastach – prognozy EuroHEAT project | 13 |
| Wykres 5. Liczba dni upalnych w polskich miastach wg scenariusza RCP 4.5 | 14 |
| Wykres 6. Liczba dni upalnych w polskich miastach wg scenariusza RCP 8.5 | 14 |
| Wykres 7. Odsetek ofiar śmiertelnych spowodowanych ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi i klimatycznymi w UE w latach 1980-2021 (w proc.) | 16 |
| Wykres 8. Przeciętna roczna liczba nadmiarowych zgonów osób 60+ w wyniku fal upałów w latach 2010-2019 | 18 |
| Wykres 9. Przeciętna roczna liczba zgonów spowodowanych upałami na 100 tys. mieszkańców 60+ w latach 2010-2019. | 18 |
| Wykres 10. Prognozowana przeciętna liczba zgonów w wyniku fal upałów dla 10 największych polskich miast wg scenariuszy zmian klimatu IPCC. | 19 |

Polski Instytut Ekonomiczny

Polski Instytut Ekonomiczny to publiczny *think tank* ekonomiczny z historią sięgającą 1928 roku. Jego obszary badawcze to przede wszystkim makroekonomia, energetyka i klimat, handel zagraniczny, foresight gospodarczy, gospodarka cyfrowa i ekonomia behawioralna. Instytut przygotowuje raporty, analizy i rekomendacje dotyczące kluczowych obszarów gospodarki oraz życia społecznego w Polsce, z uwzględnieniem sytuacji międzynarodowej.