



WYDZIAŁ
ARCHITEKTURY

Imię i nazwisko studenta: Kacper Lewandowski

Nr albumu: 171721

Poziom kształcenia: Studia drugiego stopnia

Forma studiów: stacjonarne

Kierunek studiów: Gospodarka przestrzenna

Specjalność: Zintegrowane Zarządzanie Strefą Przybrzeżną

PRACA DYPLOMOWA MAGISTERSKA

Tytuł pracy w języku polskim: System informacji o terenie w zakresie wybranych skutków zmian klimatycznych na przykładzie Gdańska

Tytuł pracy w języku angielskim: Land information system for selected climate change impacts on the example of Gdańsk

Opiekun pracy: dr inż. arch. Joanna Bach-Głowińska

OŚWIADCZENIE dotyczące pracy dyplomowej zatytułowanej: System informacji o terenie w zakresie wybranych skutków zmian klimatycznych na przykładzie Gdańska

Imię i nazwisko studenta: Kacper Lewandowski

Data i miejsce urodzenia:

Nr albumu: 171721

Wydział: Wydział Architektury

Kierunek: gospodarka przestrzenna

Poziom kształcenia: drugi

Forma studiów: stacjonarne

Typ pracy: praca dyplomowa magisterska

Świadomy(a) odpowiedzialności karnej z tytułu naruszenia przepisów ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (t.j. Dz. U. z 2019 r. poz. 1231, z późn. zm.) i konsekwencji dyscyplinarnych określonych w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2020 r. poz. 85, z późn. zm.),¹ a także odpowiedzialności cywilnoprawnej oświadczam, że przedkładana praca dyplomowa została opracowana przeze mnie samodzielnie.

Niniejsza praca dyplomowa nie była wcześniej podstawą żadnej innej urzędowej procedury związanej z nadaniem tytułu zawodowego.

Wszystkie informacje umieszczone w ww. pracy dyplomowej, uzyskane ze źródeł pisanych i elektronicznych, zostały udokumentowane w wykazie literatury odpowiednimi odnośnikami zgodnie z art. 34 ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych.

13.11.2022, Kacper Lewandowski

Data i podpis lub uwierzytelnienie w portalu uczelnianym Moja PG

**) Dokument został sporządzony w systemie teleinformatycznym, na podstawie §15 ust. 3b Rozporządzenia MNiSW z dnia 12 maja 2020 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie studiów (Dz.U. z 2020 r. poz. 853). Nie wymaga podpisu ani stempla.*

¹ Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce:

Art. 312. ust. 3. W przypadku podejrzenia popełnienia przez studenta czynu, o którym mowa w art. 287 ust. 2 pkt 1–5, rektor niezwłocznie poleca przeprowadzenie postępowania wyjaśniającego.

Art. 312. ust. 4. Jeżeli w wyniku postępowania wyjaśniającego zebrany materiał potwierdza popełnienie czynu, o którym mowa w ust. 5, rektor wstrzymuje postępowanie o nadanie tytułu zawodowego do czasu wydania orzeczenia przez komisję dyscyplinarną oraz składa zawiadomienie o podejrzeniu popełnienia przestępstwa.

STRESZCZENIE

Celem niniejszej pracy jest przybliżenie zagadnienia miasta odpornego, szczególnie w kontekście zmieniającego się klimatu Ziemi. Praca dyplomowa zawiera obszerny przegląd literatury o tematyce odporności, klimatu i proponowanych działań adaptacyjnych i mitygacyjnych w miastach nadmorskich. W części teoretycznej opisano przyczyny i skutki jakie niesie ze sobą globalne ocieplenie oraz jaki wpływ ma to na strefę przybrzeżną i obszary zurbanizowane. Następnie przedstawiono w jakim kierunku zmierza rozwój współczesnych miast i najważniejsze ich koncepcje powstałe na przestrzeni ostatnich lat. Do studium przypadków wybrano trzy miasta - Boston, Vancouver i Kopenhagę - każde o podobnej wielkości, położone w tej samej strefie klimatycznej oraz na wybrzeżu. Przeanalizowano w jaki sposób miasta te radzą i będą radzić sobie z globalnymi zmianami w klimacie oraz jak kształtują swoją odporność.

W zakresie realizowanej części projektowej stworzono aplikację internetową, która ma służyć m.in. lepszemu podejmowaniu decyzji w zakresie adaptacji do skutków zmian klimatycznych na wybranym obszarze. Jako obszar, na którym testuje się aplikację wybrano miasto Gdańsk. Aplikacja składa się z części analitycznej, w której przedstawia się podejmowane działania w miastach poddanych analizie. Działania te zostały podzielone na kategorie: miasto, rodzaj podejmowanego działania, czynnik klimatyczny oraz obszar działania. Dzięki kategoryzacji w aplikacji możliwe jest filtrowanie wyników i wyświetlanie akcji, które akurat najbardziej nas interesują. W kolejnej części aplikacji skupiono się już na konkretnych przykładach - na dwóch dzielnicach Gdańska. Na ich podstawie pokazano na jakiej zasadzie ma działać aplikacja i jakie daje możliwości. Przedstawia się tam możliwe do wykonania projekty oraz ocenia w jaki sposób wpłyną one na dany obszar. Ma to na celu wskazanie, że taka aplikacja może przyczynić się do bardziej adekwatnego i racjonalnego podejmowania decyzji w mieście oraz do ewaluacji realizowanych projektów. W przyszłości może ona posłużyć jako narzędzie transformacji w urbanistyce, dzięki któremu proces planowania przestrzennego będzie znacznie usprawniony.

Słowa kluczowe: odporność, adaptacja, zmiany klimatu

Dziedzina nauki i techniki zgodna z OECD: Nauki społeczne, Geografia społeczna i ekonomiczna, Urbanistyka (Planowanie i rozwój przestrzenny).

ABSTRACT

The aim of this work is to introduce the idea of the resilient city, especially in the context of the Earth's changing climate. The thesis embraces extensive review of the literature on the subject of resilience, climate and proposed adaptation and mitigation measures in coastal cities. The theoretical part describes the causes and consequences of global warming and how it affects the coastal zone and urbanized areas. Then it is presented in what direction the development of modern cities is heading and the most important concepts of them that have been developed over the past years. Three cities were selected for the case study - Boston, Vancouver and Copenhagen - each of similar size, located in the same climate zone and on the coast. It is analyzed how these cities are and will be coping with global climate change and how they are shaping their resilience.

Within the scope of the implemented project, a web application has been created, to, among other things, improve decision-making in adapting to the effects of climate change in the selected area. The city of Gdansk was chosen as the area where the application is being tested. The application consists of an analytical part, which presents the actions taken in the cities under analysis. The actions are categorized by city, type of action taken, climate factor and area of action. Thanks to the categorization in the app, it is possible to filter the results and display the actions that we happen to be most interested in. The next part of the application has already focused on a specific examples - two districts of Gdańsk. On their basis it was shown on what principle the application is supposed to work and what possibilities it offers. It presents several possible projects and assesses how they will affect the area. This is to show that such application can contribute to more adequate and rational decision-making in the city, and to the evaluation of the implemented projects. In the future, it can serve as a transformational tool in urban planning, through which the urban planning process will be greatly improved.

Keywords: resilience, adaptation, climate change

OECD consistent field of science and technology classification: Social sciences, Social and economic geography, Urban studies (Planning and development).

Spis treści

Spis treści	6
WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ I SKRÓTÓW	7
1 WSTĘP I CEL PRACY	8
1.1 Cel pracy	8
1.2 Wykorzystywane metody badawcze	9
2 ZMIANY KLIMATU	10
2.1 Obecnie obserwowane zmiany w klimacie	10
2.2 Przyczyny zmian klimatu	14
2.2.1 Wpływ natury	14
2.2.2 Wpływ działań człowieka	15
2.3 Skutki zmian klimatu	17
2.3.1 Gospodarowanie wodą	17
2.3.2 Energetyka	17
2.3.3 Różnorodność biologiczna	17
2.3.4 Rolnictwo	18
2.4 Wpływ zmian klimatu na strefę przybrzeżną	18
2.4.1 Porty morskie	19
2.4.2 Ochrona brzegów morskich	20
2.5 Wpływ zmian klimatu na miasta	20
2.5.1 Miejska wyspa ciepła	21
2.5.2 Zanieczyszczenie powietrza	22
2.5.3 Ekstremalne opady i powodzie	22
3 ROZWÓJ WSPÓŁCZESNYCH MIAST	24
3.1 Idea zrównoważonego rozwoju	24
3.2 Koncepcja <i>smart city</i>	26
3.3 Koncepcja miasta 15-minutowego	27
3.4 Idea miasta odpornego	28
4 STUDIA PRZYPADKÓW	31
4.1 Boston	31
4.1.1 Climate Action Plan	33
4.1.2 The Coastal Flood Resilience Design Guidelines	33
4.1.3 Resilient harbor vision	36
4.1.4 Heat resilience plan	37
4.1.5 Go Boston 2030	38
4.2 Vancouver	40
4.2.1 Climate Emergency Action Plan	40
4.2.2 Climate Change Adaptation Strategy	42
4.2.3 Coastal Adaptation Plan	42

4.2.4	Resilient Vancouver	44
4.2.5	Vancouver Plan	45
4.3	Kopenhaga	46
4.3.1	Climate Adaption Plan	46
4.3.2	Climate Resilient Neighbourhood	49
4.3.3	Storm Flods Plan for Kobenhavn	51
4.4	Podsumowanie	52
5	SYSTEM INFORMACJI O TERENIE	53
5.1	Część teoretyczna	53
5.1.1	Działania podejmowane w miastach	54
5.1.2	Projekty i plany według miast	54
5.1.3	Podsumowanie	55
5.2	Część projektowa	56
5.2.1	Zasada działania	56
5.2.2	Przykładowe rozwiązania	57
5.2.3	Możliwe rozszerzenia systemu	58
6	PODSUMOWANIE	61
	Spis rysunków	63
	Spis tabel	64
	Bibliografia	65
	Wykaz załączników	71

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ I SKRÓTÓW

- IPCC - Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (ang. *The Intergovernmental Panel on Climate Change*),
- OECD - Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (ang. *Organisation for Economic Co-operation and Development*),
- ONZ - Organizacja Narodów Zjednoczonych,
- SDGs - Cele Zrównoważonego Rozwoju (ang. *Sustainable Development Goals*)
- UE - Unia Europejska

1. WSTĘP I CEL PRACY

Zmiana klimatu jest faktem. Globalne ocieplenie wpływa na całą Ziemię, czego skutki odczuwany już teraz. Wzrost poziomu morza, częstsze występowanie ekstremalnych zjawisk pogodowych czy fale upałów to jedne z nich. Zmiany te wpływają na funkcjonowanie miast jak i samych ludzi. Aby odpowiednio się na nie przygotować obecnie próbuje stosować się dwa podejścia - działania mitygacyjne oraz adaptacyjne.

Mitygacja, czyli łagodzenie, to wszystkie działania, które mając na celu ograniczenie tzw. antropogenicznego efektu cieplarnianego [45, 58, 128]. Polega to głównie na zmniejszeniu emisji gazów cieplarnianych do atmosfery oraz ograniczeniu wykorzystania zasobów wodnych i spalania paliw kopalnych. Osiągnąć można to m.in. poprzez poprawę efektywności energetycznej, zwiększanie udziału energii odnawialnej czy zmniejszanie energochłonności różnych sektorów gospodarki. Adaptacja do zmian klimatu polega zaś na zmniejszaniu skutków zmian klimatu dla gospodarki, społeczeństwa i środowiska [56, 128]. Jest to proces przystosowywania się do zmian, które wiemy, że i tak już nastąpią lub będą większym zagrożeniem niż dotychczas. Łączenie tych dwóch grup działań jest najlepszym sposobem na radzenie sobie z postępującymi zmianami w klimacie [45].

Na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat powstało wiele różnych koncepcji rozwoju współczesnego miasta. W niniejszej pracy największą uwagę przywiązuje się do miasta odpornego (ang. *resilient city*). Istnieje sporo definicji miasta odpornego. Według OECD miasta odporne: „to takie miasta, które potrafią wchłonąć, odzyskać i przygotować się na przyszłe wstrząsy (ekonomiczne, środowiskowe, społeczne i instytucjonalne)” [83]. Odporne miasta promują zrównoważony rozwój, dobrobyt i wzrost sprzyjający włączeniu społecznemu. Koncepcja takiego miasta zakłada również adaptację i mitygację do zmian klimatu. Ważną wartością, która wynika z wprowadzenia takiego modelu do planowania przestrzeni miejskich, jest zmiana podejścia do ich rozwoju. Odporność kładzie nacisk na to, jak miasto zmienia się i będzie radzić sobie na przestrzeni wielu lat w obliczu zagrożeń. Pozwoli to na stworzenie systemu, który będzie mniej wrażliwy na negatywne skutki zewnętrzne, co w umożliwi łatwiejszą adaptację do nowych warunków i szybki powrót do normalnego funkcjonowania [4].

Przykładami miast, w których koncepcja miasta odpornego jest obecnie wdrażana na dużą skalę są: Boston, Vancouver i Kopenhaga. Wszystkie te miasta borykają się ze zmieniającym klimatem i między innymi z tego względu podjęli działania na rzecz miasta odpornego. Skala z jaką miasta te próbują budować swoją odporność jest naprawdę ogromna. Mnogość projektów, które są realizowane oraz działań jakie mogą być podejmowane w przyszłości jest zdumiewająca. Z tego względu są to bardzo dobre przykłady dla innych miast i warto czerpać od nich wiedzę. Ważne oczywiście jest, aby budowanie odporności konkretnego miasta zacząć od przeanalizowania czego konkretnie mu potrzeba. Nie wszystkie działania będą odpowiednie w każdym miejscu - wszystko zależy od położenia, warunków klimatycznych, ukształtowania terenu itp. Ważnym aspektem jest również ocena poszczególnych działań już po realizacji, tak aby upewnić się, czy działania te rzeczywiście przyniosły pożądany skutek.

1.1. Cel pracy

Celem pracy jest opracowanie i budowa systemu informacji o terenie w zakresie wybranych skutków zmian klimatycznych. W ramach pracy zostanie przybliżone zagadnienie miasta odpornego, szczególnie w kontekście zmieniającego się klimatu. System powinien zawierać bazę dobrych praktyk z różnych miast ukazujących działania na rzecz miasta odpornego oraz zostać przetestowany na wybranych dzielnicach Gdańska.

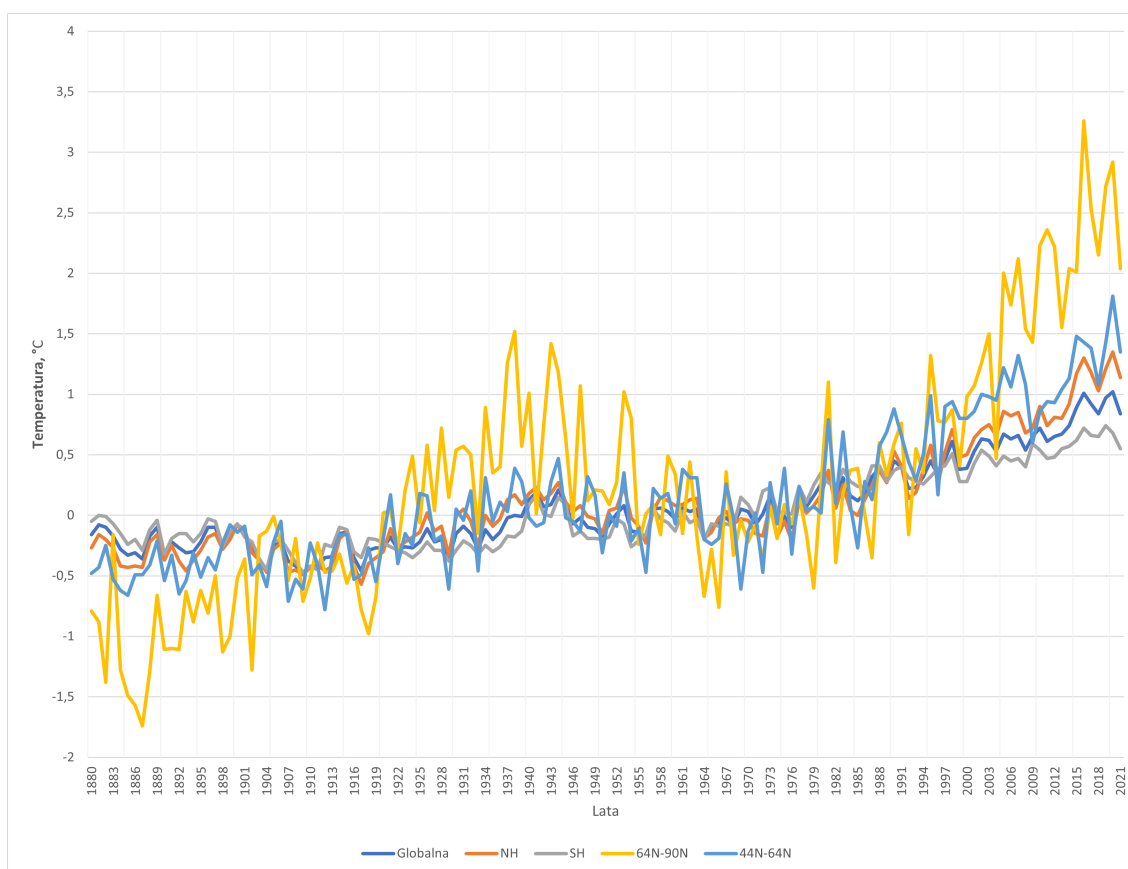
1.2. Wykorzystywane metody badawcze

W pracy wykorzystuje się następujące metody badawcze:

- korzystanie z dorobku naukowego i materiałów wyjściowych w celu uściślenia przedmiotu badań, w tym zmian klimatycznych, dostępności danych oraz przykładów praktyk dotyczących miasta odpornego,
- analiza zebranych danych,
- synteza i dedukcja,
- wytyczne projektowe dotyczące systemu, lokalizacji i technologii,
- opracowanie aplikacji służącej ocenie wpływu konkretnego działania/projektu na dany obszar,
- przetestowanie aplikacji na konkretnej lokalizacji.

2. ZMIANY KLIMATU

Niniejszy rozdział przedstawia obserwowane zmiany w klimacie związane z globalnym ociepleniem. Pokróćce zostaje wytłumaczona przyczyna tych zmian, w tym, jakie działania człowieka wpływają na ten stan. Przedstawia się skutki, jakie zmiany klimatyczne powodują i będą powodować. Temat zmian klimatu czy ogólnie samego funkcjonowania klimatu Ziemi jest na tyle skomplikowanym systemem, że nie sposób jest wymienić na kilku stronach ten złożony problem. Dziedziną tą zajmuje się wiele naukowców, na ten temat powstaje wiele artykułów i książek. Z tego względu należy traktować tę część jako wstęp teoretyczny do rozważań na temat zmian klimatu jakie podejmuje się w pracy i mieć świadomość, że pewne opisy, wskaźniki i procesy mogą być uproszczone. Dodatkowo, w rozdziale przedstawia się, w jaki sposób zmiany klimatu będą przejawiać się w strefie nadmorskiej oraz w obszarach zurbanizowanych.



Rysunek 2.1: Przebieg anomalii średniej rocznej temperatury (Land-Ocean Temperature Index) uśrednionej w skali całego globu, na półkuli północnej (NH), południowej (SH) i w pasach ograniczonych równoleżnikami 44°N i 64°N oraz 64°N i 90°N, od średnich z lat 1951–1980. Opracowanie własne na podstawie zbiorów z <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>

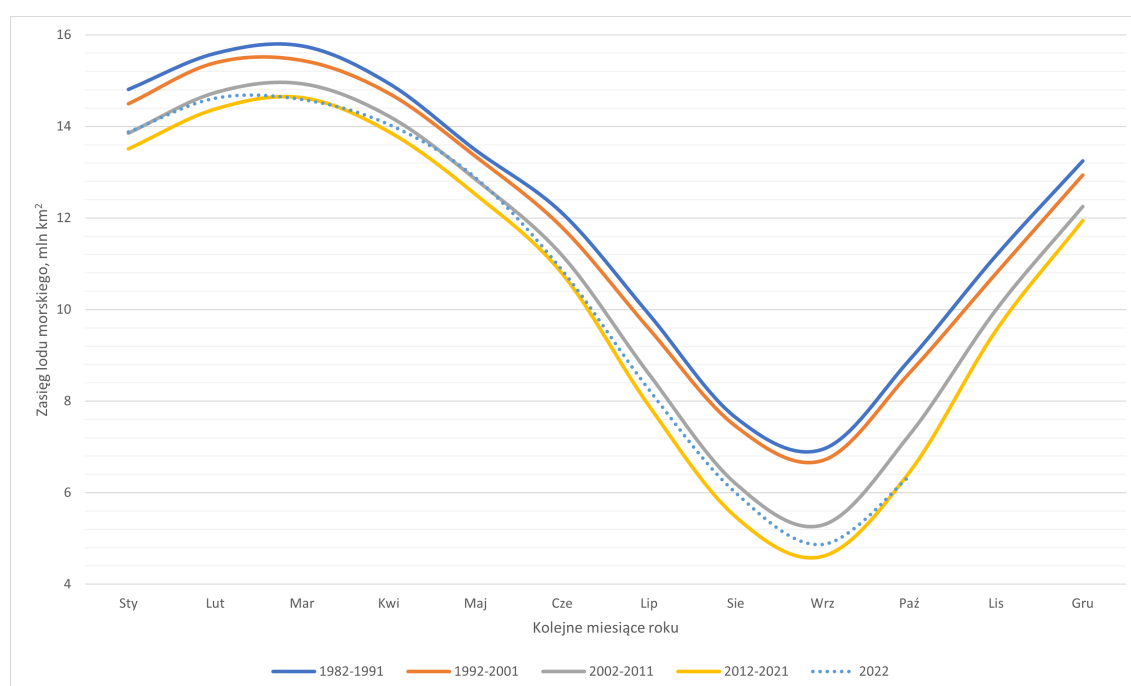
2.1. Obecnie obserwowane zmiany w klimacie

Wzrost temperatury jest najbardziej charakterystyczną cechą zmiany klimatu. Lata 2011-2020 były najcieplejszym dziesięcioleciem w historii, zaś średnia temperatura na świecie w roku 2019 była wyższa o 1,1°C od poziomu sprzed epoki przemysłowej [50]. Szybciej temperatura wzrasta na półkuli północnej w porównaniu do całej Ziemi, szczególnie w pasie ograniczonym równoleżnikami 64°N-90°N, jak pokazano

na rys. 2.1. Średni wzrost temperatury w tym pasie jest ponad dwukrotnie większy niż globalnie. Wiąże się to z szybkim topnieniem pokrywy lodowej w Arktyce [132]. Ocean niepokryty lodem ma zdecydowanie niższe albedo przez co pochłania on większą ilość promieniowania słonecznego, a to prowadzi do zwiększania się temperatury wody. Ciemniejszy ocean odbija tylko 6% energii słonecznej, podczas gdy lód morski odbija od 50 do 70% dostarczanej energii [49]. Wyższa temperatura wody przyspiesza topnienie lodu, co skutkuje jeszcze większą ilością pochłaniania energii. Uruchamia to niebezpieczny mechanizm tzw. dodatniego sprzężenia zwrotnego, które nasila zmiany i powoduje, że system dąży do nowego stanu równowagi [9, 47, 132].

Lód morski jest to zamrożona woda oceaniczna, która tworzy się, rośnie i topnieje całkowicie w oceanie. To odróżnia go od gór lodowych, lodowców i szelfów lodowych, które pływają w oceanie ale powstają na lądzie [49]. Zasięgiem lodu nazywa się obszar oceanu, na którym występuje co najmniej 15% lodu morskiego [48]. Lód morski jest bardzo ważną częścią ziemskiego klimatu, ponieważ pomaga regulować wymianę ciepła, wilgoci i zasolenia w oceanach polarnych. Zmiany w ilości lodu morskiego mogą zakłócić cyrkulację oceaniczną, prowadząc tym samym do zmian w globalnym klimacie [47].

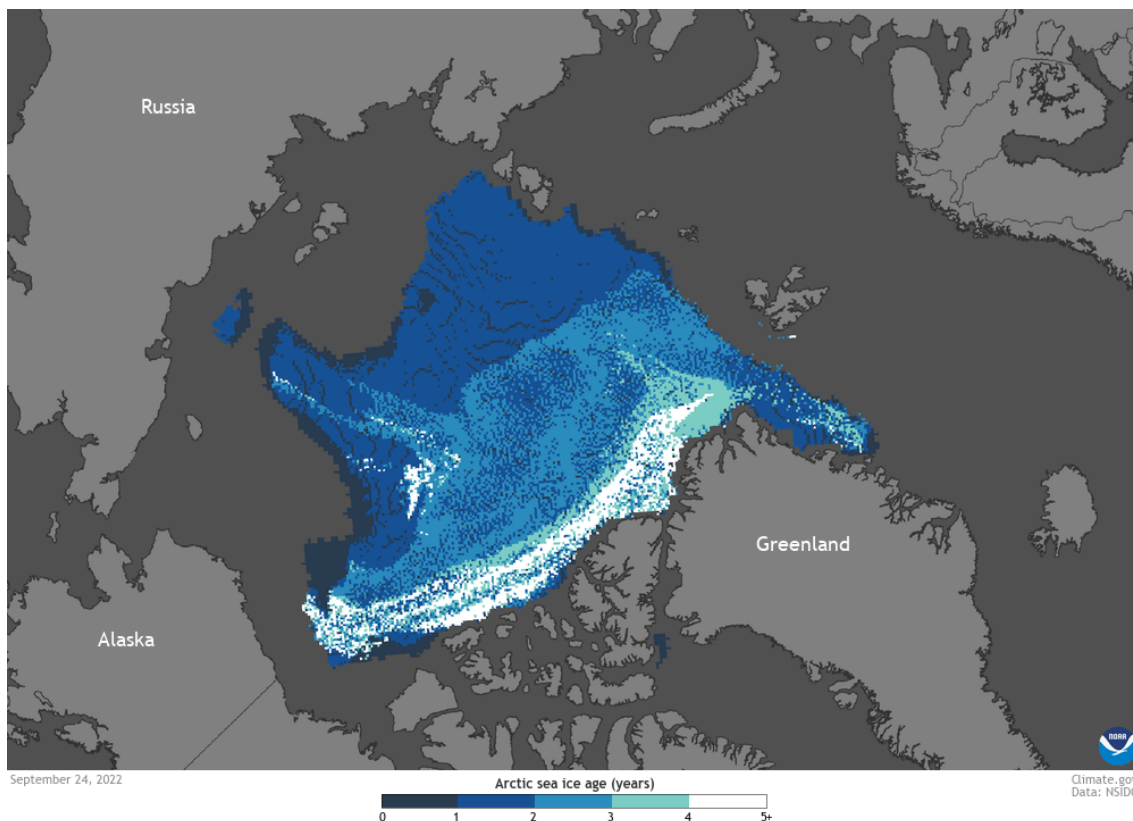
W Arktyce zauważalny jest wyraźny roczny cykl zasięgu lodu z maksymalną wartością w marcu i minimalną we wrześniu (rys. 2.2). Oprócz tego widać regularny spadek jego zasięgu w kolejnych dziesięcioleciach. Średni zasięg arktycznego lodu morskiego we wrześniu 2022 r. wynosił 4,87 mln km², co oznacza, że był jedenastym najniższym wynikiem w zapisie satelitarnym. Zasięg był o 1,54 miliona kilometrów kwadratowych poniżej średniej z lat 1981-2010 i o 1,30 miliona kilometrów kwadratowych powyżej rekordowego minimum ustanowionego w 2012 roku [48].



Rysunek 2.2: Zasięg lodu morskiego w Arktyce - średnie przebiegi roczne w wybranych dziesięcioleciach oraz w roku 2022. Opracowanie własne na podstawie zbioru *Sea Ice Index, Version 3 (G02135)* z <https://nsidc.org/data/g02135/versions/3>

Oprócz zauważalnego zmniejszania się pokrywy lodowej w Arktyce, obserwuje się też zmniejszenie jej grubości. Od połowy XIX w. do końca lat 1900 r. cienki, młody, czteroletni lod morski pokrywał znaczną część Oceanu Arktycznego. Obecnie ilość tego lodu stanowi niewielki ułamek tego co było w latach osiemdziesiątych [46, 132]. Szacuje się, że 95% najstarszego i najgrubszego lodu już się stopiło [42]. Młody lod jest cieńszy, przez co topi się dużo łatwiej niż ten stary, co powoduje samonapędzający

się mechanizm, w którym z roku na rok ubywa pokrywy lodowej na Arktyce. Na rys. 2.3 pokazano jak obecnie (stan na 23.09.2022 roku) wygląda rozkład lodu wg wieku w Arktyce. Najciemniejsze niebieskie obszary na mapie pokazują lód sezonowy lub pierwszoroczny, który uformował się podczas ostatniej zimy. Białe obszary pokazują, gdzie lód ma więcej niż cztery lata. Grubość lodu jest silnie skorelowana z jego wiekiem. Grubość lodu pierwszego roku waha się od 10 do 30 centymetrów, natomiast grubość lodu wieloletniego wynosi od 2 do 4 metrów. Jak widać, zdecydowana większość to lód młody.

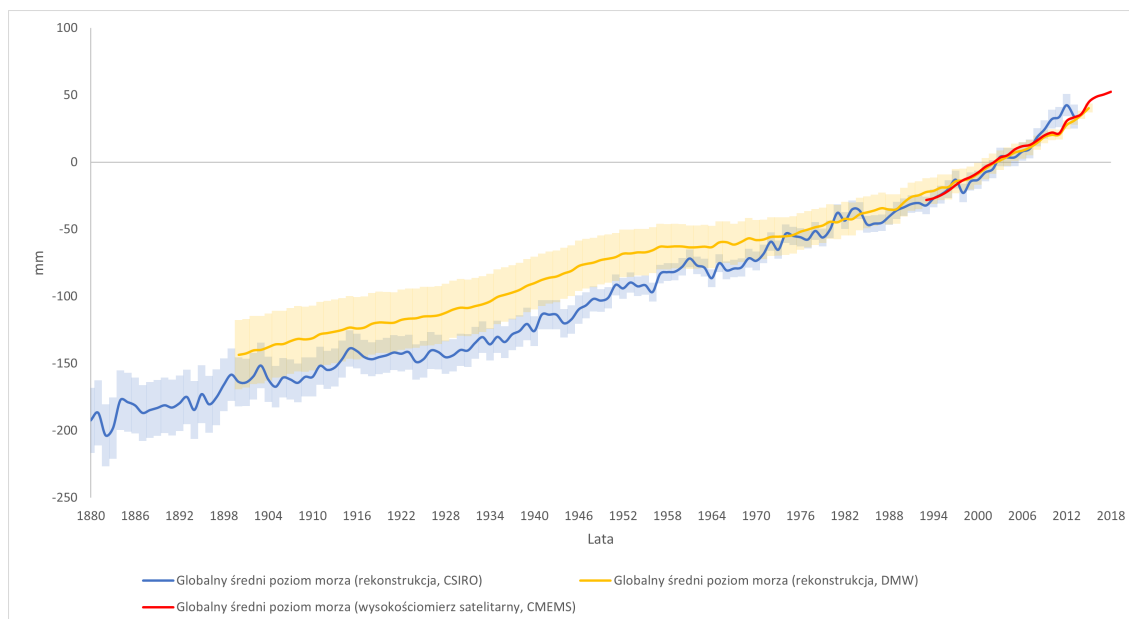


Rysunek 2.3: Wiek lodu morskiego w Arktyce (stan na 23.09.2022 r.) [46]

Swoją powierzchnię tracą również lądolody i lodowce. Szacuje się, że lodowce na świecie mają łączną powierzchnię ok. 700 tys. kilometrów kwadratowych. Zdecydowana większość z nich znajduje się na Antarktydzie (prawie 90%) i na Grenlandii, ale lodowce występują na każdym kontynencie [42]. To właśnie topniejące lodowce przyczyniają się do podnoszenia się poziomu mórz, bo w odróżnieniu od lodu morskiego powstają na lądzie. Podczas topnienia, części lodowca (góry lodowe) odrywają się i wpadają do morza. Największy wpływ na podnoszenie się poziomu morza mają lądolody Grenlandii i Antarktydy [42]. W latach 1900-2018 poziom ten podniósł się o prawie 20 cm (rys. 2.4). To, w jakim stopniu i jak szybko lodowce na Antarktydzie i Grenlandii stopnieją w przyszłości, będzie decydowało o tym jak bardzo wzrośnie poziom mórz i oceanów [42].

W Europie duże ubytki w lodowcach mają miejsce m.in w Szwajcarii, w Alpach. W latach 1931-2016 Szwajcaria straciła połowę objętości swoich lodowców oraz kolejne 12% w latach 2016-2021 [98]. Od czasów przed przemysłowych temperatura w tym kraju wzrosła o prawie 2°C, czyli dwa razy więcej niż średnia globalna. W tym tempie połowa z 1500 alpejskich lodowców zniknie w ciągu 30 lat [98]. Lodowce cofają się nie tylko w Alpach - niemal wszystkie lodowce na świecie stają się coraz mniejsze. Topnienie jest szczególnie istotną kwestią w rejonie Himalajów i And, ponieważ od lodowców zależą tam miliony mieszkańców [98].

Kolejną zmianą, którą obecnie obserwuje się na świecie, jest zmiana opadów śniegu. Zmiany w tem-



Rysunek 2.4: Wzrost globalnego średniego poziomu morza od 1880 do 2018 roku. Wszystkie wartości są odniesione do średniego poziomu z okresu 1993-2012. Opracowanie własne na podstawie danych z https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/observed-change-in-global-mean-3#tab-chart_4

peraturze powodują, że w miejscach, gdzie dotychczas nie występowały silne śnieżyce, teraz śnieg ma dużo większe szanse, aby tam się pojawić. Przy niskich temperaturach (poniżej -15°C) wystąpienie opadu śniegu jest kilkakrotnie razy mniejsze niż w temperaturze około zera [104]. Opady śniegu najczęściej występują w temperaturze powietrza pomiędzy -10°C a 0°C - przy niższej temperaturze wilgotność atmosfery jest zbyt niska, aby mogły mieć miejsce duże opady śniegu [59, 104]. Oznacza to, że wzrost temperatury w rejonach, gdzie panowała wyraźna zima może powodować zwiększenie udziału opadów śniegu [108]. Szczególnie widoczny jest wzrost opadów śniegu na północy Europy, Azji i Kanady, a w części południowej strefy opadów śniegu obserwuje się spadek [59, 104].

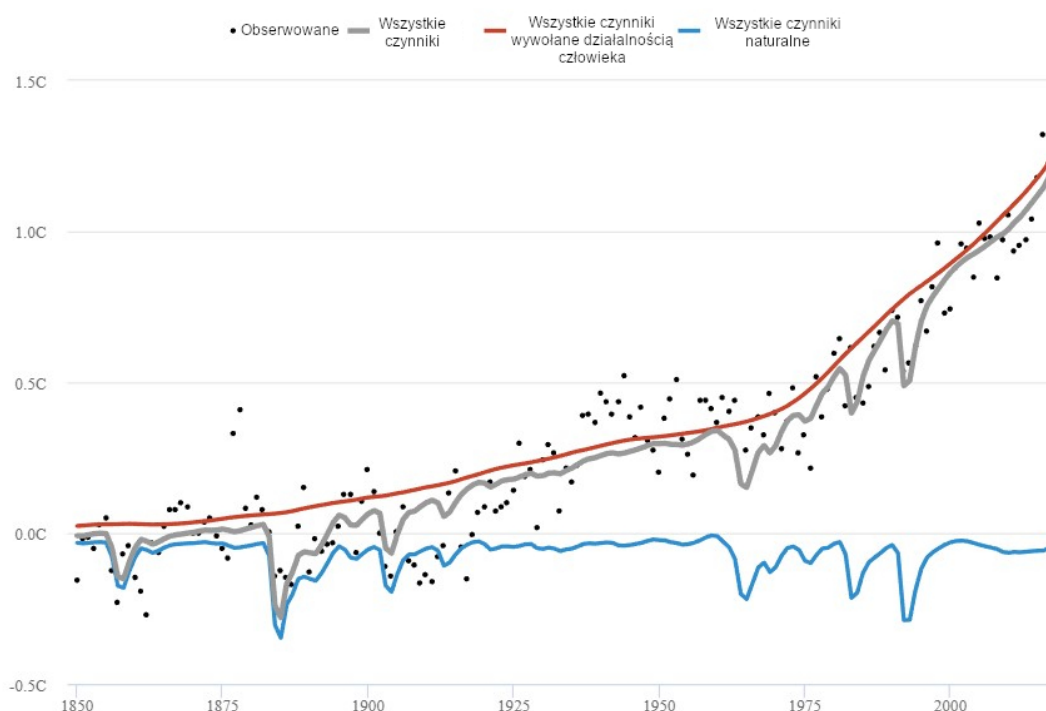
Zmiany w klimacie wpływają nie tylko na ilość spadającego śniegu, ale również na czas trwania sezonu zimowego. W latach 1966-2010 ilość śniegu, który rok do roku pokrywał lądy i lód morski zmniejszyła się w wielu miejscach północnej półkuli, szczególnie podczas wiosennych roztopów [60]. Pod względem zasięgu przestrzennego sezonowa pokrywa śnieżna jest największym pojedynczym składnikiem kriosfery i osiąga średni zimowy maksymalny obszar 46 mln km^2 , z czego około 98% znajduje się na półkuli północnej [60]. Sezonowy śnieg jest ważną częścią systemu klimatycznego Ziemi. Pokrywa śnieżna pomaga regulować temperaturę powierzchni Ziemi, a kiedy śnieg topnieje, woda pomaga napełnić rzeki i zbiorniki w wielu regionach świata [60]. Pokrywa śnieżna jest też bardzo ważną zmienną związaną ze zmianami klimatu, ponieważ wpływa ona na bilans energii i wilgoci. Wysokie albedo śniegu pozwala na odbijanie promieni słonecznych, co pomaga w chłodzeniu planety [60].

W miejscach, gdzie z powodu podwyższenia temperatury spadnie deszcz zamiast śniegu, woda wypełni rzeki w porze roku, w której zapotrzebowanie jest niewielkie [133]. Pokrywa śnieżna działa jak naturalny zbiornik, który przechowuje wodę przez zimę i uwalnia ją podczas wiosennych roztopów, kiedy rośliny jej potrzebują. Utrata zimowej pokrywy śnieżnej znacznie ogranicza główne źródła zasilania wód gruntowych, co może spowodować potencjalne znaczenie obniżenie poziomu wody w rzekach, jeziorach i na terenach podmokłych w sezonie wegetacyjnym, a to może prowadzić do susz [133].

2.2. Przyczyny zmian klimatu

Najważniejszym źródłem energii dla wszystkich procesów, które zachodzą na powierzchni Ziemi i w atmosferze jest Słońce. Powierzchnia Ziemi utrzymuje swoją średnią temperaturę na mniej więcej stałym poziomie, dzięki ciągłym dostawom energii słonecznej [9]. Wzrost zawartości gazów cieplarnianych w atmosferze powoduje utrudnienie ucieczki w kosmos promieniowania podczerwonego emitowanego przez Ziemię. W rezultacie energia kumuluje się w ziemskim klimacie, w szczególności w oceanach, powodując globalne ocieplenie [9, 116].

Zmiany klimatu mogą być wywołane zarówno działalnością człowieka jak i spowodowane czynnikami naturalnymi. Natomiast jak pokazano na rys. 2.5 wpływ czynnika ludzkiego wyróżnia się na tle wpływu natury. Na wykresie do czynników ludzkich zalicza się emisję gazów cieplarnianych, aerozoli oraz wykorzystanie powierzchni ziemi; zaś do czynników naturalnych m.in. aktywność słoneczną czy erupcje wulkanów. W kolejnych podrozdziałach zostanie przybliżony temat różnic wpływu ludzi i natury na zmiany klimatu.



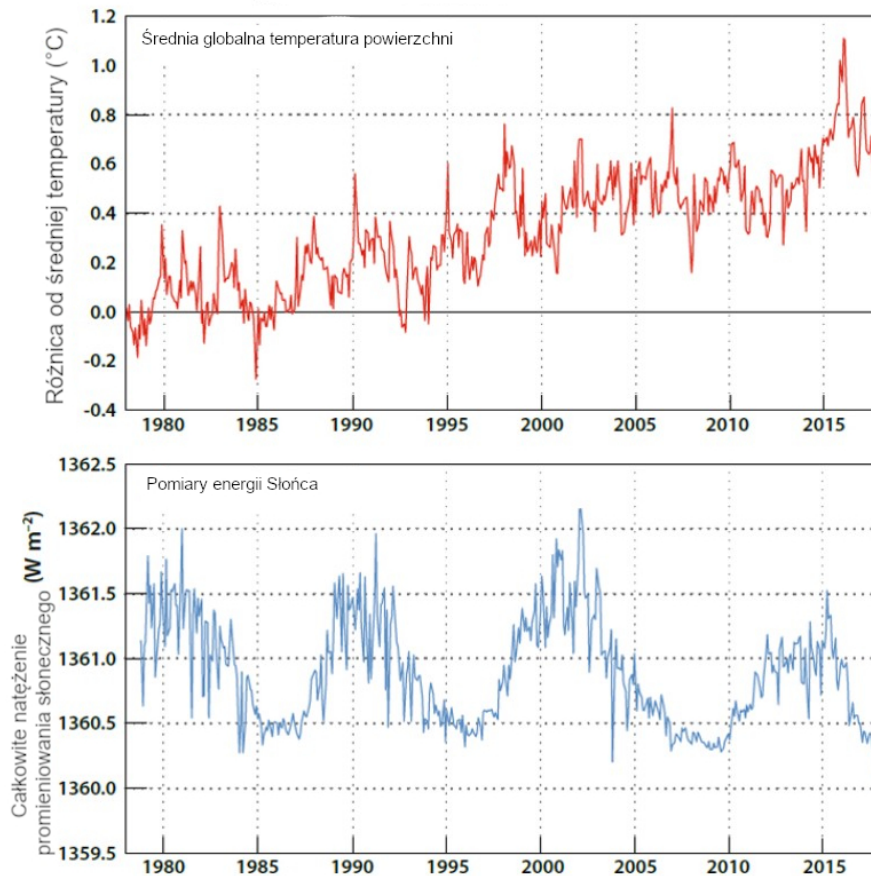
Rysunek 2.5: Wpływ czynników ludzkich i naturalnych na zmiany średniej temperatury globalnej [43].

2.2.1. Wpływ natury

Podczas gdy naturalne czynniki wpływające na zmianę klimatu, takie jak wymuszenia pochodzące od Słońca i wulkanów nie wydają się odgrywać dużej roli w długoterminowym ociepleniu, tak naturalna zmienność związana z cyklami oceanicznymi może mieć większe znaczenie [43]. Ponieważ zdecydowana większość energii zatrzymanej przez gazy cieplarniane jest pochłaniana przez oceany, a nie przez atmosferę, zmiana w tempie absorpcji ciepła przez oceany może mieć potencjalny wpływ na globalną temperaturę [9, 43].

Kolejnym naturalnym czynnikiem są zmiany w orbicie Ziemi i jej osi obrotu. Ilość letniego nasłonecznienia na półkuli północnej, na którą mają wpływ właśnie te zmiany, wydaje się być główną przyczyną minionych cykli epok lodowcowych [69].

Zmiany w produkcji energii przez Słońce mogą wpływać na intensywność światła, które dociera do powierzchni Ziemi. Zmiany te mimo, że mogą wpływać na klimat Ziemi, to jednak wahania słoneczne nie spowodowały dużej zmiany w klimacie na przestrzeni ostatnich dekad [76]. Jak zauważyć można na rys. 2.6 Słońce podąża za 11-letnim cyklem małych wzrostów i spadków w intensywności, ale wpływ na klimat jest niewielki - globalna temperatura ciągle rośnie.



Rysunek 2.6: Pomiary średniej globalnej temperatury powierzchni oraz energii Słońca [76].

Wulkany odgrywają zauważalną rolę w klimacie, a erupcje wulkanów uwalniają duże ilości dwutlenku węgla do atmosfery. Natomiast pyły wulkaniczne pochodzące z pojedynczej erupcji nie powodują długoterminowych zmian klimatu, ponieważ w atmosferze pozostają przez dużo krótszy czas niż gazy cieplarniane [76].

2.2.2. Wpływ działań człowieka

Zapisy geologiczne ukazują, że klimat Ziemi często przejawiał wahania temperatur - były one spowodowane wieloma czynnikami naturalnymi, w tym zmianami na Słońcu, emisjami z wulkanów, zmianami orbity Ziemi i poziomu dwutlenku węgla [69]. Zmiany te następowały zazwyczaj bardzo powoli, przez tysiące lat. Obecne badania pokazują, że klimat zmienia się szybciej niż wynika to z zapisów geologicznych i duży wpływ na to mają działania wywołane przez ludzi [43, 69, 76].

Stężenie gazów cieplarnianych wzrosło od czasów rewolucji przemysłowej z powodu działalności człowieka. Stężenie dwutlenku węgla, metanu i podtlenku azotu w atmosferze jest obecnie największe niż w przeciągu ostatnich 800 tysięcy lat [76]. Paliwa kopalne (węgiel, ropa naftowa i gaz) mają zdecydowanie największy udział w zmianach klimatu, odpowiadając za ponad 75% światowej emisji gazów cieplarnianych i prawie 90% wszystkich emisji dwutlenku węgla [90]. Na rys. 2.7 przedstawiono jak w ostatnich dekadach

zmieniała się zawartość dwutlenku węgla w atmosferze. Na globalną skalę, kluczowe gazy cieplarniane jakie są emitowane przez człowieka to: [76, 77]

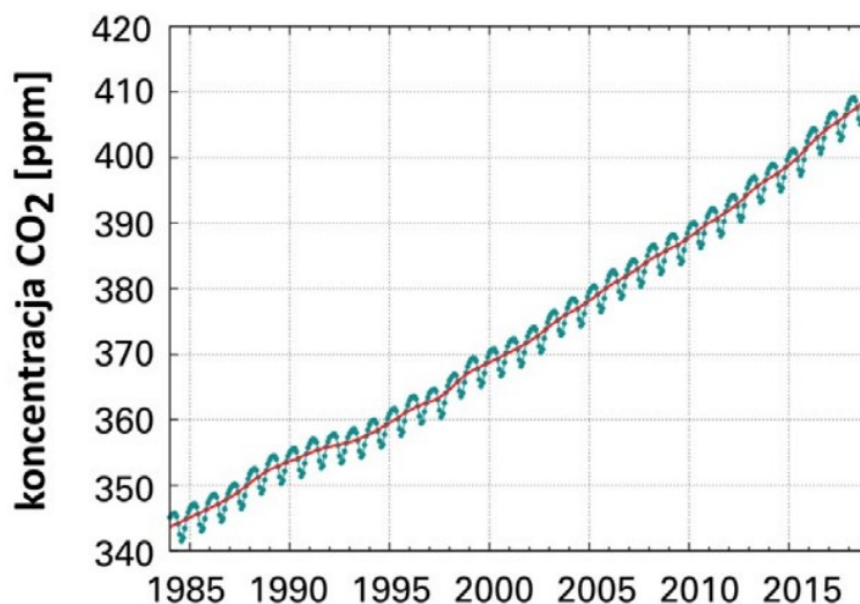
- dwutlenek węgla (CO_2) - wykorzystywanie paliw kopalnych jest głównym źródłem CO_2 ; może on być też emitowany w wyniku bezpośredniego wpływu człowieka na leśnictwo i inne użytkowanie gruntów (np. poprzez wylesianie, degradację gleb),
- metan (CH_4) - działalność rolnicza, gospodarka odpadami, wykorzystanie energii i spalanie biomasy,
- podtlenek azotu (N_2O) - działalność rolnicza taka jak stosowanie nawozów, spalanie paliw kopalnych,
- gazy fluorowane - procesy przemysłowe, chłodnictwo i stosowanie różnych produktów konsumpcyjnych.

Emisja gazów cieplarnianych w wyniku działań człowieka pochodzi z różnych sektorów gospodarki. Większość energii elektrycznej jest wytwarzana obecnie poprzez spalanie paliw kopalnych. Energetyka jest odpowiedzialna za większość emisji dwutlenku węgla, a także za znaczną emisję metanu (30-35%) [9, 90].

Kolejnym sektorem, w którym działania podejmowane przez człowieka powodują emisję gazów cieplarnianych jest rolnictwo i leśnictwo oraz powiązane z nimi zmiany w użytkowaniu terenu. Odpowiada ona za 20 do 30% antropogenicznych emisji [9]. Produkcja żywności powoduje emisje m.in. dwutlenku węgla, metanu poprzez wylesianie i karczowanie gruntów pod uprawy i wypas, produkcję i stosowanie nawozów, a także wykorzystywanie energii do zasilania sprzętu rolniczego [90].

Za około 18-19% emisji gazów cieplarnianych odpowiedzialne są budynki - emisje związane z wykorzystywaniem w nich energii elektrycznej [9]. W skali globalnej budynki mieszkalne i komercyjne zużywają ponad połowę całej energii elektrycznej [90].

Transport odpowiada za 14-16% emisji gazów cieplarnianych wynikających z bezpośredniego spalania paliw zawierających węgiel. Transport drogowy (samochody osobowe, ciężarowe, autobusy) odpowiada za 72% emisji, transport lotniczy ok. 11% i transport wodny też ok. 11% [9, 90].



Rysunek 2.7: Zmiany koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze (w cząstkach na milion) [9].

2.3. Skutki zmian klimatu

Obserwowane zmiany w klimacie niosą ze sobą pewne skutki. Część z nich może zostać uznana za pozytywne, natomiast zdecydowana większość są to konsekwencje negatywne [114, 128]. Długoterminowe zmiany w klimacie mogą bezpośrednio lub pośrednio wpłynąć na różne aspekty życia społecznego w potencjalnie destrukcyjny sposób. W niniejszym podrozdziale przedstawia się jak zmiany klimatu będą wpływać na konkretne, wybrane sektory. Skutki zmian klimatycznych są widoczne w każdym wymiarze świata, w którym żyjemy - jednak wpływ ten jest nierównomierny [82].

2.3.1. Gospodarowanie wodą

Zmiana klimatu niesie ze sobą poważne kryzysy dotyczące wody. To przede wszystkim nasilające się powodzie, wzrost poziomu morza, kurczenie się lodu, ale także pożary i susze [93, 103, 114]. Najdotkliwszym skutkiem tych zmian jest ograniczenie dostępności do słodkiej wody - wynika to z tempa parowania z powierzchni lądów i wód śródlądowych, które to znacznie się zwiększa [9]. Z drugiej strony coraz częściej obserwuje się powodzie błyskawiczne, czyli w bardzo małym przedziale czasowym spada bardzo duża ilość deszczu. Powoduje to lokalne podtopienia, ponieważ gleba nie nadąża z wchłanianiem wody. Problem ten dodatkowo nasila susza, która zmniejsza zdolności retencyjne krajobrazu, co wywołuje dodatnie sprzężenie zwrotne, które napędza tę suszę jeszcze bardziej [9].

Zrównoważona gospodarka wodna ma zatem kluczowe znaczenie, aby budować odporność na zmiany klimatu, szczególnie, że ekstremalne warunki pogodowe będą się nasilać. Ważne jest odpowiednie zatrzymywanie wody w glebie, tak aby nie spłynęła ona do rzek i mórz. Istotną rolę w ekosystemie wodnym pełnią torfowiska i mokradła, które posiadają nie tylko zdolność magazynowania i pochłaniania dwutlenku węgla, ale też ograniczają skutki suszy [31]. W miastach najważniejsze jest, aby wody opadowe nie były w całości odprowadzane do systemów kanalizacji, ale aby tam gdzie to możliwe stosować retencję i zgromadzoną wodę wykorzystywać podczas suszy [103].

2.3.2. Energetyka

W związku z nasileniem się nietypowych warunków pogodowych, takich jak nawałne deszcze, silne burze, huragany itp., napowietrzne sieci elektroenergetyczne mogą być częściej narażone na uszkodzenia [114]. Spowoduje to ograniczenie w dostępie do energii dla odbiorców. Kolejnym kluczowym znaczeniem jest dostępność wody, która również w energetyce ma bardzo ważne znaczenie, gdzie jest wykorzystywana do chłodzenia [114]. W związku z dużą zmiennością opadów i występującymi epizodami susz może dojść do sytuacji w której elektrownie nie będą mogły chodzić ze swoją pełną sprawnością, co spowoduje obniżenie produkcji energii elektrycznej [114].

Energia elektryczna w życiu ludzi aktualnie jest prawie wszędzie. Korzystamy z niej przy codziennych czynnościach i nie wyobrażamy sobie życia bez niej. Dlatego ważne są odpowiednie działania mitygacyjne i adaptacyjne pozwalające na budowanie odporności na wstrząsy w sektorze energetycznym. Rozwiązania problemu dotyczącego zmian klimatu i energetyki nie są niestety proste, ale w wielu sektorach szuka się już innowacji, które mają przyczynić się do zmniejszenia gazów cieplarnianych związanych z energią [35].

2.3.3. Różnorodność biologiczna

Nabierające tempa zmiany w klimacie mają wpływ także na zasięg występowania gatunków, okresy wegetacji i integrację ze środowiskiem [114]. Ocieplenie klimatu będzie powodować migrację gatunków między obszarami. Adaptacja tych gatunków nie jest zaś szybka - np. wymiana gatunków w ekosystemie leśnym trwa od kilkudziesięciu do stu kilkudziesięciu lat [9]. Zbyt szybkie zmiany w klimacie mogą powodować, że

gatunki nie zdążą się zaadaptować, co może oznaczać masowe ich wymieranie. Uważa się to za jeden z czynników powodujących utratę bioróżnorodności zarówno lokalnie jak i globalnie [9]. Dodatkowo ekspansja człowieka powoduje przerywanie tzw. korytarzy ekologicznych oraz zabieraniem terenów ważnych dla danego gatunku, powodując utratę schronienia i miejsca do życia [114].

2.3.4. Rolnictwo

Zmiany w klimacie oraz wzrost ekstremalnych zjawisk pogodowych może nasilać globalny wzrost głodu i złego odżywiania [79, 114]. Przewidywany wzrost częstości i intensywności susz spowoduje wyższe zapotrzebowanie na wodę. Oprócz suszy również bardzo intensywne opady spowodują utratę plonów [114]. Rosnąca temperatura i wzrost liczby dni bardzo upalnych może wywoływać tzw. stres cieplny u zwierząt, co będzie powodować zmniejszenie produktywności stad [90]. Temperatura może wpływać też na rozwój występowania chorób, które dotychczas nie były znaczące [114].

Rolnictwo od zawsze było bardzo wrażliwe na zmiany pogodowe, natomiast szybko zmieniający się klimat sprawia, że stał on się jeszcze bardziej wrażliwym sektorem. W niektórych regionach plony mogą się zwiększyć, przewiduje się jednak, że globalnie wpływ zmian klimatu na produkcję rolną będzie negatywny i przyczyni się do zmniejszenia produkcji oraz podniesie ceny żywności [79].

2.4. Wpływ zmian klimatu na strefę przybrzeżną

Zmiany w klimacie wpływają na oceany na różne sposoby, w tym na cyrkulację atmosfery oceanicznej oraz ocieplenie wód [119]. Skutki tych zmian będą szczególnie odczuwalne na wybrzeżu - tam gdzie spotykają się ludzie oraz oceany. Stanowi ono strefę wpływu wielu interesów człowieka - takich jak gospodarka morska, osadnictwo, turystyka czy działania związane z ochroną przyrody. Jednocześnie strefa nadmorska jest bardzo dynamicznym środowiskiem, w którym lokalizowanie infrastruktury może skończyć się jej zniszczeniem lub przesunięciem [106].

Wybrzeża są wrażliwe na wzrost poziomu morza, zmiany w częstotliwości i intensywności sztormów, wzrost opadów i cieplejsze temperatury mórz i oceanów [1, 39, 44, 124]. Dodatkowo rosnące stężenie atmosferyczne dwutlenku węgla powoduje, że wody oceanu absorbują więcej tego gazu i stają się kwaśniejsze - a to może mieć poważny wpływ na ekosystemy przybrzeżne i morskie [44]. Około 10% ludności świata mieszka lub pracuje w regionach przybrzeżnych [1]. W Unii Europejskiej w obszarze do 50 km od linii wybrzeża mieszka prawie jedna trzecia jej mieszkańców [34]. Obszary te w dużej mierze mają kluczowe znaczenie dla lokalnych społeczności, a więc ważne jest aby odpowiednio przygotować i dostosować się do zmian klimatu.

Zmiany klimatyczne mogą spowodować także wzrost opadów deszczu na niektórych obszarach przybrzeżnych, co zwiększy spływy z rzek i powódzie. Dodatkowo cieplejsze temperatury w obszarach górskich mogą prowadzić do zwiększenia wiosennych roztopów śniegu. Z kolei szybsze i bardziej intensywne topnienie śniegu oraz ulewne deszcze mogą zagrażać jakości wód przybrzeżnych, z powodu przenoszenia zanieczyszczenia z łądów (np. z rolnictwa czy przemysłu) [112, 133].

Rosnąca liczba ludności i rozwój wzdłuż wybrzeży zwiększa wrażliwość tych terenów na zmiany w klimacie. Co więcej rosnący poziom morza zwiększa również zasolenie wód gruntowych oraz wpycha słoną wodę w górę rzek. Wyższe zasolenie może sprawić, że woda nie będzie nadawać się do picia bez odsalania, a także szkodzić będzie wielu roślinom i zwierzętom [44].

Mniej zbadaną kwestią wpływu zmian klimatu jest wpływ na zmiany w zwiększeniu się globalnej energii falowania oceanów. Natomiast zrozumienie w jaki sposób zmieniają się fale, ma kluczowe znaczenie dla oceny wpływu zmian klimatu na strefę przybrzeżną [39, 119]. Fale te mają duże znaczenie dla obszarów przybrzeżnych z tego względu, że mogą one powodować erozję wybrzeża i niszczenie infrastruktury.

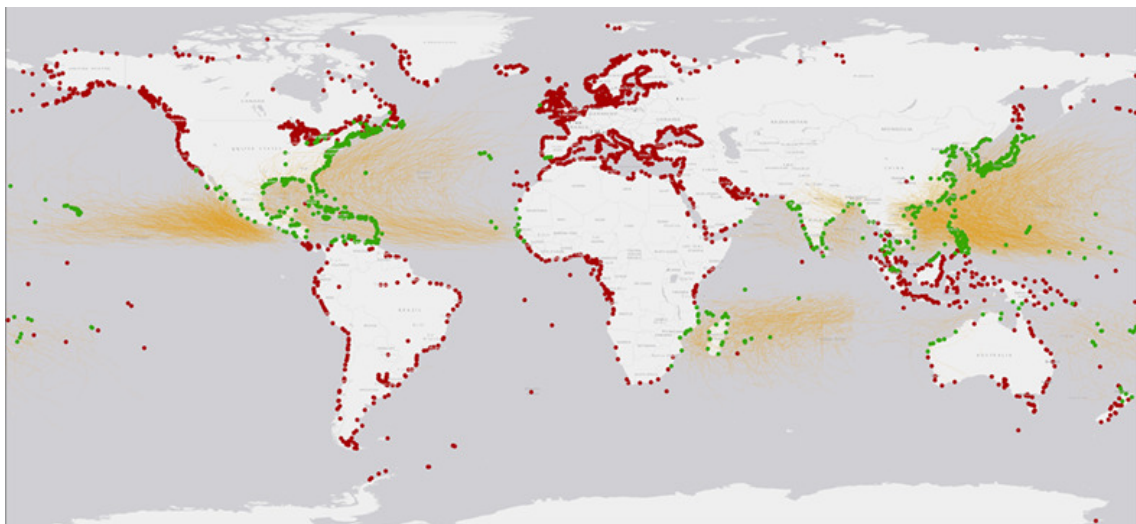
Dla obszarów przybrzeżnych można wymienić sześć głównych obaw związanych ze zmianami w klimacie [39]:

- trwałe zanurzenie lądu przez średni poziom morza oraz średnie wysokie pływy,
- częstsze lub intensywniejsze ekstremalne powodzie,
- zwiększona erozja brzegów,
- utrata i zmiana ekosystemów, takich jak tereny podmokłe,
- zasolenie gleb, wód gruntowych i powierzchniowych,
- utrudniony drenaż.

W przyszłości potencjalne straty w infrastrukturze i przyrodzie spowodowane zmianami w klimacie będą miały ogromne skutki ekonomiczne dla krajów nadbrzeżnych na całym świecie. Rosnące zagrożenia dla wybrzeża w połączeniu z rozwojem na tym obszarze sprawiają, że potrzeba adaptacji jest koniecznie potrzebna [39].

2.4.1. Porty morskie

Porty morskie są bardzo ważną częścią światowej gospodarki. Ze względu na to, że ponad 80% światowego obrotu handlowego odbywa się drogą morską - z portu do portu - są one istotnymi węzłami infrastruktury, które stanowią podstawę globalnych łańcuchów dostaw [1, 118, 131]. Jednocześnie są one szczególnie narażone na zagrożenia związane ze zmianami klimatu, ze względu na swoje położenie wzdłuż wybrzeży lub w nisko położonych ujściach rzek. Porty wraz z przybrzeżną infrastrukturą tworzą bardzo złożone systemy, na które duży wpływ będzie mieć podnoszenie się średniego poziomu morza oraz potencjalny wzrost częstotliwości i intensywności ekstremalnych poziomów morza, spowodowanych falami sztormowymi [118]. Do przykładów wpływu zmian klimatu na porty i żeglugę należą m.in. uszkodzenia infrastruktury portowej, czasowe zamknięcia portów, zwiększone ryzyko i częstotliwość wypadków statków morskich, erozja wybrzeża, zmiana tras statków żeglugowych czy blokada kluczowych szlaków morskich i dróg wodnych [131].



Rysunek 2.8: Mapa pokazująca 1110 portów (zielone) na ok. 3700 wszystkich (czerwone), które znalazły się w odległości 50 km od burzy tropikalnej w latach 1960-2016 - ślady sztormów zaznaczone na pomarańczowo [3].

Straty gospodarcze, które będą wynikać z bezpośrednich szkód w infrastrukturze oraz zaburzeń w łańcuchach dostaw mogą być znaczące, zwłaszcza w regionach, gdzie występują cyklony tropikalne oraz

związane z nimi fale sztormowe (rys. 2.8). Oszacowano, że łączna wartość aktywów narażonych na epidemyczne powodzie przybrzeżne do 2100 roku może wzrosnąć do 12-20% światowego PKB, jeśli nie podejmiemy żadnych kroków adaptacyjnych [118]. Biorąc pod uwagę jak bardzo kluczową rolę pełnią porty w światowym systemie handlu oraz ich potencjalne narażenie na szkody, zakłócenia i opóźnienia związane ze zmianami klimatu, zwiększenie odporności portów jest kwestią o strategicznym znaczeniu społeczno-gospodarczym dla gospodarki światowej i społeczeństw [130].

2.4.2. Ochrona brzegów morskich

Zmiany na wybrzeżach mają poważne konsekwencje dla trwałości społeczności oraz ekosystemów. Mimo, że wybrzeża są monitorowane lokalnie w wielu miejscach świata, nadal ciężko jest zrozumieć wszystkie długoterminowe zmiany w skali globalnej [111]. Czynniki antropogeniczne wyłaniają się jako jeden z głównych czynników zmian w strefie przybrzeżnej - zarówno w sposób zaplanowany np. poprzez budowę infrastruktury przybrzeżnej oraz w skutek efektów ubocznych takich jak tworzenie systemów irygacyjnych, które modyfikują przemieszczanie osadów czy usuwanie ekosystemów jak lasy namorzynowe [32, 111]. Wynikająca z tego degradacja strefy przybrzeżnej zwiększa jej podatność na zmiany w klimacie, szczególnie na szybkość erozji brzegów.

W celu przeciwdziałania tej degradacji konieczne jest skuteczne planowanie strategii adaptacyjnych. Zwiększenie ochrony wybrzeża będzie szczególnie istotne dla regionów o dużym zagęszczeniu ludności i o wysokim dochodzie, gdzie ze względu na poważne skutki ekonomiczne, może to być bardziej opłacalne [111].

Z powodu wzrastającego zagrożenia dla człowieka i jego działalności w strefie przybrzeżnej, wynikającej z cofania się brzegu morskiego, stosuje się działania mające na celu zapobieganiu abrazji. Stosowane działania można podzielić na konstruowanie budowli hydrotechnicznych oraz na ochronę biotechniczną. Konstrukcje hydrotechniczne to tzw. konstrukcje ciężkie, czyli m.in. opaski betonowe, narzuty z bloków skalnych, falochrony, gabiony. W ramach ochrony biotechnicznej wykorzystuje się płotki faszynowe, narzuty z chrustu i gałęzi drzew, nasadzenia roślin utrwalających ruchome podłoże wydm i plaż, czy rekonstrukcja wałów wydmy. Coraz częściej stosuje się również refulację plaż, czyli odkładanie piasku pobranego z innych miejsc na plażę w celu jej odbudowy lub poszerzenia [106].

2.5. Wpływ zmian klimatu na miasta

W miastach na świecie żyje teraz 55% ludności świata [91]. W Europie to 75% a w Polsce 60% [89]. Według szacunków ONZ w 2050 roku 68% ludności na świecie będzie zamieszkiwać na terenach miejskich [89, 91]. Mimo, że miasta zajmują jedynie 3% powierzchni ziemi to są odpowiedzialne za 60-70% zużycia energii oraz 75% emisji związków węgla [125]. Urbanizacja przyniosła transformację przestrzeni - usuwanie roślinności, niszczenie siedlisk zwierząt czy zwiększone zanieczyszczenie powietrza i gleby. Dodatkowo, konieczny rozwój infrastruktury, duże zgęszczenie ludności i zainwestowania w miastach powoduje, że są one znacznie bardziej narażone na skutki zmian klimatu [89, 125]. Zagrożenie wynikające dla miast ze względu na zmiany klimatu to między innymi: [128]

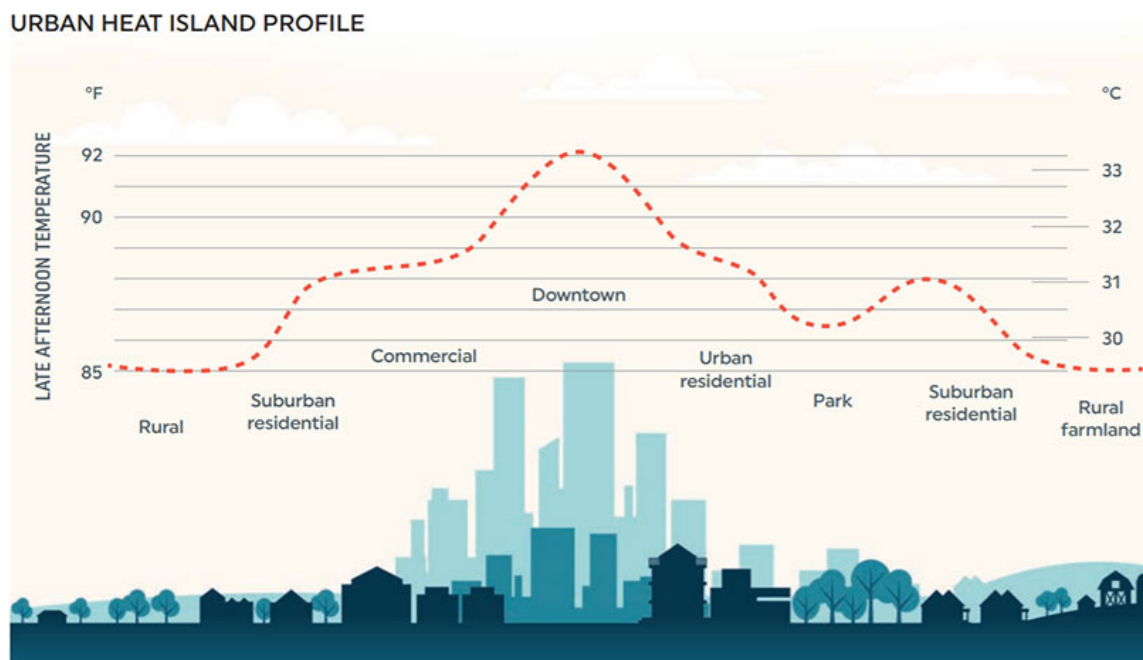
- pojawiający się coraz częściej efekt tzw. miejskiej wyspy ciepła,
- niedobory energii,
- spadek jakości powietrza,
- problemy z dostępem do wody i jej odpowiednią jakością,
- ekstremalne warunki pogodowe takie jak nawaalne deszcze, nagłe burze i huragany,

- powódzie i susze,
- niszczenie infrastruktury miejskiej.

Jak widać zmiany klimatu będą miały wiele różnych skutków dla miast. W Europie najbardziej prawdopodobne będzie zwiększone występowanie ekstremalnych zjawisk pogodowych takich jak powódzie, burze i fale upałów.

Zmiany klimatu postępują coraz szybciej, natomiast zmiany mające na celu przygotowanie miast na te zmiany następują wolniej. Rozwój miast mający na celu adaptację do zmieniającego się klimatu jest procesem niedostatecznie rozwiniętym. Na działanie miast oddziałują zarówno procesy lokalne jak i procesy globalne takie jak środowisko przyrodnicze, funkcjonowanie gospodarki czy zjawiska społeczne [30]. Z tego względu coraz częściej szuka się nowych podejść do zagadnienia zrównoważonego rozwoju miast.

2.5.1. Miejska wyspa ciepła



Rysunek 2.9: Profil miejskiej wyspy ciepła [38].

Kolejnym problemem pojawiającym się coraz częściej w miastach w związku z falami upałów jest zwiększenie się występowania zjawisk miejskich wysp ciepła (MWC) [57, 121]. Powoduje to, że w miastach jest jeszcze cieplej, a efektem tego jest zmniejszenie wychłodzenia powietrza w nocy, co prowadzi do niebezpiecznych dla ludzi sytuacji, pogłębia negatywne efekty zanieczyszczenia powietrza i zmniejsza komfort życia. Problem miejskiej wyspy ciepła stanowi trudne wyzwanie dla urbanistów - jej występowanie zależy w dużej mierze od struktury funkcjonalno-przestrzennej miasta [57]. Miejskie wyspy ciepła powstają w skutek kilku czynników: [16, 38, 78]

- ograniczenie naturalnych krajobrazów w obszarach miejskich - drzewa, roślinność i zbiorniki wodne chłodzą powietrze poprzez zapewnienie cienia, transpirację wody i odparowywanie wody powierzchniowe,
- materiały wykorzystywane w mieście - beton, asfalt, ciemne pokrycia dachowe zwykle odbijają mniej energii słonecznej przez co pochłaniają i emitują więcej ciepła słonecznego w porównaniu z roślinnością czy innymi jasnymi, naturalnymi powierzchniami,

- geometria miejska - układ ulic i układ i wielkość budynków wpływają na przepływ wiatru, przez co ciężko jest o odpowiednie uwalnianie ciepła z ich powierzchni
- ciepło wytwarzane w wyniku działalności człowieka - pojazdy, urządzenia klimatyzacyjne, budynki i obiekty przemysłowe emitują ciepło do środowiska
- pogoda i geografia - spokojne i bezchmurne warunki pogodowe przyczyniają się do powstawania bardziej intensywnych MWC; cechy geograficzne takie jak ukształtowanie terenu również mogą wpływać na MWC poprzez tworzenie lub blokowanie warunków do przewietrzania miasta przez wiatr.

Efekt miejskiej wyspy ciepła mierzony najczęściej jest jako różnica temperatury pomiędzy ośrodkiem miejskim, a terenami wiejskimi go otaczającymi (rys. 2.9). Różnica tych temperatur może wynieść nawet 12°C [38]. Temperatura może się wahać również pomiędzy konkretnymi obszarami wewnątrz miasta. Niektóre obszary są cieplejsze od innych z powodu innego rozmieszczenia budynków i chodników, podczas gdy inne przestrzenie są chłodniejsze ze względu na obecność drzew, zieleni i wody [78].

2.5.2. Zanieczyszczenie powietrza

Zanieczyszczenie powietrza w miastach oraz zmiany klimatu są ze sobą blisko związane. Emisja dwutlenku węgla do atmosfery jest zarówno jedną z przyczyn zmian klimatu, ale także głównym źródłem zanieczyszczenia powietrza [74, 81, 107]. Dodatkowo zmiany w wentylacji atmosferycznej, wilgotności, opadów i innych procesach chemicznych atmosfery mogą jeszcze bardziej wpływać na jakość powietrza [115]. Obserwowane cieplejsze wiosny i dłuższe letnie okresy suszy wraz z coraz bardziej suchymi glebami i roślinnością wydłużyły sezon występowania dzikich pożarów (np. w USA czy Australii), co powoduje uwalnianie się do powietrza sporej ilości zanieczyszczeń mających duży wpływ na zdrowie ludzi [129].

Typowymi źródłami, które produkują zarówno gazy cieplarniane jak i zanieczyszczenia w mieście to m.in. ruch drogowy (zwłaszcza pojazdy z silnikiem Diesla), wykorzystywanie energii w budynkach, niebezpieczne usuwanie odpadów [74]. Główne sposoby, w jakie zmiany klimatu wpływają na stężenie zanieczyszczeń powietrza to: [74, 129]

- pyły zawieszane PM2.5 i PM10 - bardziej intensywne susze i pożary, które towarzyszą wyższym temperaturom w wielu regionach generują sporo cząstek pyłu i dymu, które wiatr może przynosić na tysiące kilometrów wpływając na ludzi i miasta,
- ozon w warstwie przyziemnej - dłuższe i bardziej gorące lata spowodują wzrost ozonu,
- alergeny - wzrost temperatury i wzrost stężenia dwutlenku węgla może wpłynąć na alergeny roślinne poprzez wydłużenie okresu pylenia, poprzez zwiększenie ilości pyłków produkowanych przez rośliny oraz poprzez zmianę stopnia reakcji alergicznych na pyłki.

2.5.3. Ekstremalne opady i powodzie

Zmiany klimatu nasilają występowanie ekstremalnych zjawisk pogodowych. Obecnie coraz częściej występują tzw. powodzie błyskawiczne, podczas których gwałtowny opad deszczu powoduje podtapianie dużych obszarów miasta, a woda spływa potokami do najniższej położonych dzielnic [10]. Może to mieć bardzo poważny wpływ na miejską infrastrukturę kanalizacyjną i drogową [121]. Nawalne deszcze mogą powodować lokalne podtopienia ze względu na niedostateczną drożność systemów kanalizacji, niedostosowanie przepustowości do takich nagłych zdarzeń i dużo wybetonowanej powierzchni niepozwalającej na wsiąknięcie wody do gruntu. Podtopienia te mogą dodatkowo uszkadzać domy, drogi, tory kolejowe tramwajowe itp. powodując paraliż miasta i przynosząc duże straty finansowe oraz narażając bezpieczeństwo mieszkańców. Powodzie

wpływają destrukcyjnie na budynki, infrastrukturę transportową, sieci elektroenergetyczne czy sieci wodociągowe. W miastach wody powodziowe niosące toksyny i inne zanieczyszczenia mogłyby zatkać systemy kanalizacyjne, powodując, że nieoczyszczone ścieki spływałyby bezpośrednio do dróg wodnych, co w niektórych przypadkach może spowodować skażenie wody pitnej [133].

Wpływ na powstawanie takich powodzi w pewnym stopniu mają zarówno czynniki hydrologiczne jak i antropogeniczne. Szczególnie komplikacje przynosi powiększanie się terenów zurbanizowanych, rozlewanie się miast, błędy przy planowaniu przestrzennym czy mała ilość terenów biologicznie czynnych [10, 33]. Planując zwiększenie odporności miasta na to zagrożenie należy działać w sposób odpowiedni dla lokalnych warunków. Przy przygotowywaniu takiego planu działania powinno się w szczególności zwrócić uwagę na: [10, 33]:

- odejście od podejścia polegającego na odprowadzaniu wody wyłącznie za pomocą systemów kanalizacyjnych na rzecz jej retencji,
- regulację stosunków wodnych,
- zwiększenie terenów biologicznie czynnych, które będą w naturalny sposób zatrzymywać i gromadzić wodę,
- zmianę kryteriów podejścia do planowania terenów zurbanizowanych, aby odpowiednio rekompensować utracone tereny zielone,
- ograniczenie bądź likwidację zabudowy, zwłaszcza tam gdzie powodzie będą zawsze zalewały dany obszar.

3. ROZWÓJ WSPÓŁCZESNYCH MIAST

Powstawanie, rozwój i upadek miast uzależnia się od wpływu wielu czynników, a w największym stopniu na kształt i sposób ich funkcjonowania mają m.in. uwarunkowania przyrodnicze, polityka, stosunki społeczne i gospodarcze, obowiązujące prawa, obyczaje oraz poziom techniki [101]. Na przestrzeni wieków ludzie byli przyciągani do miast z tego względu, że pełniły one funkcję m.in. handlu, kultury i edukacji. Urbanizacja natomiast jest dosyć nowym zjawiskiem - w 1800 roku mniej niż 10% ludności żyło w miastach, natomiast dopiero w 2007 roku nastąpił przełom, kiedy to liczba ludności w miastach była większa niż na wsi [53, 120]. Jednym z głównych powodów rozwoju miast była rewolucja przemysłowa, która przyczyniła się do powstawania fabryk, które stworzyły zapotrzebowanie na pracowników na obszarach miejskich [53]. Wzrost populacji miejskiej również napędzany był później przez nowe technologie, które umożliwiły miastom bardzo szybki i intensywny rozwój.

Miasta na przestrzeni tych wielu lat stały się niezwykle zróżnicowane. Nie istnieje dziś jedna i spójna doktryna urbanistyczna, która odpowiadałaby na pytanie jak powinno najlepiej kształtować się miasta, tak aby odpowiadały one na stale zmieniające się potrzeby jego mieszkańców [101]. Miasta muszą ciągle się rozwijać i adaptować się do zmieniających się warunków, ponieważ uważa się je za bastiony innowacyjności, które wspierają rozwój swoich państw [122]. W ostatnich latach w związku z narastającym kryzysem ekologicznym, społecznym czy gospodarczym poszukuje się sposobów w jaki można im przeciwdziałać. Na przestrzeni lat powstało wiele różnych koncepcji i pomysłów, mających na celu w jakiś sposób wspomóc przystosowywanie do nowych warunków.

3.1. Idea zrównoważonego rozwoju

Zrównoważony rozwój jako idea został rozpowszechniony wraz z publikacją w 1987 roku raportu „Nasza wspólna przyszłość” (nazywanym też raportem Brundtlanda), w którym zdefiniowano go jako rozwój, który zaspokaja potrzeby obecnych pokoleń, nie zagrażając możliwościom zaspokojenia potrzeb przyszłym pokoleń [11, 92, 97, 113]. Koncepcja zrównoważonego rozwoju opiera się na koncepcji rozwoju, koncepcji potrzeb i koncepcji przyszłych pokoleń. Pełny zrównoważony rozwój osiąga się poprzez równowagę pomiędzy wszystkimi trzema jego filarami [100]:

- zrównoważony rozwój środowiskowy skoncentrowany na utrzymaniu jakości środowiska, która jest niezbędna do prowadzenia działalności gospodarczej i jakości życia ludzi,
- zrównoważony rozwój społeczny, który dąży do zapewnienia praw człowieka i równości, zachowania tożsamości kulturowej, poszanowania różnorodności kulturowej, rasowej i religijnej,
- zrównoważony rozwój gospodarczy niezbędny do utrzymania kapitału naturalnego, społecznego i ludzkiego, potrzebnego do uzyskania dochodu i odpowiedniego poziomu życia.

Od czasu wprowadzenia koncepcji odbyło się wiele międzynarodowych konferencji, kongresów, szczytów i spotkań, w wyniku których powstały różnego rodzaju deklaracje, raporty czy porozumienia dotyczące jej rozwoju. W tab. 3.1 przedstawiono chronologiczny przegląd ważnych działań bezpośrednio i pośrednio związanych z powstaniem i rozwojem koncepcji zrównoważonego rozwoju. Wymienione w tabeli działania cechuje duża różnorodność, dlatego nie sposób objąć wszystkich z nich w minionych latach.

Agenda 2030 to strategia rozwoju świata do 2030 roku. Zawiera 17 Celów Zrównoważonego Rozwoju (ang. *Sustainable Development Goals*). Została przyjęta w 2015 roku, gdy wszystkie 193 państwa członkowskie ONZ jednogłośnie przyjęły rezolucję „Przekształcamy nasz świat: Agenda na rzecz zrównoważo-

Tablica 3.1: Przegląd różnych działań związanych z koncepcją zrównoważonego rozwoju [11, 100]

Rok	Wydarzenie	Opis
1969	Raport sekretarza generalnego ONZ U Thanta	Działania ukierunkowane na uniknięcie globalnej degradacji środowiska. W tworzenie tego raportu zaangażowanych było ponad 2 000 naukowców.
1972	Konferencja w Sztokholmie	Pierwsza światowa konferencja ONZ na temat środowiska człowieka. Pod hasłem „Tylko jedna Ziemia” opublikowano deklarację i plan działań na rzecz ochrony środowiska.
1982	Przyjęcie przez ONZ Światowej Karty Przyrody	ONZ opracowała kodeks postępowania w zakresie ochrony i zachowania światowych siedlisk i zasobów naturalnych. Podkreślono w nim, że rozwój społeczny i gospodarczy nie może być rozpatrywany bez uwzględnienia systemów przyrodniczych.
1987	Raport Brundtland „Nasza wspólna przyszłość”	Raport z podstawowymi zasadami koncepcji zrównoważonego rozwoju.
1992	Szczyt Ziemi w Rio de Janeiro	W Deklaracji z Rio i Planie Działania Agendy 21 ustalono zasady zrównoważonego rozwoju, jak również ramy dla przyszłych zadań.
2000	Szczyt milenijny i konferencja na temat zrównoważonego rozwoju, Nowy Jork	Deklaracja zawierająca osiem Milenijnych Celów Rozwoju wyznaczonych do 2015 roku.
2002	Szczyt w Johannesburgu	Raport z wynikami osiągniętymi w czasie od konferencji w Rio, która potwierdziła wcześniejsze zobowiązania i określiła wytyczne dla realizacji koncepcji w przyszłości.
2012	Szczyt w Rio de Janeiro (Rio +20)	Dwadzieścia lat po konferencji w Rio raport „Przyszłość, której pragniemy” odnowił zaangażowanie w realizację celów zrównoważonego rozwoju i zachęcał do podejmowania kwestii związanych z globalną gospodarką ekologiczną.
2015	COP21 i Porozumienie paryskie na rzecz zrównoważonego rozwoju	Porozumienie w sprawie redukcji gazów cieplarnianych w celu zmniejszenia i ograniczenia globalnego ocieplenia.
2015	Szczyt ONZ w sprawie zrównoważonego rozwoju, Nowy Jork	Opublikowano Agendę ONZ 2030 na rzecz zrównoważonego rozwoju, ustanawiając 17 Celów Zrównoważonego Rozwoju, które powinny zostać osiągnięte do 2030 roku.
2018	COP24 Katowice	Światowi przywódcy uszczegółowili zasady stosowania Porozumienia Paryskiego i jednocześnie ustalili też wytyczne dotyczące walki ze zmianami klimatu na kolejne lata.

nego rozwoju 2030” [55]. Zawarte w Agendzie 17 celów można podzielić na 5 obszarów: ludzie, planeta, dobrobyt, pokój i partnerstwo. W ramach tych obszarów państwa deklarują, że są zdecydowani wyeliminować ubóstwo i głód, we wszystkich ich formach i wymiarach, a także zapewnić, by wszyscy ludzie mogli wykorzystywać swój potencjał w godności i poczuciu równości, żyjąc w zdrowym środowisku. Podkreśla się też rolę ochrony środowiska, w tym podejmowanie działań przeciwdziałającym zmianom klimatu. Promuje się zrównoważoną konsumpcję i produkcję oraz odpowiednie gospodarowanie zasobami naturalnymi ziemi. Postęp gospodarczy, społeczny i technologiczny ma odbywać się w zgodzie z naturą. Wymienia się pokój jako czynnik bez którego nie może istnieć zrównoważony rozwój.



Rysunek 3.1: 17 Celów Zrównoważonego Rozwoju [80]

Przedstawione na rys. 3.1 17 SDG mają zostać zrealizowane do 2030 roku. Dla każdego Celu rozpisano konkretne zadania, które należy osiągnąć - łącznie to 169 zadań. Do każdego z zadań Agendy przyporządkowano wskaźniki mierzące postępy ich realizacji – razem 231 wskaźników. Obrazuje to skalę i ambitny charakter niniejszej Agendy. Wspomniane cele i zadania stanowią kontynuację Milenijnych Celów Rozwoju. Te nowe cele zostały natychmiast uznane jako bardzo ambitne wyzwanie, ponieważ obejmują znacznie szerszy zakres zagadnień niż poprzednie cele oraz mają być uniwersalne - czyli mają odnosić się do wszystkich krajów, a nie tylko do krajów rozwijających się - i powinny służyć jako punkty odniesienia dla trudnego przejścia do zrównoważonego rozwoju [5].

3.2. Koncepcja smart city

Nie ma jednej ściśle określonej definicji *smart city* m.in. z tego względu, że zawierać może ona wiele różnych czynników. Często zaś utożsamia się ten termin z miastem o strategii rozwoju, która stawia na kreatywność, otwartość na innowacje i elastyczność, przez co rozumie się umiejętność szybkiego dostosowywania się do uwarunkowań zewnętrznych i wewnętrznych [84]. Strategia takiego miasta opiera się głównie na zastosowaniu technologii informacyjnych i komunikacyjnych. Głównym założeniem *smart cities* jest efektywniejsze wykorzystywanie zasobów, w celu poprawy jakości życia w mieście i zapewnienie jego zrównoważonego rozwoju [97]. Coraz częściej wymienia się sześć podstawowych składowych, na które składa się koncepcja *smart city* [5, 122, 97, 40]:

- *smart economy* (ekonomia) - obejmuje czynniki wokół konkurencyjności gospodarczej takich jak innowacyjność, przedsiębiorczość, znaki towarowe, produktywność i elastyczność rynku pracy oraz integracja z rynkiem (między)narodowym,
- *smart mobility* (mobilność) - zalicza się do tego dostępność technologii informacyjnych i komunikacyj-

nych oraz nowoczesnych i zrównoważonych systemów transportowych,

- *smart environment* (środowisko) - jest opisywane przez atrakcyjne warunki naturalne (klimat, tereny zielone itp.), zanieczyszczenia, zarządzanie zasobami naturalnymi, a także wysiłki na rzecz ochrony środowiska,
- *smart people* (ludzie) - opisywany jest nie tylko przez poziom kwalifikacji czy edukacji obywateli, ale również przez jakość interakcji społecznych dotyczących integracji i życia publicznego oraz otwartość na świat zewnętrzny,
- *smart living* (jakość życia) - obejmuje różne aspekty jakości życia, takie jak kultura, zdrowie, bezpieczeństwo, mieszkalnictwo, turystyka itp.,
- *smart governance* (zarządzanie) - obejmuje aspekty związane z partycypacją polityczną, usługami dla obywateli oraz funkcjonowaniem administracji publicznej.

3.3. Koncepcja miasta 15-minutowego

Koncepcja ta staje się coraz bardziej popularna na świecie. W przestrzeni miejskiej pojawiają się coraz to nowe określenia takie jak m.in. miasto ludzkiej skali w Buenos Aires, dzielnice kompletne w Portland (Oregon), witalne okolice w Bogocie czy 20-minutowe sąsiedztwa w Melbourne [41, 75, 85, 95]. Analizując te określenia można dojść do wniosku, że są one bardziej adekwatne, ponieważ ciężko jest stworzyć całe miasto o tak niewielkim zasięgu. W mieście często znajdują się uniwersytety, muzea, wielkie parki, różne ośrodki kultury i tym podobne, do których nie da się dotrzeć w przeciągu piętnastominutowego spaceru z każdego zakątka. W koncepcji tej natomiast zaznacza się, że w tej odległości można mieć dostęp do wszystkich podstawowych usług jak sklepy spożywcze, przystanków komunikacji miejskiej czy szkół. Tak też powinniśmy myśleć o mieście 15-minutowym.

Koncepcja ta zyskała również popularność w związku z pandemią COVID-19, która zmieniła sposób w jaki pracujemy, przemieszczamy się, robimy zakupy itp. Zapewnienie mieszkańcom większej przestrzeni na ulicach, więcej terenów zielonych i rozbudowa ścieżek rowerowych okazały się bardzo ważnym aspektem dla zapewnienia bezpieczeństwa i jakości życia [75, 95]. Dzięki tworzeniu dobrze zaprojektowanych i przyjaznych dla pieszych dzielnic, które są połączone poprzez mieszaninę zabudowy o różnej funkcji oraz dostępu do wysokiej jakości transportu publicznego można stworzyć bardziej przyjazne i zdrowe miejsca dla społeczności [85]. Również dzięki temu, że ludzie będą zaspokajać swoje życiowe potrzeby w najbliższej okolicy sprawi, że wpłynie to korzystnie na rozwój lokalnej społeczności, handlu i usług. Zminimalizuje to też potrzebę częstych i odległych podróży w inne miejsca w mieście.

Podejście jakie promuje miasto 15-minutowe może pomóc w osiągnięciu celów zrównoważonego rozwoju, o których była mowa w poprzednim podrozdziale. Do najważniejszych jego cech należą [75]:

- impuls dla lokalnej gospodarki - ponieważ oznacza to większy ruch na głównych ulicach, więcej lokalnych i zróżnicowanych możliwości zatrudnienia oraz bardziej efektywne wykorzystanie przestrzeni i budynków,
- bardziej sprawiedliwe i integracyjne miasta, silniejsze poczucie wspólnoty,
- lepsze zdrowie i samopoczucie - korzyści te wynikają z aktywnego podróżowania, czystsze powietrze, łatwego dostępu do zdrowej żywności, wysokiej jakości terenów zielonych oraz silniejszego poczucia więzi ze społecznością i okolicą,
- niższe emisje z transportu i lepsza jakość powietrza - ograniczenie niepotrzebnych i niepożądanych podróży oraz promowanie zmiany sposobu podróżowania na korzyść transportu publicznego.

3.4. Idea miasta odpornego

Najważniejszą, z punktu widzenia niniejszej pracy, jest idea miasta odpornego. Wyróżnić można kilka definicji dla miasta odpornego. W tab. 3.2 zestawiono je wraz z instytucjami, które ich używają. Wszystkie te definicje mają element wspólny, jakim jest odporność na wszelkiego rodzaju zagrożenia w tym przygotowanie się na nie i przeciwdziałanie im mające na celu zachowanie ciągłości rozwoju.

Tablica 3.2: Definicje miasta odpornego [37, 61, 62, 63, 83].

Instytucja	Definicja
OECD	Miasta odporne to takie miasta, które potrafią wchłonąć, odzyskać i przygotować się na przyszłe wstrząsy (ekonomiczne, środowiskowe, społeczne i instytucjonalne). Odporne miasta promują zrównoważony rozwój, dobrobyt i wzrost sprzyjający włączeniu społecznemu.
Komisja Europejska	Miasto odporne na zagrożenia ocenia, planuje i działa tak, aby przygotować się i reagować na wszystkie zagrożenia - nagłe i powolne, spodziewane i nieoczekiwane.
100 Resilient Cities	Odporność miasta to zdolność miejskich systemów, przedsiębiorstw, instytucji, społeczności i jednostek do przetrwania, adaptacji i rozwoju bez względu na to, jakiego rodzaju ostrych wstrząsów i chronicznych obciążeń doświadczają.
UN-HABITAT	Wymierna zdolność każdego systemu miejskiego i jego mieszkańców do zachowania ciągłości przez wszystkie wstrząsy i obciążenia, przy jednoczesnym pozytywnym przystosowaniu się i przekształceniu w kierunku zrównoważonego rozwoju.

W języku polskim możemy spotkać się także z pojęciem rezyliencja. Termin ten pochodzi od łacińskiego *resilere*, czyli odbić się, odskoczyć. W literaturze naukowej pojęcie to pojawiło się w latach 70. ubiegłego wieku na podstawie badań z zakresu ekologii, a jego zastosowania rozprzestrzeniły się na wiele dziedzin, takich jak ekologia, nauka o środowisku, zarządzanie, ekonomia, inżynieria, informatyka i psychologia [99, 102, 123, 127]. Wynika z tego, że rezyliencja (lub odporność) jest rozumiana bardzo szeroko i jest tematem interdyscyplinarnym.

Ze względu na zagrożenia na jakie podatne jest miasto w związku ze zmianami klimatu, ale również ze zmianami społecznymi czy technicznymi, miasta coraz częściej do swoich polityk i planów wprowadzają koncepcję odporności [109]. Pozwala to w jakimś stopniu przygotować się na te zagrożenia oraz zwiększyć zdolność miasta do radzenia sobie z wyzwaniami przed jakimi stoi. Oczywiście nie można wszystkiego zaplanować idealnie, miasto jest bardzo złożonym systemem, na który składają się m.in sieci społeczno-ekologiczne czy społeczno-techniczne, a te rozciągają się na wiele skal przestrzennych [110]. Mimo wszystko, odporność powinna być czymś pożądanym w politykach miejskich. Jedną ze znanych i godnych uwagi inicjatyw politycznych jest program *100 Resilient Cities (100RC)* [109]. Założona w 2013 roku przez Fundację Rockefeller miała na celu zbudowanie odporności miast na wyzwania fizyczne, społeczne oraz ekonomiczne. Miasta należące do sieci 100RC otrzymały niezbędne zasoby, dzięki którym mogły opracować schemat działania w ramach czterech głównych ścieżek: [86]

- wskazówki finansowe i logistyczne w sprawie utworzenia nowego stanowiska w mieście - specjaliści do spraw odporności,
- wsparcie ekspertów przy opracowywaniu strategii odporności miasta,

- dostęp do rozwiązań, usługodawców i partnerów z sektora prywatnego, publicznego oraz organizacji pozarządowych,
- członkostwo w globalnej sieci miast członkowskich, dzięki czemu miasta mogą nawzajem wymieniać się doświadczeniami i uczyć się od siebie.

Po sześciu latach rozwijania ruchu 100RC w 2019 roku organizacja zakończyła swą działalność. W sieci miasta 100RC znalazło się m.in. Melbourne (Australia). Jak podkreślono, dzięki uczestnictwu w tej inicjatywie zyskano współpracę z innymi miastami oraz wymianę doświadczeń. Wskazano dużą wartość łączenia lokalnych doświadczeń z programami międzynarodowym, uczenie się na podstawie działań innych oraz dostęp do wkładów technicznych i finansowych [36]. Niestety nagła zmiana w fundacji Rockerfeller'a ukazała duże ryzyko w finansowaniu takich działań międzynarodowo. Rozwiązaniem może być przypisanie większej odpowiedzialności za współpracę władzom krajowym, państwowym i lokalnym - przykładem takiego rozwiązania jest szwedzki krajowy program Viable Cities [36, 54]. Warto więc skorzystać z doświadczeń wynikających z rozwoju inicjatywy 100RC, ale mieć na uwadze problemy mogące wyniknąć w sprawie finansowań takich programów.

Miasta podlegają wielu czynnikom naturalnym jak i tym spowodowanym przez człowieka, które mogą potencjalnie powodować znaczne zakłócenia. W ostatnich latach rosnąca różnorodność zagrożeń oraz coraz większa złożoność miast w tym niepewność związana ze zmianami klimatu, globalizacją i szybką urbanizacją sprawiły, że budowanie odporności miast stało się ważnym aspektem [2].



Rysunek 3.2: Ramy odporności miasta wg ARUP [2].

Według ARUP wyróżnić można 4 wymiary odporności, które dzielą się na 12 celi (rys. 3.2). Każde miasto powinno dążyć do osiągnięcia tych celów, ponieważ ich realizacja wzmacnia miejską odporność. Tak jak każdy system, tak i ten ma swoje cechy: [2]

- refleksyjny - systemy refleksyjne akceptują, że w świecie zmiany będą ciągle następować, a niepewność będzie stale rosła; posiadają one mechanizmy pozwalające na jego ewolucję i modyfikację,
- elastyczny - elastyczność oznacza, że systemy te mogą zmieniać się i adaptować do zmieniających warunków,

- zintegrowany - integracja i dostosowanie pomiędzy systemami miejskich powoduje spójność przy podejmowaniu decyzji w mieście,
- solidny - wytrzymałe systemy promują dobrze przemyślane, skonstruowane zarządzanie aktywami fizycznymi w celu wytrzymałości na zdarzenia niebezpieczne,
- zasobny - Zasobność oznacza, że ludzie oraz instytucje będą mogli szybko i na wiele sposobów znaleźć rozwiązanie, aby osiągnąć swoje cele oraz zaspokoić potrzeby podczas nagłego szoku i sytuacji stresowych,
- integracyjny - Włączenie podkreśla potrzebę konsultacji wśród społeczeństw i ich zaangażowania w celu poczucia wspólnej wizji budowania odporności miasta,
- redundandny - zbędność odnosi się do wolnych zdolności przerobowych w mieście, która jest celowo stworzona, aby mogła sprostać niespodziewanym zdarzeniom ekstremalnym.

Wymiar zdrowie i dobrobyt uwzględnia stopień, w jakim miasto umożliwia każdemu zaspokojenie podstawowych potrzeb (żywność, dostęp do wody i schronienia) w szczególności w czasach kryzysu. Uwzględnia on jak dobrze miasto wspiera możliwości utrzymania się oraz dostępu do inwestycji. Pod uwagę bierze się także to, czy miasto jest w stanie chronić zdrowie swoich obywateli poprzez zapewnienie normalnej jak i awaryjnej opieki zdrowotnej [2]

Wymiar ekonomia i społeczność odnosi się do organizacji miast, czyli to w jaki sposób systemy społeczne i ekonomiczne umożliwiają mieszkańcom życie w pokoju. Należą do niego systemy, które egzekwują prawo i porządek oraz zapewniają odpowiednie zarządzanie. Ważna jest także tożsamość miasta - otwarte przestrzenie i dziedzictwo kulturowe odgrywają istotną rolę [2]

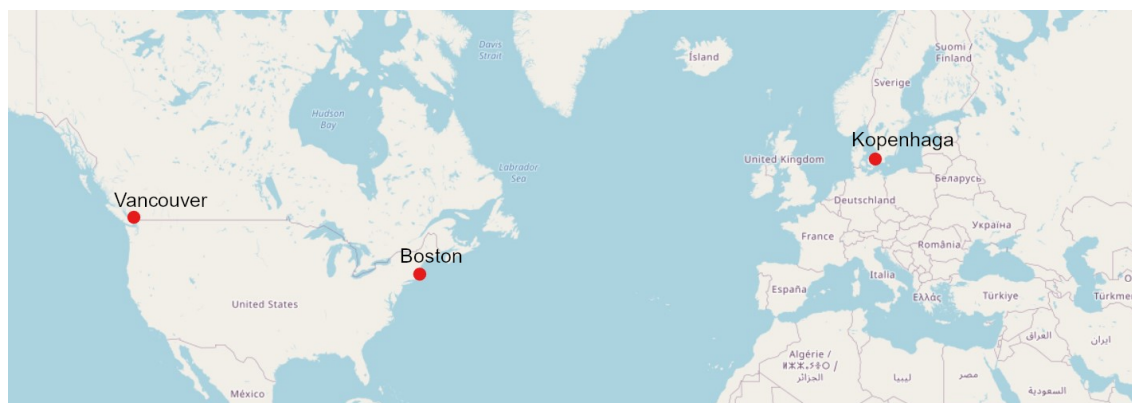
Wymiar infrastruktury i środowiska odnosi się miejsca - jakości infrastruktury oraz ekosystemów, które mają zapewniać ochronę i łączyć ludzi. Bardzo ważna jest ciągłość usług krytycznych w sytuacjach szoku lub stresu. Chodzi tutaj w szczególności o zapewnienie wody mieszkańcom, dystrybucję energii elektrycznej, gospodarowanie opadami stałymi oraz systemy transportowe umożliwiające przepływ towarów, usług, ludzi i informacji [2].

Podstawą wymiaru przywództwo i strategia jest wiedza. Odporne miasto musi wyciągać wnioski z przeszłości i podejmować odpowiednie działania w oparciu o dowody. Miasto musi mieć skuteczne przywództwo i zarządzanie miastem, które charakteryzuje się integracyjnym zarządzaniem z udziałem rządu, biznesu i społeczeństwa. Miasto musi również umacniać pozycję swoich interesariuszy poprzez zapewnienie dostępu do informacji i edukacji. Ma to na celu spowodowane, aby jednostki i organizacje umiały i mogły podjąć odpowiednie działania [2].

4. STUDIA PRZYPADKÓW

Analiza studiów przypadków ma na celu ukazanie różnych sposobów przeciwdziałania zmianom klimatu i adaptacji do tej zmiany w kontekście miasta odpornego. Z tego względu analizując przypadki skupiono się głównie na kwestiach środowiskowych i technicznych. W niniejszym rozdziale przedstawia się jak wybrane miasta radzą sobie z następującymi zmianami klimatu oraz jakie prowadzą polityki w celu przystosowania się nich. W każdym podrozdziale opisuje się główne strategie, plany i koncepcje miast radzenia sobie ze skutkami globalnego ocieplenia.

Do analizy wybrano trzy miasta: Boston, Vancouver i Kopenhagę (rys. 4.1). Każde z tych miast ma porównywalną liczę mieszkańców - około 700 tysięcy. Wszystkie miasta leżą w strefie klimatu umiarkowanego i co ważne są położone w strefie przybrzeżnej, dzięki czemu działania jakie tam się podejmuje, będzie można również odnieść do terenów Trójmiasta i Żuław. Wybrane przypadki cechuje naprawdę spora liczba pomysłów, planów i działań na rzecz klimatu i odporności, co pozwoli na poznanie szerokiego spektrum możliwości w związku z analizowanym tematem.



Rysunek 4.1: Miasta poddane analizie studialnej. Opracowanie własne na podstawie <https://www.openstreetmap.org>.

4.1. Boston

Boston jest jednym z ważniejszych miast Stanów Zjednoczonych. Dzięki korzystnemu położeniu nad trzema rzekami, które wpadają do osłoniętego portu dobrze nadającym się na handel wodny, pomogło mu to wyrosnąć na główne miasto handlowe [14]. Miasto liczy 675 tys. mieszkańców [73]. Jest cenionym ośrodkiem naukowym i gospodarczym. To tu znajdują się najbardziej cenione uniwersytety na świecie takie jak *Harvard University* czy *Massachusetts Institute of Technology*. Boston w przeciągu trzystu lat od założenia w 1630 roku powiększył się o prawie 50% powierzchni terenu, z czego większość to tereny leżące wzdłuż linii brzegowej oceanu i rzek, które zostały zniwelowane do poziomu tuż powyżej poziomu przyływu. Pomogło to Bostonowi stać się największym centrum mieszkalnym i handlowym w Nowej Anglii, kosztem zwiększonego ryzyka odczuwania skutków zmian klimatu [14]. Mieszkańcy Bostonu już odczuwają takie efekty jak ekstremalne ciepło, nawałne deszcze i opady śniegu oraz powodzie. W związku z tym utworzono inicjatywę *Climate Ready Boston*, która ma pomóc miastu w planowaniu skutków zmian klimatycznych oraz budowaniu odpornej przyszłości [71]. Ma na celu przygotować Boston na krótko- jak i długoterminowe skutki zmian klimatu. Aby wypełnić te cele składa się z czterech elementów [14]:

1. Aktualizacja projektów klimatycznych - jest to zestaw zaktualizowanych prognoz dla czterech głównych czynników zmian klimatu, czyli ekstremalnych temperatur, wzrost poziomu morza, ekstremalne opady

oraz sztormy.

2. Podatność na zagrożenia - jest to ocena obecnych oraz potencjalnych przyszłych zagrożeń, które wiążą się z trzema zagrożeniami (ekstremalne upały, powódzie wywołane nawałnymi deszczami oraz powódzie z rzek i wybrzeża), wpływających na mieszkańców Bostonu, budynki, infrastrukturę oraz gospodarkę.
3. Strefy zainteresowania - jest to osiem obszarów Bostonu, gdzie wyniki podatności na zagrożenia oraz inicjatywy dotyczące odporności na zmiany klimatu są zastosowane w bardziej szczegółowy sposób, tak aby zobrazować na co narażony jest Boston.
4. Odporne na zmiany klimatu inicjatywy - są to działania polityczne, planistyczne, programowe oraz inicjatywy finansowe dotyczące ryzyka zidentyfikowania oceny podatności na zmiany klimatu, tak aby zwiększyć odporność Bostonu.

Mieszkańcy Bostonu, firmy, różne instytucje i grupy społeczne są bardzo ważnymi partnerami w związku z adaptacją do zmian klimatu - zwłaszcza, że to oni na co dzień pełnią rolę zarządców w swojej dzielnicy Bostonu. Aby dobrze przygotować się na zmiany klimatu ważna jest ścisła współpraca z tymi grupami, aby wykorzystać ich lokalną wiedzę, zidentyfikować najważniejsze problemy i uwzględnić ich priorytety w planowaniu [13]. Ważne, aby komunikacja działała w obie strony - miasta zarówno dzieli się informacjami jak i je otrzymuje. Aby skutecznie dotrzeć do każdej grupy społecznej w Bostonie, miasto współpracuje z organizacjami pozarządowymi skupionymi na temacie odporności, grupami biznesowymi, korporacjami czy organizacjami zrzeszającymi organizacje społeczne.

W ramach inicjatywy *Climate Ready Boston* przygotowano różne projekty dla różnych celów m.in. przygotowywanie się na wzrost temperatury czy wizja bostońskiego waterfrontu odpornego na wzrost poziomu wód w oceanie. Te lokalne plany odporności na zmiany klimatu powinny koordynować wszystkie działania, które są powiązane z adaptacją do zmian klimatu w obrębie dzielnicy [13]. Dzięki takim założeniom miasto i jego partnerzy mogliby wykorzystać ograniczone zasoby w sposób bardziej rozsądny czy uniknąć też dublowania inwestycji. Ta koordynacja w ramach dzielnicy stwarza też możliwości sfinansowania tych inwestycji wraz ze zintegrowaniem innych priorytetów społeczności lokalnej - takich jak dostępność mieszkań, dostęp do wysokiej jakości przestrzeni i terenów otwartych oraz bezpiecznej i wydajnej mobilności [13]. Lokalne plany odporności powinny zawierać następujące kwestie [13]:

- zaangażowanie społeczności - ma to na celu zrozumienie aktualnych wyzwań przed jakimi stoją mieszkańcy, firmy i instytucje; miasto powinno współpracować z interesariuszami w dzielnicy; reprezentujące swoje dzielnice komisje powinny gromadzić dane, dostarczać informacje o potencjalnych działaniach na rzecz odporności oraz identyfikować wspólne korzyści z adaptacji do zmian klimatu,
- planowanie przestrzenne dla przyszłych systemów ochrony przeciwpowodziowej - w celu wsparcia systemów ochrony przeciwpowodziowej Bostońska Agencja Planowania i Rozwoju powinna ustanowić dzielnice ochrony przeciwpowodziowej w strategicznie ważnych punktach, tam gdzie wody powodziowe mogą przedostać się na obszar śródlądowy i go zalać; jest to szczególnie istotne tam, gdzie rozwój nabrzeża postępuje szybko, co może wprowadzić nowe wyzwania dla tworzenia przyszłej infrastruktury przeciwpowodziowej,
- studia wykonywalności dotyczące ochrony przeciwpowodziowej - miasto ma stosować wspólne ramy na skalę dzielnicy; kluczowe względy obejmują korzyści związane z ograniczeniem ryzyka powodziowego, a dodatkowymi korzyściami są m.in.: rekreacja, rozwój gospodarczy czy wpływ na środowisko,

- planowanie adaptacji dla infrastruktury - należy przygotować istniejącą infrastrukturę i zaprojektować nową na zmiany klimatyczne; zawierać się w tym może podwyższenie drogi w połączeniu z modernizacją infrastruktury ochrony przyrody,
- koordynacja z innymi planami - miasto powinno koordynować swoje działania z innymi inicjatywami takimi jak Imagine Boston 2030, 100 Resilient Cities, Specjalnymi Obszary Planowania czy Miejskimi Planami Przystani w celu zapewnienia, że adaptacja do klimatu na skalę dzielnicy jest włączona do planów zagospodarowania przestrzennego,
- opracowanie strategii finansowania - miasto powinno ocenić, a w razie potrzeby także wesprzeć w realizacji tej strategii; strategii te mogą obejmować m.in. federalne i państwowe fundusze infrastrukturalne; wspólne planowanie kapitałowe między różnymi podmiotami może ułatwić interwencje na większą skalę,
- rozwój struktur zarządzania - miasto powinno ocenić, a w razie potrzeby także wesprzeć w sprawie wdrożenia struktur zarządzania; te struktury mogą obejmować takie działania jak utworzenie rady zarządzającej, dzielnicy poprawy przedsiębiorczości lub partnerstwa publiczno-prywatnego.

4.1.1. *Climate Action Plan*

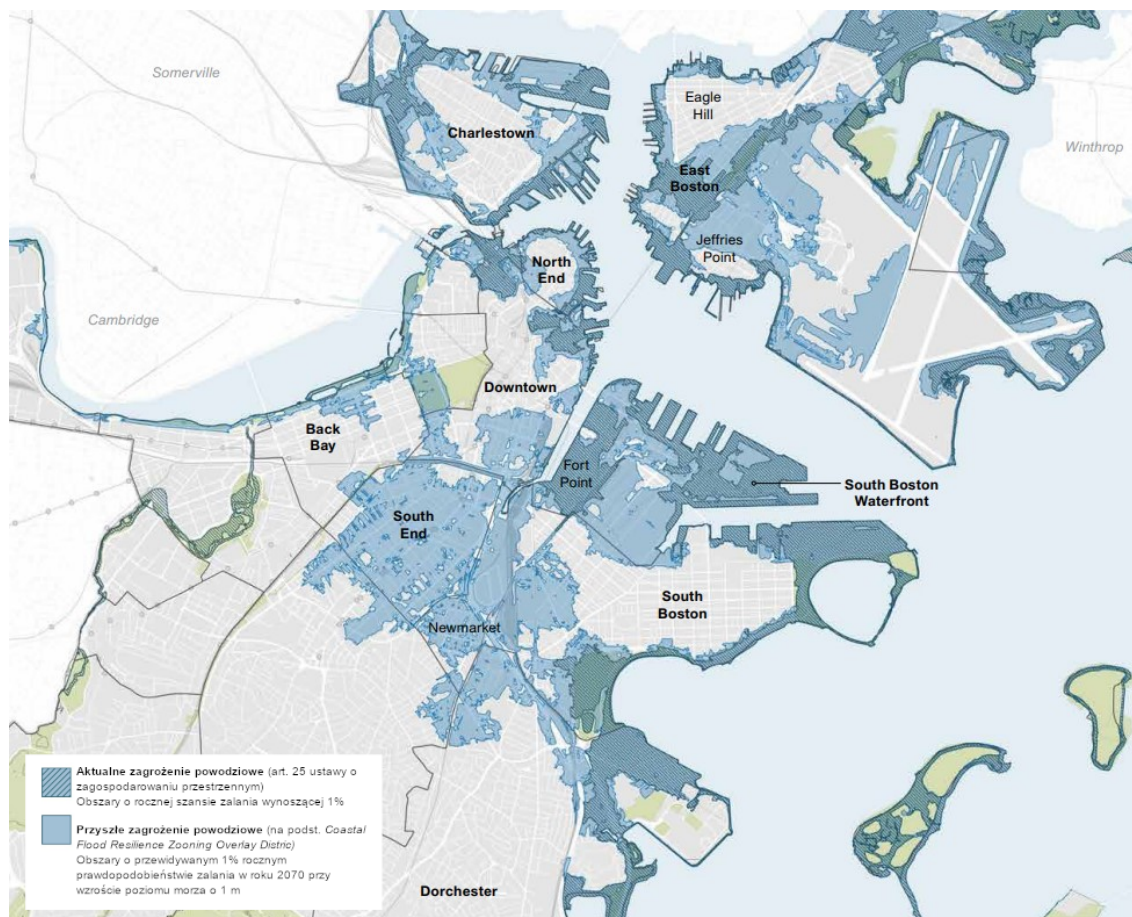
Ważnym dokumentem jest Plan Działań na rzecz Klimatu (ang. *Climate Action Plan*), który wyznacza ambitne cele w celu zmniejszenia emisji i przygotowania się na nadchodzące skutki zmian klimatu oraz określa w jaki sposób należy je osiągnąć [12]. Po raz pierwszy wydano go w roku 2007. Następnie w 2017 roku obecny burmistrz Marin J. Walsh wzmocnił cel redukcji emisji do osiągnięcia neutralności węglowej. Rok 2019 zaś wyznacza już konkretny etap przejścia Bostonu do neutralności węglowej i opisuje plan pracy na następne 5 lat. W ramach redukcji emisji Boston od 2015 roku dodał ponad 24 MW w lokalnej mocy energii słonecznej, a liczba gospodarstw domowych, które używają oleju opałowego do ogrzewania spadła z ponad 45 tysięcy do poniżej 22 tysięcy. Aktualizacja dokumentu z 2019 roku ma na celu przyspieszenie postępów Bostonu w zakresie redukcji emisji dwutlenku węgla do 2030 i 2050 roku.

Działania w ramach tego dokumentu nie są odosobnionym przedsięwzięciem. Są one skoordynowane z wieloma innymi szerszymi celami społecznymi, środowiskowymi i gospodarczymi miasta. Z tego względu wiele przedsięwzięć na rzecz klimatu jest opisywane i przedstawiane za pomocą innych ogólnomiejskich planów, a klika z nich zostanie szerzej omówione w kolejnych podrozdziałach.

4.1.2. *The Coastal Flood Resilience Design Guidelines*

Dokument *The Coastal Flood Resilience Design Guidelines* (ang. Wytyczne do projektu odporności na powódzie w strefie przybrzeżnej) jest źródłem pomocy dla właścicieli nieruchomości oraz deweloperów w Bostonie, aby podejmowali oni świadomych i przyszłościowych decyzji o ochronie przeciwpowodziowej dla istniejących i planowanych budynków i konstrukcji [7]. Działania te opierają się bezpośrednio na inicjatywie *Climate Ready Boston*. Jak widać na rys. 4.2 obszary, które mogą zostać zalane są naprawdę spore, dlatego pokazuje to jak ważny jest to dokument dla bostończyków. Strategie zawarte w tym dokumencie koncentrują się na czterech nadrzędnych zasadach projektowania nowych budynków i modernizacji już istniejących [7]:

- strategie adaptacyjne powinny być zorientowane na przyszłość i brać przykład z najlepszych praktyk dotyczących odporności,
- rozwiązania w zakresie odporności budynków powinny przyczynić się do poprawy przestrzeni publicznych,



Rysunek 4.2: Mapa ryzyka powodziowego w Bostonie [7].

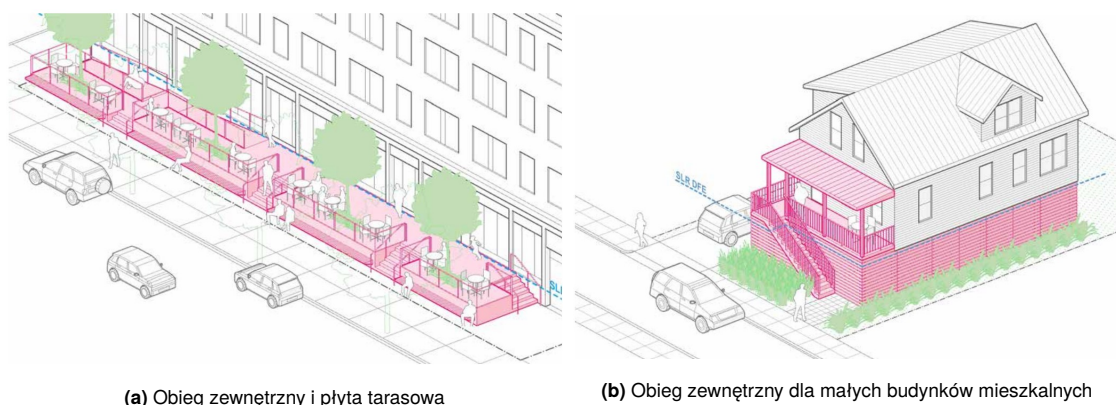
- strategię odporności na powódzie powinny odgrywać korzystną rolę w rozwoju budynków poprzez poprawę m.in. otaczających je krajobrazów, poprawę zarządzania wodą opadową czy efektywności energetycznej,
- indywidualne modernizacje budynków powinny, tam gdzie to możliwe, odnosić się do inwestycji w najbliższym sąsiedztwie dotyczących infrastruktury przeciwpowodziowej.

Opracowanie tego dokumentu jest kolejnym ważnym krokiem w celu zwiększenia odporności Bostonu, szczególnie na zagrożenia powodziowe. Dostarcza on ważne narzędzie regulacyjne, dzięki któremu można lepiej wpływać i usprawniać działania mające na celu wdrożenie działań określonych w dokumencie. Miasto jest również zaangażowane w inicjatywy na poziomie państwowym, mające na celu aktualizację stanowego kodeksu budowlanego oraz stanowych przepisów, które mogą zapewnić dodatkowe wsparcie przy budowaniu odporności [7].

Opracowanie rozwiązań adaptacyjnych wymaga rozpoznania jakie budynki występują w przybrzeżnej strefie zalewowej. W Bostonie dominują budynki o małej i średniej skali - budynki od jezdnego do trzech pięter, w tym domy jednorodzinne i wielorodzinne. Stanowią one ponad 30% całej powierzchni zabudowanej w Bostonie [7]. Następnie największą kategorią są budynki mieszkalne średniej skali - z mniej niż 30 mieszkań albo mniej niż 7 pięter wysokości. Łącznie budynki małej i średniej skali stanowią prawie połowę powierzchni zabudowanej Bostonu. Te typy budynków niestety są bardziej problematyczne, ponieważ większość tych budynków jest już stara i będzie dużym wyzwaniem je odpowiednio zmodernizować, aby spełnić wymagane kryteria do adaptacji. Często też właściciele tych mniejszych budynków mają ograniczony budżet

by samodzielnie podjąć się takich działań.

W dalszej części dokumentu przedstawia się możliwe rozwiązania techniczne jakie można podjąć, aby przygotować się na powódź. Na rys. 4.3 przedstawiono wybrane dwa rozwiązania techniczne mające pomóc ochronić budynki przed powodzią. Rozwiązanie to polega na podniesieniu pierwszego piętra oraz umieszczenie na zewnątrz budynków tarasów z zewnętrznymi przejściami, rampami lub schodami. W celu zwiększenia atrakcyjności wizualnej i dodania charakteru okolicy miejsca te mają zostać obsadzone roślinami oraz powstać mają miejsca do siedzenia i odpowiednie oświetlenie. Rozwiązania te mają spowodować wyniesienie najniższych kondygnacji użytkowych powyżej poziomu projektowanej wysokości powodzi. Poziom ten oznaczony jest przerywaną niebieską linią z oznaczeniem SLR-DFE (ang. *Sea Level Rise - Design Flood Elevation*). Wskaźnik ten jest wyznaczony przez Bostońską Agencję Planowania i Rozwoju biorąc pod uwagę ryzyko w przypadku występowania powodzi o rocznej szansie 1% i przy 1 metrowym wzroście poziomu morza w 2070 roku.[7]. Na rys. 4.3a pokazano rozwiązania dla ciągów komunikacyjnych od strony restauracji i sklepów. Nowe urządzenie przestrzeni z miejscami do siedzenia i zielenią może przyczynić się do ożywienia krajobrazu ulicy. Zaś na rys. 4.3b przedstawiono rozwiązanie dla małego domu mieszkalnego. Należy pamiętać, że przestrzenie poniżej *SLR-DFE* nie nadają się do zamieszkania, a ich wykorzystanie ograniczone jest jedynie do parkowania i przechowywania.



Rysunek 4.3: Rozwiązania techniczne ochrony budynków przed powodzią [7].

W ramach innych rozwiązań w dokumencie prezentuje się wznoszenie budynków na specjalnie wyniesionych podłożach, przenoszenie lub też zmianę przeznaczenia na cele niemieszkalne najniższych kondygnacji czy też tworzenie tzw. mokrej ochrony przeciwpowodziowej, która umożliwia wejście i wyjście wody z części budynku niewykorzystywanych jako przestrzeń mieszkalna (czyli piwnice, garaże itp.) za pomocą specjalnych szybów. Jako jeden z priorytetowych działań wymienia się ochronę systemów krytycznych takich jak urządzenia elektryczne i mechaniczne, aby uniknąć kosztowych szkód, zagrożenia dla bezpieczeństwa i możliwości utraty zamieszkania. Dla wszystkich nowych konstrukcji oraz modernizacji istniejących należy wyposażenie elektryczne, grzewcze, wentylacyjne, hydrauliczne i klimatyzacyjne zlokalizować w taki sposób, aby nie dopuścić do ich zalania podczas powodzi.

Jako strategie wspierające wymienia się też strategie krajobrazowe, na które składają się [7]:

- rośliny odporne na słoń wodę - projektowanie zieleni przy użyciu gatunków roślin, które są w stanie wytrzymać powódź, w tym zalanie słoń wodą; dodatkowo trzeba wprowadzić program pielęgnacji krajobrazu mający na celu wypłukanie słonej wody po wystąpieniu zalania,
- odporne na zniszczenie przez powódź materiały krajobrazowe - należy wybierać takie materiały, które po kontakcie ze słoń wodą nie ulegną korozji,

- zabezpieczenie dużych przedmiotów i minimalizacja odpadów - duże obiekty takie jak zbiorniki paliwa, systemy zbierania wody deszczowej i podobne powinny być zabezpieczone, aby zapobiec rozprzestrzenianiu się odpadów czy uwolnienia się niebezpiecznych materiałów podczas powodzi,
- niebieska infrastruktura - przekierowuje wody burzowe z dala od budynków i ważnych obiektów, może się składać z placów wodnych, zbiorników retencyjnych, kanałów, naturalnych dróg wodnych itp.,
- zielone, niebieskie i brązowe dachy - zatrzymują wody opadowe na dachach budynków i pomagają obniżyć temperaturę, zielone dachy to gleba i rośliny, które odparowują wodę; dachy brązowe zapewniają miejsce, gdzie może rosnąć spontaniczna roślinność, a dachy niebieskie zatrzymują i spowalniają uwalnianie się wody i łagodzą skutki burzy ,
- chłodne chodniki i materiały o wysokim albedo - materiały o wysokim albedo odbijają światło słoneczne pozostając chłodniejsze, przyczyniają się do zmniejszenia miejskich wysp ciepła,
- drzewa dające cień (głównie po południowej i zachodniej stronie budynków oraz na terenach utwardzonych) - drzewa pomagają obniżyć temperaturę poprzez cień i łagodzą skutki burzy poprzez ewaporację, należy zachować jak najwięcej dużych istniejących drzew,
- maksymalizacja wykorzystania obszarów porośniętych roślinnością i nowe nasadzenia,
- chłodne dachy - dachy które odbijają promienie słoneczne, dzięki czemu mniej się nagrzewają,
- bieżące przycinanie drzew,
- zasłonięcie urządzeń mechanicznych - urządzenia klimatyzacyjne, które są zacienione latem używają mniej energii, dzięki czemu są mniej emisyjne,
- zielone ściany - roślinne powierzchnie ścian zewnętrznych zapewniają dodatkową warstwę izolacji budynku, a zielone ściany które posiadają aktywny system filtrowania powietrza mogą również łagodzić zanieczyszczenia powietrza,
- retencja wody w krajobrazie - przestrzenie zaprojektowane do zalewania i zatrzymywania wody,
- chodniki przepuszczające wodę,
- infiltracja wody burzowej - jest to infrastruktura kanalizacji deszczowej zaprojektowana do infiltracji lub zatrzymywania odpływu wód burzowych w celu złagodzenia przepływu wody, zmniejszając potencjalną powódź,
- zbieranie wody opadowej,
- zielona infrastruktura dla wód opadowych - elementy roślinne w tym ogrody deszczowe, mokradła mające na celu łagodzenie efektów miejskiej wyspy ciepła oraz tworzenie siedlisk.

4.1.3. Resilient harbor vision

Resilient Boston Harbor przedstawia strategię dla 75 kilometrowej linii brzegowej Bostonu. Projekt opiera się na Imagine Boston 2030 oraz na mapach powodziowych Climate Ready Boston 2070. W ramach tego przedsięwzięcia planuje się przekształcenie nadbrzeżnych parków, tak aby zapewnić ochronę przed powodzią i jednocześnie poprawić dostępność i rekreację. Strategie obejmują także stworzenie budynków odpornych na powódź oraz rewitalizację i poprawienie dostępu do brzegu. Działania związane z planowaniem w dzielnicach będą połączone nową warstwą parków, bulwarów, które pomogą chłonać wodę i stworzą sieć

parków łączącą cały Boston z większą liczbą parków oraz terenów nad wodą [87]. Podzielono ją na kilka części - i tak, m.in w East Boston Harbour odnowione bagna na Belle Isle mają zapobiegać utracie tych zasobów naturalnych i będą stanowić bufor dla brzegu przed falami. Ochronę przed zalaniem ma zapewnić również podwyższenie terenu. W ramach prac przygotowano wiele rysunków przedstawiających proces przekształceń linii brzegowej Bostonu. Na rys. 4.4 przedstawiono wizję całości projektu.



Rysunek 4.4: Wizja bostońskiego waterfrontu [70].

Ramy uczynienia Bostonu odpornym zostały zapoczątkowane w ogólnomiejskim planie Imagine Boston 2030 i zostały wzmocnione przez pół dekady planowania [15]. Plan opowiadał się za stworzeniem „Nabrzeża dla przyszłych pokoleń” nadając priorytet sprawiedliwemu dostępowi do i wzdłuż linii brzegowej oraz zarządzaniu środowiskiem niezbędnym do rozwoju nabrzeża w szybko zmieniającym się klimacie. Climate Ready Boston, Resilient Boston i Resilient Harbor Vison poszerzają i wzmacniają te idee. Na przykład plany odporności na wybrzeżu w North End, South Boston, Charlestown, East Boston i Downtown oraz wizja parku Moakley współgrają ze sobą, aby jednocześnie przyspieszyć planowanie wzdłuż całego Boston Harbor.

4.1.4. Heat resilience plan

Plan ten przedstawia rozwiązania jakie powinno podjąć miasto, tak aby przygotować się na skutki pojawiających się ekstremalnych upałów. Zawiera on analizę fali upałów nawiedzających Boston oraz ogólnorządowe ramy. Wyznacza on kierunki działań, które należy podjąć aby ochronić mieszkańców przed ekstremalnymi temperaturami. Zaznacza, że część społeczeństwa może bardziej doświadczać tych skutków i są to m.in. osoby starsze, dzieci, osoby o innym kolorze skóry, o mniejszych dochodach, bezdomne czy z różnego rodzaju chorobami lub niepełnosprawnościami. Działania te mają więc nikogo nie wykluczać i wspierać równość. Plan łączy istniejące działania z nowymi i planowanymi inicjatywami, które wspólnie mają przygotować Boston na zmiany klimatu.

Odporność na ciepło ma na celu przygotowanie nie tylko ludzi, ale również i budynków, infrastruktury oraz przestrzeni publicznych do przetrwania wysokich temperatur. Boston chce zapewnić wszystkim mieszkańcom środki, dzięki którym będą mogli zachować chłód w miesiącach letnich. Polega to na obniżeniu temperatur w gorących punktach miasta oraz zapewnieniu, że przestrzenie wewnętrzne i zewnętrzne

chronią zdrowie i komfort społeczeństwa. Jest to bardzo ważny aspekt przygotowań na zmiany klimatu, ponieważ najczęstszą przyczyną zgonów związanych z pogodą w Stanach Zjednoczonych są właśnie upały [6, 16]. Temperatury będą nadal rosły, a więc konieczne jest przygotowanie się do tego.

Sam dokument jest bardzo obszerny (351 stron) i bardzo szczegółowo opisuje problematykę rosnących temperatur w Bostonie. Na początku przeprowadzono dogłębne analizy występowania ekstremalnych temperatur na przestrzeni kolejnych kilkudziesięciu lat. Historycznie lato w Bostonie obejmowało 10 dni powyżej 32,2°C (obserwowany poziom bazowy dla okresu 1986-2015 z danych LOCA [16]). Do roku 2070 liczba dni powyżej 32,2°C może wzrosnąć nawet 6 do 7 razy. W obecnym tempie trendów emisji (RCP 8.5) prognozy szacują, że gorące dni bostonie będą stanowić od 17 do 26 dni w 2030 roku, od 25 do 42 dni w 2050 roku i od 33 do 62 dni w 2070 roku [16]. Jak widać wzrost ten jest naprawdę znaczący, dlatego Boston bardzo pręźnie rozwija się w kierunku adaptacji i przeciwdziałaniem nadchodzącym zmianom klimatu. W dalszych częściach plan przedstawia nowe metodologie, nowe modele ekstremalnych temperatur, profile ryzyka cieplnego oraz podatności na nie.

Kolejne rozdziały skupiają się na wybranych dzielnicach Bostonu. Każda z nich cechuje się innymi problemami i potrzebami, dlatego rozpatrywane strategię są rozbite na działania dzielnicowe, dzięki temu można w odpowiedni sposób je tam wdrożyć. Ogólnie dla całego miasta *Heat Resilience Plan* zwiera 26 strategii, z których niektóre dotyczą kwestii krótkoterminowych, podczas gdy inne są bardziej systemowe i mogą wymagać dłuższego czasu na osiągnięcie korzyści. Ze względu na obszerność opisów pojedynczych strategii nie zostaną one tutaj przedstawione, natomiast wymieniamy się następujące kluczowe wnioski jakie padają w tym dokumencie [16]:

- zapewnienie pełnego zacielenia zmniejsza odczuwalne temperatury,
- zielone dachy zapewniają znaczne obniżenie temperatury powierzchni, ale nie tak duży spadek dla temperatury odczuwalnej - może to zostać poprawione poprzez np zainstalowanie 50% zadaszenia z tkaniny, które mogą stworzyć chłodniejsze środowisko dla ludzi,
- forma budynku jest ważnym czynnikiem,
- drzewa posadzone po północnej stronie ulicy zapewniają większe korzyści w zakresie chłodzenia, ponieważ północna strona jest zwykle bardziej nastawiona na działanie słońca w porównaniu do strony południowej, gdzie budynki zapewniają więcej cienia
- sadzenie drzew w skupiskach (a nie w zbyt dużych odstępach) zapewnia dobre chłodzenie powierzchni i zmniejsza temperaturę odczuwalną
- powierzchnie o jasnych kolorach lub silnie odbijające światło są świetne w obniżaniu temperatury powierzchni.

4.1.5. Go Boston 2030

Wizja i plan działania projektu *Go Boston 2030* ustanawia cele i działania związane z sieciami transportowymi w mieście, które obejmują rozszerzenie dostępu do wszystkich środków transportu, poprawę bezpieczeństwa związanego z transportem oraz zapewnienie niezawodności tranzytu i sieci dróg w Bostonie [8]. Plan podkreśla jak ważne jest znaczenie zwiększenia wykorzystania transportu zbiorowego w celu zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych, a także uwzględnia środki zapewniające odporność sieci transportowych na zmieniające się warunki klimatyczne. Wymienia się również to, że do 2030 roku liczba codziennych podróży z regionu do Bostonu wzrośnie o 6%, co bez nowych połączeń transportem miejskim może spowodować, że 70% tych podróży będzie odbywać się za pomocą prywatnych samochodów. Już dziś wydolność systemu

Tablica 4.1: Jak Bostończycy dojeżdżają do pracy i jak chcą do niej dojeżdżać w 2030 roku [8].

Rodzaj transportu	2014 r.	aspiracje w 2030 r.
Transport publiczny	34%	↑ wzrost o jedną trzecią
Pieszo	14%	↑ wzrost prawie o połowę
Rowerem	2%	↑ czterokrotny wzrost
Wspólne przejazdy samochodem	6%	↓ nieznaczne zmniejszenie
Samochodem (samotnie)	39%	↓ spadek o połowę
Inne/Praca zdalna	5%	↑ niewielki wzrost pracy zdalnej

transportowego jest na granicy wytrzymałości, dlatego tak ważne jest stworzenie odpowiedniej strategii oraz jej realizacja.

Wraz z rozpoczęciem programu miasto od razu rozpoczęło konsultacje społeczne. Co ciekawe nie były to typowe konsultacje, ponieważ proces rozpoczął się od zbierania pytań od społeczeństwa, które nazwali *Question Campaign* - kampanią pytań. Słuchanie pytań ludzi posłużyło jako sposób na zrozumienie szerokiego zakresu problemów, jakie ludzie mają doświadczenia i co poszczególne osoby cenią najbardziej. Zaletą tej kampanii było to, że pytania można było zadawać nie tylko online przez specjalnie przygotowany formularz, ale również przekazać je osobiście w różnych punktach w mieście. Dzięki czemu uczestniczyć mógł każdy chętny. Na przełomie stycznia i lutego 2015 roku po mieście jeździł tzw. *Question Truck*, który odwiedzał 15 miejsc w okolicy zbierając pytania od ludzi w miejscach których przebywają pracują i podróżują. Ludzie mogli nie tylko podzielić się swoim pytaniem i je zapisać, ale również przeczytać pytania innych oraz porozmawiać na temat transportu z innymi osobami tam przebywającymi.

Wynikowo w ramach wizji *Go Boston 2030* zostało ustanowione 35 celów szczegółowych jako wzorców dla poprawy transportu w Bostonie w sposób sprawiedliwy, ekonomiczny i odporny na zmiany klimatu. Każdy cel jest związany z dziewięcioma tematami zawartymi w ramach wizji, a 6 z nich najbardziej korelującymi z opinią publiczną były: rozszerzenie dostępu, zapewnienie niezawodności, poprawa bezpieczeństwa, zapewnienie przystępności cenowej, budowanie odporności, wspieranie przejrzystego zarządzania. Najważniejszymi celami wizji są [8]:

- sprawić, by dzielnice Bostonu były ze sobą połączone za pomocą wszystkich środków transportu, w tym aby każdy dom w Bostonie był oddalony o 10 minut spacerem od stacji kolejowej lub kluczowego przystanku trasy autobusowej, stacji *Hubway* i współdzielonego transportu samochodowego
- znaczne zmniejszenie liczby kolizji na każdej ulicy poprzez edukację, egzekwowanie przepisów i projekty, które zmniejszą przeznaczenie przestrzeni ulicznej, aby priorytetowo traktować przemieszczanie się ludzi bezpiecznie, a nie szybko - w tym wyeliminowanie ofiar śmiertelnych oraz osób ciężko poszkodowanych w wyniku wypadków,
- priorytetem jest uczynienie podróży przewidywalnej na sieci dróg w Bostonie, w tym średni czas dojazdu mieszkańców do pracy zmniejszy się o 10%.

W ramach odpowiedzialności za klimat Boston stworzy możliwości, żeby więcej podróży odbywało się za pomocą transportu publicznego w celu zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych i przygotuje system transportowy na ciężkie warunki pogodowe. W tab. 4.1 pokazano wskaźniki jak w Bostonie aktualnie (dane na rok 2014) dociera się do pracy oraz to jakie są aspiracje w 2030 roku, dzięki inicjatywom zawartym w wizji *Go Boston 2030*. Jak widać największego spadku oczekują się w podróżach samochodem w pojedynkę, a największych wzrostów przy transporcie publicznym, jeździe na rowerze i przemieszczaniu się pieszo - zgodnie z ustaleniami wizji i zaplanowanymi wskaźnikami emisji zanieczyszczeń i dwutlenku węgla.

4.2. Vancouver

Vancouver jest nadmorskim miastem portowym leżącym na stałym lądzie w Kolumbii Brytyjskiej w Kanadzie. Położone na zachodniej części półwyspu Burrard, Vancouver jest ograniczone od północy przez zatokę English Bay i Burrard Inlet, a od południa przez rzekę Fraser. Jest największym miastem w Kolumbii Brytyjskiej i ósmą co do wielkości gminą w Kanadzie; obszar metropolitarny Greater Vancouver (obejmujący sąsiednie miasta takie jak Burnaby, Richmond i Surrey) jest trzecim co do wielkości w Kanadzie [66]. Ma umiarkowany oceaniczny klimat, chroniony przez góry i ogrzewany przez prądy oceaniczne Pacyfiku i jest jednym z najcieplejszych miast w Kanadzie. Miasto liczy 631 486 mieszkańców (dane na rok 2016).

Vancouver podobnie jak Boston zmagają się i będzie zmagać się ze zmianami klimatu. Przyszłość miasta jest zagrożona przez katastrofalne trzęsienia ziemi oraz wzrost poziomu morza, a w ostatnich latach dym z dzikich pożarów i ekstremalne zjawiska pogodowe stały się „nową normą” dla mieszkańców, co powoduje negatywny wpływ szczególnie na ludzi doświadczających izolacji, problemów zdrowotnych czy ubóstwa [26]. Pomimo wysiłków jakie podejmuje miasto w celu ograniczenia emisji dwutlenku węgla, musi zapewnić, że Vancouver jest przygotowane na skutki zmieniającego się globalnego klimatu [65]. W związku z tym od lat 90 ubiegłego wieku prowadzi się wiele działań na rzecz klimatu. W kolejnych podrozdziałach omawia się najnowsze z nich.

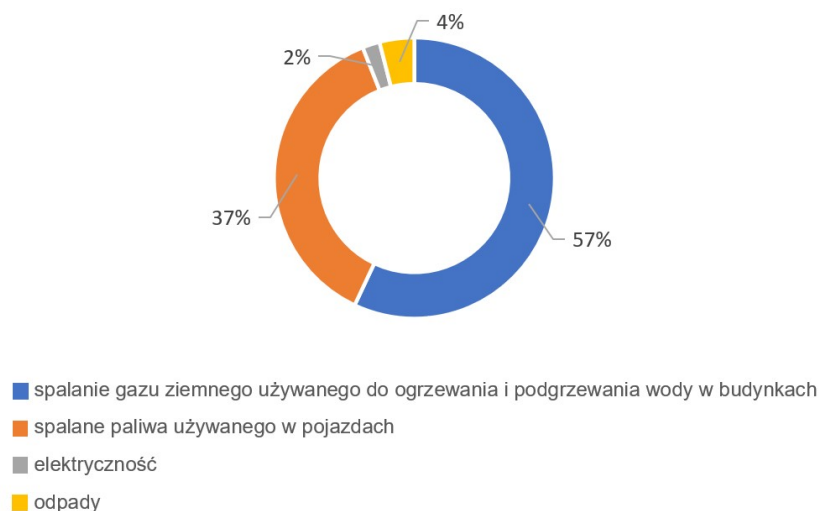
4.2.1. Climate Emergency Action Plan

W styczniu 2019 roku rada miasta jednogłośnie ogłosiła stan zagrożenia klimatycznego w odpowiedzi na rosnące obawy dotyczące kryzysu klimatycznego, co przyspieszyło lokalne działania klimatyczne w celu dostosowania się do globalnych wysiłków na rzecz ograniczenia ocieplenia do 1,5°C [24]. Plan działań w Sytuacjach Kryzysowych związanych z klimatem - *Climate Emergency Action Plan* (CEAP) przedstawia 5-letni plan, który wprowadzi miasto na drogę do osiągnięcia czterech z sześciu celów tzw. *Big Move* (BM2-BM5) [24, 25, 105]:

- BM2 - do 2030 roku dwie trzecie wszystkich podróży w Vancouver będzie się odbywało pieszo, rowerem lub komunikacją publiczną,
- BM3 - do 2030 roku 50% kilometrów przejeżdżanych po drogach w Vancouver będzie się odbywało pojazdami o zerowej emisji,
- BM4 - do 2030 roku emisja dwutlenku węgla z budynków zostanie zmniejszona o połowę w stosunku do poziomu z 2007 roku,
- BM5 - do 2030 roku emisje z nowych budynków zostaną zredukowane o 40% w porównaniu z rokiem 2018.

Spalanie naturalnego gazu w budynkach, benzyny i oleju napędowego w pojazdach, tradycyjnych materiałach budowlanych i produkcja żywności wytwarzają gazy cieplarniane, które przyczyniają się do zmian w klimacie. Jak pokazano na rys. 4.5 w Vancouver 57% tych emisji pochodzi z budynków, a 37% z transportu. Stąd też wynikają powyższe cele *Big Move*, które mają na celu zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych w mieście.

Aby osiągnąć cel BM2 Vancouver chce uczynić transport bezpieczniejszym i wygodniejszym dla osób w każdym wieku i o różnych zdolnościach. Za konieczność wymienia się również zmniejszenie podróży prywatnymi samochodami. Będzie to wymagało zwiększenia przestrzeni drogowej na rzecz ruchu pieszego, rowerowego i komunikacji zbiorowej, które są bardziej zrównoważonymi i efektywnymi, pod względem wykorzystania przestrzeni, sposobami podróżowania względem prywatnych samochodów. Oczekuje się także, że



Rysunek 4.5: Źródła emisji gazów cieplarnianych w Vancouver [25, 29].

wzrost pracy zdalnej, który nastąpił w wyniku pandemii COVID-19 będzie w pewnym stopniu kontynuowany, ale nie jest bezpośrednio to ujęte jako część tego celu. Priorytetowe traktowanie autobusów w stosunku do innego typu pojazdów poprawi wydajność i niezawodność autobusów. Dziesięć tras zostanie ukończonych do roku 2030 z czego sześć do roku 2025. Natomiast rozbudowana sieć dróg rowerowych i pieszych ułatwi poruszanie się po mieście i poprawi dostęp do jeszcze bardziej ulepszonej sieci transportu publicznego.

Miasto kładzie największy nacisk na wspieranie podróży pieszych, rowerowych i komunikacją zbiorową, natomiast nie zawsze i nie dla każdego są to realne opcje. Czasami po prostu ludzie muszą podjechać gdzieś samochodem. Dlatego miasto planuje, aby jak najszybciej przejść na pojazdy o zerowej emisji. W celu zrealizowania założeń BM3 prawie wszystkie pojazdy zakupione w 2030 roku i później będą musiały być zeroemisyjne. Taksówki i pojazdy *carshare* zaś będą musiały przejść w pełni na zerową emisję do 2030 roku. Miasto wspiera też TransLink (regionalny urząd ds. transportu świadczący usługi transportowe w Vancouver [68]) w strategii niskoemisyjnej, która zakłada zmniejszenie emisji dwutlenku węgla o 80% do 2050 roku i wykorzystanie wyłącznie energii odnawialnej we wszystkich operacjach, głównie poprzez przejście na autobusy elektryczne zasilane bateriami.

Od 2007 roku miasto zatwierdziło zmiany w wymaganiach dotyczących energii w budynkach, z których ostatnia zmniejszy emisję z nowych budynków o ponad 70% do 2022 roku. Ten postęp w zakresie nowych budynków jest kluczowy w celu osiągnięcia założeń BM4, ponieważ każdy nowy budynek będzie miał zerową emisję. Trudniej natomiast jest z budynkami istniejącymi - są one większym wyzwaniem szczególnie z uwagi na ich dużą różnorodność. W ich przypadku, aby osiągnąć zmniejszenie zużycia energii konieczne będzie dodanie izolacji, lepszych okien, poprawę szczelności, a także przejście z systemu spalania paliw kopalnych na źródła odnawialne.

Zanieczyszczenie dwutlenkiem węgla, o którym mowa w BM5 pochodzi z wydobycia, produkcji, montażu, wymiany i utylizacji materiałów budowlanych, takich jak beton, metale czy izolacje. Działania w tym obszarze polegają na wzięciu odpowiedzialności za zanieczyszczenia wynikające z technik budowlanych i wyborów materiałowych, nawet jeśli te emisje występują głównie poza Vancouver. Przykłady sposobów w jaki ten cel zostanie osiągnięty to m.in.: bardziej efektywne wykorzystanie materiałów, budowanie więcej z drewna pozyskanego w sposób zrównoważony i drewna masowego; stosowanie mieszanek betonu o niższej zawartości węgla; zasilanie budowy energią odnawialną, zamiast olejem napędowym; stosowanie niskoemisyjnej izolacji zamiast pianki natryskowej oraz zmniejszenie parkingów w budynkach.

4.2.2. Climate Change Adaptation Strategy

W Vancouver podjęto zdecydowane kroki w celu adaptacji do zmian klimatu. Strategia adaptacji do zmian klimatu z 2012 roku jest odpowiedzialna za wdrożenie ponad 50 działań w całym mieście, co zwiększyło gotowość Vancouver na zmiany klimatu [20]. Adaptacja do zmian została włączona do różnych projektów, począwszy od szczegółów technicznych nowego nabrzeża do włączenia zasad odporności do planów społecznościowych. Strategia na rok 2018 zawiera nowy zestaw priorytetów, działań wspierających i kilka nowych obszarów zainteresowań. Działania te są obecnie podzielone na działania podstawowe i działania wspomagające.

Strategia składa się z pięciu głównych obszarów działań i siedemnastu działań wspomagających, które dotyczą działań adaptacyjnych do czasu następnej aktualizacji (planuje się ją na rok 2023 - po wydaniu szóstego raportu IPCC [21]). Działania podstawowe opierają się na pracach rozpoczętych w 2012 roku i są podzielone na [20]:

1. Infrastruktura odporna na warunki klimatyczne.
2. Budynki odporne na klimat.
3. Zdrowe i pełne życia obszary przyrodnicze i tereny zielone.
4. Połączone i przygotowane społeczności.
5. Gotowość wybrzeża.

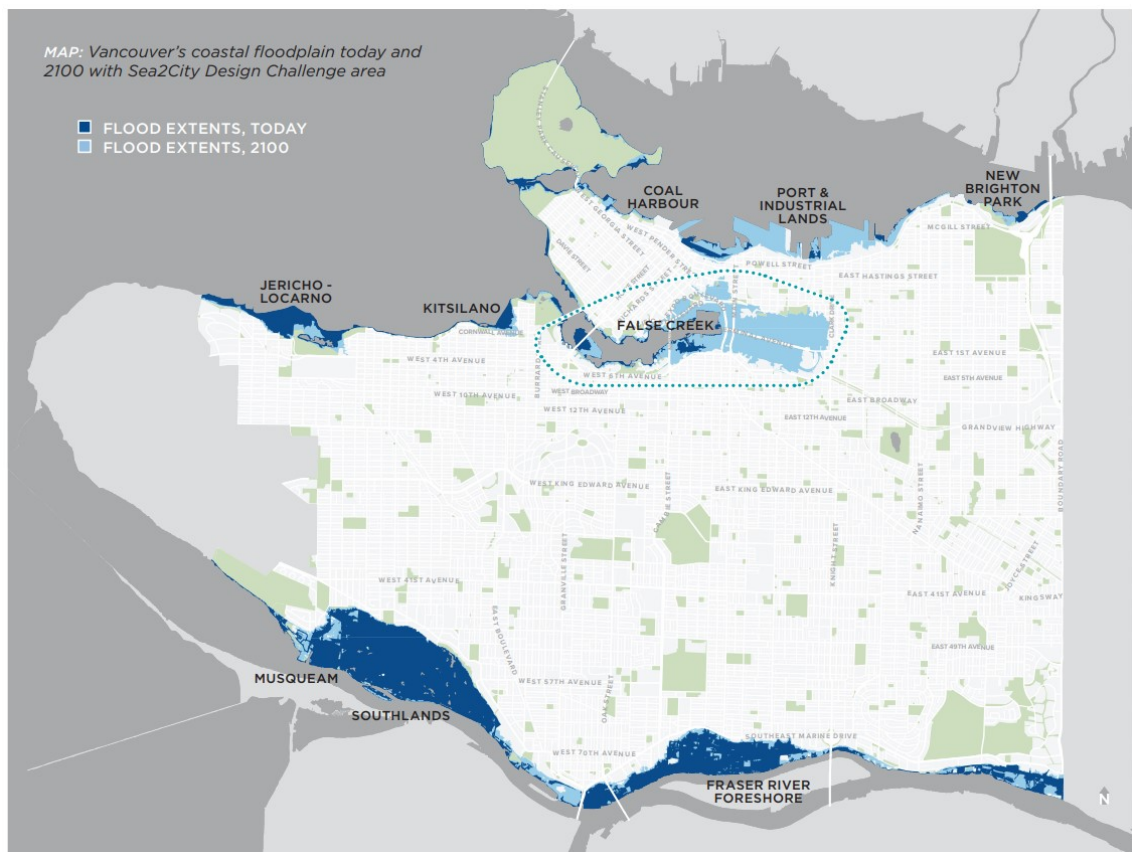
W ramach każdego z działań podstawowych wyróżnia się poszczególne priorytetowe akcje, które należy podjąć, aby osiągnąć zamierzone cele. W ramach infrastruktury odpornej na warunki klimatyczne wymienia się m.in. wykorzystanie obecnego systemu rur, zielonej infrastruktury oraz inne strategie magazynowania wody opadowej w celu złagodzenia skutków nawałnych deszczy i niedopuszczenia nadmiernej ilości wody na tereny zalewowe. Ważnym krokiem jest też ten związany z oszczędzaniem wody i jej efektywnym wykorzystaniem mającym na celu wykorzystanie alternatywnych źródeł wody (np. woda szara czy czarna) dla zapotrzebowania niebędącego wodą pitną.

Strategia CCAS jest powiązana z wieloma innymi strategiami w mieście takimi jak: *Greenest City Action Plan*, *Biodiversity Strategy*, *Resilient City Strategy*, *Rain City Strategy* czy *Bird Strategy*. Działania, które podejmuje miasto, aby zaadaptować się do zmian klimatu i im przeciwdziałać jest naprawdę sporo, co pokazuje jak ważny jest to temat dla Vancouver.

4.2.3. Coastal Adaptation Plan

Aby pomóc przygotować Vancouver na zmieniający się klimat i pomóc społecznościom mieszkającym na wybrzeżu stać się bardziej odpornymi, miasto opracowuje plan adaptacji wybrzeża (*Coastal Adaptation Plan* - CAP). Jest to jeden z pierwszych takich programów w Kanadzie i jest wieloletnim przedsięwzięciem, którego celem jest określenie ryzyka, konsekwencji i podatności Vancouver na podnoszenie się poziomu morza. Pierwszym programem w ramach CAP jest program Fraser River Foreshore ustanowiony w 2018 roku. Jak widać na rys. 4.6 obszar ten jest najbardziej narażony na zalewanie, z tego powodu jako pierwsze zostały podjęte tam działania. Projekt ten przyjmuje podejście partycypacyjne i angażuje mieszkańców, interesariuszy i innych partnerów w celu identyfikacji ich potrzeb i obaw. [23]

W oparciu o informacje zwrotne od społeczności i interesariuszy zespół konsultantów projektu opracował listę ogólnych zasad projektowania. Każdy element projektu będzie musiał ustosunkowywać się do tych zasad i projektować zgodnie z nimi. Te zasady to:



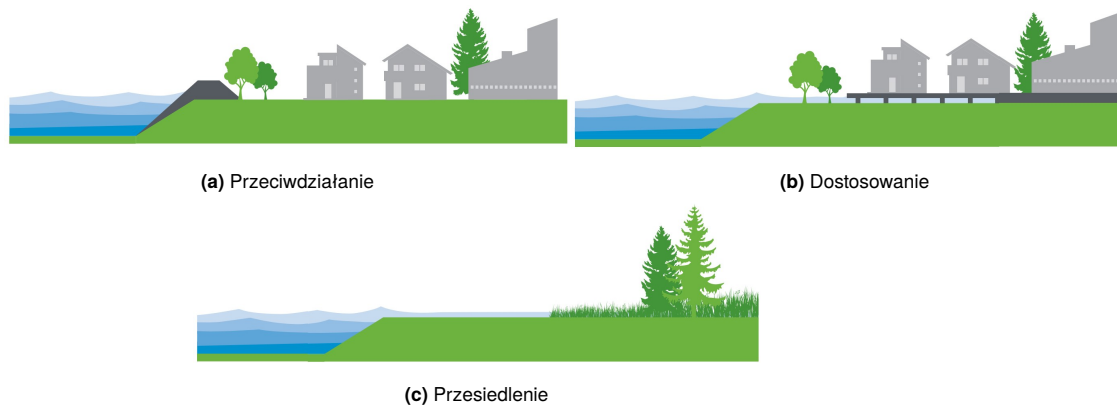
Rysunek 4.6: Tereny zalewowe Vancouver dziś oraz w roku 2100 z obszarem *Sea2City Design Challenge* [27].

- projektowanie z myślą o możliwości adaptacji - należy opracowywać elastyczne opcje, które mogą dostosowywać się do szerokiego zakresu przyszłych warunków, w tym do tempa podnoszenia się poziomu mórz, wysokości ponoszenia się poziomu mórz oraz przyszłych sposobów użytkowania gruntów,
- projektowanie z myślą o wspólnych korzyściach - należy upewnić się, że nowe podejścia będą wspierać wiele wartości dla społeczności (np. rekreacje, zdrowie, dobre samopoczucie),
- projektowanie dla przyrody - chociaż obszar badań jest silnie zurbanizowany to rzeka Fraser jest domem dla zagrożonych gatunków ryb oraz krytycznych o rzadkich w skali regionu siedlisk *estuarium*,
- projektowanie bezpiecznych systemów infrastrukturalnych - zminimalizowanie ryzyka dla infrastruktury i usług związanych z życiem oraz zapewnienie systemów dodatkowych na wypadek awarii,
- projektowanie dla bezpieczeństwa i zdrowia publicznego - zapewnienie, że zagrożenia dla bezpieczeństwa ludzi zostaną zminimalizowane oraz, że ochrona zdrowia są zabezpieczona,
- projektowanie pod kątem dostępu - należy poprawić dostęp do i wokół rzeki Fraser z uwzględnieniem możliwości rekreacyjnych tam gdzie to możliwe.

W wyniku prac nad planem powstały trzy ogólne podejścia do adaptacji do powodzi na wybrzeżu: przeciwdziałanie, dostosowanie i przesiedlenie. W ramach przeciwdziałania wymienia się budowanie konstrukcji, aby utrzymać wodę powodziową na zewnątrz i chronić obszary oraz społeczność lokalną. Powszechnie stosowane podejścia obejmują linię brzegową i tamy brzegowe i śródlądowe lub elementy morskie, które pomagają ograniczyć działanie wiatru i fal (rys. 4.7a).

W opcji dostosowywania zamiast zatrzymywać wodę powodziową, należy odpowiednio zabezpieczyć się przed jej skutkami. Przykłady obejmują takie działania jak podnoszenie budynków i infrastruktury lub zaprojektowanie ich w taki sposób, aby mogły przyjąć tymczasowe zalanie i pozostać suchym, nawet gdy wystąpi powódź (rys. 4.7b).

Ostatnią opcją jest ewentualne przesiedlenie ludności oraz przemieszczenie budynków na inne obszary miasta, gdzie nie występuje ryzyko zalania. Takie podejście często obejmuje przywrócenie części terenu do warunków sprzed rozwoju - tzw. naturalizacja (rys. 4.7c).



Rysunek 4.7: Trzy ogólne podejścia przy adaptacji do powodzi w Vancouver [22, 23]

Każde z wyżej przedstawionych rozwiązań ma swoje zalety jak i wady. Z tego względu Vancouver najprawdopodobniej zastosuje kombinację tych trzech podejść na obszarach zagrożonych powodzią i będą one wprowadzane stopniowo, w miarę jak poziom morza będzie się podnosić [28]. Takie podejście pomoże osiągnąć szereg wartości społecznych, w tym wartości takich jak ochrona siedlisk, rekreacja i możliwości zamieszkania [23].

Kolejnym etapem CAS było ogłoszenie konkursu *Sea2City*, aby pomóc stworzyć ramy i wizję, która będzie kierować rozwojem miejskim oraz ekologicznym w obszarze zalewowym False Creek, zaznaczonym przerywaną linią na rys. 4.6 [27]. Jego wyniki zostaną wykorzystane w kolejnej fazie miejskiego planu adaptacji do zmian klimatu i będą dalej ulepszone przez miasto wraz z partnerami projektu. Prace wdrożeniowe rozpoczną się po zakończeniu konkursu *Sea2City* (planowane na rok 2023) i prawdopodobnie będą kontynuowane przez kilka lat biorąc pod uwagę dodatkowe badania, planowanie, projektowanie techniczne i zaangażowanie [27].

4.2.4. Resilient Vancouver

Strategia *Resilient Vancouver* opiera się na założeniu, że wstrząsy i katastrofy w naszym złożonym świecie są nieuniknione oraz, że działania mające na celu zmniejszenie ich odczuwania muszą przyczynić się do zwiększenia codziennej odporności [26]. Strategia ta jest oparta o pięć głównych zasad:

- **pojednanie** - ponieważ Vancouver znajduje się na nieuzgodnionych terytoriach narodów *Musqueam*, *Squamish* i *Tseli-Wauluth*, które żyją tu od tysiącleci, jest to istotne, aby budować wzajemne relacje uznając ich hojne i odporne kultury oraz brać z nich przykład,
- **sprawiedliwość i interseksjonalność** - skutki wstrząsów nie są jednakowe dla wszystkich ludzi, dlatego należy wspierać ludzi w społeczności miasta, które są najbardziej zagrożone i systematycznie wykluczane ze struktur władzy,

Tablica 4.2: Trzy główne priorytety strategii *Resilient Vancouver* [26].

Priorytet 1: Rozwijające się i przygotowane sąsiedztwa
<p>Cele:</p> <p>1.1 Kulturowanie powiązań między społecznościami, zarządzanie i duma</p> <p>1.2 Umocnienie społeczności do wspierania się podczas kryzysów i odbudowy po katastrofach</p> <p>1.3 Przekształcenie sposobu, w jaki społeczności rozumieją ryzyko i przygotowują się na lokalne zagrożenia</p> <p>1.4 Wzmocnienie usług społecznych i kulturowych</p>
Priorytet 2: Miasto proaktywne i współpracujące
<p>Cele:</p> <p>2.1 Wziąć pod uwagę głosy grup niedostatecznie reprezentowanych</p> <p>2.2 Kształtować miasto sprzyjające włączeniu społecznemu</p> <p>2.3 Wzmocnienie zdolności organizacyjnych do zarządzania ryzykiem i odbudowy po wstrząsach</p> <p>2.4 Wspieranie holistycznego, opartego na współpracy zmniejszania ryzyka związanego z klęskami oraz planowania odbudowy</p>
Priorytet 3: Bezpieczne i adaptacyjne budynki i infrastruktura
<p>Cele:</p> <p>3.1 Poprawa właściwości użytkowych budynków w celu ochrony życia, zmniejszenia liczby przesiedleń i przyspieszenia odbudowy po trzęsieniach ziemi</p> <p>3.2 Planowanie, projektowanie i modernizacja budynków użyteczności publicznej</p> <p>3.3 Przewidywanie zagrożeń oraz łagodzenie i minimalizowanie zakłóceń w infrastrukturze krytycznej</p> <p>3.4 Promowanie współpracy regionalnej w celu ochrony finansowania i wzmocnienia infrastruktury i łańcuchów dostaw</p>

- **zrównoważony rozwój** - zdolność do przetrwania wstrząsów w przyszłości zależy od zdrowia i dobrobytu obecnych i przyszłych pokoleń, utrzymania i regeneracji systemów naturalnych, łagodzenia skutków zmian klimatu, ochrony bioróżnorodności oraz rozwój gospodarczy sprzyjający włączeniu społecznemu,
- **regeneracja** - oznacza to planowanie i projektowanie fizycznych i społecznych struktur, które są elastyczne, adaptacyjne i odporne, by podnieść się po skutkach kryzysów, a także planowanie w celu regeneracji, gdy te już wystąpią,
- **wzajemność** - jest to strategia zbudowana na partnerstwie; silne, ufne i różnorodne perspektywy są kluczowe w rozwiązywaniu trudnych problemów.

Oprócz tych pięciu głównych zasad ustalono również trzy najważniejsze priorytety. Każdy obszar priorytetowy zawiera ukierunkowane cele i konkretne działania, które uzupełniają istniejące strategie i plany miasta Vancouver (tab. 4.2).

4.2.5. Vancouver Plan

Vancouver Plan 2050 jest najnowszym dokumentem z wcześniej tu wymienionych (zatwierdzony przez Radę Miasta w dniu 22 lipca 2022 r.). Jest to wizjonerski, długoterminowy plan zagospodarowania przestrzennego, który ma kierować wzrostem i zmianami w ciągu najbliższych 30 lat [29]. Wcześniej wymienione inne strategie wspierają Plan Vancouver, który ich nie zastępuje ani nie dubluje. Zawiera on za

to kluczowe elementy, które są wymagane od polityki zagospodarowania przestrzennego aby zrealizować wymagane cele i zadania.

Trzy zasady stanowią fundament dla Vancouver Plan i są to: pojednanie, równość i **odporność**. W celu poprawy odporności miasto będzie nadal wyciągać wnioski z dotychczasowych wstrząsów takich jak COVID-19 czy fale upałów oraz bieżących problemów w tym nierówności żywnościowych i izolacja społecznej. Zobowiązania jakie padają w dokumencie w ramach odporności to:

- umożliwienie społecznościom wzajemnego wsparcia, przetrwania i dostosowywania się w obliczu wstrząsów i stresów - oznacza to m.in. budowanie powiązań między społecznościami poprzez zagospodarowanie terenu i projektowanie urbanistyczne,
- zmniejszenie ryzyka i lepsze zrozumienie zagrożeń, słabości i mocnych stron miasta związanych z systemami fizycznymi, społecznymi, gospodarczymi i ekologicznymi,
- poprawienie danych, przewidywanie trendów i wychwytywanie pojawiających się możliwości, by budować lepsze miasto dla przyszłych pokoleń - czyli inwestowanie w bezpieczne i adaptacyjne budynki i infrastrukturę oraz poprawienie dostępu do podstawowych potrzeb dla wszystkich.

4.3. Kopenhaga

Jest to stolica i zarazem największe miasto Danii, położone na wschodnim wybrzeżu wyspy Zelandia i częściowo Amager. Obecnie gminę Kopenhaga zamieszkuje około 650 tysięcy mieszkańców [72]. Od czasu ukończenia budowy mostu Øresund Kopenhaga jest coraz bardziej zintegrowana ze szwedzką prowincją Scania i jej największym miastem Malmö, tworząc region Øresund [52]. Dzięki licznym mostom łączącym różne dzielnice, krajobraz miasta charakteryzuje się parkami, promenadami i nadbrzeżami.

Kopenhaga w 2022 roku po raz piąty (i drugi raz z rzędu) znalazła się na pierwszym miejscu najbardziej przyjaznych do życia miast świata według międzynarodowego magazynu Monocle [94]. Magazyn podkreśla miejską infrastrukturę rowerową i pieszą, która zaowocowała czystszy powietrzem i zmniejszeniem zatłoczenia, w raz z rozwojem metra, które połączyło wcześniej odległe dzielnice. Wspomina się w nim również o wysiłkach Dani w kierunku neutralności węglowej, bezpieczeństwie i kwitnącej kulturze. Na 9 miejscu w tym zestawieniu również znalazło się wcześniej omawiane miasto - Vancouver.

Zmiany klimatu również wywierają wpływ na Kopenhagę. Miasto nadal chce być bezpiecznym i atrakcyjnym miastem do życia i spędzania czasu. Z tego względu będzie stale wdrażać środki niezbędne do tego, aby tak się stało, mimo, że nie zna jeszcze wszystkich konsekwencji jakie zmiany klimatu będą miały dla miasta. W związku z tym w mieście pracuje się nad różnymi strategiami adaptacyjnymi, tak aby przeanalizować wyzwania i proponowane rozwiązania oraz wskazanie optymalnych rozwiązań, a w konsekwencji uniknięcia podejmowania niewłaściwych inwestycji [17].

4.3.1. Climate Adaption Plan

Miasto Kopenhaga od wielu lat pracuje nad adaptacją do zmian klimatu, na przykład poprzez plany gospodarki ściekowej. Były one oparte na rozwoju klimatu, który już nastąpił. Przyspieszający trend zmian klimatu zmusił niejako do przygotowania przez miasto elastycznej strategii, która powinna wyjść naprzeciw niepewności z nim związanych.

W przedstawianym planie adaptacji do klimatu przedstawia się wyzwania przed jakimi stoi Kopenhaga w krótkiej i długiej perspektywie czasowej. Wskazuje się też te rozwiązania, które na podstawie obecnej wiedzy i możliwości technicznych wydają się być najlepsze. Celem strategii adaptacji do zmian klimatu w Kopenhadze jest zapewnienie [17]:

- należytej staranności we właściwym czasie,
- aby nie dokonywano niewłaściwych inwestycji,
- że inwestycje zwrócą się jako element rozwoju zielonego wzrostu,
- jak największej synergii z innymi planami,
- elastyczności w odniesieniu do zmian w prognozach dotyczących klimatu w przyszłości,
- aby środki adaptacji do klimatu stanowiły jednocześnie jakość samą w sobie dla mieszkańców i przedsiębiorstw miasta,
- że adaptacja odbywa się na podstawie analiz na wysokim poziomie technicznym,
- że ma miejsce ogólna kontrola adaptacji klimatycznej miasta.

Plan działań w zakresie adaptacji gminy do klimatu ma być regularnie weryfikowany. Tempo aktualizacji planu ma być regularnie dostosowywane do tempa zmian w prognozach klimatycznych i rozwoju technicznym w tej dziedzinie. We wstępie do strategii ocenia się, że taki plan działania powinien być aktualizowany początkowo co cztery lata. Wyniki planowania adaptacji do klimatu mają być stale włączane do wszystkich form innego planowania, w tym do planu gminnego, planów miejscowych, planów gotowości na wypadek sytuacji kryzysowej oraz szeregu planów sektorowych. Schemat w jaki Kopenhaga planuje proces adaptacji przedstawiono na rys. 4.8.



Rysunek 4.8: Proces adaptacji do zmian klimatu w Kopenhadze [17].

Głównym problemem z jakim będzie musiała się zmierzyć Kopenhaga są częstsze i bardziej nawalne opady deszczu [17]. Duński Instytut Meteorologiczny przewiduje, że w 2100 roku będzie o 25-55% więcej opadów w miesiącach zimowych, natomiast opady w miesiącach letnich mają spaść o 0-40%. Jednocześnie opady będą bardziej intensywne. Zmiany te będą miały duże znaczenie dla sposobu spływania deszczu z powierzchni oraz dla obciążenia systemów kanalizacyjnych i cieków wodnych. Z tego powodu Kopenhaga w swojej strategii proponuje trzy metody, które należy zastosować, aby można było się dostosować do większych opadów w przyszłości:

1. Musimy mieć większe kanały ściekowe, podziemne baseny i przepompownie - dziś sieć kanalizacyjna jest wypełniona po brzegi; nowe sieci kanalizacyjne muszą być rozłożone po całym mieście, aby stworzyć dodatkową przepustowość; ze względu na duże koszty oraz utrudnienia dla mieszkańców miasto zaleca metodę nr 2 we wszystkich miejscach, gdzie jest to możliwe.
2. Musimy zarządzać wodą deszczową lokalnie, zamiast kierować ją do kanalizacji - w społeczeństwie woda deszczowa jest uważana za coś, czego należy się pozbyć, ale jest też jednak zasobem bez

którego nie byłoby życia; dlatego miasto chce wykorzystać wodę deszczową, aby uczynić Kopenhagę lepszym miejscem do życia; można to osiągnąć za pomocą zarządzania wodą deszczową lokalnie z pomocą zielonych, mało zaawansowanych technologicznie rozwiązań, które mogą wchłonąć wodę deszczową lub ją oczyścić; poprzez takie działania można zminimalizować ilość wody deszczowej w kanalizacji; co ważne metoda ta zostanie przyjęta na terenie całej gminy, a nie tylko tam, gdzie woda deszczowa sprawia oczywiste problemy.

3. Musimy zapewnić, że powódź pojawi się tylko tam, gdzie wyrządza najmniej szkody - to tak zwany plan burzowy - stosując proste metody należy kierować wodę w miejsca, gdzie nie wyrządzi ona szkód; mogą to być na przykład parkingi, boiska i parki.

Kolejnym problemem z jakim będą zmagać się mieszkańcy Kopenhagi to rosnący poziom mórz. Burze mogą powodować tymczasowe wysokie pływy w niektórych obszarach miasta. Oznacza to, że w przyszłości można będzie doświadczyć poważnych szkód w mieście spowodowanych przez powódzie, jeśli odpowiednio się do tego nie przygotuje. Na rys. 4.9 pokazano możliwy maksymalny zasięg wód powodziowych - wysoki poziom wody tego rodzaju będzie statystycznie występował co 20 lat w 2110 roku. W Planie Adaptacji do Klimatu dokonano mnóstwa obliczeń dotyczących powodzi i pokazujących jak poważne mogą być szkody wyrządzone w mieście oraz także poziom kosztów jakie im mogą towarzyszyć. Według obliczeń oszczędności netto uzyskane dzięki zabezpieczeniu przed powodzią wyniosą około 16 mld duńskich koron. Z tego powodu miasto zdecydowało, że lepiej jest je chronić, niż nic nie robić. Co zostało podkreślone w strategii to, że zmiany klimatyczne nie uwzględniają granic gmin, więc problemy nie zostaną rozwiązane poprzez zarządzanie zmianami klimatu w obrębie jednej gminy, ponieważ stworzyłyby to ryzyko, że problem zostanie przeniesiony gdzie indziej. Dlatego ważna jest również współpraca z gminami ościennymi.



Rysunek 4.9: Maksymalny zasięg wody wysokiej wynoszący 226 cm [17].

W ramach przeciwdziałania powodziom od strony morza Kopenhaga wprowadza zmiany w swoim krajobrazie. Nowa dzielnica biznesowa i mieszkaniowa Nordhavn zbudowana na odzyskanych terenach w Porcie Północnym miasta jest celowo podwyższona, dzięki złożom ziemi pobranym z budowy nowych linii metra w centrum miasta [117]. Dodatkowo planuje się budowę grobli i podwyższenie części wybrzeża w kierunku cieśniny Oresund. Groble mają być tak zbudowane, aby zabezpieczyły miasto przed falami sztormowymi bez jednoczesnego zakłócania pracy portu. Dodatkowo myśli się o ochronie przed powodzią na obszarach poza wałem poprzez lokalne zabezpieczenie budynków i wrażliwych instalacji.

Za następny problemem w związku ze zmianami klimatu wymienia się wzrost temperatury oraz częstsze występowanie fal upałów. Wymienia się tu głównie efekt miejskiej wyspy ciepła. Mimo, że aktualnie

w Kopenhadze rzadko zdarzają się fale upałów, kiedy temperatura przekracza 25-28 stopni Celsjusza, to w przyszłości można spodziewać się ich wzrostu i intensywności. Z tego powodu plan zaleca, aby podczas przygotowań do adaptacji wziąć pod uwagę również te kwestie. W ramach strategii planuje się nasadzenia nowych drzew oraz tworzenie powierzchni zielonych, które wraz z wodą mogą mieć efekt chłodzący. Jeśli zielona i niebieska infrastruktura, taka jak drzewa, zielone dachy i fasady, parki, ogrody, jeziora i strumienie mają więcej przestrzeni w mieście, pomoże to utrzymać temperatury powierzchni miasta na akceptowalnym poziomie.

Prace nad adaptacją do zmian klimatu mają na celu również rozwijać Kopenhagę w taki sposób, aby nadal było to jedno z najbardziej przyjaznych miejsc do życia na świecie. Poprzez wybór rozwiązań, które poprawiają i tworzą atrakcyjne przestrzenie miejskie, w których spędza się czas, podróżuje czy przeżywa różne doświadczenie, podnosi się jakość życia mieszkańców Kopenhagi, a zarazem dba się o adaptację do klimatu.

4.3.2. *Climate Resilient Neighbourhood*

W kopenhaskiej dzielnicy St. Kjelds od 2011 roku wdrażane są inicjatywy na rzecz adaptacji do zmian klimatu. Więcej terenów zielonych i innowacyjne rozwiązania w zakresie nawalnych deszczy zwiększają odporność tego obszaru na powódzie i poprawiają jakość życia mieszkańców [64]. Strategia kopenhaskiej dzielnicy odpornej na klimat stanowi innowacyjny model adaptacji do zmian klimatu, napędzany przez wysiłki mające na celu zaangażowanie obywateli w ich własnym sąsiedztwie. Dzięki tej inicjatywie są wdrażane zielone i niebieskie rozwiązania, aby lepiej zarządzać przepływem wody deszczowej w przestrzeni miejskiej, a następnie poprawić odporność dzielnicy na szkody spowodowane przez nawalne opady deszczu. W ramach strategii wprowadzane są ścieżki rowerowe, które pełnią funkcję kanałów burzowych, a także wieże ciśnień i kanały, które odprowadzają wodę z dzielnicy do portu. Te miejskie środki adaptacji do klimatu, wraz z mniejszymi inicjatywami prywatnymi, takimi jak zielone dachy i ogrody deszczowe, stanowią podstawę strategii Dzielnicy Odpornej na Klimat.



Rysunek 4.10: Nowe miejsca wypoczynku na placu Sankt Kjeld [88].

Dzielnica St. Kjeld została wybrana jako obszar wystawowy dla adaptacji do zmian klimatu z tego względu, że posiada szerokie ulice i dużo asfaltu. Wizją projektu jest, aby 20% powierzchni pokrytej asfaltem

w dzielnicy została przekształcona w tereny zielone, a 30% dziennej ilości wody deszczowej powinno być zagospodarowane lokalnie i nie trafiać do systemu kanalizacyjnego. Projekt zakłada, że drogi nie muszą być tak szerokie, aby obsłużyć ruch lokalny, a poprzez zaprojektowanie ulic w nowy sposób miasto może uwolnić obszar o powierzchni 50 tysięcy m², który może zostać przekształcony w tętniącą życiem przestrzeń miejską z zielonymi ulicami, ogrodami przed domami, drzewami ulicznymi i ogrodami deszczowymi. Ogólna analiza pokazuje, że drogi mogą być zwężone średnio o 20% i nadal spełniać wymagane standardy. Można zatem zmniejszyć powierzchnię dróg o jedną piątą a jednocześnie poprawić przestrzeń miejską dla pieszych i rowerzystów i bez utraty ani jednego parkingu, a autobusy i samochody będą miały taki sam dostęp do dzielnicy jak dotychczas.

Jednym z miejsc, gdzie w ramach projektu wprowadzono już zmiany jest skrzyżowanie Bryggervangen i Landskronagade. Miejsce to stanowi kamień węgielny kopenhaskiej dzielnicy klimatycznej i jest jednym z największych i najbardziej ekologicznych projektów łagodzenia skutków nawalnych deszczy w mieście [88]. Pokazuje też, jak uczynienie dzielnic odpornymi na przyszłe oberwania chmury mogą iść w parze z zielonymi i rekreacyjnymi przestrzeniami miejskimi, które zwiększają bioróżnorodność i zmniejszają ruch uliczny, zanieczyszczenie powietrza oraz efekt miejskiej wyspy ciepła.

W ramach projektu w okolicy rośnie 586 nowych drzew z 48 lokalnych gatunków, które wprowadzają do miasta zupełnie nowy rodzaj przyrody [88]. Woda deszczowa jest teraz zatrzymywana i opóźniana w wielu specjalnie zaprojektowanych zielonych przestrzeniach miejskich, które mają na celu ochronę dzielnicy przed zalaniem. Zamiast kierować wodę deszczową do kanalizacji, jest ona zagospodarowywana lokalnie, dzięki czemu daje życie roślinom i drzewom. Pomiędzy nowo posadzonymi roślinami została ułożona sieć ścieżek rowerowych, zapraszając wszystkich do odkrywania przestrzeni, w której znaleźć można drzewa i krzewy owocowe - m.in. takie jak śliwki mirabelki i jabłka oraz drzewa orzechów włoskich. Znajdują się tam również miejsca do spożywania posiłków na świeżym powietrzu, ławki do odpoczynku, a także duże i martwe drzewa, na które mogą wspinać się dzieci oraz w których mogą zamieszkać owady (rys. 4.10).

Transformacja placu Sankt Kjeld i Bryggervangen dała początek nowemu poczuciu lokalnej tożsamości i wspólnoty [88]. Na rys. 4.11 przedstawiono jak wcześniej charakteryzujący się szarą infrastrukturą obszar został zmieniony w zielone sąsiedztwo.



(a) Przed zmianami



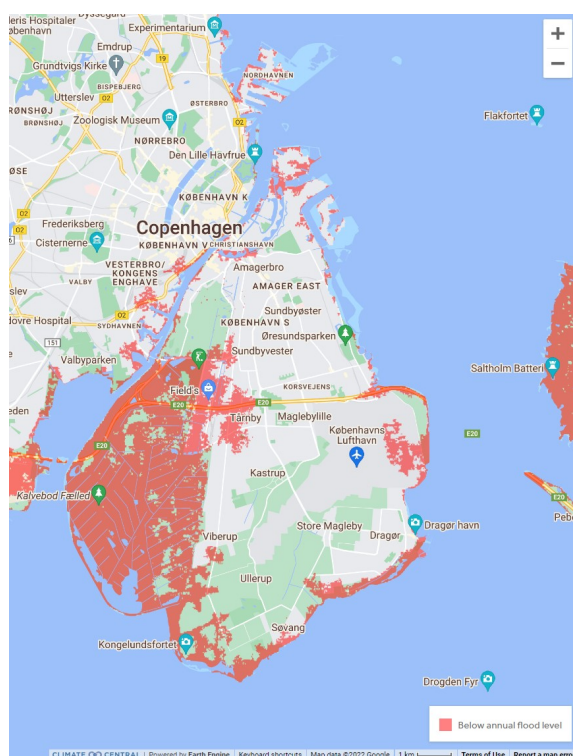
(b) Po zmianach

Rysunek 4.11: Zmiany jakie nastąpiły w ramach strategii Dzielnicy Odpornej na Klimat na placu Sankt Kjeld [88]

4.3.3. Storm Flods Plan for Kobenhavn

W 2016 roku miasto Kopenhaga otrzymało nową ocenę ryzyka związanego z falą sztormową, która pokazuje zwiększone ryzyko powodzi w mieście w związku z falą sztormową i gromadzeniem się wody w porcie. Skłoniło to Radę Miasta do opracowania planu ochrony przeciwsztormowej (duń. Storm Flods Plan for Kobenhavn) [19]. Zabezpieczenie Kopenhagi przed powodzią ze strony morza należy zatem rozpocząć wcześniej niż zakładał to Plan Adaptacji do Klimatu. Zagrożenie powodzią jest początkowo największe od południa. Około 2070-2080 roku wysokie pływy z północy doprowadzą do bardzo gwałtownego wzrostu powodzi sztormowej.

W regionie metropolitalnym wpływ powodzi nie może być określany tylko w kategorii strat pieniężnych w wyniku zalewania piwnic i budynków. Szkody mogą być znacznie szersze i wpływać na powszechnie stosowane systemy oraz potencjalnie narażają Danię na niebezpieczeństwo. Kopenhaga jest częścią regionu, w którym mieszka ok. 1,8 mln osób. Fala sztormowa może więc wpłynąć na dużą część infrastruktury w Kopenhadze i okolicach powodując poważne straty. Most Oresund, kolej, metro, dostawy energii elektrycznej i ciepłej to niektóre z dóbr, które mogą zostać naruszone, a to może spowodować długotrwałe zakłócenia co najmniej w całym regionie.



(a) Tereny, które według prognoz znajdują się poniżej poziomu powodzi w 2100 r. [51]



(b) Główne podejścia do ochrony przed powodzią sztormowymi [19]

Rysunek 4.12: Zestawienie mapy powodziowej z miejscami przeznaczonymi pod ochronę przed powodzią w obszarze Kopenhagi

W planie wymienia się dwa główne rozwiązania w jaki sposób Kopenhaga może być zabezpieczona przed powodzią. Pierwszym z nich jest rozwiązanie zewnętrzne, które mogłoby chronić port i miasto za pomocą zapór, wałów i bram przez port w Trekroner na północnym wlocie do miasta i tuż na południe od mostu autostradowego w Kalveboderne. Podobne rozwiązania powinny zostać uwzględnione w Nordhavn, Svanemollen i na wschodnim wybrzeżu Amager.

Drugim z rozwiązań jest rozwiązanie wewnętrzne, które miałyby chronić przed powodzią poprzez zabezpieczenie wszystkich nadbrzeży w wewnętrznym porcie Kopenhagi, a także w porcie północnym, Svane-mollen i na wschodnim wybrzeżu Amager. Główną różnicą w stosunku do poprzedniego rozwiązania jest stworzenie 56 km podwyższonych brzegów i grobli. Rozwiązanie to spowoduje w znacznym stopniu do powstania wyższych nadbrzeży z ograniczeniem przestrzeni miejskiej i dostępu do wody.

W związku z tym uznano, że rozwiązanie zewnętrzne w postaci zapór, wałów i bram będzie korzystniejsze. Za argumenty podaje się, że rozwiązanie to jest bardziej elastyczne w odniesieniu do przyszłego możliwego rozwoju miasta i podnoszenia się wód morskich, ma też niższe koszty budowy i krótszy czas wykonania i zapewnia mniejszą ingerencję w miasto i port. Uważa się też, że dzięki takiemu postępowaniu będzie można udostępnić istniejące nadbrzeża do celów rekreacyjnych.

Na rys. 4.12 przedstawiono zestawienie mapy powodziowej przygotowanej przez *Climate Central, Inc* wraz z proponowanymi rozwiązaniami ochrony przeciwsztormowej dla Kopenhagi. Jak zauważyć można na rys. 4.12a rzeczywiście największe zagrożenie powodziowe może wystąpić od strony południowej. Na rys. 4.12b niebieskim kolorem zaznaczono wybudowany już wał przeciwsztormowy, a kolorem pomarańczowym planowaną zaporę Ullerup. Te dwa projekty mają pomóc zabezpieczyć w pewnym stopniu południową część miasta przed zalaniem. Dodatkowo kolorem żółtym oznaczone miejsca, które koniecznie potrzebują ochrony.

4.4. Podsumowanie

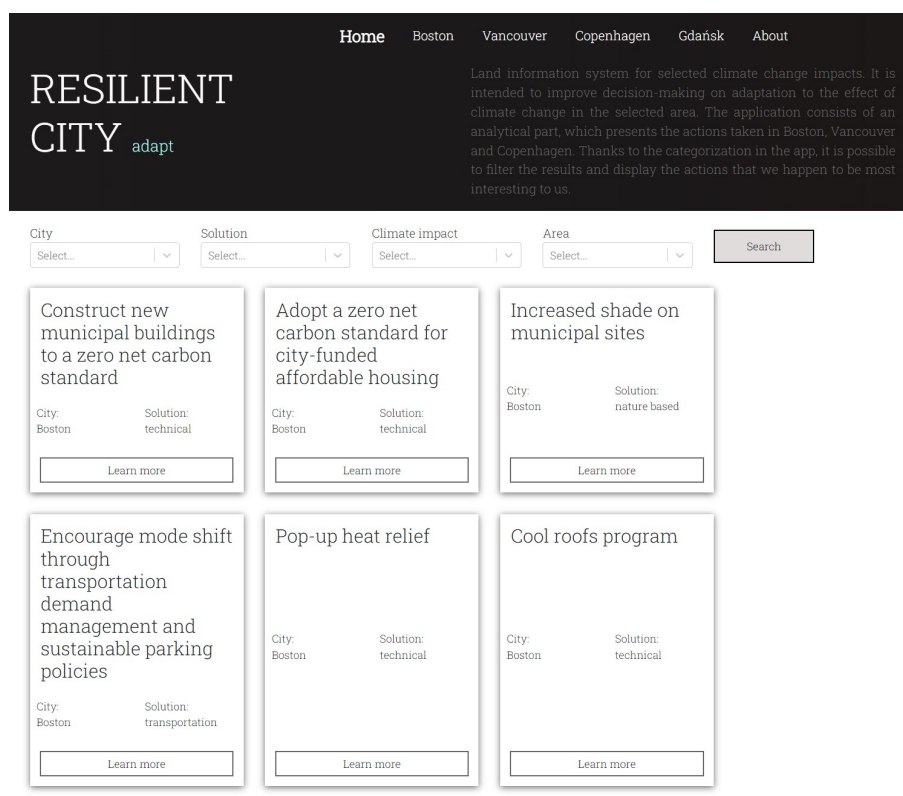
Analizując przedstawione w niniejszym rozdziale studiów przypadków z 3 miast można dojść do wniosku, że przygotowania jakie one podejmują do adaptacji do zmian klimatu są naprawdę imponujące. Mnogość różnego typu dokumentów, w których przedstawia się wyzwania z jakimi trzeba się zmierzyć i jak im przeciwdziałać, jest godna uwagi. Szczególnie wyróżnia się tutaj Vancouver, gdzie ich liczba jest zdecydowanie największa. Pokazuje to jak ważny jest to temat dla tych miast oraz, że na poważnie przystępują do adaptacji i ważna jest dla nich jakość życia mieszkańców.

Wiedzę z tych przypadków będzie można wykorzystać również w przypadku terenów Gdańska i Żuław. Ogromne spektrum działań jakie podejmują Boston, Vancouver i Kopenhaga pozwoli na wybranie najkorzystniejszych rozwiązań dla analizowanego obszaru.

5. SYSTEM INFORMACJI O TERENIE

W tej części pracy dyplomowej opisuję się stworzony system informacji o terenie w zakresie wybranych skutków zmian klimatycznych. System wykonany jest w formie aplikacji internetowej. Ma ona na celu usprawnienie procesu podejmowania decyzji dotyczących adaptacji do skutków zmian klimatu na wybranym obszarze. Aplikacja składa się z części teoretycznej, która prezentuje działania podjęte w Bostonie, Vancouver i Kopenhadze. W projektowej skupiono się już na konkretnym przykładzie - na jednej z dzielnic Gdańska. Na jej podstawie pokazano na jakiej zasadzie ma działać aplikacja i jakie daje możliwości. Przedstawia się tam kilka możliwych do wykonania projektów oraz ocenia w jaki sposób wpłyną one na dany obszar.

5.1. Część teoretyczna



Rysunek 5.1: Zrzut ekranu głównego z aplikacji.

W części teoretycznej przedstawia się działania jakie podejmują miasta Boston, Vancouver oraz Kopenhaga w celu osiągnięcia większej odporności. Ma to na celu zaprezentowanie możliwych działań, które będą sprzyjać adaptacji i mitygacji do zmian klimatu. Dzięki temu projektując jakiś teren w mieście można posłużyć się gotową bazą danych rozwiązań z innych miast i porównać czy dane rozwiązanie mogłoby się przyjąć na danym obszarze. Ważne, aby baza ta była na tyle duża, żeby można było mieć nie tylko większy wybór, ale również bardziej dopasowane opcje. Każde miasto, każdy obszar ma swoje własne uwarunkowania, które należy uwzględniać przy projektowaniu, stąd nie każde rozwiązanie sprawdzające się w innym mieście będzie również sprawdzało się i tu.

Tablica 5.1: Filtry dostępne z poziomu strony głównej aplikacji.

Miasto	Rozwiązanie	Skutek klimatyczny	Obszar działania
Boston	Naturalne	Zmiany temperatury	Ogólnomiejski
Vancouver	Techniczne	Bioróżnorodność	Dzielnicy
Kopenhaga	Transport	Jakość powietrza	
Gdańsk	Energetyka	Zdrowie	
		Wzrost poziomu morza	
		Powodzie	

5.1.1. Działania podejmowane w miastach

W studium przypadków opisano projekty i plany adaptacyjne tych miast, tu skupiono się zaś już na konkretnych działaniach w tych miastach. Działania te są przedstawione na głównej stronie aplikacji lub w zakładce *Home* (rys. 5.1). Są to różnego typu akcje, które podejmują wybrane miasta lub chcą podjąć w przyszłości. Jest to więc baza dobrych praktyk w zakresie odporności zebrana w jednym miejscu. Niektóre działania są w fazie planowania, a część z nich została już w pewnym stopniu lub całkowicie zrealizowana. Dzięki temu przy niektórych przykładach widać konkretnie jakie wartości się zmieniły i jak to wpłynęło na dany obszar.

Wybrane działania odpowiednio skategoryzowano i zapisano w bazie danych, która jest połączona z aplikacją. Udogodnieniem z tego wynikającym jest możliwość filtracji wyników - docelowo w bazie danych mogłoby znaleźć się nawet kilkaset różnych działań z wielu miast na świecie. Dzięki filtracji możliwe jest wyszukanie projektu według wskazanych preferencji. To jakie aktualnie można wybrać filtry przedstawiono w tab. 5.1. Filtry podzielono na cztery kategorie:

- miasto - tutaj możemy wybrać jakie konkretnie miasto nas interesuje,
- rozwiązanie - typ rozwiązania jaki został zastosowany przy implementacji lub typ sektora, którego ono dotyczy,
- skutek klimatyczny - wybrany skutek zmian klimatu na jaki odpowiada dana akcja,
- obszar działania - jest to podział na działania ogólnomiejskie i dzielnicowe.

W przyszłości filtry te można rozbudowywać o kolejne kategorie oraz poszczególne elementy je charakteryzujące w miarę powiększania się bazy danych.

Po najechnaniu na interesujące nas działanie, wystarczy kliknąć w *Learn more*, co przeniesie nas na podstronę o danym działaniu. Tam znajdują się najważniejsze informacje go charakteryzujące. W ramce na górze po prawej stronie znajdują się dane podstawowe pozwalające na szybką identyfikację skąd pochodzi projekt i czemu ma służyć. Reszta jest to jego opis pochodzący z konkretnego dokumentu. W zależności na jakim etapie jest dany projekt możemy tam znaleźć informacje ogólne jak i szczegółowe już po jego zrealizowaniu, dzięki czemu można określić jego przydatność. Na rys. 5.2 przedstawiono przykładowy zrealizowany w Vancouver projekt dzielnicowy.

5.1.2. Projekty i plany według miast

W zakładkach w pasku nawigacyjnym na samej górze strony zrobiono podział na miasta. Zakładki prowadzą do konkretnych stron dotyczących głównych projektów i planów jakie są tworzone w danym mieście w kwestii mitygacji i adaptacji do zmian klimatu oraz budowaniu swojej odporności. To z tych projektów wyciągnięte są właśnie działania, które zapisano do bazy danych. Każdy z projektów jest pokrótce opisany,

Bioretention installation

The enhanced public space at 63rd Ave and Yukon St uses green rainwater infrastructure (GRI) to manage urban rainwater runoff from adjacent streets. The location was highlighted in the Marpole Community Plan as a new neighbourhood plaza.

A historic stream runs underground in the vicinity of this project, which inspired the use of the space for rainwater management and informed the design of the plaza, which evokes the image of fallen trees across a typical British Columbia creek. The project was led and designed by the City of Vancouver's Green Infrastructure Implementation Branch, and built in 2018 by City crews.

City: Vancouver
Solution: nature based
Climate problem: flood
Area: district

The plaza includes seating areas, a drinking water fountain, interpretive signage and a bioretention system to capture and remove pollutants from urban rainwater runoff. Soon, the site will also include public art installations created by Indigenous youth.

The design pilots innovative inlets, developed together with operations and maintenance staff for ease of cleaning and onsite soil amendment and reuse. Plantings are predominantly native species, supplemented with targeted non-native species to improve GRI practice performance and resiliency.

There will be ongoing monitoring of inlet function, groundwater levels and plant health to evaluate design performance and inform future design standards.

Performance statistics

The project includes 102 m² of dedicated bioretention systems. The practices incorporate fail safes should rainwater flows exceed design capacity.

The project manages urban rainwater runoff from more than 1,170 m² of adjacent impermeable area, largely roads and sidewalks.

Source: [Rain City Strategy](#)



Figure: Bioretention installation at Yukon Street and 63rd Avenue, Vancouver

Rysunek 5.2: Zrzut ekranu z aplikacji z konkretnego działania w Vancouver.

a jeśli użytkownik chciałby dowiedzieć się czegoś więcej, to po kliknięciu w przycisk *Dowiedz się więcej* odpowiedni link przeniesie go do oficjalnej strony z danym projektem. Na rys. 5.3 przedstawiono jak wygląda dana podstrona dla Vancouver.

5.1.3. Podsumowanie

Jak wspomniano już wcześniej ta część projektu ma służyć jako narzędzie do wymiany wiedzy i doświadczeń różnych miast w sprawie adaptacji do zmieniającego się klimatu oraz budowania odporności na wszelkiego rodzaju wstrząsy. Aktualnie baza danych nie jest bardzo rozbudowana, ale w przyszłości może tam się pojawić setki jak nie tysiące różnych szczegółowych działań. W związku z tym rozbudowy wymagałyby również ich filtracja.

Jednym z pomysłów może być dodanie wyszukiwania zaawansowanego. Tak jak teraz wyszukiwanie polega na czterech typach kategorii tak później można pomyśleć nad dodaniem również wyszukiwania za pomocą na przykład oczekiwanych rezultatów bądź konkretnych wskaźników, jakie dana osoba chce otrzymać. Dzięki temu będzie można otrzymać jeszcze bardziej spersonalizowane wyniki i odpowiednio przełożyć je na projekt w danym obszarze.

Kolejnym, bardziej zaawansowanym narzędziem mogłoby być wyszukiwanie projektów, które najbardziej by odpowiadały danemu terenowi. Na przykład podając właściwości terenu, klimatu czy warunków zabudowy otrzymalibyśmy dany zestaw projektów, których dopasowanie byłoby najbardziej optymalne.



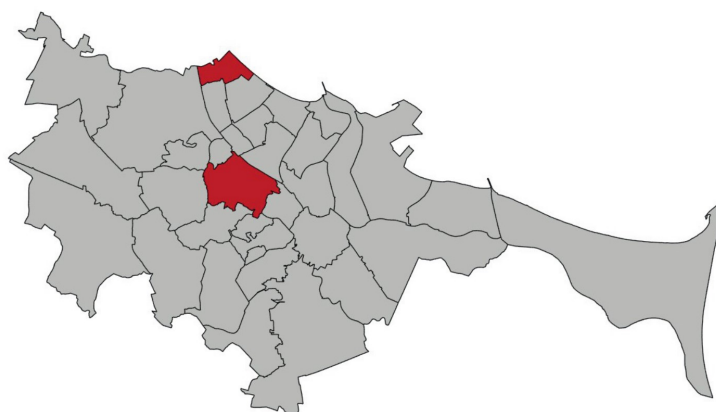
Rysunek 5.3: Zrzut ekranu z aplikacji ze strony o projektach w Vancouver.

5.2. Część projektowa

W tej części zaprezentowano działanie aplikacji już na konkretnym przykładzie - w tym przypadku na dzielnicach Żabianka-Wejhera-Jelitkowo-Tysiąclecia oraz Wrzeszcz Górny w Gdańsku. Część projektowa jest ważniejsza z punktu podejmowania decyzji w mieście, ponieważ to na jej podstawie będzie można ocenić wpływ konkretnego projektu na dany obszar. W wyniku działania aplikacji użytkownik dostaje informację o tym jak następujące działania zmieni wybrane współczynniki np. w zakresie zagospodarowania terenu czy odprowadzania wody opadowej. Dzięki temu będzie łatwiej można sobie wyobrazić co tak naprawdę się zmieni w otoczeniu.

5.2.1. Zasada działania

Po wybraniu zakładki Gdańsk z menu przechodzi się na stronę, na której wyświetla się mapę Gdańska z podziałem na dzielnice (rys. 5.4). Po najechaniu na konkretną dzielnicę, możemy w nią kliknąć i przejść do podstrony, która jej dotyczy. Na ten moment dostępnymi dzielnicami są Żabianka-Wejhera-Jelitkowo-Tysiąclecia oraz Wrzeszcz Górny (zaznaczone na mapie na czerwono), na których przeprowadza się testy



Rysunek 5.4: Zrzut ekranu z aplikacji z podziałem miasta Gdańsk na dzielnice i zaznaczonymi analizowanymi dzielnicami.

systemu. Docelowo system miałby działać dla każdej dzielnicy miasta.

Po wejściu do dzielnicy wyświetla się strona z analizami, które mają na celu przybliżenie lokalnej sytuacji (rys. 5.5). Następnie wymienia się działania już podejmowane w danym miejscu, które mają na celu podnieść jego odporność. Na tej podstawie można ocenić czy i jak dany obszar radzi sobie z wprowadzaniem projektów dotyczących budowania odporności.

Poniżej znajdują się już zakładki z proponowanymi działaniami. To właśnie tutaj jest ta część aplikacji, która jest najbardziej interesującą z punktu widzenia użytkownika, ponieważ tu wyświetlają się wspomniane wcześniej wartości w zakresie zmian jakie wprowadza dane działanie. Po wybraniu konkretnego proponowanego działania, można za pomocą przycisków *Original/Modified* przełączać się pomiędzy widokami istniejącym a planowanym. W ten sposób możliwe jest zaobserwowanie jak zmieni się dany teren oraz jakie współczynniki ulegną zmianie. Pozwoli to na łatwiejszą identyfikację zmian wprowadzanych na danym terenie. Konkretnie przykłady są omawiane w kolejnym podrozdziale.

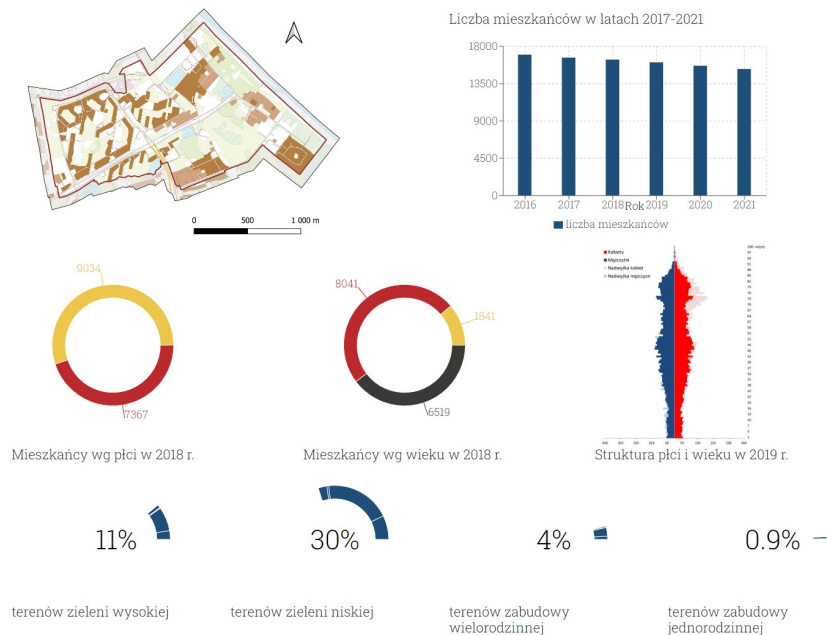
5.2.2. Przykładowe rozwiązania

Pierwszym z projektów jaki można by podjąć w wybranej dzielnicy jest zazielenienie torowisk tramwajowych. Aktualnie zielone torowisko znajduje się na fragmencie prowadzącym od przystanku Osiedle Wejhera do pętli Jelitkowo (około 925 m podwójnego toru, pomijając przystanki). W pracy proponuje się wydłużenie zielonych linii tramwajowych o ok. 885 m. Torowisko mogłoby zostać przebudowane na odcinkach od przystanku Gospody do Subisława oraz od przystanku Pomorska do granicy dzielnicy i mogłoby być kontynuowane dalej. W wyniku zazielenienia torowiska otrzyma się dodatkową przestrzeń (ok. 4868 m²) o lepszej przepuszczalności wody. Jako warstwę zieleni planuje wykorzystanie się mat rozchodnikowych wymagających mniejszej pielęgnacji w porównaniu ze zwykłą trawą oraz łatwiej przystosowujących się do ekstremalnych warunków. Zieleni nie planuje się w miejscach zatrzymywania się tramwajów, ze względu na większą degradację roślin w tym miejscu.

Dzięki zastosowaniu zielonego torowiska, oprócz aspektów wizualnych, można nieco obniżyć poziom hałasu generowany przez przejeżdżające tramwaje - od 2 do 4 dB w porównaniu do torów na podsypce. Do innych zalet tego systemu zaliczyć można poprawę mikroklimatu w pobliżu torowiska, zmniejszenie obciążenia wód opadowych w systemach kanalizacji oraz ograniczenie wydmuchiwanie pyłów i zanieczyszczeń.

Żabianka-Wejhera-Jelitkowo-Tysiąclecia

Analizy



Rysunek 5.5: Zrzut ekranu z aplikacji po wejściu do strony dotyczącej dzielnicy.

Drugą z przedstawianych akcji dotyczy dzielnicy Wrzeszcz Górny. Projekt ma na celu stworzenie zielonych dachów na budynkach Galerii Bałtyckiej i Galerii Metropolia (rys. 5.7). Na potrzeby zielonego dachu można przeznaczyć 11392 m² powierzchni dachu Galerii Metropolia oraz 12694 m² powierzchni dachu Galerii Bałtyckiej. Co łącznie daje dodatkowe 24086 m² powierzchni biologicznie czynnej. Ze względu na intensywną zabudowę tej części dzielnicy oraz na mało dostępnej przestrzeni między budynkami, takie rozwiązanie spowodowałoby uzyskanie dużej przestrzeni zielonej.

Utworzenie zielonej przestrzeni w miejscu betonowych dachów galerii spowodowałoby mniejszą akumulację energii cieplnej w tej powierzchni. Dzięki temu w upalne dni może przyczynić się to do zmniejszenia efektu miejskiej wyspy ciepła. Co więcej zielony dach byłby naturalnym systemem gospodarowania wodami opadowymi, przez co do systemów kanalizacji trafi mniej wody. W czasie kiedy coraz częściej występują nawalne deszcze takie miejsce byłoby bardzo potrzebne, bo odciążałoby systemy kanalizacji miejskiej. Kolejnym aspektem jest to, że rośliny znajdujące się na dachu mogą oczyszczać powietrze i pochłaniać pył z otoczenia. Zielone dachy przyczyniają się również do zmniejszenia wykorzystania energii na chłodzenie w budynkach ze względu na ograniczenie ciepła w jego zasięgu. Ze względu na to, że dachy galerii zajmują dużą powierzchnię są to idealne miejsca na wykorzystanie tej przestrzeni. Szczególnie w miejscach, gdzie nie ma dostępu do zieleni na poziomie gruntu. Oprócz tych wszystkich zalet wspomagających adaptację i mitygację do zmian klimatu, taki dach stanowi dużą wartość estetyczną.

5.2.3. Możliwe rozszerzenia systemu

Stworzony system jest otwarty na przyszłe rozszerzenia. Aktualnie jego działanie opiera się na prostych zasadach, ale docelowo mógłby on wykonywać bardziej zaawansowane obliczenia w celu wizualizacji skutków danego działania na konkretny teren.

W przyszłości system ten mógłby oceniać jak zmiany np. w miejscowym planie zagospodarowania

Proponowane działania

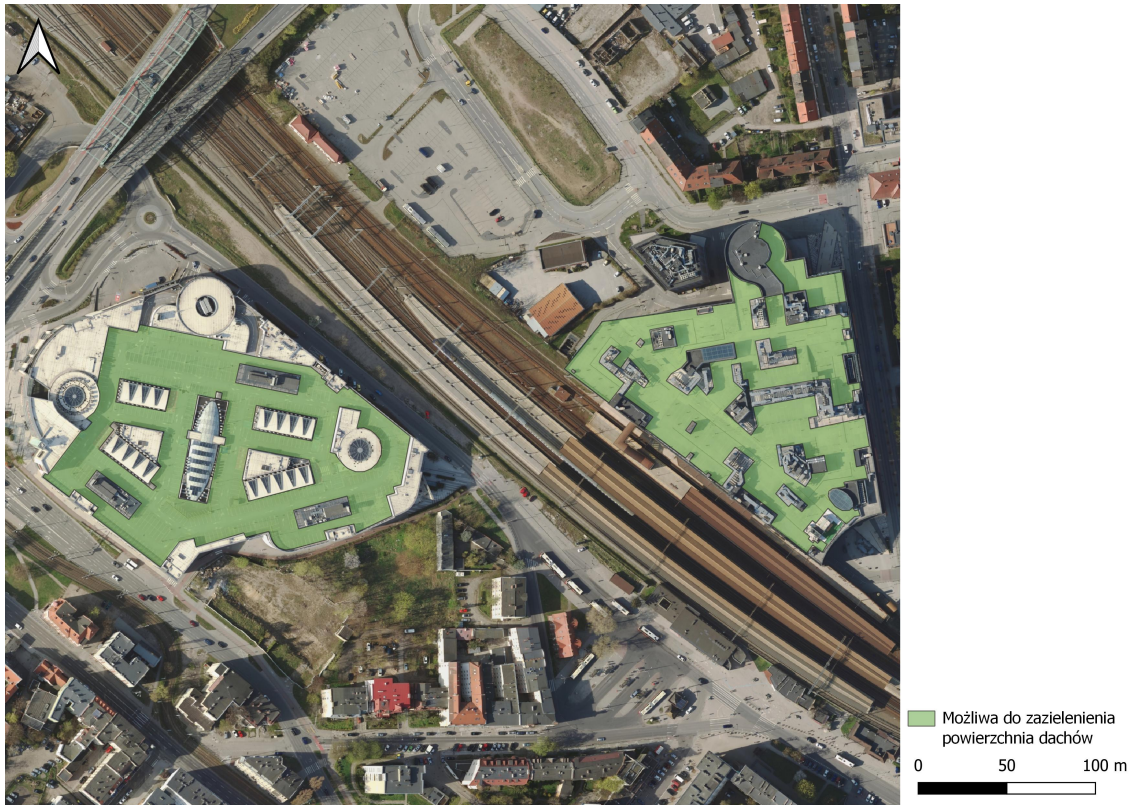


Rysunek 5.6: Projekt dotyczący zazieleniania torowisk w widoku z aplikacji.

przestrzennego spowodują zmianę w zakresie wybranych współczynników. Może to pozwolić na łatwiejszą komunikację z mieszkańcami, którzy nie zawsze odpowiednio rozumieją zapisy MPZP. Dzięki poważniejszym obliczeniom można by pokusić się nawet o obliczenie w jaki sposób proponowane wielkości czy wysokości budynków wpływają na otoczenie (np. zacielenie danego terenu, zmiany w przepływie wiatru).

Ważnym aspektem byłoby też ustalenie metodologii do obliczeń, ponieważ należy ustalić w jaki sposób powinno się dany wskaźnik ustalać. Stworzenie takiej metodologii w zależności od badanego czynnika może wiązać się z dużymi nakładami pracy. Dodatkowo system ten zahacza o wiele dziedzin (m.in. urbanistyka i architektura, budownictwo, nauki o Ziemi i środowisku czy biologia) i warto byłoby zasięgnąć opinii ludzi tym zajmujących się.

Docelowo aplikacja mogłaby przyczynić się do bardziej adekwatnego i racjonalnego podejmowania decyzji w mieście oraz do ewaluacji realizowanych projektów. W przyszłości może ona posłużyć jako narzędzie transformacji w urbanistyce, dzięki któremu proces planowania przestrzennego będzie znacznie usprawniony.



Rysunek 5.7: Projekt dotyczący zazielenienia dachów galerii.

6. PODSUMOWANIE

Najbardziej odczuwalną zmianą klimatu jest wzrost globalnej temperatury. Skutkiem tego są topniejące lodowce, lądolody czy lód morski w Arktyce. Zwiększa się temperatura mórz i oceanów. Napędza to tzw. dodatnie sprzężenie zwrotne powodujące, że klimat jeszcze bardziej napędza zmiany. Ciepłsza woda szybciej topi lód w Arktyce - woda nie pokryta lodem ma niższe albedo przez co pochłania więcej promieniowania słonecznego, co tym bardziej przyspiesza zmianę temperatury wody itd.

Klimat na świecie się zmienia i duży udział w tej kwestii ma działalność człowieka. Szczególnie jeśli chodzi o emisję gazów cieplarnianych, których globalna emisja cały czas rośnie. Energetyka, mieszkalnictwo, rolnictwo czy transport to sektory, przez które człowiek emituje m.in dwutlenek węgla. Wszystko to prowadzi do konieczności przeciwdziałania oraz adaptacji do zmian w klimacie. W zakresie adaptacji człowiek powinien poprzez swoje działania umiejętnie się przystosowywać do tego co już nieuniknione. W zakresie mitygacji zaś, powinien podjąć jak największe wysiłki w celu redukcji emisji gazów cieplarnianych oraz ograniczeniu negatywnego oddziaływania na środowisko.

Zmiany klimatu oddziałują także, a nawet szczególnie na miasta. Z tego powodu w ostatnich latach powstały różne koncepcje rozwoju miast. Jedną z nich jest miasto odporne, którego celem jest budowanie odporności na wszelkiego rodzaju nagłe wstrząsy oraz szybka adaptacja i powrót do swojego stanu początkowego, kiedy dane zdarzenie już wystąpi. Miastami, które w swoich planach realizują tę koncepcję są Boston, Vancouver oraz Kopenhaga. W każdym z tych miast podejmuje się różne działania na rzecz budowania odporności. Działania te są bardzo zróżnicowane i dotyczą różnych sfer życia ludzkiego.

W stworzonym systemie informacji o terenie wykorzystano te dobre praktyki z tych trzech miast i utworzono bazę danych. Dzięki skategoryzowaniu działań podejmowanych w Bostonie, Vancouver i Kopenhadze w aplikacji, można łatwo je filtrować w celu uzyskania bardziej spersonalizowanych wyników. Baza ta jest otwarta na przyszłe rozbudowy, więc w przyszłości może pojawić się konieczność dodania kolejnych filtrów. Stworzony system może służyć jako platforma, na której przedstawia się proponowane zmiany w zagospodarowaniu przestrzennym danego obszaru. W aplikacji wyświetlają się dane wskaźniki, które ulegają zmianie, dzięki czemu można łatwo zrozumieć jak zmiany te wpłyną na dany obszar. W przyszłości system ten mógłby oceniać jak zmiany w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego spowodują zmianę w zakresie wybranych współczynników. Docelowo aplikacja mogłaby przyczynić się do bardziej adekwatnego i racjonalnego podejmowania decyzji w mieście oraz do ewaluacji realizowanych projektów.

Spis rysunków

2.1	Przebieg anomalii średniej rocznej temperatury (Land-Ocean Temperature Index) uśrednionej w skali całego globu, na półkuli północnej (NH), południowej (SH) i w pasach ograniczonych równoleżnikami 44°N i 64°N oraz 64°N i 90°N, od średnich z lat 1951–1980. Opracowanie własne na podstawie zbiorów z https://data.giss.nasa.gov/gistemp/	10
2.2	Zasięg lodu morskiego w Arktyce - średnie przebiegi roczne w wybranych dziesięcioleciach oraz w roku 2022. Opracowanie własne na podstawie zbioru <i>Sea Ice Index, Version 3 (G02135)</i> z https://nsidc.org/data/g02135/versions/3	11
2.3	Wiek lodu morskiego w Arktyce (stan na 23.09.2022 r.) [46]	12
2.4	Wzrost globalnego średniego poziomu morza od 1880 do 2018 roku. Wszystkie wartości są odniesione do średniego poziomu z okresu 1993-2012. Opracowanie własne na podstawie danych z https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/observed-change-in-global-mean-3#tab-chart_4	13
2.5	Wpływ czynników ludzkich i naturalnych na zmiany średniej temperatury globalnej [43].	14
2.6	Pomiary średniej globalnej temperatury powierzchni oraz energii Słońca [76].	15
2.7	Zmiany koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze (w cząstkach na milion) [9].	16
2.8	Mapa pokazująca 1110 portów (zielone) na ok. 3700 wszystkich (czerwone), które znalazły się w odległości 50 km od burzy tropikalnej w latach 1960-2016 - ślady sztormów zaznaczone na pomarańczowo [3].	19
2.9	Profil miejskiej wyspy ciepła [38].	21
3.1	17 Celów Zrównoważonego Rozwoju [80]	26
3.2	Ramy odporności miasta wg ARUP [2].	29
4.1	Miasta poddane analizie studialnej. Opracowanie własne na podstawie https://www.openstreetmap.org	31
4.2	Mapa ryzyka powodziowego w Bostonie [7].	34
4.3	Rozwiązania techniczne ochrony budynków przed powodzią [7].	35
4.4	Wizja bostońskiego waterfrontu [70].	37
4.5	Źródła emisji gazów cieplarnianych w Vancouver [25, 29].	41
4.6	Tereny zalewowe Vancouver dziś oraz w roku 2100 z obszarem <i>Sea2City Design Challenge</i> [27].	43
4.7	Trzy ogólne podejścia przy adaptacji do powodzi w Vancouver [22, 23]	44
4.8	Proces adaptacji do zmian klimatu w Kopenhadze [17].	47
4.9	Maksymalny zasięg wody wysokiej wynoszący 226 cm [17].	48
4.10	Nowe miejsca wypoczynku na placu Sankt Kjeld [88].	49
4.11	Zmiany jakie nastąpiły w ramach strategii Dzielnicy odpornej na Klimat na placu Sankt Kjeld [88]	50
4.12	Zestawienie mapy powodziowej z miejscami przeznaczonymi pod ochronę przed powodzią w obszarze Kopenhagi	51
5.1	Zrzut ekranu głównego z aplikacji.	53
5.2	Zrzut ekranu z aplikacji z konkretnego działania w Vancouver.	55

5.3	Zrzut ekranu z aplikacji ze strony o projektach w Vancouver.	56
5.4	Zrzut ekranu z aplikacji z podziałem miasta Gdańsk na dzielnice i zaznaczonymi analizowanymi dzielnicami.	57
5.5	Zrzut ekranu z aplikacji po wejściu do strony dotyczącej dzielnicy.	58
5.6	Projekt dotyczący zazieleniani torowisk w widoku z aplikacji.	59
5.7	Projekt dotyczący zazielenienia dachów galerii.	60

Spis tablic

3.1	Przegląd różnych działań związanych z koncepcją zrównoważonego rozwoju [11, 100]	25
3.2	Definicje miasta odpornego [37, 61, 62, 63, 83].	28
4.1	Jak Bostończycy dojeżdżają do pracy i jak chcą do niej dojeżdżać w 2030 roku [8].	39
4.2	Trzy główne priorytety strategii <i>Resilient Vancouver</i> [26].	45
5.1	Filtry dostępne z poziomu strony głównej aplikacji.	54

Bibliografia

- [1] Amaratunga D.: How does climate change affect coastal regions? *Land Journal*, maj 2022, <https://www3.rics.org/uk/en/journals/land-journal/how-does-climate-change-affect-coastal-regions-.html> (dostęp: 29.10.2022)
- [2] ARUP: City resilience index. Understanding and measuring city resilience. <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/city-resilience-index> (dostęp: 12.11.2022)
- [3] Becker A., Ng A., McEvoy D., Mullett J.: Implications of climate change for shipping: Ports and supply chains. *WIREs Clim Change*, 2018
- [4] Bilska A.: Proces budowy miasta odpornego na przykładzie Rotterdamu. *Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna* 34, s. 59–78, 2016
- [5] Blasi S., Ganzaroli A., De Noni I.: Smartening sustainable development in cities: Strengthening the theoretical linkage between smart cities and SDGs. *Sustainable Cities and Society*, nr 80, 2022
- [6] Borunda A.: Heat waves kill people—and climate change is making it much, much worse, <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/heat-related-deaths-attributed-to-climate-change> (dostęp: 04.05.2022)
- [7] Boston Planning & Development Agency: Coastal Flood Resilience Design Guidelines, Boston, wrzesień 2019
- [8] Boston Transportation Department: Go Boston 2030: Vision and Action Plan, 2017
- [9] Budziszewska M., Kardaś A., Bohdanowicz Z. (red): Klimatyczne ABC. Interdyscyplinarne podstawy współczesnej wiedzy o zmianie klimatu, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2021
- [10] Burchard-Dziubińska M.: Adaptacja terenów zurbanizowanych do zmian klimatu w Rzeńca A. (red.), *EkoMiasto#Środowisko Zrównoważony, inteligentny i partycypacyjny rozwój miasta*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2016, s. 143-163
- [11] Burchard-Dziubińska M., Rzeńca A., Drzazga D.: *Zrównoważony rozwój - naturalny wybór*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2015
- [12] City of Boston: Climate Action Plan 2019 Update, październik 2019
- [13] City of Boston: Climate Ready Boston - Climate Resilience Initiatives, 2016
- [14] City of Boston: Climate Ready Boston Final Report, 2016
- [15] City of Boston: Coastal Resilience Solutions For Dorchester, Final Report, październik 2020
- [16] City of Boston: Heat Resilience Solutions for Boston, kwiecień 2022
- [17] City of Copenhagen: Copenhagen Climate Adaptation Plan, 2011
- [18] City of Copenhagen: Klimakvarter, Copenhagen Climate Resilient Neighbourhood, 2012
- [19] City of Copenhagen: Storm Floods Plan for København, 2017

- [20] City of Vancouver: Climate Change Adaptation Strategy, 2018 Update and Action Plan, październik 2019
- [21] City of Vancouver: Climate Change Adaptation Strategy, 2020 Progress Update, październik 2020
- [22] City of Vancouver: Coastal Adaptation Plan, Fraser River Foreshore, Final Report, grudzień 2018
- [23] City of Vancouver: Coastal Adaptation Plan, Fraser River Foreshore, Openhouse Posters, 2018
- [24] City of Vancouver: Climate Emergency Action Plan Report, październik 2020
- [25] City of Vancouver: Climate Emergency Action Plan Summary 2020-2025, 2020
- [26] City of Vancouver: Resilient Vancouver, czerwiec 2019
- [27] City of Vancouver: Sea2City Design Challenge, Rise to the challenge, 2021
- [28] City of Vancouver: Vancouver's Changing Shoreline, Preparing for sea level rise, grudzień 2018
- [29] City of Vancouver: Vancouver Plan 2050, lipiec 2022
- [30] Czachor R.: Koncepcja *urban resilience*: założenia, treść, możliwość implementacji. *Spółeczności Lokalne. Studia Interdyscyplinarne*, s. 127-148, 2019
- [31] Czereda M.: Mokradła a zmiana klimatu. *Tutoring Geadanensis* 4(2), 2019, s. 49-52
- [32] Davis R.A.: Human Impact on Coasts. W: Schwartz, M.L. *Encyclopedia of Coastal Science*. *Encyclopedia of Earth Science Series*. Springer, Dordrecht, 2005
- [33] Edwards A., Cranney K.: Why don't our cities cope with heavy rain? 2020 <https://ecos.csiro.au/city-planning-for-heavy-rain/> (dostęp: 08.11.2022)
- [34] European Commission: Climate change and coastal flooding, 2020 https://joint-research-centre.ec.europa.eu/system/files/2020-09/06_pesetaiv_coastal_floods_sc_august2020_en.pdf (dostęp 30.10.2022)
- [35] European Environment Agency: Energy and climate change. <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2017/articles/energy-and-climate-change> (dostęp: 08.11.2022)
- [36] Fastenrath S., Acuto M., Coenen L., Keele S.: What next after 100 Resilient Cities funding ends? <https://theconversation.com/what-next-after-100-resilient-cities-funding-ends-116734> (dostęp: 05.05.2022)
- [37] Figueiredo L., Honiden T., Schumann A.: Indicator for Resilient Cities. *OECD Regional Development Working Papers*, luty 2018
- [38] Foster E.: Four Approaches to Reducing the Urban Heat Island Effect. <https://urbanland.uli.org/sustainability/four-approaches-to-reducing-the-urban-heat-island-effect/> (dostęp: 05.11.2022)
- [39] Griggs G., Reguero B.: Coastal Adaptation to Climate Change and Sea-Level Rise. *Water*, Vol 13, Nr 16, 2021
- [40] Giffinger R. et. al: Smart cities, Ranking of European medium-sized cities, 2007
- [41] Guillermo Penalosa, *Miasto dostępne dla każdego. Miasto 15-minutowe*, rozm. przepr. Różnowska K., „W Metropolii”, nr 10, maj 2022
- [42] Hancock L.: Why are glaciers and sea ice melting? <https://www.worldwildlife.org/pages/why-are-glaciers-and-sea-ice-melting> (dostęp 28.10.2022)

- [43] Hausfather Z.: Analysis: Why scientists think 100% of global warming is due to humans. <https://www.carbonbrief.org/analysis-why-scientists-think-100-of-global-warming-is-due-to-humans/> (dostęp: 08.11.2022)
- [44] https://19january2017snapshot.epa.gov/climate-impacts/climate-impacts-coastal-areas_.html (dostęp 29.10.2022)
- [45] <http://44mpa.pl/faq/> (dostęp: 07.11.2022)
- [46] <https://www.climate.gov/maps-data/data-snapshots/data-source/arctic-sea-ice-age> (dostęp: 28.10.2022)
- [47] <https://nsidc.org/learn/parts-cryosphere/sea-ice/why-sea-ice-matters> (dostęp: 28.10.2022)
- [48] <https://nsidc.org/arcticseaicenews/> (dostęp: 28.10.2022)
- [49] <https://nsidc.org/learn/parts-cryosphere/sea-ice/quick-facts-about-sea-ice> (dostęp: 28.10.2022)
- [50] https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_pl (dostęp: 28.10.2022)
- [51] <https://coastal.climatecentral.org> (dostęp: 24.08.2022)
- [52] <https://earth.esa.int/web/earth-watching/image-of-the-week/content/-/article/copenhagen-denmark/index.html> (dostęp 16.08.2022)
- [53] <https://education.nationalgeographic.org/resource/history-cities> (dostęp: 08.09.2022)
- [54] <https://en.viablecities.se> (dostęp: 05.05.2022)
- [55] <https://kampania17celow.pl/agenda-2030/> (dostęp: 01.09.2022)
- [56] <https://klimada2.ios.gov.pl/adaptacja/> (dostęp: 07.11.2022)
- [57] <https://klimada2.ios.gov.pl/miejskie-wyspy-ciepla/> (dostęp: 20.07.2022)
- [58] <https://klimada2.ios.gov.pl/mitygacja/> (dostęp: 07.11.2022)
- [59] <https://naukaoklimacie.pl/fakty-i-mity/mit-rekordowe-opady-sniegu-to-dowod-na-to-ze-globalne-ocieplenie-to-fikcja-62/> (dostęp 28.10.2022)
- [60] <https://nsidc.org/learn/parts-cryosphere/snow/why-snow-matters> (dostęp: 28.10.2022)
- [61] <https://resilientcitiesnetwork.org/faq/> (dostęp: 06.05.2022)
- [62] <https://unhabitat.org/topic/resilience-and-risk-reduction> (dostęp: 06.05.2022)
- [63] <https://urban.jrc.ec.europa.eu/thefutureofcities/the-resilient-city#the-chapter> (dostęp: 06.05.2022)
- [64] <https://use.metropolis.org/case-studies/copenhagen-climate-resilient-neighbourhood-strategy#casestudydetail> (dostęp 22.08.2022)
- [65] <https://vancouver.ca/green-vancouver/climate-change-adaptation-strategy.aspx> (dostęp: 26.07.2022)
- [66] <https://vancouver.ca/news-calendar/geo.aspx> (dostęp: 26.07.2022)
- [67] <https://vancouver.ca/news-calendar/weather.aspx> (dostęp: 26.07.2022)
- [68] <https://vancouver.ca/streets-transportation/buses-ferries-trains-and-planes.aspx> (dostęp: 26.07.2022)

- [69] <https://www.bgs.ac.uk/discovering-geology/climate-change/what-causes-the-earths-climate-to-change/> (dostęp: 10.11.2022)
- [70] <https://www.boston.gov/environment-and-energy/resilient-boston-harbor> (dostęp: 24.04.2022)
- [71] <https://www.boston.gov/departments/environment/preparing-climate-change> (dostęp: 24.04.2022)
- [72] <https://www.britannica.com/place/Copenhagen> (dostęp: 16.08.2022)
- [73] <https://www.census.gov/quickfacts/bostoncitymassachusetts> (dostęp: 24.04.2022)
- [74] https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Win-Win-Why-cities-should-tackle-climate-change-and-air-pollution-together?language=en_US (dostęp: 05.11.2022)
- [75] https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Why-every-city-can-benefit-from-a-15-minute-city-vision?language=en_US (dostęp: 08.09.2022)
- [76] <https://www.epa.gov/climatechange-science/causes-climate-change> (dostęp: 10.11.2022)
- [77] <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data> (dostęp: 10.11.2022)
- [78] <https://www.epa.gov/heatislands/learn-about-heat-islands> (dostęp: 05.11.2022)
- [79] <https://www.foodsystemprimer.org/food-production/food-and-climate-change/> (dostęp: 08.11.2022)
- [80] <https://www.gov.pl/web/polskapomoc/cele-zrownowazonego-rozwoju> (dostęp: 01.09.2022)
- [81] <https://www.iass-potsdam.de/en/output/dossiers/air-pollution-and-climate-change> (dostęp 05.11.2022)
- [82] <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/climate/climate-change-impacts> (dostęp: 10.11.2022)
- [83] <https://www.oecd.org/cfe/resilient-cities.htm> (dostęp 04.05.2022)
- [84] <https://www.pkn.pl/smart-cities> (dostęp: 04.09.2022)
- [85] <https://www.planning.vic.gov.au/policy-and-strategy/planning-for-melbourne/plan-melbourne/20-minute-neighbourhoods> (dostęp: 08.09.2022)
- [86] <https://www.rockefellerfoundation.org/100-resilient-cities/> (dostęp: 04.05.2022)
- [87] <https://www.scapestudio.com/projects/resilient-boston-harbor-vision/> (dostęp: 03.05.2022)
- [88] <https://www.sla.dk/cases/sankt-kjelds-square-and-bryggervangen/> (dostęp: 22.08.2022)
- [89] <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/naukowcy-PAN-kryzys-klimatyczny-miasta-10909.html> (dostęp: 18.07.2022)
- [90] <https://www.un.org/en/climatechange/science/causes-effects-climate-change> (dostęp: 08.11.2022)
- [91] <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html> (dostęp: 18.07.2022)
- [92] <https://www.unic.un.org.pl/strony-2011-2015/zrownowazony-rozwoj-i-cele-zrownowazonego-rozwoju/2860> (dostęp: 01.09.2022)

- [93] <https://www.unwater.org/water-facts/water-and-climate-change> (dostęp: 08.11.2022)
- [94] <https://www.wonderfulcopenhagen.com/wonderful-copenhagen/international-press/copenhagen-tops-monocles-most-liveable-cities-list-fifth-time> (dostęp: 22.08.2022)
- [95] <https://www.15minutecity.com> (dostęp: 08.09.2022)
- [96] IPCC: Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers, 2022
- [97] Jankowska M.: *Smart city* jako koncepcja zrównoważonego rozwoju miasta - przykład Wiednia. Studia i prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania, Uniwersytet Szczeciński, nr 42, T.2, s 173-182, 2015
- [98] Jorio L.: Why melting glaciers affect us all? [online] 11.10.2022 https://www.swissinfo.ch/eng/why-melting-glaciers-affect-us-all/45810296?utm_content=o&utm_campaign=own-posts&utm_medium=display&utm_source=swissinfoch (dostęp: 28.10.2022)
- [99] Kapucu N., Ge Y., Martin Y., Williamson Z.: Urban resilience for building a sustainable and safe environment. *Urban Governance*, vol. 1, s. 10-16, listopad 2021
- [100] Klarin T.: The Concept of Sustainable Development: From its Beginning to the Contemporary Issues. *Zagreb International Review of Economics & Business*, Vol. 21, nr 1, s. 67-94, 2018
- [101] Kostrzewska M.: Miasto europejskie na przestrzeni dziejów. *Miasto, Metropolia, Region*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2013
- [102] Kotura S., Mondejar M., Becue V.: The nexus of 'urban resilience' and 'energy efficiency' in cities. *Current Research in Environmental Sustainability*, vol. 4, 2022
- [103] Lejcuś K., Burszta-Adamiak E., ąbrowska J., et.al.: Katalog dobrych praktyk – zasady zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi pochodzącymi z nawierzchni pasów drogowych. Wrocław, 2017
- [104] Lenart W.: Śnieg i zmiany klimatu, rozm. przepr. Adler D., „Dziki Życie”, nr 4/202, kwiecień 2011
- [105] Litman T.: Big Moves: Vancouver Climate Emergency Action Plan, <https://citiesforeveryone.org/2020/11/12/big-moves-vancouver-climate-emergency-action-plan/> (dostęp: 27.07.2022)
- [106] Łabuz T.: Sposoby ochrony brzegów morskich i ich wpływ na środowisko przyrodnicze polskiego wybrzeża Bałtyku. Raport WWF, 2013
- [107] Mackenzie J., Turrentine J.: Air Pollution: Everything You Need to Know. <https://www.nrdc.org/stories/air-pollution-everything-you-need-know#whatis> (dostęp: 05.11.2022)
- [108] Malinowski S.: Dlaczego śnieg nie oznacza, że nie ma zmian klimatu, rozm. przepr. Kurek M., 23.01.2021 [online] <https://kmag.pl/article/profesor-malinowski-wyjasnia-dlaczego-snieg-nie-oznacza-ze-nie-ma-zmian-klimatu> (dostęp 28.10.2022)
- [109] Meerow S., Pajouhesh P., Miller T.: Social equity in urban resilience planning. *Local Environment. The International Journal of Justice and Sustainability*, vol. 24, 2019
- [110] Meerow S., Newell J., Stults M.: Defining urban resilience: A review. *Landscape and Urban Planning*, vol. 147, s. 38-49, marzec 2016
- [111] Mentaschi L., Voudoukas M.I., Pekel JF., et al.: Global long-term observations of coastal erosion and accretion. *Scientific Reports*, Nr 8, Nr art. 12876, 2018

- [112] Michalak A.: Study role of climate change in extreme threats to water quality. *Nature* 535, s. 349–350, 2016
- [113] Mierzejewska L.: Zrównoważony rozwój miasta – wybrane sposoby pojmowania, koncepcje i modele. *Problemy Rozwoju Miast, Kwartalnik Naukowy Instytutu Rozwoju Miast, Rok XII, Zeszyt II/2015*, s. 5–11
- [114] Ministerstwo Środowiska: Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030. Warszawa, 2013
- [115] Orru H., Ebi K.L., Forsberg B.: The Interplay of Climate Change and Air Pollution on Health. *Current Environmental Health Reports* Nr 4, s. 504–513, 2017
- [116] Popkiewicz M.: Efekt cieplarniany - ABC. <https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/efekt-cieplarniany-abc/> (dostęp: 08.11.2022)
- [117] Przhedetsky L.: The water is coming for Copenhagen; good design could be its best defence, luty 2018. <https://www.foreground.com.au/planning-policy/water-coming-copenhagen-good-design-best-defence/> (dostęp: 22.08.2022)
- [118] Asariotis R.: Climate change impacts on seaports: A growing threat to sustainable trade and development. *UNCTAD Transport and Trade Facilitation Newsletter N°90*, 2021 <https://unctad.org/news/climate-change-impacts-seaports-growing-threat-sustainable-trade-and-development> (dostęp: 29.10.2022)
- [119] Reguero B., Losada I., Méndez F.: A recent increase in global wave power as a consequence of oceanic warming. *Nature Communications*, nr 10, nr art. 205, 2019
- [120] Ritchie H., Roser M.: Urbanization, 2019 <https://ourworldindata.org/urbanization#number-of-people-living-in-urban-areas> (dostęp: 08.09.2022)
- [121] Robrecht H.: Miasta w obliczu zmian klimatu. <https://www.eea.europa.eu/pl/sygna142y/sygnały-2015/wywiad/miasta-w-obliczu-zmian-klimatu> (dostęp: 18.07.2022)
- [122] Ryba M.: Czym jest koncepcja *smart city*, a zatem dlaczego powinniśmy je nazywać miastem sprytnym? *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, nr 467, s. 82-90, 2017
- [123] Saikia P., Beane G., Garriga R., et al.: City Water Resilience Framework: A governance based planning tool to enhance urban water resilience. *Sustainable Cities and Society*, vol 77, luty 2022
- [124] Sandifer P., Scott G.: Coastlines, Coastal Cities, and Climate Change: A Perspective on Urgent Research Needs in the United States. *Frontiers in Marine Science*, marzec 2021
- [125] Short J.R., Farmer A.: Cities and Climate Change. *Earth* vol 2, s. 1038–1045, listopad 2021
- [126] Siegel F. R.: Adaptations of Coastal Cities to Global Warming, Sea Level Rise, Climate Change and Endemic Hazards. *Springer briefs in environmental science*, 2020
- [127] Stęпка M.: Rezyliencja jako paradygmat bezpieczeństwa w czasach przewlekłych kryzysów. Uniwersytet Jagielloński, Kraków 2021
- [128] Szymalski W., Kassenberg A., Świerkula E.: Poradnik adaptacji miasta do zmiany klimatu. Instytut na rzecz Ekorozwoju, Warszawa 2019
- [129] U.S. Global Change Research Program: Chapter 13: Air quality, Fourth National Climate Assessment. <https://nca2018.globalchange.gov/chapter/13/> (dostęp: 05.11.2022)

- [130] United Nations: Report of the Multi-year Expert Meeting on Transport, Trade Logistics and Trade Facilitation on its eighth session. *United Nations Conference on Trade and Development*, grudzień 2020
- [131] Valentin L.: What is the Economic Impact of Climate Change on Ports? [online] maj 2022, <https://sinay.ai/en/what-is-the-economic-impact-of-climate-change-on-ports/> (dostęp: 29.10.2022)
- [132] Wibig J.: Współczesne zmiany klimatu – obserwacje, przyczyny, prognozy. *Zmiana klimatu - skutki dla polskiego społeczeństwa i gospodarki*, Komitet Prognoz „Polska 2000 Plus” przy Prezydium PAN, s. 13-46, Warszawa 2020
- [133] Zawaydeh N.: Climate Change Affects Water Quality <https://danamark.com/resources/climate-change-water-quality/> (dostęp: 29.10.2022)

WYKAZ ZAŁĄCZNIKÓW

1. Plansza nr 1 - część teoretyczna
2. Plansza nr 2 - studium przypadku
3. Plansza nr 3 - część teoretyczno-aplikacyjna
4. Plansza nr 4 - część aplikacyjna
5. Artykuł naukowy „Możliwości komputerowego wspomaganie decyzji projektowych w mieście w odpowiedzi na zmiany klimatu”