

**SYLWIA NIEDZIELA-WAWRZYNIAK**

Akademia Śląska; e-mail: [sylwia.niedziela-wawrzyniak@akademiaslaska.pl](mailto:sylwia.niedziela-wawrzyniak@akademiaslaska.pl); ORCID: 0000-0002-7458-2408

## ZIELONE ŚCIANY W ŚRODOWISKACH MIEJSKICH: KATALIZATORY INNOWACJI I ZDOLNOŚCI ADAPTACYJNYCH MIAST

s. 21-42

### STRESZCZENIE

Zielone ściany, będące harmonijnym połączeniem natury i architektury miejskiej, nie tylko stanowią estetyczny element, lecz także wprowadzają innowacyjne podejście do wykorzystania przestrzeni miejskiej. Artykuł analizuje wpływ zielonych ścian na środowisko, zdrowie publiczne, aspekty ekonomiczne oraz przedstawia przykłady miast, które już wprowadziły te innowacje w praktyce. W artykule podkreślono, że innowacje i zdolności adaptacyjne miast są kluczowymi determinantami trwałego rozwoju, pozwalając miastom efektywnie dostosowywać się do zmian klimatycznych, społecznych i ekonomicznych, co może wzmocnić ich rolę, jako liderów kreujących lepszą przyszłość.

Celem artykułu jest zrozumienie roli zielonych ścian we wspieraniu innowacji i adaptacji miejskich. Przedstawiona analiza korzyści, wyzwań i praktycznych przykładów implementacji zielonych ścian ma podkreślić ich potencjał do stymulowania innowacyjności i zwiększania zdolności adaptacyjnych miast w obliczu współczesnych wyzwań.

Wnioski z analizy wskazują na innowacyjny charakter zielonych ścian oraz ich elastyczność adaptacyjną, umożliwiającą stopniową integrację, zarówno w nowo projektowane, jak i istniejące struktury miejskie. Ponadto, zielone ściany mogą stać się integralną częścią inicjatyw zrównoważonego rozwoju, przyczyniając się do osiągania celów związanych z redukcją emisji gazów cieplarnianych, retencją wody deszczowej i poprawą jakości powietrza. Globalna inspiracja i wymiana doświadczeń między miastami wspierają rozwój innowacyjnych rozwiązań zielonych ścian, a badania nad nimi otwierają drogę do szerszych implikacji dla środowisk miejskich na całym świecie. Ostatecznie, zielone ściany są przedstawiane jako wieloaspektowe rozwiązanie wyzwań współczesnego planowania urbanistycznego, oferując korzyści ekologiczne, społeczne i ekonomiczne, które mogą być skutecznie osiągnięte poprzez staranne planowanie i innowacyjną technologię.

Artykuł sugeruje, że zielone ściany mają potencjał przyczynienia się do zrównoważonego i elastycznego rozwoju miast na całym świecie, pod warunkiem dalszych badań i skoordynowanej implementacji.

### SŁOWA KLUCZOWE

zielone ściany, żyjące ściany, zdolności adaptacyjne miast, innowacje, rozwiązania oparte na naturze (NBS)

## **Wstęp**

W dzisiejszym dynamicznie zmieniającym się środowisku miejskim, innowacje odgrywają kluczową rolę w kształtowaniu zrównoważonego rozwoju. Miasta na całym świecie konfrontują się z wyzwaniami związanymi z szybkim wzrostem populacji, zanieczyszczeniem środowiska, a także zmianami klimatu. W odpowiedzi na te trudności, konieczne jest poszukiwanie nowatorskich rozwiązań. Jednym z głównych typów rozwiązań urbanistycznych są rozwiązania oparte na naturze (NBS- Nature Based Solutions) [1,2,3]. Przykładem takich rozwiązań są zielone ściany [4,5]. Zielone ściany są rozwiązaniem inżynierskim, znanym również jako „żyjące ściany” lub „zielone elewacje”. Struktury te, na których rosną rośliny, stanowią harmonijne połączenie natury i architektury miejskiej, tworząc unikalne otoczenie estetyczne. Jednak ich rola wykracza daleko poza aspekty wizualne. Zielone ściany wprowadzają innowacyjne podejście do wykorzystania przestrzeni miejskiej, oferując szereg korzyści dla środowiska, zdrowia publicznego i efektywności energetycznej. W kontekście globalnym, innowacje i zdolności adaptacyjne miast stają się kluczowymi determinantami trwałego rozwoju [6,7]. Miasta, które potrafią skutecznie dostosowywać się do zmian klimatycznych, społecznych i ekonomicznych, mają szansę stać się liderami w kreowaniu lepszej przyszłości. Innowacyjne rozwiązania, takie jak zielone ściany, są często elementem szerszego podejścia do urbanizacji, obejmującego nowoczesne technologie, inteligentne systemy zarządzania, oraz rozwijanie infrastruktury przyjaznej środowisku [1,8].

Celem niniejszego artykułu jest głębsze zrozumienie roli, jaką pełnią zielone ściany, w kontekście wspierania innowacji i adaptacji miast. Poprzez analizę korzyści, wyzwań oraz przykładów praktycznych implementacji zielonych ścian, artykuł ma na celu podkreślenie potencjału tych struktur do stymulowania innowacyjności miejskiej oraz zwiększania zdolności adaptacyjnych miast wobec współczesnych wyzwań.

W kolejnych sekcjach artykułu zostaną omówione szczegóły związane z wpływem zielonych ścian na środowisko, zdrowie publiczne, aspekty ekonomiczne, a także przykłady miast, które już wprowadziły te innowacje w praktyce. Analiza ta ma na celu dostarczenie kompleksowego spojrzenia na rolę zielonych ścian, jako elementu wspierającego innowacje i adaptację w kontekście urbanizacji.

## **2. Wyzwania miejskie i potrzeba innowacji**

Urbanizacja jest niezaprzeczalnym trendem światowym. Obecnie ponad połowa światowej populacji mieszka w miastach, a do roku 2050 liczba ta ma wzrosnąć do dwóch trzecich [9]. Dla milionów ludzi miasta są miejscem, w którym spełniają się zawodowo, kulturowo i społecznie. Szybki rozwój miast zmienił krajobraz naszej planety, a miasta stały się ośrodkami działalności gospodarczej, kultury i postępu technologicznego. Stanowiły one arenę rewolucji w transporcie, komunikacji i infrastrukturze. Przeobraziły się w epicentra ludzkiej cywilizacji, reprezentując istotę ludzkiej pomysłowości, kreatywności i zdolności adaptacyjnych.

Jednakże ta sama urbanizacja, napędzana przez stale rosnącą populację światową, wymaga obecnie nowego rodzaju innowacji – skoncentrowanych na sprostaniu wyzwaniom środowiskowym i społecznym, związanych z gęstością zaludnienia w miastach [9]. Globalne zmiany klimatyczne stawiają przed miastami coraz większe wyzwania, polegające na radzeniu sobie z zagrożeniami jakie niosą za sobą

zanieczyszczenie powietrza [10], miejskie wyspy ciepła [11] czy utrata różnorodności biologicznej[12].

### **2.1.Zanieczyszczenie Powietrza**

Zanieczyszczenie powietrza, to jedno z najpilniejszych wyzwań miejskich obszarów na całym świecie. Emisje z transportu, przemysłu i produkcji energii generują toksyczne substancje, które wpływają na jakość powietrza w miastach. Skutki zanieczyszczenia powietrza obejmują choroby układu oddechowego, alergie, a nawet zwiększoną śmiertelność. Aby przeciwdziałać temu problemowi, miasta powinny opracowywać innowacyjne strategie zmniejszania emisji, promować transport publiczny, oraz wspierać rozwijanie technologii o niższym wpływie na środowisko.

### **2.2 Miejskie Wyspy Ciepła**

Miejskie wyspy ciepła (MWC, *ang. UHI – urban heat island*) to zjawisko, w którym obszary miejskie charakteryzują się znacznie wyższymi temperaturami niż tereny je otaczające. To zjawisko wynika głównie z nadmiernej zabudowy miejskiej, nieprzepuszczalnych nawierzchni oraz braku zieleni. Wysokie temperatury w miastach mogą prowadzić do przegrzania, wpływając negatywnie na zdrowie mieszkańców i zwiększając zapotrzebowanie na klimatyzację. Rozwiązania obejmują zwiększenie ilości zieleni miejskiej, tworzenie parków, dachów zielonych i zastosowanie technologii odbijających ciepło.

### **2.3 Utrata Różnorodności Biologicznej**

W obszarach miejskich często obserwuje się z utratę różnorodności biologicznej w wyniku rozwoju miejskiego, dewastacji naturalnych siedlisk i fragmentacji obszarów naturalnych. Ta utrata ma ogromne konsekwencje, nie tylko dla środowiska, ale także dla ludzi. Różnorodność biologiczna dostarcza ekosystemowe usługi, takie jak zapylenie roślin przez owady, oczyszczanie wody przez roślinność rzeczną i regulację klimatu. Władze miast powinny inwestować w ochronę i przywracanie zdegradowanych terenów, tworząc miejsca, gdzie dzika przyroda może istnieć obok życia miejskiego.

Długoterminowe zmiany klimatyczne i coraz częstsze ekstremalne zjawiska pogodowe, takie jak fale upałów, burze i powodzie, stawiają istotne wyzwania dla współczesnego planowania urbanistycznego. Aby sprostać tym wyzwaniom, potrzebne są innowacyjne rozwiązania inżynierskie, które zwiększą odporność miast, ograniczą efekt miejskiej wyspy ciepła i będą promować zrównoważony rozwój [13]. Rozwiązanie tych problemów wymaga innowacji na skalę miejską i podkreśla rolę miast jako ośrodków nowatorskich podejść. Stają się one laboratoriami nowych rozwiązań, które mogą być adaptowane i wdrażane na szeroką skalę. To w nich powstają nowe idee, technologie i strategie, które pozwalają nie tylko na przetrwanie, ale również na trwały rozwój w świecie zdominowanym przez urbanizację i zmiany klimatyczne. W tym dynamicznym krajobrazie miejskim zdolności adaptacyjne miast zajmują centralne miejsce, a globalny

imperatyw innowacji miejskich jest nierozzerwalnie powiązany z naszą zdolnością do przystosowania się do zmieniającego się klimatu.

### **3. Zdolność adaptacyjna miast**

Zdolność adaptacyjna miast dotyczy ich zdolności do skutecznego reagowania i radzenia sobie z różnymi wyzwaniami, zmianami i niepewnością [13]. Zdolność ta jest kluczowym aspektem odporności i zrównoważonego rozwoju miast. Miasta to dynamiczne, stale rozwijające się ekosystemy, kształtowane przez takie czynniki, jak wzrost liczby ludności, zmiany gospodarcze i postęp technologiczny. Zdolność adaptacyjna umożliwi miastom prosperowanie poprzez wykorzystanie tych zmian jako szans na wzrost i rozwój [8].

#### **3.1 Innowacja i postęp - integracja rozwiązań:**

Innowacja, jest kamieniem węgielnym zdolności adaptacyjnych. Miasta, które stawiają na innowację, mogą skuteczniej stawić czoła nowym wyzwaniom i wykorzystać pojawiające się możliwości. Innowacyjne rozwiązania, takie jak: zrównoważone planowanie urbanistyczne, technologie przyjazne dla środowiska i zielona infrastruktura, napędzają postęp i poprawiają doświadczenia miejskie. Rozwiązania technologiczne, oparte na naturze i działaniach dla społeczeństwa, gdy są zintegrowane, mogą dostarczyć niezbędnych elementów do umożliwienia transformacji strukturalnej lub systemowej, jednocześnie zachowując odpowiednią szerokość spektrum rozwiązań [1].

#### **3.2 Jakość życia i dobre samopoczucie:**

Celem gospodarzy każdego miasta powinno być dobro jego mieszkańców [12]. Zdolności adaptacyjne odgrywają kluczową rolę w zapewnieniu wysokiej jakości życia. Dostęp do czystego powietrza, terenów zielonych, opieki zdrowotnej, edukacji i usług społecznych to integralne elementy adaptacyjne, które miasta traktują priorytetowo w celu poprawy dobrostanu swoich mieszkańców.

#### **3.3 Zrównoważony rozwój i odporność:**

Zrównoważony rozwój i odporność miast są ściśle powiązane ze zdolnością adaptacyjną. Zrównoważone praktyki, takie jak redukcja emisji dwutlenku węgla, gospodarowanie odpadami i ochrona zasobów, są niezbędne dla długoterminowej żywotności miast. Odporność na wstrząsy, takie jak pandemie, klęski żywiołowe, czy pogorszenie koniunktury gospodarczej, jest wzmacniana przez zdolność miast do szybkiego i skutecznego dostosowywania się do nieprzewidzianych wyzwań [13].

#### **3.4 Efektywność ekonomiczna:**

Odpowiedzialna i elastyczna gospodarka miejska jest kluczowym czynnikiem, wpływającym na zdolność miasta do adaptacji. Uznawanie ekonomicznej wartości usług ekosystemowych oraz zwiększanie tej wartości poprzez wzmacnianie ich funkcjonalności, pełni rolę ekonomicznej akceptacji roli zielonej infrastruktury [6].

#### **3.5 Odpowiedzialność za środowisko naturalne:**

Miasta, odgrywają znaczącą rolę w ochronie środowiska, priorytetowo traktując adaptacyjne inicjatywy ekologiczne, pomagające łagodzić zmiany klimatyczne, chronić

naturalne ekosystemy i tworzyć zrównoważone środowisko miejskie[2]. Strategie takie jak: praktyki ekologicznego budownictwa, efektywność energetyczna i zrównoważone systemy transportu, są zgodne z odpowiedzialnością za środowisko [1].

### **3.6 Zaangażowanie i włączenie społeczne:**

Miasta adaptacyjne promują zaangażowanie i włączenie społeczne, poprzez angażowanie mieszkańców w procesy decyzyjne [1]. Spójność społeczna i inkluzywność sprzyjają zaufaniu, współpracy i poczuciu przynależności, co z kolei przyczynia się do ogólnej zdolności adaptacyjnej miasta.

### **3.7 Uczenie się i dzielenie wiedzą:**

Uczenie się i dzielenie wiedzą, są niezbędne dla zdolności adaptacyjnych. Włodarze miast, którzy stale uczą się na swoich doświadczeniach, dzielą się najlepszymi praktykami i w oparciu o nową wiedzę, dostosowują swoje polityki zarządzania miastem, by lepiej stawić czoła zmieniającym się wyzwaniom [8].

Podsumowując, zdolność adaptacyjna miast jest kluczem do ich witalności i długowieczności w świecie, który stale się zmienia. Obejmuje zdolność nie tylko do przetrwania i wyjścia z kryzysu, ale także do rozwoju, wprowadzania innowacji i utrzymania, a nawet poprawiania jakości życia mieszkańców. Miasta, które traktują priorytetowo zdolności adaptacyjne i inwestują w nie, są lepiej przygotowane do radzenia sobie ze złożonością współczesnego krajobrazu miejskiego, czyniąc je bardziej odpornymi, zrównoważonymi i sprzyjającymi podwyższaniu jakości życia ich mieszkańców [8,14]. W tym kontekście zielone ściany, definiowane jako pionowe powierzchnie porośnięte roślinami, stanowią narzędzie, zwiększające zdolność miasta do przeciwstawiania się wyzwaniom środowiskowym. Dzięki unikalnemu połączeniu korzyści ekologicznych, społecznych i ekonomicznych, stanowią innowacyjną odpowiedź na te problemy.

## **4. Zielone ściany**

Pomysł na zielone ściany sięga starożytnego Babilonu, gdzie ogrody wiszące „Babilońskie Ogrody Wiszące”, miały formę ogrodów na tarasach budynków. Pierwsze istotne próby promocji struktur, które umożliwiały roślinom rozwijanie się na pionowych powierzchniach, zaczęły się pojawiać w pierwszych dekadach XX wieku. Amerykański profesor architektury krajobrazu z Uniwersytetu Illinois, Stanley Hart White, stworzył koncepcję nowoczesnej zielonej ściany, prezentując ją w przełomowym projekcie w 1931 roku. Siedem lat później zdołał nawet zdobyć patent. Niestety, wynalazek profesora White'a został uznany za praktycznie niezastosowalny i nie zdobył powszechnego uznania. Współczesne zielone ściany, jako koncept architektoniczny i środowiskowy pojawiły się w latach 80. XX wieku, kiedy to architekci i inżynierowie zaczęli rozważać rośliny jako element zdolny poprawić efektywność energetyczną budynków oraz

jako estetyczny element miejskiego krajobrazu. W ciągu ostatnich kilku dziesięcioleci zielone ściany zyskały na popularności, stając się istotnym elementem współczesnej architektury miejskiej.

#### 4.1 Współczesne zielone ściany.

Zielone ściany, znane również jako „*vertical gardens*,” „*living walls*,” lub „*green walls*,” stanowią innowacyjne podejście do zazieleniania miejskich przestrzeni. Są to struktury, na których rośliny są uprawiane wertykalnie, tworząc wrażenie naturalnego ogrodu na pionowej powierzchni [15]. Zielone ściany mogą mieć różne rozmiary, od małych paneli przy wejściach do budynków, po ogromne, wielopiętrowe instalacje, na fasadach wieżowców. Zasadniczo można je podzielić na dwie kategorie:

- **Zielone elewacje:** to rodzaj zielonej powierzchni, która jest zazwyczaj przytwierdzona do zewnętrznej powierzchni budynku, działając jak okładzina. Wykorzystuje różnorodne rośliny, w tym pnącza, byliny i krzewy, które rosną w pionowy sposób, na specjalnych systemach montażowych.
- **Żyjące ściany:** to struktura, która jest zbudowana z roślin, ziemi i innych naturalnych materiałów, tworząc środowisko sprzyjające wzrostowi roślin. Wykorzystuje glebę, rośliny, a czasem także inne elementy ekologiczne, takie jak mchy, czy porosty.

Konstrukcje te składają się z kilku podstawowych elementów:

- podpory, czyli szkieletu konstrukcyjnego, który utrzymuje całą strukturę na fasadzie budynku,
- warstwy nośnej, zapewniającej odpowiednie warunki do wzrostu roślin, dostarczającej substancji odżywczych oraz zabezpieczającej przed nadmiernym przesuszeniem,
- substratu, na który składa się specjalna mieszanka gleby, dostosowana do potrzeb roślin rosnących w pionowej przestrzeni,
- warstwie roślinnej, na którą składają się rośliny sadzone w specjalnych pojemnikach lub systemach nośnych na powierzchni ściany,
- irygacji, czyli systemu nawadniania, który utrzymuje odpowiedni poziom wilgoci dla roślin.

#### 4.2 Korzyści z zielonych ścian.

##### 4.2.1 Poprawa jakości powietrza w miastach:

Poprawa jakości powietrza w miastach jest kwestią istotną, zważywszy na obawy związane z zanieczyszczeniem, pochodzącym głównie z transportu, przemysłu i codziennej działalności ludzkiej. W tym kontekście, zielone ściany stanowią skuteczną strategię, oferującą szereg korzyści związanych z poprawą jakości powietrza [16].

Zielone ściany działają jak naturalne filtry powietrza, zdolne wychwytywać cząstki stałe z atmosfery [17,18,19]. W środowisku miejskim, gdzie zanieczyszczenia stanowią poważne zagrożenie zdrowotne, usuwanie cząstek stałych przyczynia się do poprawy czystości powietrza, co korzystnie wpływa na zdrowie układu oddechowego mieszkańców.

Dodatkowo, rośliny umieszczone na zielonych ścianach absorbują gazowe zanieczyszczenia, takie jak dwutlenek azotu, dwutlenek siarki i lotne związki organiczne. Proces ten pozwala na przekształcanie i pochłanianie substancji zanieczyszczających, co skutkuje poprawą jakości powietrza i ograniczeniem narażenia na szkodliwe substancje [17,19,20].

Niebagatelne znaczenie ma także sekwestracja dwutlenku węgla poprzez proces fotosyntezy, zachodzący w roślinach zielonych ścian. Absorpcja dwutlenku węgla i wydzielanie tlenu przez te rośliny przyczynia się do łagodzenia skutków zmian klimatycznych, redukując emisję gazów cieplarnianych i wpływając korzystnie na bilans węgla w miastach [17,20].

Warto podkreślić, że zielone ściany nie tylko wpływają bezpośrednio na jakość powietrza, ale także regulują mikroklimat poprzez zacienianie i chłodzenie otoczenia. Ten efekt przyczynia się do zmniejszenia miejskiej wyspy ciepła, będącej powszechnym problemem w gęsto zaludnionych obszarach miejskich. Niższe temperatury, uzyskane dzięki zielonym ścianom, nie tylko poprawiają jakość powietrza, lecz także przyczyniają się do ograniczenia zużycia energii na chłodzenie miejskich obszarów [17,20,21].

#### **4.2.2 Zwiększanie różnorodności biologicznej i odporności ekologicznej w miastach:**

Wzmacnianie różnorodności biologicznej i budowanie odporności ekologicznej w miastach są kluczowe dla utrzymania adaptacyjnych zdolności miejskich ekosystemów w obliczu wyzwań środowiskowych. Zielone ściany pełnią istotną rolę w tym kontekście, przyczyniając się do tworzenia mikrosiedlisk dla różnorodnych gatunków roślin, owadów, a nawet ptaków [18]. Stanowią one dogodne warunki do rozwoju dzikich zwierząt w obszarach miejskich, zapewniając schronienie, pożywienie i miejsca lęgowe [22,23,24,25,26].

Dodatkowo, zielone ściany odgrywają kluczową rolę w ochronie różnorodności biologicznej poprzez dostarczanie terenów zieleni w gęsto zurbanizowanych środowiskach. To z kolei wspiera ochronę gatunków roślin i zwierząt, które mogłyby być zagrożone ekspansją miejskich obszarów. Taka inicjatywa przyczynia się do długoterminowej odporności ekologicznej miasta [18].

Różnorodność biologiczna na terenach miejskiej zieleni, w tym na zielonych ścianach, dostarcza nie tylko estetycznych korzyści, ale także kluczowe usługi ekosystemowe. Te obejmują istotne funkcje, takie jak zapylenie, kontrola szkodników i oczyszczanie wody. W rezultacie, miejskie ekosystemy korzystają z tych usług, co przekłada się na dobrostan ludzi i ogólne zdrowie ekosystemów miejskich [4,11].

Zwiększanie różnorodności biologicznej w miastach ma także istotne znaczenie dla utrzymania równowagi ekologicznej. Ta równowaga jest kluczowa dla przystosowania się do zmian środowiskowych, w tym wahaniami klimatycznych i zagrożenia ze strony gatunków inwazyjnych.

#### **4.2.3 Łagodzenie efektu miejskiej wyspy ciepła:**

Zielone ściany są nieocenionym narzędziem w łagodzeniu efektu miejskiej wyspy ciepła, co stanowi kluczowy element adaptacji miast do wzrostu temperatur związanych ze zmianami klimatycznymi [16,27,28]. Wspomagają naturalne chłodzenie, co przekłada się na zmniejszenie zużycia energii na klimatyzację podczas upałów, promując tym samym tworzenie energooszczędnych środowisk miejskich.

Mechanizm chłodzenia poprzez ewapotranspirację, związany z zielonymi ścianami polega na parowaniu wody z liści roślin i jej transpiracji z łodyg roślin. Ten proces skutecznie chłodzi otaczające powietrze i powierzchnie, co przekłada się na redukcję efektu miejskiej wyspy ciepła [29,30,31].

Ponadto, zielone ściany pełnią rolę w zapewnianiu cienia i izolacji termicznej. Pionowe ogrody na zielonych ścianach działają jak bariera termiczna, zmniejszając absorpcję ciepła słonecznego przez budynki i inne struktury miejskie. To z kolei, wspomaga utrzymanie niższych temperatur w mieście, co ma istotne znaczenie w kontekście zmniejszania wpływu miejskiej wyspy ciepła [5,20,31].

Dodatkowo, zielone ściany przyczyniają się do efektu albedo miejskiego, odbijając więcej światła słonecznego i pochłaniając mniej ciepła, w porównaniu z tradycyjnymi powierzchniami betonowymi, lub asfaltowymi. Jasne powierzchnie roślin na zielonych ścianach, skutecznie odbijają promieniowanie słoneczne, zmniejszając zatrzymywanie ciepła i wspomagając tym samym redukcję efektu miejskiej wyspy ciepła [11,29]. Warto również podkreślić, że zdolność zielonych ścian do oczyszczania powietrza ma pozytywny wpływ na złagodzenie emisji gazów cieplarnianych, poprzez redukcję zanieczyszczeń atmosferycznych. Niższy poziom zanieczyszczenia powietrza jest związany ze spadkiem poziomu ozonu w warstwie przyziemnej, co przyczynia się do redukcji efektu miejskiej wyspy ciepła [20].

#### **4.2.4 Promowanie energooszczędnego środowiska miejskiego:**

Zielone ściany przynoszą liczne korzyści, które przyczyniają się do zrównoważonego rozwoju miejskich obszarów, zarówno pod względem środowiskowym, jak i ekonomicznym. Dzięki naturalnemu chłodzeniu, poprzez zacienianie budynków przestrzeni publicznych, zielone ściany skutecznie redukują potrzebę korzystania z klimatyzacji podczas upałów. Ten naturalny efekt chłodzenia przekłada się na istotne oszczędności energii, co nie tylko zmniejsza koszty eksploatacyjne, ale również ogranicza emisję gazów cieplarnianych [5,31], wspierając w ten sposób cele zrównoważonego rozwoju .

Dodatkowo, zielone ściany pełnią funkcję izolatorów, redukując przyrost ciepła przez ściany budynków. Ta izolacyjność, zmniejsza zależność od sztucznych systemów ogrzewania i chłodzenia, co przekłada się na dalsze obniżenie zużycia energii [5,15].

Aspekt retencji i oczyszczania wody, to kolejna istotna zaleta zielonych ścian. Zielone ściany, zwłaszcza systemy zielonych fasad i żywych ścian, mogą odgrywać istotną rolę w retencji wód deszczowych. Substrat, używany do utrzymania roślin absorbuje i gromadzi wodę deszczową, zmniejszając ryzyko powodzi miejskich, przyczyniając się do zrównoważonego zarządzania wodami opadowymi. Rośliny na zielonych fasadach pomagają w absorpcji zanieczyszczeń, ponieważ korzenie i podłoże pełnią funkcję naturalnego filtra, redukując ilość substancji niepożądanych przed wypuszczeniem wody z powrotem do środowiska [18,29,32,33].

Tworzenie bardziej komfortowego mikroklimatu na obszarach miejskich, jest kolejnym pozytywnym skutkiem zielonych ścian [20,30]. To przekłada się na zmniejszoną zależność mieszkańców i pracowników od energochłonnych systemów kontroli klimatu, co nie tylko zwiększa efektywność energetyczną, ale również przynosi oszczędności na rachunkach za energię.



W kontekście zrównoważonego zarządzania zasobami, zielone ściany mogą pomóc w oszczędności wody. Choć wymagają nawadniania, efektywne zarządzanie tym procesem, na przykład przez stosowanie nawadniania kropłowego, czy recykling wody, pozwala ograniczyć ogólne zużycie wody, w porównaniu z tradycyjnymi formami kształtowania krajobrazu [15,32,20,34]. Dzięki temu, zielone ściany stają się nie tylko estetycznym dodatkiem do miejskich przestrzeni, ale także praktycznym i zrównoważonym elementem urbanistyki.

#### **4.2.5 Pozytywny wpływ na zdrowie psychiczne i fizyczne:**

Zielone ściany mają istotny pozytywny wpływ na zdrowie psychiczne i fizyczne mieszkańców miejskich, oferując szereg korzyści, związanych z redukcją stresu i poprawą ogólnego samopoczucia. Redukcja stresu, jest jednym z kluczowych efektów zielonych przestrzeni w miastach, w tym zielonych ścian [20,35]. Ekspozycja na naturalne elementy, nawet w środowisku miejskim, została udowodniona jako czynnik uspokajający, zdolny obniżyć poziom stresu i przyczynić się do poprawy psychicznego samopoczucia [35]. W szybkim tempie życia miejskiego, jest to szczególnie ważne dla mieszkańców, którzy często doświadczają wysokiego poziomu stresu.

Elementy naturalne na zielonych ścianach, takie jak rośliny, tworzą możliwości dla odnowy psychicznej [17,20,36]. Czas spędzony w otoczeniu zieleni pomaga ludziom się zrelaksować, odzyskać koncentrację i złagodzić zmęczenie psychiczne, co wspomaga ich odporność psychiczną [35].

Przestrzenie zielone, w tym zielone ściany, stają się także miejscami spotkań społeczności, co przyczynia się do wzmocnienia interakcji społecznych i poczucia wspólnoty. Wymienione aspekty wspierają dobrostan emocjonalny, redukując izolację i promując zdrowie psychiczne mieszkańców miast [20].

Dostęp do terenów zieleni, tworzonych m.in. przez zielone ściany, zachęca do aktywności fizycznej, co wpływa pozytywnie na zdrowie fizyczne i psychiczne [29]. Przyciągają one mieszkańców do aktywności na świeżym powietrzu, takich jak spacer, jogging, czy joga [37].

Poprawa jakości powietrza, dzięki zielonym ścianom, dodatkowo sprzyja podniesieniu atrakcyjności spędzania czasu na zewnątrz. Filtracja zanieczyszczeń, skutkuje lepszym zdrowiem układu oddechowego i poprawą ogólnego samopoczucia fizycznego [16,33].

Zielone ściany oraz inne obszary zielone w gęsto zaludnionych obszarach miejskich, pozwalają mieszkańcom na utrzymanie więzi z naturą [37,38]. Ten związek z przyrodą, łączy się z pozytywnymi skutkami zdrowotnymi, takimi jak zmniejszenie objawów lęku i depresji [36].

Dodatkowo, zielone ściany mogą być wykorzystywane przez rolnictwo miejskie, co przyczynia się do zwiększenia dostępności świeżych i zdrowych produktów w miejskich obszarach. Takie inicjatywy, zachęcają mieszkańców do przyjęcia bardziej zrównoważonego, świadomego i zdrowego stylu życia [15,33].

#### **4.2.6 Zwiększanie atrakcyjności estetycznej:**

Zielone ściany, dzięki swojej estetycznej funkcji, wprowadzają do miejskich krajobrazów przyjemny wizualny element, który odświeża otoczenie miejskie [33,39]. Bujna zieleń i kolorowe nasadzenia stanowią wyraźny kontrast, wobec betonowych i szklanych struktur, tworząc harmonijne i estetyczne krajobrazy miejskie. Ta wizualna różnorodność, przyczynia się do poprawy ogólnej atrakcyjności miejskich obszarów [40].

Integracja z architekturą budynków, przestrzeni publicznych i infrastruktury, to kolejny aspekt, który sprawia, że zielone ściany stają się unikalnym i atrakcyjnym elementem architektonicznym [29,38,39]. Możliwość dostosowywania ich do projektów budynków, podkreśla charakter i urok miejskich obszarów, sprawiając, że stają się one bardziej przyjazne dla mieszkańców i odwiedzających.

Dynamiczny charakter zielonych ścian, związany z różnorodnością gatunków roślin i sezonowymi zmianami w liściach i kwitnieniu [40], dodaje kolejny walor estetyczny. To ciągłe przemienianie się krajobrazu przez cały rok, czyni miejskie przestrzenie bardziej intrygującymi i atrakcyjnymi. Różnice w wyglądzie, zależne od pory roku sprawiają, że zielone ściany stają się dynamicznym elementem, dostarczając dla mieszkańców i odwiedzających coraz to nowych wrażeń wizualnych.

#### **4.2.7 Budowanie poczucia wspólnoty:**

Zielone ściany odgrywają istotną rolę w budowaniu poczucia wspólnoty, tworząc przestrzenie sprzyjające interakcji społecznej i współdziałaniu mieszkańców. Publiczne miejsca spotkań, często związane z zielonymi ścianami, stają się centrami społecznościowymi, gdzie ludzie mogą się spotykać, rozmawiać i wspólnie spędzać czas. Te obszary sprzyjają budowaniu relacji między mieszkańcami, wzmacniając poczucie wspólnoty i wspólnej tożsamości [20].

Zaangażowanie społeczności w utrzymanie i pielęgnację zielonych ścian, może dodatkowo wzmacniać wspólnotę. Kiedy mieszkańcy uczestniczą w trosce o te przestrzenie, rozwija się poczucie wspólnego zaangażowania, własności i odpowiedzialności za otaczające środowisko. To zaangażowanie społeczne przyczynia się do spójności społecznej i wzmacnia dumną więź z lokalnym środowiskiem.

Znaczenie kulturowe, które można przypisać zielonym ścianom, poprzez ich projektowanie zgodnie z kontekstem kulturowym i historycznym danego obszaru miejskiego, dodaje dodatkowy wymiar społecznościowej tożsamości. Zielone ściany mogą stać się rozpoznawalnymi punktami orientacyjnymi, ułatwiając nawigację w przestrzeni miejskiej [20].

Edukacja i świadomość, które można promować za pomocą zielonych ścian jako narzędzi edukacyjnych, sprzyjają budowaniu wspólnej wiedzy i zrozumienia. To wspólne zaangażowanie w kwestie zrównoważonego rozwoju przyczynia się do wzmocnienia

poczucia wspólnoty, gdy mieszkańcy wspólnie pracują nad tworzeniem bardziej ekologicznego i świadomego otoczenia.

Wreszcie, silne poczucie wspólnoty może stanowić podstawę odporności społecznej wobec różnych wyzwań, takich jak problemy gospodarcze, zmiany demograficzne, czy kryzysy zdrowotne. Społeczności dobrze zorganizowane i zjednoczone są lepiej przygotowane do wspólnego radzenia sobie z trudnościami, co przyczynia się do budowy bardziej odpornych społeczeństw miejskich.

#### **4.2.8 Redukcja szumów:**

Zielone ściany stanowią także naturalną barierę dla zanieczyszczeń hałasem, pomagając zmniejszyć wpływ hałasu miejskiego na jakość życia mieszkańców. Rośliny wypełniające zielone ściany pochłaniają i odbijają dźwięk, tworząc cichsze i spokojniejsze środowisko miejskie [20,42]. Jest to szczególnie cenne na obszarach gęsto zaludnionych, gdzie częstym problemem jest „zanieczyszczenie” hałasem.

#### **4.2.9 Oszczędność Przestrzeni:**

W miastach, gdzie brakuje dostępnego miejsca na tradycyjne ogrody, zielone ściany stanowią rozwiązanie, które pozwala wykorzystać pionową przestrzeń. Dzięki nim można wprowadzić elementy zieleni w miejscach, gdzie wcześniej nie było to możliwe [3,39,43].

### **4.3 Wyzwania we wdrażaniu zielonych ścian.**

Wprowadzanie zielonych ścian w przestrzeni miejskiej, stanowi innowacyjny krok, w kierunku tworzenia bardziej zrównoważonego i estetycznego otoczenia miejskiego. Jednakże, podczas gdy idea ta zdobywa popularność, proces wdrażania zielonych ścian niesie ze sobą szereg wyzwań, zarówno o charakterze technicznym, jak i społeczno-ekonomicznym. Starając się zintegrować tę innowacyjną koncepcję z urbanistyczną tkanką miasta, napotykamy na bariery, które wymagają starannej analizy i rozwiązania. Mając na uwadze zarówno aspekty praktyczne, jak i kwestie społeczne i ekonomiczne, głównymi trudnościami związanymi z implementacją zielonych ścian są:

#### **4.3.1 Skomplikowany proces projektowy:**

Wdrażanie zielonych ścian, często wymaga współpracy różnych ekspertów i specjalistów z różnych dziedzin. Współpraca interdyscyplinarna jest kluczowa, ponieważ projekty te łączą nauki ścisłe, inżynierię, architekturę, hortikulturę i wiele innych specjalności. Współpraca tak wielu osób może być trudna, ze względu na różnice w perspektywach i wiedzy.

#### **4.3.2 Odporność Roślin i Warunki Klimatyczne:**

Wybór roślin, które są dostosowane do lokalnych warunków klimatycznych i odporne na choroby, jest kluczowy dla sukcesu zielonych ścian. Wybór odpowiednich roślin, które mogą rozwijać się w warunkach pionowych, są odporne na lokalny klimat i zapewniają pożądane korzyści estetyczne i ekologiczne, to złożone zadanie, wymagające wiedzy ogrodniczej [10].

#### **4.3.3 Aspekty techniczne i technologiczne:**

Integralność strukturalna budynków wspierających zielone ściany ma ogromne znaczenie. Nie wszystkie budynki nadają się do montażu zielonych ścian, dlatego aby zapewnić bezpieczeństwo i stabilność tych instalacji, wymagane są staranne rozważania inżynierskie i architektoniczne [18].

Do trwałego sukcesu zielonych ścian w przestrzeni miejskiej, potrzeba integracji mechanizmów pozwalających na skuteczniejsze zarządzanie i utrzymanie zielonych ścian. Jednakże wdrożenie systemów monitorowania, które pomagają w śledzeniu stanu zdrowia roślin i automatyzacji procesów pielęgnacyjnych, może być wyzwaniem technologicznym.

#### **4.3.4 Regulacje i pozwolenia:**

W niektórych obszarach istnieją przepisy i ograniczenia prawne, dotyczące instalacji zielonych ścian, co może utrudniać proces wdrażania [4]. W niektórych przypadkach wymagane są zgody od mieszkańców lub wspólnoty, co może wydłużać proces decyzyjny.

#### **4.3.5 Koszty inwestycyjne i długoterminowe wymagania konserwacyjne:**

Montaż zielonych ścian może być stosunkowo kosztowny, ze względu na zakup odpowiednich roślin, systemów podtrzymujących rośliny, nawadnianie i technologie związane z utrzymaniem. Regularna opieka nad zielonymi ścianami, w tym podlewanie, nawożenie, przycinanie i naprawy, może generować znaczne koszty eksploatacyjne. Taka perspektywa może zniechęcić część gmin i deweloperów do ich stosowania [44].

#### **4.3.6 Edukacja i akceptacja społeczna:**

Niska świadomość korzyści z zielonych ścian wśród społeczności lokalnej, może prowadzić do oporu lub braku akceptacji. Konieczność edukacji mieszkańców na temat korzyści z zielonych ścian oraz ich roli w poprawie stanu środowiska, może być wyzwaniem.

#### **4.4 Cechy zielonych ścian, a zdolności adaptacyjne miast.**

Współczesne miasta, konfrontowane z wyzwaniami związanymi z szybkim wzrostem populacji, zmianami klimatycznymi i potrzebą zrównoważonego rozwoju, poszukują innowacyjnych rozwiązań, mających na celu poprawę jakości życia mieszkańców. Jednym z obiecujących trendów urbanistycznych są zielone ściany [17], które nie tylko podnoszą estetykę przestrzeni miejskiej, ale także wykazują potencjał, w kierunku adaptacji miast do zmieniających się warunków. W poniższej tabeli zestawiamy kluczowe cechy zielonych ścian z ich zdolnościami adaptacyjnymi oraz identyfikujemy przykładowe wyzwania, jakie mogą pojawić się podczas ich wdrażania, w różnych obszarach miejskich. Obejmuje to aspekty takie jak: odporność na ekstremalne warunki atmosferyczne, poprawa jakości powietrza, zarządzanie kryzysowe, zaangażowanie społeczne i wiele innych. W ten sposób analizujemy, w jaki sposób zielone ściany mogą stanowić integralną część strategii adaptacyjnych miast, jednocześnie identyfikując wyzwania, które wymagają uwagi i współpracy międzysektorowej dla pełnego sukcesu implementacji.

Tab. 1. Cechy zielonych ścian a zdolności adaptacyjne miast.  
Tab. 1. Features of green walls and the adaptability of cities.

<b>CECHY ZIELONYCH ŚCIAN</b>	<b>ZDOLNOŚCI ADAPTACYJNE MIAST</b>	<b>KORZYŚCI</b>	<b>WYZWANIA WE WDRAŻANIU</b>
Absorpcja CO <sub>2</sub>	Redukcja efektu miejskiej wyspy ciepła	Rośliny tworzące zielone ściany absorbują CO <sub>2</sub> , co pomaga w ograniczeniu efektu cieplarnianego, przyczyniając się do obniżenia temperatury w obszarach miejskich	Konieczność doboru roślin odpornych na miejskie warunki; - Wymaga regularnej pielęgnacji i konserwacji zielonych ścian.
Filtracja powietrza	Odpowiedzialność za środowisko naturalne	Rośliny na zielonych ścianach działają jak naturalny filtr powietrza, poprawiając jakość atmosfery i chroniąc mieszkańców przed szkodliwymi substancjami.	Konieczność monitorowania stanu zdrowia roślin i jakości powietrza; - Wymaga systemów utrzymania i kontroli jakości powietrza.
Retencja wody	Minimalizacja skutków ekstremalnych opadów deszczu	Zielone ściany mogą być zaprojektowane z systemami retencji wody, co przyczynia się do ograniczenia ryzyka powodzi w wyniku intensywnych opadów deszczu.	Konieczność uwzględnienia wpływu na struktury budynków, zwłaszcza w przypadku konieczności wprowadzenia dodatkowych systemów retencji. - Wymaga konsultacji z architektami i inżynierami budowlanymi
Zwiększona bioróżnorodność	Odporność na zmienne warunki klimatyczne	Różnorodność biologiczna na zielonych ścianach, dostarcza usługi ekosystemowe takie jak zapylanie, zwalczanie szkodników i oczyszczanie wody. Tworzenie różnorodnych ekosystemów na zielonych ścianach wspiera adaptację do różnych warunków środowiskowych.	Konieczność doboru roślin sprzyjających różnorodności biologicznej; - Wymaga monitorowania i kontroli populacji, unikając nadmiernego rozwoju szkodników.
Naturalna izolacja cieplna	Elastyczność w adaptacji do nowych technologii i efektywność ekonomiczna	Zielone ściany dostarczają naturalną izolację cieplną, co pozwala na elastyczne dostosowanie się miast do nowoczesnych rozwiązań budowlanych. Zmniejszone zużycie energii dzięki naturalnemu chłodzeniu, co przekłada się na oszczędności w kosztach klimatyzacji.	Konieczność inwestycji początkowej w infrastrukturę zielonych ścian. Konieczność doboru roślin pod kątem miejscowego klimatu oraz ekspozycji zielonej ściany względem stron świata; -Wymaga stałej konserwacji i monitorowania życia roślin.
Estetyczna poprawa krajobrazu	Zrównoważone zarządzanie zasobami naturalnymi	Estetyczna wartość zielonych ścian przyczynia się do zwiększenia świadomości ekologicznej i promuje zrównoważone zarządzanie zasobami naturalnymi w mieście.	Konieczność uwzględnienia różnorodności preferencji estetycznych mieszkańców; - Wymaga stałej opieki nad roślinami.
Integracja z architekturą	Edukacja społeczna w zakresie środowiskowego zaangażowania	Integracja zielonych ścian z architekturą przyciąga uwagę mieszkańców, umożliwiając skuteczną edukację na temat korzyści związanych z zielonymi technologiami.	Konieczność opracowania programów edukacyjnych dostosowanych do różnych grup społecznych; - Wymaga partnerstw z instytucjami edukacyjnymi.
Budowanie poczucia wspólnoty	Zaangażowanie i włączenie społeczne	Projektowanie przestrzeni zielonych z uwzględnieniem potrzeb społeczności lokalnych, angażowanie mieszkańców w procesy pielęgnacji, edukacyjne programy związane z zielonymi ścianami.	Konieczność uwzględnienia opinii i potrzeb społeczności lokalnych przy projektowaniu przestrzeni zielonych; - Wymaga partycypacji społecznej.
Pozytywny wpływ na zdrowie fizyczne i psychiczne	Jakość życia i dobre samopoczucie	Estetyczne i relaksacyjne otoczenie stworzone przez zielone ściany poprawiają ogólną jakość życia mieszkańców, co z kolei kształtuje pozytywną atmosferę społeczną.	Konieczność tworzenia dostępnych przestrzeni zielonych, nawet na gęsto zurbanizowanych obszarach; - Wymaga integracji z planami urbanistycznymi.

Zrównoważony rozwój urbanistyczny	Partnerstwa międzysektorowe dla zrównoważonego rozwoju	Implementacja zielonych ścian może być częścią szerszych strategii zrównoważonego rozwoju miejskich obszarów, wymagających współpracy między sektorami publicznym i prywatnym.	Konieczność budowania współpracy między sektorem publicznym, prywatnym i społecznym; - Wymaga opracowania wspólnych strategii rozwoju. - Wymaga monitorowania wpływu na lokalne ekosystemy.
Wykorzystanie przestrzeni pionowej	Systemy zarządzania kryzysowego dostosowane do zmian klimatu	Zastosowanie zielonych ścian może pomóc w wykorzystaniu przestrzeni wertykalnej miast, a jednocześnie wspierać rozwój systemów zarządzania kryzysowego, dostosowanych do zmian klimatycznych.	Konieczność opracowania nowych standardów budowlanych; - Wymaga znacznej inwestycji początkowej .
Efektywna gospodarka wodna i energetyczna	Infrastruktura odporna na ekstremalne zjawiska atmosferyczne	Zielone ściany, poprzez efektywne gospodarowanie wodą i energią, mogą wspierać rozwój infrastruktury odpornej na ekstremalne zjawiska atmosferyczne, takie jak burze czy susze.	Konieczność dostosowania projektów zielonych ścian do różnych rodzajów ekstremalnych zjawisk atmosferycznych; - Wymaga badań nad odpornością roślin. Konieczność dostosowania konstrukcji do dodatkowego obciążenia, związanego z roślinnością;

Źródło: opracowanie własne

## 5. Zielone ściany w strategiach urbanistycznych wybranych miast.

W dzisiejszym dynamicznym środowisku miejskim, miasta na całym świecie szukają innowacyjnych rozwiązań, aby sprostać wyzwaniom związanym z szybkim wzrostem, zanieczyszczeniem środowiska i pogarszającą się jakością życia. W kontekście zrównoważonego rozwoju, zielone ściany stały się istotnym elementem, przyczyniając się zarówno do poprawy estetyki miejskich przestrzeni, jak i do rozwiązywania problemów środowiskowych.

Przykładami miast, które wdrażają zielone ściany do swoich strategii i planów urbanistycznych są Singapur, Mediolan i Oslo. Ich innowacyjne podejście i skuteczność stworzyły inspirujące wzorce dla innych miejsc na świecie. Miasta te czerpią z wzajemnych doświadczeń, dostosowując innowacyjne strategie do swoich unikalnych kontekstów miejskich.

### 5.1 Singapur

Singapur to miasto, które zyskało międzynarodową sławę, dzięki innowacjom w dziedzinie architektury zielonych budynków. Singapurskie wytyczne urbanistyczne promują zrównoważone rozwiązania, w tym zielone ściany, jako integralne elementy nowoczesnych budynków. W ciągu ostatniej dekady Singapur skupił się na zostaniu „miastem w naturze”, aby zwiększyć ochronę różnorodności biologicznej i wdrożyć rozwiązania oparte na przyrodzie. Modele klimatyczne przewidują rosnące temperatury w Singapurze, stwarzając ryzyko dla jego populacji, gospodarki i ekosystemów. Efekt miejskiej wyspy ciepła, spotęgowany przez zwartą zabudowę urbanistyczną, przyczynia się do wzrostu temperatur, a różnice między obszarami miejskimi i wiejskimi wynoszą ponad 7°C. Aby sprostać tym wyzwaniom, Singapur wdrożył rozwiązania ekologiczne i technologiczne, w tym zielone dachy i ściany. Projekt Cooling Singapore, jest owocem współpracy uniwersytetów i rządu. Efektem tego projektu jest dokument strategiczny, a kolejna faza obejmuje wykorzystanie platform dużych zbiorów danych

i informacji przestrzennej do stworzenia cyfrowego bliźniaka klimatu miejskiego (DUCT) Singapuru. DUCT integruje różne modele obliczeniowe, w tym modele środowiskowe, powierzchniowe, przemysłowe, drogowe i energetyczne, w celu opracowania systemu wspomagania decyzji. System ten ma na celu ustalanie priorytetów i wybór strategii obejmujących aspekty środowiskowe, gospodarcze i społeczne, pomagając urbanistom w podejmowaniu decyzji politycznych, opartych na informacjach klimatycznych. Uważa się, że rozwój DUCT ma kluczowe znaczenie dla oceny różnych środków chłodzenia i scenariuszy planowania. Umożliwia urbanistom, inżynierom i badaczom ocenę korzyści i kosztów różnych strategii, w tym systemów transportowych, technologii budowlanych, rodzajów roślin i rozwiązań w zakresie projektowania urbanistycznego, wrażliwych na klimat. Projekt podkreśla znaczenie łączenia rozwiązań technologicznych, przyrodniczych i społecznych w celu osiągnięcia celów zrównoważonego rozwoju i zwiększenia odporności miasta na zmiany klimatyczne, w różnych kontekstach społeczno- gospodarczych [45].

## 5.2 Mediolan

Mediolan, znany ze swojego zaangażowania w zrównoważony rozwój i upiększanie miast, przyjął zielone ściany jako kluczowy element swojej strategii planowania przestrzennego. 21 lutego 2022 uchwałą Rady Miejskiej został ostatecznie zatwierdzony Plan Powietrza i Klimatu (Piano Aria e Clima). Plan zwraca uwagę na znaczenie zieleni naturalnie występującej, a także podkreśla bardzo istotną rolę zieleni projektowanej w przeciwdziałaniu efektowi wyspy ciepła w mieście, oraz promuje ideę przekształcenia Mediolanu w bardziej zielone i zacienione miasto, zarówno w przestrzeni publicznej, jak i prywatnej. Inicjatywa ta jest zgodna ze strategiczną wizją „bardziej ekologicznego, przyjaznego do życia i odpornego” Mediolanu w 2030 r., określoną w Planie samorządu terytorialnego (PGT). Aby osiągnąć ten cel, oczekuje się znacznego i ukierunkowanego wzrostu roślinności na obszarach najbardziej zurbanizowanych, w celu ochłodzenia najbardziej wrażliwych obszarów podczas fal upałów. Biorąc pod uwagę wysoki wskaźnik urbanizacji Mediolanu i powszechną obecność usług podziemnych, podkreśla się znaczenie zielonych dachów i ścian w dążeniu do chłodzenia systemu miejskiego. Rozwiązania te nie tylko zmniejszają energochłonność budynków, ale także ograniczają dopływ wód opadowych do sieci kanalizacyjnych, przyczyniając się do poprawy ogólnej jakości środowiska [46].

Mediolan stał się także częścią programu Making Cities Resilient 2030, który ma stanowić platformę wymiany wiedzy, doświadczeń i przydatnych praktyk innych miast na świecie.

## 5.3 Oslo

Gmina Oslo opracowała strategię, dotyczącą zielonych dachów i fasad, która została przyjęta 5 maja 2022 przez radę miasta i będzie obowiązywać do 2030 r. Strategia ta wspiera cele ONZ w zakresie zrównoważonego rozwoju, zwłaszcza te dotyczące przyrody, adaptacji do zmian klimatu, zrównoważonych miast, współpracy i innowacji. Celem strategii jest wprowadzenie większej liczby zielonych dachów i fasad, aby uczynić miasto bardziej ekologicznym, zagospodarować wody deszczowe, stworzyć nowe atrakcyjne przestrzenie miejskie oraz ułatwić produkcję energii i zmniejszyć jej zużycie w budynkach [47].

Strategia jest kontynuacją wizji zawartej w planie miejskim dla Oslo, który w 2018 r. ustalił, że Oslo powinno stać się bardziej ekologicznym, cieplejszym i bardziej kreatywnym miastem z przestrzenią dla wszystkich. Strategia wspiera tę wizję, kładąc nacisk na kilka obszarów.

Uczynienie miasta bardziej ekologicznym. Wzmocnienie różnorodności przyrodniczej w strefie budowy. Zarządzanie wodami deszczowymi w sposób otwarty i lokalny, z oczyszczaniem i wykorzystaniem jako zasobu. Ułatwienia dla rolnictwa miejskiego. Ograniczenie zużycia energii w istniejących budynkach i promocja budynków inteligentnych energetycznie, z wykorzystaniem energii słonecznej. Ograniczenie hałasu. Poprawa jakości powietrza.

Stworzenia miasta przyjaznego dzięki zapewnieniu miejsca dla każdego: Kreowanie różnorodności przestrzeni miejskich poprzez wykorzystanie kilku powierzchni. Tworzenie nowych miejsc spotkań. Zwiększona atrakcyjność użytkowa kilku przestrzeni miejskich. Uczynienie miasta bardziej kreatywnym. Wzmacnianie wiedzy i rozwój kompetencji w zakresie zielonych technologii. Rozwój lokalnych łańcuchów żywnościowych w zakresie świadczenia usług i rozwoju produktów. Większa świadomość, dotycząca piątej elewacji budynku (dachu) i związanych z tym możliwości wielokrotnego wykorzystania.

Strategia ma szeroki zasięg i obejmuje wszystkie rodzaje budynków i form budowlanych, niezależnie od ich wielkości. Nacisk kładziony jest szczególnie na rozwój zielonych dachów i fasad budynków, ale obejmuje także zielone ekrany akustyczne, ściany oporowe, podpory mostów i podobne obiekty.

Podsumowując przedstawione przykłady zauważamy, że każde miasto przyjmuje różnorodne podejścia dostosowane do jego unikalnego kontekstu środowiskowego, społecznego i gospodarczego, odzwierciedlając zróżnicowane rozumienie wyzwań i możliwości w odpowiednich krajobrazach miejskich. Jednakże wszystkie trzy miasta – Singapur, Mediolan i Oslo – traktują priorytetowo rozwiązania z zakresu zielonej infrastruktury, takie jak zielone dachy i ściany, jako integralne elementy swoich strategii na rzecz zrównoważonego rozwoju obszarów miejskich. Strategie i plany koncentrują się na wyzwaniach związanych z łagodzeniem miejskich wysp ciepła, zaznaczają znaczenie integracji gospodarki wodnej, wykorzystują innowacje technologiczne, podkreślają potrzebę współpracy międzysektorowej, w celu wszechstronnego i skutecznego wdrażania zrównoważonych strategii. Wszystkie trzy miasta uznają znaczenie zaangażowania społeczności, a inicjatywy skupiają się na świadomości społecznej, edukacji i zaangażowaniu w ekologiczne praktyki, w celu promowania zrównoważonego życia.



## **6. Wnioski i sugestie dotyczące przyszłych inicjatyw badawczych i politycznych.**

### **6.1 Wnioski**

W dzisiejszych czasach, gdy miasta stają w obliczu rosnących wyzwań związanych ze zmianami klimatycznymi, zanieczyszczeniem powietrza i utratą bioróżnorodności, innowacyjne podejścia do urbanistyki stają się kluczowym elementem przetrwania i rozwoju. Jednym z najbardziej obiecujących rozwiązań, które zarysowują się na horyzoncie urbanistyki, są zielone ściany [43,48]. W artykule omówiono innowacyjny charakter zielonych ścian oraz ich rolę w adaptacji miast do zmian klimatycznych i ekologicznych. Analiza wykazała, że zielone ściany są elastycznym i wszechstronnym rozwiązaniem, które przynosi wiele korzyści w kontekście miejskim. Kluczowymi wnioskami są:

#### **• Innowacyjność zielonych ścian:**

Zielone ściany stanowią innowacyjne podejście do łączenia natury z architekturą miejską. Wykorzystują rośliny jako integralny element konstrukcji budynków, co pomaga w osiągnięciu wielu celów, takich jak poprawa jakości powietrza, redukcja efektu miejskiej wyspy ciepła i zwiększenie bioróżnorodności [21,48].

#### **• Elastyczność adaptacyjna jako kluczowy atrybut:**

To, co czyni zielone ściany wyjątkowymi, to ich elastyczność adaptacyjna. Mogą być z powodzeniem integrowane, zarówno w nowo projektowane budynki, jak i w procesy modernizacji istniejących struktur miejskich [43]. Ta elastyczność daje miastom możliwość stopniowego wdrażania zielonych ścian, dostosowując je do specyficznych potrzeb każdego obszaru miejskiego. Miasta mogą dostosowywać zielone ściany do zmieniających się warunków klimatycznych i potrzeb społeczeństwa, co przyczynia się do budowy odporności na zmiany klimatyczne.

#### **• Zrównoważony rozwój w centrum Inicjatyw:**

- Zielone ściany są integralną częścią inicjatyw zrównoważonego rozwoju miejskich obszarów [32]. Pomagają w osiągnięciu celów związanych z redukcją emisji gazów cieplarnianych, retencją wody deszczowej, poprawą jakości powietrza i zwiększeniem komfortu mieszkańców.

- Ciągły zrównoważony rozwój jest integralną częścią inicjatyw zielonych ścian, ponieważ rozwiązania te dążą do harmonizacji działań ludzkich z ekosystemami miejskimi [20]. Zrównoważony rozwój zielonych ścian oznacza zapewnienie trwałego i efektywnego utrzymania tych struktur przez długie lata. Oznacza również edukację mieszkańców i pracowników, którzy będą odpowiedzialni za pielęgnację zielonych ścian. To może przyczynić się do zrozumienia i docenienia wartości ekosystemów miejskich.

#### **• Globalne inspiracje i wymiana doświadczeń :**

Miasta na całym świecie czerpią inspirację z innowacyjnych projektów zielonych ścian w innych regionach [6,45,46,47]. Wymiana doświadczeń między miastami pozwala na przyspieszenie rozwoju innowacyjnych rozwiązań zielonych ścian oraz adaptację ich do unikalnych kontekstów miejskich. To z kolei, wspomaga globalne wysiłki w kierunku zrównoważonego rozwoju miast i przyczynia się do tworzenia bardziej przyjaznych dla mieszkańców i przyrody miejskich środowisk.

#### **• Szersze implikacje dla środowisk miejskich:**

Badania nad zielonymi ścianami otwierają drogę do szerszych implikacji dla środowisk miejskich na całym świecie. Poprawa jakości życia mieszkańców, realizacja celów zrównoważonego rozwoju i elastyczność adaptacyjna, stają się kluczowymi elementami budowy odporności miast na zmieniające się warunki klimatyczne i społeczne.[1,12]

## 6.2 Sugestie dotyczące przyszłych inicjatyw badawczych i polityki miejskiej.

Zielone ściany mają potencjał, aby przyczynić się do bardziej zrównoważonego i elastycznego rozwoju miejskich obszarów na całym świecie, a ich dalsze badania i implementacja stanowią ważną inicjatywę w walce z wyzwaniami ekologicznymi i klimatycznymi.

- **Długoterminowe badania, dotyczące skuteczności zielonych ścian w długotrwałym wspieraniu zdolności adaptacyjnych miast:** jednym z głównych obszarów brakujących informacji, jest brak badań długoterminowych dotyczących skuteczności zielonych ścian, w długotrwałym wspieraniu zdolności adaptacyjnych miast [6]. Dotychczas większość badań skupiła się na krótkoterminowych efektach zielonych ścian, co wymaga poszerzenia analizy, aby zrozumieć, w jaki sposób zielone ściany mogą wspierać zdolności adaptacyjne miast na przestrzeni lat, lub nawet dziesięcioleci

- **Badania nad wpływem bioróżnorodności:** badania nad wpływem zielonych ścian na bioróżnorodność miejską mogą dostarczyć cennych informacji na temat działań, które można podjąć, aby zachować w miastach różnorodność organizmów. Nie wszystkie zielone ściany są takie same - mogą różnić się rodzajami roślin, systemami podlewania, technologią odprowadzania wody, rodzajem podłoża i innymi czynnikami. Badania te mogą pomóc w określeniu najskuteczniejszych rodzajów zielonych ścian, w celu promowania różnorodności biologicznej w różnych środowiskach miejskich [51].

- **Wsparcie dla projektów pilotażowych:** miasta powinny rozważyć wsparcie dla projektów pilotażowych, związanych z zielonymi ścianami, aby przetestować w swoich kontekstach różne technologie i rozwiązania [20].

- **Dostosowanie polityki miejskiej w kontekście zielonych ścian:** wprowadzenie zielonych ścian do przestrzeni miejskiej wymaga gruntownych dostosowań w polityce miejskiej i przepisach urbanistycznych [20]. Władze miasta powinny zaktualizować swoje plany zagospodarowania przestrzennego, uwzględniając konkretne lokalizacje, wymagania dotyczące roślin i procedury zatwierdzania projektów zielonych ścian [6,21]. Dodatkowo, konieczne jest ustanowienie norm i przepisów budowlanych, definiujących standardy konstrukcji, systemów nawadniania, izolacji cieplnej i monitoringu, aby zapewnić trwałość i funkcjonalność zielonych ścian. W polityce miejskiej istotne są również kwestie związane z monitoringiem, konserwacją i utrzymaniem zielonych ścian, a także wprowadzenie zachęt finansowych, takich jak subwencje lub ulgi podatkowe, które mogą mobilizować mieszkańców i przedsiębiorców do inwestycji w te ekologiczne rozwiązania [47].

- **Kampanie edukacyjne i społeczne:** zaangażowanie społeczne stanowi kluczowy filar sukcesu projektów zielonych ścian, gdyż aprobatę i wsparcie społeczności są niezbędne do ich realizacji, wymagając akceptacji mieszkańców, właścicieli nieruchomości i instytucji lokalnych [6]. Aktywna postawa społeczeństwa sprzyja zwiększeniu świadomości ekologii miejskiej, umożliwia dostosowanie projektów do lokalnych potrzeb i pozwala na monitorowanie efektów, co skutkuje ciągłym doskonaleniem i udoskonalaniem inicjatyw zielonych ścian. [1]

- **Współpraca międzynarodowa:** miasta, które są bardzo zbliżone pod względem uwarunkowań klimatycznych, mogą tworzyć międzynarodowe partnerstwa, w celu wymiany najlepszych praktyk i doświadczeń związanych z zielonymi ścianami [6].

## 7. Podsumowanie.

Zielone ściany oferują wieloaspektową propozycję, która może wspomóc rozwiązywanie wyzwań współczesnego planowania urbanistycznego, szczególnie w kontekście zmian klimatycznych i ekstremalnych zjawisk pogodowych. Te innowacyjne rozwiązania inżynieryjne zapewniają liczne korzyści ekologiczne, społeczne i ekonomiczne, począwszy od sekwestracji dwutlenku węgla i regulacji temperatury, po wsparcie różnorodności biologicznej i redukcję hałasu. Ponadto, istniejącym wyzwaniom można sprostać, poprzez staranne planowanie i innowacyjną technologię.

Integracja zielonych ścian ze środowiskiem miejskim nie tylko przyczynia się do łagodzenia zmian klimatu i zwiększania odporności, ale także poprawia jakość życia mieszkańców miast. Jak wykazały analizy istniejących przypadków w Mediolanie, Singapurze i Oslo, zielone ściany są namacalnym i skutecznym sposobem przekształcania miast w bardziej zrównoważone, odporne i atrakcyjne wizualnie przestrzenie. Oczywiste jest, że zielone ściany powinny być elementem współczesnej urbanistyki, sprzyjającym harmonijnemu współistnieniu rozwoju miast i świata przyrody.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Lin, Brenda B et al. "Integrating solutions to adapt cities for climate change." *The Lancet. Planetary health* vol. 5,7 (2021): e479-e486, doi:10.1016/S2542-5196(21)00135-2
- [2] Belčáková, Ingrid, Małgorzata Świąder, and Małgorzata Bartyna-Zielińska. "The green infrastructure in cities as a tool for climate change adaptation and mitigation: Slovakian and Polish experiences." *Atmosphere* 10.9 (2019): 552.
- [3] BiodiverCities by 2030: Transforming Cities' Relationship with Nature, Insight Report Word Economic Forum (2022).
- [4] Haaland, Christine, and Cecil Konijnendijk van Den Bosch. "Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification: A review." *Urban forestry & urban greening* 14.4 (2015): 760-771.
- [5] Manso, M., and J. P. Castro-Gomes. "Thermal analysis of a new modular system for green walls." *Journal of Building Engineering* 7 (2016): 53-62.
- [6] Sturiale, Luisa, and Alessandro Scuderi. "The role of green infrastructures in urban planning for climate change adaptation." *Climate* 7.10 (2019): 119.
- [7] Janiszek, Monika, and Robert Krzysztofik. "Green Infrastructure as an Effective Tool for Urban Adaptation—Solutions from a Big City in a Postindustrial Region." *Sustainability* 15.11 (2023): 8928.
- [8] Georgi, Birgit, et al. "Urban adaptation to climate change in Europe: Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies." (2012).
- [9] Larsen, Larissa. "Urban climate and adaptation strategies." *Frontiers in Ecology and the Environment* 13.9 (2015): 486-492.
- [10] Tang, Kuok Ho Daniel. "Green Walls as Mitigation of Urban Air Pollution: A Review of Their Effectiveness." *Research in Ecology* 5.2 (2023): 1-13.
- [11] Elliott, Helen, Christine Eon, and Jessica K. Breadsell. "Improving City vitality through urban heat reduction with green infrastructure and design solutions: A systematic literature review." *Buildings* 10.12 (2020): 219.
- [12] Pickett, Steward TA, et al. "Urban ecological systems: Scientific foundations and a decade of progress." *Journal of environmental management* 92.3 (2011): 331-362.

- [13] Folke, Carl, et al. „Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability.” *Ecology and society* 15.4 (2010).
- [14] Środowiska, Ministerstwo. „Podręcznik adaptacji dla miast. Wytyczne do przygotowania Miejskiego Planu Adaptacji do zmian klimatu.” Warszawa, dostęp poprzez: [www.rpo.Wzp.pl/sites/default/files/podrecznik\\_adaptacji\\_dla\\_miast\\_20191126.pdf](http://www.rpo.Wzp.pl/sites/default/files/podrecznik_adaptacji_dla_miast_20191126.pdf), dostęp/access 10 (2015): 2020.
- [15] Thakor, Aarki, Dhruv Pandya, and Archana Mankad. „Review on greenwalls, a sustainable urban landscaping feature.” *International Journal of Recent Scientific Research* 11.1 (2020): 37049-37055.
- [16] Weinmaster, Mike. „Are green walls as “green” as they look? An introduction to the various technologies and ecological benefits of green walls.” *Journal of Green Building* 4.4 (2009): 3-18.
- [17] Gunawardena, Kanchane, and Koen Steemers. „Living walls in indoor environments.” *Building and Environment* 148 (2019):
- [18] Zinowiec-Cieplik, Kinga. „Potencjał integracji form roślinnych z architekturą–środowisko i technika.” *Kwartalnik Naukowy Uczelni Vistula* 4 (54 (2017): 128-141.
- [19] Weerakkody Appuhamillage, Udeshika. *The Impact Of Living Walls In The Reduction Of Atmospheric Particulate Matter Pollution*. Diss. Staffordshire University, 2018.
- [20] Goel, Manika, Bandana Jha, and Safiullah Khan. „Living walls enhancing the urban realm: a review.” *Environmental Science and Pollution Research* 29.26 (2022): 38715-38734.
- [21] Bornschlegl, S., et al. „Analysis of the Microclimatic and Biodiversity-Enhancing Functions of a Living Wall Prototype for More-than-Human Conviviality in Cities. *Buildings* 2023, 13, 1393.” (2023).
- [22] Chen, Chundi, et al. „Walls offer potential to improve urban biodiversity.” *Scientific Reports* 10.1 (2020): 9905.
- [23] Bolhuis Casas, Esmeralda Isabelle. „Bird use of living walls in the city of Bogotá, Colombia.” (2016).
- [24] Chiquet, Caroline. *The animal biodiversity of green walls in the urban environment*. Diss. Staffordshire University, ( 2014).
- [25] El Ghomari, Shirin. „The Potential of Living Walls to Host Pollinator Habitat.” (2019).
- [26] Francis, Robert A., and Jamie Lorimer. „Urban reconciliation ecology: the potential of living roofs and walls.” *Journal of environmental management* 92.6 (2011): 1429-1437.
- [27] Van den Berg, Agnes E., Anna Jorgensen, and Edward R. Wilson. „Evaluating restoration in urban green spaces: Does setting type make a difference?.” *Landscape and Urban Planning* 127 (2014): 173-181.
- [28] Balany, Fatma, et al. „Green infrastructure as an urban heat island mitigation strategy —a review.” *Water* 12.12 (2020): 3577.
- [29] Sheweka, Samar, and Arch Nourhan Magdy. „The living walls as an approach for a healthy urban environment.” *Energy Procedia* 6 (2011): 592-599.
- [30] Knoll, Bente, et al. „EVAPO+ Transpiring Green Walls—a Demonstration on How to Maximise the Evapotranspiration Effect to Cool Down our Microclimate.” *LET IT GROW, LET US PLAN, LET IT GROW. Nature-based Solutions for Sustainable Resilient Smart Green and Blue Cities. Proceedings of REAL CORP 2023, 28th International Conference on Urban Development, Regional Planning and Information Society. CORP–Competence Center of Urban and Regional Planning, 2023.*
- [31] Karutz, Raphael, et al. „Fassadenbegrünung als multifunktionales Anpassungsinstrument gegen Hitze: Ergebnisse des Leipziger Pilotprojekts „Lebendige Wände “.” *Die resiliente Stadt: Konzepte, Konflikte, Lösungen*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2023. 199-213.
- [32] Bąk, Joanna, and Jadwiga Królikowska. „Current Status and Possibilities of Implementing Green Walls for Adaptation to Climate Change of Urban Areas on the Example of Krakow.” *Rocznik Ochrona Środowiska* 21 (2019).
- [33] Jones, Roger, et al. „Quantifying the Benefits of Green Infrastructure: Literature Review and Gap Analysis.” (2019): 1-76.
- Koch, Kyra, et al. „Urban heat stress mitigation potential of green walls: A review.” *Urban Forestry & Urban Greening* 55 (2020): 126843.
- [34] Galvão, Ana, et al. „Green walls with recycled filling media to treat greywater.” *Science of The Total Environment* 842 (2022): 156748.

- [35] Elsadek, Mohamed, Binyi Liu, and Zefeng Lian. „Green façades: Their contribution to stress recovery and well-being in high-density cities.” *Urban Forestry & Urban Greening* 46 (2019): 126446.
- [36] Strategi for grønne tak og fasader 2030 grønne tak og fasader i 2030 (2020)
- [37] Hajibeigi, P., et al. „Enhancing Citizens’ Perceived Restoration Potential of Green Facades through Specific Architectural Attributes. *Buildings* 2023, 13, 2356.” (2023).
- [38] Niedziela-Wawrzyniak, Sylwia, and Cezary Wawrzyniak. „Zielone ściany jako szansa dla humanizacji miast.” *Builder* 25.8 (2021).
- [39] Virtudes, Ana Lúcia, and Maria Manso. „Eco Façades as a Feature in the City Sustainability.”
- [40] Thorpert, Petra, et al. „Exploring the integration between colour theory and biodiversity values in the design of living walls.” *Frontiers in Ecology and Evolution* 10 (2022): 804118.
- [41] Köhler, Manfred. „Green facades—a view back and some visions.” *Urban Ecosystems* 11 (2008): 423-436.
- [42] Manso, Maria, et al. „Acoustic evaluation of a new modular system for green roofs and green walls.” *Architecture, Civil Engineering, Environment* 10.1 (2017): 99-108.
- [43] Virtudes, Ana, and Maria Manso. „Green walls benefits in contemporary city.” *International Conference on Architecture and Urban Design*, 2013.
- [44] Ascione, Fabrizio, et al. „Green walls, a critical review: Knowledge gaps, design parameters, thermal performances and multi-criteria design approaches.” *Energies* 13.9 (2020): 2296.
- [45] di Milano, Comune. „Piano Aria e Clima.” Available online: [comune.milano.it/documents/20126/126287263/Il+Piano+Aria+e+Clima.pdf/4ba580e9-5725-4778-c13a-831d385e35f7](https://comune.milano.it/documents/20126/126287263/Il+Piano+Aria+e+Clima.pdf/4ba580e9-5725-4778-c13a-831d385e35f7) (2019).
- [46] Ruefenacht, Lea, and Juan Angel Acero. „Strategies for cooling Singapore: A catalogue of 80+ measures to mitigate 45. urban heat island and improve outdoor thermal comfort.” (2017).
- [47] Strumiłło, Krystyna. „Sustainable city-green walls and roofs as ecological solution.” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 1203. No. 2. IOP Publishing, (2021).
- [48] Liberalesso, Tiago, et al. „Green infrastructure and public policies: An international review of green roofs and green walls incentives.” *Land use policy* 96 (2020): 104693.
- [49] Haggag, M. A. „The use of green walls in sustainable urban context: with reference to Dubai, UAE.” *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 128 (2010): 261-270. 478-487.
- [50] Mayrand, F., Clergeau, P., Vergnes, A., & Madre, F. (2018). Vertical greening systems as habitat for biodiversity. *Nature based strategies for urban and building sustainability*, 227-237.

## „GREEN WALLS IN URBAN ENVIRONMENTS: CATALYSTS FOR URBAN INNOVATION AND ADAPTABILITY”

### ABSTRACT

Green walls, serving as a harmonious blend of nature and urban architecture, not only constitute an aesthetic element but also introduce an innovative approach to utilizing urban space. The article analyzes the impact of green walls on the environment, public health, economic aspects, and presents examples of cities that have already implemented these innovations in practice. The article emphasizes that urban innovation and adaptive capacities are crucial determinants of sustainable development, enabling cities to effectively adjust to climatic, social, and economic changes, thereby contributing to their role as leaders in shaping a better future.

The aim of the article is to understand the role of green walls in supporting urban innovation and adaptation. The presented analysis of benefits, challenges, and practical examples of green wall implementation seeks to underscore their potential to stimulate innovation and enhance the adaptive capabilities of cities in the face of contemporary challenges.

The conclusions drawn from the analysis highlight the innovative nature of green walls and their adaptive flexibility, enabling gradual integration into both newly designed and existing urban structures. Furthermore, green walls are an integral part of sustainable development initiatives, contributing to the achievement of goals related to reducing greenhouse gas emissions, rainwater retention, and improving air quality. Global inspiration and the exchange of experiences among cities support the development of innovative solutions for green walls, and research on them opens the way to broader implications for urban environments worldwide. Ultimately, green walls are presented as a multi-faceted solution to the challenges of contemporary urban planning, offering ecological, social, and economic benefits that can be effectively realized through meticulous planning and innovative technology.

The article suggests that green walls have the potential to contribute to sustainable and flexible urban development worldwide, provided there are further research and coordinated implementation.

### KEYWORDS

green walls, living walls, the adaptive capacities of cities, innovations, Nature-Based Solutions (NBS)



Artykuł udostępniony na licencjach Creative Commons/ Article distributed under the terms of Creative Commons licenses: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0). License available: [www.creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/](http://www.creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)