



Spółeczny udział w tworzeniu miejskiej polityki klimatycznej

Przykład Łodzi

pod redakcją
Kamila Brzezińskiego
Tomasza Jurczaka
Agnieszki Rzeńcy

**Społeczny udział
w tworzeniu miejskiej
polityki klimatycznej**



WYDAWNICTWO
UNIWERSYTETU
ŁÓDZKIEGO

Interdyscyplinarne Studia Miejskie

**Społeczny udział
w tworzeniu miejskiej
polityki klimatycznej**

Przykład Łodzi

pod redakcją
Kamila Brzezińskiego
Tomasza Jurczaka
Agnieszki Rzeńcy

Kamil Brzeziński (ORCID: 0000-0002-3015-1294) – Uniwersytet Łódzki
Wydział Ekonomiczno-Socjologiczny, Katedra Metod i Technik Badań Społecznych
90-214 Łódź, ul. Rewolucji 1905 r. nr 41/43

Tomasz Jurczak (ORCID: 0000-0002-1576-6741) – Uniwersytet Łódzki
Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Katedra UNESCO Ekohydrologii i Ekologii Stosowanej
90-232 Łódź, ul. S. Banacha 1/3

Agnieszka Rzeńca (ORCID: 0000-0003-1167-1363) – Uniwersytet Łódzki
Wydział Ekonomiczno-Socjologiczny, Katedra Gospodarki Regionalnej i Środowiska
90-255 Łódź, ul. POW 3/5

RECENZENCI

Maciej J. Nowak, Dariusz Pieńkowski

REDAKTOR INICJUJĄCY

Monika Borowczyk

REDAKTOR WYDAWNICTWA UŁ

Piotr Pietrych

SKŁAD I ŁAMANIE

Editio

KOREKTA TECHNICZNA

Wojciech Grzegorzczak

PROJEKT OKŁADKI

Tomasz Kochelski

Autorzy zdjęć na okładce: Dorota Kudlicka, Agnieszka Rzeńca

© Copyright by Authors, Łódź 2024

© Copyright for this edition by Uniwersytet Łódzki, Łódź 2024

<https://doi.org/10.18778/8331-450-1>

Wydane przez Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego

Wydanie I. W.11262.23.0.K

Ark. wyd. 16,0; ark. druk. 15,125

ISBN 978-83-8331-450-1

e-ISBN 978-83-8331-451-8

Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego

90-237 Łódź, ul. Matejki 34A

www.wydawnictwo.uni.lodz.pl

e-mail: ksiegarnia@uni.lodz.pl

tel. 42 635 55 77

Spis treści

Wstęp	7
Rozdział 1. Miasta i ich mieszkańcy wobec antropogenicznej zmiany klimatu	9
1.1. Miasta a efekt cieplarniany w świetle współczesnych ustaleń naukowych (Krzysztof Fortuniak)	11
1.2. Miasta w dobie wyzwań zmieniającego się klimatu (Agnieszka Rzeńca, Tomasz Jurczak)	27
1.3. Partycypacja społeczna na rzecz miasta neutralnego klimatycznie (Anna Wasiak)	47
1.4. Panel obywatelski jako instrument włączenia mieszkańców w sprawy miasta (Kamil Brzeziński)	63
Rozdział 2. W kierunku neutralności klimatycznej miast – wybrane strategie i działania	81
2.1. Kapitał naturalny miast w łagodzeniu skutków antropogenicznej zmiany klimatu (Kinga Krauze, Tomasz Jurczak)	83
2.2. Zrównoważona mobilność w miastach – wyzwania i perspektywy (Szymon Wójcik)	97
2.3. Miejska gospodarka o obiegu zamkniętym (Agnieszka Sobol)	115
2.4. Budownictwo zrównoważone w mieście – oszczędność i racjonalizacja (Daniel Tokarski)	131
2.5. Energetyka w mieście wczoraj, dziś i jutro (Jacek Biskupski)	145
Rozdział 3. Rola mieszkańców w budowaniu neutralności klimatycznej miast. Przykład Łodzi	169
3.1. Inicjatywy obywatelskie łodzian na rzecz neutralności klimatycznej miasta (Anna Wasiak)	171
3.2. Łódzki Panel Obywatelski „Zieleń w mieście” – jak rozwijać partycypację społeczną, gdy kryzysy nawarstwiają się? (Agata Burlińska)	193
3.3. „W jaki sposób zredukować szkodliwą emisję gazów cieplarnianych na terenie Łodzi o 55% do 2030 roku?” – II Łódzki Panel Obywatelski w praktyce (Agnieszka Rzeńca, Tomasz Jurczak)	209
3.4. Wnioski i refleksje wynikające z ewaluacji II Łódzkiego Panelu Obywatelskiego (Kamil Brzeziński)	227

Wstęp

„Jesteśmy pierwszym pokoleniem, które odczuwa skutki zmian klimatu i ostatnim pokoleniem, które może coś z tym zrobić” – te słowa jednego z amerykańskich gubernatorów przytoczył w 2014 roku były prezydent Stanów Zjednoczonych Barack Obama podczas wystąpienia na szczycie ONZ w sprawie zmian klimatu. Dziś ta wypowiedź tylko zyskała na aktualności.

Antropogeniczna zmiana klimatu jest przejawem negatywnego oddziaływania człowieka na środowisko przyrodnicze. Intensywne opady, huragany, susze, spadek różnorodności biologicznej są tego wymiernym efektem. Efektem, który doświadczamy coraz częściej i coraz mocniej. Szybki przyrost liczby ludności na świecie potęguje tylko ten problem, a obszary zurbanizowane są obecnie ekosystemami najbardziej podatnymi na skutki zmieniającego się klimatu. W miastach, mimo że zajmują jedynie ok. 3% powierzchni Ziemi, żyje obecnie ponad połowa ludności świata i szacuje się, że do 2050 r. wartość ta wzrośnie nawet do 70%. W skali Europy mieszkańcy miast stanowią już dziś 75%, a w Polsce jest to ok. 60%. Miasta są również ekosystemami odpowiadającymi za największą emisję gazów cieplarnianych, przyczyniając się tym samym do zanieczyszczenia środowiska i postępującej zmiany klimatu. Rodzą się zatem pytania: czy katastrofa klimatyczna, która obecnie ma miejsce, jest realnym zagrożeniem dla nas, dla ludzkości? czy jesteśmy w stanie przeciwstawić się tej katastrofie? jak postępować i jakie decyzje podejmować, by mieć realny wpływ na zahamowanie negatywnej dla człowieka zmiany klimatu?

Miasta i ich mieszkańcy odgrywają dziś kluczową rolę w procesie antropogenicznej zmiany klimatu. Z jednej strony miasta są istotnym czynnikiem tej zmiany, ponieważ w znaczącym stopniu przyczyniają się do emisji gazów cieplarnianych, z drugiej zaś mogą odegrać znaczącą rolę w odwracaniu negatywnych procesów jako obszary wdrażania wielu innowacyjnych rozwiązań i strategii, mających na celu redukcję emisji oraz adaptację do zmian klimatu. Jednocześnie z ciągłą presją na środowisko i kumulacją negatywnych efektów, obserwowany jest wzrost świadomości obywatelskiej, rozwój aktywności społecznej (młodzieżowy strajk klimatyczny, fora dyskusyjne i in.) czy wdrażanie metod i narzędzi partycypacyjnych stanowiących impuls do kreowania miejskiej polityki klimatycznej oraz aktywnego uczestnictwa w jej tworzeniu i realizacji.

Dążenie do neutralności klimatycznej miast wymaga aktywnego i zrównoważonego podejścia, a także zastosowania szerokiej gamy strategii i działań, które obejmują różne obszary, takie jak energia, transport, gospodarka odpadami, budownictwo oraz planowanie przestrzenne. Osiągnięcie neutralności klimatycznej to proces długotrwały i wymaga zaangażowania zarówno władz miejskich, jak i samych mieszkańców. W miarę jak miasta rozwijają i wdrażają konkretne strategie i działania, mogą znacząco przyczynić się do globalnych wysiłków w zakresie walki ze zmieniającym się klimatem.

Mieszkańcy miast mogą pełnić aktywną rolę w budowaniu neutralności klimatycznej obszarów zurbanizowanych poprzez swoje codzienne wybory, zachowania, edukację, zaangażowanie społeczne i wpływ na procesy polityczne. Ich działania i zaangażowanie są kluczowe dla osiągnięcia celów związanych z walką ze zmieniającym się klimatem i tworzeniem bardziej przyjaznych środowisku społeczności miejskich.

Partycypacja społeczna w tworzeniu polityki klimatycznej miasta to proces, w którym mieszkańcy, społeczności lokalne i organizacje społeczne biorą aktywny udział w kształtowaniu decyzji dotyczących różnych działań między innymi mających na celu ograniczenie zmian klimatu i dostosowanie się do już istniejących skutków tych zmian. Jest to ważny aspekt działań na rzecz ochrony środowiska, ponieważ pozwala na uwzględnienie różnorodnych perspektyw, potrzeb i doświadczeń ludzi, którzy będą bezpośrednio dotknięci polityką klimatyczną miast. Dlatego integracja lokalnej społeczności, biznesu, świata nauki i decydentów jest kluczem do tworzenia jeszcze bardziej efektywnej polityki miast, zmierzającej w kierunku neutralności klimatycznej.

Książka *Społeczny udział w tworzeniu miejskiej polityki klimatycznej. Przykład Łodzi*, efekt wieloletniej współpracy naukowców i praktyków z różnych ośrodków badawczych i miast oraz przedstawicieli administracji samorządowej, adresowana jest do wszystkich tych, dla których miasta są wspólnym dobrem i pomimo wielu zauważalnych mankamentów są i pozostaną przez wiele jeszcze lat najważniejszym środowiskiem życia na Ziemi.

Zespół redakcyjny

Rozdział 1

**Miasta i ich mieszkańcy
wobec antropogenicznej
zmiany klimatu**

Krzysztof Fortuniak

Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych

Instytut Klimatologii i Hydrologii, Zakład Meteorologii i Klimatologii

ORCID: 0000-0001-7043-8751

1.1. Miasta a efekt cieplarniany w świetle współczesnych ustaleń naukowych

Wprowadzenie

Wzrastająca liczba mieszkańców, wpływ miast na globalny system klimatyczny oraz wrażliwość terenów zurbanizowanych na zmiany klimatu powodują, że problematyka funkcjonowania miast w warunkach zmiany klimatu nabiera szczególnego znaczenia (Rosenzweig i in. 2018). Obecnie ponad połowa ludności świata (55%) żyje w miastach, a do roku 2050 udział ten ma wzrosnąć do 68% (United Nations 2019). W Europie mieszkańcy miast to prawie 3/4 ludności (74%), natomiast w Polsce ok. 60%. Miasta, mimo że zajmują jedynie ok. 3% powierzchni lądowej Ziemi (Nazarian i in. 2023), znacząco przyczyniają się do nasilania antropopresji na klimat, stanowiąc „gorące punkty” na mapie emisji gazów cieplarnianych, a ich wkład w emisję globalną przekracza 70% (Lwasa i in. 2022; Seto i in. 2014; United Nations 2022). Działania na rzecz zapobiegania nasilaniu się zmian klimatu podejmowane na terenach miejskich mają więc kluczowe znaczenie w globalnej polityce proklimatycznej (OECD 2020; Seto i in. 2015). Z drugiej strony, ze względu na znaczne nagromadzenie infrastruktury i duże zagęszczenie ludności, są to obszary wyjątkowo wrażliwe na skutki zmiany klimatu (IPCC 2022), na przykład na wzrost częstotliwości i intensywności ekstremalnych zjawisk pogodowych (IPCC 2021). Analizując relację „miasta a zmiany klimatu” należy odróżnić działania łagodzące (tzw. mitygacyjne), służące zmniejszeniu antropopresji klimatycznej, od adaptacji do zachodzących zmian klimatu. Chociaż warunek ten

nie zawsze jest łatwy do spełnienia, konieczne jest, aby podejmowane działania miały charakter synergiczny, a co najmniej nieprzeciwstawny w obu tych obszarach (Jacobson i in. 2020; Sharifi 2021; Thacker i in. 2019).

Podstawowe znaczenie w łagodzeniu zmian klimatu ma redukcja emisji gazów cieplarnianych, a licznie podejmowane inicjatywy koncentrują się wokół tego problemu. Zaliczyć do nich należy na przykład unijny pakiet *Gotowi na 55* (ang. *Fit for 55*), którego celem jest ograniczenie do 2030 roku emisji netto o co najmniej 55% w porównaniu z poziomem z 1990 roku oraz osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 roku (Komisja Europejska 2021). Odpowiedzią na tego typu wyzwania są różne inicjatywy podejmowane przez miasta na rzecz budowania neutralności klimatycznej czy znaczącej (niejednokrotnie określanej ilościowo) redukcji emisji gazów cieplarnianych. Rozwiązania wypracowane dla poszczególnych miast w celu realizacji tego typu postulatów powinny bazować na aktualnym stanie wiedzy, który niejednokrotnie bywa wypaczony przez przekazy medialne. W przeciwnym wypadku proponowane działania mogą okazać się nieskuteczne bądź wręcz szkodliwe. Dlatego w tym rozdziale przytoczone zostaną niektóre z podstawowych informacji dotyczących efektu cieplarnianego, problemu bilansowania gazów cieplarnianych oraz cech charakterystycznych klimatu miast ze szczególnym uwzględnieniem Łodzi.

Efekt cieplarniany i gazy cieplarniane

Wbrew potocznemu przekonaniu, efekt cieplarniany nie jest zjawiskiem, które pojawiło się w ostatnich dziesiątkach lat, lecz konsekwencją istnienia atmosfery. Atmosfera ziemską jest w dużej mierze przezroczysta dla promieniowania słonecznego, które przenikając przez nią nagrzewa powierzchnię. Nagrzana powierzchnia Ziemi emituje promieniowanie, ale już o innej długości fal (tzw. promieniowanie własne powierzchni Ziemi). Promieniowanie to jest z kolei w znacznym stopniu pochłaniane przez gazy będące składnikami atmosfery. Dzięki temu atmosfera nagrzewa się i sama również emituje promieniowanie – część w przestrzeń kosmiczną, a część z powrotem w kierunku powierzchni Ziemi. To promieniowanie zwrotne atmosfery dodatkowo nagrzewa Ziemię, dzięki czemu jej powierzchnia jest o ok. 33°C cieplejsza niż gdyby atmosfery nie było (Iribarne, Cho 1988; Kożuchowski 1998). Ilość pochłoniętego przez atmosferę promieniowania Ziemi, a w konsekwencji ilość promieniowania wyemitowanego z powrotem w kierunku powierzchni, zależy od składu atmosfery, zwłaszcza od stężenia tzw. gazów cieplarnianych (GHG – ang. *Greenhouse gases*). Główne naturalne gazy cieplarniane to: para wodna (H₂O), dwutlenek węgla (CO₂), metan (CH₄), podtlenek azotu (N₂O).

W ostatnich dekadach obserwowany jest wyraźny wzrost temperatury globalnej przy powierzchni Ziemi – w dziesięcioleciu 2011–2020 była ona około 1,1°C

wyższa niż w latach 1850–1900 (IPCC 2021). Wzrost ten jest przypisywany antropogenicznej emisji gazów cieplarnianych (głównie CO₂, CH₄, N₂O i tzw. F-gazów) prowadzącej do zwiększenia ich koncentracji w atmosferze, co z kolei powoduje nasilenie efektu cieplarnianego. Należy przy tym podkreślić, że problem GHG ma charakter globalny, gdyż ze względu na długi, mierzony w dziesiątkach lat czas przebywania w atmosferze, wyemitowane w dowolnym miejscu (np. przez miasto) gazy cieplarniane rozprzestrzeniają się praktycznie w całej atmosferze zmieniając jej właściwości radiacyjne. Lokalna emisja GHG nie wpływa zatem bezpośrednio na klimat najbliższego otoczenia (w sensie modyfikacji wartości podstawowych elementów meteorologicznych, takich jak temperatura powietrza, opady itp.), ale sumuje się w globalnym bilansie i przyczynia do nasilania efektu cieplarnianego w skali całej planety. Dlatego należy mieć świadomość, że podejmowane przez miasto działania ukierunkowane na zmniejszenie emisji GHG w znikomym stopniu wpływają wprost na zmianę warunków termicznych tego miasta, chociaż mogą przynosić inne pozytywne skutki, niekoniecznie związane z bilansem cieplnym (np. poprawę warunków aerosanitarnych).

Potencjał tworzenia efektu cieplarnianego (GWP) i ekwiwalent CO₂

W zależności od rodzaju gazu emisja określonej jego ilości do atmosfery w różnym stopniu przyczynia się do nasilania efektu cieplarnianego. Stopień ten wyraża tzw. potencjał tworzenia efektu cieplarnianego (GWP – ang. *Global Warming Potential*) mówiący, ile razy jeden atom danego gazu silniej wpływa na efekt cieplarniany w stosunku do jednej cząsteczki CO₂. Konkretnie wartości tego wskaźnika dla danego gazu różnią się w zależności od przyjętego horyzontu czasowego i metodyki obliczania. Najczęściej przyjmowane wartości dla 100-letniej perspektywy wynoszą: 1 dla CO₂ (z definicji), 28 dla CH₄ oraz 264 dla N₂O. Natomiast dla F-gazów (fluorowane gazy przemysłowe: HCF, PCF, SF₆, NF₃) mogą to być wartości rzędu kilku bądź nawet kilkunastu tysięcy (IPCC 2013). Aby móc określić sumaryczny wzrost czy spadek emisji ze względu na uciążliwość dla klimatu wprowadzono uniwersalną jednostkę służącą do pomiaru emisji gazów cieplarnianych, odzwierciedlającą ich różny potencjał tworzenia efektu cieplarnianego. Jest to tzw. ekwiwalent CO₂ (oznaczany np. kgCO₂ ekw.), określający masę dwutlenku węgla, którego emisja do atmosfery miałaby identyczny skutek jak emisja danej masy porównywanego gazu cieplarnianego (Gohar, Shine 2007). Miara ta pozwala porównywać wpływ na klimat obszarów różniących się od siebie procentowym udziałem emitowanych GHG czy określać zmiany wieloletnie sumarycznej emisji dla określonego obszaru przy zmieniającym się udziale tych gazów.

Wyznaczanie całkowitej emisji GHG miasta

Wyznaczenie całkowitej emisji miasta, nawet po wprowadzeniu ujednoliconej miary uciążliwości różnych GHG, jest zagadnieniem dosyć złożonym ze względu na dostępność danych wejściowych i różne podejścia metodyczne (Ramaswami i in. 2021; Wiedmann i in. 2021). Miasta, aby mogły funkcjonować, korzystać muszą z zasobów energii, paliw, żywności, wody, materiałów itp. pozyskiwanych z obszarów znajdujących się niejednokrotnie daleko poza ich granicami i wymagających wykorzystania rozległych terenów (np. do produkcji żywności, pozyskiwania drewna, materiałów budowlanych). Dlatego tzw. „ślad ekologiczny” miasta wielokrotnie przewyższa jego obszar (Girardet 1999). Naturalnym wydaje się więc, że działania miasta na rzecz redukcji emisji GHG należy rozpatrywać w kontekście całego śladu ekologicznego, a nie jedynie jego obszaru administracyjnego. Niemniej jednak w praktyce stosowane są trzy główne typy wyznaczania całkowitej emisji: 1) inwentaryzacje obejmujące emisje ze źródeł zlokalizowanych w granicach miasta; 2) inwentaryzacje uwzględniające dodatkowo emisje powstające w wyniku korzystania z energii (elektrycznej, ciepłej); 3) inwentaryzacje, w których uwzględniono również wszystkie inne emisje gazów cieplarnianych poza granicami miasta, powstające w wyniku działań na terenie miasta, na przykład przy gospodarce odpadami, produkcji materiałów budowlanych, żywności (Wiedmann i in. 2021). Podobne podejścia mogą być stosowane do oceny emisji z innych, dowolnie wybranych obszarów (gminy, województwa, kraju). Polecany przez Komisję Europejską (Bertoldi i in. 2010) algorytm inwentaryzacji emisji sporządzanej przy opracowywaniu przez miasto planu działań na rzecz zrównoważonej energii bazuje głównie na kompleksowo rozumianym zużyciu energii z uwzględnieniem pewnych elementów podejścia trzeciego.

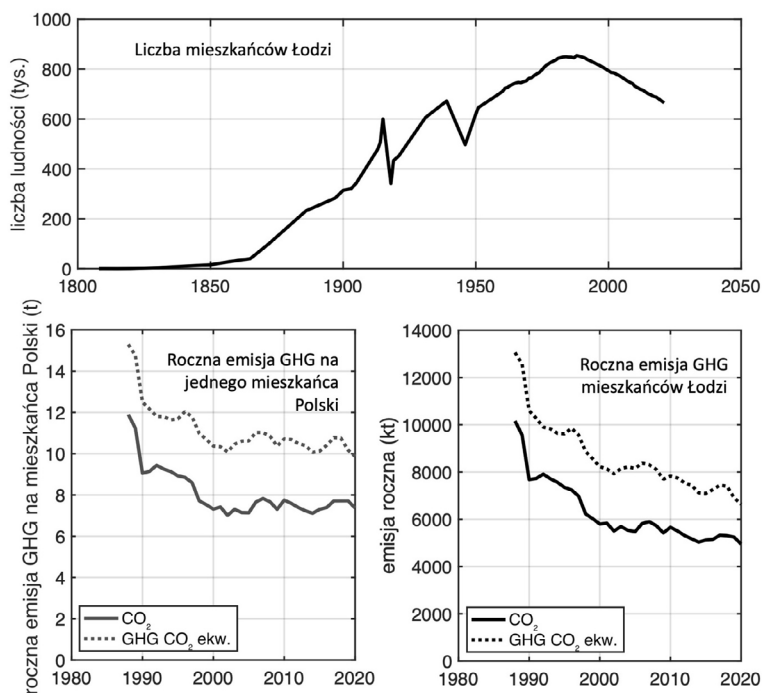
Emisja GHG Polski i Łodzi

Szczegółowych informacji na temat krajowej emisji GHG dostarcza prowadzona przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE) coroczna inwentaryzacja emisji gazów cieplarnianych dla Polski. W ostatnich latach, w skali całej Polski, dominującą rolę w emisji (dane dla roku 2020) odgrywał dwutlenek węgla (80,7%). Udział metanu i podtlenku azotu był znacznie mniejszy i wynosił odpowiednio: 11,8% i 6,1%. Natomiast tzw. fluorowane gazy przemysłowe, dające w skali świata istotny wkład w nasilanie efektu cieplarnianego, w krajowej emisji GHG miały niewielki udział (łącznie ok. 1,4%), przy czym w Polsce nie odnotowano emisji NF_3 . Większość (91,6%) emisji CO_2 pochodziła ze spalania paliw kopalnych, natomiast na emisję metanu składała się emisja energetyczna (46,0%), rolnictwo (31,9%) oraz gospodarka odpadami (22,0%). W przypadku metanu na miastach, ten ostatni aspekt może mieć szczególne znaczenie ze względu na

procesy gnilne zachodzące na wysypiskach śmieci, oczyszczalniach czy w systemach kanalizacyjnych oraz nieszczelności sieci gazowniczej (KOBiZE 2023).

W przypadku Łodzi wielkość emisji GHG może być wyliczana w różny sposób, a przyjęta metodyka może znacząco rzutować na wyniki i sugerować różne kierunki działań na rzecz redukcji emisji GHG. Aby uniknąć błędnych konkluzji bądź chybionych inicjatyw, należy przeanalizować znaczenie otrzymanych rezultatów w świetle przyjętych metod oszacowań. Poniżej przedstawiono przykłady wyznaczenia łódzkiej emisji GHG oraz zwrócono uwagę na ich aspekty dyskusyjne.

Jedną z najprostszych metod oszacowania emisji z danego obszaru jest przemnożenie liczby mieszkańców przez średnią emisję na osobę. Prowadzona przez KOBiZE inwentaryzacja GHG dostarcza danych wieloletnich o emisji krajowej (KOBiZE 2023), co pozwala na wyznaczenie średniej rocznej emisji na mieszkańca kraju. Jeżeli przyjąć, że mieszkańcy Łodzi nie wyróżniają się znacząco na tle innych mieszkańców Polski, to dane takie pozwalają oszacować sumaryczną emisję GHG Łodzi jako iloczyn liczby mieszkańców i emisji na osobę (rys. 1). Co prawda, w miastach emisja GHG na osobę jest z reguły nieco niższa od średniej krajowej, dlatego wynik może być lekko zawyżony, lecz w miarę poprawnie pokazuje ogólną tendencję.



Rys. 1. Porównanie wieloletnich zmian liczby mieszkańców Łodzi, rocznej emisji GHG na osobę w Polsce oraz będącej iloczynem tych wielkości sumarycznej emisji mieszkańców Łodzi (emisję GHG zobrazowano oddzielnie dla samego CO₂ i dla wszystkich gazów łącznie w CO₂ ekw.)

Źródło: opracowane na podstawie danych podanych przez: GUS (2022), KOBiZE (2023), *Ludność Łodzi* (2023).

Chociaż wyniki przedstawione na rys. 1 wykazują bardzo korzystny trend sumarycznej emisji GHG Łodzi (w roku 2020 suma ta zmniejszyła się aż o 37% w stosunku do roku 1990), to jest to konsekwencja zmniejszenia się populacji miasta i procesów zachodzących na szczeblu krajowym. Trudno więc interpretować ten rezultat jako rzeczywisty sukces w redukcji antropopresji klimatycznej, gdyż osoby, które przeniosły się do innych lokalizacji, nie emitują mniej GHG, a w wielu przypadkach prawdopodobnie nawet więcej ze względu na codzienne dojazdy do pracy w Łodzi i mniej efektywny system wykorzystywania energii.

Dokładniejszą inwentaryzację rocznej emisji GHG z obszaru Łodzi, przeprowadzoną zgodnie z wytycznymi Komisji Europejskiej, przedstawiono w *Planie Gospodarki Niskoemisyjnej dla miasta Łodzi* (Kusek i in. 2021). Obliczenia wykonano dla roku bazowego 2013 i roku kontrolnego 2017. W roku bazowym uzyskano roczną emisję równą 5 624 215 tCO₂, na którą składała się głównie emisja w sektorze mieszkalnictwa (41,9%), przemysłu, handlu i usług (29,9%) oraz transportu (22,0%). W przeliczeniu na jednego mieszkańca emisja w roku 2013 wносиła 7,91 tCO₂. Natomiast w roku kontrolnym 2017 całkowita roczna emisja lekko wzrosła do 5 798 520 tCO₂ (8,40 tCO₂/osoba), przy udziale 45,7% w sektorze mieszkalnictwa, 27,3% w przemyśle, handlu i usługach oraz 22,2% w transporcie. Zakres inwentaryzacji obejmował wszystkie emisje gazów cieplarnianych wynikające ze zużycia energii finalnej na terenie miasta. Obliczenia wykonano dla sektorów: obiektów użyteczności publicznej, handlowo-usługowego, mieszkalnictwa, przemysłu, oświetlenia ulicznego, transportu prywatnego i publicznego. Wielkość emisji, wyrażoną w tonach CO₂, otrzymano mnożąc ilość zużytej energii określonego typu (energii paliw kopalnych, ciepła sieciowego, energii elektrycznej, energii ze źródeł odnawialnych) wyrażonej w MWh przez odpowiedni wskaźnik emisji w tCO₂/MWh (tab. 1).

Tab. 1. Wskaźniki emisji wybranych źródeł energii na rok 2013

Źródło energii	Wskaźnik emisji (tCO₂/MWh)
energia elektryczna	0,812
ciepło sieciowe	0,332
gaz ziemny	0,202
olej opałowy	0,276
węgiel kamienny	0,346
benzyna	0,257
olej napędowy	0,268
LPG	0,229

Źródło: Kusek i in. (2021).

W oszacowaniach tych zwraca uwagę wysoka wartość wskaźnika emisji dla energii elektrycznej dla odbiorców końcowych wynikająca z faktu, że w Polsce jest ona w dużej mierze pozyskiwana z paliw kopalnych. Wartość tego wskaźnika jest corocznie uaktualniana i dla roku 2021 wynosił on już $0,761 \text{ tCO}_2/\text{MWh}$ (KOBiZE 2022). Chociaż jest to wartość niższa niż w roku 2013, lecz w dalszym ciągu zdecydowanie wyższa niż dla innych źródeł energii. Przy planowaniu strategii działań mających na celu redukcję emisji GHG z ustalonego obszaru niezbędne jest więc również uwzględnienie tendencji tego typu wskaźników wynikającej ze wzrostu udziału energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, gdyż potencjalne rozwiązania oparte na prostym zastąpieniu źródeł energii bazujące na bieżących wskaźnikach mogą sugerować dosyć absurdalne i wręcz szkodliwe rozwiązania (zarówno z perspektywy klimatu, jak i zanieczyszczenia powietrza w mieście).

Pewną alternatywą dla wyznaczania emisji na podstawie inwentaryzacji zużycia energii mogą być bezpośrednie pomiary powierzchniowej emisji GHG (Pawlak i in. 2011; Pawlak i in. 2016). Przy odpowiednio zainstalowanym systemie pomiarowym można uzyskać cogodzinne wartości emisji z obszaru o średnicy kilkuset metrów. W Polsce wieloletnie pomiary tego typu prowadzono jedynie w Łodzi na stanowisku zlokalizowanym przy ul. Lipowej 81. Wyniki wskazują, że emisja CO_2 w tym rejonie jest rzędu $10 \text{ kgCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$. Niewątpliwym atutem tego podejścia jest fakt, że wyniki otrzymuje się wprost z pomiarów strumienia CO_2 bez przyjmowania żadnych wstępnych założeń odnośnie źródeł emisji. Metoda stosowana w tych pomiarach (tzw. metoda kowariancji wirów) wymaga jednak bardzo skomplikowanej i kosztownej aparatury, a ze względu na dostępność czujników może być stosowana jedynie dla wybranych gazów. Nie uwzględnia ona również całego śladu ekologicznego miasta (np. CO_2 powstającego przy produkcji i przesyłaniu energii elektrycznej, ciepłej). Dlatego przy kompleksowym rozumieniu śladu ekologicznego miasta może być raczej stosowana w celu weryfikacji podejścia bazującego na inwentaryzacji GHG dla wybranego obszaru miasta. Pomiary tego typu mogą też wskazywać pewne kierunki działań – pokazują na przykład, że emisja metanu z miasta jest porównywalna z emisją z terenów bagiennych, które są jednym z największych naturalnych źródeł tego gazu (Pawlak i in. 2016).

Wybrane cechy charakterystyczne klimatu miast

Jak wspomniano na wstępie, przy planowaniu działań mitygacyjnych pożądane jest, aby były one synergiczne, a co najmniej niesprzeczne z działaniami adaptacyjnymi. Aby warunek ten mógł być uwzględniony w planowaniu, niezbędna jest znajomość choćby podstawowych informacji dotyczących klimatu terenów zurbanizowanych. Poniżej przedstawiono kilka podstawowych ustaleń z tego zakresu wiedzy. Uwaga zostanie tu zwrócona na wybrane elementy meteorologiczne

(Fortuniak 2019; Oke i in. 2017) z pominięciem zagadnień związanych z zanieczyszczeniami powietrza, gdyż problematyka ta jest zbyt szeroka, a jednocześnie stosunkowo dobrze ugruntowana w świadomości mieszkańców miast.

W ostatnich latach w doniesieniach medialnych wyjątkowo często pojawia się znane od ponad 200 lat (Howard 1818) zjawisko miejskiej wyspy ciepła (MWC). Niestety wiele z tych doniesień, czasami nawet tzw. „wypowiedzi eksperckich”, zawiera nieścisłości czy wręcz błędy. Przede wszystkim należy podkreślić, że zjawisko MWC ani nie wynika z globalnego ocieplenia, ani samo w sobie nie przyczynia się wprost do wzrostu temperatury globalnej. MWC nie ma też jedynie negatywnych konsekwencji, choć na przykład jej interferencja z falami upałów może skutkować dużą uciążliwością czy wręcz zagrożeniami dla mieszkańców. Z drugiej strony MWC może ograniczać ilość energii zużytej na ogrzewanie w chłodnej porze roku czy przyczyniać się do lepszego przewietrzania miasta. Wiele nieporozumień wynika z braku wiedzy o różnych typach MWC, będących konsekwencją wykorzystywanych technik pomiarowych i mierzonych parametrów. Klasycznie MWC rozumiana jest jako różnica temperatury powietrza (mierzonej przy pomocy typowego termometru na standardowej wysokości 2 m) pomiędzy miastem a terenami je otaczającymi (Oke i in. 2017; Stewart, Mills 2021). We współczesnej literaturze międzynarodowej ten typ MWC określany jest jako *Canopy-Layer Urban Heat Island* (ang.; MWC warstwy zabudowy, dalej oznaczana MWCC), gdyż dotyczy temperatury powietrza znajdującego się pomiędzy budynkami w warstwie od podłoża do wysokości poziomu dachów. Rozwój satelitarnych technik pomiarowych pozwolił na zdalne pomiary temperatury powierzchni, a rozkład mierzonej w ten sposób temperatury na obszarze miasta i okolic nazywany jest *Surface Urban Heat Island* (ang.; powierzchniowa MWC, dalej oznaczana MWCs). Należy podkreślić, że chodzi tu o temperaturę samej powierzchni np. ulicy, chodnika, dachu, a nie temperaturę powietrza przy powierzchni ziemi. Dwa pozostałe typy MWC dotyczą temperatury nad miastem w warstwie powietrza o grubości ok. 1 km (ang. *Boundary-Layer Urban Heat Island*) oraz temperatury gruntu (ang. *Subsurface Urban Heat Island*).

Chociaż temperatura powietrza nie jest tożsama z temperaturą odczuwalną, MWCC jest najbardziej istotna z punktu widzenia mieszkańców. Posiada ona kilka dobrze udokumentowanych cech (Arnfield 2003; Fortuniak 2003; Oke i in. 2017), niekiedy sprzecznych z potocznym przekonaniem:

1. W ciągu dnia temperatura powietrza w mieście nie jest wyższa niż na terenach zamieszkanych, a znaczące różnice pojawiają się jedynie w nocy, w sprzyjających warunkach pogodowych. MWCC jest więc zjawiskiem dynamicznym, które pojawia się w nocy, a w dzień zanika.
2. Chociaż w sprzyjających warunkach MWCC może dochodzić do kilku stopni (w Łodzi to najczęściej 3–6°C latem i 2–3°C zimą – Fortuniak i in. 2019), a w wyjątkowych sytuacjach osiągać nawet ponad 10°C (Kłysik, Fortuniak 1999), to średnio w dużych miastach Polski nie przekracza ona 1°C (Fortuniak 2019).

3. Sprzyjające tworzeniu MWCC warunki to bezwietrzne, bezchmurne noce (prędkość wiatru $< 2-3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ oraz niewielkie zachmurzenie). W Łodzi przypadki dobrze rozwiniętej MWCC (temperatura w centrum ponad 3°C wyższa niż za miastem) dotyczą 40% nocy latem i mniej niż 5% nocy zimą (Krawczyk i in. 2022).

W odróżnieniu od MWCC, uzyskiwana na podstawie zobrażeń satelitarnych MWCCs, dotyczy temperatury powierzchni (głównie poziomych), na przykład rozgrzanego od słońca dachu, placu czy ulicy (Oke i in. 2017; Stewart, Mills 2021). Chociaż temperatura ta może być bardzo wysoka, temperatura powietrza zaledwie kilka centymetrów powyżej jest już zdecydowanie niższa. Fakt występowania MWCCs w godzinach dziennych nie oznacza zatem wyższej temperatury powietrza w mieście (istnienia MWCC). Dlatego przy określaniu komfortu termicznego mieszkańców, wyniki satelitarnych pomiarów MWCCs należy traktować z dużą ostrożnością, a problem przegrzania miast powinien być rozpatrywany kompleksowo z wykorzystaniem różnych wskaźników (Nazarian i in. 2022).

Wpływ miasta na pozostałe elementy meteorologiczne budzi nieco mniejsze zainteresowanie medialne. Ze względu na przewidywane (IPCC 2021) zwiększenie liczby przypadków opadów nawalnych i burz istotny jest wpływ urbanizacji na te elementy. Generalnie miasta powodują wzrost rocznych sum opadów oraz intensyfikację opadów ulewnych, burz i gradu, głównie po zawiętrznej stronie miasta (Lewińska 2000; Oke i in. 2017). W Łodzi efekt ten jest słabiej zaznaczony (Bartnik, Marcinkowski 2015), a fakt, że intensywne opady niejednokrotnie powodowały lokalne podtopienia ma głównie przyczyny synoptyczne. Procesy prowadzące do intensyfikacji opadów w mieście są dosyć złożone i mimo pewnych ustaleń wpływ miasta na intensywność opadów wciąż jest słabo skwantyfikowany. Główne czynniki wpływające na to zjawisko to zwiększona liczba jąder kondensacji (większe zapylenie w mieście powoduje powstawanie większej liczby kropeł chmurowych, co przy odpowiednio dużych zasobach wody w powietrzu zwiększa intensywność opadów), przegrzanie powierzchni intensyfikujące konwekcję (powietrze nagrzane od podłoża unosi się ku górze co sprzyja rozwojowi chmur) oraz szorstkość terenu powodująca powstawanie stref konwergencji wiatru (tarcie wiatru o podłoże zmienia jego kierunek, co prowadzi do powstania stref zbieżności, gdzie powietrze jest wypychane ku górze, co również sprzyja rozwojowi chmur).

Kolejnym ważnym z punktu widzenia nasilania się zjawisk ekstremalnych elementem meteorologicznym jest prędkość wiatru. Chociaż tereny zurbanizowane powodują zmniejszenie średniej prędkości wiatru w przyziemnej warstwie powietrza, to pomiędzy budynkami czy wzdłuż ulic mogą pojawiać się efekty tunelowe. W miejscach tych występują bardzo duże prędkości wiatru, w dodatku o nieregularnym, turbulencyjnym charakterze, co stwarza sytuacje niebezpieczne dla transportu, konstrukcji czy wręcz bezpośrednio dla mieszkańców (Oke i in. 2017). Innym efektem jest lekkie zwiększenie prędkości wiatru w mieście przy słabym

wietrze lub ciszy (Fortuniak i in. 2006). Jest to najczęściej związane z pojawianiem się cyrkulacji bryzowej generowanej przez miejską wyspę ciepła i może przyczynić się do poprawy warunków aerosanitarnych.

Kierunki działań miast na rzecz łagodzenia zmian klimatu

Niezależnie od trudności związanych z oceną rzeczywistej emisji GHG z miasta można wskazać pewne kierunki działań na rzecz ochrony klimatu. Zgodnie z IPCC (2022) miejskie strategie łagodzenia zmiany klimatu można podzielić na trzy ogólne kategorie:

- ograniczenie lub zmiana zużycia energii i materiałów w kierunku bardziej zrównoważonej produkcji i konsumpcji we wszystkich sektorach, w tym poprzez planowanie przestrzenne i infrastrukturę;
- elektryfikacja przy jednoczesnym przejściu na produkcję energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych (zeroemisyjnych);
- zwiększenie składowania dwutlenku węgla w środowisku miejskim poprzez błękitno-zieloną infrastrukturę.

Dodatkowo postulowane jest uwzględnienie aspektu społeczno-behawioralnego (zmiana nawyków, mody, wzrost świadomości). O ile pierwsza kategoria jest bezdyskusyjna, w przypadku drugiej w warunkach Polski należy uwzględnić perspektywę zmian wskaźnika emisji energii elektrycznej. Elementem dyskusyjnym może być też wydajność składowania CO₂ w warunkach miejskich, poprzez zwiększanie udziału terenów zielonych, wprowadzanie zielonych dachów czy zielonych ścian. Jednakże samo wprowadzanie błękitno-zielonej infrastruktury jest wysoce korzystne z wielu względów, niekoniecznie związanych z łagodzeniem zmian klimatu. Wymienić tu można efekty takie, jak: poprawa jakości powietrza, redukcja hałasu i stresu cieplnego, zwiększenie bioróżnorodności, zmniejszenie zachorowalności na choroby układu krążenia, poprawa zdrowia psychicznego oraz ogólnego dobrostanu, wydłużenie średniej długości życia.

Uwzględniając powyższe kategorie można wskazać podstawowe kierunki działań mających na celu zmniejszenie negatywnego wpływu miast na klimat. Należą do nich między innymi:

- proklimatyczne zagospodarowanie przestrzenne i planowanie przestrzenne, w tym:
 - błękitno-zielona infrastruktura miejska (BZI),
 - decentralizacja;
- poprawa systemu komunikacyjnego, w tym:
 - zwiększenie płynności ruchu transportu prywatnego,
 - zwiększenie udziału transportu publicznego, rowerów i transportu niezmotoryzowanego,
 - efektywność spedycji i optymalizacja logistyki;

- działania w sektorze budownictwa:
 - wysoce energooszczędne ściany, okna,
 - efektywne ogrzewanie, wentylacja i klimatyzacja,
 - wykorzystanie niskoemisyjnych materiałów budowlanych (np. drewno),
 - wykorzystanie lokalnych źródeł energii odnawialnej,
 - stosowanie wydajnych urządzeń;
- modyfikacje sieci ciepłowniczej;
- gospodarka odpadami ukierunkowana na zmniejszenie emisji GHG.

Podsumowanie

Współczesne zmiany klimatu, których najbardziej ewidentnym przejawem jest globalne ocieplenie, są jednym z podstawowych problemów środowiskowych o charakterze ogólnoświatowym. Ich antropogeniczna geneza i potencjalne konsekwencje społeczno-gospodarczo-polityczne wymuszają konieczność poszukiwania metod przeciwdziałania temu zjawisku. Ponieważ za główną przyczynę obserwowanych zmian uznaje się wzrost koncentracji gazów cieplarnianych spowodowany ich emisją do atmosfery, postulowane są działania mające na celu ograniczenie tego czynnika.

Miasta, jako obszary o największym wkładzie w całkowitą emisję GHG, odgrywają kluczową rolę w realizacji tego postulatu. Jednakże aby możliwa była ocena stanu aktualnego, wskazanie kierunków działań i ich ewaluacja, konieczne jest dokładne określenie emisji GHG danego miasta. Nie jest to zagadnienie proste ze względu na dostępność danych i różnorodne podejścia metodologiczne. Każda ze stosowanych metod inwentaryzacji GHG ma pewne ograniczenia, a przyjęcie określonej metodyki stwarza pokusę działań ukierunkowanych na uzyskanie jak najlepszego wyniku w świetle tej miary. Z łatwością można podać przykłady działań, które przy założonej metodyce powodują zmniejszenie tak liczonej emisji ustalonego obszaru, ale w rzeczywistości nie prowadzą do redukcji emisji globalnej. Priorytetem powinno być natomiast realne ograniczanie całkowitej emisji GHG, a nie dążenie do jak najniższej wartości przyjętej miary.

Wiele z potencjalnych rozwiązań, aby mogły być skutecznie wdrażane, wymaga szeroko rozumianej akceptacji społecznej. Wskazane jest zatem, aby były one wypracowane w wyniku dialogu obywatelskiego. Rozwiązania wypracowane w ten sposób mogą być jednak obciążone potocznym, czasami hasłowym rozumieniem procesów klimatycznych. Rozumienie to nie zawsze zgodne jest z aktualnym stanem wiedzy. Aby proponowane działania nie okazały się chybione, przed ich ewentualną implementacją powinny podlegać pogłębionej analizie specjalistycznej.