



**CENTRUM
POLITYK
PUBLICZNYCH**

Jak przeciwdziałać nadmiernemu nagrzewaniu się miasta?

**Założenia do standardów zdrowego planowania
przestrzennego w kontekście infrastruktury zielono-
błękitnej**

**Anna Baryła
Magdalena Buczyńska-Zapała
Agnieszka Karczmarczyk
Bartłomiej Kisielewski
Piotr Kopyciński
Marta Promińska
Wojciech Sypek
Małgorzata Tomczak
Małgorzata Tujko**



**UNIwersYTET
EKONOMICZNY
W KRAKOWIE**



Spis treści

Wprowadzenie	1
1. Wymiary zdrowej urbanistyki a powietrze, hałas, światło oraz temperatura	3
1.1. Zanieczyszczenie powietrza.....	4
1.2. Zanieczyszczenie hałasem	7
1.3. Zanieczyszczenie światłem.....	12
1.4. Stres cieplny (heat stress)	16
2. Zmiany klimatyczne jako globalny kontekst zdrowego planowania miasta	19
2.1. Zagrożenia dla miast wynikające ze zmiany, w tym wprowadzenie do polityki europejskiej klimatu.....	19
2.2. Potencjalne konsekwencje dla miast wynikające ze zmiany klimatu	32
3. Przeciwdziałanie nadmiernemu nagrzewaniu się miasta – działania wraz z przykładami z wybranych miast (Polska i zagranica).....	34
3.1. Miejski plan adaptacji do zmian klimatu (MPA) na przykładzie Krakowa	34
3.2. Kumulatory ciepła – budynki, skorupy budynków i nawierzchnie.....	38
3.3. Błękitno-zielona infrastruktura jako element adaptacji miasta do zmiany klimatu	41
3.4. Nawyki transportowe a wyspy ciepła	44
3.5. Energooszczędne urządzenia i emitery	46
4. Wychładzanie Krakowa – obecne działania i plany na przyszłość.....	49
5. Jak przeciwdziałać nadmiernemu nagrzewaniu się miasta: założenia do standardów zdrowego planowania przestrzennego	55
Bibliografia.....	59
Załącznik. Przykłady rozwiązań z zakresu infrastruktury zielono-błękitnej	67

Wprowadzenie

Pozostawiając na boku spory o przyczyny, nie ulega wątpliwości, że możemy mówić o zmianach klimatycznych, które w naszej części świata objawiają się m.in. zwiększoną częstotliwością występowania gwałtownych zjawisk atmosferycznych oraz wzrostem średniej (miesięcznej i rocznej) temperatury. Przykładowo, 2024 r. był najcieplejszym rokiem w historii pomiarów w Europie, ze średnią temperaturą wynoszącą 10,69°C, tj. o 1,47°C wyższą od średniej dla lat 1991–2020 (IMGW, 2025). Zjawiska te obserwujemy również na obszarach miejskich, a objawiają się one m.in. nadmiernym nagrzewaniem się powierzchni, przez co spędzanie czasu w mieście, szczególnie w okresie letnim, staje się uciążliwe, a czasem wręcz niebezpieczne. Szacuje się, że fala upałów w Europie w 2003 r. przyniosła śmierć ok. 70 tys. osób, z czego w samej Francji 15 tys. osób (Kozjar, 2019). Tym zjawiskom nie jesteśmy w stanie całkowicie przeciwdziałać. Możemy jednak na różne sposoby minimalizować ich skutki, m.in. poprzez odpowiednie przygotowanie, wdrażanie oraz utrzymanie strategii na rzecz infrastruktury zielono-błękitnej. Jedna z definicji mówi, iż „niebiesko-zielona infrastruktura to rozwiązania oparte na przyrodzie w celu uzyskania korzyści ekonomicznych, gospodarczych i społecznych. Do niebiesko-zielonej infrastruktury zaliczyć można: stawy retencyjne, niecki, zbiorniki, rowy bioretencyjne, rowy infiltracyjne, ogrody deszczowe, zielone przystanki, dachy, fasady i ściany, nawierzchnie przepuszczalne, podłoża strukturalne, tereny zielone i mokradłowe” (Retencja, 2022).

Celem niniejszego opracowania jest zaproponowanie założeń do standardów tzw. zdrowego planowania przestrzennego, a więc uwzględnienia istnienia oraz konieczności rozbudowy infrastruktury zielono-błękitnej w mieście. Propozycje te, w zamierzeniu autorek i autorów, mają mieć charakter uniwersalny, możliwy do zastosowania w różnych miastach. Mają one stanowić punkt wyjścia do stworzenia miejscowych standardów zdrowego planowania przestrzennego. Te ostatnie powinny być docelowo zakorzenione w krajowym i lokalnym porządku prawnym (w tym ostatnim przypadku w strategii rozwoju miasta i programach sektorowych).

Niniejsze opracowanie składa się z następujących części:

1. Wymiary zdrowej urbanistyki (powietrze, światło, hałas oraz temperatura)
 - a. Zanieczyszczenie powietrza
 - b. Zanieczyszczenie hałasem
 - c. Zanieczyszczenie światłem
 - d. Heat stress
2. Zmiany klimatyczne jako globalny kontekst zdrowego planowania miasta
 - a. Zagrożenia dla miast wynikające ze zmiany klimatu, w tym wprowadzenie do polityki europejskiej klimatu:
 - i. Zmiany temperatury, częstość nocy tropikalnych
 - ii. Zmiany w opadach, struktura, czas pomiędzy opadami

- iii. Wzrost aktywności burzowej, lokalne podtopienia
 - b. Potencjalne konsekwencje dla miast wynikające ze zmiany klimatu
- 3. Przeciwdziałanie nadmiernemu nagrzewaniu się miasta – lista działań wraz z przykładami z wybranych miast (Polska i zagranica)
 - a. Miejski plan adaptacji do zmian klimatu, MPA (wraz z analizą MPA dla Krakowa)
 - b. Kumulatory ciepła – budynki, skorupy budynków i nawierzchnie
 - c. Błękitno-zielona infrastruktura jako element adaptacji miasta do zmiany klimatu
 - d. Nawyki transportowe a wyspy ciepła
 - e. Energooszczędne urządzenia – zamiana z tradycyjnych urządzeń + emitery
- 4. Wychładzanie Krakowa – obecne działania i plany na przyszłość
- 5. Założenia do standardów zdrowego planowania przestrzennego
- 6. Przykłady rozwiązań z zakresu infrastruktury zielono-błękitnej

Niniejsze opracowanie przygotował zespół autorski w składzie: dr hab. Anna Baryła, prof. SGGW (Szkola Główna Gospodarstwa Wiejskiego), Magdalena Buczyńska-Zapała (Prezes SARP Oddział Kraków), dr hab. Agnieszka Karczmarczyk, prof. SGGW (Szkola Główna Gospodarstwa Wiejskiego), Bartłomiej Kisielewski (HORIZONE studio), dr Piotr Kopyciński (Małopolska Szkoła Administracji Publicznej Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie), dr inż. arch. Marta Promińska (STRABAG Sp. z o.o., Pełnomocnik ZG SARP ds. Środowiska i Ochrony Klimatu), Wojciech Sypek (Małopolska Szkoła Administracji Publicznej Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie), Małgorzata Tomczak (redaktorka naczelna Architektura & Biznes) oraz Małgorzata Tujko (LAND-ARCH Architektura Krajobrazu).

Autorzy opracowania składają szczególne podziękowania na ręce Panów: dr hab. Krzysztofa Görlicha oraz Łukasza Pawlika (Dyrektor Zarządu Zieleni Miejskiej w Krakowie) za czas poświęcony na konsultacje niniejszych propozycji.

1. Wymiary zdrowej urbanistyki a powietrze, hałas, światło oraz temperatura

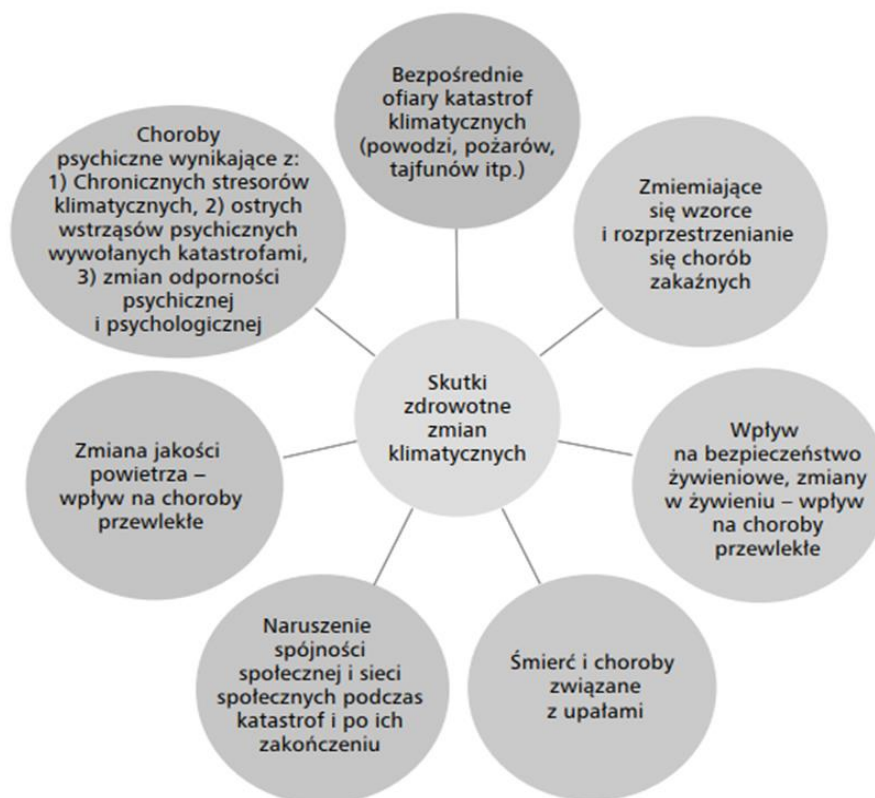
Przeciwdziałanie skutkom zmian klimatu wymaga przełomowego podejścia do projektowania i użytkowania budynków, które wykracza poza tradycyjne ramy architektury i inżynierii. Nowy paradygmat, określany jako „projektowanie niewidzialnego”, skupia się na działaniach minimalizujących wpływ budynków na środowisko w sposób subtelny, lecz głęboko odczuwalny. Obejmuje to redukcję emisji dwutlenku węgla, eliminację zanieczyszczeń powietrza, hałasu, a także zwiększenie efektywności energetycznej. Projektowanie to, nieuchwytnie na pierwszy rzut oka, integruje wiele aspektów, które do tej pory pozostawały poza klasycznym podejściem do budownictwa.

Jednym z kluczowych elementów tego podejścia jest zarządzanie temperaturą otoczenia budynku i jej wpływu na mikroklimat i człowieka. W miastach, gdzie zjawisko miejskiej wyspy ciepła staje się coraz bardziej dotkliwe, projektowanie przestrzeni zielonych oraz stosowanie materiałów o właściwościach odbijających promieniowanie słoneczne ma fundamentalne znaczenie. Zielone dachy, pionowe ogrody czy powierzchnie o wysokim współczynniku odbicia światła mogą znacząco obniżać temperaturę otoczenia, przeciwdziałając negatywnym skutkom urbanizacji. Co więcej, przemyślana urbanistyka, uwzględniająca przepływ powietrza, pozwala na naturalne chłodzenie przestrzeni miejskich i redukcję zapotrzebowania na sztuczne systemy klimatyzacji.

W kontekście zmieniających się wymagań regulacyjnych oraz rosnącej świadomości społecznej, projektowanie budynków wymaga również integracji strategii wielowymiarowego zarządzania ryzykiem. Obejmuje to nie tylko aspekty środowiskowe, ale również finansowe, społeczne i technologiczne. Przykładem jest monitorowanie śladu węglowego w całym cyklu życia budynku – od etapu produkcji materiałów, przez użytkowanie, aż po jego rozbiórkę i recykling. Transparentność w tym zakresie pozwala nie tylko na spełnienie wymogów prawnych, ale także budowanie zaufania wśród interesariuszy i użytkowników.

Zmiany klimatu wpływają na zdrowie ludzi w dwojaki sposób (Promińska, 2023):

- (1) gwałtowny i bezpośredni: tajfuny, powodzie czy pożary, w których giną ludzie;
- (2) pośredni i mało widoczny, lecz w równym stopniu szkodliwy: zanieczyszczenie powietrza, którym oddychamy, wzrost temperatury lub po prostu zmienne wzorce pogodowe przyczyniające się do coraz większej liczby chorób i zgonów.



Rysunek 1. Skutki zdrowotne zmian klimatycznych

Źródło: opracowanie własne.

Zdrowe projektowanie zrównoważone zakłada walkę z globalnym kryzysem klimatycznym oraz przede wszystkim proces transformacji mający na celu osiągnięcie sprawiedliwości klimatycznej. Kluczowym jego aspektem jest dążenie do równego podziału obciążeń związanych z przeciwdziałaniem zmianom klimatycznym oraz zapewnienie mechanizmów ich łagodzenia i odpowiedzialnego zarządzania skutkami tych zmian, w sposób uwzględniający potrzeby zarówno obecnych, jak i przyszłych pokoleń.

1.1. Zanieczyszczenie powietrza

Współczesne planowanie przestrzenne zyskuje nowy wymiar, koncentrując się nie tylko na redukcji zanieczyszczeń powietrza, ale także na aktywnym oczyszczaniu atmosfery wokół budynków. Poprawa jakości powietrza w bezpośrednim otoczeniu przekłada się na lepsze warunki, zarówno wewnątrz budynków, jak i w szerszym kontekście miejskim. Kiedy podobne rozwiązania są wprowadzane w większej liczbie lokalizacji, ich skumulowany efekt zaczyna pozytywnie oddziaływać na zdrowie całej populacji. Proces ten opiera się na zastosowaniu zintegrowanych narzędzi, takich jak nowoczesne techniki projektowe, precyzyjne pomiary środowiskowe, zaawansowane metody planistyczne oraz szeroko zakrojone konsultacje społeczne, które umożliwiają tworzenie przestrzeni miejskich sprzyjających zdrowiu i dobrostanowi mieszkańców.

Jakość powietrza. Ograniczenie zanieczyszczenia powietrza powinno być jednym z elementów wprowadzanych w planowanie urbanistyczne jako narzędzie pocovidowej urbanistyki epidemiologicznej. Ekspozycja na zanieczyszczenie powietrza zwiększa liczbę zgonów o 15% (według European Society of Cardiology); wzrost tylko o 1 mikrometr na metr sześcienny pyłu zawieszonego ($PM_{2,5}$) wiąże się z 8% wzrostem śmiertelności (Research to Action, 2020). Niestety, kontrola zastanej jakości powietrza jest trudna, ponieważ zanieczyszczenia mogą przemieszczać się na odległość wielu kilometrów i w danym miejscu ich stężenie może nie być zależne od bliskości ich źródła (odnotowano przypadki miast, w których mniej niż 40% zanieczyszczeń pochodziło z ich obszaru). Zanieczyszczenie powietrza miejskiego może być również warunkowane formą urbanistyczną. Do narażenia na zanieczyszczenia powietrza dochodzi zarówno w środowisku zewnętrznym, jak i wewnątrz budynku. W razie zidentyfikowania dużych lokalnych stężeń należy zadbać o skuteczną barierę otoczenie–budynek, co można osiągnąć na dwa sposoby:

- (1) poprzez odpowiednie zaprojektowanie strefy wejściowej do budynku;
- (2) zastosowanie odpowiedniej klasy filtrów powietrza nawiewanego do pomieszczeń.

Czynniki urbanistyczne mają istotny wpływ na jakość powietrza w miastach. Kluczowe elementy to m.in. zwartość zabudowy, wielkość miasta, kształt urbanistyczny (np. liniowy lub koncentryczny) oraz rozmieszczenie kluczowych elementów przestrzennych. Ważnym aspektem jest także wielkość i stan terenów zielonych, wzorce użytkowania gruntów, a także ukształtowanie terenu, które determinuje przepływy powietrza. Fragmentacja przestrzeni miejskiej oraz średnia odległość do sąsiednich miast wpływają na dyspersję zanieczyszczeń. Rosnąca ekspansja zabudowy i urbanizacja przyczyniają się do zwiększonego stężenia zanieczyszczeń poprzez wzrost zużycia energii, produkcji przemysłowej i intensyfikację ruchu drogowego.

Badania naukowe obejmujące szerszą analizę stężeń: CO, O₃, NO₂, $PM_{2,5}$, PM_{10} , SO₂ w kontekście zależności od formy miejskiej pokazały, że fragmentacja miast jest najważniejszym czynnikiem wpływającym na jakość powietrza i stężenie wymienionych sześciu zanieczyszczeń.

Zdrowa Urbanistyka identyfikuje następujące metody oczyszczania powietrza wokół budynku:

- separacja;
- filtracja;
- sekwestracja;
- eliminacja;
- ochrona;
- utrzymanie jakości;
- kształtowanie formy urbanistycznej.

Wpływ formy urbanistycznej na stężenie pyłów zawieszonych jest wielowymiarowy i obejmuje zarówno bezpośrednie, jak i pośrednie mechanizmy oddziaływania. Bezpośrednie efekty są szczególnie widoczne w obszarach, gdzie zbiega się intensywny ruch drogowy oraz wysoka zabudowa. Takie środowiska miejskie sprzyjają kumulacji pyłów zawieszonych, szczególnie $PM_{2,5}$, które gromadzą się w tzw. kanionach ulicznych. Dodatkowo, obszary sąsiadujące z autostradami i charakteryzujące się mieszanym sposobem użytkowania gruntów również wykazują wyższe stężenia zanieczyszczeń. Różnice w dobowych poziomach stężenia pyłów są bardziej wyraźne w przestrzeniach o dużym natężeniu ruchu, gdzie wysoka zabudowa ogranicza przepływ powietrza.

Stopień urbanizacji oraz wskaźniki formy miejskiej wpływają na jakość powietrza w różnym stopniu. Podczas gdy rozdrobniony i rozproszony krajobraz miejski może ograniczać koncentrację pyłów, zwarte i silnie połączone formy urbanistyczne przyczyniają się do ich akumulacji. Tego typu zabudowa nie tylko sprzyja powstawaniu zatorów komunikacyjnych, ale także utrudnia przewietrzanie miasta i ogranicza możliwość wprowadzenia wysokiej miejskiej zieleni, co prowadzi do dalszego wzrostu zanieczyszczeń. Niemniej jednak, przy mieszanym użytkowaniu gruntów, bardziej zwarte miasta mogą oferować lepsze warunki dla jakości powietrza w porównaniu do tych o chaotycznym i nieuporządkowanym rozwoju przestrzennym.

Tabela 1. Rekomendowana klasa filtrów w budynku w zależności od poziomu zanieczyszczenia powietrza cząstkami $PM_{2,5}$

Średnioroczna wartość na zewnątrz (próg dla $PM_{2,5}$)	Poziom usuwania pyłu (klasa filtrów $PM_{2,5}$)
23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lub mniej	$\geq 80\%$ (np. MERV 12 lub M6)
24-39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\geq 90\%$ (np. MERV 14 lub F8)
40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lub więcej	$\geq 95\%$ (np. MERV 16 lub E10)

Źródło: <https://v2.wellcertified.com/en/wellv2-3.5/air/feature/12>

Pośredni wpływ formy urbanistycznej na stężenie pyłów zawieszonych przejawia się przede wszystkim w generowaniu zjawisk takich jak miejska wyspa ciepła. Kształt, zwartość oraz tendencje do rozrastania się miast bezpośrednio oddziałują na podniesienie temperatury miejskiej, co z kolei sprzyja syntezie wtórnych zanieczyszczeń, w tym aerozoli takich jak $PM_{2,5}$. Fragmentacja miasta oraz nieproporcjonalnie duży udział nieprzepuszczalnych powierzchni w urbanistycznym krajobrazie prowadzą do wzrostu wilgotności, co dodatkowo intensyfikuje procesy formowania wtórnego aerozolu. Forma miejska, poprzez swoje strukturalne i termiczne właściwości, odgrywa zatem kluczową rolę w kształtowaniu jakości powietrza w miastach.

Zrozumienie tych zależności jest niezbędne dla projektowania urbanistycznego sprzyjającego poprawie środowiska, w którym mieszkańcy mogą cieszyć się lepszą jakością życia.

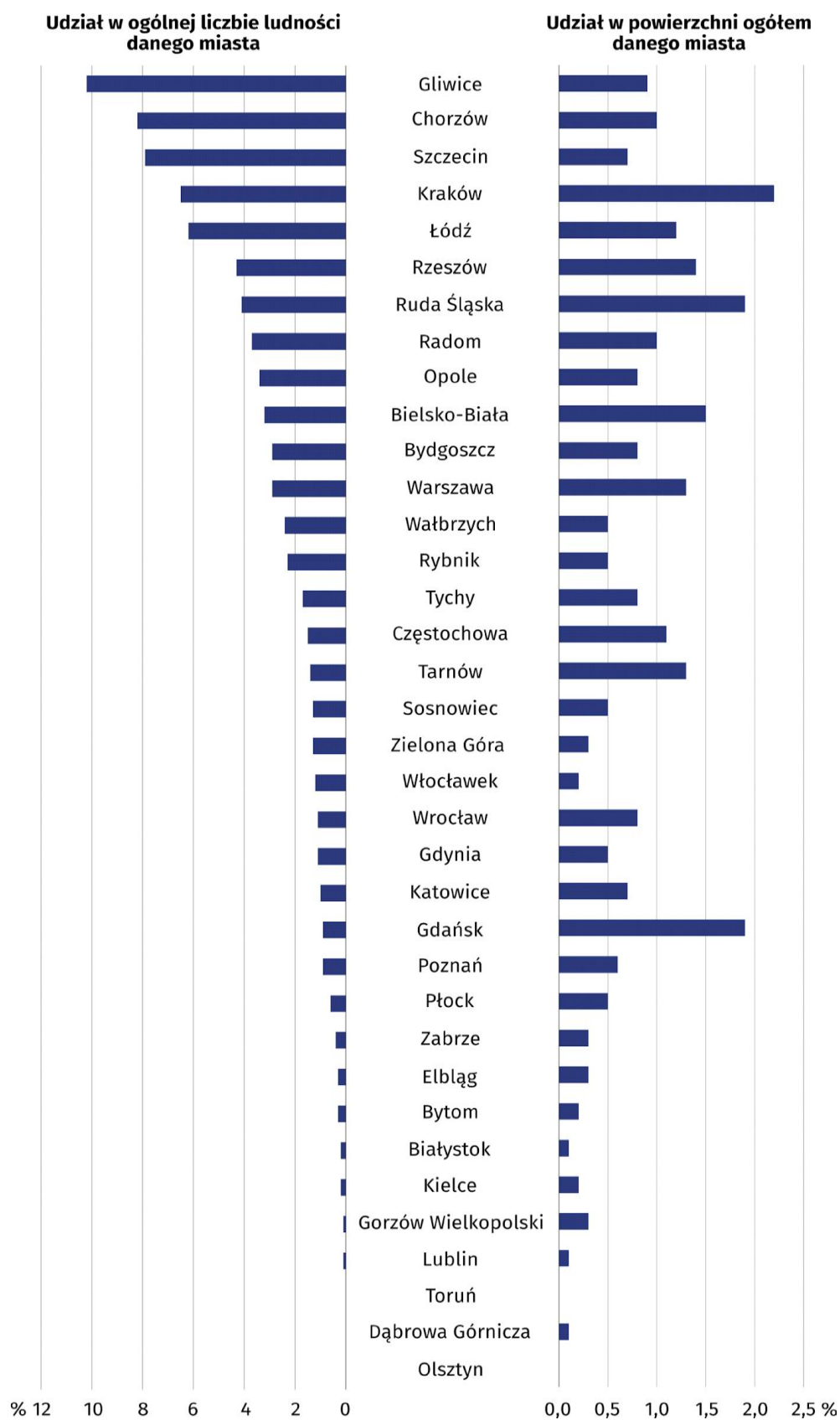
1.2. Zanieczyszczenie hałasem

Hałas to, *nomen omen*, cichy zabójca współczesnych miast. Zanieczyszczenie hałasem, inaczej nazywane w literaturze przedmiotu smogiem akustycznym (z ang. *sound pollution*), to jeden z najistotniejszych problemów zurbanizowanego świata. Skala jego oddziaływania jest ogromna, a jego wpływ na zdrowie mieszkańców i jakość ich życia znaczący. Użytkownik przestrzeni miejskiej nie jest w stanie ochronić się w żaden sposób od nadmiernego miejskiego hałasu, bo słuch jest zmysłem, którego nie da się wyłączyć. *Sound pollution* to nie tylko nieustanny gwar, przejeżdżające samochody, szum uliczny, roboty drogowe, huk maszyn, brzęczące urządzenia, takie jak choćby wentylatory, klimatyzatory, ale też uciążliwe szczekanie psa. Natężenie hałasu pochodzące od różnych środków transportu drogowego w polskich miastach utrzymuje się średnio na poziomie 80 dB, podczas gdy polskie normy dopuszczają średnio 65 dB w ciągu dnia i 56 w nocy. Światowa Organizacja Zdrowia (ang. World Health Organization, WHO) zaleca, aby miejski hałas w ciągu dnia nie przekraczał 55 dB. Obecne limity prawne dotyczące poziomu hałasu w Polsce są przekraczane i niezgodne z zaleceniami WHO. W dużych miastach średni poziom hałasu dochodzi dziś do 70 dB w dzień oraz w najbardziej zurbanizowanych i zagęszczonych przestrzeniach niewiele mniej w nocy – 65 dB.

Adaptacja miast do obniżenia skutków smogu akustycznego jest realnym i pilnym wyzwaniem, wymaga odpowiednich działań, ale przede wszystkim dostrzeżenia problemu i jego negatywnego wpływu na zdrowie ludzi.

Już 20 procent Europejczyków żyje w miejscach, gdzie przekroczone są normy hałasu. Według danych GUS w Polsce najwięcej osób narażonych na smog akustyczny mieszka w Gliwicach (10,2 procent), Chorzowie (8,2 procent) i Szczecinie (7,9 procent), natomiast najmniej (poniżej 0,05 procent) w Olsztynie i Toruniu. Jako ciekawostkę warto odnotować, że najcichszym miejscem w Polsce jest komora bezdechów w krakowskiej Akademii Górniczo-Hutniczej.

Wykres 1. Ludność narażona na hałas oraz powierzchnia zagrożona hałasem, na której są przekroczone dopuszczalne poziomy hałasu w ciągu doby w miastach powyżej 100 tys. mieszkańców

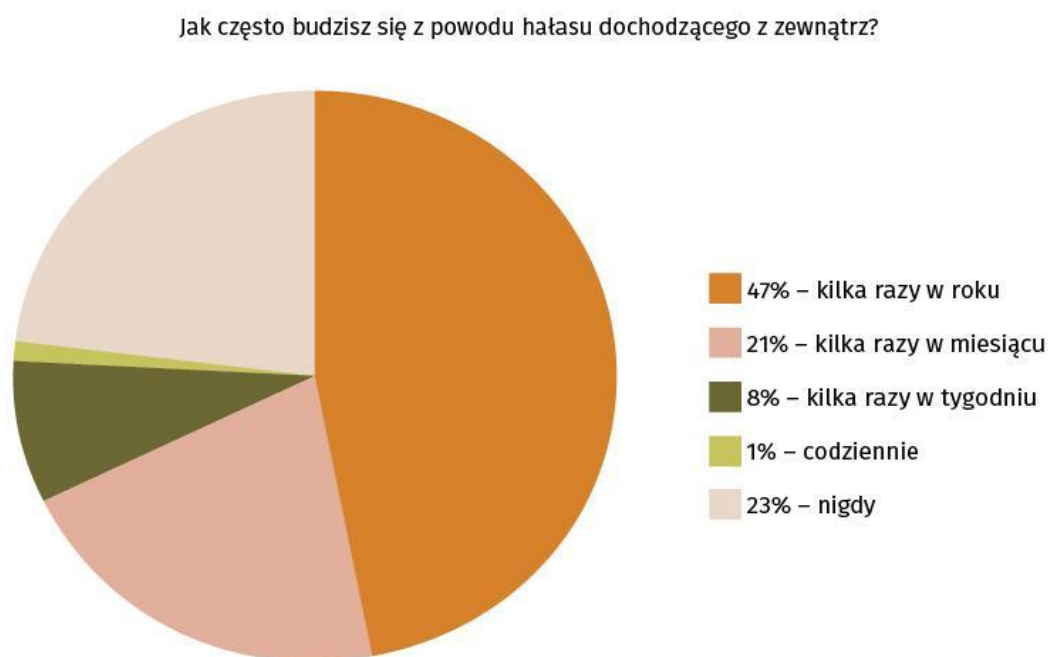


Źródło: dane GUS (2024).

Wpływ hałasu na zdrowie

Według Światowej Organizacji Zdrowia to właśnie hałas, po zanieczyszczeniu powietrza, stanowi największe zagrożenie dla zdrowia Europejczyków żyjących w przestrzeni zurbanizowanej. Z kolei z badań Europejskiej Agencji Środowiskowej (z ang. European Environment Agency EEA) wynika, że zanieczyszczenie hałasem powoduje rocznie aż 16,6 tys. przedwczesnych zgonów. Co piąty mieszkaniec Europy jest narażony na szkodliwe dla zdrowia oddziaływanie hałasu. Smog akustyczny ma więc ogromny wpływ na zdrowie mieszkańców miast. Powoduje różne dolegliwości i przyczynia się do chorób związanych z układem krążenia, wysokim ciśnieniem, problemami ze snem, wydzielaniem hormonów stresu takich jak adrenalina czy kortyzol, szybszym starzeniem się organizmu oraz, co bardzo ważne, wpływa na obniżenie dobrostanu psychicznego. Zaburzenia snu prowadzące do pogorszenia się ogólnego stanu zdrowia czy problemy ze słuchem to tylko niektóre ze skutków przebywania w środowisku skażonym smogiem akustycznym.

Wykres 2. Wpływ hałasu z zewnątrz na sen



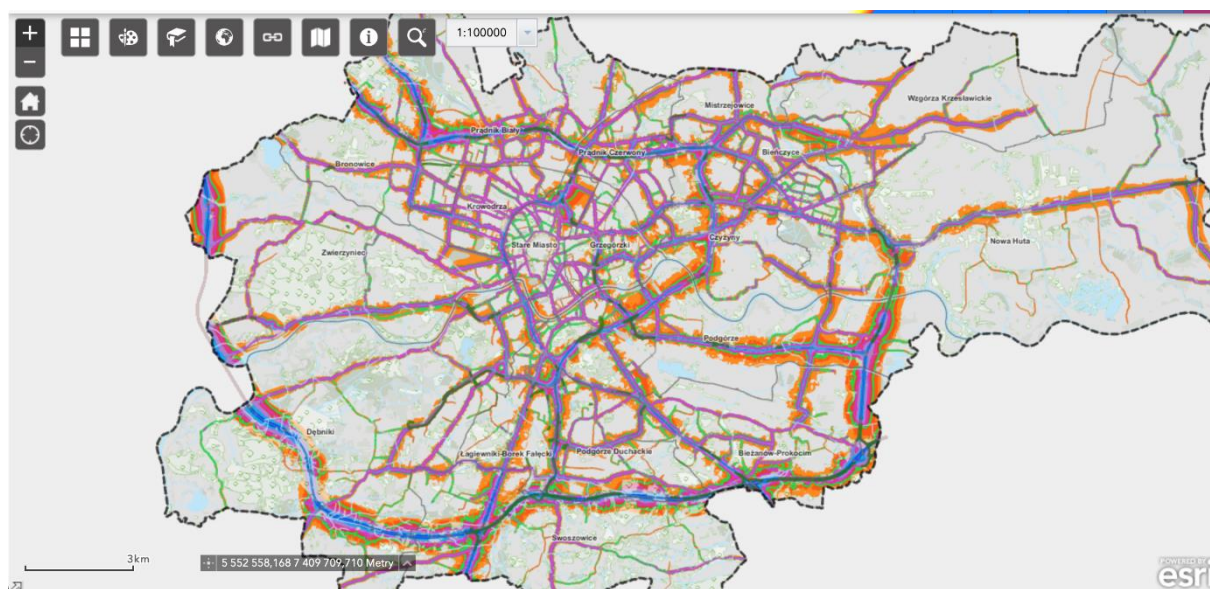
Dane na podstawie raportu „Czy miastowi śpią gorzej niż mieszkańcy wsi?” domondo.pl; opracowanie Magdalena Milert, źródło: <https://www.architekturaibiznes.pl/spiaca-krolewna-mialaby-ciezko,34950.html>

Hałas powyżej 90 dB powoduje osłabienie i ubytek słuchu; powyżej 120 dB stwarza niebezpieczeństwo mechanicznego uszkodzenia słuchu; 130 dB to granica bólu; już po pięciu minutach w hałasie powyżej 150 dB odczuwa się mdłości i zaburzenia równowagi.

Hałas ma też bardzo duży wpływ na zły stan zdrowia psychicznego i samopoczucie mieszkańców miast. Zaburzenia zdrowia psychicznego, takie jak lęk, depresja czy stany niepokoju wynikające ze zwiększenia poziomu stresu spowodowanego hałasem to jego realne

skutki. Szczególnie na jego wpływ narażone są osoby chore, starsze, a zwłaszcza dzieci, które przebywając w głośnym środowisku mają problemy z nauką, pamięcią i koncentracją. W aspekcie społecznym hałas powoduje pogorszenie się jakości życia w mieście. W miejscach zamieszkania czy pracy brakuje dostępnych stref odpoczynku i relaksu w postaci parków, ogrodów czy miejskich stref ciszy.

Polskę, podobnie jak inne kraje członkowskie UE, obowiązuje dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z 25 czerwca 2002 roku, według której monitorowanie hałasu w formie raportów i map, dostępnych dla każdego mieszkańca, odbywa się obowiązkowo co 5 lat. Ma to na celu z jednej strony obrazowanie skali problemu, z drugiej ma wpływać na podejmowanie skutecznych działań naprawczych oraz wypracowanie rekomendacji mających na celu zwalczanie smogu akustycznego. W Polsce odpowiednim organem decydującym o poziomie hałasu jest Minister Klimatu i Środowiska.



Rysunek 2. Mapa hałasu Krakowa z 2022 roku

Źródło: https://msip.um.krakow.pl/kompozycje/?config=config_halas_22.json

Źródła hałasu miejskiego

W miastach obserwujemy trzy główne źródła hałasu: komunikacyjny, przemysłowy i społeczny. Szczególnie na nadmierny hałas narażone są większe miasta i metropolie o wysokim stopniu zagęszczenia. Samochody, tramwaje, pociągi, samoloty, jak również prace budowlane, przemysłowe czy tłumy ludzi powodują dźwiękowy chaos.

Jednym z głównych źródeł hałasu miejskiego jest transport. Hałas generowany przez transport drogowy, zwłaszcza samochody, jest jednym z największych ognisk problemów. Dźwięk silników, opon na asfalcie, klaksony – wszystko to odbija się na kondycji i komforcie mieszkańców miast. Nawet w nocy, gdy ruch drogowy powinien teoretycznie słabnąć, miasto nie milknie – samochody, dostawy towarów czy karetki pogotowia zakłócają sen, spokój i nie pozwalają w pełni na odpoczynek. Atrakcyjne centra miast nocą to kolejne źródła miejskich

wysp hałasu. Branża gastronomiczna czy rozrywkowa, nadmierna turystyfikacja zakłócają nocną regenerację mieszkańców. Niektóre polskie miasta, jak Poznań, Gdańsk czy Kraków wprowadziły ustawę antyhałasową. Ma ona za zadanie ograniczyć hałas spowodowany uciążliwymi urządzeniami na budynkach czy elewacjach, a także podczas ciszy nocnej zobowiązuje właścicieli lokali gastronomicznych czy hoteli do wyciszenia oraz wytłumienia źródeł hałasu.

Hałas związany z pracami budowlanymi to kolejny problem. Budowa nowych budynków czy infrastruktury miejskiej, gdzie nieustannie słyszeć głośne maszyny, wiertarki i młoty pneumatyczne znacząco obniża jakość życia mieszkańców.

Mimo że istnieją przepisy dotyczące dopuszczalnego poziomu hałasu, w tym w godzinach nocnych, nie są one skutecznie egzekwowane.

Jak minimalizować hałas w miastach?

Całkowite wyeliminowanie hałasu w miastach jest zjawiskiem niemożliwym do osiągnięcia, jednak istnieją sposoby jego ograniczania.

Niezbędne jest prowadzenie odpowiedniej polityki zarządzania hałasem w mieście. Nowoczesne technologie, które umożliwiają cichszy transport publiczny, a także promocja zrównoważonej mobilności, czyli np. rowerów, pojazdów elektrycznych to krok w kierunku obniżenia poziomu hałasu w mieście. Odpowiednio zaprojektowany wydajny system transportu publicznego ograniczający ruch samochodowy też ma szansę znacząco obniżyć poziom smogu akustycznego. Istotne wydaje się wprowadzanie stref ograniczonej komunikacji kołowej indywidualnej i to nie tylko w ścisłych historycznych centrach miast, ale również w miejscach zamieszkiwania. W krajach europejskich istnieją fotoradary akustyczne mierzące generowany przez samochód hałas.

Kolejnym ważnym sposobem jest zmiana przepisów dotyczących hałasu. Wprowadzenie ciszy nocnej, miejskich uchwał antyhałasowych, miejskich stref ciszy obniżą skutki miejskiego chaosu dźwiękowego. Istotna jest również izolacja akustyczna budynków, zarówno istniejących i modernizowanych, jak i nowo powstałych poprzez stosowanie materiałów tłumiących hałas czy nowoczesne okna dźwiękoszczelne.

Bardzo istotna z punktu widzenia rozwoju miasta jest odpowiednio prowadzona polityka przestrzenna, która może mieć znaczący wpływ na ograniczenie zanieczyszczenia akustycznego. Rola architektów, projektantów krajobrazu i zieleni oraz urbanistów jest tu nie do przecenienia. Rozmieszczenie zabudowy mieszkaniowej z dala od potencjalnych źródeł hałasu, zabezpieczenia dźwiękoszczelne, odpowiednia wysokość zabudowy, dostępna odpowiednia ilość terenów zielonych, w tym skwerów umożliwiających chwile wytchnienia, spokoju i ciszę, zabezpieczenie arterii drogowych zielenią wysoką, to podstawowe zadania samorządów w kontekście ograniczenia smogu akustycznego. Dając odpowiednie narzędzia planistom i projektantom w postaci dobrze przygotowanej strategii rozwoju miasta, planu

ogólnego, jakościowego prawa lokalnego (MPZP), możemy wiele w temacie ograniczenia smogu akustycznego w strukturze urbanistycznej miasta zdziałać.

Coraz częściej w miastach w ramach zabezpieczenia dźwiękoszczelnego pojawiają się ekrany akustyczne. Są one skutecznym narzędziem eliminującym hałas, jednak wzbudzają wiele kontrowersji wśród mieszkańców ze względu na swoją stronę estetyczno-wizualną. Niezadowolenie mieszkańców miast wynika też z ich parametrów przestrzennych, bo stanowią barierę miastotwórczą, ograniczającą tworzenie przestrzeni publicznych oraz stanowią przeszkodę fizyczną i wzrokową.

Jednak dobre, przemyślane projektowanie przestrzenne z uwzględnieniem dostępnych i często występujących terenów zieleni ma szansę wyeliminować wiele źródeł potencjalnego hałasu już na etapie planowania.

Zrównoważone miasta

25 kwietnia ustanowiono Międzynarodowy Dzień Świadomości Zagrożenia Hałasem. W Polsce, obchodzony jest od 2000 roku, a zainicjowany przez Towarzystwo Higieny Akustycznej. Święto ma zwrócić uwagę ludzi na powszechne występowanie hałasu i uświadomienie im jego szkodliwego wpływu na zdrowie.

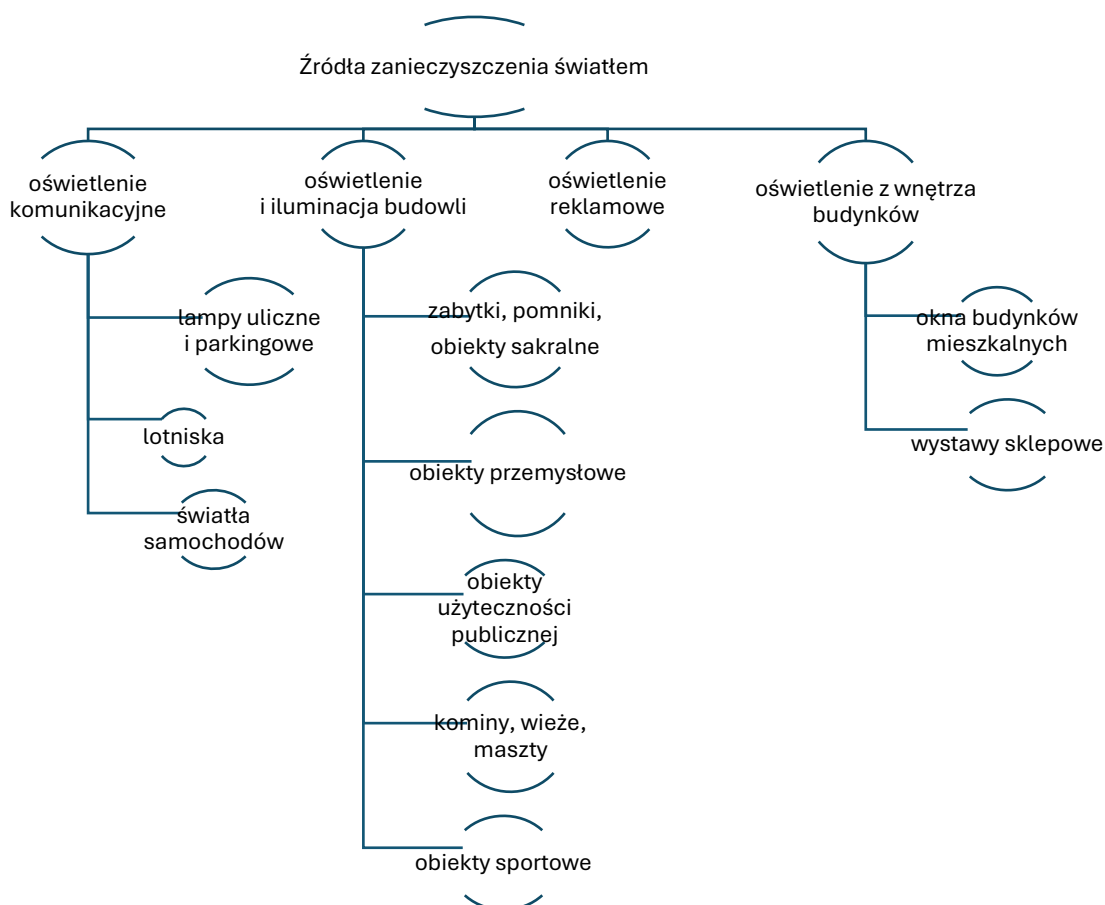
Aby ograniczyć negatywne skutki hałasu konieczna jest zmiana w sposobie myślenia. Miasta, które stawiają na zrównoważony rozwój, powinny dążyć do prowadzenia odpowiedniej polityki przestrzennej mającej na celu zmniejszenie zanieczyszczeń dźwiękowych i tworzenie miejsc, które sprzyjają wytchnieniu i relaksowi. Dbłość o ciszę w miastach jest kluczowa. To inwestycja w zdrowie mieszkańców, która przynosi szereg korzyści – zarówno społecznych, zdrowotnych, jak i ekonomicznych.

Warto więc podjąć kroki w celu poprawy jakości życia w miastach. Wspólne działania mieszkańców, władz samorządowych z architektami i urbanistami mogą przyczynić się do tworzenia przestrzeni, gdzie współistnienie natury i życia miejskiego pozwoli mieszkańcom cieszyć się spokojem. Hałas w miastach, choć nieunikniony i trudny do wyeliminowania, nie powinien wpływać na jakość życia.

1.3. Zanieczyszczenie światłem

Zanieczyszczenie światłem oznacza sytuację, gdy światło ze źródeł antropogenicznych jest emitowane nocą w sposób nadmiarowy, tzn. w niewłaściwym czasie, w niewłaściwym kierunku, z niewłaściwym natężeniem, w niewłaściwej temperaturze barwowej. Do wskaźników zanieczyszczenia światłem zalicza się: ilość światła emitowanego w niebo (radiancja, czyli strumień promieniowania na jednostkę powierzchni na jednostkę kąta bryłowego, $nW\ cm^{-2}\ sr^{-1}$), oraz intensywność rozjaśnienia nocnego nieboskłonu (luminancja, czyli wartość strumienia światła emitowanego przez określoną powierzchnię i w zadanym

kącie bryłowym, cd m^{-2}). Obrazowym wskaźnikiem emisji światła w górę jest tzw. suma światła (*sum of lights*, SOL), czyli suma obszarowa wartości radiancji ze wszystkich pomiarów na danym terytorium (LPTT, 2023). W mieście zanieczyszczenie światłem powodowane jest przez oświetlenie obiektów komunikacyjnych, oświetlenie fasadowe, oświetlenie reklamowe oraz oświetlenie z wnętrza budynków (rysunek 3).



Rysunek 3. Główne źródła zanieczyszczenia światłem w miastach

Źródło: opracowanie własne.

Do najważniejszych zagrożeń związanych z nocnym oświetleniem zalicza się (Sala, 2020):

- olśnienie (ang. *gare*) – polega na bezpośrednim oddziaływaniu zbyt mocnego źródła światła na narząd wzroku, powoduje pogorszenie widzenia lub chwilowe oślepienie;
- zaświecanie (ang. *trespass*) – polega na oświetlaniu terenów sąsiadujących z oświetlonymi obiektami, np. budynków mieszkalnych zlokalizowanych w pobliżu parkingów, chodników, ulic itp.;

- poświatę niebieską (ang. *skyglow*) – która powstaje wskutek rozpraszania się sztucznego światła w atmosferze, powoduje zabarwienie nocnego nieba w miastach oraz łunę świetlną widoczną nad miastami.

Według raportu „Zanieczyszczenie światłem w Polsce” (LPTT, 2023) bezchmurne nocne niebo nad Polską w 2022 r. było średnio 147% jaśniejsze od nieba wolnego od zanieczyszczenia światłem. Najciemniejsze niebo występowało nad Bieszczadami, natomiast najjaśniejsze nad dużymi miastami. W Warszawie niebo 6 329% jaśniejsze niż niebo naturalne. Nad żadnym miejscem w Polsce niebo nie było równie ciemne, jak w warunkach naturalnych, co oznacza, że zanieczyszczenie światłem dotyka 100% obszaru kraju (LPTT, 2023). Szacuje się, że w Stanach Zjednoczonych 80% populacji, a w Unii Europejskiej 67% populacji mieszka na obszarach, w których nocne niebo nigdy nie jest ciemniejsze niż przy księżycu świecącym w pełni (Sala, 2020).

Nocne sztuczne światło może powodować również tzw. ekologiczne zanieczyszczenie światłem (*ecological light pollution*, ELP). O zjawisku tym mówi się, gdy nocne sztuczne oświetlenie zaburza naturalny cykl światła i ciemności w ekosystemie (Tałańda, 2015). Wyróżnia się cztery klasy (A-D) ekologicznego zanieczyszczenia światłem (rysunek 4). W warunkach bezchmurnego nieba większość terytorium Polski znajduje się w strefie ELP-D (93,3%), 5,1% powierzchni Polski znajduje się w strefie ELP-C, a 1,0% w strefie ELP-B. Przy zachmurzeniu całkowitym nocne niebo może być nawet 6-10 razy jaśniejsze niż w czasie nocy bezchmurnej. Może mieć to wpływ na rzeczywistą klasę ELP. Dla przykładu, przy bezchmurnym niebie Kraków mieści się w klasie ELP-B, a przy zachmurzeniu ponad 30% w klasie ELP-A (LPTT, 2023).

ELP-A	ELP-B	ELP-C	ELP-D
• jasność powierzchniowa poniżej 17 • iluminacja powyżej 17,1 • wpływ silny	• jasność powierzchniowa 17-19 • iluminacja 2,7-17,1 • wpływ wyraźny	• jasność powierzchniowa 19-20 • iluminacja 1,1-2,7 • wpływ zauważalny	• jasność powierzchniowa powyżej 20 • iluminacja poniżej 1,1 • wpływ nie występuje

Rysunek 4. Klasy ekologicznego zanieczyszczenia światłem

Jasność nieba w jednostkach: jasności powierzchniowej [mag arcsec⁻²] oraz iluminacji [mcd m⁻²]. Im mniejsza wartość jasności powierzchniowej, tym niebo bardziej zanieczyszczone światłem. W przypadku iluminacji, wyższe wartości świadczą o większym zanieczyszczeniu.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie LPTT (2023).

Zanieczyszczenie światłem wywiera szereg negatywnych skutków, poczynając od ograniczenia możliwości prowadzenia obserwacji astronomicznych, poprzez wpływ na zachowanie i cykle rozwojowe roślin i zwierząt, zdrowie i samopoczucie człowieka, marnowanie energii oraz bezpieczeństwo na drogach. Obecność sztucznego światła w nocy (*artificial light at night*, ALAN) wywołuje niekorzystny wpływ na funkcjonowanie organizmu człowieka, poprzez zakłócenie naturalnego cyklu światła i ciemności oraz zaburzenia rytmu dobowego syntezy melatoniny (Skwarło-Sońta i Zużewicz, 2023) oraz zmniejszonej syntezy

witaminy D (Jurkowlaniec, 2017), u roślin przyspieszony rozwój pąków, szybszy rozwój liści, opóźnienie jesienno starzenia się liści, zaburzenia w ruchach aparatów szparkowych (zwiększona utrata wody), zmianę terminu kwitnienia oraz zmiany w budowie morfologicznej liści (zmniejszenie powierzchni, zwiększenie grubości blaszki liściowej) (Kołton i Czaja, 2023), a u zwierząt istotny spadek liczby owadów, zmiany czasu i utrudnienia migracji zwierząt, zakłócenie formy nocnej nawigacji, umożliwienie nocnego żerowania drapieżników posługujących się wzrokiem lub wykorzystujących światło jako czynnik wabiący ofiary, czy zmiany w behawiorze będące skutkiem zmian w fizjologii (zaburzenie rytmów okołodobowych) (Skorb, 2023; Tałanda, 2015).

Konieczność zmniejszenia zużycia energii elektrycznej oraz ograniczenia śladu węglowego oświetlenia w miastach, skutkuje systematycznym zastępowaniem tradycyjnych żarówek sodowych oświetleniem typu LED. Oświetlenie to jednak zwiększa jasność nocnego nieba, a także udział światła o barwie niebieskiej, które z kolei ma znaczący wpływ na rośliny a także ssaki (blokuje w największym stopniu wytwarzanie przez ssaki melatoniny) (Kołton i Czaja, 2023; Siedlecki, 2016). Zanieczyszczenie światłem jest kwestią coraz częściej poruszaną w środowisku naukowym, jednak postępy w badaniach nad wpływem ALAN na człowieka i środowisko nie zostały w pełni przeniesione do legislacji. Brak referencyjnych metod pomiaru, standardów emisyjnych czy normy emisji, uniemożliwia stwierdzenie jej przekroczenia, czyli w świetle prawa zanieczyszczenie światłem nie jest zanieczyszczeniem. Ustawa Prawo ochrony środowiska definiuje zanieczyszczenie jako emisję, która może być szkodliwa dla zdrowia ludzi lub stanu środowiska, i chociaż światło jako forma promieniowania elektromagnetycznego wpisuje się w pojęcie emisji, jednak nie wpisuje się w określone w definicji zanieczyszczenia częstotliwości (LPTT, 2023). Poszczególne kraje, takie jak Chorwacja, Francja czy Słowenia wprowadziły kwestie związane z zanieczyszczeniem światłem w swoje prawo. Chorwacka ustawa o ochronie przed zanieczyszczeniem światłem NN 14/2019912 jest obecnie najbardziej postępowym prawem krajowym, chroniącym przyrodę przed zanieczyszczeniem światłem. Definiuje zasady ochrony przed zanieczyszczeniem światłem i nadmiernym oświetleniem, standardy zarządzania oświetleniem w celu zmniejszenia zużycia energii, planowanie budowy, konserwacji i przebudowy oświetlenia oraz obowiązki producentów produktów oświetleniowych (MZP, 2022).

Kraków – kilka faktów o zanieczyszczeniu światłem. Na podstawie LPTT (2023)

Pod względem emisji światła w niebo, Kraków był trzecim najintensywniej świecącym miastem w Polsce w 2022 r.
 Najjaśniejszym rejonem było otoczenie dworca kolejowego Kraków Główny i centrum handlowego Galeria Krakowska.
 Względem poprzedniej dekady Kraków „pojaśniał” o 3,6%.
 Emisja światła w niebo wygenerowała intensywną łunę świetlną.
 W 2022 r. jasność powierzchniowa nocnego nieba nad miastem miała wartość o 1 703% większą niż dla nieba wolnego od zanieczyszczenia światłem (w okolicy dworca kolejowego i Galerii Krakowskiej 3 433%).
 Nad 52,9% powierzchni miasta niebo było tak jasne, że ludzkie oczy nie były w stanie przejść w tryb widzenia nocnego.
 Z powodu zanieczyszczenia światłem prawdziwa noc w Krakowie w 2022 r. nigdy nie wystąpiła.

1.4. Stres cieplny (heat stress)

Antropogeniczna zmiana klimatu spowodowała, że ekstremalne upały stały się częstsze, intensywniejsze i trwalsze. Długotrwałe narażenie na ekstremalne upały przytłacza zdolność organizmu do termoregulacji, co prowadzi do chorób związanych z upałem i zaostrza istniejące wcześniej schorzenia (Cheshire, 2016). Stres cieplny powoduje więcej zgonów niż jakakolwiek inna przyczyna związana z pogodą na całym świecie. Powtarzające się narażenie na ekstremalne upały wiąże się z rozwojem nowych chorób układu krążenia, nerek i płuc oraz ma niszczycielskie i szeroko zakrojone skutki dla zdrowia psychicznego i dobrego samopoczucia, w tym większe zmęczenie psychiczne, wyższą agresję i wzrost wskaźników samobójstw. To powiązanie nie ogranicza się do ekstremalnych upałów, ale dotyczy również osób żyjących w gorącym klimacie (Ebi i in., 2021).

W Europie rośnie liczba dni z co najmniej „silnym stresem cieplnym”, w 2023 roku odnotowano rekordową liczbę dni z „ekstremalnym stresem cieplnym”. Według Chan i Yi (2016) w ciągu ostatnich 20 lat śmiertelność związana z upałem wzrosła o około 30 procent, a liczba zgonów związanych z upałem wzrosła o około 94 procent monitorowanych regionów Europy.

Prawie 40% populacji świata jest narażone przez cały rok podczas dnia na temperatury otoczenia powyżej 30°C (Johnson i in., 2019). Nie można pominąć wpływu rosnących temperatur w wyniku zmiany klimatu na zdrowie wrażliwych populacji, które pracują na zewnątrz przez długie godziny. Upał stanowi zagrożenie dla zdrowia zawodowego pracowników różnych branż, w tym rolnictwa, budownictwa i transportu, którzy są narażeni na wysokie temperatury przez dłuższy czas, często bez odpowiedniego dostępu do strategii adaptacyjnych, takich jak cień, nawodnienie lub przerwy na odpoczynek. Mogą również wahać się przed zgłaszaniem objawów stresu cieplnego z powodu strachu przed utratą pracy. Zdarza się, że pracownicy nie mają dokumentów i dostępu do opieki zdrowotnej, co jeszcze bardziej zwiększa ryzyko chorób związanych z upałem (Priyadarshini i Vivekanand, 2023).

W ekstremalnych temperaturach jakość powietrza również ulega pogorszeniu. Gorące i słoneczne dni mogą zwiększyć produkcję ozonu przyziemnego, szkodliwego zanieczyszczenia, który jest głównym składnikiem smogu, mogącym uszkodzić układ oddechowy i może być szczególnie szkodliwy dla osób z astmą. Ponadto częstsze korzystanie z klimatyzacji wymaga więcej energii elektrycznej, która – w zależności od źródła energii elektrycznej – emituje inne rodzaje zanieczyszczeń, w tym cząstki stałe, które również mają wpływ na jakość powietrza. Wzrosty ozonu i cząstek stałych mogą stanowić poważne zagrożenie dla ludzi, w szczególności dla tych samych wrażliwych grup, na które bezpośrednio wpływa upał (<https://climate.copernicus.eu>).

Stres cieplny występuje u ludzi, gdy organizm nie jest w stanie skutecznie się ochłodzić. Zazwyczaj organizm może się ochłodzić poprzez pocenie, ale w warunkach wysokiej wilgotności, pot nie wyparuje tak szybko, co może prowadzić do udaru cieplnego. Wysoka

wilgotność i podwyższone temperatury w nocy są prawdopodobnie kluczowymi czynnikami powodującymi choroby i śmiertelność związaną z upałem (Wyndham, 1969). Gdy nie ma przerwy od upału w nocy, może to powodować dyskomfort i prowadzić do problemów zdrowotnych, szczególnie u osób, które nie mają możliwości chłodzenia, a często są to osoby o niskich dochodach. Inne grupy szczególnie narażone na stres cieplny to osoby starsze, niemowlęta i dzieci, osoby z przewlekłymi schorzeniami oraz pracownicy pracujący na zewnątrz (Havenith, 1985).

Objawy stresu cieplnego obejmują: podwyższoną temperaturę ciała, przyspieszone tętno, przyspieszony oddech, nadmierne pocenie się, nudności, zawroty głowy, a w cięższych przypadkach choroby związane z wysoką temperaturą, takie jak wyczerpanie cieplne lub udar cieplny – potencjalnie zagrażające życiu przypadki wymagające interwencji lekarskiej. Monitorowanie obciążenia cieplnego jest kluczowe w środowisku pracy, sporcie i innych czynnościach, aby zapobiegać urazom związanym z ciepłem i zapewnić dobre samopoczucie jednostek. Oba pojęcia są ważne dla zrozumienia i zarządzania wpływem ciepła na zdrowie i wydajność człowieka.

Osoby starsze i osoby z wcześniej istniejącymi schorzeniami są bardziej narażone, ponieważ ich układ termoregulacyjny może być osłabiony. Niektóre leki, takie jak leki moczopędne i leki na nadciśnienie, mogą upośledzać zdolność organizmu do odpowiedniego reagowania na stres cieplny. Brak aklimatyzacji do gorącego środowiska jest kolejnym czynnikiem ryzyka. Zrozumienie i uwzględnienie tych czynników ryzyka ma kluczowe znaczenie dla opracowania skutecznych środków zapobiegawczych i interwencji mających na celu złagodzenie wpływu stresu cieplnego na zdrowie i samopoczucie ludzi.

Stres cieplny można mierzyć za pomocą różnych wskaźników fizjologicznych i środowiskowych, aby ocenić wpływ ciepła na ludzkie ciało, takich jak temperatura mokrego termometru kulistego (WBGT), która jest miarą stresu cieplnego wynikającego z narażenia na temperaturę, wilgotność, prędkość wiatru i promieniowanie słoneczne. Innym powszechnie stosowanym wskaźnikiem oceny stresu cieplnego jest Uniwersalny Wskaźnik Klimatu Termicznego (UTCI). Jest to ludzki wskaźnik stresu cieplnego, który bierze pod uwagę różne czynniki środowiskowe, aby ocenić odczuwalną temperaturę i fizjologiczną reakcję ludzkiego ciała na wiele poziomów stresu cieplnego (Błażejczyk i in. 2010a).

Uniwersalny wskaźnik obciążenia cieplnego jest wskaźnikiem opierającym się na wielowęzłowym modelu wymiany ciepła, tzw. Modelu Fiala (Fiala i in., 2001), uwzględniającym dwa podsystemy wymiany ciepła: pasywny, obejmujący transport ciepła wewnątrz organizmu i na powierzchni ciała oraz aktywny, określający fizjologiczne mechanizmy termoregulacji. Liczony jest jako funkcja w postaci:

$$UTCI = f(T_a, v_p, v_a, dT_{mrt})$$

gdzie: T_a – temperatura powietrza ($^{\circ}\text{C}$), v_p – ciśnienie pary wodnej (hPa), v_a – prędkość wiatru na wysokości 10 m nad gruntem ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), dT_{mrt} – różnica pomiędzy średnią temperaturą promieniowania, a temperaturą powietrza ($^{\circ}\text{C}$)

Wskaźnik UTCI jest definiowany jako ekwiwalentna temperatura powietrza, przy której w warunkach referencyjnych podstawowe parametry fizjologiczne organizmu przyjmują takie same wartości jak w warunkach rzeczywistych. Wartości wskaźnika są miarą oceny obciążeń cieplnych organizmu człowieka (Błażejczyk i in., 2010a, 2010b, Bröde i in., 2012). Skala oceny obciążeń cieplnych obejmuje dziesięć przedziałów, przy czym w analizowanych dniach upalnych odnotowano występowanie czterech, począwszy od braku obciążeń cieplnych po bardzo silny stres ciepła, którym przypisuje się następujące wartości wskaźnika UTCI – brak obciążeń cieplnych (9–26°C), umiarkowany stres ciepła (26–32°C), silny stres ciepła (32–38°C), bardzo silny stres ciepła (38–46°C). Jednocześnie skalę oceny oparto na obiektywnych zmianach parametrów fizjologicznych organizmu, zachodzących pod wpływem warunków środowiskowych. Dla przykładu, przy silnym stresie ciepła (UTCI 32–38°C) sposobem przeciwdziałania powinno być niezbędne uzupełnianie płynów 0,25 l/godz., pożądane korzystanie z miejsc zacienionych i okresowe zmniejszanie wysiłku fizycznego (Błażejczyk i in. 2020a).

Zrozumienie skutków stresu cieplnego i wdrożenie odpowiednich strategii interwencji w celu złagodzenia szkodliwych skutków stresu cieplnego było przedmiotem znacznej liczby badań (Cheung i in., 2000; Kenny i Jay, 2013). Badania tego rodzaju wymagają wielodyscyplinarnego podejścia obejmującego fizjologię, zarządzanie i technologię. Skutki stresu cieplnego można opisać za pomocą reakcji fizjologicznych i psychologicznych. Zarządzanie stresem cieplnym wykorzystuje zestaw ram, zasad, procesów i środków w celu zapobiegania urazom, wypadkom i innym niekorzystnym konsekwencjom. Technologia w zakresie technik, narzędzi, systemów i maszyn została przyjęta jako skuteczny środek ochrony pracowników przed niebezpiecznymi skutkami stresu cieplnego.

2. Zmiany klimatyczne jako globalny kontekst zdrowego planowania miasta

2.1. Zagrożenia dla miast wynikające ze zmiany, w tym wprowadzenie do polityki europejskiej klimatu

Wprowadzenie do polityki europejskiej

W roku 1990 został opublikowany pierwszy raport (ang. Assessment Report – AR1) Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (ang. The Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC), w którym konkluzją pracy była teza o wzroście antropogenicznej emisji gazów cieplarnianych, potęgującym zmiany klimatyczne na Ziemi. W oparciu o dane zawarte w pierwszym raporcie powstała Ramowa Konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (ang. United Nations Framework Convention on climate change – UNFCCC), która została przedstawiona podczas Konferencji w Rio de Janeiro. Dokument został podpisany 5 czerwca 1992 r. przez 154 państwa oraz Wspólnotę Europejską. UNFCCC weszła w życie z dniem 21 marca 1994 r. (Karski, 2009). Strony podpisujące konwencję uznały, że zmiany klimatu oraz ich negatywne skutki są wspólnym problemem ludzkości. Człowiek poprzez swoją działalność przyczynił się do znacznego zwiększenia ilości gazów cieplarnianych w atmosferze. Efektem tego jest intensyfikacja naturalnego efektu cieplarnianego, co z kolei doprowadzi do wzrostu średniej temperatury Ziemi i atmosfery oraz może mieć negatywny wpływ na naturalne ekosystemy i całą ludzkość (Kaniewska, 2015). Celem Konwencji było określenie założeń międzynarodowej współpracy dotyczącej ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. Początkowo Konwencja nie zawierała wiążących nakazów dotyczących ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, zostały one ustanowione dopiero w protokołach. Pierwszym narzędziem przyjętym w celu implementacji założeń Konwencji był podpisany w 1997 r. Protokół z Kioto, drugim – ogłoszone w 2015 roku Porozumienie Paryskie. Na podstawie Protokołu z Kioto, 15 państw UE indywidualnie zobowiązało się w latach 2008–2012 do redukcji emisji gazów cieplarnianych o 8% w stosunku do poziomu z roku 1990 r. Również Wspólnota Europejska zobowiązała się do redukcji emisji gazów cieplarnianych o 8% w latach 2008–2012 w stosunku do poziomu z roku 1990 r. [<http://www.ios.org.pl>]. Obecnie podstawę prawną zobowiązań redukcyjnych państw członkowskich UE w zakresie emisji gazów cieplarnianych na poziomie międzynarodowym po 2020 r. stanowi Porozumienie paryskie [Porozumienie, 2015]. W ramach Porozumienia rządy państw zgodziły się utrzymywać wzrost temperatury na świecie w obecnym stuleciu „znacznie poniżej” 2°C w stosunku do poziomu sprzed epoki przemysłowej, dążąc do ograniczenia tego wzrostu do 1,5°C (Siwior, 2021). Jednym z działań polityki UE było wprowadzenie od 2005 r. unijnego systemu handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych (EU ETS). Przedmiotowy system uznawany był za kluczowy element polityki UE na rzecz walki ze zmianą klimatu oraz za podstawowe narzędzie służące do ograniczenia ilości wprowadzanych do atmosfery gazów cieplarnianych,

w tym przede wszystkim dwutlenku węgla w sposób efektywny kosztowo (Komisja Europejska, 2019). Obecnie najważniejszą strategią polityki klimatycznej UE jest Europejski Zielony Ład (ang. European Green Deal), który zaproponowano w komunikacie Komisji Europejskiej z 11 grudnia 2019 r. Ma to być nowa całościowa strategia gospodarcza UE (Mrowiec, 2020). Jego celem jest „przekształcenie UE w sprawiedliwe i prosperujące społeczeństwo żyjące w nowoczesnej, zasobooszczędnej i konkurencyjnej gospodarce, która w roku 2050 osiągnie zerowy poziom emisji gazów cieplarnianych netto, i w ramach której wzrost gospodarczy będzie oddzielony od wykorzystania zasobów naturalnych” (Komisja Europejska, 2019). Jednym z elementów Europejskiego Zielonego Ładu jest pakiet „Fit for 55”, który ukazał się w lipcu 2021 roku. Pakiet ma za zadanie przyspieszyć redukcję emisji gazów cieplarnianych w przeciągu następującej dekady (2021-2030) tak, aby do 2030 r. obniżyć unijne emisje gazów cieplarnianych netto o co najmniej 55%. Odpowiednikiem pakietu „Fit for 55” na gruncie adaptacji do zmian klimatu jest najnowsza unijna strategia adaptacji do zmian klimatu (Komisja Europejska, 2021) oraz Europejskie prawo o klimacie w części poświęconej dostosowaniu się do zmian klimatu. Można powiedzieć, że Strategia ogłoszona w lutym 2012 roku uzupełniła brakujący element opublikowanego w 2019 r. Europejskiego Zielonego Ładu. Kluczowym celem Strategii adaptacyjnej z 2021 r. jest uczynienie społeczeństwa unijnego odpornym na zmiany klimatu oraz w pełni odpornym na nieuniknione skutki tych zmian. Zgodnie z przyjętym założeniem cel ten ma zostać zrealizowany w 2050 r. (Komisja Europejska, 2021). W dokumencie tym Komisja Europejska wskazała m.in. na znaczenie krajowych i regionalnych planów oraz strategii adaptacyjnych, jako instrumentów systemowego podejścia do adaptacji do zmian klimatu. Jednocześnie według Komisji kluczowe jest zwiększenie znaczenia błękitno-zielonej infrastruktury poprzez rozwijanie zielonych przestrzeni miejskich oraz budowę zielonych dachów i ścian, obok zmian w procesach urbanizacyjnych Komisja wskazuje na potrzebę zintensyfikowania prac prowadzących do wzmożenia ochrony i odtwarzania terenów podmokłych, torfowisk, ekosystemów przybrzeżnych i morskich oraz propagowania i prowadzenia zrównoważonego gospodarowania lasami i gruntami rolnymi w sposób efektywny kosztowo. W dokumencie podkreślono, że wdrażanie rozwiązań opartych na zasobach przyrody ma zasadnicze znaczenie dla utrzymania wody, oceanów i gleby w dobrym stanie (Komisja Europejska, 2021). Kolejnym krokiem Komisji Europejskiej w działaniach adaptacyjnych do zmian klimatu było przyjęte 30 czerwca 2021 roku pierwsze europejskie prawo o klimacie. Według Wróblewskiego (2021) jest to obecnie kluczowy instrument unijnej polityki klimatycznej w obszarze adaptacji. Na podstawie prawa o klimacie państwa członkowskie zostały wprost zobowiązane do przyjmowania i wdrażania krajowych strategii i planów przystosowawczych, w oparciu o rzetelne analizy dotyczące zmiany klimatu i wrażliwości, oceny postępów oraz wskaźniki, bazując na najlepszych dostępnych i najbardziej aktualnych dowodach naukowych (Rozporządzenie, 2021).

W Polsce zgodnie z polityką unijną podejmowane są działania dostosowawcze już od kilku lat, co znajduje odzwierciedlenie w dokumentach o charakterze strategicznym (Zamorowska, 2021). Jednym z głównych dokumentów jest Strategia na rzecz

Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.) (SOR) (Rybicka, 2021), Krajowa Strategia Rozwoju Regionalnego 2030 stanowiąca rozwinięcie SOR w zakresie postanowień zawartych w filarze „rozwój społecznie wrażliwy i terytorialnie zrównoważony”. Kolejny opracowany dokument to Krajowa Polityka Miejska 2023, gdzie za cel strategiczny postawiono „wzmocnienie zdolności miast i obszarów zurbanizowanych do zrównoważonego rozwoju i tworzenia miejsc pracy oraz poprawę jakości życia mieszkańców” (KPM, 2015).

W zakresie podejmowania działań dostosowawczych coraz większe znaczenie mają także dokumenty w całości dotyczące tej tematyki, jak np. Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030 (SPA, 2013) czy też strategie adaptacyjne skierowane do poszczególnych sektorów gospodarki. SPA 2013 zawiera m.in. rekomendację opracowania do 2020 r. miejskich planów adaptacji dla największych miast w Polsce (SPA, 2013)., mających na celu wsparcie dużych miast w procesie tworzenia miejskich strategii adaptacyjnych (Rybicka, 2021). Wszystkie miasta, które zaangażowały się w projekt, przygotowały własne miejskie plany adaptacji (MPA), stanowiące istotne dokumenty strategiczne na poziomie lokalnym. Powstaje coraz więcej dokumentów planistycznych w zakresie adaptacji przygotowywanych przez podmioty publiczne odpowiedzialne za obszary szczególnie narażone na negatywne skutki oddziaływania na zmiany klimatu. Przykładami takich dokumentów są chociażby „Program adaptacji lasów i leśnictwa do zmian klimatycznych do roku 2020. Program zintegrowany Lasów Państwowych. Perspektywa finansowa 2014–2020” przyjęty przez Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe oraz „Plan adaptacji infrastruktury kolejowej do zmian klimatu” sporządzony przez Polskie Linie Kolejowe (...).

Podsumowując, wielopoziomowe sprawowanie rządów w zakresie ochrony klimatu wymaga współpracy oraz wspólnego wypracowania strategicznych procesów w obliczu nowych wyzwań jakie stawia przed nami zmiana klimatu. Polityka klimatyczna to niezbędna strategia na lepszą przyszłość, służąca rozwiązywaniu konkretnych problemów technicznych, naukowych lub społecznych. W miastach należy uwzględniać działania proklimatyczne, na rzecz lepszej, miejskiej przyszłości (Klimada 2.0). Kwestia zmian klimatu powinna być szczegółowo analizowana podczas przygotowywania dokumentów o charakterze planistycznym i długoterminowym dotyczącym rozwoju kraju. Należy zwrócić uwagę na działania adaptacyjne, aby nie powodowały one sprzeczności z kryterium dostosowawczym i nie niwelowały wysiłków na rzecz adaptacji do zmian klimatu.

Zagrożenia dla miast wynikające ze zmiany klimatu

Liczba ludności miejskiej w stosunku do populacji wiejskiej rośnie w każdej części świata. Według United Nations Population Fund (2007) świat przechodzi przez największą falę wzrostu miast w historii. W 1800 roku były tylko 2 miasta większe niż milion mieszkańców, do 1950 r. było 75 miast tej wielkości, a do 2000 r. było 380 „milionowych miast”, z czego połowa znajdowała się w Azji (Satterthwaite, 2008). W roku 2008 ponad połowa światowej populacji

mieszkała w miastach i ich okolicach. Przewiduje się, że do 2030 r. liczba ta osiągnie prawie 5 miliardów, przy czym wzrost miast będzie koncentrował się w Afryce i Azji (Bicknell i in., 2009).

Ponieważ miasta koncentrują populację, ekstremalne zdarzenia pogodowe, takie jak intensywne opady, burze cyklonowe lub fale sztormowe, wpływają na znacznie większą liczbę osób niż w przypadku, gdy uderzają w regiony słabiej zaludnione. Takie szkody mogą nasilić się w przyszłości, ponieważ przewiduje się, że ekstremalne zdarzenia pogodowe wzrosną pod względem liczby i intensywności w wyniku zmian klimatu (IPCC, 2007). Burze, powodzie lub susze, mogą mieć poważne konsekwencje dla zdrowia mieszkańców miast (www.unisdr.org). Wiele miast znajduje się na obszarach, które są podatne zarówno na istniejące, jak i prognozowane zagrożenia klimatyczne. Należy zauważyć, że sama ekspansja miast stworzyła zagrożenia poprzez zasypywanie cieków wodnych lub wycinanie sąsiednich lasów, zwiększając ryzyko powodzi i osuwisk. Sposoby budowy miast – ograniczanie roślinności, pokrywanie dużych obszarów nieprzepuszczalnymi powierzchniami i blokowanie naturalnych kanałów odwadniających – sprawiają, że mieszkańcy miast są narażeni na zjawiska takie jak: fale upałów, intensywne opady i inne ekstremalne zjawiska pogodowe, których liczba już wzrasta, prawdopodobnie w wyniku zmiany klimatu.

W wielu rejonach świata gwałtowne zjawiska pogodowe mogą tworzyć warunki ekstremalnego zagrożenia np. gwałtowne powodzie i osuwiska w Caracas, które zabiły 30 000 osób w 1999 r. (Satterthwaite, 2008), powodzie w Szanghaju w 1998 r., które zabiły 3 000 osób i przesiedliły 16 milionów osób w dorzeczu Jangcy (de Sherbinin i in., 2007), ekstremalne upały w Paryżu latem 2003 r., które przyczyniły się do szacunkowych 2 085 zgonów z 15 000 zgonów w całej Francji (le Tertre i in., 2006), powodzie monsunowe w 2005 r. w Mumbaju, które zabiły ponad 1 000 osób (de Sherbinin i in., 2007), intensywne opady deszczu w połączeniu z warunkami przyptywu, które zalały ponad 100 kilometrów kwadratowych Dhaki w latach 1988, 1998 i 2004 (Alam i Rabbani, 2007), huragan Katrina, który zdewastował Nowy Orlean w 2005 r. i zabił ponad 1 800 osób (Glantz, 2008). W Polsce fale upałów i niski stan wody w rzekach w sierpniu 2015 roku, wraz z innymi przyczynami, doprowadził do wprowadzania w Polsce ograniczeń w dostawie energii elektrycznej (tzw. 20. stopień zasilania). Dotknęły one ok. 8 tys. przedsiębiorstw. Również takie zagrożenia jak huraganowy wiatr i silne burze mogą zagrozić mieniu i ludziom prowadząc do zrywania napowietrznych linii energetycznych, niszczenia drzewostanów. W sierpniu 2017 roku na Pomorzu Zachodnim zniszczone zostało 35 km linii wysokiego napięcia, a w kulminacyjnym momencie bez dostaw energii elektrycznej pozostawało ok. 480 tys. odbiorców, a blisko 5 tys. budynków zostało uszkodzonych (Kassenberg i in., 2019). Światowa Organizacja Zdrowia szacuje, że obecnie zmiana klimatu bezpośrednio powoduje ponad 140 tysięcy zgonów rocznie przede wszystkim w Afryce i Południowo-Wschodniej Azji. Do 2030 roku liczba ta wzrośnie o 250 tysięcy zgonów rocznie spowodowanych malarią, stresem cieplnym, biegunką i niedożywieniem. W skali globalnej bezpośrednie koszty ekonomiczne zmiany klimatu związane z pogorszeniem zdrowia mogą wynieść od 2 do 4 miliardów dolarów rocznie. Skutki fal upałów są czasami wzmacniane przez

inne formy stresu środowiskowego. Na przykład ciepło w połączeniu ze zwiększoną ilością aerozoli może powodować choroby płuc i układu krążenia (CCSP, 2008). Efekt miejskiej wyspy ciepła sprawia, że mieszkańcy miast bez dostępu do systemów chłodzenia są szczególnie podatni na fale upałów (Kunkel i in., 2006). Szczególnie w rejonach, których dotychczas te problemy nie dotyczyły w takim stopniu. Możliwość radzenia sobie ze stresem cieplnym różni się w zależności od segmentów populacji. Na przykład osoby starsze mają większe trudności z aklimatyzacją do ciepła, zwłaszcza gdy są narażone na nie po raz pierwszy (Zimmerman i in., 2007). Zmiany demograficzne mogą sprawić, że populacje miejskie będą jeszcze bardziej podatne w przyszłości, ponieważ populacja osób starszych rośnie w liczbach bezwzględnych i względnych (ONZ, 2005).

i. Zmiany temperatury, częstość nocy tropikalnych

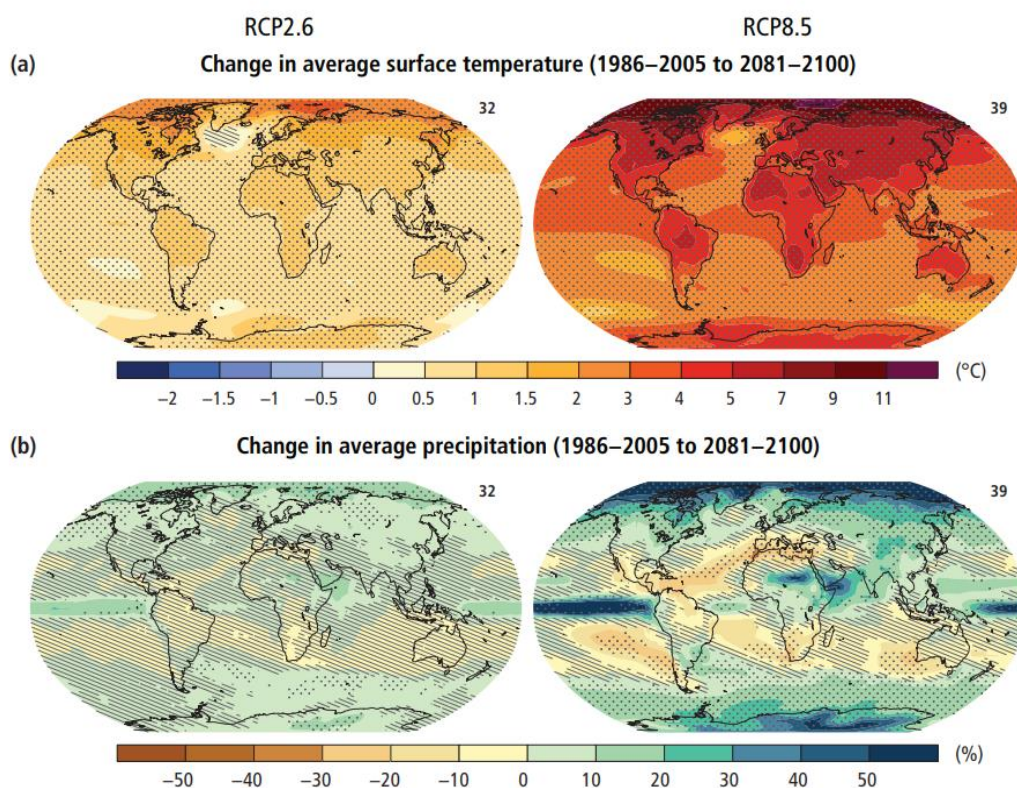
Według raportu IPCC (2022) zmiany klimatu uznaje się za jedno z największych wyzwań XXI wieku, a mieszkańcy miast i osoby przebywające w miastach są kluczowymi sprawcami tych zmian, przy jednoczesnym największym narażeniu na te zmiany. Miastom przypisuje się 70% globalnej emisji gazów cieplarnianych, dlatego działania międzynarodowe, krajowe i lokalne zintensyfikowane zostały na obszarach zurbanizowanych (Raport, 2021).

Spośród czynników związanych z ludzką działalnością, dominujący wpływ ma emisja gazów cieplarnianych, przede wszystkim dwutlenku węgla. W skali dekadowej (lata 2014-2023) przyczyniły się one do ocieplenia o $1,47^{\circ}\text{C}$, a zatem większego niż obserwowane $1,19^{\circ}\text{C}$. Było ono jednak częściowo kompensowane przez inne czynniki antropogeniczne, między innymi aerozole troposferyczne, których wpływ sumarycznie był chłodzący i wyniósł około $-0,27^{\circ}\text{C}$. Łącznie wszystkie czynniki antropogeniczne sprawiły, że ostatnia dekada (2014-2023) była globalnie o $1,19 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ cieplejsza od średniej z lat 1850-1900 (Popkiewicz, 2021).

Prognozy jakie zostały przedstawione w raporcie IPCC (Międzyrządowy Zespół ds. Zmiany Klimatu) obejmują kilka scenariuszy dotyczących globalnego wzrostu temperatury. W raporcie wskazano, że w obecnym klimacie (kiedy wzrost temperatury przekroczył 1°C) przeciętny region afrykański doświadcza rocznie jednej do trzech fal upałów, w świecie cieplejszym o $1,5^{\circ}\text{C}$ takie zdarzenia będą występować ponad dwukrotnie częściej (Weber i in., 2018). Z raportu wynika, że przy zatrzymaniu wzrostu temperatury na poziomie $1,5^{\circ}\text{C}$ średni poziom morza podniesie się do 2100 roku o ok. 10 cm mniej, a prawdopodobieństwo całkowitego zaniku lodu arktycznego latem będzie aż 10 razy mniejsze niż przy ociepleniu o 2°C . Według Rasmussena i in. (2017) w wyniku podniesienia światowego poziomu morza do 2100 roku permanentnie zalane zostaną tereny zamieszkane obecnie przez 46 mln ludzi. Wzrost temperatury o 2°C przyniesie niemal całkowitą zagładę raf koralowych, podczas gdy ambitniejszy cel $1,5^{\circ}\text{C}$ pozwoliłby uchronić 10-30% tych ekosystemów. Kolejnym prognozowanym problemem jaki wystąpi na skutek ocieplenia klimatu jest ilość wody słodkiej dostępnej w rzekach i jeziorach, która spadnie o 9% w rejonie Morza Śródziemnego, 10% w Australii i 7% w Brazylii (Schleussner i in., 2016). Lodowce w wysokich górach Azji, pełniące ważną rolę w dostawach wody dla co najmniej 800 milionów ludzi mieszkających w dole biegu

rzek biorących początek z tych lodowców, do 2100 roku skurczą się o 1/3 (Cogley, 2017). Prognozuje się, że przy wzroście temperatury o 1,5°C susze i destabilizacja wzorców pogodowych będą mieć poważne następstwa dla światowej produkcji żywności. Każdy stopień wzrostu temperatury oznacza redukcję globalnych plonów pszenicy o 6%, ryżu i soi o 3%, a kukurydzy o 7% (Zhao i in., 2017). Produkcja rolna w niektórych rejonach może wzrosnąć, jednak rolnictwo w innych zostanie poważnie dotknięte – na przykład w Afryce Zachodniej przy ociepleniu o 1,5°C prognozowany jest spadek plonów pszenicy o 25% (Schleussner i in., 2016). Ucierpi też rybołówstwo – szacuje się, że na każdy stopień ocieplenia połowy ryb – obecnie wynoszące ok. 82 mln ton – spadną o co najmniej 3 mln ton (Cheung i in., 2016).

Według scenariuszy zmian klimatu RCP, które zakładają cztery możliwe ścieżki wzrostu temperatury do roku 2100, średnia roczna temperatura powietrza w badanym horyzoncie czasowym wykazuje tendencję wzrostową od najbardziej pozytywnego scenariusza (RCP 2.6 – wzrost średniej temperatury poniżej 2°C) oraz pesymistycznego (RCP 8.5 – wzrost temperatury powyżej 3°C) (rysunek 5). Szacuje się, że wzrost liczby gorących dni i nocy, intensywność i częstotliwość fal upałów, a tym samym ryzyko wystąpienia pożarów naturalnych i niskich opadów deszczu, w sposób bardzo znaczący podniesie ryzyko zachorowań na udar, wyczerpanie z powodu ciepła – szczególnie wśród osób pracujących na zewnątrz budynków (rolników, budowniczych itp.), chorób układu krążenia, układu oddechowego czy chorób nerek (Muras, 2018).



Rysunek 5. Projekcja zmiany temperatury Ziemi w ostatnich dwóch dekadach XXI wieku w zależności od przyjętego scenariusza

Źródło: Climate Change (2014).

Według IMGW (2024) średnia temperatura obszarowa Polski osiągnęła 9,1°C podczas gdy w okresie referencyjnym 1961-1990 było to 7,5°C. W roku 2014 średnia temperatura roczna osiągnęła 9,3°C, bijąc rekord z roku 2000 (9,1°C), w 2015 było to już 9,4°C, następnie rekordy były bite kolejno w 2018 (9,5°C) i 2019 (9,9°C). W całym okresie pomiarów instrumentalnych w Polsce, prowadzonych od 1781 roku, aż do roku 1988, średnia temperatura roczna z reguły nie przekraczała 10,0°C (wartości lokalne, a nie średnia obszarowej). Jedynym wyjątkiem był najcieplejszy w tamtych czasach rok 1934, w którym średnia temperatura na (obecnym) terenie Polski wyniosła 9,0°C: we Wrocławiu odnotowano wtedy 10,2°C, w Szczecinie 10,1°C, a w stacjach Poznań-Ławica i w Zielonej Górze – 10,0°C. Średnia temperatura sezonu letniego (czerwiec-sierpień) była w okresie referencyjnym 1991-2020 aż o 1,4°C wyższa, niż w latach 1961-1990 i wyniosła 18,0°C (średnia obszarowa dla Polski, wraz z regionami górskimi). W sezonie zimowym w latach 2011-2020 zaobserwowano wzrost temperatur o 1,7°C w stosunku do okresu referencyjnego 1961-1990. Zaobserwowano wzrost rocznej liczby dni upalnych, z temperaturą maksymalną przekraczającą +30°C. W latach 1961-1990 notowano przeciętnie od 1-2 takich dni na Podlasiu, Suwalszczyźnie i Pomorzu, do około 6 na zachodnich krańcach naszego kraju, przy czym wartość przeciętna dla Polski wynosiła 3,5 dnia rocznie. Sporadyczne dawniej dni upalne stały się dużo częstsze: w ostatniej dekadzie w południowo-zachodniej części kraju notowano ich przeciętnie aż 14-15. Najbardziej obfity w dni upalne był rok 2015 – w Opolu zanotowano ich aż 37. Natomiast liczba dni z temperaturą średnią dobową < 0°C (termiczna zima) wyraźnie spada. W latach 1961-1990 notowaliśmy w naszym kraju średnio 69 takich dni (na nizinach od poniżej 50 na krańcach zachodnich do ponad 90 na Suwalszczyźnie). W ostatniej dekadzie takich dni było przeciętnie zaledwie 48: od poniżej 30 na północnym zachodzie, do ok. 60 na północnym wschodzie. Wyjątkowy pod tym względem był rok 2020, gdy miejscami odnotowano zaledwie 3-4 takie dni. Maleje również średnia liczba dni bardzo mroźnych, z temperaturą średnią dobową niższą od -10°C. Przeciętna ich liczba w latach 1961-1990 wahała się od 2-4 dni na zachodzie, do ponad 14 na północnym wschodzie kraju. W ostatniej dekadzie w północno-zachodniej Polsce prawie już ich nie było, a na krańcach północno-wschodnich ich liczba spadła poniżej 10 (Djaków, 2021).

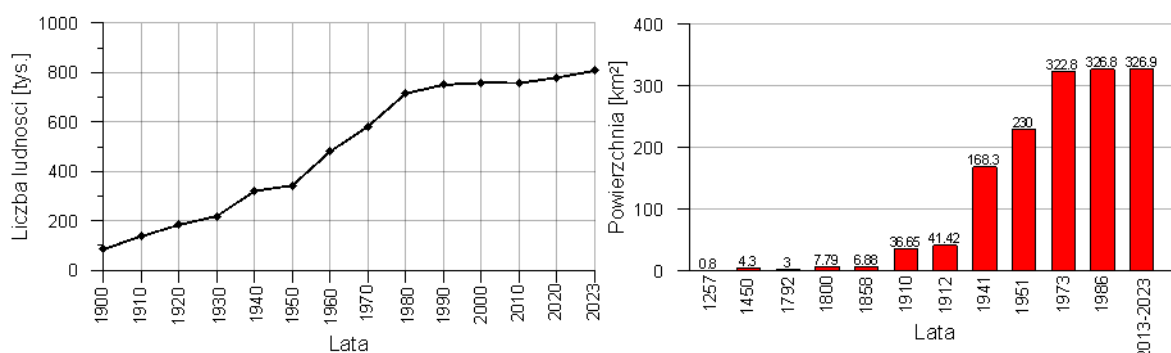
Na podstawie scenariuszy zmian klimatu opracowanych dla Polski pod koniec bieżącego stulecia należy spodziewać się znacznego wzrostu temperatury, przy czym ostatnie trzydziestolecie może charakteryzować się wzrostem temperatury powyżej 4,5°C w stosunku do okresu przedprzemysłowego (tabela 2).

Tabela 2. Zmiany wybranych charakterystyk klimatu Polski do końca XXI wieku

	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	2011-2020	2021-2030	2041-2050	2061-2070	2071-2090
Średnia temperatura roczna [°C]	7,4	7,8	8,0	8,2	8,6	8,7	9,3	10,1	10,3
Liczba dni z $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$	114	107	101	102	97	97	82	72	65
Liczba dni z $T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$	27	27	30	29	36	35	37	46	52
Liczba stopniodni $T < 17^{\circ}\text{C}$	3 616	3 488	3 384	3 374	3 237	3 236	3 005	2 803	2 664
Długość okresu wegetacyjnego $T > 5^{\circ}\text{C}$ (w dniach)	199	205	210	217	223	224	237	247	253

Źródło: Strużewska i in. (2020).

Kraków jest drugim co do wielkości miastem w Polsce, zarówno pod względem ludności, jak i powierzchni. Miasto zajmuje powierzchnię 327 km²., podzielone jest na 18 dzielnic, obecnie miasto zamieszkuje 806 201 mieszkańców (GUS, 2023) (rysunki 6a, 6b). Przez kilka stuleci Kraków należał do miast terytorialnie małych i gęsto zaludnionych. W 1977 roku został opracowany i zatwierdzony plan zagospodarowania przestrzennego miasta do roku 1990.



Rysunek 6. Liczba ludności Krakowa w latach 1900-2023 (lewa) i rozwój terytorialny Krakowa w latach 1257-2023 (prawa)

Źródło: BDL GUS, <https://bdl.stat.gov.pl>

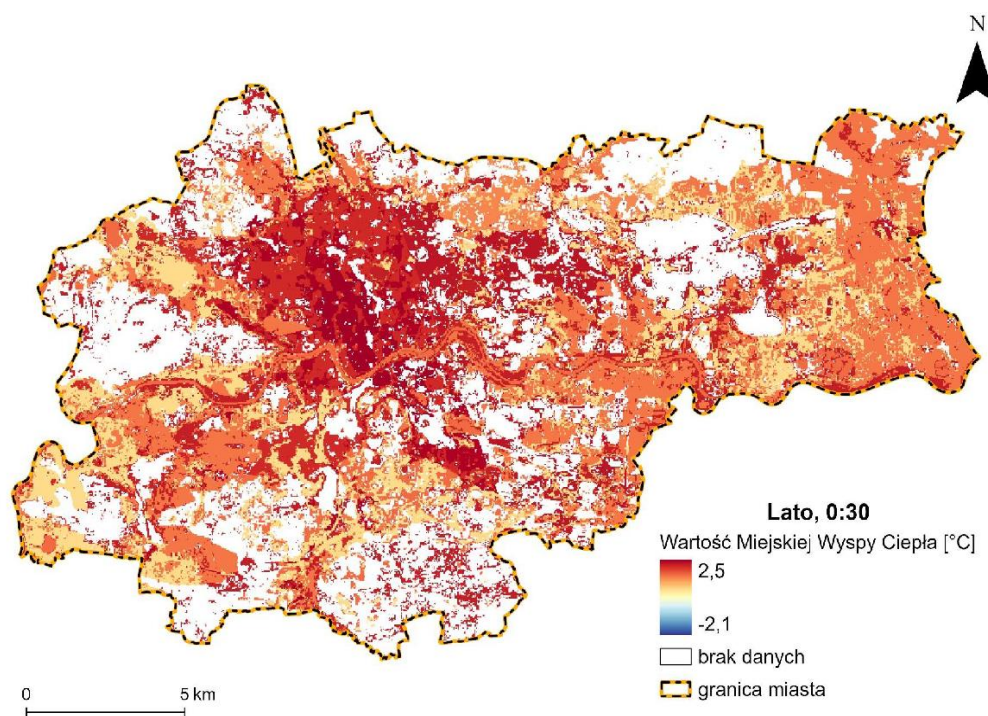
Wpływ intensywnej urbanizacji na wzrost temperatury powietrza jest dobrze udokumentowany w literaturze naukowej dotyczącej występowania miejskich wysp ciepła, zarówno powierzchniowych (ang. *surface urban heat island*), jak i atmosferycznych (ang. *atmospheric urban heat island*) (Matuszko i in., 2023 za Oke, 1973; Landsberg, 1981; Arnfield, 2003; Akbari i in., 2008; Kaplan i in., 2018). Powstaje ona z powodu akumulacji ciepła przez materiały, z których zbudowane są budynki, place, ulice, oraz emisję ciepła antropogenicznego uwalnianego do atmosfery w wyniku procesów spalania m.in. węgla i gazu, a także z transportu samochodowego (Matuszko i Piotrowicz, 2015). Rozwój urbanizacji jak i industrializacji miasta Krakowa był przyczyną znacznego zmniejszenia się powierzchni terenów przepuszczalnych, co było przyczyną wzrostu emisji ciepła antropogenicznego i gazów cieplarnianych. Skutkiem tego było powstanie na terenie miasta wysp ciepła, czyli obszarów o wyższych wartościach temperatury powietrza w porównaniu z terenami otaczającymi (m.in. Lewińska, 2000; Fortuniak, 2003; Szymanowski, 2004; Matuszko

i Piotrowicz, 2015). W latach 50. XX w. zasięg miejskiej wyspy ciepła (MWC) obejmował jedynie obszar śródmiejski, następnie w latach 60. nad obszarem Nowej Huty powstała druga wyspa ciepła (Lewińska, 2000). Obecnie największa powierzchniowa wyspa ciepła znajduje się na terenach przemysłowych dawnej Huty im. T. Sendzimira, wcześniej im. Lenina. Drugi obszar o podwyższonej temperaturze obejmuje zwartą zabudowę w centrum miasta, gdzie dominują tereny nieprzepuszczalne, a udział błękitno-zielonej infrastruktury jest znikomy (Matuszko i in., 2023).

W związku z postępującym ociepleniem klimatu, średnia roczna temperatura powietrza wzrasta (Kraków-Balice 8,6°C; Kraków-Obserwatorium 9,1°C). W całym XX w. temperatura roczna wzrosła w Krakowie o 1,5°C (Piotrowicz, 2007). W mieście w ostatnich latach wzrosła liczba dni gorących ($t_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$), upalnych ($t_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$) oraz nocy gorących ($t_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$). Według analiz przeprowadzonych przez Matuszko i in. (2023), w roku 2018 padł w Krakowie rekord – wystąpiło 100 dni gorących. Analizy temperatury powietrza przeprowadzone przez Matuszko i Piotrowicza (2015) dla dwóch stacji meteorologicznych na terenie Krakowa (centrum miasta i obszar pozamiejski) wykazały, że w pierwszej dekadzie XXI wieku było średnio w roku o około 8 dni gorących i 5 dni upalnych mniej odnotowanych na stacji w terenie pozamiejskim niż w centrum miasta. Kilkudniowy ciąg dni i nocy upalnych powoduje u ludzi złe samopoczucie (zmęczenie, rozdrażnienie), wzrost tętna i obniżenie ciśnienia krwi, przyspieszenie oddechu (zaburzenie termoregulacji). Przyczynia się także do wzrostu umieralności na choroby układu sercowo-naczyniowego i oddechowego oraz zwiększenia liczby zdarzeń na drogach i wypadków przy pracy. W Krakowie rekordowo dużą liczbę nocy z $t_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$ zanotowano w 2006 i 2010 r. – odpowiednio 9 i 10 nocy. W XXI w. noce gorące pojawiają się w coraz dłuższych ciągach, np. 5-dniowym (20–25 lipca 2006 r.) i 7-dniowym (16–22 lipca 2007 r.) (Matuszko i in., 2023). W trakcie fal upałów i suszy możliwe jest okresowe zmniejszenie zasobów wodnych w dopływach Wisły, bardziej wrażliwych na suszę meteorologiczną. Dopływy Wisły (Rudawa, Dłubnia, Sanka) są istotnym źródłem zaopatrzenia miasta w wodę pitną. Może również dojść do wtórnego zanieczyszczenia wody w sieci i zbiornikach wodociągowych przez bakterie oraz wzrostu intensywności korozji chemicznej i mikrobiologicznej (Plan adaptacji..., 2020). W Krakowie maleje natomiast liczba fal chłódów (1981–2015 – 77 przypadków Balice, 55 przypadków Ogród Botaniczny), które jednak dalej występują, a temperatura powietrza w nich osiąga nawet do -20°C . Największe różnice temperatury powietrza w Krakowie związane są z występowaniem silnej inwersji termicznej. Tworzeniu się takich warunków sprzyja występowanie w Tatrach wiatru halnego. Kolejnym zagrożeniem są okresy bezopadowe z wysoką temperaturą powietrza ($> 25^{\circ}\text{C}$), których liczba wzrasta z roku na rok. Mogą prowadzić do częstszego występowania okresów suszy na terenie miasta (Plan adaptacji..., 2020). Wykazane zmiany temperatury mogą pogłębiać zjawiska negatywne, ale mogą prowadzić również do m.in. wydłużenia okresu wegetacyjnego (wprowadzenie do upraw nowych gatunków roślin), skrócenia okresu grzewczego, wydłużenia letniego okresu turystycznego przy skróceniu sezonu zimowego (Kassenberg i in., 2019).

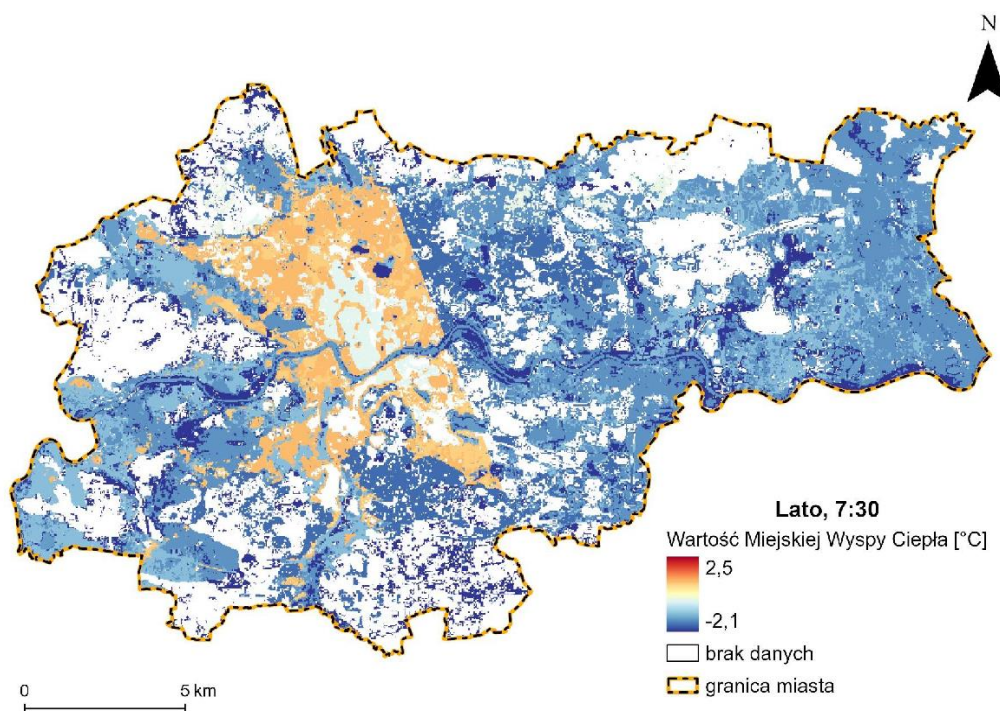
Zjawiska klimatyczne wzajemnie ze sobą oddziałują, często wzmacniając negatywne skutki poszczególnych z nich. Przykładowo miejska wyspa ciepła w połączeniu z falą upałów powoduje brak przewietrzania Krakowa i obniżenia temperatury w nocy oraz związany z tym dyskomfort dla mieszkańców. Postępująca urbanizacja wzmacnia niekorzystne oddziaływanie zjawisk klimatycznych i wrażliwość miasta poprzez uszczelnienie zlewni, zmniejszanie powierzchni zieleni, pogorszenie warunków przewietrzania miasta, zwiększenie zasięgu i intensywności miejskiej wyspy ciepła.

W tym miejscu warto odwołać się do ekspertyzy dot. Miejskiej Wyspy Ciepła w Krakowie przygotowanej na zlecenie Wydziału Gospodarki Komunalnej i Klimatu Urzędu Miasta Krakowa, w tym mieście „*największa intensywność MWC przypada na godziny nocne, we wszystkich porach roku. Intensywność MWC jest kształtowana przede wszystkim przez rodzaj użytkowania/pokrycia terenu i wzrasta ze wzrostem gęstości, zwartości zabudowy. Dane z godzin nocnych pokazują, że w Krakowie należy raczej mówić o archipelagu miejskich wysp ciepła niż o jednej MWC*”. Poniżej przedstawiono przykładowe mapy MWC w Krakowie.



Rysunek 6. Zróżnicowanie przestrzenne średniej sezonowej intensywności MWC w Krakowie latem w wybranych terminach doby (0:30 czas UTC)

Źródło: UMK (2023, s. 76).



Rysunek 7. Zróżnicowanie przestrzenne średniej sezonowej intensywności MWC w Krakowie latem w wybranych terminach doby (0:30 czas UTC)

Źródło: UMK (2023, s. 77).

ii. Zmiany w opadach, struktura, czas pomiędzy opadami

Jak opisano w rozdziale powyżej, gazy cieplarniane zwiększają średnią temperaturę atmosfery ziemskiej. Średni wzrost temperatury troposfery (najniższej warstwy atmosfery) oparty na badaniach z satelitów szacuje się na 0,14–0,20°C na dekadę w latach 1978–2011. Spośród 11 najcieplejszych lat od 1901 do 2010 roku, wszystkie przypadły na wiek XXI (lata 2001–2010). Warto zaznaczyć jakie może mieć skutki taki wzrost temperatury, bo nie jest to tylko ogólny wzrost temperatury, ale przede wszystkim zmiana rozkładu energii na kuli ziemskiej. Zmiana taka spowoduje zmianę klimatu w wielu regionach świata. Prognozuje się, że wzrost ilości opadów nie będzie więc równomierny w bliskiej przyszłości w skali globu. Ze względu na zmieniającą się dynamikę procesów zachodzących w atmosferze, może to oznaczać dłuższe okresy suche rozdzielone krótkimi intensywnymi opadami. Wyższa temperatura atmosfery oznacza większe parowanie wody z powierzchni (tak wód, jak i lądu). W związku z tym suche tereny staną się w przyszłości jeszcze bardziej suche, a te, gdzie już teraz jest dużo wilgoci, bardziej mokre, ponieważ więcej wody w atmosferze oznacza też wzrost ilości opadów. Wzrost średniej globalnej temperatury oznacza więcej energii w atmosferze, a więcej energii przekłada się na większą gwałtowność wszystkich zachodzących w niej zjawisk. Ocieplenie klimatu wpływa więc na wzrost intensywności opadów, jak również na występowanie ekstremów pogodowych, takich jak z jednej strony: huragany, sztormy, cyklony, powodzie, nawalne opady, a z drugiej: fale upałów, susze, pożary (<https://aerisfuturo.pl/baza-wiedzy/zmiany-klimatu>). Takie zjawiska pogodowe mogą mieć poważny wpływ na zdrowie mieszkańców miast poprzez bezpośrednie obrażenia ciała;

uszkodzenia mieszkań, dróg, usług wodnych i dystrybucji energii elektrycznej; zakłócenia w transporcie, zatrudnieniu, służbie zdrowia; i inne mechanizmy.

Długookresowa tendencja zmian wysokości opadów atmosferycznych na świecie zaznaczyła się na wielu większych obszarach, choć zmiany te są bardzo zróżnicowane przestrzennie i czasowo. W latach 1900-2005 wysokość opadów wzrosła znacząco we wschodnich częściach obu Ameryk, północnych regionach Europy, w północnej i centralnej Azji. Opady istotnie zmalały natomiast na obszarze Sahelu, w basenie Morza Śródziemnego, w południowej Afryce oraz w części południowej Azji. Na wielu obszarach zwiększyła się intensywność opadów; deszcze o dużym natężeniu częściej wystąpiły nawet na terenach o zmniejszonej całkowitej sumie opadów. Długookresowa tendencja zmian wysokości opadów atmosferycznych zaznaczyła się na wielu większych obszarach, choć zmiany te są bardzo zróżnicowane przestrzennie i czasowo. W latach 1900-2005 wysokość opadów wzrosła znacząco we wschodnich częściach obu Ameryk, północnych regionach Europy, w północnej i centralnej Azji.

Na terenie Polski opady atmosferyczne wykazują dużą zależność od ukształtowania powierzchni. Średnia suma opadów wynosi blisko 600 mm, ale opady wahają się od poniżej 500 mm w środkowej części Polski do niemal 800 mm na wybrzeżu i ponad 1000 mm w Tatrach. Najwyższe sumy opadów przypadają na miesiące letnie, w tym okresie są 2-3-krotnie większe niż zimą, a w Karpatach nawet 4 razy wyższe. Deszcze nawalne (opady atmosferyczne o natężeniu >2 mm/min.) zdarzają się od kwietnia do września z największą częstotliwością w lipcu i wiążą się często z burzami. Największy opad odnotowano w czerwcu 1973 r. na Hali Gąsienicowej w Tatrach – 300 mm wody w ciągu doby.

iii. Wzrost aktywności burzowej, lokalne podtopienia

W ostatnich latach obserwuje się wzrost zagrożeń wywołanych ekstremalnymi zjawiskami meteorologicznymi, takimi jak intensywne kilkudniowe opady deszczu o charakterze rozlewnym oraz krótkotrwałe deszcze ulewne i nawalne powodujące wezbrania i powodzie lokalne. W dokumencie Polityka Ekologiczna Państwa 2030 (PEP 2030), zwrócono uwagę, że we wszystkich częściach Polski wzrośnie ryzyko występowania powodzi. Przyczyną takiego stanu rzeczy są m.in. niedostateczna zdolność retencyjna naturalnych i sztucznych zbiorników oraz znaczący wzrost udziału powierzchni nieprzepuszczalnych, szczególnie w miastach. Z punktu widzenia wzrostu zagrożenia powodziowego na terytorium Polski, wynikającego ze zmian klimatu, warto zwrócić szczególną uwagę na zjawisko powodzi błyskawicznej (ang. *flash flood*), które uważa się za jedno z charakterystycznych następstw zmian klimatu (Kundzewicz, 2012; Babś i Marcinowicz, 2019). Powódź błyskawiczna jest definiowana w nauce jako nagłe zalanie lub podtopienie terenu w wyniku wystąpienia silnego (co najmniej 30 mm), krótkotrwałego (trwającego od kilkunastu minut do 12 godzin) opadu deszczu na stosunkowo niedużym fragmencie naturalnej lub zurbanizowanej zlewni, nawet bez udziału cieku wodnego (Ostrowski i in., 2012). W tak rozumianym pojęciu mieszczą się również podtopienia, które niekoniecznie zostały spowodowane wystąpieniem wody z koryta

rzeki. Jeżeli podtopienia występują na terenie miasta, taką powódź błyskawiczną określa się jako „powódź miejską” (ang. *urban flood*) (Pociask-Karteczka i in., 2017). Prognozuje się, że powodzi miejskich, również w Polsce, będzie coraz więcej. Powodzie te są trudne do przewidzenia, ponieważ ich występowanie jest uzależnione od różnego rodzaju czynników – oprócz wielkości opadów należy wziąć pod uwagę również ukształtowanie terenu i jego przepuszczalność. Najczęstszą przyczyną powodzi miejskich są gwałtowne i intensywne opady, dla których brakuje ujścia w zwartej zabudowie miejskiej. W efekcie dochodzi do punktowych podtopień różnych elementów infrastruktury, takich jak ulice, przejazdy pod wiadukdami czy węzły komunikacyjne. W tej sytuacji nawet znaczne inwestycje w tzw. małą retencję mogą nie być wystarczające dla zniwelowania zagrożenia podtopieniami (Kolerski i Kalinowska, 2017). Problem potęguje dodatkowo obowiązek odprowadzania wód opadowych do systemów kanalizacji zbiorczej, co jest powodem jej przeciążania w czasie silnych opadów (Romanowicz i in., 2014).

Przykładem miasta które zmagają się z problemem lokalnych podtopień i powodzi błyskawicznych jest Kraków. Analizując przebieg wieloletnich sum opadów w Krakowie nie obserwuje się wyraźnego trendu, a jedynie mniej lub bardziej regularne fluktuacje, czyli na przemian wzrosty i spadki sum opadów. Występuje duża zmienność opadów z roku na rok. Najwyższa suma opadów (1 126 mm) wystąpiła w 2010 r., a najniższa (448 mm) w 1993 r. W Krakowie występują obfite opady kilkudniowe, charakterystyczne dla Karpat i ich przedpola, związane ze spiętrzaniem się wilgotnych mas powietrza napływających z sektora północnego, które są najczęściej przyczyną powodzi w dorzeczu górnej Wisły. W ciepłej połowie roku zdarzają się ulewy (powyżej 50 mm na dobę), powodujące lokalne podtopienia i powodzie błyskawiczne. Rekordowy opad zdarzył się 5 sierpnia 2021 r., kiedy suma dobową wyniosła 103,4 mm. Coraz częściej zdarzają się opady o dużym natężeniu i jednocześnie coraz częściej pojawiają się okresy bezopadowe. Taki rozkład opadów jest niekorzystny w aspekcie gospodarowania wodą. Długie okresy bezopadowe (najdłuższy trwał 38 dni i wystąpił w dniach 26.10–2.12.2011 r.) skutkują zarówno spadkiem wilgotności gleby w wyniku intensywnego parowania, jak i obniżeniem się przepływów w rzekach i zwierciadła wód podziemnych, co może utrudniać zaopatrzenie miasta w wodę. Na obszarach zurbanizowanych przy opadach o dużym natężeniu aż 70% wody opadowej jest bezpowrotnie tracone. Woda deszczowa szybko spływająca po uszczelnionej powierzchni ulic, chodników, placów, parkingów jest odprowadzana systemem kanalizacji do rzek. W wyniku szybkiego odpływu deszczówki nie ma wody na parowanie, które obniżałoby temperaturę powietrza oraz brakuje jej na utrzymanie roślin, które dawałyby cień i hamowały nagrzewanie powierzchni (Matuszko i Matuszko, 2020). Problemem związanym z infrastrukturą miejską jest niewydolny system odprowadzenia nadmiaru wody z dróg, placów, dachów, co prowadzi do szybkiego spływu wody do miejsc niżej położonych, np. przejść podziemnych, dróg pod mostami itp. Występowanie ekstremalnych zjawisk pogodowych uważane jest za skutek współczesnego ocieplenia (IPCC, 2022). Groźne zjawiska meteorologiczne w Krakowie i powiecie krakowskim w świetle interwencji straży pożarnej i policji są opisane w publikacji Piotrowicz i in. (2020). W Krakowie w pierwszej dekadzie XXI w. liczba dni z burzą wzrosła w stosunku do poprzedniego stulecia

średnio o 5 dni w roku, jednak w ostatnim dziesięcioleciu przyrost ten uległ zahamowaniu. Wydłużył się natomiast sezon burzowy, coraz częściej burze występują także w chłodnej części roku. Oprócz czynników cyrkulacyjnych, wzrost częstości zimowych burz może być związany ze zwiększoną liczbą jąder kondensacji (zanieczyszczenie powietrza w mieście) i dużą emisją sztucznego ciepła w sezonie grzewczym. Przykładem groźnej burzy zimowej było zdarzenie z 17.02.2022 r. Chmurom burzowym towarzyszyły w tym dniu silne porywy wiatru, które spowodowały przewrócenie się dźwigu i śmierć 2 osób.

2.2. Potencjalne konsekwencje dla miast wynikające ze zmiany klimatu

Zmiana klimatu stanowi jedno z największych zagrożeń dla ludzkości w XXI wieku (climatejust.org.uk), a jej skutki są szczególnie widoczne w środowisku miejskim. Miasta, jako obszary intensywnie zurbanizowane, są zarówno ofiarami, jak i częściowo sprawcami tych zmian. Wzrost temperatury, nasilające się ekstremalne zjawiska pogodowe, zagrożenia dla zdrowia fizycznego i psychicznego mieszkańców, a także wyzwania związane z dostępem do podstawowych zasobów, takich jak czysta woda, powietrze czy żywność, to tylko niektóre z potencjalnych konsekwencji, które wymagają natychmiastowego uwzględnienia w strategiach urbanistycznych.

Zmiany klimatyczne mają głęboki wpływ na bezpieczeństwo mieszkańców miast. Ekstremalne fale upałów, zjawiska takie jak miejskie wyspy ciepła, powodzie miejskie spowodowane intensywnymi opadami oraz wzrost poziomu mórz, prowadzą do zwiększonego ryzyka utraty mienia, zdrowia, a nawet życia. Częstsze występowanie klęsk żywiołowych wpływa na funkcjonowanie systemów infrastruktury krytycznej, takich jak dostawy wody i energii, transport publiczny czy opieka zdrowotna, co powoduje jeszcze większą podatność miast na skutki tych zjawisk.

Miasta są także epicentrami wyzwań związanych z dostępem do zasobów. Kryzys wodny, wywołany zmniejszeniem dostępności czystej wody pitnej w wyniku suszy lub zanieczyszczenia źródeł, staje się coraz bardziej odczuwalny, szczególnie w dużych aglomeracjach. Jednocześnie, jako obszary o dużej koncentracji ludności, miasta odgrywają kluczową rolę w zapewnieniu bezpieczeństwa żywnościowego, którego podtrzymanie staje się trudne w warunkach niestabilnych dostaw i zakłóceń w łańcuchach produkcji żywności wywołanych zmianami klimatycznymi.

Zmiana klimatu wpływa także na zdrowie psychiczne mieszkańców miast, wprowadzając elementy niepewności i stresu związanego z częstszymi katastrofami naturalnymi, utratą poczucia stabilności środowiskowej oraz problemami społecznymi, które nasilają się w warunkach kryzysowych. Pogarszające się warunki życia i rosnące nierówności w dostępie do zasobów, takich jak zielone przestrzenie publiczne, zwiększają podatność społeczności na problemy zdrowotne i ekonomiczne.

Aby przeciwdziałać tym wyzwaniom, kluczowe jest wdrożenie zasad zdrowej urbanistyki, które integrują globalne i lokalne strategie (glokalność) w zarządzaniu miejskim. Połączenie wiedzy urbanistów z doświadczeniem specjalistów ds. zdrowia publicznego pozwala projektować miasta bardziej odporne na zmiany klimatyczne. Konsolidacja zdrowia społeczności z planowaniem przestrzennym umożliwia wprowadzanie rozwiązań, które nie tylko łagodzą negatywne skutki klimatyczne, ale także wzmacniają adaptacyjność miast (Duhl i Sanchez, 1999).

Globalizacja, choć niesie za sobą negatywne skutki, takie jak przyspieszona urbanizacja czy emisja gazów cieplarnianych, staje się również narzędziem umożliwiającym międzynarodową współpracę w walce z kryzysem klimatycznym. Dzięki wymianie doświadczeń, innowacyjnych technologii i zrównoważonych praktyk projektowych możliwe jest przeciwdziałanie negatywnym konsekwencjom zmian klimatycznych, szczególnie w obszarach miejskich, które w wielu przypadkach same w sobie nie są głównymi emitentami gazów cieplarnianych.

Ostatecznie przyszłość miast w dobie zmian klimatycznych zależy od ich zdolności do przekształcenia się w przestrzenie zrównoważone, odporne i inkluzywne, w których współpraca między działaniami globalnymi a lokalnymi stanowi podstawę przeciwdziałania kryzysowi klimatycznemu oraz ochrony zdrowia społeczności miejskich.

Cele i strategie zdrowej urbanistyki w odpowiedzi na zmiany klimatyczne, koncentrują się na zapewnieniu sprawiedliwości klimatycznej i niwelowaniu nierówności zdrowotnych, szczególnie w kontekście zmian klimatycznych. Kluczowe strategie obejmują:

- **ochronę zdrowia publicznego** poprzez identyfikację determinant zdrowia związanych z urbanistyką, zmniejszenie występowania chorób oraz poprawę dostępu do zasobów;
- **adaptację infrastruktury miejskiej** poprzez zmniejszenie efektu miejskiej wyspy ciepła, rozwój zielonej infrastruktury, otwieranie centrów chłodniczych oraz zabezpieczanie terenów zalewowych i osuwisk;
- **zarządzanie wodą** przez zwiększenie przepuszczalności terenów, wykorzystanie zielonych dachów, zbiorników wodnych i technologii odsalania wody;
- **efektywne zarządzanie zasobami** dzięki instalacjom niskoemisyjnym, projektowaniu budynków redukujących zapotrzebowanie na energię oraz stosowaniu materiałów budowlanych z recyklingu;
- **ochronę różnorodności biologicznej** poprzez tworzenie siedlisk, promowanie łączności ekologicznej oraz ograniczenie migracji gatunków związanej ze zmianami klimatycznymi;
- **poprawę mobilności miejskiej** poprzez rozwój transportu publicznego, infrastruktury dla mobilności aktywnej oraz ograniczenie podróży samochodowych;
- **zmniejszenie zanieczyszczeń** – hałasu, światła oraz emisji dwutlenku węgla.

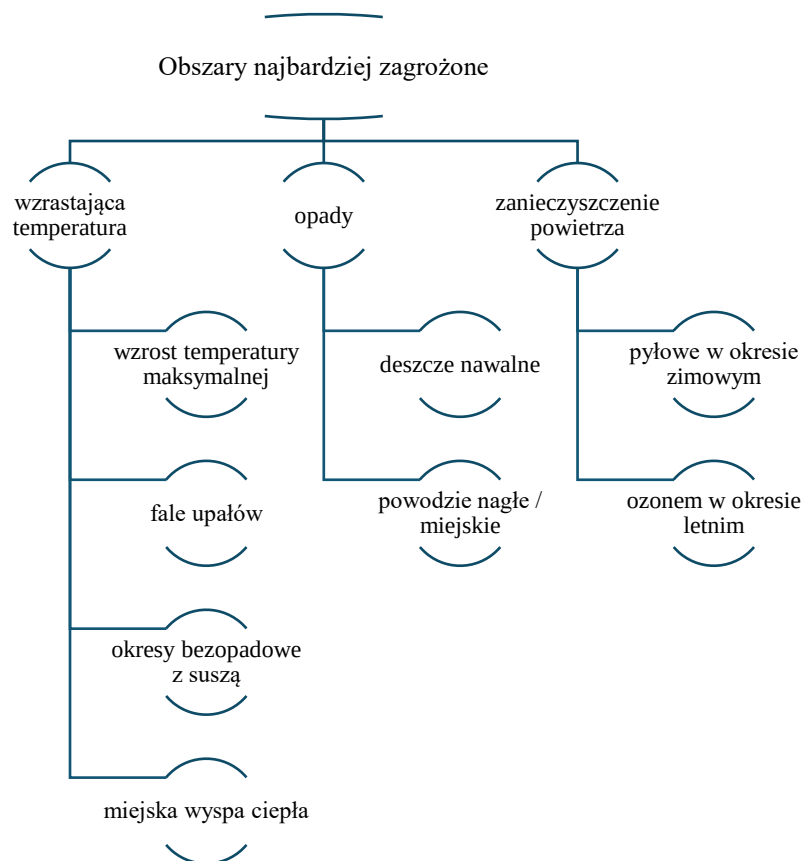
Te kompleksowe działania mają na celu zwiększenie odporności miast, poprawę jakości życia mieszkańców i stworzenie zrównoważonego środowiska miejskiego w obliczu wyzwań związanych z globalnym ociepleniem.

3. Przeciwdziałanie nadmiernemu nagrzewaniu się miasta – działania wraz z przykładami z wybranych miast (Polska i zagranica)

3.1. Miejski plan adaptacji do zmian klimatu (MPA) na przykładzie Krakowa

„Plan adaptacji miasta Krakowa do zmian klimatu do roku 2030” został przyjęty uchwałą nr XXXVI/933/20 Rady Miasta Krakowa z dnia 26 lutego 2020 r. Plan został przygotowany w ramach projektu „Wczujmy się w klimat”, do którego w roli liderów przystąpiły 44 miasta w Polsce. Od momentu uchwalenia planu została wykonana jedna aktualizacja (Uchwała CXXIII/3351/23 Rady Miasta Krakowa z dnia 22 listopada 2023 r.) w zakresie Załącznika nr 2 określającego listę działań adaptacyjnych, wraz z przypisanymi jednostkami aktualnie odpowiedzialnymi za ich realizację.

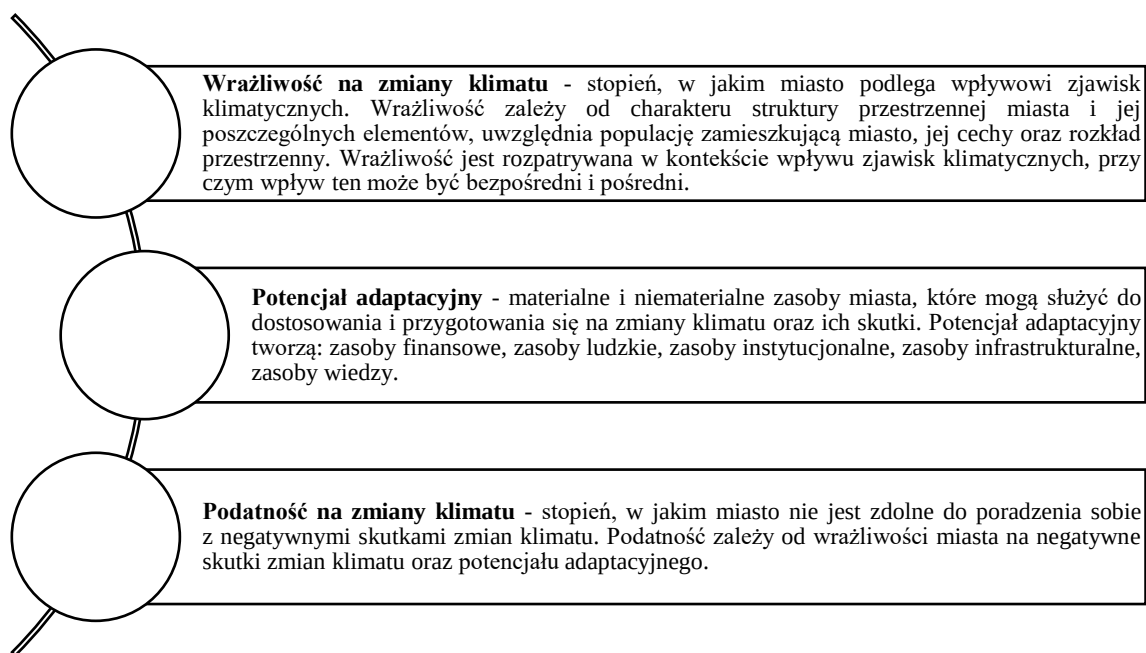
Głównym celem miejskiego planu adaptacji (MPA) jest zdiagnozowanie zagrożeń klimatycznych, podatności miasta na poszczególne czynniki środowiskowe oraz określenie jego możliwości adaptacyjnych. W planie adaptacji miasta Krakowa największe zagrożenia zidentyfikowano w obszarach (rysunek 9): wzrastająca temperatura (wzrost temperatury maksymalnej, fale upałów, okresy bezopadowe z suszą, miejska wyspa ciepła), opady (deszcze nawalne, powodzie nagłe/miejskie), zanieczyszczenie powietrza (zanieczyszczenia pyłowe w okresie zimowym, zanieczyszczenia ozonem w okresie letnim), a za sektory najbardziej wrażliwe na zagrożenia uznano zdrowie publiczne (szczególnie w przypadku grup wrażliwych, czyli osób powyżej 65. roku i poniżej 5. roku życia, osoby z ograniczoną mobilnością oraz osoby bezdomne), gospodarka wodna (zaopatrzenie w wodę, gospodarka ściekowa, infrastruktura przeciwpowodziowa i odwadnianie miasta), transport (szynowy, drogowy, publiczny miejski), tereny zabudowy mieszkaniowej o wysokiej intensywności z uwzględnieniem terenów zieleni (zwarta zabudowa historyczna, śródmiejska i współczesna zabudowa blokowa).



Rysunek 9. Obszary najbardziej zagrożone wskazane w MPA dla Krakowa

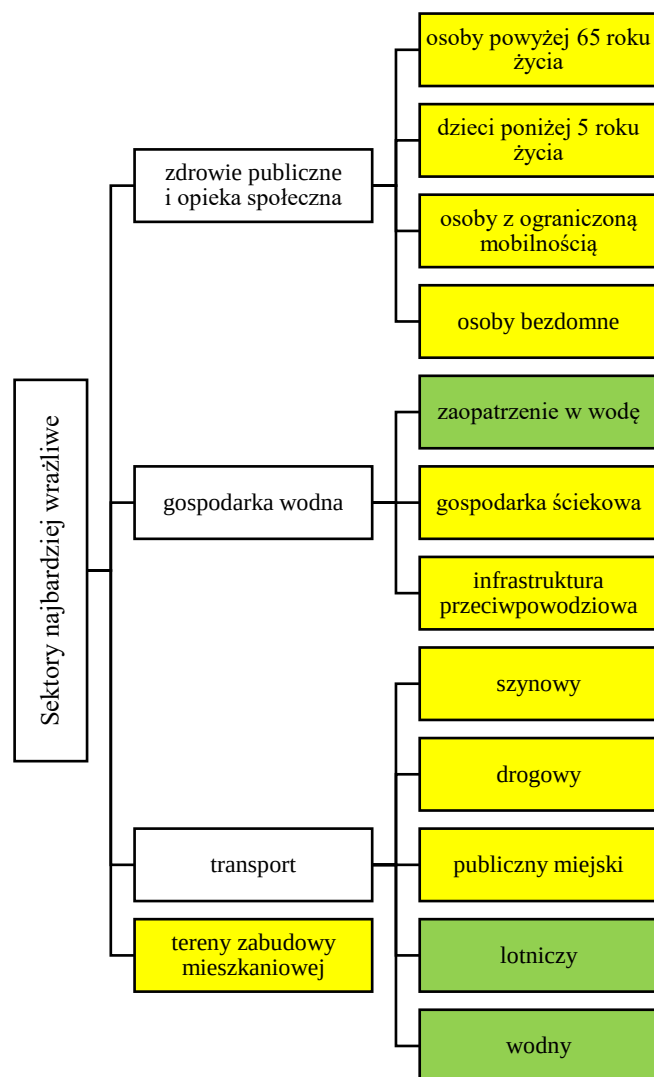
Źródło: opracowanie własne.

W ramach opracowywania MPA dokonuje się oceny: *wrażliwości miasta na zmianę klimatu*, *potencjału adaptacyjnego miasta* oraz *podatności miasta na zmianę klimatu*. Zdefiniowanie tych pojęć przedstawiono na rysunku 9. Podatność określa się jako „sumę” *wrażliwości* i *potencjału adaptacyjnego miasta*, wg zasady: wysoka *wrażliwość* i niski *potencjał* oznacza wysoką *podatność*, wysoka *wrażliwość* i wysoki *potencjał* oznacza średnią *podatność*, a niska *wrażliwość* i wysoki *potencjał* oznacza niską *podatność*. Sektory najbardziej *wrażliwe* wskazane w MPA dla Krakowa wraz z określeniem *potencjału adaptacyjnego* w poszczególnych obszarach przedstawiono na rysunku 11.



Rysunek 10. Najważniejsze definicje związane w metodyką wykorzystywaną w przygotowaniu planów adaptacji miast do zmiany klimatu

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 11. Sektory najbardziej wrażliwe wskazane w MPA dla Krakowa wraz z określeniem potencjału adaptacyjnego w poszczególnych obszarach

kolor zielony – wysoki potencjał, kolor żółty – średni potencjał, nie zidentyfikowano sektorów o niskim potencjale adaptacyjnym

Źródło: opracowanie własne.

Celem nadrzędnym MPA dla Krakowa jest „podniesienie i wykorzystanie potencjału adaptacyjnego miasta Krakowa dla zapewnienia ochrony jakości życia mieszkańców oraz dalszego zrównoważonego rozwoju miasta w warunkach zmian klimatu”. Cele szczegółowe obejmują: zwiększenie odporności na występowanie wyższych temperatur maksymalnych oraz fal upałów, potęgowanych przez zjawisko miejskiej wyspy ciepła, zwiększenie odporności na występowanie fal zimna, zwiększenie odporności na występowanie temperatur przejściowych, zwiększenie odporności na występowanie deszczy nawalnych oraz powodzi nagłych/miejskich, zwiększenie odporności na występowanie powodzi od strony rzek oraz ograniczenie występowania przekroczeń norm stężeń zanieczyszczeń powietrza, w tym epizodów smogowych. Zgodnie z metodyką MPA zaproponowano szereg działań adaptacyjnych w zakresie działań organizacyjnych, informacyjno-edukacyjnych oraz technicznych. Wśród działań technicznych wskazano m.in.: rozbudowę i modernizację

systemu odwodnienia miasta, zabezpieczenie zagrożonych budynków i infrastruktury w strefie zagrożenia powodzią, modernizację wałów przeciwpowodziowych, budowę pompowni i stanowisk pompowych, budowę polderów, zmniejszenie zapotrzebowania budynków komunalnych na energię, zwiększenie udziału energii pochodzącej z odnawialnych źródeł, budowę, przebudowę i modernizację systemu wodociągowego, zapewnienie komfortu termicznego mieszkańców np. poprzez termomodernizację oraz stosowanie jasnych elewacji budynków, rozbudowę dróg rowerowych i ciągów pieszych, rozszczelnianie miasta i stosowanie przepuszczalnych nawierzchni, budowę i rozwój parków, zwiększenie dostępności do wody oraz rozwój większych i mniejszych form błękitno-zielonej infrastruktury.

3.2. Kumulatory ciepła – budynki, skorupy budynków i nawierzchnie

Obszary miejskie doświadczają coraz bardziej intensywnego wzrostu temperatur, co w połączeniu z częstszymi i dłuższymi falami upałów stanowi poważne zagrożenie dla zdrowia publicznego, a także wyzwanie dla systemów infrastruktury miejskiej. Efekt ten, znany jako miejska wyspa ciepła, polega na znacznym podwyższeniu temperatury w centrach miast w porównaniu do otaczających terenów podmiejskich i wiejskich. W polskich miastach różnice te są szczególnie wyraźne – średnie wartości wahają się od 5 do 8°C, ale w ekstremalnych przypadkach mogą być jeszcze większe. W Krakowie różnica ta osiąga ponad 7°C, we Wrocławiu wynosi od 8 do 9°C, w Warszawie sięga aż 11°C, a w Łodzi zarejestrowano nawet 12°C (City Wide Streetscape Manual, 2014).

Tego rodzaju różnice wynikają z wielu czynników charakterystycznych dla środowiska miejskiego. Wysoka zabudowa, gęsta infrastruktura, asfaltowe i betonowe powierzchnie pochłaniające promieniowanie słoneczne oraz brak odpowiednio dużych terenów zielonych sprzyjają akumulacji ciepła. Dodatkowo ograniczony przepływ powietrza w miastach o zwartej zabudowie utrudnia naturalne chłodzenie, co prowadzi do jeszcze większego nagrzewania się przestrzeni miejskiej. Zjawisko to ma szczególnie negatywne skutki w czasie fal upałów, kiedy wyższe temperatury znacząco zwiększają ryzyko problemów zdrowotnych, takich jak udary cieplne, odwodnienie czy nasilenie chorób układu krążenia i oddechowego.

Różnice temperatur w polskich miastach, udokumentowane w badaniach (Błażejczyk i in., 2014), wskazują na potrzebę pilnego wdrażania strategii przeciwdziałania miejskim wyspom ciepła. Rozwiązania te powinny obejmować tworzenie i pielęgnację terenów zielonych, takich jak parki i ogrody dachowe, zwiększenie powierzchni przepuszczalnych oraz stosowanie materiałów budowlanych o wysokim albedo, które odbijają promieniowanie słoneczne. Również integracja infrastruktury wodnej, na przykład zbiorników retencyjnych czy fontann, może pomóc w lokalnym obniżaniu temperatury i poprawie mikroklimatu.

Zjawisko miejskiej wyspy ciepła nie tylko wpływa na komfort życia mieszkańców, ale także przyczynia się do wzrostu zapotrzebowania na energię, zwłaszcza na chłodzenie budynków, co z kolei prowadzi do zwiększenia emisji gazów cieplarnianych. Dlatego walka

z tym problemem wymaga podejścia zintegrowanego, łączącego aspekty urbanistyki, architektury i zarządzania środowiskiem w celu stworzenia bardziej odpornych na zmiany klimatyczne miast.

Środowisko zurbanizowane coraz bardziej nagrzewa się, co sprawia, że budynki, ulice i inne elementy infrastruktury miejskiej stają się znaczącymi źródłami ciepła, które mogą negatywnie wpływać na zdrowie mieszkańców. Efekt ten jest potęgowany przez postępujące zmiany klimatyczne, które już teraz wyraźnie oddziałują na codzienne życie. Zabudowa miejska, poprzez swoje właściwości termiczne i sposób organizacji przestrzeni, dodatkowo podnosi lokalną temperaturę, wzmacniając efekt miejskiej wyspy ciepła. Zjawisko to, obserwowane w wielu miastach na całym świecie, prowadzi do wyraźnych różnic temperatur między obszarami miejskimi a terenami otaczającymi.

Jednak odpowiednie podejście do projektowania architektury oraz zagospodarowania przestrzeni miejskiej może znacząco złagodzić te negatywne skutki. Przykładowo, stosowanie materiałów budowlanych o wysokim albedo, które odbijają promieniowanie słoneczne zamiast je pochłaniać, może zmniejszyć nagrzewanie się powierzchni budynków i ulic. Wprowadzanie terenów zielonych, takich jak parki, zielone dachy czy pionowe ogrody, nie tylko obniża temperaturę otoczenia dzięki efektowi chłodzenia przez transpirację, ale także poprawia jakość powietrza i ogólny mikroklimat.

W kontekście planowania urbanistycznego kluczowe znaczenie mają również takie działania jak odpowiednie rozmieszczenie terenów zielonych w całym mieście, tworzenie przepuszczalnych nawierzchni pozwalających na lepszy odpływ wody opadowej oraz projektowanie budynków i przestrzeni z uwzględnieniem naturalnej wentylacji. Dzięki temu można nie tylko zmniejszyć odczuwalne skutki wysokich temperatur, ale również zminimalizować negatywne konsekwencje związane z nadmiernym nagrzewaniem się miast, takie jak wzrost zachorowań na choroby układu krążenia czy zwiększone zapotrzebowanie na energię do chłodzenia budynków.

W jaki sposób można wpłynąć na temperaturę otoczenia budynku poprzez projektowanie? Odpowiedź leży w odpowiednim kształtowaniu kluczowych elementów urbanistycznych, takich jak:

- jasne powierzchnie utwardzone o odpowiednim albedo;
- obszary zielone;
- dachy zielone lub chłodne;
- układ ulic i tzw. korytarze powietrzne, zwane kanionami ulicznymi;
- formy zabudowy, ich wysokość oraz intensywność wykorzystania przestrzeni.

Poprzez świadome planowanie tych elementów można ograniczyć nagrzewanie się przestrzeni miejskiej, poprawiając mikroklimat wokół budynku i w całej okolicy.

Tabela 3. Współczynnik odbicia promieniowania słonecznego konwencjonalnej nawierzchni

Typ nawierzchni chodnika	Albedo
Asfalt	0,15
Beton	0,30
Bruk	0,25

Zależność między albedo chodnika i temperaturą powierzchni jest ścisła. Temperatura powierzchni asfaltowej spada o 3–5°C na każde 0,1 wzrostu powierzchni albedo.

Źródło: Kats i Glassbrook (2018).

Zmniejszanie skutków miejskiej wyspy ciepła wymaga zintegrowanych strategii urbanistycznych, obejmujących planowanie przestrzenne, projektowanie miejskie, wprowadzanie zieleni, redukcję ciepła odpadowego oraz odpowiednią orientację budynków i ulic. Wśród kluczowych działań znajduje się ograniczanie zabudowy na terenach niezabudowanych, zachowanie klinów napowietrzających, a także odnowa i wprowadzanie zieleni wysokiej. Drzewa miejskie odgrywają kluczową rolę w obniżaniu temperatury otoczenia dzięki zacienieniu oraz efektowi ewapotranspiracji (czyli łącznemu procesowi parowania wody z gruntu i transpiracji przez rośliny), co pozytywnie wpływa na jakość powietrza i zmniejszenie spływu wód opadowych.

Dachy zielone oraz powierzchnie odbłaskowe, takie jak chłodne dachy i chodniki o wysokim współczynniku albedo, skutecznie redukują nagrzewanie się infrastruktury. Poprawa jakości powietrza jest osiągnięta dzięki obniżeniu temperatury, co zmniejsza powstawanie ozonu i cząstek PM_{2,5}. Strategiczne rozmieszczanie cienia – poprzez drzewa, budynki czy struktury zacieniające – odgrywa istotną rolę w ochronie przed upałami.

Elementy infrastruktury niebieskiej, takie jak zbiorniki wodne, działają jako termiczne bufory, dodatkowo chłodząc otoczenie i poprawiając komfort mieszkańców. Wprowadzenie tych działań w planach zagospodarowania przestrzennego oraz budowlanych, uwzględniając zmiany klimatyczne i lokalny kontekst, może znacząco ograniczyć negatywne skutki ekstremalnych upałów w miastach.

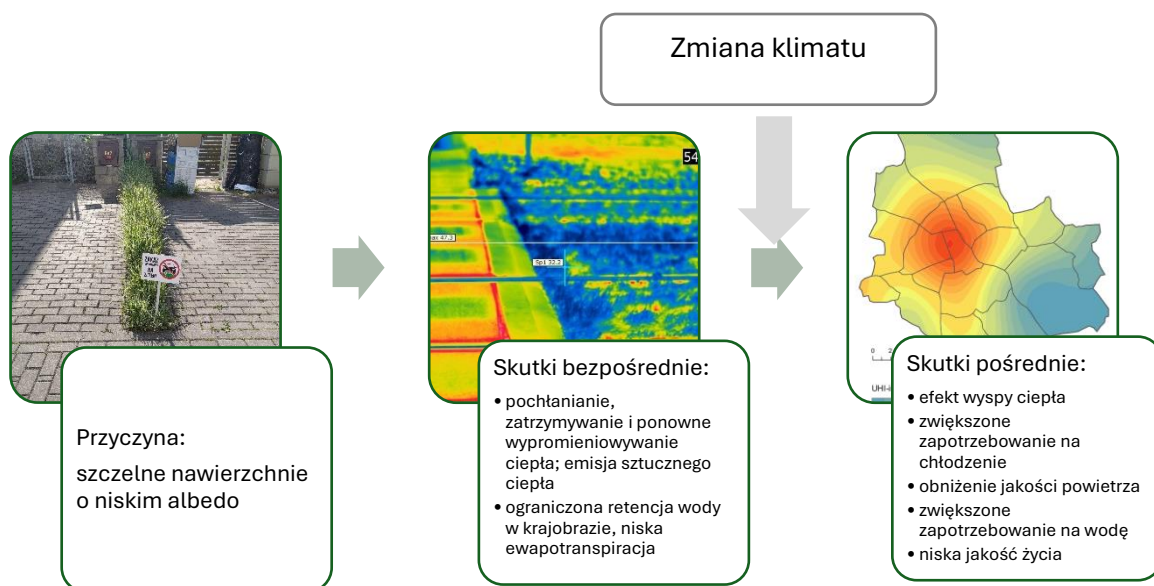
3.3. Błękitno-zielona infrastruktura jako element adaptacji miasta do zmiany klimatu

Błękitno-zielona infrastruktura zwiększa odporność miast i pomaga dostosować się do negatywnych skutków zmiany klimatu. Odpowiada tym samym na dwa najważniejsze problemy współczesnych miast, tj. intensywne opady (rysunek 12) i wysokie temperatury (rysunek 13).



Rysunek 12. Problemy z odprowadzeniem wód opadowych w miastach są związane z uszczelnianiem powierzchni, a ich efekty są potęgowane ekstremalnymi opadami będącymi efektem zmiany klimatu

Źródło: opracowanie własne.



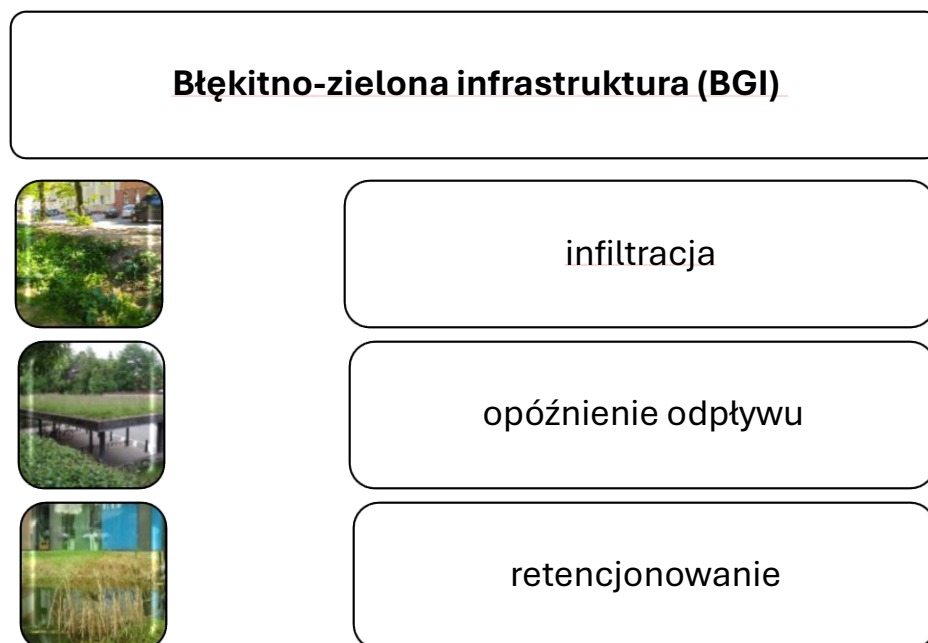
Rysunek 13. Wysokie temperatury utrzymujące się w miastach są wynikiem stosowania ciemnych nieprzepuszczalnych nawierzchni, które pochłaniają energię i nagrzewają się szybciej niż otaczające je jaśniejsze i porośnięte roślinnością krajobrazy

Niska retencja wody w krajobrazie ogranicza parowanie i tym samym lokalne chłodzenie.

Źródło: opracowanie własne.

Błękitno-zielona infrastruktura jest połączoną siecią naturalnych i „zaprojektowanych” elementów krajobrazu, w tym zbiorników wodnych oraz terenów zielonych (Ghofrani, Sposito i Faggian, 2017). Najczęściej implementowane techniczne rozwiązania błękitno-zielonej infrastruktury obejmują: zielone dachy, ogrody deszczowe, zbiorniki retencyjne oraz niecki retencyjne. Każde z tych rozwiązań posiada swoje indywidualne cechy i w różnym stopniu przyczynia się do rozwiązania problemu zagospodarowania wód opadowych, obniżenia temperatury i poprawy jakości powietrza.

W aspekcie zagospodarowania wód opadowych możliwe są trzy kierunki działania: retencjonowanie, opóźnianie odpływu i infiltracja (rysunek 14). Stosowanie rozwiązań umożliwiających infiltrację, tj. ogrody deszczowe w gruncie czy niecki retencyjne, zwiększa zasilanie wód podziemnych co w warunkach miejskich jest bardzo ograniczone. Opóźnienie odpływu zapewnia np. stosowanie dachów zielonych lub ogrodów deszczowych w pojemnikach. Odpływ deszczówki z takich rozwiązań następuje dopiero po wypełnieniu ich pojemności retencyjnej, dzięki czemu odciążają one miejską sieć kanalizacji deszczowej w momencie, gdy odbiera ona szybko generujący się spływ powierzchniowy z terenów uszczelnionych. Retencjonowanie jest natomiast główną domeną zbiorników, np. systemów hydrofitowych, które poza magazynowaniem wody zapewniają także jej parowanie.

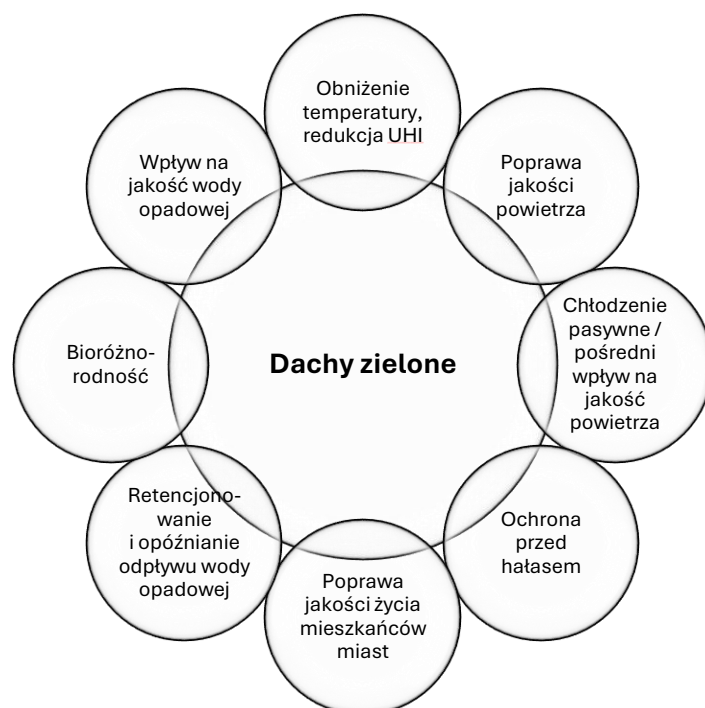


Rysunek 14. Kierunki działania rozwiązań błękitno zielonej infrastruktury w zakresie zagospodarowania wód opadowych

Źródło: opracowanie własne.

Za obniżenie temperatury w mieście poprzez stosowanie błękitno-zielonej infrastruktury odpowiadają rośliny, a w niektórych rozwiązaniach także warstwy konstrukcyjne. W przypadku zielonych dachów obserwuje się niższą temperaturę ich powierzchni w porównaniu do dachów o okryciu tradycyjnym (rysunek 15). Badania wykazały, że temperatura powierzchniowa dachu o zazielenieniu ekstensywnym (pokrytego rozchodnikami) była o ponad 20 stopni niższa niż dachu okrytego papą bitumiczną (Baryła i in., 2019). Zaobserwowano także zdolność zielonego dachu do chłodzenia poziomu pieszego na chodniku. Zmienia się ona jednak w zależności od panujących warunków klimatycznych i typu dachu zielonego. Największy efekt chłodzenia zaobserwowano w przypadku dachu o zazielenieniu intensywnym, w gorącym i suchym klimacie (Kair). Dodatkowo efekt chłodzenia pieszych przez zielony dach wzrasta wraz ze zmniejszaniem się gęstości miasta (Morakinyo i in., 2017). Badania wskazują także na efekt chłodzenia wewnątrz budynków okrytych zielonymi dachami, przy czym w przypadku dachów nawadnianych efekt chłodzenia może być o 2-3°C większy niż w przypadku dachów nienawadnianych (Yang i in., 2018). Chłodzenie wnętrza budynku wpływa także pośrednio na jakość powietrza, w związku z mniejszym zapotrzebowaniem na energię elektryczną do zasilania klimatyzatorów. Bezpośredni wpływ roślin na zielonych dachach na jakość powietrza również został potwierdzony w badaniach. W przypadku zanieczyszczeń powietrza w środowisku miejskim uznanych przez Światową Organizację Zdrowia (2016) za najpoważniejsze dla zdrowia człowieka uznano: cząstki stałe (PM10) mogą być zredukowane w przedziale od 0,42 g/m² do 9,21 g/m² (Speak i in., 2012; Yang i in., 2008; Jayasooriya i in., 2017), ozon (O) w przedziale od 1,2 g/m² do 7,17 g/m² (Yang i in., 2008; Jayasooriya i in., 2017), dwutlenek siarki (SO₂) w przedziale od 1,2 g/m² do 7,17 g/m²

(Yang i in., 2008; Jayasooriya i in., 2017) a dwutlenek azotu (NO_2) w przedziale od 0,37 do 3,57 g/m^2 (Yang i in., 2008; Jayasooriya i in., 2017; Rosenfeld i in., 2008).



Rysunek 15. Funkcje środowiskowe dachów zielonych

Źródło: opracowanie własne.

Poprawa jakości życia mieszkańców miast jest wypadkową niższych temperatur, lepszej jakości powietrza oraz tłumienia hałasu, które to zapewniają zarówno zielone dachy, jak i zielone ściany. To drugie rozwiązanie nie pełni istotnej roli w zagospodarowaniu wód opadowych, natomiast poza ochroną akustyczną zapewnia redukcję temperatury, poprawę jakości powietrza oraz zwiększenie bioróżnorodności, tworząc siedlisko dla wielu owadów i ptaków.

3.4. Nawyki transportowe a wyspy ciepła

Miejska wyspa ciepła (MWC) (ang. *Urban Heat Island* – UHI) to zjawisko charakteryzujące się występowaniem wyższych temperatur na obszarach silnie zurbanizowanych, w porównaniu do otaczających je obszarów wiejskich. Potęgowane występowaniem określonych warunków atmosferycznych tj. słonecznych, bezwietrznych dni. Skutki MWC są wyraźnie odczuwalne w nocy, kiedy to nagrzane w ciągu dnia materiały oddają ciepło, co wpływa na różnicę temperatur, pomiędzy obszarami miejskimi a wiejskimi, nawet o kilka stopni Celsjusza. Zjawiska te związane są z typową strukturą funkcjonalno-przestrzenną miast, zastępowaniem naturalnej roślinności, materiałami budowlanymi o wysokiej zdolności magazynowania ciepła, zmianą cyrkulacji powietrza wynikającą z miejskiej zabudowy oraz

niskim albedo powierzchni miejskiej, pochłaniającej duże ilości promieniowania słonecznego. Na występowanie MWC wpływa również emisja ciepła pochodzenia antropogenicznego – transportu i działalności przemysłowej (Vujovic i in., 2021).

Zmiana nawyków transportowych a zmniejszenie efektu MWC – przesiadka z samochodu osobowego do publicznego transportu zbiorowego (pociąg, tramwaj, autobus), redukuje emisję ciepła pochodzenia antropogenicznego. Pojazdy prywatne emitują duże ilości ciepła oraz spalin poprzez spalanie paliwa oraz pracę układów mechanicznych. Dodatkowo materiały, z których zbudowane są nadwozia samochodów osobowych, mają tendencję do akumulowania ciepła, które później oddawane jest do otoczenia, zwiększając efekty MWC. Zanieczyszczenia emitowane przez samochody mogą tworzyć warstwę zanieczyszczeń nad miastem, która działa jak „kopuła” (ang. *dome effect*) zatrzymując ciepło i utrudniając jego rozpraszanie. Duże zagęszczenie pojazdów przyczynia się również do zaburzenia przepływu powietrza, uniemożliwiając naturalne przewietrzanie miasta, a co tym idzie wymianę termiczną (Haddad i Aouachria, 2015). Niskoemisyjny zbiorowy transport publiczny może przewozić więcej osób jednocześnie, generując przy tym mniej ciepła w przeliczeniu na jednego pasażera w porównaniu do samochodów osobowych. Kolejnym pozytywnym czynnikiem jest zmniejszenie liczby pojazdów na drogach, co prowadzi do mniejszego nagrzewania powierzchni. Obniżenie liczby samochodów na drogach, pozwala również uwolnić przestrzeń dla terenów zielonych, czy zielono-niebieskiej infrastruktury, którą można efektywnie wykorzystać do zmniejszenia efektu MWC na obszarach miejskich. Obszary zielone na terenach miejskich korzystnie wpływają na samopoczucie mieszkańców, a także zwiększają produkcję tlenu, poprawiają jakość powietrza oraz regulują temperaturę (Jopek 2018). Z badań jakości powietrza przeprowadzonych w Krakowie w latach 2022-2023, przy użyciu pyłomierza, którym zmierzono zawartość $PM_{2.5}$ i PM_{10} , wynika, że najwyższe stężenia szkodliwych pyłów występowały w okolicach ruchliwego Ronda Grunwaldzkiego, a najniższe w Parku Jordana, czyli zielonym obszarze miasta. Z załączonych do niniejszego opracowania map krakowskich wysp ciepła (rysunki 8 i 9, s. 28) również wynika, że obszarami najbardziej narażonymi na tego typu zjawiska są tereny z największą gęstością zabudowy, pozbawione naturalnych terenów zielonych (Ciapa i Śliwka, 2023).

Jeszcze korzystniejsze efekty przynosi korzystanie z bezemisyjnych środków transportu np. rowerów. Rowery nie generują ciepła ani spalin, w przeciwieństwie do pojazdów mechanicznych. Oznacza to brak dodatkowych źródeł ciepła w przestrzeni miejskiej. Infrastruktura rowerowa zajmuje mniej miejsca niż drogi dla samochodów, dzięki czemu zwiększa się przestrzeń do zaadaptowania pod tereny zielone. Dzięki uwolnionej przestrzeni zmniejsza się też ilość powierzchni nieprzepuszczalnych, poprawia retencję wody oraz redukuje efekt nagrzewania powierzchni. Inwestycje w infrastrukturę rowerową wpływają na poprawę lokalnego mikroklimatu. Zmiany nawyków transportowych na nisko- lub bezemisyjne korzystnie wpływają na redukcję efektu MWC, a długoterminowe korzyści obejmują takie czynniki jak poprawa jakości życia mieszkańców, redukcja zanieczyszczeń powietrza, ograniczanie skutków zmian klimatu czy poprawa kondycji i zdrowia mieszkańców.

3.5. Energooszczędne urządzenia i emiterzy

Tematyka energooszczędnych urządzeń nie jest podstawowym celem niniejszego opracowania. Jednak przechodzenie na gospodarkę nisko- i zeroemisyjną, a tym samym dążenie do zmniejszenia zużycia energii ma wprost przełożenie na mniejszą emisję ciepła, co z kolei łączy się z postulatem przeciwdziałania nadmiernemu nagrzewaniu się miasta. W niniejszym podrozdziale zasygnalizowano kilka zmian o charakterze systemowym i technologicznym, których wdrożenie będzie stanowiło synergię w działaniach błękitno-zielonych na rzecz wychładzania obszarów miejskich.

Zmiany systemowe:

1. Nowe przepisy dot. klasyfikacji energetycznej budynków na podstawie takich kryteriów jak: zużycie energii, emisja CO₂ i zapotrzebowanie na energię dostarczoną netto, które weszły w życie od stycznia 2024 r. będą dotyczyć zarówno budynków nowych, jak i istniejących. Ich wdrożenie długookresowo będzie miało istotne znaczenie w zakresie zmniejszenia zużycia energii potrzebnej do ogrzewania, a więc budynki mogą stać się mniejszymi emiterami ciepła.
2. Zmiany zasad rozliczania OZE na korzystniejsze dla prosumentów – w wersji idealnej dla producentów – powrót do zasad sprzed **przed 31 marca 2022 roku (system upustów zamiast net-billing)**.

Zmiany technologiczne:

1. Należy dążyć m.in. do jak najmniejszego zużycia nieodnawialnej energii pierwotnej przez obiekty nowobudowane oraz poddawać modernizacji obiekty istniejące.
2. Poprawa termoizolacyjności budynków – zmniejszenie strat cieplnych – termomodernizacja przegród i wymiana elementów stolarki okiennej i drzwiowej w budynkach istniejących, wprowadzanie dachów zielonych, wymiana poszyc dachowych na jasne odbijające światło – udowodniony spadek temperatury wewnątrz budynków.
3. Wykorzystanie „chłodnych materiałów” (białe dachy, białe elewacje, białe nawierzchnie). Aby miasta były chłodniejsze, ważne jest, aby w coraz większym stopniu wykorzystywać chłodne materiały, które emitują ciepło, a nie je pochłaniają. Może to obejmować jasne farby odpowiednie na dachy, aż po stosowanie zaawansowanych powłok supercool (retrorefleksyjnych) na chodnikach. Bardziej zaawansowane materiały „supercool” odbijają większość uderzającego promieniowania z powrotem do nieba, system Protan CoolRoof, który wykorzystuje specjalną, białą membranę o wysokim współczynniku odbicia promieni słonecznych SRI (ang. Solar Reflectance Index). Zabezpieczona nim powierzchnia gromadzi znacznie mniej ciepła w porównaniu z płaszczyzną w ciemnych kolorach, co przekłada się w efekcie na obniżenie temperatury konstrukcji stropodachu. Jakie są korzyści dla właściciela budynku płynące z zastosowania tego rozwiązania? – Pokrycie w postaci membrany dachowej w jasnej kolorystyce skuteczniej odbija

promieniowanie słoneczne i absorbuje mniej energii cieplnej. W przypadku Protan CoolRoof współczynnik SRI wynosi 86%, co czyni dach bardziej wytrzymałym, redukuje potrzebę chłodzenia budynku i ogranicza efekt miejskiej wyspy ciepła.

4. Zmiana systemu grzewczego – kombinowany system ogrzewania podłogowego z dodatkowymi grzejnikami (2 lub 3 rzędownymi z wymuszonym przepływem powietrza).
5. Ogrzewanie ciepłej wody użytkowej. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 określa zakres temperatur ciepłej wody, od 55°C do 60°C. Co do ilości zużywanej wody szacuje się, że statystyczny Polak zużywa od 110 do 130 litrów ciepłej wody dziennie. Aby ogrzać taką ilość wody od temperatury początkowej np. +5°C należy dostarczyć ponad 27 000 kJ (7,5 kWh).
6. Oszczędne zużywanie ciepłej wody i usuwanie nawet najmniejszych jej przecieków (kapiących kranów). W celu oszczędzania energii cieplnej potrzebnej w celu ogrzewania wody stosuje się tzw. rekuperatory wody szarej.
7. Zamiana istniejących źródeł ciepła tj. kotły gazowe na pompy ciepła (zmiana pomp freonowych na propanowe), fotowoltaika:
 - a) kotły gazowe od 2027 roku tylko jako elementy dodatkowe – wymóg źródeł ciepła OZE;
 - b) zmiana pomp ciepła – plany Unii Europejskiej wprowadzenia zakazu stosowania fluorowanych gazów cieplarnianych (tzw. f-gazów) w pompach ciepła – w związku z planowanym ograniczeniem stosowania f-gazów, propan ma być stosowany w UE jako bezpieczny czynnik chłodniczy. Propan (oznaczany często jako R290) jest organicznym związkiem chemicznym z grupy węglowodorów, powstającym w procesie fermentacji bakteryjnej dla biopaliw, lecz w przypadku produkcji przemysłowej, propan wytwarzany jest w procesie rafineryjnym z ropy naftowej. Jego główną zaletą jest fakt, że jest całkowicie bezemisyjny i nieszkodliwy dla warstwy ozonowej.
8. Poprawa sprawności źródeł ciepła.
9. Wietrzenie zamiast klimatyzacji oraz instalacja rekuperatorów.

Coraz więcej mieszkań wyposaża się w klimatyzację. Zamiast zbijać temperaturę za pomocą klimatyzacji należy przewietrzać mieszkanie nocną porą, gdy powietrze na zewnątrz wyraźnie się ochładza. W dzień zasłaniać okna. Co więcej, przy instalacji rekuperatorów jesteśmy w stanie zaoszczędzić od 80 do 90% ciepła, które musielibyśmy zużyć ogrzewając wentylowane pomieszczenie bez rekuperatora.
10. Rozbudowa i modernizacja sieci MPEC:
 - a) zmniejszenie strat ciepła w miejskiej sieci ciepłowniczej – modernizacja istniejącej sieci;
 - b) rozbudowa sieci, usprawnienie procesu podłączenia budynków do sieci miejskiej;
 - c) Sieci ciepłownicze (SC) uległy znaczącej zmianie od czasów SC 1 Generacji (z końca XIX w. opartych na medium parowym i węglu jako paliwo) do coraz szerszej

wprowadzanych sieci niskotemperaturowych (NSC) 4 generacji (zasilanych ciepłem o temperaturze od 20–70°C), ograniczających straty przesyłu, emisję gazów cieplarnianych i koszt ciepła.

11. Zamiana węgla na gaz ziemny i OZE w zakładach przemysłowych działających na terenie miasta oraz dekarbonizacja przemysłu:

<https://magazynbiomasa.pl/dekarbonizacja-co-hamuje-polski-przemysl>

12. Poprawa efektywności energetycznej oświetlenia, przestrzenie wspólne= lampy solarne, sygnalizacja świetlna solarna, sterowanie oświetleniem w zakresie potrzeb.

13. Poprawa sprawności energetycznej sprzętu AGD – używanie mniej energochłonnych sprzętów gospodarstwa domowego o odpowiedniej klasie energetycznej.

14. Inteligentne systemy zarządzania zasilaniem elektrycznym (np. program pilotażowy Energa Living Lab w Gdyni w 2015 r.)

<https://ir.energa.pl/pr/292476/w-gdyni-rusza-innowacyjny-projekt-energa-living-lab>

Dzięki modernizacji infrastruktury energetycznej oraz inteligentnemu zarządzaniu zużyciem energii możliwe jest nie tylko zmniejszenie strat ciepła i optymalizacja temperatury wewnątrz budynku, ale także bardziej efektywne wykorzystanie odnawialnych źródeł energii takich jak fotowoltaika czy pompy ciepła.

Systemy zarządzania energią w budynkach stanowią nie tylko narzędzie do optymalizacji zużycia energii w pojedynczych obiektach, ale w połączeniu np. z miejską siecią energetyczną czy wodociągową, mogą tworzyć spójny ekosystem energetyczny w miastach. Dzięki temu możliwe jest optymalne wykorzystanie lokalnych źródeł energii odnawialnej takich jak panele fotowoltaiczne czy pompy ciepła. Budynki mogą automatycznie dostosowywać swoje zużycie energii w oparciu o dostępność prądu z OZE, np. magazynując nadwyżki energii wyprodukowanej w słoneczne dni lub używając pomp ciepła w odpowiednich momentach, kiedy zapotrzebowanie na prąd jest niższe. Pozwala to na bardziej zrównoważone wykorzystanie energii oraz redukcję obciążenia miejskiej sieci energetycznej. Tego rodzaju inteligentne zarządzanie umożliwia również dynamiczne zarządzanie popytem na energię w całym mieście. Kiedy zapotrzebowanie na prąd rośnie, zintegrowane systemy mogą czasowo zmniejszać zużycie energii w poszczególnych budynkach, np. poprzez optymalizację pracy urządzeń grzewczych lub chłodzących, bez uszczerbku na komforcie mieszkańców. W rezultacie, inteligentne budynki mogą przyczyniać się do zwiększenia udziału OZE w bilansie energetycznym miasta, co przekłada się na zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i stworzenie bardziej zrównoważonego środowiska miejskiego.

4. Wychładzanie Krakowa – obecne działania i plany na przyszłość

Obecne działania w oparciu o MPA

1. Zwiększenie Lesistości Miasta Krakowa

W ciągu ostatnich dziesięciu lat Miasto Kraków podjęło szereg inicjatyw zmierzających do zwiększenia lesistości na terenie gminy. Kluczowym elementem tych działań jest realizacja „Powiatowego Programu Zwiększenia Lesistości Miasta Krakowa na lata 2018–2040”, który zakłada podwojenie powierzchni lasów z 4% do 8% powierzchni miasta.

Od 2016 roku Zarząd Zieleni Miejskiej (ZZM) prowadzi systematyczne prace związane z poprawą jakości istniejących lasów oraz zwiększeniem ich powierzchni. W wyniku tych działań powierzchnia lasów w Krakowie wzrosła z 1 370,80 ha w 2018 roku do 1 665,61 ha na początku 2025 roku, co oznacza przyrost o blisko 300 ha.

W ramach programu zwiększania lesistości ZZM realizuje następujące działania:

- **zalesianie i dolesianie gruntów:** w latach 2016–2024 posadzono blisko 380 tysięcy sadzonek rodzimych gatunków drzew, takich jak olsza czarna, dąb szypułkowy, klon jawor, grab pospolity, lipa drobnolistna, buk zwyczajny oraz wiąz szypułkowy;
- **zmiana kwalifikacji gruntów:** część terenów została przeklasyfikowana na grunty leśne, co przyczyniło się do zwiększenia powierzchni lasów;
- **wykup gruntów pod zalesienia:** Miasto systematycznie nabywa grunty z przeznaczeniem na przyszłe zalesienia zgodnie z opracowanymi planami;
- **współpraca z mieszkańcami:** organizowane są akcje sadzenia drzew z udziałem mieszkańców, takie jak „Posadźmy wspólnie las krakowian”, cieszące się dużym zainteresowaniem i zaangażowaniem lokalnej społeczności.

Dzięki tym inicjatywom Kraków systematycznie zwiększa powierzchnię terenów leśnych, realizując cele wyznaczone na rok 2040. Główne korzyści wynikające ze zwiększenia lesistości to poprawa jakości powietrza, zwiększenie bioróżnorodności oraz stworzenie nowych przestrzeni rekreacyjnych dla mieszkańców.

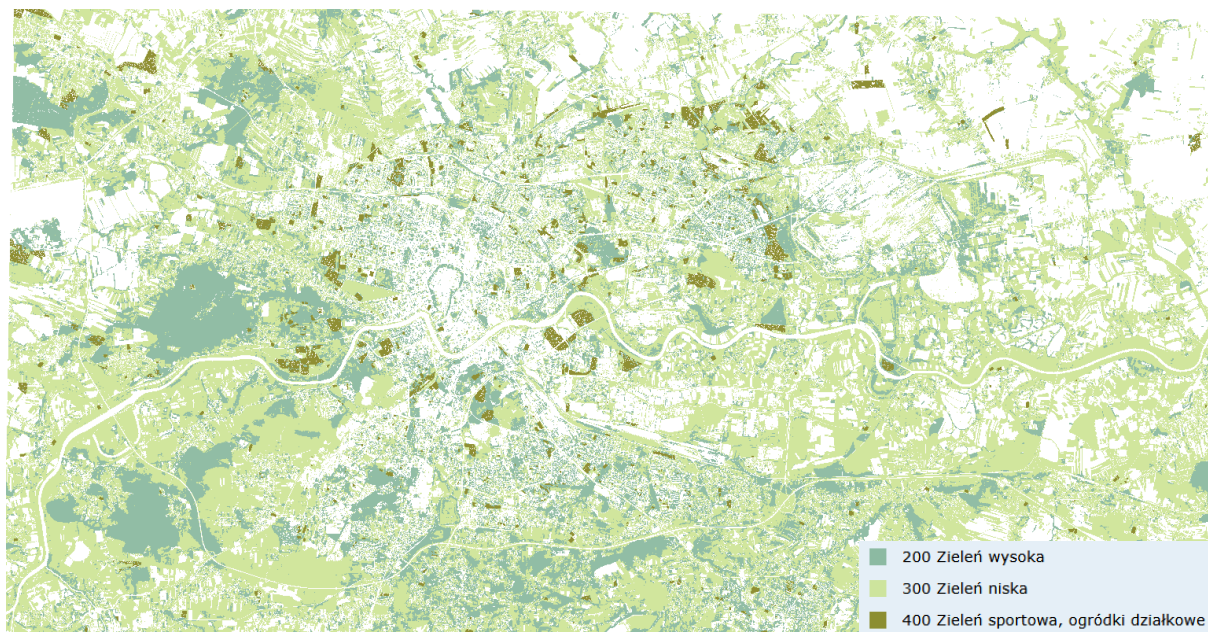
2. Rozwój zielonej Infrastruktury

Miasto Kraków intensywnie inwestuje w tworzenie i rewitalizację terenów zielonych, takich jak parki, skwery oraz zielone dachy. Rozbudowa zieleni miejskiej przyczynia się do obniżenia temperatury w mieście, dzięki efektowi chłodzenia wynikającemu z transpiracji roślin oraz zacienienia.

Od 2015 roku utworzono 19 nowych parków, zwiększając ich liczbę z 43 do 62. Przykłady nowo powstałych parków to:

- **Park Reduta:** położony w dzielnicy Prądnik Czerwony, o powierzchni 7,80 ha;
- **Park Złocień:** najnowszy park w dzielnicy Bieżanów-Prokocim;
- **Park Tetmajera:** zlokalizowany w Bronowicach, zajmujący 13,3 ha.

Dzięki tym inwestycjom powierzchnia terenów zielonych w Krakowie znacząco się zwiększyła, co przekłada się na poprawę jakości życia mieszkańców oraz stan środowiska naturalnego.



Rysunek 15. Mapa zieleni Krakowa

Źródło: <https://msip.krakow.pl/dataset/1113>

3. Gospodarka wodna i chłodzenie miasta

Miasto prowadzi liczne projekty związane z gospodarką wodną i ograniczaniem efektu miejskiej wyspy ciepła. Do najważniejszych inicjatyw należą:

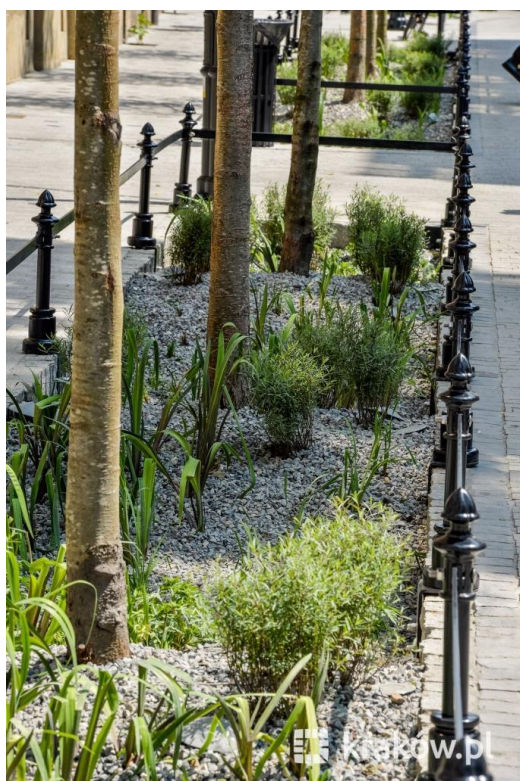
- **budowa wodotrysków i stref chłodu:** powstały fontanny miejskie, kurtyny wodne oraz systemy retencyjne wspomagające utrzymanie wilgotności w mieście;
- **odtworzenie terenów podmokłych:** ochrona istniejących i tworzenie nowych obszarów retencyjnych redukują skutki przegrzewania terenów zabudowanych.

4. Przykłady zrealizowanych projektów

Zielona Krupnicza

Projekt obejmował odcinek od ul. Podwale do ul. Loretańskiej i zakładał stworzenie ulicy typu *woonerf* – uspokojonej ruchowo, priorytetowo traktującej pieszych. W ramach projektu:

- powstały ogrody deszczowe o łącznej powierzchni ponad 116 m², które zmniejszają ilość spływającej wody do kanalizacji;
- stworzono zbiorniki do gromadzenia deszczówki, wykorzystywane do podlewania roślin podczas suszy;
- posadzono drzewa, w tym olsze czarne, oraz zastosowano roślinność hydrofilną w ogrodach deszczowych.



Przykład wykonanych ogrodów deszczowych (fot. archiwum ZZM)



Zrewitalizowana ul. Krupnicza z wprowadzonymi elementami błękitno niebieskiej infrastruktury (fot. archiwum ZZM).

Klimatyczny Kwartał

Projekt urbanistyczny obejmujący obszar pomiędzy ulicami Dietla, Grzegórzecką, aleją Daszyńskiego oraz rzeką Wisłą, którego celem jest adaptacja miasta do zmian klimatycznych poprzez:

- tworzenie ulic-ogrodów;
- rewitalizację przestrzeni publicznych, takich jak place Wolnica i Nowy;
- promowanie zrównoważonego transportu, w tym budowę rowerostrad.

Projekt wpisuje się w długofalową strategię „Zeroemisyjnego Krakowa”, zgodnie z celami inicjatywy Climate-KIC wspieranej przez Komisję Europejską.

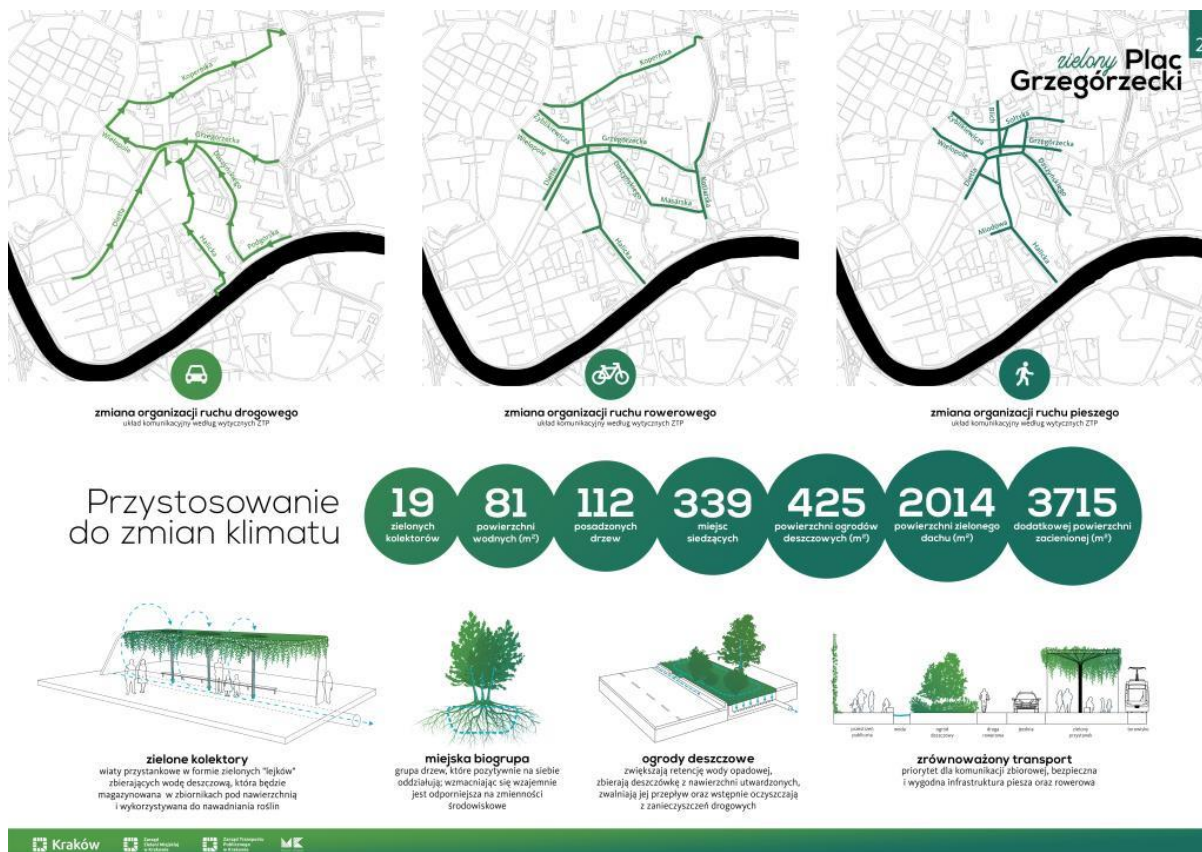
Zielony Plac Grzegórzecki

Plac łączy Planty Dietlowskie z Plantami Daszyńskiego, stanowiąc spójną przestrzeń zieloną. Projekt uwzględnia:

- **zielone** kolektory: wiaty przystankowe zbierające wodę deszczową do podlewania roślin;
- **miejskie biogrupy**: grupy drzew wzmacniające się wzajemnie i odporne na zmiany klimatu;
- **ogrody deszczowe**: retencja wody opadowej, oczyszczanie i spowolnienie jej przepływu;
- **zrównoważony transport**: priorytet dla komunikacji zbiorowej oraz infrastruktury rowerowej.



Fot. krakow.pl



Fot. krakow.pl

Dokumenty Miejskie

- „Powiatowy Program Zwiększenia Lesistości Miasta Krakowa na lata 2018–2040”.
- Ekspertyza Miejskiej Wyspy Ciepła w Krakowie – opracowanie wykonane przez Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego oraz Wydział Geodezji, Referat ds. Miejskiego Systemu Informacji Przestrzennej, Kraków 2023.

5. Jak przeciwdziałać nadmiernemu nagrzewaniu się miasta: założenia do standardów zdrowego planowania przestrzennego

Bazując na powyższych rozważaniach, a także praktycznych rozwiązaniach, w których wdrażaniu uczestniczyły niektóre osoby piszące niniejsze opracowanie, zasadne wydaje się zaproponowanie założeń do standardów zdrowego planowania przestrzennego, które powinny stać się podstawą do stosownych zmian w przepisach prawa miejscowego i krajowego. Autorki i autorzy niniejszego opracowania wyrażają nadzieję, że dzięki ich wprowadzeniu możliwe będzie zmniejszenie problemu nagrzewania się miasta.

Założenia do standardów zdrowego planowania przestrzennego

Strategicznie: współpraca projektantów, deweloperów, urbanistów, ekspertów zdrowia publicznego i władz miasta przy każdej inwestycji od pierwszego etapu jej projektowania i procedowania.

Przestrzennie: zmiana filozofii dot. przygotowania planów zagospodarowania – obligatoryjna integracja zielonej i błękitnej infrastruktury, jasne standardy dla inwestorów, konsekwentna redukcja efektu miejskiej wyspy ciepła.

Bez obchodzenia prawa: jasne standardy wymagają jasnej interpretacji i egzekucji prawa. To m.in. zakaz podziału działki scalonej na potrzeby inwestycji. Dom jednorodzinny to dom jednorodzinny. Lokal usługowy to nie mieszkanie.

Dobre praktyki: wprowadzenie audytu zielono-niebieskiego inwestycji miejskich – np. zazielenienie murów kamienic. Obligatoryjne zasiadanie w konkursach architektoniczno-urbanistycznych osób o kompetencjach architekta krajobrazu. Ustalenie, wdrożenie i przestrzeganie przez właściwą jednostkę gminną standardów utrzymania i pielęgnacji infrastruktury błękitno-zielonej.

Postulaty należy kierować zarówno do inwestorów, władz, jak i mieszkańców. Ich realizacji potrzebujemy wszyscy. Im bardziej będziemy w tym konsekwentni, tym wygodniej będzie się w naszych miastach mieszkać.

Na każdym poziomie

Planowanie strategiczne

1. Na poziomie strategii rozwoju miasta:

- **Zdrowie publiczne jako priorytet.** Uwzględnienie wpływu środowiska miejskiego na zdrowie mieszkańców w strategii miejskiej – dostęp do terenów zielonych, czyste powietrze, infrastruktura sprzyjająca aktywności, bezpieczne przestrzenie publiczne.
- **Zrównoważony rozwój miasta.** Integracja celów ekologicznych z rozwojem urbanistycznym: ustalenie priorytetów, rozwój zielonej (przede wszystkim zacieniającej) i błękitnej infrastruktury oraz ochrona bioróżnorodności jako integralnych elementów strategii miejskiej.
- **Redukcja efektu miejskiej wyspy ciepła:** uwzględnienie działań mających na celu ograniczenie przegrzewania miast, np. poprzez zwiększanie powierzchni terenów zielonych, stosowanie materiałów o wysokim współczynniku odbicia ciepła.
- **Wprowadzenie precyzyjnych standardów** (np. zbiorniki retencyjne, otwarta woda), a także konkretnych wskaźników (np. współczynnik zieleni, typy zieleni) dot. infrastruktury błękitno-zielonej w strategii oraz miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego.
- **Obligatoryjna współpraca międzysektorowa:** stworzenie platformy współpracy pomiędzy władzami miejskimi, ekspertami, mieszkańcami i biznesem.

2. Na etapie planowania przestrzennego:

- **Zmiana filozofii dot. przygotowania planów zagospodarowania przestrzennego** – równoległe i równorzędne planowanie infrastruktury technicznej i zielono-błękitnej.
- **Spójność z polityką przestrzenną:** Koordynacja planów ogólnych z lokalnymi strategiami i wytycznymi dotyczącymi ochrony środowiska, zachowania bioróżnorodności oraz poprawy jakości życia mieszkańców. Włączenie mechanizmów monitoringu i oceny efektywności wdrażanych rozwiązań – plany przestrzenne są na bieżąco dostosowywane, plany przestrzenne ewoluują.
- **Adaptacja do zmian klimatycznych:** uwzględnienie prognozowanych zmian klimatycznych w planowaniu przestrzennym, opracowywanie scenariuszy oraz wdrażanie rozwiązań pozwalających na elastyczną adaptację miasta do ekstremalnych warunków pogodowych.
- Wyznaczenie obszarów priorytetowych dla stworzenia nowej infrastruktury zielono-błękitnej (głównie obszary zwartej zabudowy).
- Wyznaczenie i przestrzeganie wspólnych standardów dla ulic/kwartalów/dzielnicy/ciągów komunikacyjnych na etapie tworzenia planów miejscowych.
- Zrównoważony model funkcjonalno-przestrzenny:
 - integracja funkcji mieszkaniowych, usługowych, rekreacyjnych i ekologicznych w jednym obszarze,

- tworzenie obszarów wielofunkcyjnych, które łączą potrzeby rozwoju gospodarczego z zachowaniem równowagi środowiskowej,
- obligatoryjne zapisy o obszarach chronionych, np. obszary zielone, obszary rolnicze, ogródki działkowe, ogrody społeczne, parki, obszary suwerenności żywieniowej, obszary hydrologicznie czynne.
- integracja zielonej i błękitnej infrastruktury,
- tworzenie ekosystemów (*ecosystem based solutions*),
- wyznaczenie stref parkowych, terenów zielonych, korytarzy ekologicznych oraz obszarów retencyjnych (stawy, zbiorniki wodne, systemy kanalizacji deszczowej),
- ustalenie lokalizacji terenów, które mogą pełnić funkcję naturalnych regulatorów mikroklimatu oraz łagodzić efekt miejskiej wyspy ciepła.
- Redukcja efektu miejskiej wyspy ciepła:
 - minimalizacja utwardzonych powierzchni poprzez wprowadzenie materiałów o wysokim współczynniku odbicia ciepła i zwiększenie powierzchni przepuszczalnych.
 - projektowanie przestrzeni publicznych z uwzględnieniem znaczenia zieleni w naturalnym chłodzeniu otoczenia.

3. Na etapie przygotowania inwestycji:

- Wprowadzenie audytu zielono-niebieskiego inwestycji miejskich – co (np. czy chcemy zazielenić mury kamienic) i jak (uwarunkowania ustawowe oraz prawa miejscowego, np. mpzp) ma być robione.
- Zagadnienia infrastruktury zielono-błękitnej jako równorzędny (obok dróg i parkingów) temat negocjacji z inwestorami (ZPI, umowa urbanistyczna) na podstawie przyjętych standardów.
- Wprowadzenie zakazu podziału działki scalonej na potrzeby inwestycji (obecnie jest to sposób na ominięcie obowiązku zapewnienia odpowiedniej powierzchni zielonej przez inwestora).
- Obligatoryjne zasiadanie w konkursach architektoniczno-urbanistycznych (przy negocjacjach ZPI, umów urbanistycznych) osoby o kompetencjach architekta krajobrazu (patrz wyżej: dobre praktyki).
- Ustalenie, wdrożenie i przestrzeganie przez właściwą jednostkę gminną standardów utrzymania i pielęgnacji infrastruktury błękitno-zielonej:
 - wdrożenie i przestrzeganie standardów utrzymania na terenach miejskich,
 - zachęcanie do wdrożenia i przestrzegania tych standardów na terenach prywatnych (poprzez wdrażanie dobrych praktyk na terenach miejskich oraz poprzez działania edukacyjne)

- Nadzór dendrologiczny w przypadku większych inwestycji na obszarach gdzie występuje zieleń, szczególnie przy inwestycjach w podziemną infrastrukturę liniową.
- Przygotowanie i stosowanie przez samorząd gminny wytycznych dla projektantów – dla uzyskania od jednostki gminnej uzgodnienia technicznego dla projektu zmiany sposobu zagospodarowania wód opadowych i roztopowych na działce.

4. Działania długookresowe – zmiany kulturowe (*culture change*) poprzez działania szkoleniowo-edukacyjne i dobre praktyki:

- Ewolucja postrzegania przez urzędników, deweloperów i architektów zmian zielono-błękitnych na etapie planowania i utrzymania realizacji.
- Zmiany preferencji kupujących mieszkania (odpowiedni standard błękitno-zielony):
 - wraz z rosnącą świadomością ekologiczną społeczeństwa, coraz więcej osób poszukuje mieszkań zlokalizowanych w otoczeniu sprzyjającym zdrowiu, z dostępem do terenów zielonych oraz rozwiązań wodnych;
 - deweloperzy, reagując na te zmiany, będą musieli uwzględniać standardy błękitno-zielone, co stanie się nowym wyznacznikiem atrakcyjności inwestycji;
 - to z kolei stworzy konkurencyjność na rynku nieruchomości, gdzie wartość inwestycji będzie rosła wraz z jakością przestrzeni ekologicznej.

Integracja wielu rozwiązań pozwoli skutecznie wykorzystać potencjał terenów zielonych w miastach. Przy odpowiedniej koordynacji działań na poziomie strategicznym, planistycznym i operacyjnym, możliwe będzie stworzenie przestrzeni przyjaznych zarówno dla ludzi zwykłych i przypadkowych, jak i dla całego środowiska, przyczyniając się do poprawy jakości życia oraz zwiększenia odporności miast na zmiany klimatyczne.

Bibliografia

- Akbari H., Bell R., Brazel T., Cole D., Estes M., Heisler G., Hitchcock D., Johnson B., Lewis M., McPherson G., Oke T., Parker D., Perrin A., Rosenthal J., Sailor D., Somenow J., Taha H., Voogt J. A., Winner D., Wolf K., Zalph B. (2008). *Reducing Urban Heat Islands: compendium of strategies – Urban Heat Island basics*, US EPA.
- Alam M., Rabbani G. (2007). Vulnerabilities and responses to climate change for Dhaka. *Environment and Urbanization*, 19(1), 81–97.
- Arnfield J. (2003). Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 23(1), 1–26.
- Babś D., Marcinowicz R. (2019). Meteorologiczne uwarunkowania powodzi błyskawicznych w Gdańsku w 2018 roku. w. *Współczesne Problemy Klimatu Polski*; Chojnacka-Ożga L., Lorenc H., Eds.; Seria Publikacji Naukowo-Badawczych IMGW-PIB; IMGW-PIB: Warszawa, 164–171. ISBN 978-83-64979-33-0.
- Baryła A., Gnatowski T., Karczmarczyk A., Szatyłowicz J. (2019). Changes in Temperature and Moisture Content of an Extensive-Type Green Roof. *Sustainability*, 11(9), 2498.
- Bicknell J., Dodman D., Satterthwaite D. (ed.) (2009). *Adapting Cities to Climate Change: Understanding and Addressing the Development Challenges*, Earthscan Publications, London, 397 p.
- Błażejczyk K., Bröde P., Fiala D., Havenith G., Ingvar Holmér I., Jendritzky G., & Kampmann B. (2010a). UTCI – Nowe narzędzie badania warunków bioklimatycznych w różnych skalach czasowych i przestrzennych. *Przegląd Geofizyczny*, 55(1–2), 5–19.
- Błażejczyk K., Bröde P., Fiala D., Havenith G., Ingvar Holmér I., Jendritzky G., & Kampmann B. (2010b). UTCI – Nowy wskaźnik oceny obciążeń cieplnych człowieka. *Przegląd Geograficzny*, 82(1), 49–68.
- Błażejczyk K., Wójcik M., Milewski P., Dudek W., Kręcisz B., Błażejczyk A., Szmyd J., Degórska B., Pałczyński C. (2014). *Miejska wyspa ciepła w Warszawie. Uwarunkowania klimatyczne i urbanistyczne*, Warszawa.
- Bröde P., Fiala D., Błażejczyk K., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B., Tinz B., Havenith G. (2012). Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Int J Biometeorol*, 56(3), 481–449.
- CCSP. (2008). *Reanalysis of Historical Climate Data for Key Atmospheric Features: Implications for Attribution of Causes of Observed Change. A Report by the U.S. CCSP and Subcommittee on Global Change Research*. [Randall Dole, Martin Hoerling, and Siegfried Schubert, (eds.) NOAA NCDC, Asheville, NC.
- Chan APC, Yi W. (2016). Heat stress and its impacts on occupational health and performance. *Indoor and Built Environment*, 25(1), 3–5. <https://doi.org/10.1177/1420326X15622724>
- Cheshire W.P. (2016). Thermoregulatory disorders and illness related to heat and cold stress, *Autonomic Neuroscience*, 196, 91–104, <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2016.01.001>
- Cheung S.S., McLellan T.M. & Tenaglia S. (2000). The Thermophysiology of Uncompensable Heat Stress. *Sports Med* 29, 329–359. <https://doi.org/10.2165/00007256-200029050-00004>

- Cheung W.W., Reygondeau G., Frölicher T.L. (2016). Large benefits to marine fisheries of meeting the 1.5°C global warming target. *Science*, 23;354(6319), 1591–1594. <https://doi.org/10.1126/science.aag2331>
- Ciapa S., Śliwka M. (2023). Zieleń w mieście i jej wpływ na jakość powietrza oraz efekt miejskiej wyspy ciepła na przykładzie miasta Krakowa. *Polish Journal for Sustainable Development*, 27(2), 7–13.
- City Wide Streetscape Implementation Manual and Financial Strategy: For Intensification Areas and Heritage Conservation Districts (2014). City of Vaughan, Sierra Planning and Management, Brad Golden & Co., Planning Solutions Inc., Gabriel Mackinnon, Geniuar Ontario Inc., EDA Collaborative Inc.
- Climate Change (2014). Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Cogley J. (2017). The future of Asia's glaciers. *Nature*, 549, 166–167. <https://doi.org/10.1038/549166a>
- de Sherbinin A., Schiller A., Pulsipher A. (2007). The vulnerability of global cities to climate hazards, *Environment and Urbanization*, Vol. 19, No. 1, pp. 39–64.
- Djaków P. (2021). Zmiana klimatu w Polsce na mapkach. <https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/zmiana-klimatu-w-polsce-na-mapkach-468>
- Duhl L.J., & Sanchez A.K. (1999). *Healthy Cities. The Theory, Policy, and Practice*. Oxford: Oxford University Press.
- Ebi K.L., Capon A., Berry P., Broderick C., de Dear R., Havenith G., Honda Y., Kovats R.S., Ma W., Malik A., Morris N.B., Nybo L., Seneviratne S.I., Vanos J., Jay O. (2021). Hot weather and heat extremes: health risks. *Lancet*. Aug 21;398(10301):698–708. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01208-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01208-3)
- Fiala D., Lomas K. & Stohrer M. (2001). Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions. *Int J Biometeorol* 45, 143–159. <https://doi.org/10.1007/s004840100099>
- Fortuniak K. (2003). Miejska Wyspa Ciepła. Podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, 233.
- Ghofrani Z., Sposito V., Faggian R. (2017). A comprehensive review of blue-green infrastructure concepts. *Environment & Sustainability*, 6(1), 15–36.
- Glantz M. H (2008). Hurricane Katrina as a “teachable moment”. *Adv. Geosci.*, 14, 287–294.
- GUS. (2024). Narażenie ludności na hałas w miastach powyżej 100 tysięcy mieszkańców. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/srodowisko/narazenie-ludnosci-na-halas-w-miastach-powyzej-100-tysiecy-mieszkanow,19,1.html>
- Haddad L., Aouachria Z. (2015). Impact of the Transport on the Urban Heat Island, *International Journal of Earth, Energy and Environmental Sciences*, 9(8), 960–965.
- Havenith G. (1985). Individualized model of human thermoregulation for the simulation of heat stress response. *J Appl Physiol* 2001 May; 90(5), 1943–54. <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.90.5.1943>
- IMGW. (2025). Charakterystyka wybranych elementów klimatu w Polsce w 2024 roku – podsumowanie. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. <https://imgw.pl/charakterystyka-wybranych-elementow-klimatu-w-polsce-w-2024-roku-podsumowanie> (dostęp: 11.03.2025).
- IOŚ-PIBc. (2019). Protokół z Kioto do Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, sporządzony w Kioto dnia 11 grudnia 1997 r. <https://klimada2.ios.gov.pl/akt->

[prawny/protokol-z-kioto-do-ramowej-konwencji-narodow-zjednoczonych-w-sprawie-zmian-klimatu-sporzadzony-w-kioto-dnia-11-grudnia-1997-r](#) (dostęp w dn.: 28.07.2021 r.).

IPCC. (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. Geneva: IPCC. ISBN 2-9169-122-4.

IPCC. (2021). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.). Cambridge University Press. In Press, A. „The Current State of the Climate” rozdz. A.

IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by: Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Tignor, M., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A., and Rama, B., Cambridge University Press, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., <https://doi.org/10.1017/9781009325844>

Jayasooriya V.M., Ng, A.W., Muthukumaran S., Perera B.J. (2017). Green infrastructure practices for improvement of urban air quality. Urban Forestry & Urban Greening, 21, 34–47.

Johnson R.J., Sánchez-Lozada L.G., Newman L.S., et al. (2019). Climate change and the kidney. Ann Nutr Metab. 74(suppl 3), 38–44. <https://doi.org/10.1159/000500344>

Jopek D. (2018). Czynniki kształtujące przestrzenną formę miasta. Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna, 42, 81–89.

Jurkowlaniec E. (2017). Zaburzenia rytmów biologicznych pod wpływem zanieczyszczenia światłem – wybrane fizjologiczne aspekty niedoboru melatoniny oraz witaminy D. Polish Journal for Sustainable Development 21 (2), 47-58, DOI: <https://doi.org/10.15584/pjsd.2017.21.2.5>

Kaniewska M. (2015). Etyczna analiza dokumentów dotyczących ochrony klimatu. Journal of Modern Science, 26(3), 129–147.

Kaplan G., Avdan U., Avdan Z.Y. (2018). Urban heat Island analysis using the landsat 8 satellite data: A case study in Skopje, Macedonia, Proceedings 2(7), 358. DOI: 10.3390/ecrs-2-05171.

Karski L. (2009). Prawo zmian klimatu – najlepszy instrument polityki. W: A. Kassenberg, Z.M. Karaczun (red.) Zmiany klimatyczne są faktem (s. 23–44). Warszawa: Fundacja Centrum Stosunków Międzynarodowych. ISBN 978-83-88216-82-4.

Kassenberg A., Szymalski W., Świerkula E. (2019). Poradnik adaptacji miast do zmian klimatu, InE, Warszawa.

Kats G., Glassbrook K. (2018). Delivering Urban Resilience. <https://smartsurfacescoalition.org/analysis/delivering-urban-resilience-full-report>

Kenny G.P., Jay O. (2013). Thermometry, calorimetry, and mean body temperature during heat stress. Compr Physiol. 3(4), 1689–719. <https://doi.org/10.1002/cphy.c130011>. PMID: 24265242.

Kolerski T., Kalinowska D. (2017). Flood management in urban basins of the city of Gdańsk. Proceedings of the 15th International Symposium on Water Management and Hydraulics Engineering, 95–111.

Kołton A., Czaja M. (2023). Oddziaływanie zanieczyszczenia światłem na rośliny – co wiemy i czego się spodziewamy. W: M. Kunz (red.). Zanieczyszczenie światłem nocnego nieba – w stronę

- interdyscyplinarnego poznania, monitoringu i przeciwdziałania. Wydawnictwo Naukowe UMK, Toruń, 33–52. <https://repozytorium.umk.pl/handle/item/6949>
- Komisja Europejska. (2019). Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów Europejski Zielony Ład. Dokument COM(2019) 640 final. 11.12.2019.
- Komisja Europejska. (2021). Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego, Komitetu Regionów: „Budując Europę odporną na zmianę klimatu – nowa Strategia w zakresie przystosowania do zmiany klimatu”, Bruksela, dn. 24.02.2021KOM(2021) 82 wersja ostateczna.
- Kozjar K. (2019). W 2003 roku fala upałów zabiła w Europie 70 tys. osób. Czy jesteśmy gotowi na kolejne? SmogLab. <https://smoglab.pl/fala-upalow-europa-przezyla-kilka-morderczych-fal-upalow-czy-jestesmy-gotowi-na-kolejne> (dostęp: 11.03.2025).
- KPM. Krajowa Polityka Miejska 2023. Załącznik do uchwały nr 198 Rady Ministrów z dnia 20 października 2015 r. (poz. 1235), s. 13-14, 90-96, 113-114, 117-118.
- Kundzewicz Z. (2012). Zmiany klimatu, ich przyczyny i skutki – możliwości przeciwdziałania i adaptacji. Studia BAS, 1(29), 9–30.
- Kunkel K.E., Liang X., Zhu J., Lin Y. (2006). Can CGCMS simulate the twentieth century “warming hole” in the central United States? *Journal of Climate*, 19(17), 4137–4153.
- Landsberg H.E. (1981). *The urban climate*, International Geophysics Series, 28, Academic Press, Nowy Jork.
- Le Tertre A., Lefranc A., Eilstein D., Declercq C., Médina S., Blanchard M., Chardon B., Fabre P., Filleul L., Jusot J., Pascal L., Prouvost H., Cassadou S., Ledrans M. (2006). Impact of the 2003 Heatwave on All-Cause Mortality in 9 French Cities. *Epidemiology*, 17, 75–79.
- Lewińska J. (2000). *Klimat miasta, zasoby, zagrożenia, kształtowanie*, IGPIK, Kraków.
- LPTT. (2023). *Zanieczyszczenie światłem w Polsce. Raport 2023*. Light Pollution Think Tank. Kotarba A.Z. (red.) Wydawnictwo Centrum Badań Kosmicznych PAN, Warszawa.
- Matuszko A., Matuszko D. (2020). EKOMIASTO – przykład Krakowa, *Urban Development Issues*, 66, 241–253. DOI: 10.2478/udi-2020-0028.
- Matuszko A., Mikołajczyk D., Matuszko D. (2023). Zmiany klimatu Krakowa i adaptacja do nich w kontekście uwarunkowań planistycznych. *Prace Geograficzne zeszyt 170*, 2023, 99–118 doi: 10.4467/20833113PG.23.005.17493
- Matuszko D., Piotrowicz K. (2015). Cechy klimatu miasta a klimat Krakowa, [w:] P. Trzepacz, J. Więclaw-Michniewska, A. Brzosko-Sermak, A. Kołoś (red.), *Miasto w badaniach geografów*, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 1, 221–240.
- Milert M. (2024). Czy miastowi śpią gorzej niż mieszkańcy wsi?, domondo.pl, www.architekturaibiznes.pl/spiaca-krolewna-mialaby-ciezko,34950.html
- Morakinyo T., Kalani D., Ng E. & Chow Ch. (2017). Temperature and cooling demand reduction by green-roof types in different climates and urban densities: A co-simulation parametric study. *Energy and Buildings*. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.066>
- Mrowiec M. (2020). *Ekonomiczne aspekty polityki klimatycznej*. W: Gajewski J., Paprocki W. (red.) *Polityka klimatyczna i jej realizacja w pierwszej połowie XXI wieku*. Publikacja Europejskiego Kongresu Finansowego. Sopot.

- Muras A. (2018). Wpływ zmiany klimatu na zdrowie. HEAL.
- MZP. (2022). Light pollution reduction measures in Europe. Short version of the Working paper for the international workshop Light Pollution 2022, organized by the Czech Presidency of the Council of the European Union. Prepared by the Ministry of the Environment of the Czech Republic, www.mzp.cz/en/light_pollution_workshop_2022
- Oke T.R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* (1967). 7(8), 769–779.
- ONZ. (2005). World Population Prospects: The 2004 Revision, UN Department of Economic and Social Affairs Population Division, New York.
- Ostrowski J., Czarnecka H., Glowacka B., Krupa-Marchlewska J., Zaniewska M., Sasim M., Moskwicki T., Dobrowolski A. (2012). Nagłe powodzie lokalne (flash flood) w Polsce i skala ich zagrożeń. W: H. Lorenc (red.), Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo. Kłęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju, Tom 3. Warszawa: IMGW-PIB, 123–149.
- Piotrowicz K., Bielec-Bąkowska Z., Krzyworzeka K. (2020). Groźne zjawiska meteorologiczne w Krakowie i powiecie krakowskim w świetle interwencji straży pożarnej i policji, IGIiP UJ, Kraków.
- Plan adaptacji. (2019). Plan adaptacji miasta Krakowa do zmian klimatu do roku 2030 (MPA), Kraków 2019 (Uchwała Nr XXXVI/933/20 Rady Miasta Krakowa z dnia 26 lutego 2020 r. w sprawie przyjęcia Planu Adaptacji Miasta Krakowa do zmian klimatu do roku 2030).
- Pociask-Karteczka J., Żychowski J., & Bryndal T. (2017). Zagrożenia związane z wodą: powodzie błyskawiczne. *Gospodarka Wodna*, 77(2 (818)). <http://ruj.uj.edu.pl/xmlui/handle/item/40917>
- PAP. (2030). Polityka Ekologiczna Państwa 2030 – strategia rozwoju w obszarze środowiska i gospodarki wodnej. Załącznik do uchwały nr 67 Rady Ministrów z dnia 16 lipca 2019 r. (poz. 794).
- Popkiewicz M. (2021). Rewolucja energetyczna z perspektywy samorządu. Jak to zrobić skutecznie?, *Energetyka Rozproszona*, 5–6, 51–60. <https://doi.org/10.7494/er.2021.5-6.51>
- Porozumienie. (2015). Porozumienie paryskie do Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, sporządzonej w Nowym Jorku dnia 9 maja 1992 r., przyjęte w Paryżu dnia 12 grudnia 2015 r. (Dz.U. 2017 poz. 36 ze zm.).
- Priyadarshini J., Vivekanand J. (2023) Heat Stress: A Hazardous Occupational Risk for Vulnerable Workers. *Kidney Int Rep.* 2023 Jun 1;8(7):1283-1286. <https://doi.org/10.1016/j.ekir.2023.05.024>. PMID: 37441474; PMCID: PMC10334395
- Promińska M. (2023). Zdrowa Urbanistyka. Nowy standard planowania przestrzennego, PWN Warszawa.
- Raport. (2021). Raport o stanie polskich miast. Środowisko i adaptacja do zmian klimatu (2021) 226.
- Rasmussen L.V., Kirchhoff C.J., Lemos M.C. (2017). Adaptation by stealth: climate information use in the Great Lakes region across scales *Clim. Change*, pp. 1–15.
- Research to Action. (2020). Research to Action. Building Health for All in the Face of COVID-19. Chapter 4 optimizing density for people, Center for Active Design, Fitwel.
- Retencja. (2022). Błękitno-zielona infrastruktura. Dlaczego jest tak ważna dla retencji?, Retencja – gov.pl. www.gov.pl/web/retencja/blekitno-zielona-infrastruktura-dlaczego-jest-tak-wazna-dla-retencji (dostęp: 11.03.2025).
- Romanowicz R.J., Nachlik E., Januchta-Szostak A., Starkel L., Kundzewicz Z.W., Byczkowski A., Kowalczak P., Żelaziński J., Radczuk L., Kowalik P., Szamałek K. (2014). Zagrożenia związane z nadmiarem wody, *Nauka*, 1, 123–148.

- Rosenfeld D., Lohmann U., Raga G. B., O'Dowd C. D., Kulmala M., Fuzzi S., Reissell A., Andreae M. O. (2008). Flood or Drought: How Do Aerosols Affect Precipitation? *Science*, 321, 1309–1313. <https://doi.org/10.1126/science.1160606>.
- Rozporządzenie. (2021). Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2021/1119 z dnia 30 czerwca 2021 r. w sprawie ustanowienia ram na potrzeby osiągnięcia neutralności klimatycznej i zmiany rozporządzeń (WE) nr 401/2009 i (UE) 2018/1999 (Europejskie prawo o klimacie) (Dz.Urz. UE L 243 z 9.7.2021).
- Rybicka A. (2021). Teoretyczne aspekty zarządzania ryzykiem klęsk żywiołowych a adaptacja do zmian klimatu. W: Borek A., Wróblewski E. Prawne aspekty adaptacji do zmian klimatu z perspektywy UNFCCC i prawa krajowego. Wybrane zagadnienia. Wyd. IOŚ-PIB. Warszawa. rozdz. IV.
- Sala K. (2020). Zanieczyszczenie świetlne. Zagrożenia i sposoby jego ograniczania. *Rocznik Administracji Publicznej* 6, 254–266. <https://doi.org/10.4467/24497800RAP.20.014.12908>
- Satterthwaite D. (2008), Cities' contribution to global warming; notes on the allocation of greenhouse gas emissions, *Environment and Urbanization*, 20(2), October, 539–550.
- Schleussner C.-F., Lissner T.K., Fischer E.M., Wohland J., Perrette M., Golly A., Rogelj J., Childers K., Schewe J., Frieler K., Mengel M., Hare W., and Schaeffer M. (2016). Differential climate impacts for policy-relevant limits to global warming: the case of 1.5°C and 2°C, *Earth Syst. Dynam.*, 7, 327–351. <https://doi.org/10.5194/esd-7-327-2016>
- Siedlecki B. (2016). Wpływ rozwiązań technologicznych systemów oświetlenia obszarów mieszkaniowych na socjologię oraz zanieczyszczenie światłem środowiska naturalnego. *Środowisko Mieszkaniowe* 17, 125–130.
- Siwior P. (2021). Prawo klimatyczne i polityka klimatyczna UE – rozwój i przyszłe kierunki. W: A. Borek (red.), *Adaptacja do zmian klimatu w unijnej i polskiej polityce klimatycznej oraz prawie klimatycznym*, 21–37, wyd. IOŚ-PIB; Warszawa.
- Skorb K. (2023). Zanieczyszczenie światłem jako czynnik odpowiedzialny za globalną apokalipsę owadów – podsumowanie badań. W: M. Kunz (red.), *Zanieczyszczenie światłem nocnego nieba – w stronę interdyscyplinarnego poznania, monitoringu i przeciwdziałania*. Wydawnictwo Naukowe UMK, Toruń, 53–76. <https://repozytorium.umk.pl/handle/item/6949>
- Skwarło-Sońta K., Zużewicz K. (2023). Wpływ ALAN na rytm snu i czuwania oraz zdrowie człowieka. W: M. Kunz (red.), *Zanieczyszczenie światłem nocnego nieba – w stronę interdyscyplinarnego poznania, monitoringu i przeciwdziałania*. Wydawnictwo Naukowe UMK, Toruń, 13–32. <https://repozytorium.umk.pl/handle/item/6949>
- SPA (2013). Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030, https://bip.mos.gov.pl/fileadmin/user_upload/bip/strategie_plany_programy/Strategiczny_plan_adaptacji_2020.pdf (dostęp: 15.07.2021 r.).
- Speak A.F., Rothwell J.J., Lindley S.J. and Smith C.L. (2012). Urban Particulate Pollution Reduction by Four Species of Green Roof Vegetation in a UK City. *Atmospheric Environment*, 61, 283–293. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.043>.
- Strużewska J., Jefimow M., Kłeczek M., Sattari A., Gienibor A., Norowski A., Durka P., Walczak B., Drzewiecki P. (2020). Zmiany temperatury i opadu na obszarze Polski w warunkach przyszłego klimatu do roku 2100 (wersja skrócona). Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy.

- Szymanowski M. (2004). „Miejska wyspa ciepła we Wrocławiu”. *Acta Universitatis Wratislaviensis*, No 2690, *Studia Geograficzne*, 77, 1–229.
- Tałańda J. (2015). Ekologiczne zanieczyszczenie światłem, czyli kiedy sztuczne światło w nocy zaburza naturalny cykl światła i ciemności w ekosystemie. *Kosmos. Problemy Nauk Biologicznych* 64(4), 611–616.
- UMK. (2023). Ekspertyza Miejskiej Wyspy Ciepła w Krakowie. Wydział Gospodarki Komunalnej i Klimatu Urzędu Miasta Krakowa. Kraków.
- United Nations Population Fund. State of the WorldPopulation 2007: Unleashing the Potential of UrbanGrowth. Geneva: UNFPA; 2007. <http://www.unfpa.org/swp/index.html>
- Vujovic S., Haddad B., Karaky H., Sebaibi N., Boutouil M. (2021). Urban Heat Island: Causes, Consequences, and Mitigation Measures with Emphasis on Reflective and Permeable Pavements. *CivilEng*, 2, 459–484.
- Weber T., Haensler A., Rechid D., Pfeifer S., Eggert B., & Jacob D. (2018). Analyzing regional climate change in Africa in a 1.5, 2, and 3°C global warming world. *Earth’s Future*, 6, 643–655. <https://doi.org/10.1002/2017EF000714>
- Wróblewski E. (2021). Adaptacja do zmian klimatu – zagrożenia wprowadzające. W: A. Borek, E. Wróblewski (red.), *Prawne aspekty adaptacji do zmian klimatu z perspektywy UNFCCC i prawa krajowego. Wybrane zagrożenia*. Wyd. IOŚ-PIB. Warszawa.
- Wyndham C.H. (1969). Adaptation to heat and cold, *Environmental Research*, 2(5–6), 442–469, ISSN 0013-9351, [https://doi.org/10.1016/0013-9351\(69\)90015-2](https://doi.org/10.1016/0013-9351(69)90015-2)
- Yang J., Mohan Kumar D.L., Pyrgou A., Chong A., Santamouris M., Kolokotsa D., Lee S.E. (2018). Green and cool roofs” urban heat island mitigation potential in tropical climate, *Solar Energy*, 173, 597–609. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.08.006>
- Zamorowska K. (2021). Raport IPCC: ludzkość zmieniła system klimatyczny. Teraz liczy się każdy promil ocieplenia, www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/raport-IPCC-2021-zmiany-klimatu-10704.html (dostęp w dn.: 13.03.2025 r.).
- Zhao Ch., Liu B., Piao S., Wang X., Lobell D.B., et al. (2017). Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(35), 9326–9331. <https://dx.doi.org/10.1073/pnas.1701762114>
- Zimmerman R., Restrepo C.E., Nagorsky B., Culpen A.M. (2007). Vulnerability of the elderly during natural hazard events. In: *Proceedings of the Hazards and Disasters Researchers Meeting*, July 11–12, 2007. Boulder, CO Natural Hazards Center, 38–40.
- http://www.ios.org.pl/userfiles/file/bilans/26.06.2020/Sprawozdanie_2019_final.pdf
- <https://aerisfuturo.pl/baza-wiedzy/zmiany-klimatu/>
- <https://blog.p.lodz.pl/nauka-i-badania/zanieczyszczenie-halasem>
- <https://climate.copernicus.eu>
- <https://hasproearplugs.com/news/zanieczyszczenie-halasem-co-to-takiego>
- <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2>
- <https://ir.energa.pl/pr/292476/w-gdyni-rusza-innowacyjny-projekt-energa-living-lab>

<https://magazynieplsystemowego.pl/ekologia/smog-akustyczny-czyli-zanieczyszczenie-halasem/>

<https://msip.um.krakow.pl/>

https://repozytorium.biblos.pk.edu.pl/redo/resources/32626/file/suwFiles/GolabKorzeniowskaM_PrzekształceniaMiasta.pdf

<https://v2.wellcertified.com/en/wellv2-3.5/air/feature/12>

<https://www.architekturaibiznes.pl/halas-o-cisze.-neuroroznorodnosc-w-miescie.,32881.html>

<https://www.architekturaibiznes.pl/halas-w-miescie-daniel-mermer,37641.html>

<https://www.architekturaibiznes.pl/spiaca-krolewna-mialaby-ciezko,34950.html>

<https://www.climatejust.org.uk/what-climate-justice>

<https://www.eea.europa.eu/pl/articles/zanieczyszczenie-halasem-standowi-powazny-problem>

<https://www.green-zones.eu/pl/srodowisko-zdrowie/zanieczyszczenie-halasem>

<http://www.ios.org.pl/>

<https://www.unfpa.org/publications/unfpa-annual-report-2007>

https://www.unisdr.org/files/8018_ICLRNRCan2003Final1.pdf

<https://ios.edu.pl/projekt/klimada-2-0-baza-wiedzy-o-zmianach-klimatu/>

BDL GUS, <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/start>

https://imgw.pl/wp-content/uploads/2024/11/imgw-pib_klimat_polski_2023_raport.pdf

Załącznik. Przykłady rozwiązań z zakresu infrastruktury zielono-błękitnej

Przykładowe rozwiązania w Polsce – linki do tekstów pdf, map w tekstach poniżej:

Program „Warszawa chwyta wodę”, w ramach którego mieszkańcy mogli otrzymać dotację do 10 tys. zł na budowę instalacji do zatrzymywania i wykorzystania wód opadowych i roztopowych w miejscu ich powstania.

<https://zzw.waw.pl/2017/10/01/warszawa-chwyta-wode-program-zrownowazonego-korzystania-z-wod-powierzchniowych-i-opadowych>

efekty: <https://sendzimir.org.pl/publikacje/film-warszawa-chwyta-wode>

Program „Miasto Gąbka” w Legnicy. Program związany z małą retencją realizowany w kilku etapach do 2023 roku. Miasto położyło szczególny nacisk na retencję krajobrazową i glebową. Wsparcie dla właścicieli nieruchomości z udostępnieniem dokumentacji projektowej, którzy podejmą budowę instalacji do gromadzenia deszczówki.

<https://portal.legnica.eu/aktualnosci/woda-deszczowa-to-cenny-skarb-chcemy-ja-zatrzymac,15262,1,6.html>

<https://sozosfera.pl/woda/miasto-gabka-legnica-chce-zatrzymac-wode-deszczowa/>

W Sopocie od kilku lat dofinansowywane są projekty wykorzystywania wody deszczowej m.in. do podlewania przydomowych ogródków. Gmina pokrywa nawet 50% kosztów, jednak nie więcej niż 1 tys. zł dla budynku jednorodzinnego i 5 tys. zł dla wielorodzinnego. Mieszkańcy mogą otrzymywać dofinansowanie na założenie ogrodu deszczowego w pojemniku albo w gruncie, wybudowanie muldy lub studni chłonnej czy zbiornika na wodę opadową – tu mamy od wielu lat szereg programów włącznie z najnowszym FENIKSEM.

„Bielsko-Biała łapie deszcz” ma zachęcać mieszkańców do efektywnego gospodarowania wodą opadową na terenie swojej posesji. Bielszczanie mogą uzyskać dotację na montaż naziemnego lub podziemnego zbiornika retencyjnego.

<https://www.miastodobrejenergii.pl/aktualnosci/bielsko-biala-lapie-deszcz>

„Po(d)lej deszczem w Sosnowcu”. Mieszkańcy Sosnowca mogli dostać nawet 4 tys. zł dotacji na budowę lub modernizację instalacji gromadzącej wodę opadową (np. ogrodu deszczowego w pojemniku i w gruncie, muldy lub studni chłonnej, a także podziemnego lub nadziemnego zbiornika).

<https://www.sosnowiec.pl/2024/02/ochrona-srodowiska/podlej-deszczem-w-sosnowcu-dotacja-celowa/>

Program „Złap deszczówkę” w Lublinie – na budowę systemów ogrodowych służących zatrzymywaniu wody deszczowej oraz naziemnych i podziemnych zbiorników retencyjnych i studni chłonnych z kręgów betonowych.

We Wrocławiu program „Złap deszcz”, dzięki któremu wrocławianie mogli uzyskać nawet kilka tysięcy złotych dotacji na budowę urządzeń do łapania deszczówki (np. beczek) na swojej posesji i efektywniej wykorzystywać wodę opadową do celów gospodarczych.

W Gdańsku można było składać wnioski o dotację na małą, przydomową retencję: studnie chłonne i skrzynki rozsączające. Osoby prywatne mogły zyskać do 4 tys. zł, a wspólnoty i spółdzielnie mieszkaniowe – nawet 10 tys. zł!

Gdynia oferowała nawet do 10 tys. zł dofinansowania na założenie ogrodu deszczowego. Miasto pokrywa do 60% udokumentowanych kosztów wykonania ogrodu.

Tarnów wspierał budowę przydomowych zbiorników służących gromadzeniu deszczówki. Mieszkańcy mogli składać wnioski o dofinansowanie w kwocie od 500 do 4 000 zł. Wartość dotacji zależy od wielkości i rodzaju zbiornika retencyjnego.

Działania na rzecz magazynowania wody prowadzą instytucje publiczne. W województwie łódzkim, szczególnie narażonym na problem suszy, **Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Łodzi przeznaczył 4 mln zł na dofinansowanie retencji w ramach priorytetowego programu „DESZCZÓWKA – Gromadzenie wód opadowych”.** Dzięki niemu zainteresowane osoby mogły uzyskać do 5 tys. zł na zasiew łąk kwietnych i budowę małych zbiorników retencyjnych.



Zielony dach na budynku Międzynarodowego Centrum Kongresowego w Katowicach



Zielona ściana na budynku Fundacji na rzecz Nauki Polskiej w Warszawie



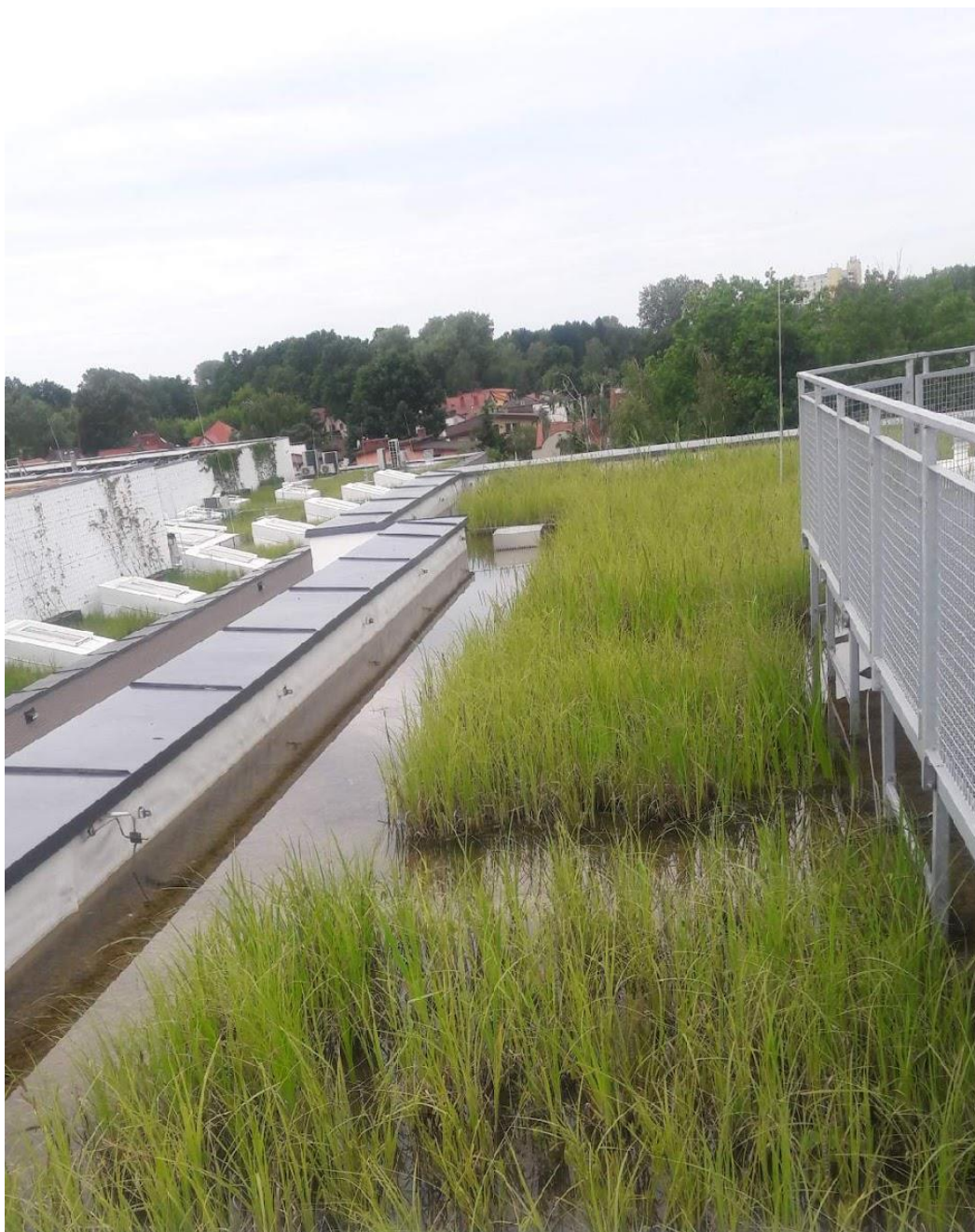
Zielona ściana na budynku CaixaForum w Madrycie. Ogród wertykalny projektu Patricka Blanca.



Ogród deszczowy w pojemniku przy budynku szkoły podstawowej w Warszawie. Opóźnia odpływ wody opadowej i odciąża miejską sieć kanalizacji deszczowej.



Ogród deszczowy w gruncie w Gdańsku. Ogrody deszczowe w gruncie w odpowiednich warunkach poza funkcją retencyjną mogą także infiltrować wody opadowe.



Dach bagienny na budynku MCEiR w Markach. Pierwsza realizacja systemu hydrofitowego na dachu budynku w Polsce. Służy zagospodarowaniu wód opadowych oraz izolacji termicznej dachu budynku.



Roślinne wyspy filtracyjne w Żyrardowie. Pełnią rolę filtrów oczyszczających wodę oraz miejsca schronienia i gniazdowania ptaków.



Zbiornik retencyjny na terenie osiedla mieszkaniowego w Warszawie. Stanowi istotny element systemu zagospodarowania wody opadowej wraz z zielonym dachem i zbiornikami retencyjnymi podziemnymi. Za jakość wody w zbiorniku odpowiada roślinna strefa regeneracyjna oraz filtry mineralne.



Zbiornik „suchy” – okolice Berlina. Zatrzymuje i infiltrowuje wodę opadową tylko w przypadku intensywnych opadów. Na co dzień pełni funkcję terenu zielonego i boiska.



Dach zielony (ogród na dachu) na budynku Biblioteki UW w Warszawie. Przykład dachu o zazielenieniu intensywnym.

Opracowania dla Krakowa – linki do tekstów pdf, map w tekstach poniżej:

<https://kegw.krakow.pl/aktualnosci/krakow-w-zmiennym-klimacie/7293/>

https://www.krakow.pl/klimat/273728,artykul,miejska_wyspa_ciepla.html

https://www.krakow.pl/aktualnosci/274237,2163,komunikat,inwentaryzacja_obszarow_szczegolnie_wrazliwych.html

https://www.krakow.pl/klimat/269233,artykul,jak_dbamy_o_klimat_w_krakowie.html

Samorząd Województwa Małopolskiego prowadził konkurs dot. „Zasad naboru i realizacji wniosków w sprawie udzielania pomocy finansowej dla gmin na zadania polegające na racjonalnym gospodarowaniu wodami opadowymi – MAŁOPOLSKA DESZCZÓWKA”. Program zakładał wsparcie dla gmin w racjonalnym gospodarowaniu wodami opadowymi i roztopowymi.
<https://www.malopolska.pl/aktualnosci/rolnictwo/malopolska-deszczowka-2024>

Kraków również prowadził swój program pro-retencyjny. Miasto przyjmowało wnioski od mieszkańców, którzy chcieliby dostać miejską dotację na wykonanie systemu do gromadzenia i wykorzystania wód opadowych i roztopowych. Wsparcie może wynieść nawet do 12 tys. złotych.

Ten jest ogólnopolski: <https://www.wfos.krakow.pl/program-priorytetowy-moja-woda/>

Krakowska mikroretencja wód opadowych i roztopowych w 2024 roku

https://www.bip.krakow.pl/?dok_id=184851

https://www.krakow.pl/aktualnosci/257954,26,komunikat,mikroretencja_wod_opadowych_i_roztopowych_zloz_wniosek.html?_ga=2.68777622.645276463.1646651356-1334358379.1641802671