



WYDZIAŁ
BIOLOGII ŚRODOWISKOWEJ



SZKOŁA
DOKTORSKA

UNIwersytet PRZYRODniczy w LUBLINIE

Wydział Biologii Środowiskowej

Dyscyplina naukowa: Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka

mgr inż. Julia Antonina Wójcik-Madej

Rozprawa doktorska

**Analiza potencjału miasta Lublin w aspekcie implementacji
rozwiązań opartych na naturze (NBS)**

Analysis of the city of Lublin's potential for implementing nature-based solutions (NBS)

Rozprawa doktorska wykonana w Katedrze Hydrobiologii i Ochrony Ekosystemów

Promotor: dr hab. Barbara Sowińska-Świerkosz, prof. uczelni

Promotor pomocniczy: prof. Joan Garcia, Universitat Politècnica de Catalunya
Barcelona Tech (UPC Barcelona, Hiszpania)

Lublin, 2025

Podziękowania

Składam serdeczne podziękowania Pani dr hab. Barbarze Sowińskiej-Świerkosz, prof. uczelni, promotorce mojej pracy, za życzliwość, cierpliwość, wsparcie merytoryczne oraz zaufanie w trakcie powstawania rozprawy.

Dziękuję również Panu prof. Joanowi Garcii, promotorowi pomocniczemu, za cenne wskazówki, wsparcie i możliwość odbycia stażu na UPC w Barcelonie, dzięki któremu zdobyłam międzynarodowe doświadczenie w zakresie wdrażania koncepcji NBS.

Podziękowania kieruję do Urzędu Miasta Lublin za współpracę, a także do zarządców budynków za zaangażowanie i pomoc w konsultacjach dotyczących rozwiązań opartych na naturze (NBS). Szczególne wyrazy wdzięczności składam przedstawicielom Wydziału Energii i Klimatu, Informatyki i Telekomunikacji, Inwestycji i Remontów, Ochrony Środowiska, Planowania, Zieleni i Gospodarki Komunalnej oraz Architektury i Budownictwa. Dziękuję także Pani Barbarze Kosteckiej-Wiącek z Wydziału Strategii i Obsługi Inwestorów za koordynowanie współpracy.

Szczególne podziękowania składam ekspertom: dr Gabrielowi Perezowi, prof. uczelni (Uniwersytet w Lleidzie, Hiszpania), prof. Janowi Rodzikowi (UMCS w Lublinie), dr Malwinie Michalik-Śnieżek (UP w Lublinie, Wydział Agrobiotechnologii), prof. Krzysztofowi Józwiakowskiemu (UP w Lublinie, Wydział Inżynierii Produkcji) oraz dr Michałowi Marcowi, prof. uczelni (UP w Lublinie, Wydział Inżynierii Produkcji) za wsparcie merytoryczne i życzliwą współpracę.

Dziękuję Pracownikom Katedr: Hydrobiologii i Ochrony Ekosystemów, Inżynierii Środowiska oraz Łękarstwa i Kształtowania Krajobrazu za okazaną pomoc w realizacji badań, wyrozumiałość i życzliwość.

Serdeczne podziękowania kieruję do firmy Zielone Budownictwo za konsultacje merytoryczne oraz udostępnienie materiałów i dokumentacji z realizacji zielonych dachów modułowych, które wzbogaciły niniejszą rozprawę o cenne aspekty praktyczne.

Największe podziękowania kieruję do mojej Rodziny – męża Łukasza za nieustanne wsparcie i syna Tymoteusza, który jest moją największą inspiracją. Rozprawę tę dedykuję moim Rodzicom, którzy zawsze we mnie wierzyli.

Oświadczenie promotora rozprawy doktorskiej

Oświadczam, że niniejsza rozprawa doktorska została przygotowana pod moim kierunkiem i stwierdzam, że spełnia ona warunki do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego.

Data 10.12.2025

Podpis promotora Bruno Sawicki-Nadon

Oświadczenie autora rozprawy doktorskiej

Świadom/a odpowiedzialności prawnej oświadczam, że:

- niniejsza rozprawa doktorska została przygotowana przez mnie samodzielnie pod kierunkiem Promotora/~~Promoterów~~/Promotora pomocniczego* i nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami.
- przedstawiona rozprawa doktorska nie była wcześniej przedmiotem procedur związanych z uzyskaniem stopnia naukowego.
- niniejsza wersja rozprawy doktorskiej jest tożsama z załączoną na płycie CD/pendrive wersją elektroniczną.

Data 10.12.2025

Podpis autora Julia Kojak-Nadon

* niepotrzebne skreślić

Wykaz prac naukowych wchodzących w skład cyklu

Rozprawę doktorską stanowi spójny tematycznie cykl publikacji, obejmujący następujące pozycje:

Lp.	Autorzy (udział procentowy)	Tytuł publikacji	Liczba punktów wg listy MNiSW	Liczba punktów własnych	Impact Factor IF
P1.	Wójcik-Madej Julia (70%) Sowińska-Świerkosz Barbara (30%)	Pre-Existing Interventions as NBS Candidates to Address Societal Challenges. Sustainability 2022, Vol. 14, Iss. 15, Article number 96069, DOI:10.3390/su 14159609.	100	70	3.889
P2.	Wójcik-Madej Julia (60%) Garcia Joan (20%) Sowińska-Świerkosz Barbara (20%)	Multi-criteria evaluation method for the selection of nature-based solutions for urban challenges. Journal of Environmental Management 2025, 373: 123387. DOI:10.1016/j.jenvman.2024.123387	200	120	8.0
P3.	Wójcik-Madej Julia (70%) Sowińska-Świerkosz Barbara (20%) Pérez Luque Gabriel (5%) Michalik-Śnieżek Malwina (5%)	Retrofitting existing buildings by the use of modular green roofs Building and Environment 2026, 287: 113900. DOI:10.1016/j.buildenv.2025.113900	200	140	7.6
P4.	Wójcik-Madej Julia (70%) Sowińska-Świerkosz Barbara (20%) Garcia Joan (5%) Michalik-Śnieżek Malwina (5%)	Integrating Nature-Based Solutions in Cities: Strategic Approaches with a Focus on Green Gullies and Linear Parks Journal of Ecological Engineering 2026, Vol. 27(4), DOI: 10.12911/22998993/214908 (przyjęta do druku)	70	49	1.5
SUMA			570	379	20.889

Spis treści

1. STRESZCZENIE	7
2. SUMMARY	8
3. WPROWADZENIE.....	9
3.1. KONCEPCJA ROZWIĄZAŃ OPARTYCH NA NATURZE (NBS).....	9
3.2. POTENCJAŁ MIAST DO WDROŻENIA KONCEPCJI ROZWIĄZAŃ OPARTYCH NA NATURZE (NBS)	10
4. PROBLEM BADAWCZY, CEL I HIPOTEZA BADAŃ	12
4.1. PROBLEM BADAWCZY	12
4.2. CEL BADAŃ	13
4.3. HIPOTEZA BADAŃ	13
5. MATERIAŁY I METODY.....	14
5.1. OBSZAR BADAŃ	14
5.2. MATERIAŁY	16
5.3. METODY	19
5.3.1. <i>Określenie stanu wdrożenia NBS w Lublinie</i>	<i>19</i>
5.3.2. <i>Analiza i selekcja najbardziej odpowiednich typów NBS dla Lublina</i>	<i>22</i>
5.3.3. <i>Określenie najkorzystniejszych lokalizacji dla wybranych typów NBS.....</i>	<i>25</i>
5.3.4. <i>Określenie skuteczności wybranych typów NBS i istotności ich czynników lokalizacyjnych....</i>	<i>35</i>
6. WYNIKI BADAŃ	38
6.1. OKREŚLENIE STANU WDROŻENIA NBS W LUBLINIE	38
6.2. ANALIZA I SELEKCJA NAJBARDZIEJ ODPOWIEDNIH TYPÓW NBS DLA LUBLINA.....	40
6.3. OKREŚLENIE NAJKORZYSTNIEJSZYCH LOKALIZACJI DLA WYBRANYCH TYPÓW NBS.....	43
6.3.1. <i>Proekologiczne zagospodarowanie suchych dolin</i>	<i>43</i>
6.3.2. <i>Parki linearne</i>	<i>45</i>
6.3.3. <i>Zielone dachy o lekkiej modułowej konstrukcji.....</i>	<i>47</i>
6.3.4. <i>Przydomowe hydrofitowe oczyszczalnie ścieków z przepływem podpowierzchniowym.....</i>	<i>49</i>
6.4. OKREŚLENIE SKUTECZNOŚCI WYBRANYCH TYPÓW NBS I ISTOTNOŚCI ICH CZYNNIKÓW LOKALIZACYJNYCH.....	51
7. DYSKUSJA.....	56
7.1. ANALIZA EFEKTYWNOŚĆ RÓŻNYCH TYPÓW NBS W KONTEKŚCIE MIEJSKIM	56
7.2. KRYTERIA LOKALIZACYJNE NBS W KONTEKŚCIE MIEJSKIM	58
7.3. ISTOTNOŚĆ KRYTERIÓW LOKALIZACYJNYCH, A MOŻLIWOŚCI WDROŻENIA NBS W MIEŚCIE.....	59
8. WNIOSKI	63
9. BIBLIOGRAFIA	64
10. ZAŁĄCZNIKI	78

ZAŁĄCZNIK 10.1. WZÓR ANKIETY INTERNETOWEJ SKIEROWANEJ DO PRZEDSTAWICIELI WŁADZ LOKALNYCH I MIESZKAŃCÓW DOTYCZĄCEJ PREFERENCJI WDROŻENIA ROZWIĄZAŃ OPARTYCH NA NATURZE (NBS) NA TERENIE LUBLINA	78
ZAŁĄCZNIK 10.2. WZÓR ANKIETY INTERNETOWEJ SKIEROWANEJ DO EKSPERTÓW ZAJMUJĄCYCH SIĘ NBS I LOKALNEJ SPOŁECZNOŚCI DOTYCZĄCEJ ISTOTNOŚCI CZYNNIKÓW LOKALIZACYJNYCH WYBRANYCH TYPÓW NBS.....	80
ZAŁĄCZNIK 10.3. CHARAKTERYSTYKA NBS ISTNIEJĄCYCH NA TERENIE MIASTA LUBLIN	83
ZAŁĄCZNIK 10.4. SZCZEGÓŁOWE WYNIKI OCENY EFEKTYWNOŚCI	85
ZAŁĄCZNIK 10.5. PROCES WYBORU TYPÓW NBS NAJLEPIEJ DOPASOWANYCH DO LOKALNYCH UWARUNKOWAŃ LUBLINA.....	87
ZAŁĄCZNIK 10.6. PROCES WYBORU NAJLEPSZYCH LOKALIZACJI DLA ROZWIĄZANIA PROEKOLOGICZNE ZAGOSPODAROWANIE SUCHYCH DOLIN.....	89
ZAŁĄCZNIK 10.7. PROCES WYBORU NAJLEPSZYCH LOKALIZACJI DLA ROZWIĄZANIA PARKI LINEARNE	91
ZAŁĄCZNIK 10.8. PROCES WYBORU NAJLEPSZYCH LOKALIZACJI DLA ROZWIĄZANIA ZIELONE DACHY O LEKKIEJ MODUŁOWEJ KONSTRUKCJI	93
ZAŁĄCZNIK 10.9. PROCES WYBORU NAJLEPSZYCH LOKALIZACJI DLA ROZWIĄZANIA PRZYDOMOWE HYDROFITOWE OCZYSZCZALNIE ŚCIEKÓW	98
11. KOPIE OPUBLIKOWANYCH PRAC WCHODZĄCYCH W SKŁAD CYKLU PUBLIKACJI...	99
12. OŚWIADCZENIA DOKTORANTA ORAZ WSPÓŁAUTORÓW DOTYCZĄCYCH ICH WKŁADU W PRZYGOTOWANIE OPUBLIKOWANYCH PRAC NAUKOWYCH	162

1. Streszczenie

Pomimo rosnącego zainteresowania koncepcją Rozwiązań opartych na naturze (ang. *Nature-based Solutions*, NBS) oraz działaniami Unii Europejskiej i Międzynarodowej Unii Ochrony Przyrody (IUCN), w literaturze i praktyce planistycznej wciąż występują istotne luki w wiedzy dotyczące oceny skuteczności tych rozwiązań oraz zasad ich implementacji w środowisku miejskim. Niniejsza rozprawa koncentrowała się na określeniu efektywności rozwiązań z zakresu NBS oraz zdefiniowaniu ich kryteriów lokalizacyjnych w odniesieniu do lokalnych uwarunkowań prawnych, środowiskowych, technicznych, ekologicznych, ekonomicznych i społecznych. W ramach badań opracowano i przetestowano model oceny potencjału implementacyjnego NBS na przykładzie miasta Lublin, pozwalający na identyfikację obszarów o największych możliwościach wdrożeniowych oraz ocenę znaczenia czynników lokalizacyjnych. W wyniku przeprowadzonych analiz opracowano przestrzenną bazę danych rozwiązań z zakresu NBS istniejących na terenie miasta, określono ich efektywność oraz zidentyfikowano rozwiązania wskazane do dalszej implementacji. Do pogłębionej analizy wybrano cztery typy NBS: proekologiczne zagospodarowanie suchych dolin, parki linearne, zielone dachy o lekkiej modułowej konstrukcji oraz przydomowe hydrofitowe oczyszczalnie ścieków. Analiza możliwości ich implementacji na terenie miasta wskazała od jednej do sześciu najkorzystniejszych lokalizacji dla poszczególnych typów NBS, co wynikało głównie z ograniczeń prawnych, ekonomicznych i środowiskowych. Wyniki częściowo potwierdziły hipotezę badawczą o znacznym potencjale Lublina w zakresie wdrażania różnych typów NBS. Potencjał ten wspierają zasoby krajobrazowe miasta, polityka przestrzenna oraz akceptacja mieszkańców i władz miasta, lecz ograniczają go czynniki prawne i ekonomiczne. Wyniki oceny istotności czynników lokalizacyjnych analizowanych typów NBS, opartej o rezultaty ankiety skierowanej do międzynarodowej grupy ekspertów oraz otrzymane dla Lublina, wykazały znaczne różnice istotności kryteriów lokalizacyjnych, co wskazuje że NBS mają wyraźnie kontekstowy charakter. Choć możliwym jest określenie ogólnej puli kryteriów lokalizacyjnych, ich znaczenie i hierarchia ważności są silnie uzależnione od lokalnych uwarunkowań.

Słowa kluczowe: Rozwiązania oparte na naturze (NBS), globalne standardy IUCN, kryteria lokalizacyjne, obszary miejskiej, Lublin

2. Summary

Despite growing interest in the concept of Nature-based Solutions (NBS) and the efforts of the European Union and the International Union for Conservation of Nature (IUCN), significant gaps in knowledge still persist in the literature and planning practice regarding the assessment of these solutions' effectiveness and the principles of their implementation in urban environments. This dissertation focused on determining the effectiveness of NBS and defining their location criteria in relation to local legal, environmental, technical, ecological, economic, and social conditions. As part of the research, a model for assessing the implementation potential of NBS was developed and tested using the city of Lublin as a case study. The model enabled the identification of areas with the greatest potential for deployment and the evaluation of the importance of location-specific factors. The analyses resulted in a spatial database of existing NBS within the city, an assessment of their effectiveness, and the identification of solutions recommended for further implementation. Four types of NBS were selected for in-depth analysis: pro-ecological development of gullies, linear parks, lightweight modular green roofs, and household-scale constructed wetland wastewater treatment systems. The analysis of their implementation potential in the city indicated between one and six most favorable locations for each type, primarily due to legal, economic, and environmental constraints. The findings partially confirmed the research hypothesis regarding Lublin's considerable potential for implementing various types of NBS. This potential is supported by the city's landscape resources, spatial policy, and the acceptance of residents and local authorities, while being limited by legal and economic factors. The results of the assessment of the importance of location factors for the analyzed NBS types - based on a survey conducted among an international group of experts and on data obtained for Lublin - showed substantial differences in the significance of individual criteria, indicating that NBS have a distinctly context-dependent character. While it is possible to define a general pool of location criteria, their importance and hierarchy are strongly influenced by local conditions.

Keywords: Nature-based Solutions (NBS), IUCN global standards, site criteria, urban areas, Lublin

3. Wprowadzenie

3.1. Koncepcja rozwiązań opartych na naturze (NBS)

Ze względu na rosnący wpływ zmian klimatu i intensyfikację procesów urbanizacyjnych, dotychczasowe strategie oparte na zastosowaniu szarej infrastruktury są często przestarzałe i nieadekwatne do współczesnych problemów, a miasta potrzebują nowych, pro-ekologicznych rozwiązań, które w sposób holistyczny będą integrować naturę z przestrzenią miejską. Stąd konieczność wdrażania zrównoważonych i bardziej odpornych na zmiany klimatyczne rozwiązań, pełniących jednocześnie szereg funkcji środowiskowych i społecznych [Chrysoulakis i in. 2021, Dremel i in. 2023, Lemes De Oliveira 2025]. W związku z powyższym od około 2010 roku Międzynarodowa Unia Ochrony Przyrody (IUCN), a potem także Komisja Europejska zaczęły rozwijać i wspierać koncepcje rozwiązań określanych angielskim mianem: *Nature-based Solutions*, NBS, tłumaczoną na język polski jako *Rozwiązania oparte na naturze* [np. Dumitru i Wendling (red.) 2021, Komisja Europejska 2015 i 2023, IUCN 2020 i 2023]. W dalszej części niniejszej rozprawy dla rozwiązań opartych na naturze będzie stosowany angielski skrót NBS. Zgodnie z najnowszą definicją, NBS to działania mające na celu ochronę, zrównoważone zarządzanie i odbudowę naturalnych lub zmodyfikowanych ekosystemów, które skutecznie i adaptacyjnie odpowiadają na wyzwania społeczne, jednocześnie przynosząc korzyści dla dobrostanu ludzi oraz bioróżnorodności [Cohen-Shacham i in. 2025]. Pomimo traktowania przez wielu naukowców i praktyków wszystkich wcześniejszych rozwiązań (m.in. zielonej i błękitnej infrastruktury, adaptacji do zmian klimatu poprzez wykorzystanie procesów ekosystemowych, zintegrowanego zarządzania zasobami wodnymi, odtwarzania zdegradowanych ekosystemów czy innych form zrównoważonego gospodarowania zasobami przyrodniczymi) jako NBS [Sowińska-Świerkosz i Garcia 2021], warto pamiętać, że zgodnie z wymogami IUCN [2020] aby określić zarówno istniejące jak i projektowane rozwiązanie mianem NBS powinno ono spełniać w znacznym zakresie 8 kryteriów określanych jako *Global IUCN criteria for NBS*. Kryteria te podkreślają, że NBS to działania, które zapewniają jednocześnie szereg korzyści środowiskowych i społecznych oraz są opłacalne ekonomiczne i oparte o zarządzanie adaptacyjne.

NBS obejmują różnorodne działania i interwencje różniące się między sobą pod wieloma względami, takimi jak skala realizacji (np. pojedyncza działka, ulica, dzielnica

czy całe miasto), stopień ingerencji człowieka (np. ochrona istniejących ekosystemów, ich zrównoważone użytkowanie lub tworzenie nowych) oraz główne funkcje (np. retencja wody, produkcja żywności, poprawa zdrowia człowieka) [Albert i in. 2021, Castellar i in. 2021, Van Rooij i in. 2020]. Dlatego też NBS można stosować zarówno w odniesieniu do obszarów cennych przyrodniczo (np. działania ochronne), krajobrazów miejskich (np. rozwój zielonej i błękitnej infrastruktury miejskiej), jak i na terenach zdegradowanych (np. techniki renaturalizacji).

3.2. Potencjał miast do wdrożenia koncepcji rozwiązań opartych na naturze (NBS)

Skuteczność wdrożonych NBS w dużej mierze zależy od warunków lokalnych, dlatego też, każde miasto posiada swoisty potencjał w aspekcie wdrażania tej koncepcji. Potencjał ten, można rozpatrywać w skali całego miasta, gdyż strategicznie rozmieszczone NBS mogą pełnić funkcje makro ekosystemowe [Van der Jagt i in. 2023, Van Rooij i in. 2020], w skali dzielnicy o specyficznych uwarunkowaniach ekologicznych i/lub społecznych, np. obszary przemysłowe i/lub zagrożone powodzią, lub w skali mikro danej przestrzeni publicznej np. biorąc pod uwagę profil użytkowników [Boros i Mahmoud 2021, Kang i in. 2025]. Niezależnie od skali analiz, do najczęściej wymienianych w literaturze czynników warunkujących efektywne wdrażanie NBS należą wyzwania społeczne charakterystyczne dla danego obszaru, typ i stan zachowania ekosystemów, uwarunkowania klimatyczne, specyficzne cechy krajobrazu, systemy społeczno-ekonomiczne i kulturowe, struktura własności gruntów, kierunki polityki lokalnej i prawo miejscowe oraz model zarządzania i dotychczasowe doświadczenia [IUCN 2020, Sowińska-Świerkosz i in. 2024, Europejska Agencja Środowiska 2023, WWF 2022, Martin i in. 2025]. Poza tym, różnorodność typów NBS, obejmujących ponad 50 rozwiązań technologicznych oraz różnorodne strategie z zakresu ochrony, rekultywacji i zrównoważonego zarządzania [Dumitru i Wendling (red.) 2021] sprawia, że potencjał wdrożeniowy NBS w danym obszarze jest w dużym stopniu uzależniony od zestawu rozwiązań wybranych do implementacji oraz od powiązanych z nim aspektów technicznych, organizacyjnych i środowiskowych. Dlatego, czynniki które decydują o potencjale implementacyjnym NBS na terenach zurbanizowanych można pogrupować w pięć ogólnych kategorii obejmujących aspekty prawne, środowiskowe, techniczne, ekonomiczne i społeczne [Cohen-Shacham i in. 2025, Europejska Agencja Środowiska 2023, IEEP 2021]. Kategorie te, warunkują określenie konkretnych kryteriów

lokalizacyjnych, kluczowych dla efektywnego wdrożenia i funkcjonowania NBS [NetworkNature 2021]. Zwykle wybór lokalizacji NBS opiera się na analizie lokalnych wyzwań środowiskowych, specyficznych cech miejsca oraz oczekiwanych efektów środowiskowych i społecznych [Croeser i in. 2021, IUCN 2020, Cohen-Shacham i in. 2025, Europejska Agencja Środowiska 2023, Castelo i in. 2023, Dick i in. 2020]. Większość tego typu analiz [np. Alves i in. 2024, Asare i in. 2024, Ommer i in. 2024, Zaniboni i in. 2025] oparta jest o wykorzystanie technik z zakresu systemów informacji przestrzennej (GIS), które umożliwiają przestrzenne odwzorowanie zestawu różnorodnych kryterium i precyzyjne wskazanie optymalnych lub alternatywnych lokalizacji. W tym celu wykorzystuje się szereg metod np. teorię zbiorów rozmytych, wielokryterialną metodę hierarchicznej analizy problemów decyzyjnych, wskaźnik przydatności terenu, analizę regresji krokowej, analizę porównawczą czynników lokalnych czy mapę przydatności.

Interdyscyplinarność koncepcji NBS, niska wiedza decydentów na temat korzyści płynących z tego typu rozwiązań a także brak bezpośredniego uwzględnienia tej koncepcji w polityce krajowej powodują, że wdrażanie NBS w Polsce wciąż znajduje się fazie początkowej i obejmuje głównie działania o charakterze pilotażowym oraz lokalnym, a ich zakres jest fragmentaryczny i nierównomierny. Dotychczasowe badania i prace wdrożeniowe koncentrowały się przede wszystkim na obszarach dużych miast w aspekcie poprawy jakości przestrzeni miejskiej w dobie zmian klimatu jako element Miejskich Planów Adaptacji do Zmian Klimatu. Oczywiście, szereg wdrożeń i działań wpisujących się w ideę NBS określanych jest mianem terminów pokrewnych, co z brakiem jakiegokolwiek ewidencji czy bazy danych powoduje trudności w określeniu aktualnego stan wdrożenia tej koncepcji nie tylko w skali całego kraju, ale także w skali danego miasta [Małecka-Ziembińska i Janicka 2022, Burgos i in. 2024].

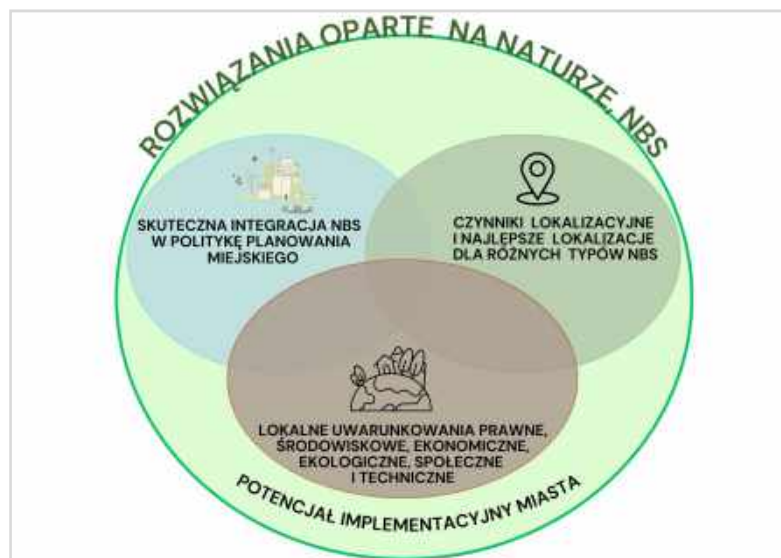
4. Problem badawczy, cel i hipoteza badań

4.1. Problem badawczy

Pomimo rosnącego zainteresowania koncepcją rozwiązań opartych na naturze oraz intensyfikacji badań nad ich zastosowaniem w środowiskach zurbanizowanych, wciąż istnieją znaczące luki badawcze w zakresie oceny skuteczności NBS [NetworkNature 2021, Corgo i in. 2024, Martin i in. 2025, Mosisa i in. 2025]. Od momentu wprowadzenia pierwszej definicji NBS przez Unię Europejską [Komisja Europejska 2015] oraz opublikowania globalnych standardów w 2020 roku [IUCN 2020], literatura przedmiotu i praktyka planistyczna zmagają się z ograniczeniami dotyczącymi metodologii oceny efektywności, doboru typów rozwiązań adekwatnych do lokalnych kontekstów oraz mechanizmów ich implementacji w strukturze miejskiej, w tym określeniem kryteriów lokalizacyjnych.

W związku z powyższym, **problem badawczy niniejszej rozprawy koncentruje się na** identyfikacji i analizie czynników warunkujących efektywność wdrożeń NBS w miastach, ze szczególnym uwzględnieniem lokalnych uwarunkowań środowiskowych, przestrzennych, prawnych, społecznych, ekonomicznych i technicznych. Celem jest określenie, w jakim stopniu i pod jakimi warunkami możliwa jest skuteczna integracja wybranych typów NBS reprezentujących zróżnicowanego poziomu ingerencji człowieka w ekosystemy miejskie.

Rozprawa zakłada opracowanie modelu oceny potencjału implementacyjnego różnych typów NBS w zależności od ich lokalizacyjnych determinant i przetestowanie go w odniesieniu do obszaru miasta Lublin, co umożliwi wskazanie najbardziej adekwatnych lokalizacji. Biorąc pod uwagę interdyscyplinarność koncepcji NBS, w celu rozwiązania problemu badawczego uwzględniono lokalne uwarunkowania prawne, środowiskowe, ekonomiczne, ekologiczne i społeczne, a także techniczne charakterystyczne dla danego typu NBS, co pozwoli na pełną ocenę potencjału implementacyjnego NBS w strukturze miejskiej (**Ryc. 1**).



Ryc. 1. Problem badawczy rozprawy (Opracowanie własne, materiał niepublikowany)

4.2. Cel badań

W niniejszej rozprawie sformułowano trzy główne cele badawcze, które obejmują zarówno aspekt naukowy, metodyczny, jak i praktyczny. Ich realizacja służy pogłębieniu wiedzy na temat możliwości wdrażania NBS w kontekście kierunków rozwoju polityki przestrzennej miast, a także opracowaniu efektywnych narzędzi wspomagających proces wyboru ich lokalizacji.

- Cel naukowy: Określenie efektywności rozwiązań opartych na naturze oraz zdefiniowanie ich kryteriów lokalizacyjnych w odniesieniu do obszarów miejskich.
- Cel metodyczny: Opracowanie metody wyboru najkorzystniejszych lokalizacji wybranych typów rozwiązań opartych na naturze oraz przetestowanie jej w odniesieniu do obszaru miasta Lublin.
- Cel użyteczny: Określenie skuteczności wybranych typów rozwiązań opartych na naturze i istotności ich czynników lokalizacyjnych w kontekście zrównoważonego rozwoju obszarów miejskiej.

4.3. Hipoteza badań

W oparciu o zdefiniowany problem badawczy oraz postawione cele, sformułowano następującą hipotezę badawczą: Miasto Lublin posiada istotny potencjał do skutecznego wdrażania różnych typów rozwiązań opartych na naturze, pod warunkiem uwzględnienia lokalnych uwarunkowań prawnych, przestrzennych, środowiskowych, społecznych, ekonomicznych, ekologicznych oraz technicznych.

5. Materiały i metody

5.1. Obszar badań

Miasto Lublin położone jest we wschodniej Polsce, na Wyżynie Lubelskiej i stanowi stolicę województwa lubelskiego. Zajmuje powierzchnię 147,45 km² i liczy 305 268 mieszkańców, co plasuje je na 9. miejscu w kraju pod względem liczby ludności [GUS 2025].

Krajobraz Lublina kształtuje dolina rzeki Bystrzycy, dzieląca miasto na dwie części o odmiennych cechach fizjograficznych. Lewa strona doliny cechuje się urozmaiconą rzeźbą terenu z licznymi wąwozami i dolinami lessowymi, natomiast prawa strona jest bardziej płaska i mało zróżnicowana morfologicznie [Wójcik-Madej i Sowińska-Świerkosz 2022, Wójcik-Madej i in. 2025, Wójcik-Madej i in. 2026b].

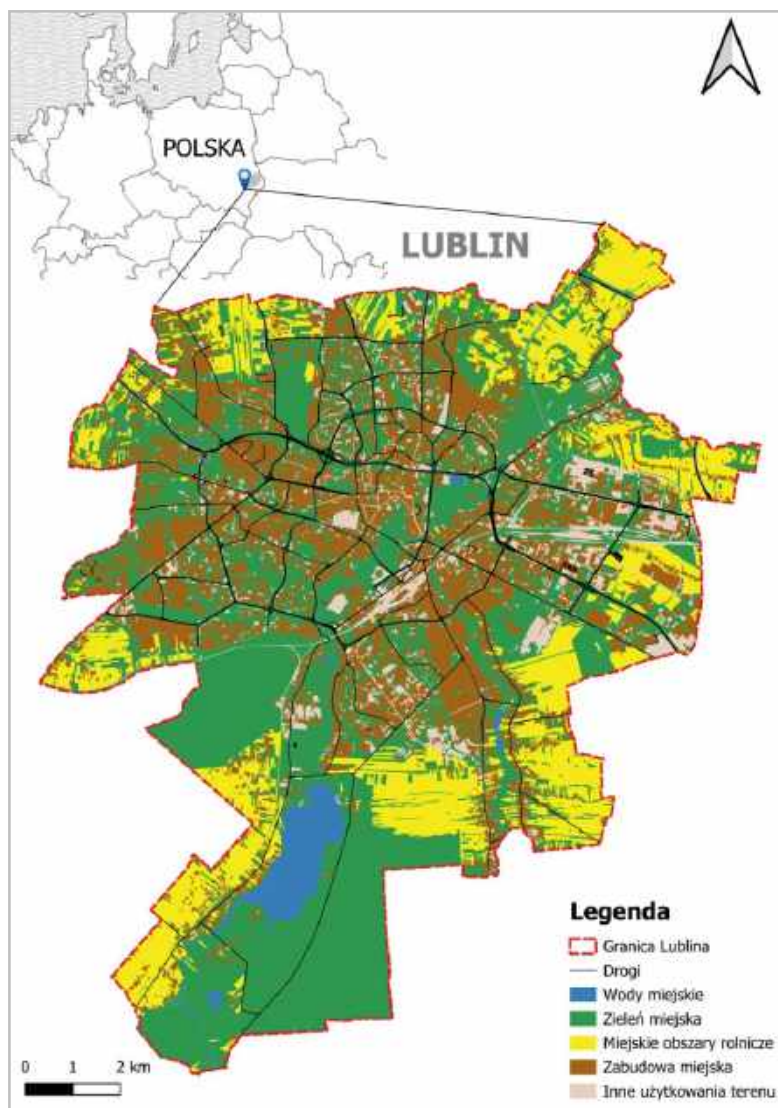
W strukturze form pokrycia terenu przeważa zieleń miejska zajmując około 51% powierzchni miasta (7512,69 ha) oraz tereny zabudowy miejskiej zajmując około 26% (3816,78 ha). Znaczący udział posiadają również miejskie tereny rolnicze, które stanowią około 19% powierzchni miasta (2780,94 ha) (**Ryc. 2**). Strukturę błękitno-zielonej infrastruktury (GBI) miasta tworzą m.in. parki miejskie, rodzinne ogrody działkowe, lasy, łąki kwietne, zieleń przyuliczna, Zalew Zemborzycki oraz doliny rzeczne. Zielona infrastruktura zajmuje około 18% powierzchni miasta (2627 ha), natomiast niebieska około 10% (1391 ha). W ujęciu przestrzennym największe skupiska terenów zielonych występują w dolinie Bystrzycy oraz w północno-zachodniej części miasta, natomiast najmniejsze - w dzielnicach centralnych i południowych [Wójcik-Madej i Sowińska-Świerkosz 2022, Wójcik-Madej i in. 2025, Wójcik-Madej i in. 2026b].

Na terenie miasta znajduje się obszary chronione o łącznej powierzchni około 5337 ha, co stanowi około 36% powierzchni Lublina. Należą do nich m.in. Czerniejowski Obszar Chronionego Krajobrazu (2685 ha), Obszar Chronionego Krajobrazu Dolina Ciemięgi (2627 ha) oraz rezerwat przyrody „Stasin” (25,08 ha). Obszary te pełnią kluczową rolę w zachowaniu ciągłości ekologicznej miasta oraz ochronie jego zasobów przyrodniczych. Ponadto, ekosystem doliny Bystrzycy został uznany za korytarz ekologiczny o znaczeniu regionalnym [Uchwała RML Nr 283/VIII/2019].

Polityka miasta w zakresie ochrony przyrody i wdrażania GBI/NBS opiera się na dokumentach strategicznych, takich jak „Strategia Lublin 2030”, „Plan Adaptacji do zmian klimatu Miasta Lublin do roku 2030 [Uchwała nr 322/IX/2019]” oraz „Program ochrony środowiska dla Miasta Lublin na lata 2021–2024 z perspektywą do roku 2028 [Uchwała nr

922/XXIX/2021]”. Na terenie miasta obowiązuje 191 planów miejscowych, które łączna powierzchnia wynosi 7251 ha, co daje około 49% pokrycia [<https://lublin.geoportal-krajowy.pl/mpzp>]. Obecnie w trakcie opracowywania znajduje się Plan ogólny dla miasta [<https://bip.lublin.eu/>]. Dokumenty te podkreślają znaczenie rozwoju zielonej infrastruktury, wdrażania rozwiązań z zakresu NBS w przestrzeni publicznej i systemach odwodnienia miejskiego, a także wzmocnienia odporności miasta na skutki zmian klimatu.

Zarządzanie zieloną i niebieską infrastrukturą w Lublinie oparte jest na modelu współpracy międzysektorowej, w którym wiodącą rolę pełnią władze miasta, a istotne znaczenie mają również uczelnie wyższe, jednostki miejskie i organizacje pozarządowe. Finansowanie projektów realizowane jest z wykorzystaniem środków miejskich, krajowych i unijnych.



Ryc. 2. Lokalizacja badanego obszaru i główne formy pokrycia terenu miasta Lublina [Wójcik-Madej i Sowińska-Świerkosz 2022]

5.2. Materiały

W celu określenia potencjału implementacyjnego NBS w mieście Lublin wykorzystano dane przestrzenne, opisowe i liczbowe, dane pozyskane z ankiet internetowych oraz dane specjalistyczne (**Tabela 1**).

Tabela 1. Charakterystyka materiałów użytych w badaniach

Rodzaj danych	Etap badań
Dane przestrzenne	
Dane dotyczące lokalizacji budek lęgowych nietoperzy udostępnione przez ornitologów z Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskie (UMCS) Lublin (stan danych na dzień 8 kwiecień 2022)	1
Rysunki Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Miasta Lublin z dnia 1 lipca 2019 roku oraz Miejsowych Planów Zagospodarowania Przestrzennego z lat 2005-2024 pozyskano ze strony internetowej <i>Otwarte Dane Lublin</i> jako usługę przeglądania <i>WMS</i>	1,3
Ortofotomapa z 2019 i 2023 roku pozyskane ze strony internetowej z <i>Geoportalu</i> oraz <i>Otwarte Dane Lublin</i> jako usługę przeglądania <i>WMS</i> oraz <i>GeoTIFF COG</i>	1,3
Baza Danych Obiektów Topograficznych (BDOT) z 2021 roku pobrana w programie <i>QGIS</i> w wersji 3.34.15 w formacie <i>SHP</i> za pomocą wtyczki <i>BDOT10k</i>	1,3
Lokalizacja zielonej i błękitnej infrastruktury w Lublinie pobrane w programie <i>QGIS</i> w formacie <i>SHP</i> (stan na dzień 1 marca 2022 i 24 czerwiec 2024 r.)	1,3
Dane o obiektach objętych ochroną konserwatorską są dostępne jako usługa <i>WMS</i> udostępniona przez Narodowy Instytut Dziedzictwa na stronie internetowej <i>Otwarte Dane</i>	3
Przeglądowa mapa geologiczno-inżynierska Polski w skali 1:300 000, pobrana w formacie <i>SHP</i> ze strony internetowej <i>Centralnej Bazy Danych Geologicznych</i> , (CBDG), dane pozyskane 20 maja 2025 r.	3
Dane z lokalizacją działek w Lublinie pobrane ze strony <i>Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii</i> (GUGiK), dane za rok 2024, w formacie <i>WFS</i>	3
Dane z lokalizacją budynków w Lublinie pobrane w programie <i>QGIS</i> w wersji 3.34.15 w formacie <i>SHP</i> za pomocą wtyczki <i>Pobieracz danych GUGiK</i> w układzie współrzędnych ETRF2000-PL/CS92 (stan na dzień 1 kwietnia oraz 30 grudnia 2024 r.)	3
Modele 3D budynków pobrane w <i>QGIS</i> za pomocą wtyczki <i>Pobieracz danych GUGiK</i> w układzie współrzędnych ETRF2000-PL/CS92 (stan na 30 grudnia 2024 r.)	3
Lokalizacja suchych dolin w Lublinie udostępnione przez Urząd Miasta Lublin w formacie <i>DWG</i> (stan danych na 29 lutego 2024 r.)	3
Numeryczny Model Terenu (NMT) oraz Numeryczny Model Pokrycia terenu (NMPT) pozyskane ze strony internetowej <i>Otwarte Dane Lublin</i> w formacie <i>GeoTIFF COG</i>	3
Dane dotyczące infrastruktury miejskiej (przebieg dróg, chodników i ścieżek	3

rowerowych) pobrano w programie *QGIS* za pomocą wtyczki *QuickOSM* oraz na podstawie OSM zmapowano lokalizację parkingów i przystanków autobusowych (stan danych na 15 lipiec 2024 r. i 15 maja 2025 r.)

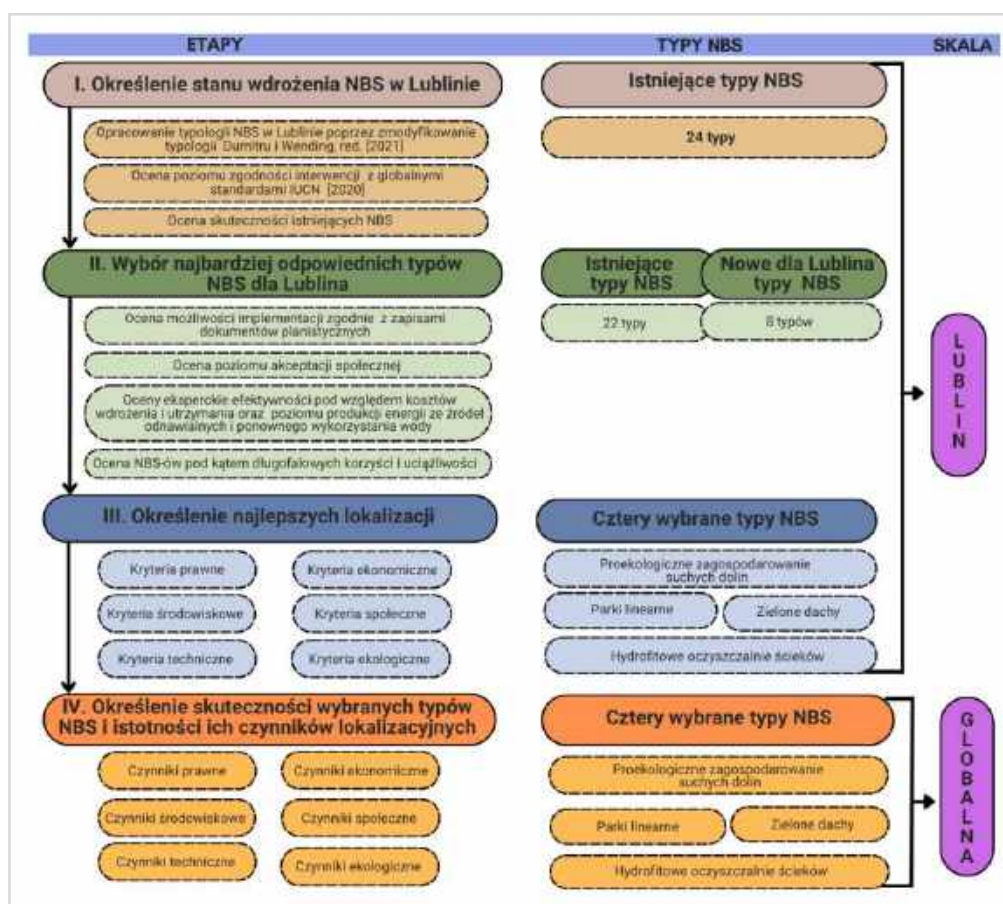
Dane opisowe i liczbowe	
Tekst Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Miasta Lublin z dnia 1 lipca 2019 roku Miejscowych Planów Zagospodarowania Przestrzennego z lat 2005-2024 pozyskano ze strony internetowej <i>BIP Urząd Miasta Lublin</i>	1,2,3
Strategia Rozwoju Miasta Lublin z perspektywą rozwoju do 2030 roku pozyskana ze strony internetowej <i>BIP Urząd Miasta Lublin</i>	1,2,3
Arkusze kalkulacyjne z danymi z konsultacji z pracownikami <i>Urzędu Miasta Lublin</i> dotyczącymi stopnia wdrożenia koncepcji NBS w mieście, planowanymi działaniami z tego zakresu, oceny efektywności istniejących działań oraz oceny wskazanych lokalizacji pod wdrożenie wybranych typów NBS (12.2021 – 02.2022; 01.2023 – 03.2023; 01.2024 – 06.2025)	1,2,3,4
Arkusze tekstowy opracowany na podstawie <i>Geoportalu Miasta Lublin</i> – informacje o błękitno-zielonej infrastrukturze i walorach przyrodniczych dla lokalizacji czterech wybranych typów NBS.	1,3
Plan Adaptacji do zmian klimatu Miasta Lublin do roku 2030 pozyskano ze strony internetowej <i>BIP Urząd Miasta Lublin</i>	2,3
Uchwała nr 758/XXIII/2020 Rady Miasta Lublin z dnia 19 listopada 2020 r. w sprawie zmiany obszaru i granic aglomeracji Lublin pozyskano ze strony internetowej <i>BIP Urząd Miasta Lublin</i>	3
Raporty o terenach pozyskane ze strony internetowej <i>OnGeo.pl</i> (pobrane w okresie marzec – czerwiec 2025), w których znajdowały się informacje o położeniu terenu, ograniczeniach formalnoprawnych, infrastrukturze, fizjografii terenu, zagrożeniach i uciążliwości, geologii terenu oraz otoczeniu i obiektach użyteczności publicznej	3
Raportu z dnia 7 grudnia 2021 r. z inwentaryzacją florystyczno-zoologiczną dwóch oddziałów kompleksu leśnego „Stary Gaj” w Lublinie o numerach 177 i 178 udostępnione przez <i>Urząd Miasta Lublin</i>	3
Inwentaryzacji i waloryzacja przyrodnicza obszaru “Dolina Trześniowska” udostępnione przez <i>Urząd Miasta Lublin</i>	3
Wykaz budynków będących własnością Gminy Lublin oraz wykaz zarządców budynków udostępnione przez <i>Zarząd Nieruchomości Komunalnych (ZNK) w Lublinie</i>	3
Arkusze kalkulacyjny udostępniony przez <i>Wydział Ochrony Środowiska Urzędu Miasta Lublin</i> dotyczące adresów niepodłączonych do miejskiej sieci kanalizacyjnej	3
Rozmowa telefoniczna oraz korespondencja e-mail z przedstawicielem <i>Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji (MPWiK) w Lublinie</i> dotyczące możliwości wdrożenia hydrofitowych metod oczyszczania ścieków bytowych	3
Arkusze kalkulacyjny <i>Głównego Urzędu Statystycznego (GUS, 2023)</i> dotyczący	3

przeciętnej liczby mieszkańców w gospodarstwie domowym	
Arkusz tekstowy opracowany na podstawie <i>Banku Danych o Lasach</i> zawierający informacje o kompleksach leśnych Lasu Stary Gaj i Lasu Dąbrowa	3
Dane ankietowe	
Ankieta internetowa skierowana do pracowników <i>Urzędu Miasta Lublin</i> dotycząca stanu wdrożenia NBS, przeprowadzona przy wykorzystaniu <i>Formularzy Google</i> (rok 2021, 11 osób reprezentujących 8 wydziałów)	1
Ankieta internetowa skierowana do pracowników <i>Urzędu Miasta Lublin</i> i mieszkańców dotycząca preferencji wdrożenia NBS, przeprowadzona przy wykorzystaniu <i>Microsoft Forms</i> (08-10. 2023, 105 respondentów)	2
Ankieta skierowana do naukowców, zarządców oraz wykonawców NBS dotycząca czynników lokalizacyjnych NBS, przeprowadzona przy wykorzystaniu <i>Formularzy Google</i> (rok 2025, 55 osób reprezentujących 15 państw)	4
Dane specjalistyczne	
Typologia NBS na podstawie Dumitru i Wending (red.) [2021]	1,2,3
Typologia wyzwań społecznych na podstawie IUCN [2020]	1,2,3
Globalne standardy IUCN [2020]	1,2,3
Norma kominowa PN-B-10425:1989	3
Podział gruntów na klasy w zależności od ich wodoprzepuszczalności [Błazejewski 2003, Karczmarczyk 2016]	3
Karty charakterystyki dachów modułowych NATURE IMPACT [strona internetowa producenta: https://zielone-budownictwo.pl/]	3
Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dn. 14 stycznia 2002 r. w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody [Dz.U. 2002 nr 8 poz. 70]	3
Rozporządzenie Ministra Rozwoju, Pracy I Technologii z dnia 27 lipca 2021 r. w sprawie ewidencji gruntów i budynków [Dz.U.2024.0.219]	3

Pozyskanie szeregu danych z Urzędu Miasta Lublin było możliwe dzięki podpisaniu oficjalnego porozumienia zawartego 26 lipca 2022 r. pomiędzy Gminą Lublin, Uniwersytetem Przyrodniczym w Lublinie oraz doktorantką realizującą badania. Porozumienie to miało na celu zapewnienie merytorycznego i organizacyjnego wsparcia dla projektu badawczego, w tym udostępnienie niezbędnych danych przestrzennych i dokumentów planistycznych, umożliwienie konsultacji z przedstawicielami właściwych wydziałów Urzędu Miasta, a także weryfikację i opiniowanie wyników analiz związanych z wyznaczaniem najkorzystniejszych lokalizacji dla wybranych typów NBS.

5.3. Metody

Badania zostały przeprowadzone w czterech etapach (**Ryc. 3**). Obejmowały one: **Etap I:** Analizę stanu wdrożenia NBS w Lublinie; **Etap II:** Analizę i selekcję najbardziej odpowiednich typów NBS dla Lublina; **Etap III:** Wybór najlepszych lokalizacji dla czterech wybranych typów NBS; oraz **Etap IV:** Określenie skuteczności wybranych typów NBS i istotności ich czynników lokalizacyjnych. Trzy pierwsze etapy odnosiły się do skali lokalnej – miasta Lublin, natomiast ostatni etap miał charakter globalny i dotyczył uwarunkowań identyfikowanych na podstawie doświadczeń międzynarodowych.



Ryc. 3. Schemat badań (Opracowanie własne, materiał niepublikowany)

5.3.1. Określenie stanu wdrożenia NBS w Lublinie

Szczegółowa metodyka dotycząca pierwszego etapu badań został zaprezentowany w **publikacji numer 1** [Wójcik-Madej i Sowińska-Świerkosz 2022], która dotyczyła określenia stanu wdrożenia NBS w mieście Lublin oraz określenie, jakim wyzwaniom społecznym i w jakim stopniu odpowiadają zidentyfikowane rozwiązania. W toku analiz zastosowano ogólną typologię NBS zaproponowaną przez Eggermont i in. [2015], uszczegółowioną przez Dumitru i Wendling (red.) [2021] i opartą o poziomy ingerencji

człowieka w ekosystem i krajobraz. Obejmuje ona następujące typy: Typ 1 NBS: Minimalna ingerencja w ekosystem: działania ochronne i monitoringowe, Typ 2 NBS: Zrównoważone zarządzanie i wzbogacanie przyrodnicze istniejących elementów miejskiej infrastruktury zielonej i niebieskiej, Typ 3 NBS: Tworzenie nowych ekosystemów. Na potrzeby niniejszej pracy, typologia to została rozszerzona o Typ 4 NBS: Wdrożenie naturalnych i półnaturalnych systemów magazynowania i transportu wody (**Publikacja 1, Tabela 1, Kolumny A i B**). W pierwszym etapie pracy z listy potencjalnych podtypów NBS zaproponowanej przez Dumitru i Wendlinga (red.) [2021] (strony 123–125) usunięto te, które nie występują na obszarze Lublina ze względu na warunki naturalne (np. namorzyny, struktury wydymowe), funkcje gruntu (np. kontrola erozji poprzez zarządzanie zwierzętami wypasnymi) oraz taktyki i techniki zarządzania (np. zintegrowane zarządzanie szkodnikami/chwastami, baseny bioretencyjne). Otrzymana lista została następnie uzupełniona o typowe dla polskich warunków i wdrożone w mieście interwencje (np. strefy ochrony wokół ujęć wody i miejsc lęgowych ptaków, rodzinne ogrody działkowe). Ostateczną listę istniejących w strukturze miasta interwencji skorygowano na podstawie ankiety internetowej skierowanej do przedstawicieli siedmiu wydziałów Urzędu Miasta Lublin (luty 2022 r.), odpowiedzialnych za zarządzanie zieloną i błękitną infrastrukturą, ochronę przyrody, działania rewaloryzacyjne oraz działania energetyczno-klimatyczne. Na podstawie wynikowej listy istniejących rozwiązań dokonano ich zmapowania przy użyciu oprogramowania QGIS oraz danych przestrzennych i opisowych przedstawionych w rozdziale materiały niniejszego autoreferatu. Otrzymana w ten sposób przestrzenna baza danych, przedstawiająca stan wdrożenia na I kwartał 2022 roku stała się podstawą dalszych analiz.

Ocenę zorientowania na wyzwania społeczne zidentyfikowanych rozwiązań przeprowadzono w odniesieniu do 7 wyzwań społecznych sformułowanych przez IUCN [2022] (**Tabela 2, kolumna A**). Kryteria określenia zorientowania na poszczególne wyzwania zostały oparte o przegląd literatury obejmujący publikacje naukowe [Sowińska-Świerkosz i Garcia 2021, Sowińska-Świerkosz i in. 2021a, Sowińska-Świerkosz i Garcia 2022, Cohen-Shacham i in. 2016, Dumitru i Wendling (red.) 2021, Sowińska-Świerkosz i in. 2021b, Xie i in. 2022, Young, i in. 2019, Frantzeskaki 2019, Raymond i in. 2017, Kolokotsa i in. 2020, Korkmaz i Balaban 2020, López i in. 2019, MacKinnon i in. 2011, Parker i in. 2020, Chausson i in. 2020, Burch i in. 2014, Ommer i in. 2022, Anderson i in. 2022, Howe i in. 2014, Hauck i in. 2013], raporty Komisji Europejskiej [2015, 2020] i IUCN [2020] oraz Programu Środowiskowego Organizacji Narodów Zjednoczonych (ang.

United Nations Environment Programme, UNEP) [2020]. Każde kryterium wybrano na podstawie następujących zasad: (1) istotności w kontekście danego wyzwania; (2) uniwersalny charakter oraz (3) mierzalność: dostępność danych. Kryteria zorientowania na wyzwania zostały zweryfikowane z przedstawicielami różnych wydziałów Urzędu Miasta Lublin (e-maile, wywiady telefoniczne) w okresie styczeń - marzec 2022 r. W rezultacie otrzymano zestaw 11 kryteriów przypisanych do 7 wyzwań (**Tabela 2, kolumna B**).

Tabela 2. Skrócony opis wyzwań społecznych oraz kryteriów ich oceny [zmodyfikowane na podstawie Wójcik-Madej i Sowińska-Świerkosz 2022]

A. Wyzwanie społeczne (SCh)	B. Kryterium wraz z metodą jego oceny
Adaptacja do zmian klimatu i łagodzenie ich skutków (SCh1)	SCh1_K1: Istnienie ekosystemów pełniących funkcję naturalnych pochłaniaczy dwutlenku węgla określone na podstawie mapy istniejących wcześniej interwencji SCh1_K2: Istnienie działań edukacyjnych dotyczących świadomości klimatycznej określone na podstawie przeglądu stron internetowych oraz wywiadów telefonicznych z pracownikami Urzędu Miasta Lublin
Ograniczanie ryzyka katastrof (SCh2)	SCh2_K1: Funkcje buforowe i/lub ochronne rozwiązań określone na podstawie mapy istniejących wcześniej interwencji oraz przeglądu dokumentów lokalnych SCh2_K2: Średnia powierzchnia obszarów objętych interwencją wynosząca ponad 1000 m ² lub obejmująca więcej niż 10 punktów określona na podstawie mapy istniejących wcześniej interwencji
Rozwój społeczno-ekonomiczny (SCh3)	SCh3_K1: Lokalizacja interwencji w strukturze miasta na podstawie mapy istniejących wcześniej interwencji SCh3_K2: Wyposażenie rozwiązania w panele słoneczne na podstawie wizji terenowych, przeglądu stron internetowych dotyczących interwencji oraz wywiadów telefonicznych z pracownikami Urzędu Miasta Lublin
Zdrowie ludzi (SCh4)	SCh4_K1: Dostęp do zielonych przestrzeni publicznych określony na podstawie struktury własności gruntów i danych udostępnionych przez Urząd Miasta Lublin SCh4_K2: Możliwości rekreacyjne oraz infrastrukturalne rozwiązania określone na podstawie danych udostępnionych przez Urząd Miasta Lublin i wizji terenowych
Bezpieczeństwo żywnościowe (SCh5)	SCh5_K1: Dostarczanie żywności pochodzącej z rolnictwa, rybołówstwa, dzikich jagód i grzybów określone na podstawie mapy istniejących wcześniej interwencji i wizji terenowych
Wyzwanie związane z bezpieczeństwem wodnym (SCh6)	SCh6_K1: Istnienie infrastruktury służącej oszczędzaniu/oczyszczaniu /infiltracji wody, obecność zbiorników na wodę deszczową określone na podstawie mapy istniejących wcześniej interwencji i przeglądu stron internetowych dotyczących interwencji
Degradacja ekosystemów i utrata bioróżnorodności (SCh7)	SCh7_K1: Wpływ na różnorodność biologiczną: dobór roślin, tworzenie siedlisk określony na podstawie badań terenowych i przeglądu stron internetowych

5.3.2. Analiza i selekcja najbardziej odpowiednich typów NBS dla Lublina

Drugi etap badań został zaprezentowany w **publikacji numer 2** [Wójcik-Madej i in. 2025], która dotyczyła wybrania na podstawie wielokryterialnej analizy efektywności istniejących i potencjalnych do wdrożenia typów NBS, rozwiązań najlepiej dopasowanych do lokalnych uwarunkowań Lublina i tym samym wskazanych do wdrożenia.

Ocena efektywności została oparta na czterech założeniach metodologicznych (MA), którym przypisano następujące pytania badawcze (RQ):

(MA1): Strategia miejska oparta na wykorzystaniu NBS powinna obejmować różnorodny zestaw działań; (RQ1): Jakie typy NBS są możliwe do wdrożenia w Lublinie?

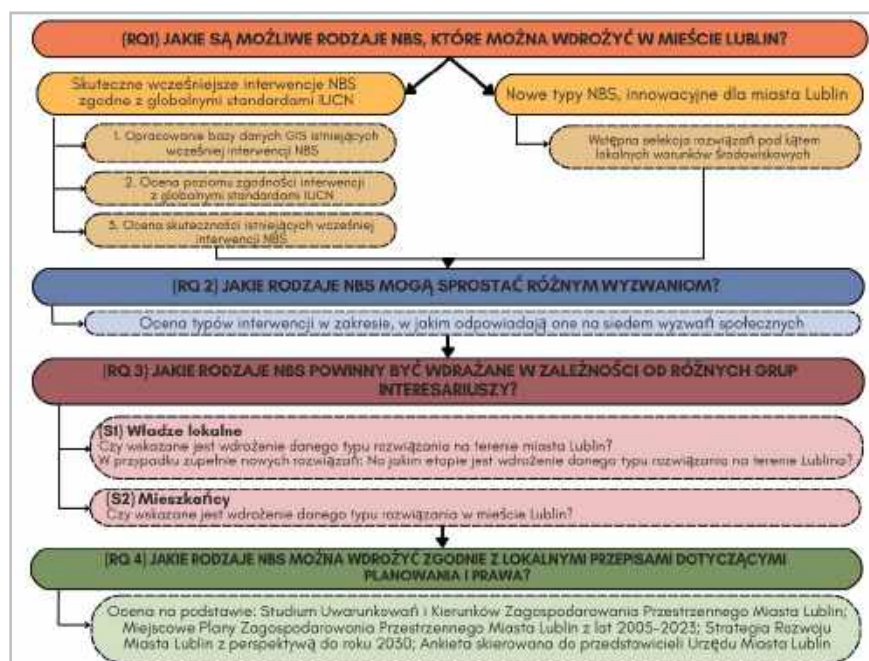
(MA2): Efektywność NBS zależna jest od jego odpowiedzi na wyzwania społeczne; (RQ 2): Jakie typy NBS mogą sprostać różnym wyzwaniom społecznym jednocześnie?

(MA3): Skuteczność NBS zależna jest od osiągnięcia kompromisu społecznego; (RQ 3): Jakie typy NBS są preferowane do wdrożenia przez różne grupy interesariuszy?

(MA4): Skuteczność NBS zależna jest od integracji z prawem miejscowym; (RQ 4): Jakie typy NBS można wdrożyć zgodnie z lokalnymi przepisami?

W ramach wielokryterialnej oceny efektywności zastosowano podejście eliminacyjne, w którym każdy typ NBS był analizowany kolejno według ustalonych kryteriów (sześciu dla istniejących rozwiązań i czterech dla potencjalnych do wdrożenia) (**Ryc. 4**), a niespełnienie wymogów na danym etapie skutkowało wykluczeniem rozwiązania z dalszych analiz. W przypadku istniejących rozwiązań, podstawę prac stanowiła przestrzenna baza danych opracowana w 1 etapie, w przypadku rozwiązań potencjalnych do wdrożenia - lista typów NBS autorstwa Dumitru i Wendling (red.) [2021], z której wybrano rozwiązania adekwatne do lokalnych uwarunkowań przyrodniczych, społeczno-gospodarczych i prawnych.

W odniesieniu do istniejących rozwiązań, na podstawie ankiety internetowej skierowanej do przedstawicieli Urzędu Miasta Lublin w pierwszej kolejności została przeprowadzona ocena ich zgodności z globalnymi standardami IUCN [2020]. Respondenci oceniali dane stwierdzenia przypisane do poszczególnych globalnych standardów IUCN stosując 5-stopniową skalę Likerta (**Tabela 3**).



Ryc. 4. Ramy metodologiczne analiz oparte na czterech pytaniach badawczych (RQ) i dwóch rodzajach NBS (istniejące i potencjalne do wdrożenia) mające na celu określenie efektywnych dla analizowanego miasta typów NBS [Wójcik-Madej i in. 2025].

Tabela 3. Kryteria oceny zgodności poszczególnych typów NBS z globalnymi standardami IUCN [zmodyfikowane na podstawie Wójcik-Madej i in. 2025]

Globalne kryterium IUCN	Stwierdzenia oceniane przez przedstawicieli Urzędu Miasta Lublin w skali Likerta*
NBS są projektowane w odpowiedniej skali	Liczba rozwiązań / skala rozwiązania jest adekwatna do wyzwania jakiemu ma sprostać
NBS powodują wzrost bioróżnorodności i integralności ekosystemów	Rozwiązanie przyczynia się do wzrostu bioróżnorodności
NBS są ekonomicznie opłacalne	Koszty wdrożenia i utrzymania rozwiązania przewyższają (potencjalne) korzyści
NBS opierają się na jasnym i skutecznym modelu politycznym	Model zarządzania rozwiązaniem jest skuteczny
NBS są zarządzane adaptacyjnie	Proces zarządzania rozwiązaniem był / jest dostosowywany do potrzeb
NBS skutecznie odpowiadają na wyzwania społeczne	Rozwiązanie powoduje / powodowało konflikty społeczne
NBS w sposób zrównoważony dostarczają różnorodnych korzyści	Rozwiązanie charakteryzuje się skutecznością w dostarczaniu odpowiednio wyważonych korzyści

* 1 – zdecydowanie TAK; 2 – TAK; 3 – TAK lub NIE; 4 – NIE; 5 – zdecydowanie NIE

Następnie przeprowadzono ocenę skuteczności dotychczasowego funkcjonowania istniejących w strukturze miasta rozwiązań w odniesieniu do pięciu wymiarów społecznym, politycznym, ekonomicznym, przestrzennym i długoterminowym oraz przy wykorzystaniu zestawu 15 wskaźników (**Tabela 4**).

Tabela 4. Wskaźniki i kryteria oceny skuteczności typów NBS istniejących na obszarze Lublina [zmodyfikowane na podstawie Wójcik-Madej i in. 2025]

Poziom skuteczności	Wskaźnik	Skala
Społeczny	S1. Poziom wyposażenia w elementy ułatwiające interakcje społeczne (np. ławki)	S1, S2, S3: Wysoki $\geq 75\%$; $50\% \leq$ Średni $<75\%$; $25\% \leq$ Niski $<50\%$; Bardzo niski $<25\%$; odsetek interwencji danego typu NBS wyposażonych w określone elementy na podstawie analizy Ortofotomapy z 2022 roku oraz badań terenowych
	S2. Poziom wyposażenia w obiekty sportowe	
	S3. Poziom wyposażenia na placach zabaw	
Polityczny	P1. Istnienie regulacji ogólnych	P1, P2, P3: Pełny; Częściowy; Brak na podstawie oceny eksperckiej dokumentów prawnych
	P2. Istnienie kompetentnych jednostek zajmujących się zarządzaniem rozwiązaniem	
	P3. Istnienie efektywnego modelu zarządzania	
Ekonomiczny	E1. Szacunkowy koszt wdrożenia rozwiązania	E1, E2: Wysoki $<25\%$; $25\% \leq$ Średni $<50\%$; $50\% \leq$ Niski $<75\%$; Bardzo niski $>75\%$, przy czym 100% odnosi się do szacunkowego kosztu najdroższego rozwiązania z analizowanego zestawu; E3: Wysoki; Średni; Niski; Bardzo niski – na podstawie oceny eksperckiej
	E2. Szacunkowy koszt utrzymania rozwiązania	
	E3. Poziom produkcji energii ze źródeł odnawialnych i/lub ponownego wykorzystania wody	
Przestrzenny	SP1. % powierzchni / liczba interwencji w stosunku do obszaru miasta (poziom dzielnicy)	SP1, SP2: Wysoki $\geq 75\%$; $50\% >$ Średni $<75\%$; $25\% \leq$ Niski $<50\%$; Bardzo niski $<25\%$, przy czym 100% odpowiada całkowitej liczbie dzielnic Lublina; SP3: Wysoki; Średni; Niski; Bardzo niski – na podstawie oceny eksperckiej
	SP2. Dostępność rozwiązania dla mieszkańców (poziom dzielnicy)	
	SP3. Wzrost bioróżnorodności	
Długoterminowy	T1. Pozytywny wpływ na łączność ekologiczną	T1, T2: Wysoki; Średni; Niski; Bardzo niski stopień długoterminowego wpływu określony został na podstawie analiz Ortofotomap z lat 2003 – 2022, stopnia aktywizacji mieszkańców do aktywności na świeżym powietrzu oraz wskaźników retencji wód T1. Na podstawie analizy zmian krajobrazowych (przed i po wdrożeniu NBS); T2. Na podstawie oceny eksperckiej; T3: Wysoki $\geq 80\%$; $40\% \leq$ Średni $<80\%$; Niski $<40\%$, na podstawie wskaźnika retencji dla poszczególnych form zagospodarowania terenu [opracowanie własne na podstawie Oral i in. 2020]
	T2. Wpływ na zdrowie mieszkańców (aktywności na świeżym powietrzu)	
	T3. Poziom retencji wód opadowych	

W dalszych etapach, analizom poddano oba główne rodzaje NBS (istniejące i potencjalne do wdrożenia). Najpierw, na podstawie wyników pierwszego etapu prac, całkowita liczba wyzwań, którym odpowiada dane rozwiązanie została użyta do określenia jakie typy NBS mogą sprostać różnym wyzwaniom jednocześnie poprzez zastosowanie następującej skali: (1) silne zorientowanie ≥ 6 ; (2) $4 \leq$ odpowiednie zorientowanie > 6 ; (3) $2 \leq$ częściowe > 4 ; oraz (4) niewystarczające < 2 .

W ramach określenia preferencji społecznych przeprowadzono ankietę online (skrótowa wersja ankiety została zamieszczona w **Załączniku 10.1.**) skierowaną do dwóch grupy interesariuszy: przedstawicieli różnych wydziałów Urzędu Miasta Lublin oraz mieszkańców reprezentujących różne dzielnice miasta (105 respondentów). Respondenci oceniali potencjał wdrożeniowy poszczególnych rozwiązań w 5-stopniowej skali Linkerta. Ocena końcowa opierała się na średniej liczbie punktów przyznanych każdemu typowi NBS w ramach danej grupy. Przyjęto trzy poziomy preferencji: silną ($> 3,75$ pkt.), średnią ($2,5 - 3,75$ pkt.) oraz słabą ($< 2,5$ pkt.).

Ostateczny etap oceny efektywności obejmował analizę czy dany typ NBS jest wskazany do wdrożenia / rozszerzenia / usunięcia według lokalnych dokumentów strategicznych i planistycznych. Rozwiązania planowane do wdrożenia lub dalszego rozwijania, potwierdzone w co najmniej jednym źródle, zostały uwzględnione w ostatecznej liście efektywnych dla Lublina typów NBS.

Lista ta posłużyła do wyboru czterech typów NBS charakteryzujących się różnym stopniem ingerencji człowieka w ekosystem (Typy NBS 1 – 4 według typologii z etapu pierwszego) do dalszych analiz. Wybranymi rozwiązaniami były:

- Typ 1: Proekologiczne zagospodarowanie suchych dolin ze względu na wysoki potencjał ekologiczny i przestrzenny miasta oraz plany inwestycyjne.
- Typ 2: Parki miejskie zawężone do parków linearnych ze względu na wysoki potencjał ekologiczny i przestrzenny miasta.
- Typ 3: Zielone dachy, które ze względu na brak danych o nośności konstrukcyjnej budynków, zawężono do zielonych dachów o modułowej konstrukcji.
- Typ 4: Hydrofitowe oczyszczalnie ścieków ze względu na dużą liczbę budynków niepodłączonych do miejskiej sieci kanalizacyjnej.

5.3.3. Określenie najkorzystniejszych lokalizacji dla wybranych typów NBS

Trzeci etap badań został zaprezentowany w **publikacjach numer 3** (zielone dachy modułowe) [Wójcik-Madej i in. 2026a] i **4** (proekologiczne zagospodarowanie suchych dolin i parki linearne) [Wójcik-Madej i in. 2026b]. Część dotycząca hydrofitowych systemów oczyszczania ścieków stanowi materiał niepublikowany.

Celem tego etapu było ocena możliwości lokalizacyjnych czterech wybranych w trzecim etapie analiz typów NBS. Ze względu na konieczność doprecyzowania

poszczególnych kryteriów lokalizacyjnych do charakterystyki analizowanych typów, zostały one zdefiniowane biorąc pod uwagę ich cechy przestrzenne i funkcjonalne.

- **Proekologiczne zagospodarowanie suchych dolin** ma na celu zrównoważone zarządzanie tymi obszarami łączące ochronę środowiska naturalnego z potrzebami mieszkańców miast odnośnie dostępu do wysokiej jakości terenów zielonych. Elementem proekologicznego zagospodarowania są m.in. ścieżki, kładki, punkty widokowe, obiekty o funkcji edukacyjnej oraz wprowadzenie dodatkowego zadrzewienia i zadarnienia [Dagar 2018, An i in. 2023, Trzaskowska (red.) 2014, Luo i in. 2024, Oviedo i in. 2022, Nowocien i in. 2011, Chaturvedi i in. 2014, Singh i in. 2021, Wójcik-Madej i in. 2026b].
- **Park linearny (park liniowy)** to park miejski o charakterystycznym liniowym kształcie zlokalizowany wzdłuż nabrzeża, rzeki, drogi czy linii kolejowej. Parki linearne integrują elementy zielonej i błękitnej infrastruktury tworząc korytarze ekologiczne i łącząc tereny nieużytkowane w celu stworzenia wielofunkcyjnych przestrzeni miejskich otwartych i przyjaznych dla mieszkańców [Ibrahim i in. 2020, Kim i in. 2024, Zachariasz 2012]. W celu zapewnienia maksymalnych korzyści, powierzchnia takich obszarów powinna wynosić minimum 0,55 ha [Alexander i in. 2008, Korwel-Lejkowska i Topa 2017, Wójcik-Madej i in. 2026b].
- **Zielony dach o lekkiej modułowej konstrukcji (zielone dachy modułowe)** to system dachowy składający się z prefabrykowanych elementów, takich jak tace lub kontenery, zawierających warstwy drenażu, podłoża i roślinności [Cascone 2019, Hejl 2020, Wójcik-Madej i in. 2026a]. Dzięki niskiej masie (ok. 32 kg/m²) jest odpowiedni do montażu na istniejących budynkach, których konstrukcja nie była przystosowana do dużych obciążeń [Cascone 2019, Baciun i in. 2020, Wójcik-Madej i in. 2026a]. Systemy te umożliwiają szybki montaż, łatwą konserwację i wspierają realizację celów UE w zakresie zazieleniania miast i adaptacji do zmian klimatu [Komisja Europejska, Dyrekcja Generalna ds. Środowiska 2022 i 2023, Wójcik-Madej i in. 2026a].
- **Przydomowa hydrofitowa oczyszczalnia ścieków z przepływem podpowierzchniowym** to system oczyszczania ścieków bytowych, w którym ścieki przepływają przez złożę filtracyjne (np. żwir, piasek) znajdujące się poniżej powierzchni gruntu i obsadzone roślinami wodnolubnymi. Oczyszczanie zachodzi dzięki procesom biologicznym, chemicznym i fizycznym z udziałem korzeni roślin

oraz mikroorganizmów, a poziom ścieków utrzymywany jest stale poniżej powierzchni złoża, co ogranicza emisję zapachów i kontakt z nieoczyszczonymi ściekami [Jóźwiakowski 2012, Jóźwiakowski i in. 2019, Vishwakarma i Dharmendra 2022, Biswal i Balasubramanian 2022, Bergier i in. 2023].

Analogicznie do poprzedniego etapu, analiza możliwości lokalizacyjnych została oparta o podejście eliminacyjne oznaczające, że lokalizacje niespełniające zdefiniowanych kryteriów były systematycznie wykluczane z dalszej analizy, co pozwalało zawęzić wybór do najbardziej odpowiednich obszarów wdrożeniowych. Analizy wykonano w środowisku GIS przy użyciu oprogramowania QGIS przyjmując za materiał wyjściowy dane przestrzenne dotyczące lokalizacji suchych dolin, terenów zielonych, budynków oraz obiektów niepodłączonych do miejskiej sieci kanalizacyjnej na obszarze Lublina.

W celu zapewnienia zgodności z międzynarodowymi wytycznymi, proces wyboru lokalizacji został oparty na globalnych standardach IUCN [2020]. Standardom tym przypisano zestaw kryteriów lokalizacyjnych, które z uwagi na interdyscyplinarny charakter koncepcji NBS oraz różnorodność analizowanych rozwiązań dotyczyły aspektów prawnych, społecznych, środowiskowych, ekologicznych, ekonomicznych, technicznych. Chociaż ramy IUCN obejmują osiem ogólnych kryteriów, w badaniu wyodrębniono sześć praktycznych grup kryteriów, dopasowanych do lokalnych uwarunkowań przestrzennych i technicznych (**Tabela 5**).

Tabela 5. Kryteria lokalizacyjne oparte na zgodności z globalnymi standardami IUCN – tabela skompilowana i zmieniona na podstawie tabel zamieszczonych w [Wójcik-Madej i in. 2026a, 2026b] oraz rozszerzona o aspekty związane z kryteriami typowymi dla hydrofitowych oczyszczalni ścieków

Kryterium IUCN	Kryterium lokalne i jego uzasadnienie
Kryterium 1: NBS skutecznie odpowiadają na wyzwania społeczne	Kryterium prawne: zgodność z lokalnymi dokumentami planistycznymi, które odnoszą się do istotnych wyzwań społecznych Kryterium społeczne: dostępność komunikacyjna obszarów, wpływ wdrożenia na walory widokowe oraz dostarczanie funkcji edukacyjnej
Kryterium 2: NBS są projektowane w odpowiedniej skali	Kryterium środowiskowe: kompatybilność z istniejącymi rozwiązaniami z zakresu NBS oraz wyposażenie w infrastrukturę techniczną
Kryterium 3: NBS powodują wzrost bioróżnorodności i integralności ekosystemów	Kryterium ekologiczne: wpływ wdrożenia na walory naturalnych enklaw zieleni i obszarów cennych przyrodniczo oraz na wskaźnik powierzchni biologicznie czynnej w obrębie działki
Kryterium 4: NBS są ekonomicznie opłacalne	Kryterium ekonomiczne: struktura własności terenu / budynków warunkująca koszty wdrożenia i utrzymania Kryterium techniczne: wymagania techniczne warunkujące koszty wdrożenia i utrzymania, bariery konstrukcyjne oraz czas wdrożenia

Kryterium 5: NBS opierają się na jasnym i skutecznym modelu politycznym	Akceptacja ze strony ekspertów, w tym przedstawicieli różnych wydziałów Urzędu Miasta Lublin (10 przedstawicieli), MPWiK (1 przedstawiciel), zarządców budynków (6 przedstawicieli) oraz specjalistów (5 ekspertów z różnych dziedzin) w celu weryfikacji zasadności proponowanych lokalizacji
Kryterium 6: NBS w sposób zrównoważony dostarczają różnorodnych korzyści	Kryterium ekonomiczne: struktura własności warunkująca funkcje i dostęp do terenu / budynku co wpływa na realność wdrożenia i zapewnienie kompromisów między kosztami a korzyściami
Kryterium 7: NBS są adaptacyjnie zarządzane, na podstawie dowodów (dot. okresu po wdrożeniu)	Priorytet nadano lokalizacjom, które są bezpośrednio lub pośrednio zarządzane przez Urząd Miasta Lublin co dzięki zasobom, doświadczeniu i istniejącemu modelowi funkcjonalnemu umożliwi zarządzanie adaptacyjne
Kryterium 8: NBS są zrównoważone i wpisane w odpowiedni kontekst prawny	Kryterium prawne: istniejące zapisy dokumentów planistycznych i strategicznych dla miasta Lublin oraz Uchwały nr 758/XXIII/2020 Rady Miasta Lublin z dnia 19 listopada 2020 r. w sprawie zmiany obszaru i granic aglomeracji Lublin

Kryteria te podzielono na dwie podstawowe kategorie. **Kryteria twarde**, czyli obligatoryjne do spełnienia, posłużyły do wskazania **opcjonalnych lokalizacji** tzn., obszarów możliwego wdrożenia biorąc pod uwagę uwarunkowania prawne i środowiskowe, ale nie w pełni efektywnych z uwagi na inne aspekty. **Kryteria miękkie**, których spełnienie znacząco zwiększało funkcjonalność i efektywność wdrożenia danego typu rozwiązania i określało **najlepsze lokalizacje**. Kryteria twarde były analizowane w pierwszej kolejności, natomiast kolejność kryteriów miękkich zależna była od specyfiki danego typu rozwiązania (**Rycina 5**).

Spśród analizowanych kryteriów, dla wszystkich typów NBS jako kryteria twarde przyjęto kryterium prawne i środowiskowe. W ramach **kryterium prawnego** dokonano analizy zgodności preferowanych lokalizacji z obowiązującymi dokumentami planistycznymi dla miasta Lublin, tj. Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego i Miejscowymi planami zagospodarowania przestrzennego z lat 2005-2024. W ramach **kryterium środowiskowego** dokonano analizy aktualnego stanu zagospodarowania i użytkowania terenu w celu wskazania lokalizacji możliwych do zagospodarowania, tak aby uniknąć konfliktów funkcjonalno-przestrzennych. W przypadku parków linearnych dodatkowym kryterium twardym było **kryterium techniczne** związane z lokalizacją i kształtem tego typu rozwiązań.

W ramach **kryteriów miękkich** na podstawie oceny uwarunkowań przestrzennych, morfologicznych i infrastrukturalnych, w pierwszej kolejności dokonano oceny własności gruntów i budynków w ramach **kryterium ekonomicznego**, tak aby wskazać lokalizacje położone na gruntach Skarbu Państwa, Gminy Lublin lub będące współwłasnością tych

podmiotów oraz budynki będące własnością Gminy Lublin. Kryterium to miało kluczowe znaczenie z punktu widzenia zapewnienia realnej możliwości wdrożenia NBS przy zachowaniu zrównoważonych kosztów (bez konieczności wykupu gruntów i budynków lub długotrwałych procedur administracyjnych). W ramach **kryterium technicznego** oceniono możliwość realizacji poszczególnych typów NBS w mieście, biorąc pod uwagę ich specyficzne wymagania techniczne. W ramach **kryterium społecznego** dokonano analizy dostępności, walorów widokowych terenu oraz możliwości udostępnienia do celów edukacyjnych, aby zapewnić dostęp do wybranych lokalizacji różnym grupom mieszkańców. W ramach **kryterium ekologicznego** oceniono walory przyrodnicze wybranych lokalizacji w celu wykluczenia lokalizacji o wysokich walorach przyrodniczych, które mogłyby zostać utracone / zakłócone poprzez implementację NBS.

Ostatni etap stanowiły **konsultacje eksperckie** przeprowadzone z przedstawicielami Urzędu Miasta Lublin (UM Lublin), Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Lublinie (MPWiK), naukowcami i specjalistami zajmującymi się gospodarką przestrzenną, geografią fizyczną i inżynierią środowiska. Konsultacje te miały charakter weryfikacyjny oraz uzupełniający i pozwoliły na wskazanie finalnych najlepszych lokalizacji.

Szczegółowy opis kryteriów wyboru opcjonalnych i najlepszych lokalizacji został przedstawiony w **Tabeli 6** z podziałem na typy NBS.

	KRYTERIUM	PROEKOLOGICZNE ZAGOSPODAROWANIE SUCHYCH DOLIN	PARKI LINEARNE	ZIELONE DACHY MODUŁOWE	HYDROFITYWOWE OCZYSZCZALNIE ŚCIEKÓW
Kryteria twarde	Prawne	Możliwość wdrożenia zgodnie z kierunkami polityki przestrzennej miasta oraz restrykcjami wynikającymi z form ochrony i dziedzictwa kulturowego			1: Położenie poza Aglomeracją Lublin 2: Możliwość wdrożenia zgodnie z kierunkami polityki przestrzennej miasta oraz restrykcjami wynikającymi z form ochrony i dziedzictwa kulturowego
	Środowiskowe	Obecny stan zagospodarowania			Istniejący system oczyszczania ścieków
Kryteria miękkie	Techniczne	Możliwość udostępnienia dla mieszkańców	1: Położenie przy ciągach komunikacyjnych 2: Wydłużony kształt, powierzchnia minimalna 0,55 ha 3: Możliwość udostępnienia dla mieszkańców	Nachylenie dachu, stan techniczny pokrycia dachowego, możliwość wejścia na dach	1: Przepuszczalność gruntów 2: Minimalna powierzchnia oczyszczalni i odległości od innych elementów zagospodarowania
	Ekonomiczne	Własność gruntów lub budynków			
	Społeczne	Dostępność komunikacyjna		Walory widokowe	Możliwość udostępnienia do celów edukacyjnych
	Ekologiczne	Walory przyrodnicze		Powierzchnia biologicznie czynna działek z wybranymi budynkami	Walory przyrodnicze
	Ekspertskie	Konsultacje z przedstawicieli różnych wydziałów Urzędu Miasta Lublin (10 przedstawicieli), MPWiK (1 przedstawiciel), zarządców budynków (6 przedstawicieli) oraz specjalistów (5 ekspertów z różnych dziedzin)			

Ryc. 5. Kryteria analizowane przy wyborze opcjonalnych i najkorzystniejszych lokalizacji dla wybranych czterech typów NBS (Opracowanie własne, materiał niepublikowany)

Tabela 6. Szczegółowe zestawienie kryteriów lokalizacyjnych dla czterech analizowanych typów NBS opracowane na podstawie tabel z [Wójcik-Madej i in. 2026a, 2026b] oraz uzupełnione o kryteria specyficzne dla hydrofitowych oczyszczalni ścieków.

CHARAKTERYSTYKA KRYTERIÓW WYBORU LOKALIZACJI			
Etap badań i nazwa kryterium	Źródło danych i przetwarzanie wstępne	Opis	Zasady operacyjne
TYP I: PROEKOLOGICZNE ZAGOSPODAROWANIE SUCHYCH DOLIN			
Dane wyjściowe	- Analizy i przetwarzanie danych zostało wykonane w programie QGIS (wersja 3.34.15) oraz zastosowano układ współrzędnych: ETRF2000-PL/CS92. - Dane z lokalizacją suchych dolin zostały pozyskane z Wydziału Planowania Urzędu Miasta Lublin. - Dane w formacie DWG. Wstępne przetwarzanie: import do QGIS, konwersję danych z formatu DWG do formatu SHP oraz weryfikację atrybutów i geometrii.	- Elementy o niepełnych lub błędnych danych atrybutowych (np. brak identyfikatora, nazwy lub nieciągłość geometrii) zostały odrzucone z dalszego etapu opracowania. - Obiekty reprezentujące suche doliny, które zostały poprawnie zlokalizowane i posiadały prawidłową geometrię po konwersji do formatu SHP, zostały uwzględnione w analizie. - W trakcie weryfikacji danych zwracano szczególną uwagę na poprawność topologii oraz zgodność układu współrzędnych z przyjętym odniesieniem przestrzennym ETRF2000-PL/CS92. Trudności: występowanie niezgodności pomiędzy warstwą referencyjną a warstwą danych źródłowych, co wymagało ręcznej korekty położenia obiektów w środowisku QGIS.	
Kryteria twarde			
I. Kryterium prawne	- Baza danych suchych dolin w formacie shp opracowana na podstawie danych pozyskanych z Wydziału Planowania Urzędu Miasta Lublin. - Teksty dokumentów planistycznych (Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Lublin, Miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego miasta Lublin na lata 2005-2024), są dostępne na stronie internetowej Urzędu Miasta Lublin (https://bip.lublin.eu/strategia-i-planowanie/planowanie-przestrzenne/). - Rysunki dokumentów planistycznych w formacie WMS są dostępne na stronie internetowej Otwarte Dane Lublin (https://otwartedane.lublin.eu/). - Data pozyskania danych: 30 marzec 2024r. Wstępne przetwarzanie: obejmuje dodanie warstw WMS do projektu QGIS, weryfikację poprawności odwzorowania oraz odniesienie do warstwy lokalizacji suchych dolin.	- Analizie poddano obszary suchych dolin w kontekście obowiązujących oraz projektowanych ustaleń dokumentów planistycznych. - Suche doliny położone w granicach terenów, dla których planowane jest zagospodarowanie inne niż zieleni urządzonej (np. zabudowa mieszkaniowa, usługowa, przemysłowa), zostały odrzucone z dalszego etapu analizy. - Suche doliny, które zostały w dokumentach planistycznych przeznaczone pod zieleni urządzonej zostały wybrane do dalszych analiz. - W przypadku braku obowiązującego planu miejscowego zastosowano ustalenia ze Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego. - Dla terenów objętych wieloma planami weryfikowano spójność zapisów oraz aktualność dokumentów na dzień analizy. - Weryfikację położenia i zgodności danych prowadzono z wykorzystaniem warstw referencyjnych w środowisku QGIS.	
II. Kryterium środowiskowe	- Baza danych suchych dolin zaktualizowana w etapie I. - Dane z lokalizacją budynków na terenie Lublina pobrane zostały w programie QGIS jako paczka danych w formacie SHP za pomocą wtyczki Pobieracz Danych GUGIK (stan na 1 kwietnia 2024 r.). - Ortofotomapa z 2023 roku pobrana ze strony internetowej Otwarte Dane Lublin (https://otwartedane.lublin.eu/) jako GeoTIFF COG podłączony do programu. Wstępne przetwarzanie: - Import danych z lokalizacją budynków oraz dodanie rastra z Ortofotomapy do programu, - Weryfikacja zgodności lokalizacji budynków z obrazem satelitarnym oraz przygotowanie warstw do analizy przestrzennej.	- Suche doliny, na których występowały zabudowania oraz zieleni urządzonej, zostały odrzucone z dalszych analiz. - Do dalszych analiz zostały wybrane suche doliny, na których nie występuje zabudowa oraz które nie były zagospodarowane pod zieleni urządzonej. Trudności: konieczność ręcznego sprawdzenia lokalizacji budynków na Ortofotomapie oraz możliwe niezgodności w skali i rozdzielczości danych.	
Kryteria miękkie			
III. Kryterium ekonomiczne	- Baza danych suchych dolin zaktualizowana w etapie II. - Baza działek w formacie WFS, pozyskana ze strony Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii GUGIK (https://integracja.gugik.gov.pl) stan na dzień 1 kwietnia 2024. - Rozporządzenie Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 27 lipca 2021 r. w sprawie ewidencji gruntów i budynków (Dz.U. 2024.0.219). Wstępne przetwarzanie: - Import bazy danych z lokalizacją działek, konwersja formatu danych WFS do formatu SHP, - Klasyfikacja działek według grupy rejestrowej oraz opis numerów grup rejestrowych zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii.	- Suche doliny, które były zlokalizowane na gruntach będących własnością prywatną, zostały odrzucone z dalszych analiz. - Do dalszej analizy zostały wybrane suche doliny znajdujące się na gruntach będących własnością Skarbu Państwa, Gminy Lublin lub będące współwłasnością tych podmiotów. Trudności: konieczność ręcznego sprawdzenia położenia suchych dolin, które częściowo pokrywały się z kilkoma działkami, co wymagało weryfikacji, która fragmenty terenu faktycznie kwalifikują się do dalszej analizy.	
IV. Kryterium społeczne	- Baza danych suchych dolin zaktualizowana w etapie III. - Dane wektorowe z przebiegiem dróg utwardzonych, ścieżek rowerowych i chodników do analizy zostały pobrane w programie za pomocą wtyczki QuickOSM, przy użyciu następujących par klucz-wartość: <code>highway=primary</code>, <code>highway=secondary</code>, <code>highway=tertiary</code>, <code>highway=residential</code>, <code>highway=cycleway</code>, <code>highway=footway</code>. - Dane z lokalizacją parkingów i przystanków zostały zmapowane w programie przy wykorzystaniu mapy OpenStreetMap podłączonej do projektu jako usługi WMS. Wstępne przetwarzanie: - Integracja wszystkich warstw przestrzennych w układzie ETRF2000-PL/CS92, - Aktualizacja bazy danych suchych dolin poprzez dodanie atrybutu dostępność, - Klasyfikacja suchych dolin według dostępności komunikacyjnej „dostępny”, „ograniczony dostęp” oraz „brak dostępu”.	- Suche doliny, które były albo dostępne, czyli posiadały klasyfikację „ograniczony dostęp” lub „brak dostępu”, zostały odrzucone z dalszych analiz. - Do dalszej analizy zostały wybrane suche doliny, które były łatwo dostępne pieszo, rowerem, samochodem lub komunikacją miejską i zostały sklasyfikowane jako „dostępne”. Trudności: heterogeniczność źródeł danych przestrzennych (różne lata i formaty) oraz konieczność ręcznej weryfikacji przebiegu dróg, ścieżek rowerowych i chodników.	
V. Kryterium ekologiczne	- Baza danych suchych dolin zaktualizowana w etapie V. - Dane do analizy waleńców przyrodniczych zostały pozyskane z różnych źródeł, w tym: - Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Lublin i miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego miasta Lublin na lata 2005-2024 (https://bip.lublin.eu/strategia-i-planowanie/planowanie-przestrzenne/), - Planu Adaptacji do zmian klimatu Miasta Lublin do roku 2030 (https://bip.lublin.eu/strategia-i-planowanie/ochrona-srodowiska/plan-adaptacji-do-zmian-klimatu-miasta-lublin-do-roku-2030.3.20275.2.html), - Geoportalu Miasta Lublin (https://geoportal.lublin.eu/), - Danych Otwartych Lublin (https://otwartedane.lublin.eu/grupa/przestrzen-srodowiskioj), - Banku Danych o Lasach (https://www.bdl.lasy.gov.pl/portal/), - Raportu z dnia 7 grudnia 2021 r. z inwentaryzacji florystyczno-zoologicznej dwóch oddziałów kompleksu leśnego „Stary Gał” w Lublinie o numerach 177 i 178 (https://lublin.eu/gfx/lublin/um/inf/es_public/mieszkanicy/srodowisko/aktualnosci/2022/star_y_gal_-_ekspertyza_umcs-up_2_wykonania_inwentaryzacji_florystyczno-przyrodniczej.pdf), - Oficjalnych stron internetowych miasta i instytucji środowiskowych, - Ogólnodostępnych baz danych przestrzennych i map tematycznych, - Raportów dla poszczególnych działek pobranych ze strony internetowej OrGeo.pl, - Inwentaryzacji i walozyzacji przyrodniczej obszaru „Dolina Trzebniewska” (https://lublin.eu/mieszkanicy/partycypacja/budzet-obywatelski/aktualnosci/opracowania-przyrodnicze.130.36271.html). - Analizowano dostępne dane pod kątem zapisów dotyczących różnorodnych form ochrony suchych dolin w mieście Lublin. - Dane uzupełniające: Ortofotomapa z 2023 r. Wstępne przetwarzanie: - Aktualizacja bazy danych suchych dolin poprzez dodanie atrybutu walory, - Klasyfikacja suchych dolin według waleńców przyrodniczych: „wysokie”, „średnie” oraz „małe”.	- Suche doliny, które były objęte ochroną oraz sklasyfikowane jako mające wysokie walory przyrodnicze, zostały odrzucone z dalszej analizy. - Do dalszych analiz zostały wybrane suche doliny, które nie posiadały istotnych waleńców przyrodniczych, nie były objęte ochroną oraz zostały sklasyfikowane jako mające średnie lub małe walory przyrodnicze. Trudności: różnorodność źródeł danych i konieczność ich ujednolicenia, zróżnicowana szczegółowość i aktualność informacji, braki danych i luki informacyjne, problemy z integracją przestrzenną, subiektywna ocena waleńców przyrodniczych oraz konieczność ręcznej aktualizacji i weryfikacji danych.	
VI. Kryterium techniczne	- Baza danych suchych dolin zaktualizowana w etapie IV. - Dane pozyskane na podstawie wizji terenowej oraz konsultacji eksperckiej. - Wizja terenowa została przeprowadzona w sierpniu 2024 r. wraz z dokumentacją fotograficzną. - Konsultacja ekspercka została przeprowadzona we wrześniu 2024 r. z ekspertem specjalizującym się w geografii fizycznej, geomorfologii i paleogeografii z UMCS Lublin. Wstępne przetwarzanie: - Sporządzenie notatek z konsultacji eksperckiej oraz podsumowania w formie tabelarycznej, - Identyfikacja wniosków dotyczących barier technicznych i organizacyjnych we wdrażaniu proekologicznego zagospodarowania suchych dolin.	- Suche doliny, na których prowadzono wycinkę drzew, co doprowadziło do zniszczenia ich struktury, oraz doliny wskazane przez eksperta zostały odrzucone z dalszych analiz. - Do dalszej analizy zostały wybrane suche doliny, które, na podstawie wizji terenowej i konsultacji eksperckiej, mogły zostać zagospodarowane w sposób proekologiczny. Trudności: zróżnicowany poziom szczegółowości informacji dotyczących geomorfologii poszczególnych suchych dolin.	

CHARAKTERYSTYKA KRYTERIÓW WYBORU LOKALIZACJI

Etap badań i nazwa kryterium	Źródło danych i przetwarzanie wstępne	Opis	Zasady operacyjne
TYP 1: PROEKOLOGICZNE ZAGOSPODAROWANIE SUCHYCH DOLIN			
VII. Konsultacje eksperckie	- Baza danych suchych dolin zaktualizowana w etapie VI. - Dane jakościowe uzyskano w wyniku konsultacji eksperckich przeprowadzonych w okresie od lutego do kwietnia 2025 r. - W konsultacjach uczestniczyli przedstawiciele Urzędu Miasta Lublin. - Konsultacje odbywały się w formie spotkań online, rozmów bezpośrednich oraz korespondencji e-mailowej. Wstępne przetwarzanie: - Sporządzenie notatek z rozmów oraz podsumowań w formie tabelarycznej. - Identyfikacja powtarzających się wniosków dotyczących barier technicznych i organizacyjnych we wdrażaniu proekologicznego zagospodarowania suchych dolin.	- Suche doliny, które według przedstawicieli Urzędu Miasta w Lublinie nie mogły zostać zagospodarowane w proekologiczny sposób, zostały odrzucone. - Suche doliny, których proekologiczne zagospodarowanie było zgodne z wyżej wymienionymi ustaleniami przedstawionymi przez przedstawicieli Urzędu Miasta Lublin, zostały uznane za najlepsze lokalizacje. - Wyniki konsultacji wykorzystano do weryfikacji założeń dotyczących wdrażania proekologicznego zagospodarowania suchych dolin. Trudności: zróżnicowany poziom szczegółowości informacji przekazywanych przez uczestników.	
TYP 2: PARKI LINEARNE			
Dane wyjściowe	- Analizy i przetwarzanie danych zostało wykonane w programie QGIS (wersja 3.34.15) oraz zastosowano układ współrzędnych: ETRF2000-PL/CS92. - Dane z lokalizacją terenów zielonych w mieście Lublin zostały pobrane w programie za pomocą wtyczki BDOT10k jako paczka danych SHP. - Atrybuty danych: skłód, rodzaj, gatunek, stan danych na 24 czerwiec 2024 r. Wstępne przetwarzanie: - Import danych do programu. - Weryfikacja geometrii obiektów. - Sprawdzenie poprawności i kompletności atrybutów. - Weryfikacja zgodności układu odniesienia.	- Obiekty z brakującymi lub nieprawidłowymi danymi zostały odrzucone. - Tereny zieleni prawidłowo zlokalizowane i posiadające pełny zestaw wymaganych informacji zostały uwzględnione w analizie. Trudności: konieczność sprawdzenia zgodności układu odniesienia oraz poprawności danych zaimportowanych do QGIS.	
Kryteria twarde			
I. Kryterium prawne	- Baza danych terenów zielonych w mieście opracowana na podstawie danych pobranych w programie za pomocą wtyczki BDOT10k. - Texty dokumentów planistycznych (studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Lublin, Miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego miasta Lublin na lata 2005-2024) są dostępne na stronie internetowej Urzędu Miasta Lublin (https://bip.lublin.eu/strategia-i-planowanie/planowanie-przestrzenne/). - Rysunki i dokumenty planistycznych w formacie WMS są dostępne na stronie internetowej Otwarte Dane Lublin (https://otwartedane.lublin.eu/). - Data pozyskania danych: 30 marzec 2024r. Wstępne przetwarzanie obejmuje dodanie warstw WMS do projektu QGIS, weryfikację poprawności odwzorowania oraz odniesienie do warstwy z lokalizacją zieleni w Lublinie.	- Celem analizy było opracowanie bazy danych z obszarami preferowanymi pod lokalizację zieleni urządzonej, zieleni parkowej, zieleni rekreacyjnej, zieleni niskiej, średniej i wysokiej. - Obszary położone w granicach terenów, dla których planowane jest zagospodarowanie inne niż zieleni urządzonej (np. zabudowa mieszkaniowa, usługowa, przemysłowa), zostały odrzucone z dalszych analiz. - Obszary objęte dokumentami planistycznymi i spełniające wymagania prawne zostały wybrane do dalszej analizy. Trudności: konieczność sprawdzenia zgodności układu odniesienia oraz poprawności importu danych WMS i dokumentów do środowiska QGIS.	
II. Kryterium techniczne (1)	- Baza danych z obszarami preferowanymi pod lokalizację zieleni zaktualizowana w etapie I. - Ortofotomapa z 2023 roku pobrana ze strony internetowej Otwarte Dane Lublin (https://otwartedane.lublin.eu/) jako GeoTIFF COG podłączony do programu. Wstępne przetwarzanie: - Aktualizacja bazy danych obszarów preferowanych pod wdrażanie zieleni poprzez dodanie atrybutu położenie. - Klasyfikacja terenów według położenia: „rzeka”, „droga”, „linia kolejowa” oraz „inne” na podstawie analizy położenia z wykorzystaniem Ortofotomapy.	- Obszary, dla których położenie zostało określone jako „inne”, zostały odrzucone z dalszych analiz. - Obszary z atrybutem położenia „rzeka”, „droga” lub „linia kolejowa” zostały wybrane do dalszej analizy. Trudności: konieczność ręcznej weryfikacji położenia obszarów w środowisku QGIS oraz sprawdzenia ich zgodności z Ortofotomapą i bazą danych preferowanych obszarów.	
III. Kryterium środowiskowe	- Baza danych obszarów preferowanych pod lokalizację zieleni zaktualizowana w etapie II. - Ortofotomapa z 2023 roku pobrana ze strony internetowej Otwarte Dane Lublin (https://otwartedane.lublin.eu/) jako GeoTIFF COG podłączony do programu. Wstępne przetwarzanie: - Import danych z lokalizacją budynków oraz dodanie rastra z ortofotomapą do programu. - Weryfikacja zgodności lokalizacji budynków z obrazem satelitarnym oraz przygotowanie warstw do analizy przestrzennej.	- Obszary, na których występowały zabudowania oraz zieleń urządzone, zostały odrzucone z dalszych analiz. - Do dalszych analiz wybrane zostały obszary, na których nie występowała zabudowa oraz które nie były zagospodarowane pod zieleń urządzonej. Trudności: konieczność ręcznego sprawdzenia lokalizacji budynków na Ortofotomapach oraz możliwe niezgodności w skali i rozdzielczości danych.	
Kryteria miękkie			
IV. Kryterium ekonomiczne	- Baza danych obszarów preferowanych pod lokalizację zieleni zaktualizowana w etapie III. - Baza danych w formacie WFS, pozyskana ze strony Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii, GUGiK (https://integracja.gugik.gov.pl) stan na dzień 1 kwietnia 2024. - Rozporządzenie Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 27 lipca 2021 r. w sprawie ewidencji gruntów i budynków (Dz.U.2024.0.219). Wstępne przetwarzanie: - Import bazy danych z lokalizacją działek, konwersja formatu danych WFS do formatu SHP. - Klasyfikacja działek według grupy rejestrowej oraz opis numerów grup rejestrowych zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii.	- Obszary, które były zlokalizowane na gruntach będących własnością prywatną zostały odrzucone z dalszych analiz. - Do dalszej analizy zostały wybrane obszary znajdujące się na gruntach będących własnością Skarbu Państwa, Gminy Lublin lub będące współwłasnością tych podmiotów. Trudności: konieczność ręcznej weryfikacji położenia obszarów preferowanych pod lokalizację zieleni, ponieważ częściowo pokrywały się one z kilkoma działkami, co wymagało ustaleń, które fragmenty terenu kwalifikują się do dalszej analizy.	
V. Kryterium techniczne (2)	- Baza danych obszarów preferowanych pod lokalizację zieleni zaktualizowana w etapie IV. Wstępne przetwarzanie: - Obliczenie powierzchni każdego obszaru w programie za pomocą narzędzia Kalkulator pol. - Analiza kształtu obszarów poprzez ocenę czy posiadają wydłużony charakter. - Ustalenie minimalnej powierzchni dla obszarów kwalifikujących się do dalszej analizy: 0,55 ha (Alexander i in. 2008, Korwel-Lejkowska i Topa 2017).	- Obszary o powierzchni < 0,55 ha i o innym kształcie niż wydłużony zostały odrzucone z dalszych analiz. - Obszary o powierzchni > 0,55 ha i wydłużonym kształcie zostały wybrane do dalszej analizy. Trudności: konieczność ręcznej weryfikacji kształtu i proporcji obszarów w celu potwierdzenia, że spełniają kryteria techniczne dotyczące wydłużenia i minimalnej powierzchni.	
VI. Kryterium społeczne	- Baza danych obszarów preferowanych pod lokalizację zieleni zaktualizowana w etapie V. - Dane wektorowe z przebiegiem dróg utwardzonych, ścieżek rowerowych i chodników do analiz zostały pobrane w programie za pomocą wtyczki QuickOSM, przy użyciu następujących par klucz-wartość: highway=primary, highway=secondary, highway=tertiary, highway=residential, highway=cycleway, highway=footway. - Dane z lokalizacją parkingów i przystanków zostały ściągnięte w programie przy wykorzystaniu mapy OpenStreetMap podłączonej do projektu jako usługi WMS. Wstępne przetwarzanie: - Integracja wszystkich warstw przestrzennych w układzie ETRF2000-PL/CS92. - Aktualizacja bazy danych z obszarami preferowanymi pod lokalizację zieleni poprzez dodanie atrybutu dostępność. - Klasyfikacja obszarów według dostępności komunikacyjnej: „dostępny”, „ograniczony dostęp” oraz „brak dostępu”.	- Obszary, które były słabo dostępne, czyli posiadały klasyfikację „ograniczony dostęp” lub „brak dostępu”, zostały odrzucone z dalszych analiz. - Do dalszej analizy zostały wybrane obszary, które były łatwo dostępne pieszo, rowerem, samochodem lub komunikacją miejską i zostały sklasyfikowane jako „dostępne”. Trudności: heterogeniczność źródeł danych przestrzennych (różne lata i formaty) oraz konieczność ręcznej weryfikacji przebiegu dróg, ścieżek rowerowych i chodników.	
VII. Kryterium techniczne (3)	- Baza danych obszarów preferowanych pod lokalizację zieleni zaktualizowana w etapie VI. - Dokumentacja wizji terenowych wykonana w październiku i grudniu 2024 r. wraz z fotografiami lokalizacji. Wstępne przetwarzanie obejmowało uzupełnienie atrybutów obszarów o informacje o stanie terenów uzyskane podczas wizji.	- Z dalszych analiz zostały odrzucone obszary w złym stanie technicznym i przestrzennym, nieredujące się do zagospodarowania jako park, a także te, które posiadały wprowadzone przez mieszkańców drobne elementy zieleni, takie jak donice z kwiatami czy rabaty kwiatowe. - Do dalszej analizy zostały wybrane obszary w dobrym stanie technicznym i przestrzennym, które umożliwiały zagospodarowanie terenu w formie parku oraz stwarzały potencjał do wprowadzenia nowych nasadzeń i elementów małej architektury. Trudności: konieczność ręcznej weryfikacji stanu terenów, dopasowania wyników wizji terenowych do danych przestrzennych w środowisku QGIS oraz oceny zdjęć dokumentacyjnych.	

CHARAKTERYSTYKA KRYTERIÓW WYBORU LOKALIZACJI

Etap badań i nazwa kryterium	Źródło danych i przetwarzanie wstępne	Opis	Zasady operacyjne
TYP 2: PARKI LINEARNE			
VIII. Kryterium ekologiczne	- Baza danych obszarów preferowanych pod lokalizację zieleni (zaktualizowana w etapie poprzednim). - Dane do analizy walorów przyrodniczych zostały pozyskane z różnych źródeł, w tym: 1. Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Lublin i miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego miasta Lublin na lata 2005-2024 (https://bip.lublin.eu/strategia-i-planowanie/planowanie-przestrzenne/). 2. Planu Adaptacji do zmian klimatu Miasta Lublin do roku 2030 (https://bip.lublin.eu/strategia-i-planowanie/ochrona-srodowiska/plan-adaptacji-do-zmian-klimatu-miasta-lublin-do-roku-2030.3282752.html). 3. Geoportalu Miasta Lublin (https://geoportal.lublin.eu/2d/). 4. Danych Otwartych Lublin (https://otwartedane.lublin.eu/group/przestrzen-srodowisko/). 5. Oficjalnych stron internetowych miasta i instytucji środowiskowych. 6. Ogólnodostępnych baz danych przestrzennych i map tematycznych. 7. Raportów dla poszczególnych działek pobranych ze strony internetowej OnGeo.pl. - Analizowano dostępne dane pod kątem zapisów dotyczących różnorodnych form ochrony obszarów preferowanych pod lokalizację zieleni w mieście Lublin. - Dane uzupełniające: Ortofotomapa z 2023 r. Wstępne przetwarzanie: 1. Aktualizacja bazy danych obszarów preferowanych pod lokalizację zieleni poprzez dodanie atrybutu walory. 2. Klasyfikacja obszarów według walorów przyrodniczych: „wysokie”, „średnie” oraz „małe”.	- Obszary, które były objęte ochroną oraz sklasyfikowane jako mające wysokie walory przyrodnicze, zostały odrzucone z dalszej analizy. - Do dalszych analiz zostały wybrane obszary, które nie posiadały istotnych walorów przyrodniczych, nie były objęte ochroną oraz zostały sklasyfikowane jako mające średnie lub małe walory przyrodnicze. Trudności: różnorodność źródeł danych i konieczność ich ujednolicenia, zróżnicowana szczegółowość i aktualność informacji, braki danych i luki informacyjne, problemy z integracją przestrzenną, subiektywna ocena walorów przyrodniczych oraz konieczność ręcznej aktualizacji i weryfikacji danych.	
IX. Kryterium eksperckie	- Baza danych obszarów preferowanych pod lokalizację zieleni (zaktualizowana w etapie poprzednim). - Dane jakościowe uzyskano w wyniku konsultacji eksperckich przeprowadzonych w okresie od lutego do kwietnia 2025 r. - W konsultacjach uczestniczyli naukowcy zaangażowani we wdrażanie i monitoring parków miejskich oraz przedstawiciele Urzędu Miasta Lublin. - Konsultacje odbywały się w formie spotkań online, rozmów bezpośrednich oraz korespondencji e-mailowej. Wstępne przetwarzanie: 1. Sporządzenie notatek z rozmów oraz podsumowań w formie tabelarycznej. 2. Identyfikacja powtarzających się wniosków dotyczących barier technicznych i organizacyjnych we wdrażaniu parków linearnych.	- Obszary, które według ekspertów oraz przedstawicieli Urzędu Miasta Lublin nie mogły zostać przeznaczone pod lokalizację parków linearnych, zostały odrzucone. - Obszary, które według ekspertów oraz przedstawicieli Urzędu Miasta Lublin mogły zostać przeznaczone pod lokalizację parków linearnych, zostały uznane za najlepsze lokalizacje. - Wyniki konsultacji wykorzystano do weryfikacji założeń dotyczących wdrażania proekologicznego zagospodarowania suchych dolin. Trudności: zróżnicowany poziom szczegółowości informacji przekazywanych przez uczestników.	
TYP 3: ZIELONY DACH MODUŁOWY			
Dane wyjściowe	- Analizy i przetwarzanie danych zostało wykonane w programie QGIS (wersja 3.34.15) oraz zastosowano układ współrzędnych ETRF2000-PL/CS92. - Dane z lokalizacji budynków na terenie Lublina pobrane zostały w programie QGIS jako paczka danych w formacie SHP za pomocą wtyczki Pobieracz Danych GUGiK. - Atrybuty danych: typ budynku, liczba kondygnacji, powierzchnia całkowita i wysokość, stan danych na dzień 30 grudnia 2024 r. Wstępne przetwarzanie obejmowało import danych SHP do QGIS oraz weryfikację atrybutów i geometrii.	- Obiekty z brakującymi lub nieprawidłowymi danymi atrybutowymi (np. brak informacji o liczbie kondygnacji) zostały odrzucone. - Budynki, które zostały prawidłowo zlokalizowane i posiadały pełny zestaw atrybutów (typ, liczba kondygnacji, powierzchnia oraz wysokość), zostały wybrane do dalszych analiz. Trudności: konieczność weryfikacji zgodności danych z układem odniesienia oraz sprawdzenia poprawności ich importu do programu QGIS.	
Kryteria twarde			
I. Kryterium prawne	- Baza danych budynków opracowana na podstawie danych pobranych w programie za pomocą wtyczki Pobieracz Danych GUGiK. - Teksty dokumentów planistycznych (Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Lublin, Miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego miasta Lublin na lata 2005-2024) są dostępne na stronie internetowej Urzędu Miasta Lublin (https://bip.lublin.eu/strategia-i-planowanie/planowanie-przestrzenne/). - Rysunki dokumentów planistycznych w formacie WMS są dostępne na stronie internetowej Otwarte Dane Lublin (https://otwartedane.lublin.eu/). - Dane o obiektach objętych ochroną konserwatorską są dostępne jako usługa WMS udostępniona przez Narodowy Instytut Dziedzictwa na stronie internetowej Otwarte Dane (https://uslugi.zabytek.gov.pl/ZEN/service.svc/get/). - Data pozyskania danych: 21 stycznia 2025 r. Wstępne przetwarzanie obejmuje dodanie warstw WMS do projektu QGIS, weryfikację geometrii i atrybutów oraz integrację z bazą danych budynków.	- Wszystkie budynki objęte ochroną konserwatorską oraz wskazane w miejscowych planach jako nieprzeznaczone pod zielone dachy zostały odrzucone z analizy. - Do dalszej analizy zostały wybrane budynki zlokalizowane na obszarach, na których dokumenty planistyczne dopuszczają instalację zielonych dachów. Trudności: interpretacja zapisów miejscowych planów w odniesieniu do poszczególnych budynków oraz konieczność uwzględnienia zróżnicowanego poziomu szczegółowości warstw WMS.	
II. Kryterium środowiskowe	- Baza danych budynków zaktualizowana w etapie I. - Ortofotomapa w podczerwieni (2024) pobrana ze strony internetowej Geoportalu Krajowego (https://www.geoportal.gov.pl/). Wstępne przetwarzanie: 1. Obliczenie NDVI w QGIS na podstawie Ortofotomapy w podczerwieni. 2. Identyfikacja pokrywy roślinnej na dachach. 3. Połączenie wyników z wektorową warstwą budynków.	- Budynki posiadające zielone dachy zostały odrzucone z dalszych analiz. - Do dalszych analiz zostały wybrane budynki, które nie posiadały zielonych dachów. Trudności: możliwe fałszywe wykrycia roślinności [np. drzewa przy krawężniach dachów] oraz konieczność ręcznej weryfikacji wyników NDVI.	
Kryteria miękkie			
III. Kryterium ekonomiczne	- Baza danych budynków zaktualizowana w etapie II. - Arkusz kalkulacyjny z listą adresów budynków należących do Gminy Lublin, uzyskano z Zarządu Nieruchomości Komunalnych w Lublinie (ZNK) w marcu 2025 r. Wstępne przetwarzanie: 1. Ręczne dodanie adresów z arkusza kalkulacyjnego do tabeli atrybutów bazy danych budynków w QGIS. 2. Weryfikacja poprawności powiązań adres-budynki.	- Budynki niebędące własnością Gminy Lublin zostały odrzucone z analizy. - Do dalszej analizy zostały wybrane budynki ujęte w arkuszu kalkulacyjnym pozyskanym od ZNK. Trudności: konieczność ręcznej weryfikacji zgodności adresów z zapisami w bazie danych QGIS oraz uwzględnienia możliwości występowania literówek lub rozbieżności w formacie adresów.	
IV. Kryterium techniczne (I)	- Baza danych budynków zaktualizowana w etapie III. - Modele 3D budynków zostały pobrane w QGIS za pomocą wtyczki Pobieracz danych GUGiK w układzie współrzędnych ETRF2000-PL/CS92 (stan na 30 grudnia 2024 r.). - Numeryczny Model Pokrywy Terenu (NMPT) oraz Numeryczny Model Terenu (NMT) pobrano ze strony internetowej Otwarte Dane Lublin (https://otwartedane.lublin.eu/) jako GeoTIFF COG podłączony do programu. Wstępne przetwarzanie: 1. Identyfikacja dachów płaskich na podstawie wartości „1000” w kolumnie rooftop na warstwie z modelem 3D budynków. 2. Obliczenie rastra jako różnicy między NMPT a NMT przy użyciu narzędzia Kalkulator rastra poprzez wprowadzenie wyrażenia: NMPT@1 - NMT@1. 3. Obliczenie nachyleń dachów za pomocą wtyczki Nachylenie. 4. Podział rastrowych danych o nachyleniu na dwie kategorie przy użyciu Kalkulatora rastra, wprowadzając wyrażenie: (Nachylenie@1 <= 5) * 1 + (Nachylenie@1 > 5) * 2. 5. Wektoryzacja uzyskanego rastra z kategoriami nachylenia za pomocą narzędzia Poligonizuj. 6. Obliczenie powierzchni dachów dla warstwy wektorowej z kategoriami nachylenia w tabeli atrybutów przy użyciu narzędzia Kalkulator pol.	- Z dalszej analizy zostały odrzucone budynki, które nie miały dachów płaskich (rooftop = 1000) i miały nachylenie > 5%. - Do dalszej analizy zostały wybrane budynki z dachami płaskimi (rooftop = 1000), o nachyleniu ≤ 5% i powierzchni ≥ 10 m². Trudności: konieczność weryfikacji dokładności klasyfikacji dachów w kolumnie rooftop oraz uwzględnienia możliwości błędnej klasyfikacji w danych 3D.	
V. Kryterium społeczne	- Baza danych budynków zaktualizowana w etapie IV. - Dane wektorowe budynków z atrybutem liczby kondygnacji. - NMPT do wirtualizacji wysokości budynków. - Ortofotomapa z 2023 roku pobrana ze strony internetowej Otwarte Dane Lublin (https://otwartedane.lublin.eu/) jako GeoTIFF COG podłączony do programu. Wstępne przetwarzanie: 1. Przypisanie etykiet budynkom wskazujących liczbę kondygnacji. 2. Wstępna analiza widoczności – określenie, czy wybrane budynki są widoczne z kondygnacji sąsiednich budynków, z wykorzystaniem ortofotomapy do identyfikacji lokalizacji okien w programie. 3. Uzupełnienie wyników obserwacjami terenowymi (weryfikacja rzeczywistej widoczności z okien sąsiednich budynków).	- Budynki, których dachy były niewidoczne z sąsiednich budynków, zostały odrzucone. - Do dalszej analizy zostały wybrane budynki, których dachy były wyraźnie widoczne z okien sąsiednich budynków. Trudności: konieczność ręcznej weryfikacji w terenie w celu potwierdzenia rzeczywistej widoczności analizowanych dachów z wyższych kondygnacji budynków sąsiednich oraz uwzględnienia różnic w oświetleniu i jakości Ortofotomapy (np. cienie, odbicia), które utrudniały interpretację.	

CHARAKTERYSTYKA KRYTERIÓW WYBORU LOKALIZACJI

Etap badań i nazwa kryterium	Źródło danych i przetwarzanie wstępne	Opis	Zasady operacyjne
TYP 3: ZIELONY DACH MODUŁOWY			
VI. Kryterium ekologiczne	- Baza danych budynków zaktualizowana w etapie V. - Analizowano obowiązujące miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego Lublina pod kątem zapisów dotyczących wymaganego udziału powierzchni biologicznie czynnej w granicach działki oraz założenie średniej wartości 30% powierzchni biologicznie czynnej na działkę dla różnych rodzajów użytkowania terenu. - Dane o terenach zielonych uzyskano w programie za pomocą wtyczki QuickOSM przy użyciu następujących par klucz-wartość: <i>landuse=gross, landuse=meadow, landuse=forest, landuse=allotments, leisure=park, leisure=garden, natural=tree, natural=tree_row, natural=scrub, natural=wood, natural=grassland</i>. - Dane uzupełniające: Baza Danych Obiektów Topograficznych (BDOT10k) z 2021 r., pobrana za pomocą wtyczki BDOT10k, Ortofotomapa z 2023 r., przebieg granic działek pobrany ze strony internetowej Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii, GUGIK (https://integracja.gugik.gov.pl). Wstępne przetwarzanie: - Integracja wszystkich warstw przestrzennych w układzie ETRF2000_PL/CS92. - Obliczenie powierzchni biologicznie czynnej w obrębie każdej działki za pomocą narzędzia Kalkulator pól.	- Z danych analiz zostały odrzucone budynki zlokalizowane na działkach, na których powierzchnia biologicznie czynna była wyższa niż 30%. - Do dalszej analizy zostały wybrane budynki zlokalizowane na działkach, na których powierzchnia biologicznie czynna wynosiła mniej niż 30%. - Zgodnie z ustawą o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym [27 marca 2003 r., z późn. zm.], powierzchnię zielonego dachu można uznać za biologicznie czynną, jeśli wynosi co najmniej 10 m². Trudności: heterogeniczność źródeł danych przestrzennych (różne lata i formaty); ograniczona dokładność granic działek w odniesieniu do Ortofotomapy; możliwość zawyżenia powierzchni zielonych z powodu nakładających się warstw (np. korony drzew poza granicami działki); konieczność ręcznej weryfikacji działek, których powierzchnia zielona była bliska wartości granicznej (~30%).	
VII. Kryterium techniczne (2)	- Baza danych budynków zaktualizowana w etapie VI. - Dane uzyskano na podstawie konsultacji z zarządcami budynków – rozmów telefonicznych i korespondencji e-mail prowadzonej w marcu-kwietniu 2025 r. Zarządcy przekazali informacje o stanie technicznym budynków i dachów, ich dostępności oraz aktualnym sposobie użytkowania. - W kwietniu 2025 r. przeprowadzono wizytę w terenie wybranych budynków w celu potwierdzenia stanu technicznego dachów oraz ich dostępności. Wstępne przetwarzanie: - Aktualizacja bazy danych budynków w QGIS poprzez dodanie atrybutu dostępność. - Klasyfikacja budynków według technicznej wykonalności instalacji zielonego dachu: „dostępny”, „ograniczony dostęp” oraz „brak dostępu”.	- Buildynki zostały odrzucone, jeśli zarządca potwierdził, że dostęp do dachu jest niemożliwy (np. brak wjazdu dachowego, strąmy dostęp lub zły stan konstrukcyjny) lub jeśli pokrycie dachowe było w złym stanie i wymagało naprawy. - Do dalszej analizy zostały wybrane budynki, dla których zarządca potwierdził, że dostęp do dachu jest możliwy oraz pokrycie dachowe było w dobrym stanie i nie wymaga naprawy. Trudności: brak jednolitego formatu danych od zarządców (informacje o różnym stopniu szczegółowości); konieczność ręcznej weryfikacji i uzupełniania brakujących danych w QGIS; ograniczona możliwość przeprowadzenia wizyt terenowych dla wszystkich budynków ze względu na brak dostępu do dachów.	
VIII. Konsultacje eksperckie	- Baza danych budynków zaktualizowana w etapie VII. - Dane jakościowe uzyskano w wyniku konsultacji eksperckich przeprowadzonych w okresie od lutego do kwietnia 2025 r. - W konsultacjach uczestniczyli naukowcy zaangażowani we wdrażanie i monitoring zielonych dachów oraz przedstawiciele Urzędu Miasta Lublin. - Konsultacje odbywały się w formie spotkań online, rozmów bezpośrednich oraz korespondencji e-mailowej. Wstępne przetwarzanie: - Sporządzenie notatek z rozmów oraz podsumowań w formie tabelarycznej. - Identyfikacja powtarzających się wniosków dotyczących barier technicznych i organizacyjnych we wdrażaniu zielonych dachów.	- Buildynki, które według ekspertów oraz przedstawicieli Urzędu Miasta Lublin nie mogły zostać przeznaczone pod lokalizację zielonych dachów, zostały odrzucone. - Buildynki, które według ekspertów oraz przedstawicieli Urzędu Miasta Lublin mogły zostać przeznaczone pod lokalizację zielonych dachów, zostały uznane za najlepsze lokalizacje. - Wyniki konsultacji wykorzystano do weryfikacji założeń dotyczących wdrażania zielonych dachów modułowych. Trudności: zróżnicowany poziom szczegółowości informacji przekazywanych przez uczestników oraz ograniczona dostępność ekspertów.	
TYP 4: HYDROFITOWE OCZYSZCZALNIE ŚCIEKÓW			
Dane wyjściowe	- Analizy i przetwarzanie danych zostało wykonane w programie QGIS (wersja 3.34.15) oraz zastosowano układ współrzędnych: ETRF2000_PL/CS92. - Arkusz kalkulacyjny z listą adresów budynków niepodłączonych do miejskiej sieci kanalizacyjnej udostępniony przez Wydział Ochrony Środowiska Urzędu Miasta Lublin, stan danych na 4 marca 2024 r. - Ortofotomapa z 2023 roku pobrana ze strony internetowej Otwarte Dane Lublin (https://otwartedane.lublin.eu/) jako GeoTIFF COG podłączony do programu. Wstępne przetwarzanie obejmowało ręczne dodanie adresów z arkusza kalkulacyjnego do programu poprzez utworzenie warstwy punktowej zawierającej numer punktu, adres i zbiornik bezodpływowy.	- Utworzona warstwa punktowa stanowiła podstawę do dalszej analizy przestrzennej lokalizacji potencjalnych oczyszczalni przydomowych. - Punkty z niekompletnymi lub błędnymi danymi adresowymi zostały odrzucone. - Do dalszej analizy zostały wybrane punkty, które posiadały kompletne i poprawne dane adresowe. Trudności: różnice w formacie danych adresowych oraz konieczność ręcznego dopasowania lokalizacji adresów do warstwy budynków w QGIS, w tym korekta adresów niepowiązanych z istniejącą zabudową na podstawie Ortofotomapy i danych ewidencyjnych.	
Kryteria twarde			
I. Kryterium prawne (1)	- Baza danych z budynkami niepodłączonymi do miejskiej sieci kanalizacyjnej opracowana na podstawie danych pozyskanych z Wydziału Ochrony Środowiska Urzędu Miasta Lublin. - Uchwała nr 758/XXII/2020 Rady Miasta Lublin z dnia 19 listopada 2020 r. w sprawie zmiany obszaru i granic aglomeracji Lublin (https://lublin.eu/mieszkancy/rodowisko/woda-w-mieście/kposz/). Wstępne przetwarzanie polegało na identyfikacji adresów położonych poza Aglomeracją Lublin, na podstawie Uchwały nr 758/XXII/2020.	- Adresy budynków znajdujących się wewnątrz granic aglomeracji zostały odrzucone, ponieważ zgodnie z obowiązującymi przepisami właściciele tych obiektów są zobowiązani do przyłączenia do miejskiej sieci kanalizacyjnej, a oczyszczanie ścieki muszą spełniać specjalne normy. - Do dalszych analiz zostały wybrane budynki zlokalizowane poza granicami Aglomeracji Lublin. Trudności: różnice w geometrii granic aglomeracji między warstwami bytowymi oraz konieczność ręcznej weryfikacji lokalizacji punktów adresowych w przypadkach granicznych.	
II. Kryterium środowiskowe	- Baza danych z budynkami niepodłączonymi do miejskiej sieci kanalizacyjnej zaktualizowana w etapie I. - Arkusz kalkulacyjny z listą adresów budynków niepodłączonych do miejskiej sieci kanalizacyjnej udostępniony przez Wydział Ochrony Środowiska Urzędu Miasta Lublin z rodzajem zbiornika do przetwarzania ścieków Wstępne przetwarzanie polegało na identyfikacji adresów posiadających zbiorniki bezodpływowe na ścieki bytowe.	- Adresy budynków posiadające inne systemy oczyszczania ścieków bytowych lub nieokreślone w sposób jednoznaczny zostały odrzucone z dalszej analizy. - Do dalszych analiz zostały wybrane budynki posiadające zbiorniki bezodpływowe na ścieki. Trudności: konieczność weryfikacji rodzaju posiadanego zbiornika na ścieki w odniesieniu do tabeli w Excelu.	
III. Kryterium prawne (2)	- Baza danych z budynkami niepodłączonymi do miejskiej sieci kanalizacyjnej zaktualizowana w etapie II. - Teksty dokumentów planistycznych (Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Lublin, Miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego miasta Lublin na lata 2005-2024) są dostępne na stronie internetowej Urzędu Miasta Lublin (https://bip.lublin.eu/strategia-i-planowanie/planowanie-przestrzennego). - Rysunki dokumentów planistycznych w formacie WMS są dostępne na stronie internetowej Otwarte Dane Lublin (https://otwartedane.lublin.eu/). - Zaplanowana rozbudowa sieci kanalizacyjnej dostępna na Geoportalu Miasta Lublin (https://geoportal.lublin.eu/2d/). - Data pozyskania danych: 20 maja 2025 r. Wstępne przetwarzanie: - Weryfikacja adresów budynków pod kątem ich położenia względem obszarów objętych planowaną budową, rozbudową lub modernizacją sieci kanalizacyjnej. - Ujednolicenie układu współrzędnych i kontrola poprawności wyświetlania warstw planistycznych.	- Na podstawie połączenia warstw dokumentów planistycznych i granic planowanej sieci kanalizacyjnej zostały odrzucone adresy budynków znajdujące się w obszarach objętych planowaną budową, rozbudową lub modernizacją sieci kanalizacyjnej. Wybrane zostały adresy budynków pozostające poza zasięgiem projektowanej infrastruktury kanalizacyjnej, potencjalnie kwalifikujące się do wdrożenia indywidualnych systemów oczyszczania ścieków. Trudności: konieczność ręcznej weryfikacji położenia punktów adresowych w przypadkach, gdy granice planowanych inwestycji przebiegały w bezpośrednim sąsiedztwie analizowanych działek; rozbieżności w aktualności warstw WMS oraz konieczność synchronizacji układów współrzędnych pomiędzy różnymi źródłami danych.	
Kryteria miękkie			
IV. Kryterium ekonomiczne	- Baza danych z budynkami niepodłączonymi do miejskiej sieci kanalizacyjnej zaktualizowana w etapie III. - Baza działek w formacie WFS, pozyskana ze strony Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii, GUGIK (https://integracja.gugik.gov.pl) stan na dzień 1 kwietnia 2024 r. - Rozporządzenie Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 27 lipca 2021 r. w sprawie ewidencji gruntów i budynków (Dz.U.2024.0.239). Wstępne przetwarzanie: - Import bazy danych z lokalizacją działek, konwersja formatu danych WFS do formatu SHP. - Klasyfikacja działek według grupy rejestrowej oraz opis numerów grup rejestrowych zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii.	- Adresy budynków, które były zlokalizowane na gruntach będących własnością prywatną, zostały odrzucone z dalszych analiz. - Do dalszej analizy zostały wybrane adresy budynków znajdujące się na gruntach będących własnością Skarbu Państwa, Gminy Lublin lub będące współwłasnością tych podmiotów. Trudności: konieczność ręcznej weryfikacji położenia adresów niepodłączonych do miejskiej sieci kanalizacyjnej, które częściowo pokrywały się z kilkoma działkami, w celu ustalenia, które fragmenty terenu faktycznie kwalifikują się do dalszej analizy.	

CHARAKTERYSTYKA KRYTERIÓW WYBORU LOKALIZACJI

Etap badań i nazwa kryterium	Źródło danych i przetwarzanie wstępne	Opis	Zasady operacyjne																	
TYP 4: HYDROFITOWE OCZYSZCZALNIE ŚCIEKÓW																				
V. Kryterium techniczne (1)	- Baza danych z budynkami niepodłączonymi do miejskiej sieci kanalizacyjnej zaktualizowana w etapie IV. - Przeglądowa mapa geologiczno-inżynierska Polski w skali 1:500 000, pobrana w formacie SHP ze strony internetowej Centralnej Bazy Danych Geologicznych, CBDG (https://baza.pgi.gov.pl), dane pozyskane 20 maja 2025 r. - Podział gruntów na klasy w zależności od ich wodoprzepuszczalności [Błażejewski 2003; Karczmarczyk, 2016]. <table><thead><tr><th>Klasa przepuszczalności gruntu</th><th>Czas wsiąkania wody [min]</th><th>Rodzaj gruntu</th></tr></thead><tbody><tr><td>A</td><td>< 2</td><td>Rumosze, żwirny, pospółki</td></tr><tr><td>B</td><td>2-18</td><td>Piaski grube i średnie</td></tr><tr><td>C</td><td>18-180</td><td>Piaski drobne i lessy</td></tr><tr><td>D</td><td>180-780</td><td>Piaski pyłaste i gliniaste</td></tr><tr><td>E</td><td>> 780</td><td>Gliny, ility</td></tr></tbody></table> Wstępne przetwarzanie: - Import warstwy SHP do projektu QGIS. - Przejęcie pozyskanych danych do obszaru miasta Lublin. - Identyfikacja i klasyfikacja rodzajów gleb występujących na analizowanych adresach oraz przypisanie adresem tym rodzajów gleb. - Przypisanie kategoriom gleb klas przepuszczalności zgodnie z klasyfikacją Błażejewskiego.	Klasa przepuszczalności gruntu	Czas wsiąkania wody [min]	Rodzaj gruntu	A	< 2	Rumosze, żwirny, pospółki	B	2-18	Piaski grube i średnie	C	18-180	Piaski drobne i lessy	D	180-780	Piaski pyłaste i gliniaste	E	> 780	Gliny, ility	- Adresy budynków położonych na gruntach o bardzo niskiej przepuszczalności (klasa A) oraz wysokiej przepuszczalności (klasa E) zostały odrzucone jako nieodpowiednie dla funkcjonowania systemów hydrofitowych. - Do dalszej analizy zostały wybrane adresy budynków, w których grunty zaliczono do klas wodoprzepuszczalności B-D, zgodnie z zaleceniami ekspertów. Trudności: różnice w dokładności danych geologicznych oraz konieczność ręcznego dopasowania granic klas glebowych do lokalizacji punktów adresowych uwzględnionych w analizie.
Klasa przepuszczalności gruntu	Czas wsiąkania wody [min]	Rodzaj gruntu																		
A	< 2	Rumosze, żwirny, pospółki																		
B	2-18	Piaski grube i średnie																		
C	18-180	Piaski drobne i lessy																		
D	180-780	Piaski pyłaste i gliniaste																		
E	> 780	Gliny, ility																		
VI. Kryterium techniczne (2)	- Baza danych z budynkami niepodłączonymi do miejskiej sieci kanalizacyjnej zaktualizowana w etapie V. - Dane z lokalizacją budynków na terenie Lublina pobrane zostały w programie QGIS jako paczka danych w formacie SHP za pomocą wtyczki Pobieracz Danych GUGIK, stan na 30 grudnia 2024 r. - Liczbę mieszkańców w gospodarstwie domowym przyjęto na podstawie danych statystyczne z Głównego Urzędu Statystycznego, która w 2023 r. wynosiła 2 osoby [GUS, 2023]. - Dane dotyczące przeciętnego zużycia wody przyjęto na poziomie 140 l/osobę/dzień [4,2 m³/miesiąc] zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z 14 stycznia 2002 r. w sprawie przeciętnych norm zużycia wody. - Rozporządzenia techniczne i przepisy branżowe określające minimalne odległości od obiektów i sieci infrastruktury. Wstępne przetwarzanie: - Aktualizacja bazy danych adresów niepodłączonych do miejskiej sieci kanalizacyjnej w QGIS poprzez dodanie atrybutu funkcja. - Klasyfikację budynków według funkcji. - Obliczenie teoretycznej powierzchni oczyszczalni dla każdego wytypowanego adresu.	- Z dalszych analiz zostały odrzucone adresy budynków, dla których nie było możliwe spełnienie wymagań technicznych i przestrzennych – dotyczących lokalizacji oczyszczalni – w szczególności z powodu niewystarczającej powierzchni działki lub braku możliwości zachowania wymaganych odległości od istniejących sieci i obiektów infrastruktury. - Do dalszej analizy zostały wybrane adresy z budynkami mieszkalnymi, charakteryzującymi się stałym, całorocznym dopływem ścieków, dla których teoretyczna powierzchnia oczyszczalni – obliczona jako suma dwóch 2802 filtracyjnych pionowych (VF) o powierzchni 3 m² na osobę i poziomego (HPF) o powierzchni 4 m² na osobę, co łącznie daje 7 m² na osobę [wg Skrzypiec i Gajewska, 2017] – mogła zostać zlokalizowana na działce w sposób spełniający wszystkie wymagania techniczne i przestrzenne, w tym zachowanie minimalnych odległości od sieci i obiektów: 0,6 m od instalacji elektrycznej, 1,5 m od instalacji z wodą i gazem, 2 m od granicy działki, drzew i krzewów, 5 m od budynku oraz 5 m od studni (30 m w przypadku drenażu). - Kryterium to pozwoliło by wyłonić działki, na których montaż oczyszczalni jest technicznie możliwy. Trudności: konieczność ręcznej weryfikacji w QGIS odległości planowanych lokalizacji oczyszczalni od istniejących sieci infrastrukturalnych, w tym wodociagowych, gazowych i elektrycznych.																		
VII. Kryterium społeczne	- Baza danych z budynkami niepodłączonymi do miejskiej sieci kanalizacyjnej zaktualizowana w etapie VI. - Weryfikacja możliwości udostępnienia planowanych lokalizacji hydrofitowych oczyszczalni ścieków do celów edukacyjnych została przeprowadzona na podstawie wizji terenowych. Wstępne przetwarzanie obejmowało dodanie informacji do bazy danych z adresami po wizji terenowej oraz przypisanie atrybutu „możliwość udostępnienia edukacyjnego” w formie oceny jakościowej (tak / częściowo / nie).	- Celem analizy było określenie, czy lokalizacje potencjalnych oczyszczalni hydrofitowych mogą pełnić również funkcję edukacyjną – np. jako obiekty demonstracyjne lub elementy zielonej infrastruktury dostępne dla społeczności lokalnej. - W ramach oceny terenowej sprawdzano m.in. dostępność komunikacyjną, bezpieczeństwo dojścia, potencjalne walory edukacyjne oraz sąsiedztwo terenów publicznych (szkół, parków, ośrodków kultury). - Z dalszych analiz zostały odrzucone lokalizacje, w których ze względów technicznych, przestrzennych lub bezpieczeństwa nie było możliwe zapewnienie bezpiecznego i funkcjonalnego udostępnienia oczyszczalni dla celów edukacyjnych. - Do dalszej analizy zostały wybrane lokalizacje, w których możliwe było bezpieczne i funkcjonalne udostępnienie oczyszczalni. Trudności: konieczność ręcznej weryfikacji warunków terenowych oraz aktualizacji danych przestrzennych na podstawie obserwacji wykonanych w terenie.																		
VIII. Kryterium ekologiczne	- Baza danych z budynkami niepodłączonymi do miejskiej sieci kanalizacyjnej zaktualizowana w etapie VII. - Dane do analizy walorów przyrodniczych zostałyby pozyskane z różnych źródeł, w tym: - studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Lublin, i miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego miasta Lublin na lata 2005-2024 (https://bip.lublin.eu/strategia-i-planowanie/planowanie-przestrzenne/), - Planu Adaptacji do zmian klimatu Miasta Lublin do roku 2030 (https://bip.lublin.eu/strategia-i-planowanie/ochrona-srodowiska/plani-adaptacji-do-zmian-klimatu-miasta-lublin-do-roku-2030.3.28275.2.html), - Geoportalu Miasta Lublin (https://geoportallublin.eu/2d/), - Danych Otwartych Lublin (https://otwartedane.lublin.eu/group/przestrzen-srodowisko/), - Oficjalnych stron internetowych miasta i instytucji środowiskowych, - Ogólnodostępnych baz danych przestrzennych i map tematycznych, - Raportów dla poszczególnych działek pobranych ze strony internetowej OnGeo.pl. - Analizowano by dostępne dane pod kątem zapisów dotyczących różnorodnych form ochrony obszarów preferowanych pod lokalizację zieleni w mieście Lublin. - Dane uzupełniające: Ortofotomapa z 2023 r. Wstępne przetwarzanie: - Aktualizację bazy adresów z budynkami niepodłączonymi do miejskiej sieci kanalizacyjnej poprzez dodanie atrybutu walory. - Klasyfikację adresów według walorów przyrodniczych: „wysokie”, „średnie” oraz „małe”	- Obszary które były objęte ochroną oraz sklasyfikowane jako mające wysokie walory przyrodnicze, zostały odrzucone z dalszej analizy. - Do dalszych analiz zostały wybrane obszary, które nie posiadały istotnych walorów przyrodniczych, nie były objęte ochroną oraz zostały sklasyfikowane jako mające średnie lub małe walory przyrodnicze. Trudności: różnorodność źródeł danych i konieczność ich ujednolicenia, zróżnicowana szczegółowość i aktualność informacji, braki danych i luki informacyjne, problemy z integracją przestrzenną, subiektywna ocena walorów przyrodniczych oraz konieczność ręcznej aktualizacji i weryfikacji danych.																		
IX. Konsultacje eksperckie	- Baza danych z budynkami niepodłączonymi do miejskiej sieci kanalizacyjnej zaktualizowana w etapie VIII. - Dane jakościowe uzyskano by w wyniku konsultacji eksperckich. - W konsultacjach uczestniczyliby naukowcy zaangażowani we wdrażanie i monitoring hydrofitowych oczyszczalni ścieków oraz przedstawiciele Urzędu Miasta Lublin. - Konsultacje mogłyby odbyć się w dowolnej formie preferowanej przez ekspertów. Wstępne przetwarzanie: - Sporządzenie notatek z rozmów oraz podsumowań w formie tabelarycznej. - Identyfikację powtarzających się wniosków dotyczących barier technicznych i organizacyjnych we wdrażaniu hydrofitowych oczyszczalni ścieków.	- Obszary, które według ekspertów oraz przedstawicieli Urzędu Miasta Lublin nie mogły zostać przeznaczone pod lokalizację hydrofitowych oczyszczalni ścieków, zostały odrzucone. - Obszary, które według ekspertów oraz przedstawicieli Urzędu Miasta Lublin mogły zostać przeznaczone pod lokalizację hydrofitowych oczyszczalni ścieków, zostały uznane za najlepsze lokalizacje. - Wyniki konsultacji wykorzystano do weryfikacji założeń dotyczących wdrażania hydrofitowych oczyszczalni ścieków na terenach miejskich. Trudności: zróżnicowany poziom szczegółowości informacji przekazywanych przez uczestników.																		

5.3.4. Określenie skuteczności wybranych typów NBS i istotności ich czynników lokalizacyjnych

Część dotycząca czwartego etapu badań mającego na celu określenie skuteczności wybranych typów NBS i istotności ich czynników lokalizacyjnych w kontekście zrównoważonego rozwoju obszarów miejskiej stanowi materiał niepublikowany.

Określenia stopnia skuteczności dokonano na podstawie: (1) oceny skuteczności analizowanych typów NBS zawartej w **Załączniku 10.5.** będącego efektem II etapu analiz oraz (2) wyników niżej opisanego badania ankietowego w odniesieniu do części 2.

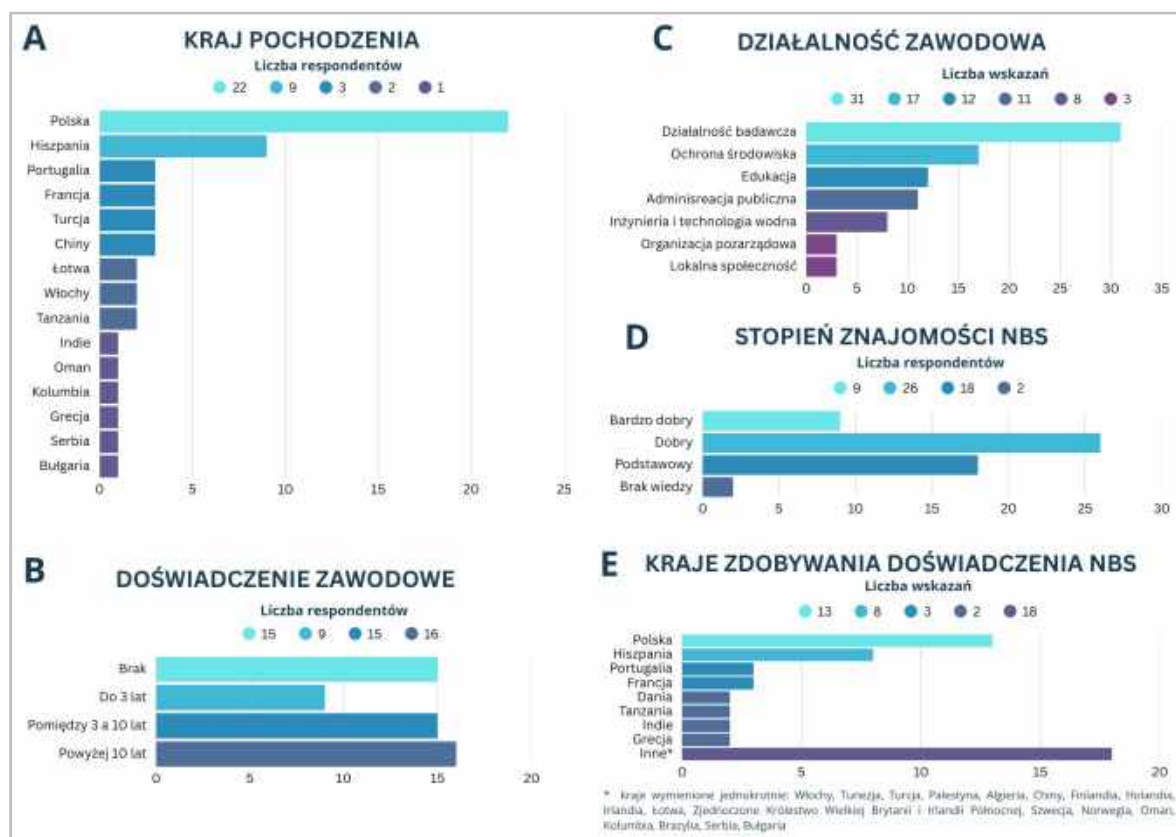
Określenia stopnia istotności czynników lokalizacyjnych dokonano na podstawie: (1) wyników etapu trzeciego rozprawy i odzwierciedlono jako udział procentowy lokalizacji odrzuconych w odniesieniu do liczby lokalizacji z bazy wyjściowej dla danego typ NBS oraz (2) wyników niżej opisanego badania ankietowego w odniesieniu do części 3.

Przyjęte podejście pozwoliło na porównanie skuteczności i istotności czynników lokalizacyjnych zarówno pomiędzy czterema analizowanymi typami NBS jak i w odniesieniu do różnic / podobieństw pomiędzy deponentami z Polski i innych krajów.

Przeprowadzone badanie ankietowe miało szerszy zakres, jednak na potrzeby niniejszej rozprawy wykorzystano jedynie część dotyczącą skuteczności oraz czynników lokalizacyjnych analizowanych czterech typów NBS według stanu na październik 2025 roku. Wzór kwestionariusza, obejmujący część wykorzystaną w niniejszej rozprawie, zamieszczono w **Załączniku 10.2.** Kwestionariusz przygotowano w dwóch wersjach językowych – polskiej i angielskiej – w identycznej formie treściowej i technicznej, z wykorzystaniem platformy Google Formularze. Badanie realizowano wyłącznie w formie online, w okresie od kwietnia do października 2025 roku. Ankieta została rozesłana drogą e-mail oraz udostępniona poprzez linki w mediach społecznościowych szerokiej grupie respondentów tak aby w badaniu uczestniczyły zarówno osoby związane zawodowo lub naukowo z NBS, jak również przedstawiciele administracji publicznej i społeczności lokalnej.

Kwestionariusz składał się z trzech części i łącznie uzyskano 55 poprawnie wypełnionych kwestionariuszy, które posłużyły jako podstawa analizy. Pierwsza część dotyczyła danych respondenta. Spośród 55 respondentów, 22 pochodziła z Polski, 9 z Hiszpanii, a reszta reprezentowała 13 innych krajów świata - od 1 do 3 osób (**Ryc. 6A**). Wśród respondentów, 16 osób posiadało doświadczenie zawodowe związane z NBS przekraczające 10 lat (**Ryc. 6B**). Respondenci działali w różnych sektorach zawodowych,

przy czym najwięcej osób prowadziło działalność badawczą (31) oraz zajmowało się ochroną środowiska (17) (**Ryc. 6C**). Większość ankietowanych charakteryzowała się dobrą znajomością koncepcji NBS (26) (**Ryc. 6D**). Doświadczenie zawodowe ankietowani zdobyli głównie w Polsce, Hiszpanii, Portugalii i Francji (**Ryc. 6E**).



Ryc. 6. A. Kraj pochodzenia respondentów. B. Posiadane przez respondentów doświadczenie w zakresie NBS. C. Dziedzina prowadzonej działalności zawodowej D. Stopień znajomości koncepcji NBS. E. Kraje, w których respondenci zdobywali doświadczenie w zakresie NBS.

W drugiej części respondenci oceniali skuteczność czterech analizowanych w niniejszej rozprawie typów NBS według sześciu kryteriów: redukcja zanieczyszczeń, koszty wdrożenia i utrzymania, wymagania przestrzenne, możliwość integracji z infrastrukturą szarą oraz korzyści środowiskowych i społecznych. Oceny dokonywano w pięciostopniowej skali Likerta, gdzie 1 oznaczało bardzo niską, a 5 – bardzo wysoką skuteczność danego rozwiązania w danym aspekcie.

Trzecia część kwestionariusza dotyczyła preferencji respondentów w zakresie NBS ukierunkowanych na zrównoważone zarządzanie błękitno-zieloną infrastrukturą miejską. Ankietowani mieli za zadanie wskazanie, które z wymienionych 12 czynników (patrz

Załączniku 10.2.) powinny decydować o wyborze lokalizacji danego typu NBS. Respondenci mogli również wskazać inne czynniki, które uznawali za istotne.

Analiza statystyczna uzyskanych wyników obejmowała metody ilościowe i jakościowe, dostosowane do charakteru uzyskanych danych, i została przeprowadzona z wykorzystaniem programu Statistica i MS Excel. W odniesieniu do **części 2** kwestionariusza, dane liczbowo-porządkowe dotyczące ocen sześciu kryteriów dla czterech analizowanych typów NBS poddano analizie opisowej i porównawczej. Analizę opisową przeprowadzono przy użyciu podstawowych miar tendencji centralnej (średnia, mediana) oraz miar zróżnicowania (odchylenie standardowe). W analizie porównawczej analizowano różnice między dwoma grupami respondentów: (1) z Polski oraz (2) z reszty świata. Ze względu na porządkowy charakter danych (skala ocen od 1 do 5) oraz brak pewności co do spełnienia założenia normalności rozkładu, do porównań zastosowano nieparametryczny test Manna–Whitneya U, wartość $p < 0,05$ uznano za granicę istotności. W odniesieniu do **części 3** kwestionariusza dokonano analizy odpowiedzi respondentów dotyczących czynników, które ich zdaniem powinny decydować o wyborze lokalizacji NBS w przestrzeni miejskiej. Pytanie miało charakter wielokrotnego wyboru, co oznacza, że każdy z 55 uczestników mógł zaznaczyć więcej niż jeden czynnik. Analiza obejmowała zliczenie liczby respondentów, którzy wskazali daną kategorię, oraz obliczenie udziału procentowego w stosunku do całkowitej liczby uczestników badania ($n = 55$). Analiza uwzględniała również podział geograficzny – zliczono osobno wskazania respondentów z Polski i z innych krajów.

6. Wyniki badań

6.1. Określenie stanu wdrożenia NBS w Lublinie

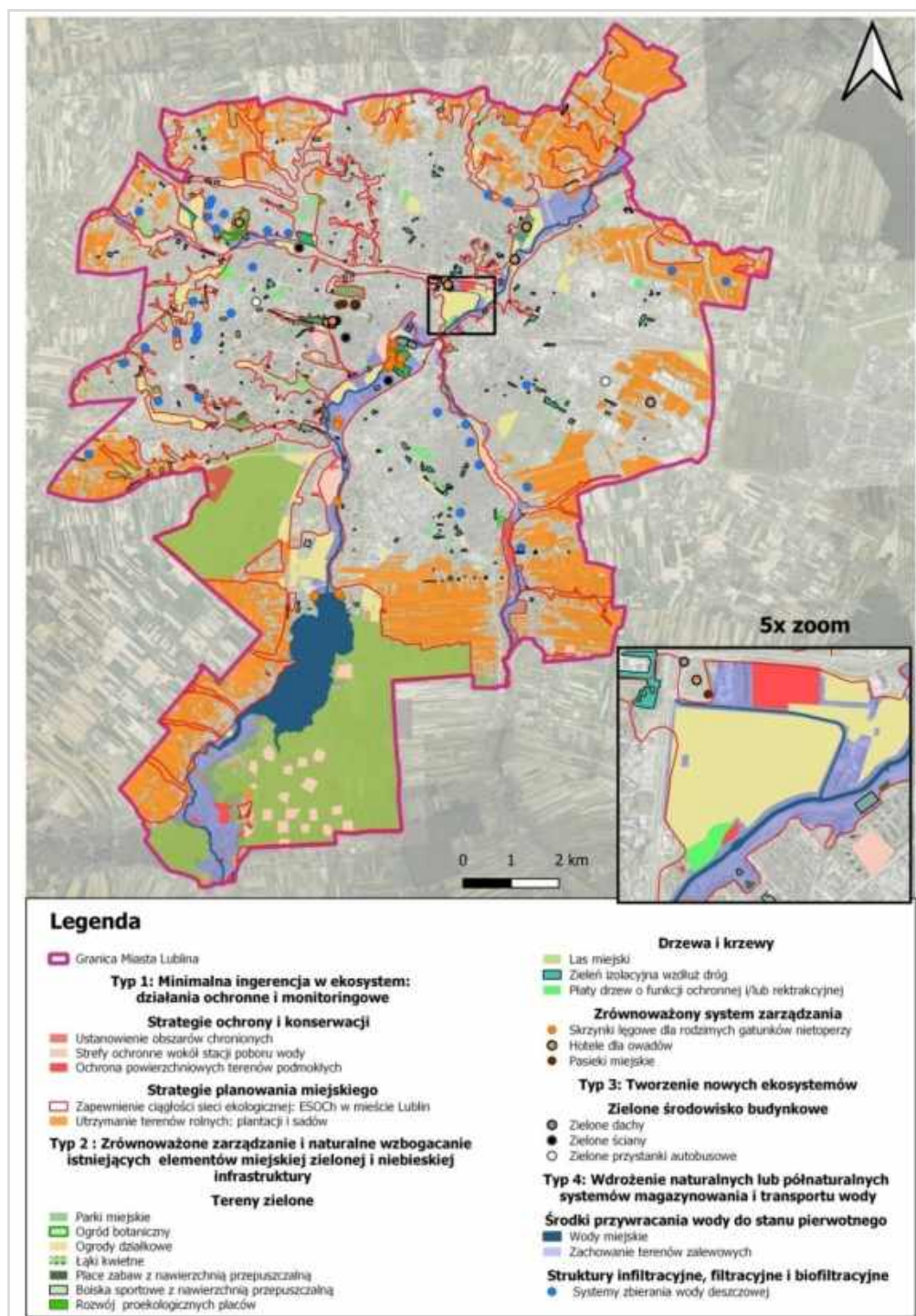
Wyniki tego etapu badań zostały zaprezentowane w **publikacji numer 1** [Wójcik-Madej i Sowińska-Świerkosz 2022] określającej stan wdrożenia NBS na I kwartał 2022 r. i stanowiły podstawę dalszych analiz.

Uzyskane wyniki wykazały, że strukturze miasta Lublin, zgodnie z przyjętą typologią, można wyróżnić 24 typy wcześniejszych interwencji wpisujących się w ideę NBS, spośród których 20 to interwencje o charakterze powierzchniowych, a 4 punktowym. Pokrywają one 44,67% powierzchni miasta zajmując powierzchnię 6587,04 ha (**Ryc. 7**). Niektóre z interwencji zlokalizowane są na tym samym obszarze. Dotyczy to: utrzymanie terenów zalewowych i stref ochronnych wokół ujęć wody / lasów miejskich, a także płatów drzew o funkcjach ochronnych / rekreacyjnych i zapewnieniu ciągłości sieci ekologicznej.

Największy obszar, a tym samym najwyższy odsetek miasta, pokrywa Typ 1 NBS: Minimalna ingerencja w ekosystem (45,61%) (**Załącznik 10.3.**). Ten typ zawiera pięć wcześniej istniejących typów interwencji. Największy udział posiada rozwiązanie zapewnienie ciągłości sieci ekologicznej (24,69%), natomiast najmniejszy utworzenie obszarów chronionych (0,17%; rezerwat „Stasin”). Najmniejszy obszar, a tym samym najniższy odsetek miasta obejmuje Typ 4 NBS: Wdrażanie naturalnych lub półnaturalnych systemów magazynowania i transportu wody (9,44%), w tym interwencje utrzymanie terenów zalewowych oraz rekultywacja zdegradowanych zbiorników wodnych. Typ 2 NBS: Zrównoważone zarządzanie i naturalne wzbogacanie istniejących elementów zielonej i błękitnej infrastruktury, zajmuje 17,83% powierzchni miasta i wyróżnia się z uwagi na wielkoskalowe rozwiązanie takie jak las miejski (11,91%), place zabaw (413 obiektów) i boiska sportowe o nawierzchni przepuszczalnej (130 obiektów), parki miejskie (108,34 ha) oraz 70 płatów rodzinnych ogrodów działkowych (416,24 ha). Rozwiązania należące do Typu 3: Tworzenie nowych ekosystemów, są mniej liczne i obejmują dziewięć rozwiązań takich jak zielone ściany, dachy i przystanki autobusowe.

Wszystkie zidentyfikowane interwencje rozmieszczone są nieregularnie. Są one skoncentrowane w południowej części miasta (las miejski, zalew miejski), wzdłuż doliny rzeki Bystrzycy (utrzymanie terenów zalewowych, rodzinne ogrody działkowe) oraz wzdłuż granic miasta (utrzymanie terenów rolnych). W rezultacie, w północno-zachodniej

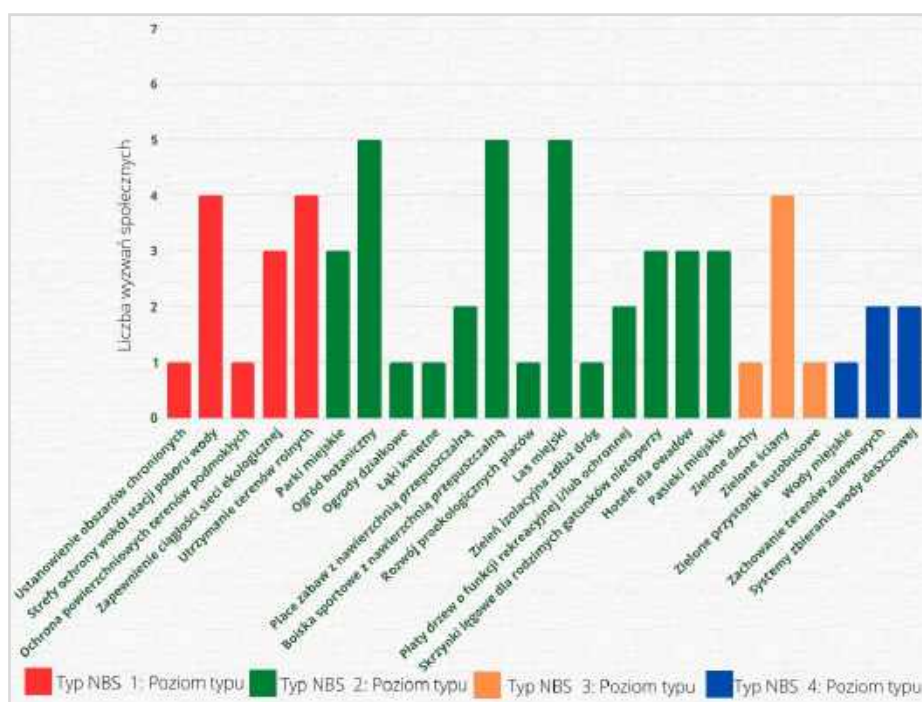
i północno-wschodniej części miasta znajdują się duże obszary (maksymalnie 2,81 km²) nie posiadają interwencji wpisujących się w ideę NBS.



Ryc. 7. Mapa istniejących NBS w Lublinie – stan na I kwartał 2022 roku, zgodnie z publikacją [Wójcik-Madej i Sowińska-Świerkosz 2022]

Ocena zidentyfikowanych rozwiązań w kontekście ukierunkowania na wyzwania społeczne wykazała, że wszystkie analizowane typy odpowiadały co najmniej dwóm wyzwaniom społecznym sformułowanym przez IUCN [2020]. Największy potencjał w

tym zakresie posiadają: ochrona powierzchniowych terenów podmokłych, wody miejskie, zachowanie terenów zalewowych, parki miejskie oraz ogrody działkowe. Najmniejszy potencjał posiadają: skrzynki lęgowe dla rodzimych gatunków nietoperzy, hotele dla owadów, pasieki miejskie oraz systemy zbierania wody deszczowej (**Ryc. 8**). Wysoki potencjał tych rozwiązań, w przypadku interwencji reprezentujących typ 2, wynikał głównie z ich pozytywnego wpływu na zdrowie ludzi oraz różnorodność biologiczną, natomiast w przypadku typu 4 – z ich znaczenia dla bezpieczeństwa wodnego oraz ograniczania ryzyka katastrof naturalnych.



Ryc. 8. Łączna liczba wyzwań społecznych, na które odpowiada dane rozwiązanie w podzięlu na cztery ogólne typy NBS [Zmodyfikowane na podstawie Wójcik-Madej i Sowińska-Świerkosz 2022].

6.2. Analiza i selekcja najbardziej odpowiednich typów NBS dla Lublina

Wyniki tego etapu badań zostały zaprezentowane w **publikacji numer 2** [Wójcik-Madej i i in. 2025], a ich skondensowane wyniki przedstawia **Załącznik 10.5**. Analiza pod względem zgodności z globalnymi standardami IUCN wykazała, iż 11 rozwiązań w dużym stopniu spełniało te standardy, 10 w stopniu odpowiednim, a jedno: utrzymanie terenów rolnych: plantacji i sadów, jedynie częściowo (**Załącznik. 10.5., Kolumna A**). W rezultacie rozwiązanie to zostało wykluczone z dalszych etapów badania.

Ocena całkowitej skuteczności wykazała, że spośród 21 analizowanych typów NBS, dwa uznano za bardzo skuteczne, a pozostałe za skuteczne (**Załącznik 10.5., kolumna B**).

Najniższą skuteczność odnotowano w odniesieniu do aspektów społecznych, przestrzennych i ekonomicznych, natomiast najwyższą – w aspekcie politycznym i długoterminowym (**Załącznik 10.4.**). W związku z tym, że żaden z analizowanych typów NBS nie został oceniony jako częściowo skuteczny lub nieskuteczny, wszystkie 21 typów zostały uwzględnione w dalszych etapach badania.

W odniesieniu do potencjalnych typów NBS możliwych do wdrożenia w Lublinie, zidentyfikowano osiem takich rozwiązań, które następnie poddano dalszej analizie wraz z rozwiązaniami już istniejącymi.

Analiza odpowiedzi na różne wyzwania społeczne jednocześnie wykazała, że 10 typów NBS charakteryzuje się wysokim ukierunkowaniem na wyzwania, 14 – odpowiednim, a 5 – częściowym (**Załącznik 10.5., kolumna C**). W rezultacie, 17 istniejących oraz 7 potencjalnych typów NBS poddano dalszej analizie, odrzucając typy: skrzynki lęgowe dla rodzimych gatunków nietoperzy, hotele dla owadów, pasieki miejskie, systemy zbierania wody deszczowej oraz tymczasowe instalacje zieleni.

Zarówno przedstawiciele Urzędu Miasta Lublin i mieszkańcy wyrazili silne preferencje dotyczące potrzebnego wdrożenia większości analizowanych rozwiązań (**Załącznik 10.5., kolumny D i E**). Niskie preferencje odnotowano w przypadku dwóch rozwiązań: rodzinne ogrody działkowe (średnio 2,8 punktu według mieszkańców) oraz naturalne stawy kąpielowe (średnio 2,4 punktu według przedstawicieli władz miasta). W rezultacie rozwiązania te nie zostały uwzględnione w końcowym etapie oceny.

Zapisy lokalnych dokumentów planistycznych nie wykluczyły możliwości wdrożenia żadnego z istniejących typów NBS, natomiast w przypadku potencjalnych do wdrożenia NBS odrzucono dwa rozwiązania: baseny i rowy biofiltracyjne oraz rowy infiltracyjne, które nie mają podstaw implementacyjnych w prawie lokalnym (**Załącznik 10.5., Kolumna F**).

Finalnie z początkowego zestawu 30 typów NBS wielokryterialna metoda oceny pozwoliła na wskazanie 20 rozwiązań (66% pierwotnego zbioru) najlepiej dopasowanych do lokalnych uwarunkowań miasta (**Ryc. 9**). Wśród nich, 16 to wcześniej istniejące typy NBS, natomiast 4 to potencjalne rozwiązania, które mogłyby zostać wdrożone w mieście. Głównymi kryteriami wykluczenia z tego zestawu były: preselekcja interwencji, ukierunkowanie na szereg wyzwań jednocześnie oraz regulacje prawne (**Ryc. 10**). Zgodność z globalnymi standardami oraz preferencje społeczne miały umiarkowane znaczenie, natomiast dotychczasowa skuteczność istniejących rozwiązań okazała się czynnikiem najmniej istotnym.

W rezultacie do dalszych analiz wybrano cztery typy NBS (reprezentujące 4 typy ingerencji człowieka w ekosystem): Typ 1: proekologiczne zagospodarowanie suchych dolin; Typ 2: parki miejskie: parki linearne; Typ 3: zielone dachy oraz Typ 4: hydrofitowe oczyszczalnie ścieków. Kryteria wyboru tych 4 typów NBS zostały opisane w **podrozdziale 5.3.2.**

Ryc. 9. Typy NBS najlepiej dopasowane do lokalnych uwarunkowań Lublina wyłonił przy użyciu metody wielokryterialnej oceny (zmodyfikowane o dodanie 3 kolumny [Wójcik-Madej i in. 2025]).

Ryc. 10. Wyniki zastosowanego podejścia eliminacyjnego w celu wyboru najlepiej dopasowanych typów NBS do wdrożenia w mieście [Wójcik-Madej i in. 2025].

6.3. Określenie najkorzystniejszych lokalizacji dla wybranych typów NBS

Wyniki tego etapu badań został zaprezentowany w **publikacjach numer 3** w odniesieniu do zielonych dachów modułowych [Wójcik-Madej i in. 2026a] i **numer 4** w odniesieniu do proekologicznego zagospodarowanie suchych dolin i parków linearnych [Wójcik-Madej i in. 2026b]. Wyniki dotyczące hydrofitowych systemów oczyszczania ścieków stanowią materiał niepublikowany.

6.3.1. Proekologiczne zagospodarowanie suchych dolin

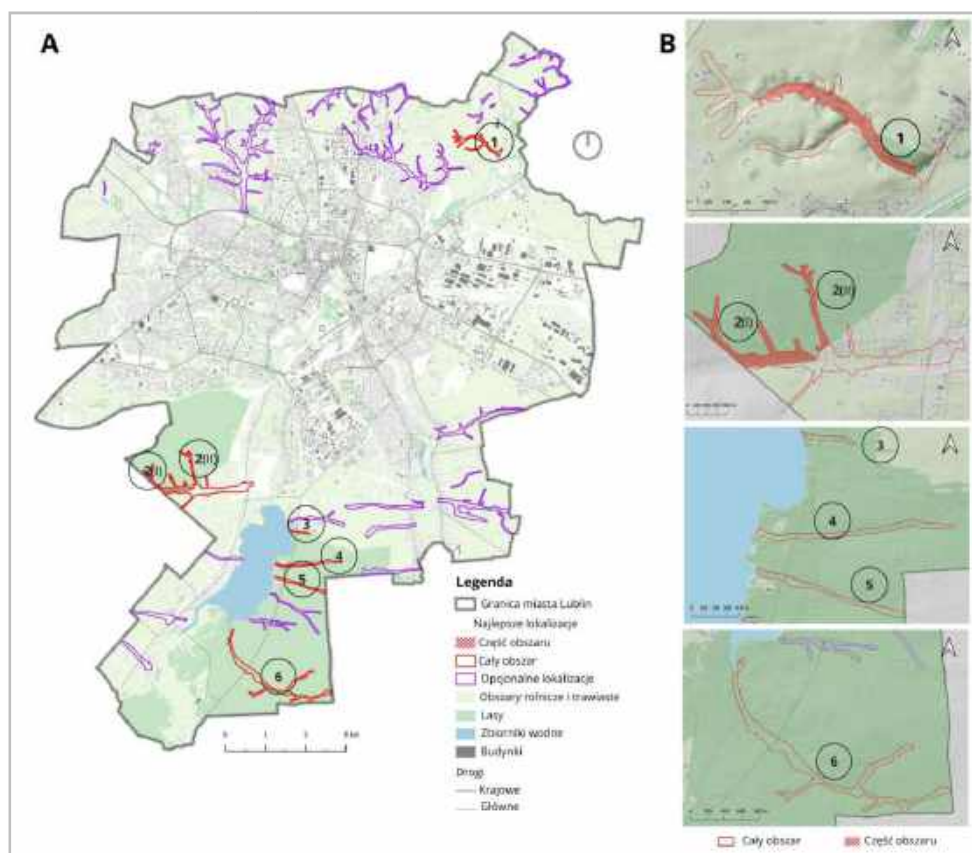
Wyniki dotyczące procesu wyboru lokalizacji dla rozwiązania proekologiczne zagospodarowanie suchych dolin w aspekcie liczby rozwiązań analizowanych na poszczególnych etapach przedstawione są na **rycinie 11**, na **rycinie 12** zawierającej mapę ze wskazaniem opcjonalnych i najlepszych lokalizacji oraz w **Załączniku 10.6.** obrazującym lokalizacje analizowane na poszczególnych etapach. Szczegółowa charakterystyka najlepszych lokalizacji znajduje się w **Publikacji nr 4 w Appendix A.**

W pierwszym etapie z wyjściowej bazy danych przestrzennych zawierających lokalizację 87 suchych dolin na obszarze Lublinie wykluczono te, które zgodnie z dokumentami planistycznymi zostały przeznaczone pod zabudowę lub infrastrukturę techniczną, co w rezultacie zawężyło liczbę dalej analizowanych lokalizacji do 40 jako możliwych do zagospodarowania pod zielenią urządzoną (**kryterium prawne**). W kolejnym etapie wykluczono 8 suchych dolin, które zostały zabudowane lub już zagospodarowane pod zielenią urządzoną (**kryterium środowiskowe**). Z pozostałych 32 dolin do dalszych analiz wybrano te, które w całości lub fragmencie stanowią własność miasta, Skarbu Państwa lub obu tych jednostek jednocześnie, co dało 8 lokalizacji (**kryterium ekonomiczne**). Ocena pod kątem dostępności komunikacyjnej wykazała, że wszystkie 8 lokalizacji posiada dobrą dostępność komunikacyjną biorąc pod uwagę różnorodne środki transportu jak i dostępność pieszą (**kryterium społeczne**). Analiza ich walorów ekologicznych nie wykazała kolizji z planowanym sposobem zagospodarowania (**kryterium ekologiczne**). Wizje lokalne pozwoliły na zidentyfikowanie jedynie 6 suchych dolin, na których możliwe jest wdrożenie proekologicznego zagospodarowania gdyż pozostałe lokalizacje zostały wykluczone z powodu intensywnej gospodarki leśnej (**kryterium techniczne**). Przedstawiciele Urzędu Miasta Lublin oraz ekspert potwierdzili zasadność wytypowanych lokalizacji (**konsultacje eksperckie**). W rezultacie

przeprowadzonych analiz zidentyfikowano 32 opcjonalne lokalizacje, które spełniały twarde kryteria oraz 6 najlepszych lokalizacji, które spełniały wszystkie przyjęte kryteria.



Ryc. 11. Proces wyboru opcjonalnych i najlepszych lokalizacji dla rozwiązania proekologiczne zagospodarowanie suchych dolin (Zmodyfikowane na podstawie [Wójcik-Madej i in. 2026b]).



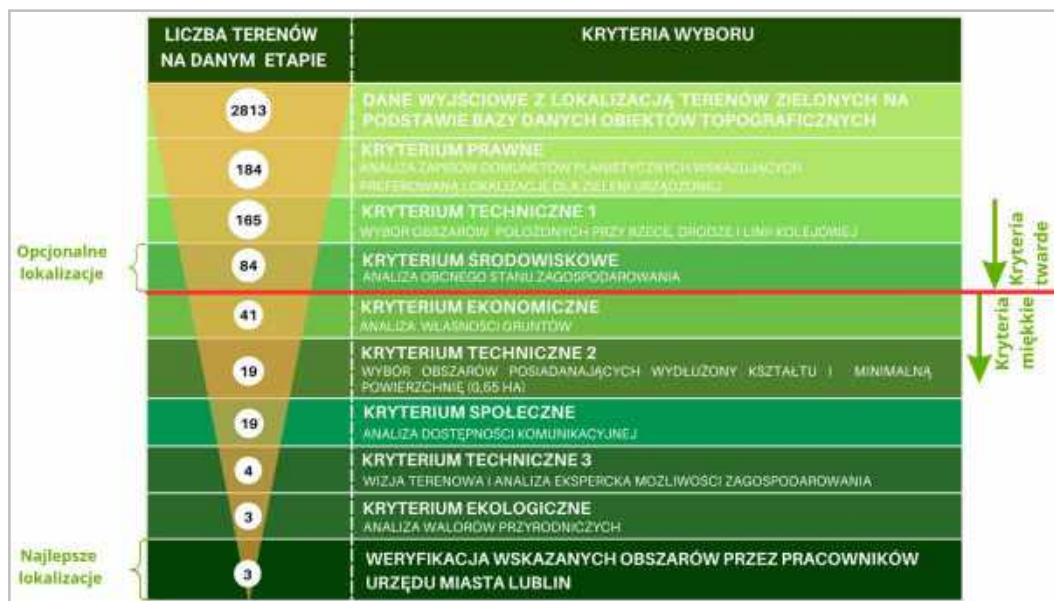
Ryc. 12. A. Opcjonalne lokalizacje oraz B. Najlepsze lokalizacje dla proekologicznego zagospodarowania suchych dolin [Wójcik-Madej i in. 2026b].

6.3.2. Parki linearne

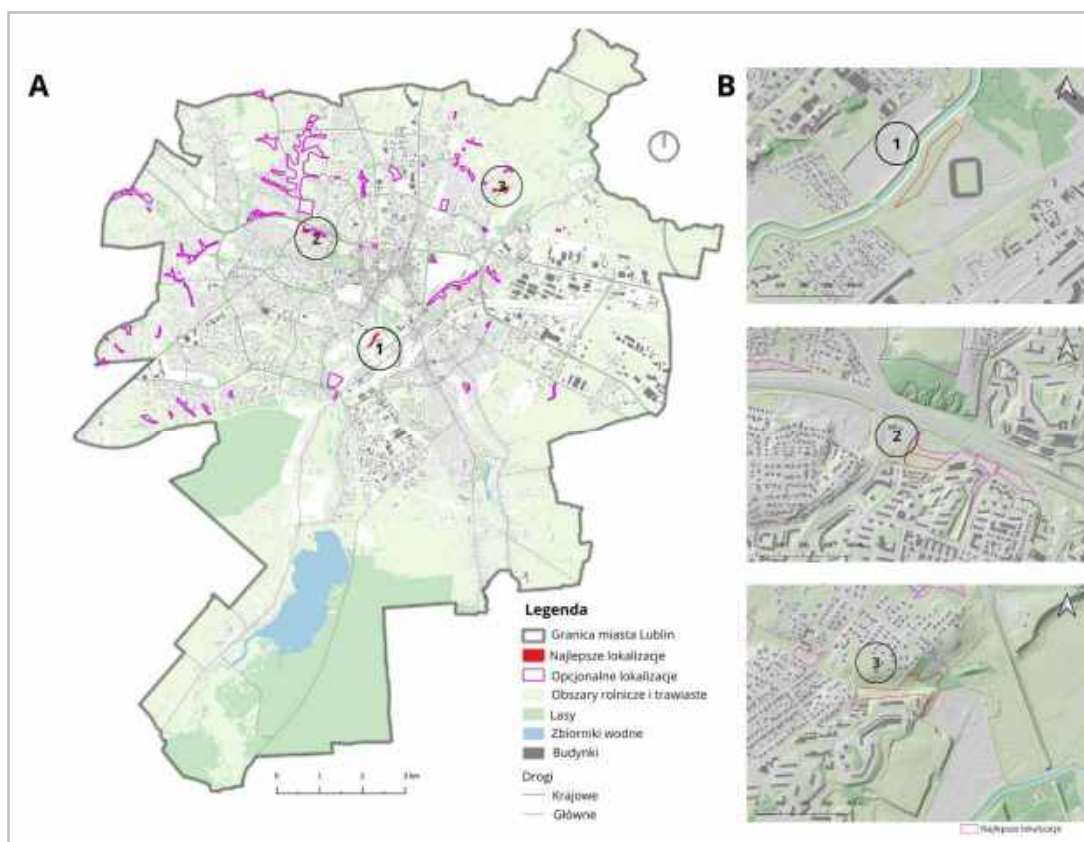
Wyniki dotyczące procesu wyboru lokalizacji dla parków linearnych w aspekcie liczby rozwiązań analizowanych na poszczególnych etapach przedstawione są na **rycinie 13**, na **rycinie 14** zawierającej mapę ze wskazaniem opcjonalnych i najlepszych lokalizacji oraz w **Załączniku 10.7.** obrazującym lokalizacje analizowane na poszczególnych etapach. Szczegółowa charakterystyka najlepszych lokalizacji znajduje się w **Publikacji nr 4 w Appendix B.**

Z wyjściowej bazy danych przestrzennych zawierającej lokalizację 2813 terenów zieleni w Lublinie do dalszych analiz wybrano obszary, które zgodnie z dokumentami planistycznymi zostały przeznaczone pod zieleni urządzoną, zieleni parkową, zieleni służącą wypoczynkowi i rekreacji oraz zieleni w formie niskiej, średniej i wysokiej, co w rezultacie wskazało 184 lokalizacji (**kryterium prawne**). Następnie wybrano spośród nich 165 obszarów zlokalizowanych przy rzekach, drogach lub / i linii kolejowej (**kryterium techniczne nr 1**). W dalszej kolejności wykluczono 81 lokalizacji, które są już zabudowane lub zagospodarowane pod zieleni urządzoną (**kryterium środowiskowe**). Z pozostałych 84 obszarów do dalszych analiz wybrano te, które w całości lub fragmencie stanowią własność miasta, Skarbu Państwa lub obu tych jednostek jednocześnie, co dało 41 lokalizacji (**kryterium ekonomiczne**). Ocena pod kątem kształtu i powierzchni wykazała, że 19 analizowanych lokalizacji posiada wydłużony kształt i odpowiednią powierzchnię (**kryterium techniczne nr 2**). Ocena pod kątem dostępności komunikacyjnej wykazała, że wszystkie 19 lokalizacji posiada dobrą dostępność komunikacyjną biorąc pod uwagę różnorodne środki transportu jak i dostępność pieszą (**kryterium społeczne**). Wizje terenowe ujawniły elementy zagospodarowania, które nie były widoczne na dostępnej Ortofotomapie, co pozwoliło odrzucić lokalizacje, na których wprowadzono już nowe elementy zieleni urządzonej. W efekcie zidentyfikowano 4 obszary możliwe do wdrożenia parków linearnych, a ich zasadność została potwierdzona podczas konsultacji eksperckich (**kryterium techniczne nr 3**). Analiza walorów przyrodniczych wykazała, że jeden z analizowanych obszarów posiada wysokie walory przyrodnicze, które wykluczają możliwość wdrożenia parku linearnego z uwagi na potrzebę zachowania naturalistycznego charakteru tego miejsca niezakłóconego działalnością człowieka (**kryterium ekologiczne**). Zasadność pozostałych trzech lokalizacji została potwierdzona przez przedstawicieli Urzędu Miasta Lublin (**konsultacje eksperckie**). W rezultacie zidentyfikowano 84

opcjonalne lokalizacje spełniające twarde kryteria oraz trzy najlepsze lokalizacje spełniające wszystkie przyjęte kryteria.



Ryc. 13. Proces wyboru opcjonalnych i najlepszych lokalizacji dla rozwiązania parki linearne (Zmodyfikowane na podstawie [Wójcik-Madej i in. 2026b]).



Ryc. 14. A. Opcjonalne lokalizacje oraz B. Najlepsze lokalizacje dla parków linearnych [Wójcik-Madej i in. 2026b].

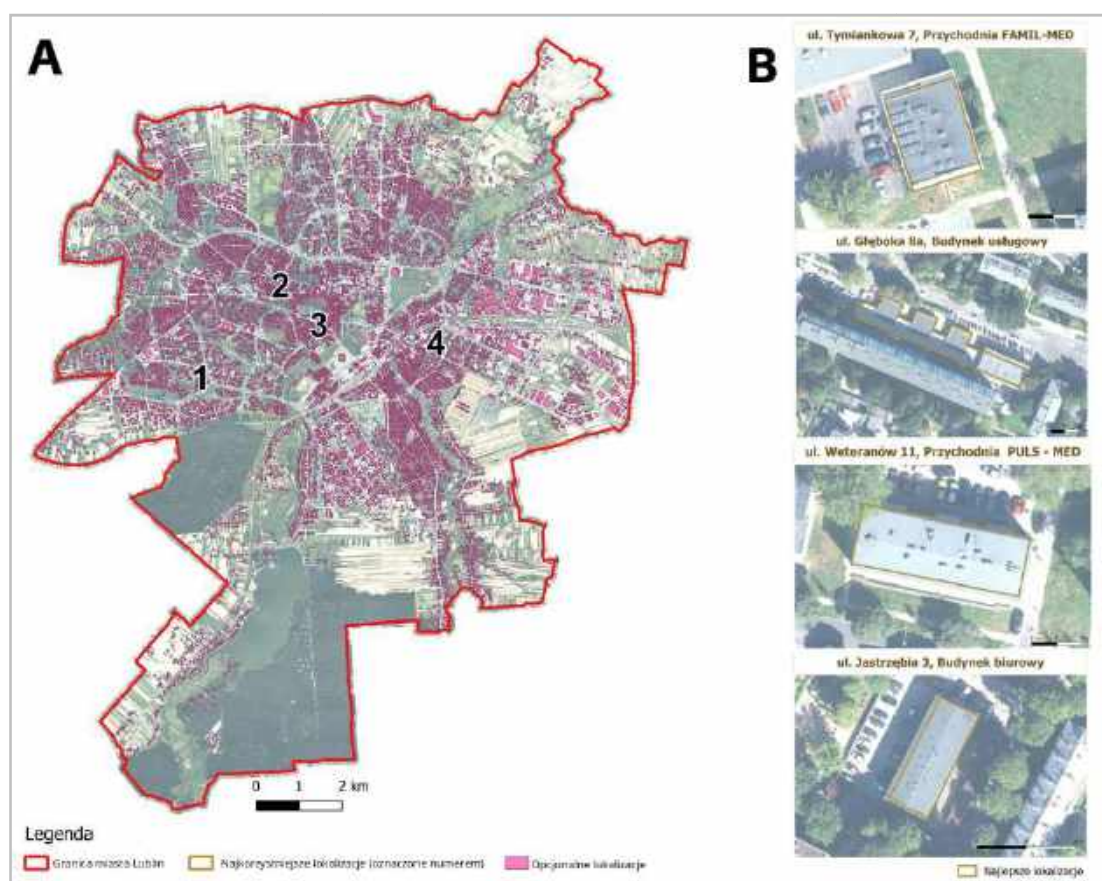
6.3.3. Zielone dachy o lekkiej modułowej konstrukcji

Wyniki dotyczące procesu wyboru lokalizacji dla zielonych dachów modułowych w aspekcie liczby rozwiązań analizowanych na poszczególnych etapach przedstawione są na **rycinie 15**, na **rycinie 16** zawierającej mapę ze wskazaniem opcjonalnych i najlepszych lokalizacji oraz w **Załączniku 10.8.** obrazującym lokalizacje analizowane na poszczególnych etapach.

Z wyjściowej bazy danych przestrzennych zawierającej lokalizację 46317 budynków istniejących w Lublinie, wykluczono 537 budynków, na których instalacja zielonych dachów jest zabroniona zgodnie z zapisami miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego lub przepisami dotyczącymi ochrony zabytków (**kryterium prawne**) co dało liczbę 45780 obiektów wskazanych do dalszych analiz. Następnie wykluczono 31 budynków już posiadających zielone dachy (**kryterium środowiskowe**). Z pozostałych 45749 budynków do dalszych analiz wybrano obiekty będące własnością miasta, co dało 197 lokalizacji (**kryterium ekonomiczne**). Ocena ich parametrów technicznych pod kątem konstrukcja i nachylenie dachu, obecności paneli fotowoltaicznych, konfiguracji kominów oraz powierzchnia dachu wskazała 43 budynki do dalszych analiz (**kryterium techniczne nr 1**). Analiza widoczności zielonych dachów z otaczających ich budynków, zawężyła liczbę lokalizacji do 31 (**kryterium społeczne**). Ocena wpływu implementacji na spełnienie wymogu MPZP dotyczących udziału powierzchni biologicznie czynnej (30% całkowitej powierzchni działki) wskazała 17 lokalizacji uwzględnionych w dalszych analizach (**kryterium ekologiczne**). Ocena możliwości instalacji zielonych dachów o lekkiej modułowej konstrukcji w toku konsultacji z zarządcami budynków oraz wizji lokalnych wskazała jedynie cztery budynki, gdyż pozostałe lokalizacje zostały wykluczone z powodu złego stanu pokrycia dachowego, planowanych jego remontów lub braku fizycznej możliwości dostania się na dach (**kryterium techniczne nr 2**). Zasadność pozostałych czterech lokalizacji została potwierdzona przez przedstawicieli Urzędu Miasta Lublin (**konsultacje eksperckie**). W rezultacie zidentyfikowano 45749 opcjonalnych lokalizacji spełniających twarde kryteria oraz cztery najlepsze lokalizacje spełniające wszystkie przyjęte kryteria.



Ryc. 15. Proces wyboru opcjonalnych i najlepszych lokalizacji dla rozwiązania zielone dachy modułowe (Opracowano na podstawie [Wójcik-Madej i in. 2026a]).



Ryc. 16. A. Opcjonalne lokalizacje oraz B. Najlepsze lokalizacje dla zielonych dachów modułowych (Zmodyfikowane na podstawie [Wójcik-Madej i in. 2026a]).

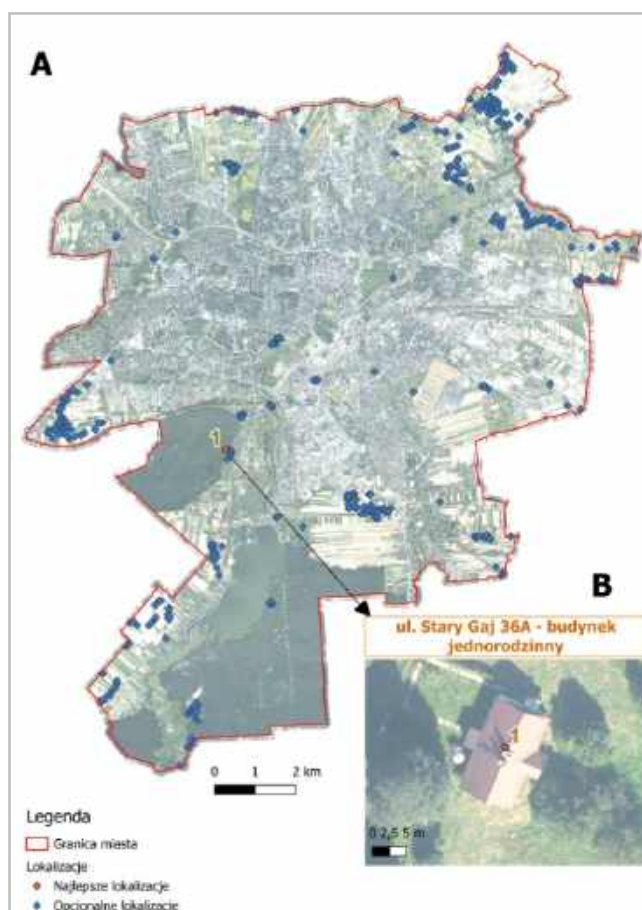
6.3.4. Przydomowe hydrofitowe oczyszczalnie ścieków z przepływem podpowierzchniowym

Wyniki dotyczące procesu wyboru lokalizacji dla przydomowych hydrofitowych oczyszczalni ścieków z przepływem podpowierzchniowym w aspekcie liczby rozwiązań analizowanych na poszczególnych etapach przedstawione są na **rycinie 17**, na **rycinie 18** zawierającej mapę ze wskazaniem opcjonalnych i najlepszych lokalizacji oraz w **Załączniku 10.9.** obrazującym lokalizacje analizowane na poszczególnych etapach.

Z wyjściowej bazy danych zawierającej 5638 adresów budynków niepodłączonych do miejskiej sieci kanalizacyjnej wykluczono 2113 adresów położonych zgodnie z uchwałą Rady Miasta Lublin w granicach Aglomeracji Lublin (**kryterium prawne nr 1**), co dało liczbę 3525 adresów budynków wskazanych do dalszych analiz. Następnie wykluczonych zostało 1893 adresów posiadających przydomowe oczyszczalnie ścieków (**kryterium środowiskowe**). Z 1632 pozostałych adresów do dalszych analiz zakwalifikowano 436 lokalizacji, które według stanu na 30 czerwca 2025 r. nie mogły zostać podłączone do sieci kanalizacyjnej lub miały ograniczoną możliwość podłączenia z uwagi na duże odległości od planowanej sieci (**kryterium prawne nr 2**). Analiza własności gruntów ograniczyła liczbę lokalizacji do pięciu adresów, położonych na gruntach Skarbu Państwa (**kryterium ekonomiczne**). Ocena przepuszczalności gruntu nie wykluczyła żadnego z tych adresów, jednak stopień i dokładność ogólnodostępnych danych był niewystarczający aby jednoznacznie określić predyspozycje gruntu gdyż do określeniu przepuszczalności gruntu wymagane są badania terenowe (**kryterium techniczne nr 1**). Analiza możliwości wdrożenia oczyszczalni, uwzględniająca rodzaj budynku, planowaną powierzchnię oczyszczalni oraz odległości od istniejących sieci, wskazała jedną lokalizację do dalszych analiz (**kryterium techniczne nr 2**). Analiza możliwości udostępnienia oczyszczalni do celów edukacyjnych oraz walorów przyrodniczych nie wpłynęła na liczbę najlepszych lokalizacji (**kryteria społeczne i ekologiczne**). Zasadność wyboru została potwierdzona przez ekspertów oraz przedstawicieli Urzędu Miasta Lublin (**konsultacje eksperckie**). W rezultacie zidentyfikowano 436 opcjonalnych lokalizacji spełniających twarde kryteria oraz jedną najlepszą lokalizację spełniającą wszystkie przyjęte kryteria.

LICZBA ADRESÓW NA DANYM ETAPIE		KRYTERIA WYBORU	
Opcjonalne lokalizacje	6038	DANE WYJŚCIOWE - LISTA ADRESÓW NIEPRZYŁĄCZONYCH DO KANALIZACJI MIEJSKIEJ	
	3325	KRYTERIUM PRAWNE 1 WYNIK ADRESÓW POŁOŻONYCH POZA AGLOMERACJĄ LUBLIN ZGODNIE Z UCHWAŁĄ NR 1900/000/2000 RADY MIASTA LUBLIN Z DNIA 19 LUTYGO 2000 O WSPRACIE TERYTORIALNEJ ORAZ O WYKONANIU KANALIZACJI LUBLIN	
	3017	KRYTERIUM ŚRODOWISKOWE 1 ANALIZA POSIADANIA WYKONANYCH SZYSTEMÓW OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW	
	436	KRYTERIUM PRAWNE 2 ANALIZA MOŻLIWOŚCI PODŁĄCZENIA DO SIECI KANALIZACYJNEJ	
	5	KRYTERIUM EKONOMICZNE ANALIZA WŁASNOŚCI GRUNTÓW, NA KTÓRYCH POŁOŻONE SĄ BUDYNKI	Kryteria twarde
	5	KRYTERIUM TECHNICZNE 1 ANALIZA PRZEPUSZCZALNOŚCI GRUNTU	
	1	KRYTERIUM TECHNICZNE 2 ANALIZA MOŻLIWOŚCI WYDOŻENIA OCZYSZCZALNI (RODZAJ BUDYNKÓW I PLANOWANA POWIERZCHNIA)	Kryteria miękkie
	1	KRYTERIUM SPOŁECZNE ANALIZA MOŻLIWOŚCI UDOSTĘPNIENIA DO CEŁÓW EDUKACYJNYCH	
	1	KRYTERIUM EKOLOGICZNE ANALIZA WĄDŁÓW PRZYRODNICZYCH	
	1	KONSULTACJE EKSPERCKIE WERYFIKACJA UZYSKANYCH WYNIKÓW PRZEZ EKSPERTÓW ORAZ PRZEDSTAWICIELI URZĘDU MIASTA LUBLIN	
Najlepsze lokalizacje			

Ryc. 17. Proces wyboru opcjonalnych i najlepszych lokalizacji dla rozwiązania przydomowe hydrofitowe oczyszczalnie ścieków z przepływem podpowierzchniowym (Opracowanie własne, materiał niepublikowany)



Ryc. 18. A. Alternatywne lokalizacje dla przydomowych hydrofitowych oczyszczalni ścieków. B. Najkorzystniejsze lokalizacje dla przydomowych hydrofitowych oczyszczalni ścieków (Opracowanie własne, materiał niepublikowany)

6.4. Określenie skuteczności wybranych typów NBS i istotności ich czynników lokalizacyjnych

Generalnie, w odniesieniu do oceny skuteczności analizowanych czterech typów NBS w skali miasta Lublin wyniki wskazują, że wszystkie rozwiązania są efektywne (**Tabela 10, Załącznik 10.5.**). Przy czym zielone dachy cechują się najniższą efektywnością pod względem czynników przestrzennych i społecznych, a najwyższą pod względem czynników politycznym. Natomiast parki miejskie cechują się najniższą efektywnością pod względem czynnika ekonomicznego, a najwyższą pod względem czynników społecznym, politycznym, przestrzennym i długoterminowym (**Załącznik 10.4.**). Proekologiczne zagospodarowanie suchych dolin wykazuje średnie lub silne dopasowanie do miasta, natomiast hydrofitowe oczyszczalnie ścieków — dopasowanie średnie.

W odniesieniu do badania ankietowego, w **części 2** kwestionariusza, średnie oceny dla skuteczności sześciu kryteriów dla czterech typów NBS były zbliżone i oscylują koło wartości 4.0 (**Tabela 7**). Dwa kryteria, tj. korzyści środowiskowe oraz redukcja zanieczyszczeń, zostały najwyżej ocenione w przypadku wszystkich analizowanych typów NBS i uzyskały odpowiednio: 4,20 i 4,10 punktów dla proekologicznego zagospodarowania suchych dolin, 4,30 i 4,25 punktów dla parków linearnych, 4,15 i 4,05 punktów dla zielonych dachów modułowych oraz 4,55 i 4,45 punktów dla hydrofitowych oczyszczalni ścieków. Najniższe oceny otrzymano w przypadku wszystkich typów NBS dla kryteriów: wymagania przestrzenne (wartości od 3,50 do 3,85) oraz koszty wdrożenia i utrzymania (wartości od 3,75 do 3,95). Wyniki wskazują na brak istotnych różnic w ocenie skuteczności analizowanych typów NBS w opinii respondentów.

Tabela 7. Ocena skuteczności wybranych rozwiązań opartych na naturze (NBS) w odniesieniu do 6 kryteriów według respondentów (materiał niepublikowany)

Proekologiczne zagospodarowanie suchych dolin	Średnia	Odchylenie standardowe	Mediana
1. Redukcja zanieczyszczeń	4,10	0,80	4
2. Koszty wdrożenia i utrzymania	3,75	0,90	4
3. Wymagana przestrzeń	3,50	1,10	3
4. Możliwość integracji z szarą infrastrukturą	4,00	0,80	4
5. Przynoszone korzyści środowiskowe	4,20	0,65	4
6. Przynoszone korzyści społeczne	3,95	0,85	4
Skuteczność całkowita	3,92	0,96	4
Parki linearne	Średnia	Odchylenie standardowe	Mediana
1. Redukcja zanieczyszczeń	4,25	0,70	4
2. Koszty wdrożenia i utrzymania	3,95	0,85	4

3. Wymagana przestrzeń	3,85	0,90	4
4. Możliwość integracji z szarą infrastrukturą	4,10	0,80	4
5. Przynoszone korzyści środowiskowe	4,30	0,65	4
6. Przynoszone korzyści społeczne	4,10	0,75	4
Skuteczność całkowita	4,10	0,94	4
Zielone dachy o lekkiej modułowej konstrukcji	Średnia	Odchylenie standardowe	Mediana
1. Redukcja zanieczyszczeń	4,05	0,75	4
2. Koszty wdrożenia i utrzymania	3,80	0,90	4
3. Wymagana przestrzeń	3,60	1,0	4
4. Możliwość integracji z szarą infrastrukturą	4,00	0,85	4
5. Przynoszone korzyści środowiskowe	4,15	0,70	4
6. Przynoszone korzyści społeczne	3,95	0,80	4
Skuteczność całkowita	4,10	0,99	4
Przydomowe hydrofitowe oczyszczalnie ścieków z przepływem podpowierzchniowym	Średnia	Odchylenie standardowe	Mediana
1. Redukcja zanieczyszczeń	4,55	0,58	5
2. Koszty wdrożenia i utrzymania	3,85	0,95	4
3. Wymagana przestrzeń	3,65	1,05	4
4. Możliwość integracji z szarą infrastrukturą	4,20	0,85	4
5. Przynoszone korzyści środowiskowe	4,45	0,60	5
6. Przynoszone korzyści społeczne	4,05	0,85	4
Skuteczność całkowita	4,13	0,88	4

Porównanie ocen skuteczności czterech typów NBS pomiędzy respondentami z Polski oraz z pozostałych krajów wykazało występowanie jedynie nielicznych różnic istotnych statystycznie (**Tabela 8**). W przypadku proekologicznego zagospodarowania suchych dolin stwierdzono jedną istotną różnicę: respondenci z Polski wyżej ocenili wymagania przestrzenne (średnia = 3,91) niż osoby z zagranicy (3,12). W przypadku parków linearnych oraz zielonych dachów o lekkiej modułowej konstrukcji, brak istotnych statystycznie różnic ($p > 0,05$) wskazuje, że respondenci z Polski i z pozostałych krajów podobnie postrzegają skuteczność tego typu rozwiązania. Najwięcej różnic zaobserwowano w przypadku hydrofitowych oczyszczalni ścieków. Respondenci z Polski istotnie statystycznie wyżej ocenili wymagania przestrzenne ($p = 0.00395$) oraz możliwości integracji z istniejącą infrastrukturą ($p = 0.03018$). Wyniki te wskazują, że choć ogólna ocena skuteczności rozwiązań NBS jest zbliżona w obu grupach respondentów, to w wybranych obszarach zwłaszcza związanych z przestrzennymi uwarunkowaniami wdrażania pojawiają się zauważalne różnice regionalne.

Porównanie pomiędzy wynikami uzyskanymi dla Lublina, a wynikami ankiety znajduje się w **podrozdziale dyskusji 7.1**, który koncentruje się na analizie efektywności różnych typów NBS w kontekście miejskim.

Tabela 8. Różnice w ocenach skuteczności analizowanych typów NBS między respondentami z Polski a z pozostałych krajów (test Manna–Whitneya U, n = 55), (Materiał niepublikowany)

Typ NBS	Kryterium oceny	Polska, n=22 [średnia]	Pozostałe kraje, n=33 [średnia]	p-value	Istotność
Proekologiczne zagospodarowanie suchych dolin	Redukcja zanieczyszczeń	3.23	3.64	0.15492	ns
	Koszty wdrożenia i utrzymania	3.50	3.15	0.24380	ns
	Wymagana przestrzeń	3.91	3.12	0.02760	*
	Możliwość integracji z szarą infrastrukturą	2.82	2.97	0.62369	ns
	Przynoszone korzyści środowiskowych	4.23	4.36	0.40658	ns
	Przynoszone korzyści społeczne	4.23	4.52	0.26251	ns
Parki linearne	Redukcja zanieczyszczeń	3.09	3.12	0.82425	ns
	Koszty wdrożenia i utrzymania	3.82	3.61	0.40958	ns
	Wymagana przestrzeń	3.82	3.55	0.52649	ns
	Możliwość integracji z szarą infrastrukturą	3.64	3.73	0.60544	ns
	Przynoszone korzyści środowiskowych	3.95	3.73	0.47342	ns
	Przynoszone korzyści społeczne	4.36	4.48	0.98441	ns
Zielone dachy o lekkiej modułowej konstrukcji	Redukcja zanieczyszczeń	3.73	3.15	0.08577	ns
	Koszty wdrożenia i utrzymania	3.59	3.73	0.53873	ns
	Wymagana przestrzeń	3.68	3.33	0.27977	ns
	Możliwość integracji z szarą infrastrukturą	3.55	3.79	0.36284	ns
	Przynoszone korzyści środowiskowych	3.95	4.12	0.52406	ns
	Przynoszone korzyści społeczne	3.82	3.76	0.77393	ns
Hydrofitowa oczyszczalnia ścieków	Redukcja zanieczyszczeń	4.45	4.09	0.27081	ns
	Koszty wdrożenia i utrzymania	3.82	3.70	0.91216	ns
	Wymagana przestrzeń	3.95	3.15	0.00395	**
	Możliwość integracji z szarą infrastrukturą	3.86	3.18	0.03018	*
	Przynoszone korzyści środowiskowych	4.59	4.55	0.95783	ns
	Przynoszone korzyści społeczne	4.32	4.18	0.45792	ns

** p<0.01, * p<0.05, ns — nieistotne

W odniesieniu do analizy istotności czynników lokalizacyjnych dla analizowanych czterech typów NBS w skali miasta Lublin wyniki wskazują, że w przypadku wszystkich analizowanych typów, istotnym czynnikiem lokalizacyjnym okazał się być jedno, konkretne kryterium. W odniesieniu do proekologicznego zagospodarowania suchych dolin, parków linearnych oraz hydrofitowych oczyszczalni ścieków, kluczowe znaczenie w procesie wyboru lokalizacji miało kryterium prawne – odpowiednio 54%; 93,5% i 58,7% [Ryc. 19, Wójcik-Madej i in. 2026b]. Jego istotność wynikała z faktu, że w Lublinie, ze

względem na ograniczoną powierzchnię miasta i rosnącą liczbę mieszkańców, a także presję deweloperów znaczna część suchych dolin oraz terenów zieleni jest przeznaczona w dokumentach planistycznych pod zabudowę, co wykluczyło szereg lokalizacji z dalszych analiz [Wójcik-Madej i in. 2025]. Poza tym, w przypadku hydrofitowych oczyszczalni ścieków kluczowe znaczenie w wyborze lokalizacji mają kryteria prawne. Wynika to m.in. z uchwały Rady Miasta Lublin dotyczącej zmiany obszaru i granic aglomeracji Lublin oraz obowiązujących dokumentów planistycznych. Ponadto polski system prawny nakłada na aglomeracje obowiązek wyposażenia ich w systemy kanalizacji zbiorczej [Art. 86, Dz. U. z 2025 r. poz. 418]. Zarówno lokalizacja, jak i jakość oczyszczonych ścieków w hydrofitowych oczyszczalniach muszą być zgodne z obowiązującymi przepisami [Uchwała nr 758/XXIII/2020, Dz. U. z 2025 r. poz. 418, Dz. U. 2019 poz. 1311]. W przypadku zielonych dachów o modułowej konstrukcji, kluczowym kryterium przy wyborze lokalizacji były względy ekonomiczne, obejmujące zarówno koszty wdrożenia, jak i późniejszego utrzymania oraz zarządzania takim rozwiązaniem. Kryterium to wykluczyło aż 98,3% adresów, a jego istotność wynikała z wyboru do dalszych analiz budynków będących jedynie własnością publiczną [Wójcik-Madej i in. 2026a]. Kryteria społeczne i ekologiczne okazały się być nieistotne lub mało istotne w przypadku wszystkich analizowanych typów NBS.

Stopień istotności kryteriów dla wybranych NBS					
KRYTERIUM		PROEKOLOGICZNE ZAGOSPODAROWANIE SUCHYCH DOLIN	PARKI LINEARNE	ZIELONE DACHY MODUŁOWE	HYDROFITOWE OCZYSZCZALNIE ŚCIEKÓW
Kryteria twarde	Prawne	54%	93,5%	1,2%	58,7%
	Środowiskowe	9,2%	2,9%	0,1%	33,6%
Kryteria miękkie	Techniczne	2,3%	2%	0,4%	0,1%
	Ekonomiczne	27,6%	1,5%	98,3%	7,6%
	Społeczne	0%	0%	0%	0%
	Ekologiczne	0%	0,01%	0,01%	0%
Legenda					
%		> 75	50-70	25-50	<25

Ryc. 19. Stopień istotności kryteriów wyboru najkorzystniejszych lokalizacji dla czterech wybranych typów NBS (Opracowanie własne, materiał niepublikowany)

W odniesieniu do części 3 ankiety, kluczowymi czynnikami decydującymi o wyborze lokalizacji analizowanych typów NBS są w opinii respondentów (**Tabela 9**): poprawa lokalnego mikroklimatu, wskazana przez 81,8% respondentów, bliskość problemu (69,1%), poprawa dostępu do terenów zielonych (60,0%), dostępność przestrzeni do zagospodarowania (58,2%), potrzeby społeczne (58,2%), bliskość obszarów narażonych na klęski żywiołowe (54,5%) oraz kształtowanie krajobrazu (52,7%). Natomiast najmniej istotne okazały się być ochrona prawna gruntów i budynków (27,2%) oraz obecność istniejącej infrastruktury wspierającej (21,8%). Zauważalne są istotne różnice pomiędzy opinią respondentów z Polski a respondentami z innych krajów, m.in. w aspekcie znaczenia poprawy lokalnego mikroklimatu, poprawy dostępu do terenów zielonych, potrzeb społecznych, bliskości obszarów narażonych na klęski żywiołowe oraz kształtowania krajobrazu. Natomiast spójność opinii dotyczy czynników takich jak ochrona prawna gruntów i budynków, obecność istniejącej infrastruktury wspierającej czy kwestie techniczne, które w obu grupach oceniono jako najmniej istotne.

Porównanie pomiędzy wynikami uzyskanymi dla Lublina, a wynikami ankiety znajduje się w **podrozdziale dyskusji 7.3**, który koncentruje się na ocenie istotności kryteriów lokalizacyjnych.

Tabela 9. Ważność czynników lokalizacyjnych NBS z podziałem na respondentów z Polski i z innych krajów (Materiał niepublikowany)

Lp.	Czynnik	Respondenci z Polski / % /udział	Respondenci z pozostałych krajów % /udział	Wszyscy respondenci % /udział
1.	Poprawa lokalnego mikroklimatu	14 / 25,5	31 / 56,4	45 / 81,8
3.	Poprawa dostępu do terenów zielonych	11 / 20,0	22 / 40,0	33 / 60,0
4.	Dostępność przestrzeni do zagospodarowania	10 / 18,2	22 / 40,0	32 / 58,2
5.	Potrzeby społeczne	13 / 23,6	19 / 34,5	32 / 58,2
6.	Obszary narażone na różne klęski żywiołowe	6 / 10,9	24 / 46,6	30 / 54,5
7.	Kształtowanie krajobrazu	10 / 18,2	19 / 34,5	29 / 52,7
8.	Łatwość dostępu	11 / 20,0	16 / 29,1	27 / 49,1
9.	Lokalna polityka przestrzenna	6 / 10,9	20 / 36,4	26 / 47,3
10.	Lokalizacja na terenie należącym do miasta	10 / 18,2	13 / 23,6	23 / 41,8
11.	Kwestie techniczne	5 / 9,1	16 / 29,1	21 / 38,2
12.	Ochrona prawna gruntów i budynków	2 / 3,6	13 / 23,6	15 / 27,2
13.	Obecność istniejącej infrastruktury wspierającej	2 / 3,6	10 / 18,2	12 / 21,8

7. Dyskusja

7.1. Analiza efektywność różnych typów NBS w kontekście miejskim

Efektywność NBS na terenach miejskich należy rozpatrywać w kilku aspektach. Po pierwsze, kluczowa jest ich zdolności do realizacji celów środowiskowych, społecznych i gospodarczych, czyli odnoszących się do globalnych wyzwań społecznych [Kopsieker i in. 2021, Liu i in. 2021, Bona i in 2023, Wang i in. 2024, Zarei i Shahab 2025]. Wyniki analiz wykazały, że w przypadku Lublina, rozwiązania z zakresu NBS odpowiadają przede wszystkim na wyzwania związane ze zdrowiem publicznym, adaptacją i łagodzeniem zmian klimatu oraz utrzymaniem bioróżnorodności [Wójcik-Madej i Sowińska-Świerkosz 2022]. W mniejszym zakresie odnoszą się one do bezpieczeństwa żywnościowego, gdyż funkcja ta ogranicza się głównie do utrzymania terenów rolniczych oraz produkcji dodatkowej, np. miodu w pasiekach miejskich czy owoców w ogrodach działkowych, co jest zgodne z wynikami prac innych autorów [Castellar i in. 2021, López i in. 2019].

Jak ukazują wcześniejsze badania, skuteczne strategie miejskie powinny także łączyć zarówno rozwiązania tradycyjne, sprawdzone w długim okresie, jak i innowacyjne interwencje odpowiadające na aktualne wyzwania [IUCN 2016, Sowińska-Świerkosz i García 2022]. Przeprowadzone analizy potwierdzają to stwierdzenie, zarówno w kontekście wysokiej skuteczności i spełnianie standardów IUCN przez wcześniejsze interwencje z zakresu błękitno-zielonej infrastruktury [Wójcik-Madej i Sowińska-Świerkosz 2022] jak i w odniesieniu do faktu, że w grupie najlepiej dopasowanych typów NBS znalazły się zarówno istniejące jak i potencjalne do wdrożenia typy rozwiązań [Wójcik-Madej i in. 2025].

Poza tym, wyniki wcześniejszych prac wykazały konieczność stosowania podejścia komplementarnego, łączącego działania nisko-, średnio- i wysokointerwencyjne [Eggermont i in. 2015, Almenar i in. 2021]. Przypadek Lublina potwierdza ten fakt, iż w grupie najlepiej dopasowanych interwencji 20% z nich wymaga minimalnej ingerencji (np. monitoring i ochrona), 45% obejmuje zrównoważone zarządzanie istniejącymi elementami błękitno-zielonej infrastruktury, 10% dotyczy tworzenia nowych ekosystemów, a 25% opiera się na naturalnych i półnaturalnych systemach związanych z gospodarką wodną.

Przeprowadzone analizy wskazują również, że skuteczność NBS jest uzależniona od skali działań. Największy potencjał w rozwiązywaniu kluczowych wyzwań Lublina – takich jak zdrowie publiczne, adaptacja do zmian klimatu czy ochrona bioróżnorodności –

mają rozwiązania wielkoskalowe, m.in. lasy miejskie czy ogrody działkowe. Z kolei rozwiązania małoskalowe, takie jak hotele dla owadów, budki lęgowe czy instalacje tymczasowej zieleni, okazały się jedynie częściowo skuteczne i pełnią głównie funkcje uzupełniające, edukacyjne oraz integrujące społeczność [Frantzeskaki i in. 2019, Science for Environment Policy 2021]. W literaturze rekomendowane są również rozwiązania hybrydowe, takie jak ogrody deszczowe, stawy retencyjne czy hydrofitowe oczyszczalnie ścieków, które łączą naturalne procesy z technologiami, przyczyniając się do poprawy retencji i jakości wód [Jeon i in. 2021, Gonzalez-Flo i in. 2023, Paul i Finlayson 2023, Jnawali i in. 2025]. Tego typu rozwiązania zostały także częściowo zidentyfikowane jako adekwatne dla analizowanego miasta.

W odniesieniu do czterech analizowanych typów NBS, zarówno wyniki analizy efektywności na etapie III, jak i wyniki ankiety wykazały, że wszystkie typy są efektywne w kontekście zrównoważonego rozwoju obszarów miejskich (**Tabela 10**). Nie zaobserwowano istotnych różnic ani w odniesieniu do kryteriów efektywności, ani względem rodzaju NBS. W efekcie najlepsze strategie dla miast oparte o wykorzystanie NBS, w tym dla Lublina, powinny opierać się na zróżnicowanym zestawie działań, co zapewnia ich trwałość, skuteczność i szerokie spektrum korzyści [Kauark-Fontes i in. 2023, Petersen i in. 2025, Eckert 2025, Zarei i Shahab 2025].

Tabela 10. Porównanie oceny efektywności wybranych typów NBS na podstawie analiz dotyczących Lublina i opinii ankietowanych respondentów (Materiał niepublikowany)

NBS	Skala Lublina: Efektywność całkowita (Etap III)	Skala globalne: Opinia respondentów (średnia liczba punktów)
Proekologiczne zagospodarowanie suchych dolin	Efektywny	3,92 / Efektywny
Parki linearne	Efektywny	4,10 / Efektywny
Zielone dachy o lekkiej modułowej konstrukcji	Efektywny	4,10 / Efektywny
Przydomowe hydrofitowe oczyszczalnie ścieków z przepływem podpowierzchniowym	Efektywny	4,13 / Efektywny

Legenda				
Kategoria	Bardzo istotny / Bardzo efektywny	Istotny / Efektywny	Umiarkowanie istotny / Umiarkowanie efektywny	Mало istotny / Mало efektywny
%	> 75	50-70	25-50	<25

7.2. Kryteria lokalizacyjne NBS w kontekście miejskim

W literaturze przedmiotu wybór kryteriów lokalizacyjnych dla NBS opiera się przede wszystkim na aspektach środowiskowych, m.in. ukształtowaniu terenu, warunkach hydrologicznych, pokryciu terenu czy wskaźnikach bioróżnorodności, a także na kryteriach technicznych, natomiast w mniejszym stopniu uwzględnia się aspekty społeczne i związane z zarządzaniem [Li i in. 2022, Asare i in. 2024, Alves i in. 2024, Azadgar i in. 2025]. Na przykład, Li i in. [2022], przy wyborze lokalizacji dla parków miejskich uwzględnili kryteria takie jak wysokość terenu, nachylenie, opady oraz wskaźniki wegetacji, a także jeden czynnik społeczny: dostępność do transportu publicznego. Innym przykładem są badania Asare i in. [2024], którzy w analizach lokalizacji NBS ograniczających miejskie powodzie koncentrowali się głównie na odległości od rzek, rodzaju gleby, ukształtowaniu terenu oraz sposobie użytkowania terenu jako czynnikach przestrzennych. Z kolei Antić i in. [2023], proces wyboru lokalizacji hydrofitowych oczyszczalni ścieków oparli na kryteriach takich jak użytkowanie gruntu, granice obszarów zalewowych oraz odległość od terenów zaludnionych. Podobnie kryteria analizowali, Mahendra i in. [2024], w tym sposób użytkowania gruntu, nachylenie terenu oraz wskaźniki zanieczyszczenia wód.

Niezależnie od przyjętych kryteriów, w tego typu badaniach najczęściej stosuje się metodę wielokryterialną, polegającą na eliminowaniu lokalizacji niespełniających określonych wymogów technicznych lub środowiskowych, a następnie ocenianiu pozostałych obszarów pod kątem wykonalności i dostępności społecznej [Azadgar i in. 2025, Alves i in. 2024]. Podobne podejście zostało także przyjęte w niniejszej rozprawie, z tą różnicą, że wybór kryteriów lokalizacyjnych oparty był o globalne kryteria IUCN [2020] co jest podejściem innowacyjnym. Zostało ono przyjęte w celu ułatwienia oceny analizowanych rozwiązań z perspektywy koncepcji NBS poprzez uchwycenie ich wielowymiarowego charakteru. Ponadto uzyskane wyniki mają charakter aplikacyjny, ponieważ priorytetowo potraktowano wykonalność wdrożenia NBS przez władze lokalne (kryterium ekonomiczne), które są odpowiedzialne za wdrożenie i zarządzanie większością terenów zieleni w mieście. Poza tym, biorąc pod uwagę zasoby, doświadczenie i model funkcjonalny urzędów miasta, możliwe jest wdrożenie zarządzania adaptacyjnego, które stanowi jeden z kluczowych aspektów efektywności NBS [Kauark-Fontes i in. 2023]. Ponadto uwzględnienie kierunków polityki przestrzennej, lokalnych przepisów, planów przestrzennych i regulacji sektorowych jako kryteriów twardych jest kluczowe dla

wdrożenie NBS w praktykę planowania miejscowego [Brokking i in. 2021]. Dlatego też kluczową zaletę zastosowanego podejścia jest integracja różnych kryteriów, co w rezultacie pozwoliło na identyfikację miejsc o wysokim potencjale wdrożeniowym, które mogą być realizowane w formalnym i prawnym kontekście miasta. Ponadto uwzględnienie dostępności społecznej i własności nieruchomości zwiększa szanse na szybkie i skuteczne wdrożenie proponowanych rozwiązań [IUCN 2020, Albert i in. 2021].

7.3. Istotność kryteriów lokalizacyjnych, a możliwości wdrożenia NBS w mieście

Analiza istotności kryteriów zarówno na podstawie przykładu Lublina, jak i badań ankietowych pozwoliła na wskazanie kluczowych uwarunkowań oraz barier związanych z realną możliwością wdrażania czterech analizowanych typów NBS w kontekście miejskim. Ostateczne określenie stopnia istotności kryteriów lokalizacyjnych wykazało, że różnią się one w zależności od typu NBS (**Ryc. 19, Tabela 11**). Wyniki te są zgodne z obserwacjami innych autorów, m.in. Kauark-Fontes i in. [2023] oraz Bousquet i in. [2023], którzy wykazali zróżnicowany stopień istotności kryteriów lokalizacyjnych dla różnych typów NBS ze względu na specyfikę poszczególnych rozwiązań. Według literatury różnice te wynikają przede wszystkim ze specyfiki danego typu NBS, która jest uwarunkowana m.in. stopniem ingerencji człowieka w ekosystem, funkcją i zakresem działania rozwiązania, wymaganiami technicznymi i infrastrukturalnymi oraz wymiarem społeczno-instytucjonalnym [Sowińska-Świerkosz i in. 2024].

Porównanie stopnia istotności kryteriów pomiędzy wynikami analiz dla Lublina a wynikami ankiety wykazało istotne różnice. Kryterium prawne, związane z lokalną polityką przestrzenną oraz ochroną prawną gruntów i budynków, było kluczowe dla wskazania lokalizacji parków linearnych, oczyszczalni hydrofitowych oraz proekologicznego zagospodarowania suchych dolin w odniesieniu do obszaru Lublina [Wójcik-Madej i in. 2026b, **Ryc. 19, Tabela 11**]. Jednakże respondenci w ankiecie ocenili jego znaczenie jako średnio istotne (odpowiednio 47,3% i 27,2% ankietowanych). Znaczenie kryteriów prawnych w literaturze jest podkreślane jednak jako kluczowe dla skutecznego wdrażania NBS w planowaniu miejskim, a uwzględnienie ram politycznych i regulacyjnych jest niezbędne do zapewnienia trwałości i skuteczności tego typu inwestycji [De Luca i in. 2021, Saarinen i in. 2025].

Odwrotna sytuacja dotyczy czynników technicznych, społecznych i ekologicznych, które w przypadku Lublina okazały się mało istotne dla wszystkich typów NBS, podczas gdy respondenci ocenili je jako istotne – uzyskując wysokie lub średnie oceny (**Tabela 11**). Niskie znaczenie czynników technicznych dla Lublina jest sprzeczne z opinią innych autorów, którzy wskazują je jako jedną z kluczowych kategorii wpływających na powodzenie wdrożenia NBS [Zarei i Shahab 2025], można je jednak tłumaczyć z powiązaniem z poziomem technologicznym analizowanych rozwiązań (no-tech vs low-tech vs high-tech), które ma istotne znaczenie zarówno dla lokalizacji, jak i dla skuteczności wdrożenia [Snep i in. 2020]. Analizowane rozwiązania reprezentują stopień no-tech lub low-tech, a więc względy technologiczne nie są kluczowymi aspektami w procesie ich implementacji.

W przypadku wszystkich typów NBS, niska istotność kryterium społecznego wynika z faktu, że wszystkie analizowane lokalizacje są dobrze skomunikowane z różnymi dzielnicami miasta, co sprzyja zapewnieniu łatwego dostępu mieszkańcom. W literaturze podkreśla się, że dostępność jest kluczowa, ponieważ rozwiązania NBS nie są automatycznie społecznie inkluzyjne i w określonych warunkach mogą prowadzić do wykluczeń lub gentryfikacji [Haase 2017, Vojvodíková i in. 2022].

Niska istotność czynników ekologicznych w porównaniu z wynikami ankiety wynika przede wszystkim ze struktury wejściowych baz danych dotyczących poszczególnych typów NBS oraz kolejności prowadzenia analiz. W przypadku proekologicznego zagospodarowania suchych dolin, wstępna baza danych zawierała informacje o geomorfologii oraz strukturze form pokrycia suchych dolin Lublina, które zostały wskazane jako kluczowe czynniki lokalizacyjne dla tego typu zagospodarowania [Rodzik i in. 2025, Hamidova i in. 2024], dlatego nie były analizowane w dalszych etapach badań. Podobna sytuacja dotyczyła pozostałych trzech typów NBS, dla których dane wejściowe obejmowały kluczowe warunki ekologiczne charakterystyczne dla Lublina — takie jak dostępność zieleni, struktura siedlisk, obecność dolin rzecznych oraz stopień przekształcenia krajobrazu — w wyniku czego część obszarów została odrzucona na wcześniejszych etapach analiz. W efekcie końcowa ocena przestrzenna wykazała niższy poziom zróżnicowania czynników ekologicznych niż odpowiedzi respondentów, którzy oceniali je w sposób bardziej ogólny i niezależny od struktury danych wejściowych.

Ważnym kryterium, szczególnie w przypadku zielonych dachów o modułowej konstrukcji oraz proekologicznego zagospodarowania suchych dolin, były względy ekonomiczne, w tym położenie działek lub budynków na terenach publicznych. Istotność

tego kryterium została także dostrzeżona przez znaczną część respondentów – 41,8% ankietowanych. Spójność co do znaczenia tego kryterium wynika z faktu, że w przypadku różnych typów NBS najbardziej odpowiednie wydają się być grunty lub budynki będące własnością publiczną, ponieważ eliminują potrzebę negocjowania indywidualnych umów z właścicielami prywatnymi, upraszczają proces realizacji inwestycji oraz wykluczają konieczność wykupu lub dzierżawy nieruchomości [Wójcik-Madej i in. 2026a, 2026b, Brokking i in. 2021]. Jest to również zgodne z opinią innych autorów, w tym Shushunova i in. [2021] oraz Komisji Europejskiej, Dyrekcji Generalnej ds. Badań Naukowych i Innowacji [2020], którzy wskazują, że brak standardowej metody oceny wartości ekonomicznej zielonych inwestycji ogranicza proces podejmowania decyzji o ich wdrożeniu.

Większy stopień spójności widać także w przypadku kryterium środowiskowego, w szczególności w odniesieniu do hydrofitowych oczyszczalni ścieków. Wynika to z faktu, że hydrofitowe oczyszczalnie ścieków są typem NBS, dla których efekty środowiskowe są dobrze znane i potwierdzone w literaturze [Saeed i Sun 2012, Domínguez-Solís i in. 2025]. Są one stosunkowo łatwe do oceny na podstawie parametrów fizykochemicznych i biologicznych [Malyan i in. 2021]. W odróżnieniu od innych typów NBS, hydrofitowe oczyszczalnie posiadają dobrze opisane mechanizmy działania [Ji i in. 2022]. Dzięki temu możliwe jest precyzyjne określenie ich wpływu na jakość środowiska. Ponadto technologie hydrofitowe charakteryzują się wysoką przewidywalnością efektów, ugruntowanymi zasadami projektowania oraz szeroką dostępnością badań dotyczących ich skuteczności [Domínguez-Solís i in. 2025, Saeed i Sun 2012], co sprawia, że oceniane obiekty wykazują większy stopień zgodności w odniesieniu do kluczowych kryteriów środowiskowych.

Istotne różnice w ocenie znaczenia kryteriów lokalizacyjnych pomiędzy wynikami uzyskanymi dla Lublina a wynikami z ankiety wskazują, że rozwiązania typu NBS mają wyraźnie kontekstowy charakter i nie mogą być wdrażane w sposób „copy–paste”. Potwierdza to literatura wskazując, że planowanie NBS powinno opierać się na zasadzie ‘place-specificity’, czyli adaptacji rozwiązań do warunków lokalnych [Raymond i in. 2017 za Albert i in. 2021, Seddon i in. 2021]. Również badania dotyczące zależności NBS od struktury krajobrazu potwierdzają, że typ krajobrazu, jego jakość i poziom przekształcenia wpływają zasadniczo na wybór i skuteczność interwencji NBS [Sowińska-Świerkosz i in. 2024]. Reasumując, choć możliwe jest określenie ogólnej puli kryteriów lokalizacyjnych, ich znaczenie i hierarchia ważności są silnie uzależnione od lokalnych uwarunkowań prawnych, środowiskowych, ekonomicznych i społecznych. W

konsekwencji możliwości stosowania strategii replikacyjnych w zakresie wdrażania NBS są ograniczone – zarówno w odniesieniu do kontekstu (różne miasta czy kraje), jak i do typów NBS.

Tabela 11. Porównanie istotności kryteriów lokalizacyjnych wybranych typów NBS na podstawie analiz dotyczących Lublina i opinii ankietowanych respondentów (Materiał niepublikowany)

Skala Lublina: Kryteria z Etapu III	Skala globalna: Czynniki lokalizacyjne ankieta	Wyniki ankiety: ogólny % respondentów	Wyniki analiz dla Lublina (na podstawie III etapu badań i ryc. 19)	
Prawne	Lokalna polityka przestrzenna	47,3	Parki linearne	Przydomowe hydrofitowe oczyszczalnie ścieków
	Ochrona prawna gruntów i budynków	27,2	Proekologiczne zagospodarowanie suchych dolin	Zielone dachy modułowe
Środowiskowe	Dostępność przestrzeni do zagospodarowania	58,2	Parki linearne	Przydomowe hydrofitowe oczyszczalnie ścieków
	Obszary narażone na różne klęski żywiołowe	54,5	Proekologiczne zagospodarowanie suchych dolin	Zielone dachy modułowe
Techniczne	Kwestie techniczne	38,2	Parki linearne	Przydomowe hydrofitowe oczyszczalnie ścieków
	Obecność istniejącej infrastruktury wspierającej	21,8	Proekologiczne zagospodarowanie suchych dolin	Zielone dachy modułowe
Ekonomiczne	Lokalizacja na terenie/budynku należącym do miasta (teren publiczny)	41,8	Parki linearne	Przydomowe hydrofitowe oczyszczalnie ścieków
			Proekologiczne zagospodarowanie suchych dolin	Zielone dachy modułowe
Spoleczne	Poprawa dostępu do terenów zielonych	60,0	Parki linearne	Przydomowe hydrofitowe oczyszczalnie ścieków
	Potrzeby społeczne	58,2		
	Kształtowanie krajobrazu	52,7	Proekologiczne zagospodarowanie suchych dolin	Zielone dachy modułowe
	Łatwość dostępu	49,1		
Ekologiczne	Poprawa lokalnego mikroklimatu	81,8	Parki linearne	Przydomowe hydrofitowe oczyszczalnie ścieków
			Proekologiczne zagospodarowanie suchych dolin	Zielone dachy modułowe

Legenda

Kategoria	Bardzo istotny / Bardzo efektywny	Istotny / Efektywny	Umiarkowanie istotny / Umiarkowanie efektywny	Mало istotny / Mало efektywny
%	> 75	50-70	25-50	<25

8. Wnioski

Badanie nad określeniem potencjału miasta Lublin w aspekcie wdrożenia rozwiązań opartych na naturze (NBS) pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Na terenie Lublina zidentyfikowano 24 typy NBS zajmujących łącznie 44,67% powierzchni miasta. Największy udział posiadają rozwiązania charakteryzujące się niskim stopniem ingerencji człowieka w krajobraz.
2. Metoda oceny wielokryterialnej pozwoliła na zidentyfikowanie 20 typów NBS najkorzystniejszych do wdrożenia na terenie Lublina. Reprezentują one w większości zrównoważone zarządzanie oraz naturalne wzbogacenie istniejącej zielonej i niebieskiej infrastruktury miejskiej.
3. Wykazano istnienie od 32 do 45749 opcjonalnych lokalizacji dla czterech analizowanych typów NBS. Wysoka ich liczba wynika z szeregu terenów przeznaczonych w Miejscowych Planach Zagospodarowania Przestrzennego pod zielenią urządzone, a w przypadku oczyszczalni hydrofitowych z obecności wielu budynków niepodłączonych do miejskiej sieci kanalizacyjnej.
4. Wykazano istnienie od 1 do 6 najlepszych lokalizacji dla czterech analizowanych typów NBS. Niska liczba lokalizacji wynika z kryterium prawnego i ekonomicznego dla proekologicznego zagospodarowania suchych dolin, prawnego dla parków linearnych, ekonomicznego dla zielonych dachów modułowych oraz prawnego i środowiskowego dla hydrofitowych oczyszczalni ścieków.
5. Wyniki analizy skuteczności wybranych typów NBS wykazały, że najlepsze strategie dla miast, w tym dla Lublina powinny opierać się na zróżnicowanym zestawie działań i typów NBS, co zapewnia ich trwałość, skuteczność i szerokie spektrum korzyści
6. Istotne różnice istotności kryteriów lokalizacyjnych pomiędzy wynikami uzyskanymi dla Lublina a wynikami ankiety wskazują, że rozwiązania typu NBS mają wyraźnie kontekstowy charakter. Choć możliwym jest określenie ogólnej puli kryteriów lokalizacyjnych, ich znaczenie i hierarchia ważności są silnie uzależnione od szeregu lokalnych uwarunkowań.
7. Wyniki analiz częściowo potwierdziły hipotezę badawczą mówiącą o znacznym potencjale Lublina w aspekcie wdrażania różnych typów NBS. Potencjał ten wspiera różnorodność zasobów krajobrazowych miasta, kierunki polityki przestrzennej oraz akceptacja ze strony Urzędu Miasta Lublin i mieszkańców. Jest on jednak ograniczony przez czynniki prawne, ekonomiczne oraz środowiskowe.

9. Bibliografia

- 1) Albert, C., Brillinger, M., Guerrero, P., Gottwald, S., Henze, J., Schmidt, S., Ott, E., Schröter, B. 2021. Planning nature-based solutions: Principles, steps, and insights. *Ambio* 50, 1446–1461. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01365-1>
- 2) Alexander, C. Trzebiatowska, M., Ishikawa, S., Lenartowicz, J.K., Kaczanowska, A., Maliszewska, K. 2008. *Język wzorców =: A pattern language: miasta, budynki, konstrukcja*. Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne, Gdańsk ; Sopot.
- 3) Almenar, J.B., Elliot, T., Rugani, B., Philippe, B., Gutierrez, T.N., Sonnemann, G., Geneletti, D. 2021. Nexus between nature-based solutions, ecosystem services and urban challenges. *Land Use Policy* 100, 104898. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104898>
- 4) Alves, R.A., Santos, M.M.D., Rudke, A.P., Francisquetti Venturin, P.R., Martins, J.A. 2024. Site selection for nature-based solutions for stormwater management in urban areas: An approach combining GIS and multi-criteria analysis. *Journal of Environmental Management* 359, 120999. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120999>
- 5) An, H., Xiao, W., Huang, J. 2023. Relationship of construction land expansion and ecological environment changes in the Three Gorges reservoir area of China. *Ecological Indicators* 157, 111209. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111209>
- 6) Anderson, C.C., Renaud, F.G., Hanscomb, S., Gonzalez-Ollauri, A. 2022. Green, hybrid, or grey disaster risk reduction measures: What shapes public preferences for nature-based solutions? *Journal of Environmental Management* 310, 114727. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114727>
- 7) Antić, S., Benka, P., Blagojević, B., Santrač, N., Salvai, A., Stajić, M., Zemunac, R., Bezdan, J. 2023. Defining Optimal Location of Constructed Wetlands in Vojvodina, Serbia. *Hydrology* 10, 192. <https://doi.org/10.3390/hydrology10100192>
- 8) Asare, P., Atun, F., Pfeffer, K. 2024. Spatial Multi-Criteria Analysis for Discovering Nature-Based Solutions Location for Urban Flood Mitigation in Accra. *Appl. Spatial Analysis* 17, 207–239. <https://doi.org/10.1007/s12061-023-09541-y>
- 9) Azadgar, A., Gańcza, A., Asl, S.R., Salata, S., Nyka, L. 2025. Optimizing nature-based solutions for urban flood risk mitigation: A multi-objective genetic algorithm approach in Gdańsk, Poland. *Science of The Total Environment* 963, 178303. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.178303>

- 10) Baci, I.R., Taranu, N., Isopescu, D.N., Lupu, M.L., Dragan, T.C., Maxineasa, S.G. 2020. Green roofs – modern solutions for greening buildings. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 789, 012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/789/1/012001>
- 11) Bergier, T., Włodyka-Bergier, A., Turcios, A.E., Papenbrock, J., Miglio, R., Cifuentes, J.I., Rivera, P., Barrera, A., Hulyi, O., Pignataro, G., 2023. Analysis the potential of online tools to support the design of constructed wetlands. *Desalination and Water Treatment* 301, 143–149.
- 12) Biswal, B.K., Balasubramanian, R. 2022. Constructed Wetlands for Reclamation and Reuse of Wastewater and Urban Stormwater: A Review. *Front. Environ. Sci.* 10, 836289. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.836289>
- 13) Błażejowski, R. 2003. *Kanalizacja wsi. Wyd. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Wielkopolski, Poznań*, s. 351.
- 14) Bona, S., Silva-Afonso, A., Gomes, R., Matos, R., Rodrigues, F. 2022. Nature-Based Solutions in Urban Areas: A European Analysis. *Applied Sciences* 13, 168. <https://doi.org/10.3390/app13010168>
- 15) Boros, J., Mahmoud, I. 2021. Urban Design and the Role of Placemaking in Mainstreaming Nature-Based Solutions. Learning From the Biblioteca Degli Alberi Case Study in Milan. *Front. Sustain. Cities* 3, 635610. <https://doi.org/10.3389/frsc.2021.635610>
- 16) Bousquet, M., Kuller, M., Lacroix, S., Vanrolleghem, P.A. 2023. A critical review of multicriteria decision analysis practices in planning of urban green spaces and nature-based solutions. *Blue-Green Systems* 5, 200–219. <https://doi.org/10.2166/bgs.2023.132>
- 17) Brokking, P., Mörtberg, U., Balfors, B. 2021. Municipal Practices for Integrated Planning of Nature-Based Solutions in Urban Development in the Stockholm Region. *Sustainability* 13, 10389. <https://doi.org/10.3390/su131810389>
- 18) Burch, S., Berry, P., Sanders, M. 2014. Embedding climate change adaptation in biodiversity conservation: A case study of England. *Environmental Science & Policy* 37, 79–90. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.08.014>
- 19) Burgos, N., Rizzi, D., Davis, M. 2024. Bridging Continents. Exploring the state-of-play of Nature-based Solutions in the EU and LAC: Building a foundation for collaboration. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Publications Office of the European Union. <https://www.ecologic.eu/sites/default/files/publication/2024/50173-bridging->

continents.pdf (dostęp: 18.10.2025 r.)

- 20) Cascone, S. 2019. Green Roof Design: State of the Art on Technology and Materials. *Sustainability* 11, 3020. <https://doi.org/10.3390/su11113020>
- 21) Castellar, J.A.C., Popartan, L.A., Pueyo-Ros, J., Atanasova, N., Langergraber, G., Säumel, I., Corominas, L., Comas, J., Acuña, V., 2021. Nature-based solutions in the urban context: terminology, classification and scoring for urban challenges and ecosystem services. *Science of The Total Environment* 779, 146237. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146237>
- 22) Castelo, S., Amado, M., Ferreira, F. 2023. Challenges and Opportunities in the Use of Nature-Based Solutions for Urban Adaptation. *Sustainability* 15, 7243. <https://doi.org/10.3390/su15097243>
- 23) Chaturvedi, O.P., Kaushal, R., Tomar, J.M.S., Prandiyal, A.K., Panwar, P. 2014. Agroforestry for Wasteland Rehabilitation: Mined, Ravine, and Degraded Watershed Areas, in: Dagar, J.C., Singh, A.K., Arunachalam, A. (Red.), *Agroforestry Systems in India: Livelihood Security & Ecosystem Services, Advances in Agroforestry*. Springer India, New Delhi, pp. 233–271. https://doi.org/10.1007/978-81-322-1662-9_8
- 24) Chausson, A., Turner, B., Seddon, D., Chabaneix, N., Girardin, C.A.J., Kapos, V., Key, I., Roe, D., Smith, A., Woroniecki, S., Seddon, N. 2020. Mapping the effectiveness of nature-based solutions for climate change adaptation. *Global Change Biology* 26, 6134–6155. <https://doi.org/10.1111/gcb.15310>
- 25) Chrysoulakis, N., Somarakis, G., Stagakis, S., Mitraka, Z., Wong, M.-S., Ho, H.-C. 2021. Monitoring and Evaluating Nature-Based Solutions Implementation in Urban Areas by Means of Earth Observation. *Remote Sensing* 13, 1503. <https://doi.org/10.3390/rs13081503>
- 26) Cohen-Shacham, E., Cabecinha, E., Andrade, A. (Red.). 2025. Applying the IUCN Global Standard for Nature-based Solutions™. 21 case studies from around the globe. IUCN, International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/RFTD6180>
- 27) Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., Maginnis, S. (Red.). 2016. Nature-based solutions to address global societal challenges. IUCN International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en> (dostęp: 18.10.2025 r.)
- 28) Corgo, J., Cruz, S.S., Conceição, P. 2024. Nature-based solutions in spatial

- planning and policies for climate change adaptation: A literature review. *Ambio* 53, 1599–1617. <https://doi.org/10.1007/s13280-024-02052-1>
- 29) Croeser, T., Garrard, G., Sharma, R., Ossola, A., Bekessy, S. 2021. Choosing the right nature-based solutions to meet diverse urban challenges. *Urban Forestry & Urban Greening* 65, 127337. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127337>
 - 30) Dagar, J.C. 2018. Ravines: Formation, Extent, Classification, Evolution and Measures of Prevention and Control, in: Dagar, J.C., Singh, A.K. (Eds.), *Ravine Lands: Greening for Livelihood and Environmental Security*. Springer Singapore, Singapore, pp. 19–67. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8043-2_2
 - 31) De Luca, C., Naumann, S., Davis, M., Tondelli, S. 2021. Nature-Based Solutions and Sustainable Urban Planning in the European Environmental Policy Framework: Analysis of the State of the Art and Recommendations for Future Development. *Sustainability* 13, 5021. <https://doi.org/10.3390/su13095021>
 - 32) Dick, J., Carruthers-Jones, J., Carver, S., Dobel, A.J., Miller, J.D. 2020. How are nature-based solutions contributing to priority societal challenges surrounding human well-being in the United Kingdom: a systematic map. *Environ Evid* 9, 25. <https://doi.org/10.1186/s13750-020-00208-6>
 - 33) Domínguez-Solís, D., Martínez-Rodríguez, M.C., Ramírez-Escamilla, H.G., Campos-Villegas, L.E., Domínguez-Solís, R. 2025. Constructed Wetlands as a Decentralized Treatment Option for Domestic Wastewater: A Systematic Review (2015–2024). *Water* 17, 1451. <https://doi.org/10.3390/w17101451>
 - 34) Dremel, M., Goličnik Marušić, B., Zelnik, I. 2023. Defining Natural Habitat Types as Nature-Based Solutions in Urban Planning. *Sustainability* 15, 13708. <https://doi.org/10.3390/su151813708>
 - 35) Dumitru, A. Wendling, L. (Red.). 2021. Evaluating the Impact of Nature-Based Solutions: A Handbook for Practitioners; European Commission: Luxembourg. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d7d496b5-ad4e-11eb-9767-01aa75ed71a1> (dostęp: 18.10.2025 r.)
 - 36) Eckert, K.H. 2025. Multifunctionality of Nature-based solutions a scoping review of strategic planning processes. *Discov Sustain* 6, 907. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01673-0>
 - 37) Eggermont, H., Balian, E., Azevedo, J.M.N., Beumer, V., Brodin, T., Claudet, J., Fady, B., Grube, M., Keune, H., Lamarque, P., Reuter, K., Smith, M., Van Ham, C., Weisser, W.W., Le Roux, X. 2015. Nature-based Solutions: New Influence for

- Environmental Management and Research in Europe. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society* 24, 243–248.
<https://doi.org/10.14512/gaia.24.4.9>
- 38) Europejska Agencja Środowiska. 2023. Scaling nature-based solutions for climate resilience and nature restoration. European Environment Agency.
<https://www.eea.europa.eu/publications/scaling-nature-based-solutions> (dostęp: 18.10.2025 r.)
- 39) Frantzeskaki, N. 2019. Seven lessons for planning nature-based solutions in cities. *Environmental Science & Policy* 93, 101–111.
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.033>
- 40) Frantzeskaki, N., McPhearson, T., Collier, M.J., Kendal, D., Bulkeley, H., Dumitru, A., Walsh, C., Noble, K., Van Wyk, E., Ordóñez, C., Oke, C., Pintér, L. 2019. Nature-Based Solutions for Urban Climate Change Adaptation: Linking Science, Policy, and Practice Communities for Evidence-Based Decision-Making. *BioScience* 69, 455–466. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz042>
- 41) Gonzalez-Flo, E., Romero, X., García, J. 2023. Nature based-solutions for water reuse: 20 years of performance evaluation of a full-scale constructed wetland system. *Ecological Engineering* 188, 106876.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106876>
- 42) Haase, A. 2017. The Contribution of Nature-Based Solutions to Socially Inclusive Urban Development– Some Reflections from a Social-environmental Perspective, in: Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., Bonn, A. (Eds.), *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas, Theory and Practice of Urban Sustainability Transitions*. Springer International Publishing, Cham, pp. 221–236.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5_13
- 43) Hamidova, E., Bosino, A., Franceschi, L., De Amicis, M., 2024. Nature-Based Solution Integration to Enhance Urban Geomorphological Mapping: A Methodological Approach. *Land* 13, 467. <https://doi.org/10.3390/land13040467>
- 44) Hauck, J. Schweppe-Kraft, B., Albert, C., Görg, C., Jax, K., Jensen, R., Fürst, C., Maes, J., Ring, I., Hönigová, I., i in. 2013. The Promise of the Ecosystem Services Concept for Planning and Decision-Making. *GAIA*, 22, 232–236.
- 45) Hejl, M. 2020. Construction of modular green roof panel. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 867, 012009. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/867/1/012009>
- 46) Howe, C., Suich, H., Vira, B., Mace, G.M. 2014. Creating win-wins from trade-

- offs? Ecosystem services for human well-being: A meta-analysis of ecosystem service trade-offs and synergies in the real world. *Global Environmental Change* 28, 263–275. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.07.005>
- 47) Ibrahim, A., Bartsch, K., Sharifi, E. 2020. Green infrastructure needs green governance: Lessons from Australia's largest integrated stormwater management project, the River Torrens Linear Park. *Journal of Cleaner Production* 261, 121202. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121202>
- 48) Institute for European Environmental Policy (IEEP). 2021. Nature-based solutions and their socio-economic benefits for Europe's recovery. Brussels: IEEP. <https://ieep.eu/wp-content/uploads/2022/12/Nature-based-solutions-and-their-socio-economic-benefits-for-Europes-recovery-IEEP-2021-WEB.pdf> (dostęp: 18.10.2025 r.)
- 49) IUCN. 2020. Global Standard for Nature-based Solutions. A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS. First edition. Gland, Switzerland: IUCN.
- 50) IUCN. 2023. Luo, M., Zhang, Y., Cohen-Shacham, E., Andrade, A., Maginnis, S. (eds.). Towards Nature-based Solutions at scale: 10 case studies from China. Gland, Switzerland: IUCN, and Beijing, the People's Republic of China: Ministry of Natural Resources. Jeoni in. 2021.
- 51) Ji, Z., Tang, W., Pei, Y. 2022. Constructed wetland substrates: A review on development, function mechanisms, and application in contaminants removal. *Chemosphere* 286, 131564. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131564>
- 52) Jnawali, S.S., McBroom, M., Zhang, Y., Stafford, K., Wang, Z., Creech, D., Cheng, Z. 2025. Effectiveness of Rain Gardens for Managing Non-Point Source Pollution from Urban Surface Storm Water Runoff in Eastern Texas, USA. *Sustainability* 17, 4631. <https://doi.org/10.3390/su17104631>
- 53) Józwiakowski, K., 2012. Badania skuteczności oczyszczania ścieków w wybranych systemach gruntowo-roślinnych. Rozprawa habilitacyjna, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi PAN, Stowarzyszenie Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, Kraków.
- 54) Józwiakowski, K., Marzec, M., Kowalczyk-Juśko, A., Gizińska-Górna, M., Pytko-Woszczyło, A., Malik, A., Listosz, A., Gajewska, M., 2019. 25 years of research and experiences about the application of constructed wetlands in southeastern Poland. *Ecological Engineering* 127, 440–453.

- <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.12.013>
- 55) Kang, Y., Gan, J., Yu, L., He, C., Zhang, L., Wu, J. 2025. Design pattern and network development of urban microhabitat based on nature-based solutions (NbS): A case study of habitat gardens in Changning District, Shanghai. *Biodiversity Science* 33, 24528. <https://doi.org/10.17520/biods.2024528>
 - 56) Karczmarczyk, A. 2016. Określanie przepuszczalności gruntu na potrzeby odprowadzania ścieków z oczyszczalni przydomowych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 959–970. <https://doi.org/10.14597/infraeco.2016.3.2.070>
 - 57) Kauark-Fontes, B., Marchetti, L., Salbitano, F. 2023. Integration of nature-based solutions (NBS) in local policy and planning toward transformative change. Evidence from Barcelona, Lisbon, and Turin. *E&S* 28, art25. <https://doi.org/10.5751/ES-14182-280225>
 - 58) Kim, E.J., Lee, D.H., Kang, Y. 2024. Explorations on cooling effect of small urban linear park design in low-rise, high-density district: The case of Gyeongui line forest park in Seoul. *Urban Forestry & Urban Greening* 100, 128461. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128461>
 - 59) Kolokotsa, D., Lilli, A.A., Lilli, M.A., Nikolaidis, N.P. 2020. On the impact of nature-based solutions on citizens' health & well being. *Energy and Buildings* 229, 110527. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110527>
 - 60) Komisja Europejska, Dyrekcja Generalna ds. Badań Naukowych i Innowacji. 2020. Public procurement of nature-based solutions: addressing barriers to the procurement of urban NBS: case studies and recommendations. Publications Office, LU.
 - 61) Komisja Europejska, Dyrekcja Generalna ds. Badań Naukowych i Innowacji. 2015. Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities: final report of the Horizon 2020 expert group on 'Nature based solutions and re naturing cities' : (full version). Publications Office, LU.
 - 62) Komisja Europejska, Dyrekcja Generalna ds. Badań Naukowych i Innowacji. 2023. Guidelines for co-creation and co-governance of nature-based solutions: Insights from EU funded projects. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/157060>
 - 63) Komisja Europejska, Dyrekcja Generalna ds. Środowiska. 2022. Nature restoration law: for people, climate, and planet. Publications Office, LU.
 - 64) Komisja Europejska, Dyrekcja Generalna ds. Środowiska. 2023. Green roofs as

- nature based solutions for a better life in cities. Publications Office, LU.
- 65) Kopsieker L., Gerritsen E., Stainforth T., Lucic A., Costa Domingo G., Naumann S., Röschel L. and Davis M. 2021. Nature-based solutions and their socio-economic benefits for Europe's recovery: Enhancing the uptake of nature-based solutions across EU policies. Policy briefing. <https://www.ecologic.eu/17770> (dostęp: 12.11.2025 r.)
 - 66) Korkmaz, C., Balaban, O. 2020. Sustainability of urban regeneration in Turkey: Assessing the performance of the North Ankara Urban Regeneration Project. *Habitat International* 95, 102081. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2019.102081>
 - 67) Korwel-Lejkowska B., Topa E. 2017. Dostępność parków miejskich jako elementów zielonej infrastruktury w Gdańsku. *Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna* 63–75.
 - 68) Lemes De Oliveira, F. 2025. Nature in nature-based solutions in urban planning. *Landscape and Urban Planning* 256, 105282. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2024.105282>
 - 69) Li, C., Zhang, T., Wang, X., Lian, Z. 2022. Site Selection of Urban Parks Based on Fuzzy-Analytic Hierarchy Process (F-AHP): A Case Study of Nanjing, China. *IJERPH* 19, 13159. <https://doi.org/10.3390/ijerph192013159>
 - 70) Liu, W.-Y., Lin, Y.-Z., Hsieh, C.-M. 2021. Assessing the Ecological Value of an Urban Forest Park: A Case Study of Sinhua Forest Park in Taiwan. *Forests* 12, 806. <https://doi.org/10.3390/f12060806>
 - 71) López, A., Mabe, L., Cantergiani, C. 2019. Integration of multiple methodologies to evaluate effects of Nature Based Solutions on urban climate mitigation and adaptation. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 323, 012078. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012078>
 - 72) Luo, M., Jia, X., Zhao, Y., Zhang, P., Zhao, M. 2024. Ecological vulnerability assessment and its driving force based on ecological zoning in the Loess Plateau, China. *Ecological Indicators* 159, 111658. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111658>
 - 73) MacKinnon, K., Dudley, N., Sandwith, T. 2011. Natural solutions: protected areas helping people to cope with climate change. *Oryx* 45, 461–462. <https://doi.org/10.1017/S0030605311001608>
 - 74) Mahendra, D.R., Harmayani, K.D., Jaya, N.M.P., Widhiawati, I.A.R., Bhaskara, I.G.A.G.W., Supriyani, N.D., Hutagalung, D.S.F., Nagai, M. 2024. Determining the

- Suitable Location of Constructed Wetland for the Polluted River Water Treatment Based on Analytical Hierarchy Process and Geographic Information System Analysis. *JPSL* 14, 836. <https://doi.org/10.29244/jpsl.14.4.836>
- 75) Malyan, S.K., Yadav, S., Sonkar, V., Goyal, V.C., Singh, O., Singh, R. 2021. Mechanistic understanding of the pollutant removal and transformation processes in the constructed wetland system. *Water Environment Research* 93, 1882–1909. <https://doi.org/10.1002/wer.1599>
 - 76) Małecka-Ziembińska, E., Janicka, I. 2022. Nature-Based Solutions in Poland against Climate Change. *Energies* 15, 357. <https://doi.org/10.3390/en15010357>
 - 77) Martin, J.G.C., Scolobig, A., Linnerooth-Bayer, J., Irshaid, J., Aguilera Rodriguez, J.J., Fresolone-Caparrós, A., Oen, A. 2025. The nature-based solution implementation gap: A review of nature-based solution governance barriers and enablers. *Journal of Environmental Management* 388, 126007. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126007>
 - 78) Mosisa, G.B., Bedadi, B., Dalle, G., Tassie, N. 2025. Nature-based solutions for urban climate resilience: implementation, contribution, and effectiveness. *Nature-Based Solutions* 8, 100245. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2025.100245>
 - 79) NetworkNature. 2021. In: El Harrak, M., Lemaitre, F. (Eds.), Deliverable 3.5. Report on Practical, Research and Innovation Needs. Biodiversa +. <https://networknature.eu/networknature/resource/networknature-report-practical-research-and-innovation-needs> (dostęp: 12.11.2025 r.)
 - 80) Nowocień E., Podolski B., Wawer R. 2011. Przegląd metod zabudowy wąwozów oraz skarp na obiektach doświadczalnych. <https://doi.org/10.26114/SIR.IUNG.2011.27.03>
 - 81) Ommer, J., Bucchignani, E., Leo, L.S., Kalas, M., Vranić, S., Debele, S., Kumar, P., Cloke, H.L., Di Sabatino, S. 2022. Quantifying co-benefits and disbenefits of Nature-based Solutions targeting Disaster Risk Reduction. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 75, 102966. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.102966>
 - 82) Ommer, J., Neumann, J., Vranić, S., Kalas, M., Leo, L.S., Di Sabatino, S., Cloke, H.L. 2024. The Impact of Spatial Resolutions on Nature-Based Solution Suitability Mapping for Europe. *Applied Sciences* 14, 4608. <https://doi.org/10.3390/app14114608>
 - 83) Oral, H.V., Carvalho, P., Gajewska, M., Ursino, N., Masi, F., Hullebusch, E.D.V., Kazak, J.K., Exposito, A., Cipolletta, G., Andersen, T.R., Finger, D.C., Simperler,

- L., Regelsberger, M., Rous, V., Radinja, M., Buttiglieri, G., Krzeminski, P., Rizzo, A., Dehghanian, K., Nikolova, M., Zimmermann, M. 2020. A review of nature-based solutions for urban water management in European circular cities: a critical assessment based on case studies and literature. *Blue-Green Systems* 2, 112–136. <https://doi.org/10.2166/bgs.2020.932>
- 84) Oviedo, M., Drescher, M., Dean, J. 2022. Urban green space access, uses, and values: A case study of user perceptions in metropolitan ravine parks. *Urban Forestry & Urban Greening* 70, 127522. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127522>
- 85) Parker, J., Simpson, G.D., Miller, J.E. 2020. Nature-Based Solutions Forming Urban Intervention Approaches to Anthropogenic Climate Change: A Quantitative Literature Review. *Sustainability* 12, 7439. <https://doi.org/10.3390/su12187439>
- 86) Paul, S., Finlayson, M. 2023. Treatment of Urban Stormwater Through Constructed Wetlands – Experiences and Practical Guidance for Tropical and Non-tropical Settings, in: Lobato De Magalhães, T., Otte, M.L. (Eds.), *Wetlands for Remediation in the Tropics, Wetlands: Ecology, Conservation and Management*. Springer International Publishing, Cham, pp. 93–116. https://doi.org/10.1007/978-3-031-23665-5_6
- 87) Petersen, C.J., Russel, D.J., Jensen, A., Pedersen, A.B., Kirsop-Taylor, N. 2025. Evaluation of innovative policy for nature-based solutions: analysis from three European city case studies. *Discov Cities* 2, 48. <https://doi.org/10.1007/s44327-025-00083-1>
- 88) Polska Norma PN-B-10425:1989. Konstrukcje budowlane. Fundamenty bezpośrednie. Obliczenia i projektowanie. Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny.
- 89) Raymond, C.M., Frantzeskaki, N., Kabisch, N., Berry, P., Breil, M., Nita, M.R., Geneletti, D., Calfapietra, C. 2017. A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas. *Environmental Science & Policy* 77, 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.008>
- 90) Rodzik, J., Żuraw, B., Sowińska-Świerkosz, B., Kuna, J., Sosnowska, M., Podsiedlik, M. 2025. Multi-criteria evaluation for the sustainable use of loess gullies in rural–urban borderline. *Sci Rep* 15, 10801. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-94597-8>
- 91) Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 12

- lipca 2019 r. w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków, a także przy odprowadzaniu wód opadowych lub roztopowych do wód lub do urządzeń wodnych [Dz. U. 2019 poz. 1311]
- 92) Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody [Dz.U. 2002 nr 8 poz. 70]
- 93) Rozporządzenie Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii w sprawie ewidencji gruntów i budynków [Dz.U.2024.0.219]
- 94) Saarinen, A., Leskinen, P., Reini, A., Fagerholm, N., Kasvi, E. 2025. Policy and regulatory measures supporting the implementation of nature-based solutions in urban stormwater management of private properties: Insights from Finland. *Ambio*. <https://doi.org/10.1007/s13280-025-02253-2>
- 95) Saeed, T., Sun, G. 2012. A review on nitrogen and organics removal mechanisms in subsurface flow constructed wetlands: Dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media. *Journal of Environmental Management* 112, 429–448. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.08.011>
- 96) Science for Environment Policy. 2021. The Solution Is in Nature. Future Brief 24; Brief Produced for the European Commission DG Environment, Science Communication Unit, UWE Bristol: Bristol, UK.
- 97) Seddon, N., Smith, A., Smith, P., Key, I., Chausson, A., Girardin, C., House, J., Srivastava, S., Turner, B. 2021. Getting the message right on nature-based solutions to climate change. *Global Change Biology* 27, 1518–1546. <https://doi.org/10.1111/gcb.15513>
- 98) Singh, G., Kumar, R., Jinger, D., Dhakshanamoorthy, D. 2021. Ecological Engineering Measures for Ravine Slope Stabilization and Its Sustainable Productive Utilization, in: Ismet Kanlı, A. (Ed.), *Slope Engineering*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.94136>
- 99) Snep, R.P., Voeten, J.G., Mol, G., Van Hattum, T. 2020. Nature Based Solutions for Urban Resilience: A Distinction Between No-Tech, Low-Tech and High-Tech Solutions. *Front. Environ. Sci.* 8, 599060. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.599060>
- 100) Sowińska-Świerkosz, B., García, J. 2021. A new evaluation framework for nature-based solutions (NBS) projects based on the application of performance questions and indicators approach. *Science of The Total Environment* 787, 147615.

- <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147615>
- 101) Sowińska-Świerkosz, B., García, J. 2022. What are Nature-based solutions (NBS)? Setting core ideas for concept clarification. *Nature-Based Solutions* 2, 100009. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100009>
 - 102) Sowińska-Świerkosz, B., García, J., Wendling, L. 2024. Linkages between the concept of nature-based solutions and the notion of landscape. *Ambio* 53, 227–241. <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01935-z>
 - 103) Sowińska-Świerkosz, B., Michalik-Śnieżek, M., Bieske-Matejak, A. 2021a. Can Allotment Gardens (AGs) Be Considered an Example of Nature-Based Solutions (NBS) Based on the Use of Historical Green Infrastructure? *Sustainability* 13, 835. <https://doi.org/10.3390/su13020835>
 - 104) Sowińska-Świerkosz, B., Wójcik-Madej, J., Michalik-Śnieżek, M. 2021b. An Assessment of the Ecological Landscape Quality (ELQ) of Nature-Based Solutions (NBS) Based on Existing Elements of Green and Blue Infrastructure (GBI). *Sustainability* 13, 11674. <https://doi.org/10.3390/su132111674>
 - 105) Trzaskowska, E. (red.). 2014. Wąwozy i suche doliny Lublina. Potencjał i zagrożenia / red. nauk. Ewa Trzaskowska Lublin, Urząd Miasta Lublin.
 - 106) Uchwała nr 283/VIII/2019 Rady Miasta Lublin z dnia 1 lipca 2019 r. w sprawie uchwalenia Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Lublin
 - 107) Uchwała nr 322/IX/2019 Rady Miasta Lublin z dnia 5 września 2019 r. w sprawie przyjęcia „Planu Adaptacji do zmian klimatu Miasta Lublin do roku 2030”
 - 108) Uchwała nr 758/XXIII/2020 Rady Miasta Lublin z dnia 19 listopada 2020 r. w sprawie zmiany obszaru i granic aglomeracji Lublin
 - 109) Uchwała nr 922/XXIX/2021 Rady Miasta Lublin z dnia 27 maja 2021 r. w sprawie uchwalenia Programu ochrony środowiska miasta Lublin na lata 2021-2024 z perspektywą do roku 2028
 - 110) UNEP. 2020. The Fifth Edition of the UNEP Adaptation Gap Report Looks at Progress in Planning for, Financing and Implementing Adaptation—with a Focus on Nature-Based Solutions; United Nations Avenue: Gigiri, Kenya. <https://www.unep.org/resources/adaptation-gap-report-2020> (dostęp: 12.11.2025 r.)
 - 111) Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. [Dz. U. z 2025 r. poz. 960]
 - 112) Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane [Dz. U. z 2025 r. poz. 418]
 - 113) Van Der Jagt, A., Tozer, L., Toxopeus, H., Runhaar, H. 2023. Policy mixes

- for mainstreaming urban nature-based solutions: An analysis of six European countries and the European Union. *Environmental Science & Policy* 139, 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.10.011>
- 114) Van Rooij, S., Timmermans, W., Roosenschoon, O., Keesstra, S., Sterk, M., Pedroli, B. 2020. Landscape-Based Visions as Powerful Boundary Objects in Spatial Planning: Lessons from Three Dutch Projects. *Land* 10, 16. <https://doi.org/10.3390/land10010016>
 - 115) Vishwakarma, S., Dharmendra Dr. 2022. A Critical Review on Economical and Sustainable Solutions for Wastewater Treatment Using Constructed Wetland. *Civil and Environmental Engineering Reports* 32, 260–284. <https://doi.org/10.2478/ceer-2022-0040>
 - 116) Vojvodíková, B., Tichá, I., Starzewska-Sikorska, A., 2022. Implementing Nature-Based Solutions in Urban Spaces in the Context of the Sense of Danger That Citizens May Feel. *Land* 11, 1712. <https://doi.org/10.3390/land11101712>
 - 117) Wang, C., Jin, J., Davies, C., Chen, W.Y. 2024. Urban Forests as Nature-Based Solutions: a Comprehensive Overview of the National Forest City Action in China. *Curr. For. Rep.* 10, 119–132. <https://doi.org/10.1007/s40725-024-00213-9>
 - 118) Wild, T., Freitas, T., Vandewoestijne, S., Bulkeley, H., Naumann, S., Vojinovic, Z., Calfapietra, C., Whiteoak, K., Komisja Europejska (Red.). 2020. Nature-based solutions: state of the art in EU-funded projects. Publications Office, Luxembourg. <https://doi.org/10.2777/236007>
 - 119) Wójcik-Madej, J., García, J., Sowińska-Świerkosz, B., 2025. Multi-criteria evaluation method for the selection of nature-based solutions for urban challenges. *Journal of Environmental Management* 373, 123387. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123387>
 - 120) Wójcik-Madej, J., Sowińska-Świerkosz, B. 2022. Pre-Existing Interventions as NBS Candidates to Address Societal Challenges. *Sustainability* 14, 9609. <https://doi.org/10.3390/su14159609>
 - 121) Wójcik-Madej, J., Sowińska-Świerkosz, B., Pérez Luque, G., Michalik-Śnieżek, M. 2026a. Retrofitting existing buildings by the use of modular green roofs. *Building and Environment* 287, 113900. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113900>
 - 122) Wójcik-Madej, J., Sowińska-Świerkosz, B., Garcia, J., Michalik-Śnieżek, M. 2026b. Integrating Nature-Based Solutions in Cities: Strategic Approaches with

- a Focus on Green Gullies and Linear Parks. *Journal of Ecological Engineering* Vol. 27(4). <https://doi.org/10.12911/22998993/214908> (przyjęta do druku).
- 123) WWF. 2022. Common success factors for bankable nature-based solutions. WWF UK. <https://www.wwf.org.uk/sites/default/files/2022-08/Common-success-factors-for-bankable-NbS-report.pdf> (dostęp: 18.10.2025 r.)
 - 124) Xie in., 2022; Xie, L., Bulkeley, H., Tozer, L., 2022. Mainstreaming sustainable innovation: unlocking the potential of nature-based solutions for climate change and biodiversity. *Environmental Science & Policy* 132, 119–130. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.02.017>
 - 125) Young, A.F., Marengo, J.A., Martins Coelho, J.O., Scofield, G.B., De Oliveira Silva, C.C., Prieto, C.C. 2019. The role of nature-based solutions in disaster risk reduction: The decision maker's perspectives on urban resilience in São Paulo state. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 39, 101219. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101219>
 - 126) Zachariasz, A. 2012. Parki przyszłości – o różnych koncepcjach kształtowania terenów zieleni w miastach. *Czasopismo Techniczne R. 109, z. 1-A/2*, 455–462.
 - 127) Zaniboni, A., Balfors, B., Kalantari, Z., Page, J., Tassinari, P., Torreggiani, D. 2025. GIS-based multicriteria land suitability assessment for nature-based solutions for the enhancement of carbon sequestration in Emilia-Romagna, Italy. *Land Use Policy* 157, 107632. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2025.107632>
 - 128) Zarei, M., Shahab, S. 2025. Nature-Based Solutions in Urban Green Infrastructure: A Systematic Review of Success Factors and Implementation Challenges. *Land* 14, 818. <https://doi.org/10.3390/land14040818>

10. Załączniki

Załącznik 10.1. Wzór ankiety internetowej skierowanej do przedstawicieli władz lokalnych i mieszkańców dotyczącej preferencji wdrożenia rozwiązań opartych na naturze (NBS) na terenie Lublina [Wójcik-Madej i in. 2025]

ANKIETA

ROZWIĄZANIA OPARTE NA NATURZE: KORZYŚCI, PROBLEMY I POTRZEBY WDROŻENIOWE

Ankieta została przygotowana na potrzeby rozprawy doktorskiej pt. „Analiza potencjału miasta Lublin w aspekcie implementacji rozwiązań opartych na naturze (NBS)” realizowanej w Szkole Doktorskiej Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie.

Celem ankiety jest wybranie Rozwiązań opartych na naturze (NBS), które powinny zostać wdrożone w mieście Lublin zgodnie z preferencjami mieszkańców.

INSTRUKCJA

Kwestionariusz składa się z dwóch części. Część pierwsza koncentruje się na NBS, które zostały już wdrożone w Lublinie i preferencjach dotyczących ich dalszego wdrażania. Druga część koncentruje się na potencjalnych rozwiązaniach do wdrożenia w mieście i identyfikacji preferencji dotyczących ich wdrożenia. Ocena w skali od 1 do 5: 1 oznacza zdecydowanie nie zgadzam się, a 5 oznacza zdecydowanie zgadzam się. Jeśli nie jesteś pewien, zaznacz „Nie wiem/Nie dotyczy”.

METRYCZKA

STOPIEŃ ZNAJOMOŚCI ROZWIĄZAŃ OPARTYCH NA NATURZE (NBS)

☐ Po raz pierwszy dowiedziałem się o tego typu rozwiązaniach z tej ankiety
☐ Słyszałem(am) o „rozwiązaniach opartych na zasobach przyrody”, ale nie wiem, co to znaczy.
☐ Mam wiedzę na temat tego typu rozwiązań

WIEK ☐ <18 ☐ 18-25 ☐ 26-35 ☐ 36-45 ☐ 46-55 ☐ 56-65 ☐ >65 **PŁEĆ** ☐ Mężczyzna ☐ Kobieta ☐ Wolę nie odpowiadać

OKRES ZAMIESZKANIA W LUBLINIE ☐ Mniej niż 1 rok ☐ 1 - 5 lat ☐ 5 - 10 lat ☐ Ponad 10 lat

AKTUALNA DZIELNICA ZAMIESZKANIA W przypadku gdy Pan/Pani nie zna nazwy dzielnicy proszę wybrać opcję „Inne” i wpisać ulicę przy której Pan/Pani mieszka)

☐ Abramowice ☐ Bronowice ☐ Czechów Południowy ☐ Czechów Północny ☐ Czuby Południowe ☐ Czuby Północne
☐ Dziesiąta ☐ Felin ☐ Glusk ☐ Hajdów-Zadębie ☐ Kalinowszczyzna ☐ Konstantynów ☐ Kośminek ☐ Panikwoda
☐ Rury ☐ Siawin ☐ Siawinek ☐ Stare Miasto ☐ Szerokie ☐ Śródmieście ☐ Tatary ☐ Węglin Południowy ☐ Węglin Północny
☐ Wieniawa ☐ Wrotków ☐ Za Cukrownią ☐ Zemborzyce ☐ Inne: _____

CZĘŚĆ I: ROZWIĄZANIA OPARTE NA NATURZE (NBS) ISTNIEJĄCE W MIEŚCIE LUBLIN

Rozwiązanie: Rodzinne ogrody działkowe (ROD)



fot. Julia Wójcik-Madej



fot. Julia Wójcik-Madej



fot. Barbara Sowińska-Świerkosz

PYTANIE:	SKALA OCEN:					
	1 - zdecydowanie się nie zgadzam	2 - raczej się nie zgadzam	3 - ani się zgadzam, ani się nie zgadzam	4 - raczej się zgadzam	5 - zdecydowanie się zgadzam	Nie wiem/ nie dotyczy
Korzystam z Rodzinnych ogrodów działkowych (ROD)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Czy chciał(a)by Pan/Pani, aby w Lublinie powstało więcej rodzinnych ogrodów działkowych?	☐	☐	☐	☐	☐	☐

DZIELNICE PREFEROWANE DO ZAKŁADANIA RODZINNYCH OGRODÓW DZIAŁKOWYCH (ROD)
W przypadku gdy Pan/Pani nie zna nazwy dzielnicy proszę wybrać opcję „Inne” i wpisać nazwę ulicy

☐ Abramowice ☐ Bronowice ☐ Czechów Południowy ☐ Czechów Północny ☐ Czuby Południowe ☐ Czuby Północne
☐ Dziesiąta ☐ Felin ☐ Glusk ☐ Hajdów-Zadębie ☐ Kalinowszczyzna ☐ Konstantynów ☐ Kośminek ☐ Panikwoda
☐ Rury ☐ Siawin ☐ Siawinek ☐ Stare Miasto ☐ Szerokie ☐ Śródmieście ☐ Tatary ☐ Węglin Południowy ☐ Węglin Północny
☐ Wieniawa ☐ Wrotków ☐ Za Cukrownią ☐ Zemborzyce ☐ Inne: _____

SURVEY

NATURE-BASED SOLUTIONS: BENEFITS, PROBLEMS AND IMPLEMENTATION NEEDS

DO YOU HAVE ANY ADDITIONAL COMMENTS ON THE FUNCTIONING AND/OR IMPLEMENTATION OF ALLOTMENT GARDENS IN THE CITY OF LUBLIN?

PART II: POTENTIAL TO BE IMPLEMENTED NBS TYPES FOR THE LUBLIN CITY

Solution: Hybrid wastewater treatment plants

Hybrid wastewater treatment plants - use so-called hydrophytes in their technology, i.e. special plant species that, during their growth, utilise nutrients contained in wastewater, such as nitrogen and phosphorus by assimilating them in their root zone or sorbing them on their surface.



fot. Krzysztof Józwiakowski (Józwiakowski 2012)



fot. Krzysztof Józwiakowski (Józwiakowski 2012)

QUESTIONS:

RATING SCALE:

1 - strongly disagree 2 - rather disagree 3 - neither agree nor disagree 4 - rather agree 5 - strongly agree Do not know/not applicable

I would like hybrid wastewater treatment plants to be implemented in the Lublin city

DISTRICT(S) PREFERRED FOR THE ESTABLISHMENT OF HYBRID WASTEWATER TREATMENT PLANTS

(You may also indicate the exact location when selecting "Other")

- ☐ Abramowice ☐ Bronowice ☐ Czechów Południowy ☐ Czechów Północny ☐ Czuby Południowe ☐ Czuby Północne
☐ Dziesiąta ☐ Felin ☐ Głusk ☐ Hajdów-Zadębie ☐ Kalinowszczyzna ☐ Konstantynów ☐ Kośminek ☐ Ponikwoda
☐ Rury ☐ Sławin ☐ Sławinek ☐ Stare Miasto ☐ Szerokie ☐ Śródmieście ☐ Tatarski ☐ Węglin Południowy ☐ Węglin Północny
☐ Wieniawa ☐ Wroclaw ☐ Za Cukrownią ☐ Zemborzyce ☐ Other: _____

DO YOU HAVE ANY ADDITIONAL COMMENTS ON THE IMPLEMENTATION OF HYBRID WASTEWATER TREATMENT PLANTS IN THE LUBLIN CITY?

Załącznik 10.2. Wzór ankiety internetowej skierowanej do ekspertów zajmujących się NBS i lokalnej społeczności dotyczącej istotności czynników lokalizacyjnych wybranych typów NBS (Materiał niepublikowany)

ANKIETA

OCENA ROZWIĄZAŃ OPARTYCH NA NATURZE W KONTEKŚCIE ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU BŁĘKITNO-ZIELONEJ INFRASTRUKTURY MIEJSKIEJ

INSTRUKCJA

Dziękujemy za udział w ankiecie dotyczącej rozwiązań opartych na naturze (NBS), ukierunkowanych na zrównoważone zarządzanie błękitno-zieloną infrastrukturą miejską. Ankieta stanowi część rozprawy doktorskiej mgr inż. Julii Wójcik-Madał, realizowanej na Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie, pod kierunkiem prof. Barbary Sowińskiej-Świerkosz (UP w Lublinie) oraz prof. Joana Garcii (UPC w Barcelonie).

Celem ankiety jest ocena skuteczności wybranych rozwiązań na rzecz zrównoważonego zarządzania błękitno-zieloną infrastrukturą miejską oraz określenie kluczowych kryteriów ich wdrażania.

Ankieta składa się z pięciu części, a jej wypełnienie zajmie około 10 minut.

Udział w ankiecie jest całkowicie anonimowy.

CZĘŚĆ 1: DANE RESPONDENTA

1. Proszę, aby Pan/Pani wskazał(a) swój zakres działalności zawodowej

- ☐ Działalność badawcza
- ☐ Ochrona środowiska
- ☐ Inżynieria i technologia wodna
- ☐ Administracja publiczna
- ☐ Edukacja
- ☐ Organizacja pozarządowa
- ☐ Przedstawiciel społeczności lokalnej
- ☐ Inny (jaki?): _____

2. Proszę, aby Pan/Pani wskazał(a) swój stopień znajomości rozwiązań opartych na naturze (NBS)

- ☐ Bardzo dobry
- ☐ Dobry
- ☐ Podstawowy
- ☐ Brak wiedzy

3. Proszę, aby Pan/Pani wskazał(a) doświadczenie zawodowe związane z rozwiązaniami opartymi na naturze (NBS)

- ☐ Brak doświadczenia
- ☐ Do 3 lat
- ☐ Pomiedzy 3 a 10 lat
- ☐ Powyżej 10 lat

4. W jakich krajach / miastach zdobył(a) Pan/Pani wiedzę i doświadczenie dotyczące rozwiązań opartych na naturze (NBS)?

CZĘŚĆ 2: OCENA ROZWIĄZAŃ OPARTYCH NA NATURZE (NBS)

1. Proszę, aby Pan/Pani ocenił(a) skuteczność preekologicznego zagospodarowania suchych dolin w kontekście zrównoważonego zarządzania błękitno-zieloną infrastrukturą miejską

Proszę ocenić na skali od 1 do 5, gdzie: 1 = najniższe znaczenie, a 5 = najwyższe znaczenie



Preekologiczne zagospodarowanie suchych dolin ma na celu zrównoważone zarządzanie tymi obszarami poprzez łączenie ochrony środowiska naturalnego z potrzebami mieszkańców miast w zakresie dostępu do wysokiej jakości terenów zielonych. Elementy ekologicznego zagospodarowania obejmują ścieżki piesze, mosty, punkty widokowe, obiekty edukacyjne, dodatkowe zalesienia i obsiewy trawą oraz, w przypadku obszarów szczególnie podatnych na erozję, obiekty hydrotechniczne.

Preekologiczne zagospodarowanie suchych dolin w Toronto, Kanada
Źródło: <https://www.toronto.ca/data/parks/pdf/property-owners-guide-to-healthy-ravines.pdf>

KRYTERIUM	SKALA OCEN				
	1	2	3	4	5
1. Redukcja zanieczyszczeń	☐	☐	☐	☐	☐
2. Koszty wdrożenia i utrzymania	☐	☐	☐	☐	☐
3. Wymagana przestrzeń	☐	☐	☐	☐	☐
4. Możliwość integracji z szarą infrastrukturą	☐	☐	☐	☐	☐
5. Przynoszone korzyści środowiskowych	☐	☐	☐	☐	☐
6. Przynoszone korzyści społeczne	☐	☐	☐	☐	☐

ANKIETA

OCENA ROZWIĄZAŃ OPARTYCH NA NATURZE W KONTEKŚCIE ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU BŁĘKITNO-ZIELONEJ INFRASTRUKTURY MIEJSKIEJ

CZĘŚĆ 2: OCENA ROZWIĄZAŃ OPARTYCH NA NATURZE (NBS)

2. Proszę, aby Pan/Pani ocenił(a) skuteczność **parków linearnych** w kontekście zrównoważonego zarządzania błękitno-zieloną infrastrukturą miejską

Proszę ocenić na skali od 1 do 5, gdzie: 1 = najniższe znaczenie, a 5 = najwyższe znaczenie



Park linearny Ricardo Lara, Kalifornia, USA

Źródło: <https://www.landscapeperformance.org/case-study-briels/ricardo-lara-linear-park>

Park linearny to miejski park o charakterystycznym wydłużonym kształcie, zazwyczaj usytuowany wzdłuż nabrzeża, rzeki, drogi lub linii kolejowej. Takie parki łączą infrastrukturę zieloną i niebieską, tworząc ekologiczne korytarze, które łączą nieużywane tereny i przekształcają je w wielofunkcyjne przestrzenie miejskie, dostępne i przyjazne dla mieszkańców.

KRYTERIUM	SKALA OCEN				
	1	2	3	4	5
1. Redukcja zanieczyszczeń	☐	☐	☐	☐	☐
2. Koszty wdrożenia i utrzymania	☐	☐	☐	☐	☐
3. Wymagana przestrzeń	☐	☐	☐	☐	☐
4. Możliwość integracji z szarą infrastrukturą	☐	☐	☐	☐	☐
5. Przynoszone korzyści środowiskowych	☐	☐	☐	☐	☐
6. Przynoszone korzyści społeczne	☐	☐	☐	☐	☐

3. Proszę, aby Pan/Pani ocenił(a) skuteczność **zielonych dachów o lekkiej modułowej konstrukcji** w kontekście zrównoważonego zarządzania błękitno-zieloną infrastrukturą miejską

Proszę ocenić na skali od 1 do 5, gdzie: 1 = najniższe znaczenie, a 5 = najwyższe znaczenie



Zielony dach modułowy na przedszkolu Bałuty w Warszawie

Źródło: <https://zielone-budownictwa.pl/systemy/zielone-dachy-ekstensywne/modulowe-zielone-dachy/>

Zielony dach o lekkiej konstrukcji modułowej to niezwykle lekki (50 kg/m²) i praktyczny dach, odporny na działanie wiatru, przeznaczony wyłącznie do dachów o tradycyjnej konstrukcji (maksymalne nachylenie 5%). Na tego typu dachach wprowadzoną roślinnością są mchy i rozchodniki ze względu na 5-cio centymetrową warstwę podłoża wegetacyjnego

KRYTERIUM	SKALA OCEN				
	1	2	3	4	5
1. Redukcja zanieczyszczeń	☐	☐	☐	☐	☐
2. Koszty wdrożenia i utrzymania	☐	☐	☐	☐	☐
3. Wymagana przestrzeń	☐	☐	☐	☐	☐
4. Możliwość integracji z szarą infrastrukturą	☐	☐	☐	☐	☐
5. Przynoszone korzyści środowiskowych	☐	☐	☐	☐	☐
6. Przynoszone korzyści społeczne	☐	☐	☐	☐	☐

ANKIETA

OCENA ROZWIĄZAŃ OPARTYCH NA NATURZE W KONTEKŚCIE ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU BŁĘKITNO-ZIELONEJ INFRASTRUKTURY MIEJSKIEJ

CZĘŚĆ 2: OCENA ROZWIĄZAŃ OPARTYCH NA NATURZE (NBS)

4. Proszę, aby Pan/Pani ocenił(a) skuteczność **hydrofitowych oczyszczalni ścieków** w kontekście **zrównoważonego zarządzania błękitno-zieloną infrastrukturą miejską**.

Proszę ocenić na skali od 1 do 5, gdzie: 1 = najniższe znaczenie, a 5 = najwyższe znaczenie



Park Can Cabanyes (Órzanollers, Hiszpania)

Zdjęcie: Julia Wójcik-Madej, 2024.

Hydrofitowe oczyszczalnie ścieków to inżynieryjne systemy ekologiczne wykorzystujące naturalne procesy makrofauny, w tym mechanizmy biologiczne, chemiczne i fizyczne, do usuwania zanieczyszczeń z miejskich ścieków, wód opadowych oraz ścieków przemysłowych. Systemy te zazwyczaj składają się z płytkiego basenu wypełnionego porowatym podłożem (np. żwirem lub piaskiem), roślinnością wodną oraz biofilmami mikroorganizmów, które wspierają cykle biogeochemiczne, sedymentację, filtrację oraz biodegradację zanieczyszczeń. Zastosowania obejmują oczyszczanie ścieków miejskich i przemysłowych, zarządzanie spływem rolniczym oraz rekultywację środowiskową.

KRYTERIUM

1. Redukcja zanieczyszczeń
2. Koszty wdrożenia i utrzymania
3. Wymagana przestrzeń
4. Możliwość integracji z szarą infrastrukturą
5. Przyniesione korzyści środowiskowych
6. Przyniesione korzyści społeczne

SKALA OCEN

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐

CZĘŚĆ 3: PREFERENCJE DOTYCZĄCE LOKALIZACJI ROZWIĄZAŃ

Jakie **ogólne czynniki**, według Pana / Pani, powinny decydować o wyborze lokalizacji rozwiązań opartych na naturze (NBS) ukierunkowanych na **zrównoważone zarządzanie błękitno-zieloną infrastrukturą miejską**?

(Można wybrać więcej niż jedną odpowiedź)

- ☐ Poprawa lokalnego mikroklimatu (np. efekt miejskiej wyspy ciepła, zacienienie)
- ☐ Obszary narażone na różne klęski żywiołowe, np. susze, powódzie
- ☐ Dostępność przestrzeni do zagospodarowania
- ☐ Kształtowanie krajobrazu (poprawa walorów estetycznych)
- ☐ Lokalizacja na terenie należącym do miasta (teren publiczny)
- ☐ Potrzeby społeczne
- ☐ Poprawa dostępu do terenów zielonych
- ☐ Łatwość dostępu (np. pieszo, komunikacją publiczną, rowerem)
- ☐ Obecność istniejącej infrastruktury wspierającej (np. drogi, energia elektryczna, kanalizacja)
- ☐ Kwestie techniczne
- ☐ Lokalna polityka przestrzenna
- ☐ Ochrona prawna gruntów i budynków
- ☐ Inne (jakie?): _____

Dziękujemy za udział w ankiecie! Państwa odpowiedzi przyczynią się do udoskonalenia procesu wyboru rozwiązań opartych na naturze (NBS) w zakresie zrównoważonego zarządzania błękitno-zieloną infrastrukturą oraz ponownego wykorzystania wody w mieście. W przypadku pytań lub chęci otrzymania wyników ankiety, prosimy o kontakt z julia.madej@up.lublin.pl

Załącznik 10.3. Charakterystyka NBS istniejących na terenie miasta Lublin, stan na I kwartał 2022 roku zgodnie z publikacją [Zmodyfikowane na podstawie Wójcik-Madej i Sowińska-Świerkosz 2022]

Interwencja	Liczba obszarów / punktów interwencji	Powierzchnia całkowita (ha)	Średnia / Maksymalna / Minimalna powierzchnia (ha)	Odchylenie standardowe powierzchni SD	Mediana powierzchni	Odsetek interwencji w odniesieniu do obszaru Lublina
Typ 1: Minimalna ingerencja w ekosystem: działania ochronne i monitoringowe						
Ustanowienie obszarów chronionych	1	25,06	25,06	-	-	0,17
Strefy ochronne wokół stacji poboru wody	39	229,34	5,88 38,40 1,31	6,92	3,96	1,56
Ochrona powierzchniowych terenów podmokłych	107	53,72	0,50 0,50 0,0005	1,4	0,08	0,36
Zapewnienie ciągłości sieci ekologicznej: ESOCh w mieście Lublin	63	3640,89	57,79 579,21 0,06	113,49	5,58	24,69
Utrzymanie terenów rolnych: plantacji i sadów	407	2775,92	6,82 472,42 0,0002	35,02	0,40	18,83
Suma dla Typu 1 (interwencje powierzchniowe)	211	6 724,92		-		45,61
Typ 2: Zrównoważone zarządzanie i naturalne wzbogacenie istniejących elementów miejskiej zielonej i niebieskiej infrastruktury						
Parki miejskie	13	108,34	8,33 23,63 1,24	6,19	5,75	0,73
Ogród botaniczny	1	12,88	12,88	-	-	0,09
Rodzinne ogródki działkowe, ROD	70	416,24	5,86 55,57 0,09	8,08	5,86	2,85
Łąki kwietne	3	0,30	0,10 0,14 0,04	0,04	0,12	0,002
Place zabaw z nawierzchnią przepuszczalną	413	27,23	0,07 1,71 0,006	0,10	0,04	0,18
Boiska sportowe z nawierzchnią przepuszczalną	130	37,39	0,29 3,32 0,10	0,42	0,12	0,25
Rozwój proekologicznych placów	6	0,59	0,10 0,48 0,006	0,17	0,02	0,004
Las miejski	8	1756,28	219,54 1169,11 0,0046	385,89	219,54	11,91
Zieleń izolacyjna wzdłuż dróg	168	121,38	0,72 6,99 0,002	1,07	0,36	0,82
Płaty drzew o funkcji ochronnej i/lub rekreacyjnej	229	151,76	0,66 5,64 0,05	8782,92	3560,67	1,03
Suma dla Typu 2 (interwencje powierzchniowe)	1085	2626,72		-		17,83
Skrzynki lęgowe dla rodzimych gatunków nietoperzy	104	-	-	-	-	-

Hotele dla owadów*	18	-	-	-	-	-
Pasieki miejskie*	4	-	-	-	-	-
Suma dla Typu 2 (interwencje punktowe)	126			-		
Typ 3: Tworzenie nowych ekosystemów						
Zielone dachy	3	-	-	-	-	-
Zielone ściany*	4	-	-	-	-	-
Zielone przystanki autobusowe	2	-	-	-	-	-
Suma dla Typu 3 (interwencje punktowe)	9			-		
Typ 4: Wdrożenie naturalnych lub półnaturalnych systemów magazynowania i transportu wody						
Wody miejskie	9	332.66	36.96 294.99 0.19	91.44	0.76	2.26
Zachowanie terenów zalewowych	45	1057.96	23.51 177.20 0.01	31.35	15.64	7.18
Suma dla Typu 4 (interwencje powierzchniowe)	86	1390.63		-		9.44
Systemy zbierania wody deszczowej	32	-	-	-	-	-
Suma dla Typu 4 (interwencje punktowe)	32			-		
Łączny % powierzchni Lublina (z uwzględnieniem nakładających się interwencji)						
			72.8%			
Łączny % powierzchni Lublina (bez uwzględniania nakładających się interwencji)						
			44.67%			

* baza danych nie jest kompletna, gdyż brakuje rejestru na poziomie miasta

Załącznik 10.4. Szczegółowe wyniki oceny efektywności w odniesieniu do społecznych, politycznych, ekonomicznych, przestrzennych i długoterminowych efektów analizowanych typów NBS [Wójcik-Made i in., 2025]

Typ NBS	Stopień skuteczności					Całkowita efektywność
	Społeczny (S1, S2, S3)	Polityczny (P1, P2, P3)	Ekonomiczny (E2, E2, E3)	Przestrzenny (SP1, SP2, SP3)	Długoterminowy (T1, T2, T3)	
1. Ustanowienie obszarów chronionych	Niska	Całkowita	Średnia	Niska	Wysoka	Efektywny
	N/D	Całkowita	Średnia	Niska	Wysoka	
	N/D	Częściowa	N/D	Wysoka	Wysoka	
2. Strefy ochronne wokół stacji poboru wody	N/D	Całkowita	Wysoka	Niska	Średnia	Efektywny
		Całkowita	Wysoka	Średnia	Średnia	
		Częściowa	Średnia	Średnia	Średnia	
3. Kontrolowanie ekspansji miasta poprzez zapisy w Miejsowych Planach	N/D	Całkowita	Średnia	Średnia	Wysoka	Efektywny
		Całkowita	Średnia	Wysoka	Średnia	
		Częściowa	N/D	Wysoka	Średnia	
4. Zapewnienie ciągłości sieci ekologicznej: ESOCh w mieście Lublin	N/D	Całkowita	Średnia	Wysoka	Wysoka	Efektywny
		Całkowita	Średnia	Wysoka	Wysoka	
		Częściowa	N/D	Wysoka	Wysoka	
5. Parki miejskie	Wysoka	Całkowita	Niska	Niska	Wysoka	Efektywny
	Wysoka	Całkowita	Niska	Średnia	Wysoka	
	Wysoka	Całkowita	Średnia	Wysoka	Średnia	
6. Rodzinne ogródki działkowe (ROD)	Niska	Całkowita	Średnia	Średnia	Wysoka	Efektywny
	Bardzo niska	Całkowita	Wysoka	Wysoka	Średnia	
	Bardzo niska	Częściowa	Niska	Wysoka	Średnia	
7. Łąki kwietne	N/D	Całkowita	Wysoka	Niska	Wysoka	Efektywny
		Całkowita	Wysoka	Niska	Średnia	
		Całkowita	Niska	Wysoka	Wysoka	
8. Place zabaw z nawierzchnią przepuszczalną	Wysoka	Całkowita	Średnia	Średnia	Średnia	Efektywny
	Wysoka	Całkowita	Średnia	Wysoka	Średnia	
	Wysoka	Częściowa	Niska	Niska	Niska	
9. Boiska sportowe z nawierzchnią przepuszczalną	Średnia	Całkowita	Średnia	Średnia	Średnia	Efektywny
	Wysoka	Całkowita	Średnia	Wysoka	Wysoka	
	Średnia	Częściowa	Niska	Niska	Niska	
10. Rozwój proekologicznych placów	Wysoka	Całkowita	Średnia	Niska	Średnia	Efektywny
	Niska	Całkowita	Średnia	Niska	Średnia	
	Niska	Całkowita	Średnia	Średnia	Niska	
11. Las miejski	Niska	Całkowita	Wysoka	Średnia	Wysoka	Efektywny
	N/D	Całkowita	Wysoka	Bardzo niska	Wysoka	
		Częściowa	N/A	Wysoka	Wysoka	
12. Zieleń izolacyjna wzdłuż dróg	N/D	Całkowita	Średnia	Niska	Wysoka	Efektywny
		Całkowita	Wysoka	Średnia	Średnia	
		Całkowita	N/A	Średnia	Średnia	
13. Płaty drzew o funkcji ochronnej i/lub rekreacyjnej	N/D	Całkowita	Średnia	Niska	Wysoka	Efektywny
		Całkowita	Wysoka	Średnia	Średnia	
		Całkowita	N/A	Średnia	Średnia	

14.	Skrzynki lęgowe dla rodzimych gatunków nietoperzy	N/D		Całkowita	Wysoka	Średnia	N/D	Efektywny
				Całkowita	Wysoka	Niska	Niska	
				Całkowita	N/A	Średnia	N/D	
15.	Hotele dla owadów	N/D		Całkowita	Wysoka	Średnia	N/D	Efektywny
				Całkowita	Wysoka	Średnia	Niska	
				Całkowita	N/A	Średnia	N/D	
16.	Pasieki miejskie	N/D		Całkowita	Wysoka	Niska		Efektywny
				Całkowita	Wysoka	Średnia	N/D	
				Częściowa	N/A	Wysoka		
17.	Zielone dachy i ściany	Wysoka		Całkowita	Niska	Niska	Niska	Efektywny
		Niska		Całkowita	Średnia	Niska	Średnia	
		Niska		Częściowa	Średnia	Średnia	Średnia	
18.	Zielone przystanki autobusowe	N/D		Całkowita	Średnia	Niska	Wysoka	Efektywny
				Całkowita	Średnia	Niska	Średnia	
				Częściowa	Średnia	Niska	Niska	
19.	Wody miejskie	N/D		Całkowita	Średnia	Niska	Wysoka	Bardzo efektywny
				Całkowita	Średnia	Średnia	Średnia	
				Częściowa	N/D	Wysoka	Wysoka	
20.	Zachowanie terenów zalewowych	Średnia		Całkowita	Średnia	Niska	N/D	Efektywny
		Niska		Całkowita	Średnia	Średnia	Średnia	
		Niska		Częściowa	N/D	Wysoka	Wysoka	
21.	Systemy zbierania wody deszczowej	N/D		Całkowita	Średnia	Niska		Efektywny
				Całkowita	Wysoka	Bardzo niska	N/D	
				Częściowa	N/D	Bardzo niska	Wysoka	

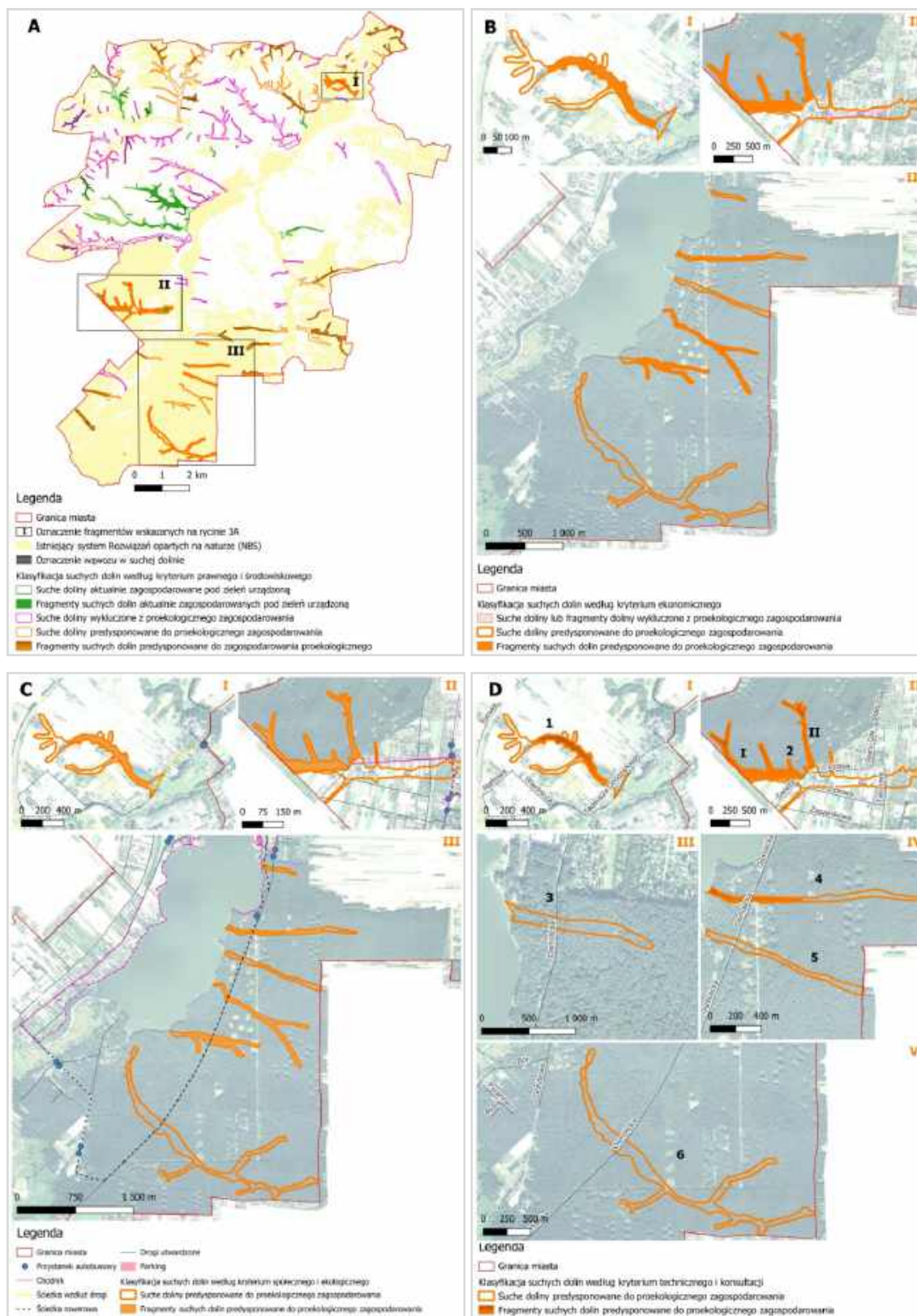
N/D = nie dotyczy

Załącznik 10.5. Proces wyboru typów NBS najlepiej dopasowanych do lokalnych uwarunkowań Lublina [Wójcik-Madej i in., 2025]

ISTNIEJĄCE TYPY NBS						
Typ NBS	A. Zgodność ze standardami IUCN	B. Całkowita efektywność	C. Ukierunkowanie na wyzwania	D. Preferencje władz lokalnych	E. Preferencje społeczności lokalnej	F. Zapisy dokumentów planistycznych
Parki miejskie	SILNA	EFEKTYWNY	SILNE	SILNE	SILNE	TAK
Rodzinne ogrody działkowe (ROD)	SILNA	EFEKTYWNY	SILNE	SILNE	SŁABE	—
Łąki kwietne	SILNA	EFEKTYWNY	ŚREDNIE	SILNE	SILNE	TAK
Boiska sportowe z nawierzchnią przepuszczalną	SILNA	EFEKTYWNY	ŚREDNIE	SILNE	SILNE	TAK
Rozwój proekologicznych placów	SILNA	EFEKTYWNY	ŚREDNIE	SILNE	SILNE	TAK
Las miejski	SILNA	EFEKTYWNY	ŚREDNIE	SILNE	SILNE	TAK
Zieleń izolacyjna wzdłuż dróg	SILNA	EFEKTYWNY	ŚREDNIE	SILNE	SILNE	TAK
Platy drzew o funkcji ochronnej i/lub rekreacyjnej	SILNA	EFEKTYWNY	SILNE	SILNE	SILNE	TAK
Wody miejskie	SILNA	BARDZO EFEKTYWNY	SILNE	SILNE	SILNE	TAK
Zachowanie terenów zalewowych	SILNA	EFEKTYWNY	SILNE	SILNE	SILNE	TAK
Ustanowienie obszarów chronionych	ŚREDNIE	EFEKTYWNY	ŚREDNIE	ŚREDNIE	ŚREDNIE	TAK
Strefy ochronne wokół stacji poboru wody	ŚREDNIE	EFEKTYWNY	SILNE	ŚREDNIE	SILNE	TAK
Kontrolowanie ekspansji miasta poprzez zapisy w Miejscowych Planach	ŚREDNIE	EFEKTYWNY	SILNE	ŚREDNIE	SILNE	TAK
Zapewnienie ciągłości sieci ekologicznej: ESOCH w mieście Lublin	ŚREDNIE	BARDZO EFEKTYWNY	SILNE	ŚREDNIE	SILNE	TAK
Place zabaw z nawierzchnią przepuszczalną	ŚREDNIE	EFEKTYWNY	SILNE	ŚREDNIE	SILNE	TAK
Zielone dachy i ściany	ŚREDNIA	EFEKTYWNY	ŚREDNIE	ŚREDNIE	SILNE	TAK
Zielone przystanki autobusowe	ŚREDNIA	EFEKTYWNY	ŚREDNIE	ŚREDNIE	SILNE	TAK

Skrzynki lęgowe dla rodzimych gatunków nietoperzy	SILNA	EFEKTYWNY	CZĘŚCIOWE	—	—	—
Hotele owadów	ŚREDNIA	EFEKTYWNY	CZĘŚCIOWE	—	—	—
Pasieki miejskie	ŚREDNIA	EFEKTYWNY	CZĘŚCIOWE	—	—	—
Systemy zbierania wody deszczowej	ŚREDNIA	EFEKTYWNY	CZĘŚCIOWE	—	—	—
Utrzymanie terenów rolnych: plantacji i sadów	CZĘŚCIOWA	—	—	—	—	—
POTENCJALNE DO WDROŻENIA NA TERENIE MIASTA TYPY NBS						
Ogrody deszczowe	NIE DOTYCZY	NIE DOTYCZY	SILNE	SILNE	SILNE	TAK
Proekologiczne zagospodarowanie suchych dolin	NIE DOTYCZY	NIE DOTYCZY	ŚREDNIE	SILNE	SILNE	TAK
Tymczasowe zielone instalacje	NIE DOTYCZY	NIE DOTYCZY	CZĘŚCIOWE	—	—	—
Zbiorniki retencyjne	NIE DOTYCZY	NIE DOTYCZY	ŚREDNIE	SILNE	SILNE	TAK
Baseny i rowy biofiltracyjne	NIE DOTYCZY	NIE DOTYCZY	ŚREDNIE	SILNE	SILNE	NIE
Rowy infiltracyjne	NIE DOTYCZY	NIE DOTYCZY	ŚREDNIE	SILNE	SILNE	NIE
Hydrofitowe oczyszczalnie ścieków	NIE DOTYCZY	NIE DOTYCZY	ŚREDNIE	ŚREDNIE	ŚREDNIE	TAK
Naturalne stawy kąpielowe	NIE DOTYCZY	NIE DOTYCZY	ŚREDNIE	SŁABE	SILNE	—

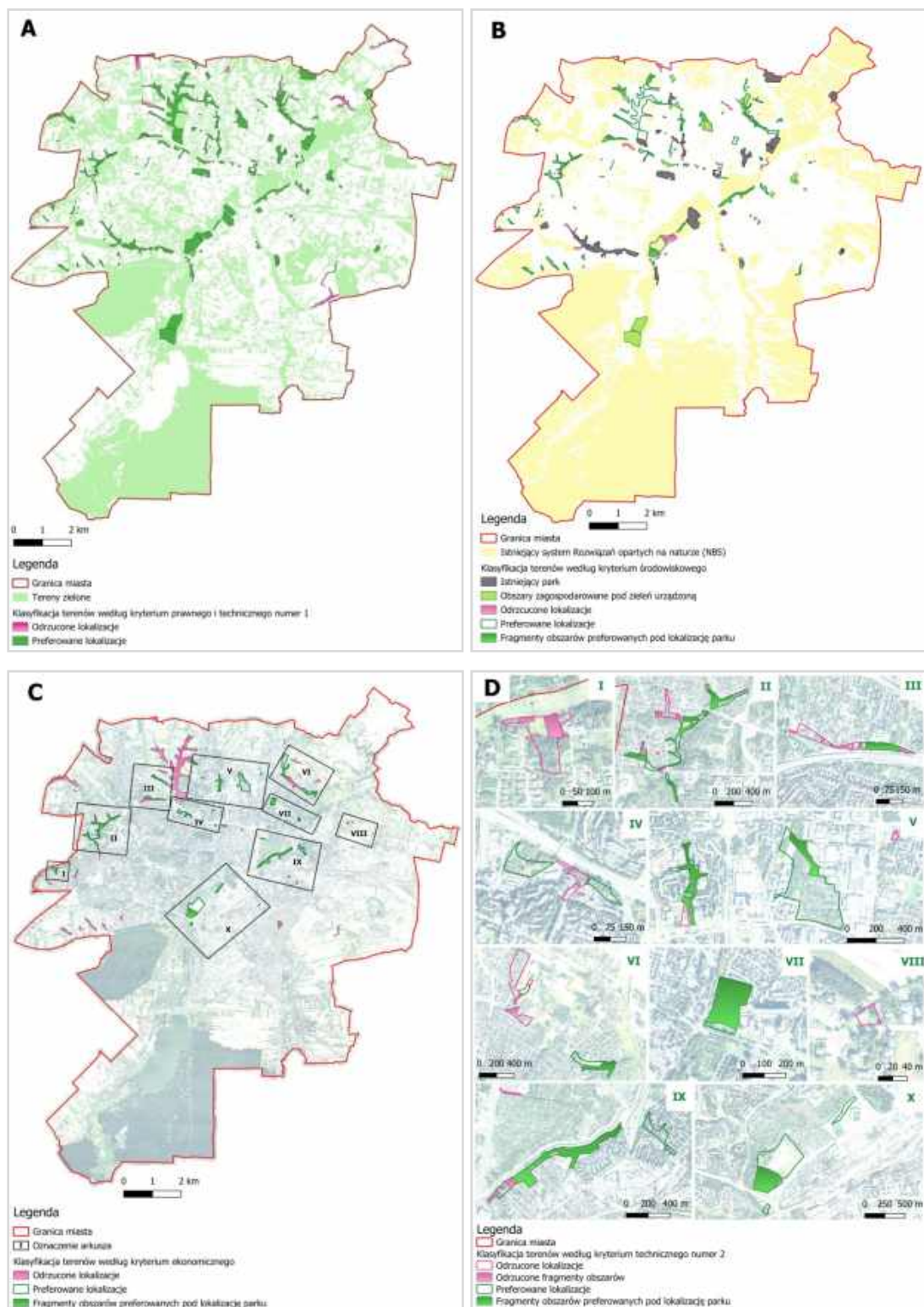
Załącznik 10.6. Proces wyboru najlepszych lokalizacji dla rozwiązania proekologiczne zagospodarowanie suchych dolin (Materiał niepublikowany)



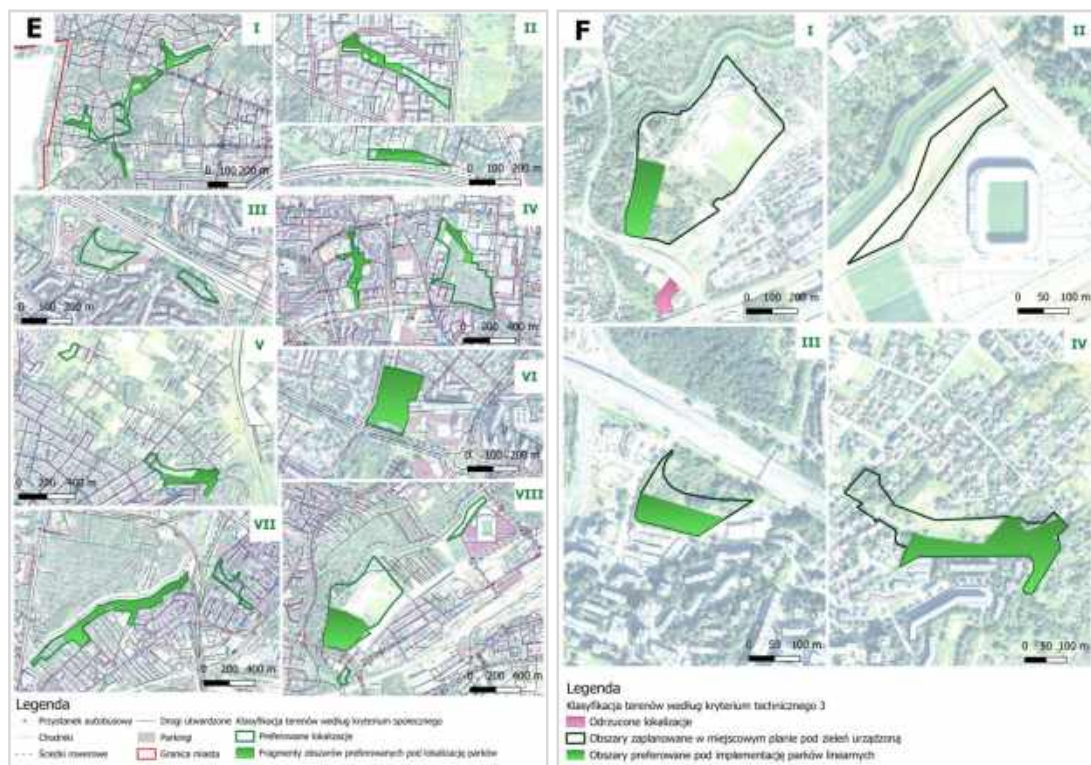


A. Klasyfikacja suchych dolin według kryterium prawnego i środowiskowego. **B.** Klasyfikacja suchych dolin według kryterium ekonomicznego. **C.** Klasyfikacja suchych dolin według kryterium społecznego i ekologicznego. **D.** Klasyfikacja suchych dolin według kryterium technicznego i eksperckiego. **E.** Aktualny stan najkorzystniejszych lokalizacji wskazanych do implementacji rozwiązania proekologiczne zagospodarowanie suchych dolin.

Załącznik 10.7. Proces wyboru najlepszych lokalizacji dla rozwiązania **parki linearne**
(Materiał niepublikowany)

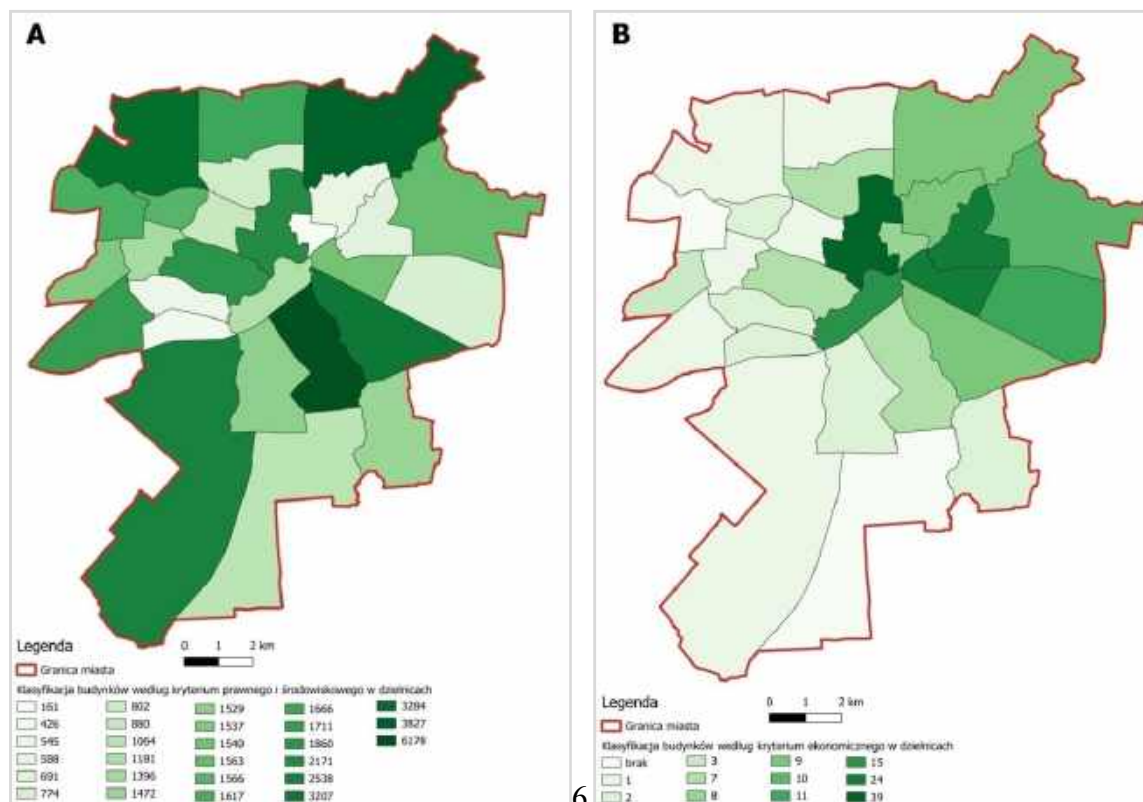


A. Klasyfikacja obszarów według kryterium prawnego i technicznego numer 1. **B.** Klasyfikacja obszarów według kryterium środowiskowego. **C.** Klasyfikacja obszarów według kryterium ekonomicznego. **D.** Klasyfikacja obszarów według kryterium technicznego numer 2.



E. Klasyfikacja obszarów według kryterium społecznego. **F.** Klasyfikacja obszarów według kryterium technicznego numer 3. **G.** Klasyfikacja obszarów według kryterium ekologicznego i eksperckiego. **H.** Aktualny stan zagospodarowania najkorzystniejszych obszarów wskazanych do lokalizacji parków linearnych

Załącznik 10.8. Proces wyboru najlepszych lokalizacji dla rozwiązania **zielone dachy o lekkiej modułowej konstrukcji** (Materiał niepublikowany)

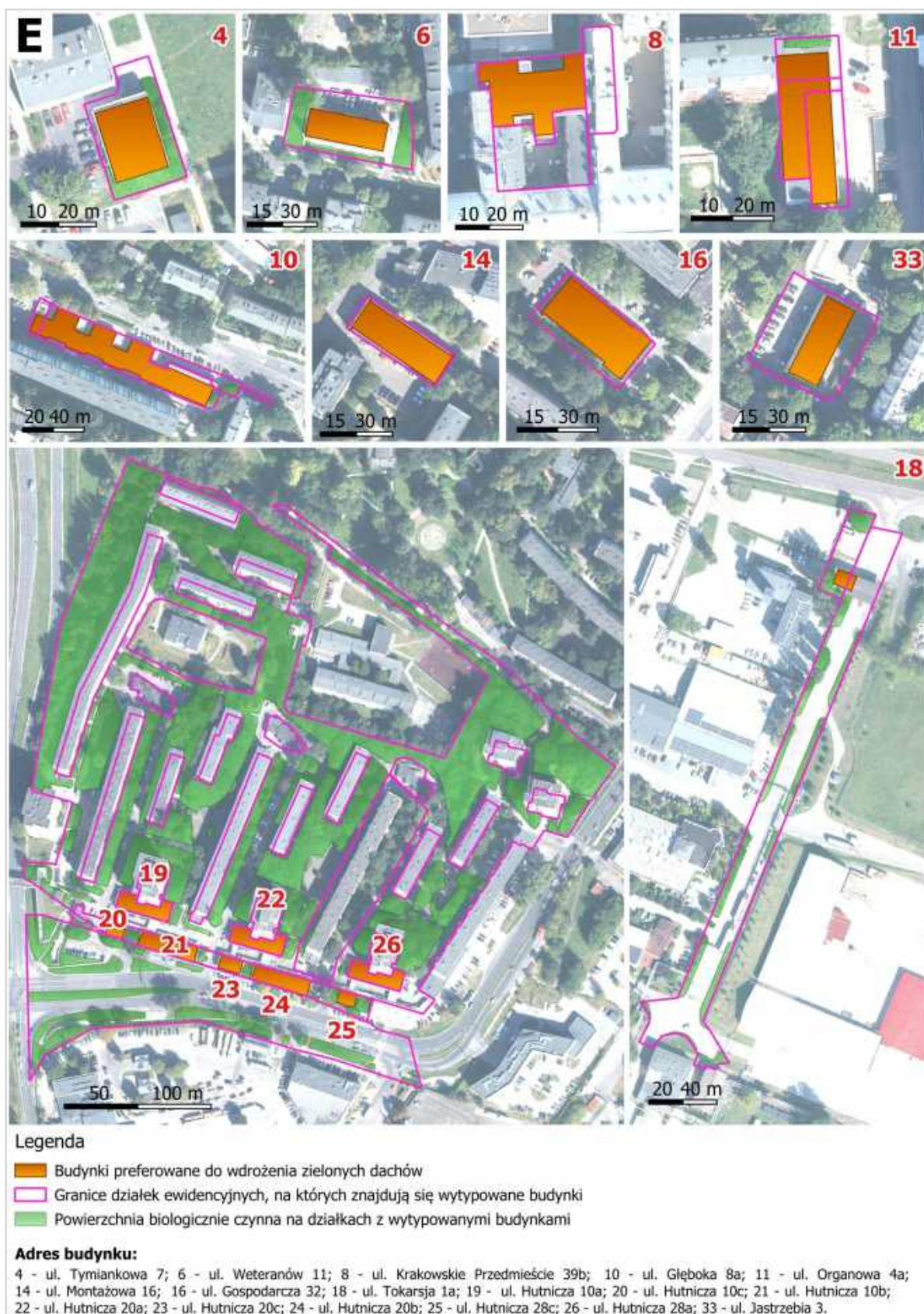


6

A. Klasyfikacja budynków według kryterium prawnego i środowiskowego w poszczególnych dzielnicach miasta Lublin. **B.** Klasyfikacja budynków według kryterium ekonomicznego w poszczególnych dzielnicach miasta Lublin.



D. Klasyfikacja budynków według kryterium społecznego.

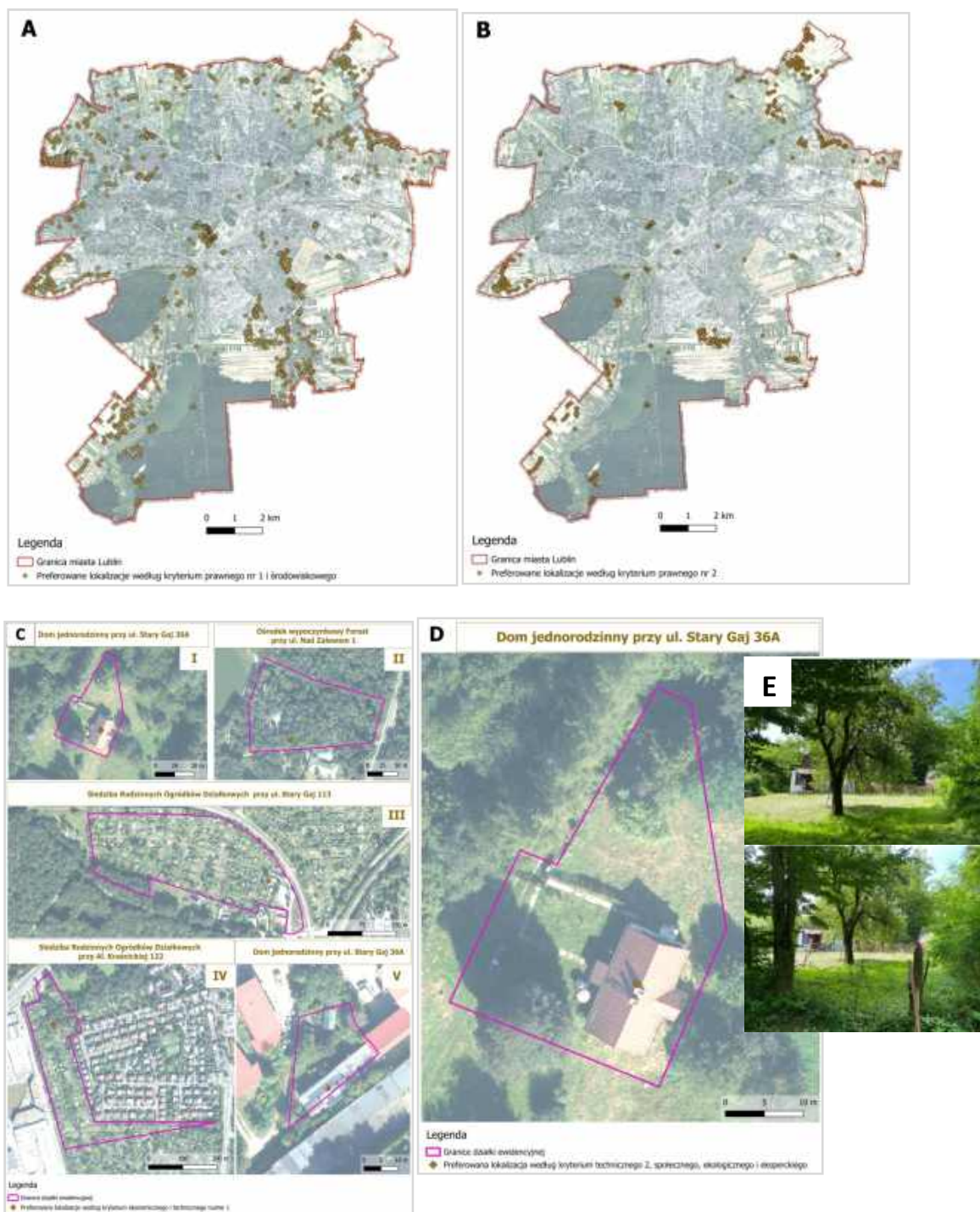


E. Klasyfikacja budynków według kryterium ekologicznego.



F. Klasyfikacja budynków według kryterium technicznego nr 2 i konsultacji eksperckich. **G.** Aktualny stan budynków wskazanych do lokalizacji zielonych dachów modułowych

Załącznik 10.9. Proces wyboru najlepszych lokalizacji dla rozwiązania **przydomowe hydrofitowe oczyszczalnie ścieków**(Materiał niepublikowany)



A. Klasyfikacja obszarów według kryterium prawnego numer 1 i środowiskowego. **B.** Klasyfikacja obszarów według kryterium prawnego numer 2. **C.** Klasyfikacja obszarów według kryterium ekonomicznego i technicznego numer 1. **D.** Klasyfikacja obszarów według kryterium technicznego numer 2, społecznego, ekologicznego i eksperckiego. **E.** Aktualny stan zagospodarowania obszaru wskazanego do lokalizacji rozwiązania

11. Kopie opublikowanych prac wchodzących w skład cyklu publikacji



Article

Pre-Existing Interventions as NBS Candidates to Address Societal Challenges

Julia Wójcik-Madej and Barbara Sowińska-Świerkosz *

Department of Hydrobiology and Ecosystems Protections, University of Life Sciences in Lublin, Dobrzańskiego 37, 20-262 Lublin, Poland

* Correspondence: barbara.sowinska@wp.pl; Tel.: +48-814-610-061

Abstract: The nature-based solutions (NBS) concept is an umbrella term that connects and organizes previous concepts from the 'green-concept family'. Therefore, interventions similar to NBS were used for a long time before this term was first introduced. Such pre-existing actions, to be considered as NBS, must meet the Global Standards formulated by the Union for Conservation of Nature Global Standards. One of these standards refers to the challenge-orientation of NBS. The aim of this study was to propose objective criteria that enable the assessment of the challenge-orientation of such interventions. To this end, a set of criteria referring to the seven societal challenges was presented. A Lublin city (Poland) case study was applied in relation to 24 types of interventions. The results showed that all of the analysed pre-existing actions met at least two of the challenges. The actions with the greatest challenge-orientation potential continuity for ecological networks are: protecting surface wetlands, public parks, allotment gardens, restoring waterbodies and maintaining floodplains, and the lowest potential are: creating nesting boxes for bats and insect hotels, installing apiaries and below-ground rainwater collection systems. The analysed interventions responded, to a greater extent, to challenges such as to human health, climate change adaptation and mitigation and ecosystem degradation/biodiversity loss, and, to the least extent, to food security and socioeconomic development. Moreover, the study revealed that the scale of the pre-existing intervention type is too general to draw conclusions regarding its challenge-orientation: each piece of the intervention should be assessed separately in relation to the conditions in the local context.

Keywords: nature-based solutions; pre-existing interventions; societal challenges; urban areas



Citation: Wójcik-Madej, J.; Sowińska-Świerkosz, B. Pre-Existing Interventions as NBS Candidates to Address Societal Challenges. *Sustainability* **2022**, *14*, 9609. <https://doi.org/10.3390/su14159609>

Academic Editors: Catarina Isabel Rodrigues Meireles and Ana Galvao

Received: 31 May 2022

Accepted: 29 July 2022

Published: 4 August 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Nature-based solutions (NBS) should be understood as solutions that are inspired and/or supported by nature and cost-effective while providing environmental, social and economic benefits [1]. Such solutions introduce natural values, components, features and processes into cities and landscapes by adapting the implemented solutions to local conditions [2]. This concept represents the synthesis of several well-established ideas related to the global pursuit of sustainability. It is an umbrella term that connects and organizes previous concepts from the 'green-concept family', such as ecological engineering, ecosystem-based adaptation, natural capital, green and blue infrastructure and ecosystem services [3]. NBS enable people to reconnect with nature through greening and 'blueing' strategies for the environment and society. NBS can be applied in relation to outstanding areas (e.g., conservation actions), the everyday landscape (e.g., implementation of green and blue infrastructure) and degraded areas (e.g., renaturalisation techniques), providing policymakers useful tools to resolve a set of problems [4]. Therefore, NBS have recently become a key instrument for reaching almost all of the Sustainable Development Goals (SDG) and managing a diverse set of societal challenges [5]. Therefore, it is not surprising that over the last seven years (since the first definition of NBS was published by the European Commission in 2015 [1]), urban wetlands, urban forests, parks, gardens, green

roofs and façades and many other forms of nature have found their way into mainstream urban planning and policymaking [6].

In fact, actions similar to NBS have been used for a long time, before this term was introduced for the first time in 2008 [1,2]. Examples of conservation actions taken to restore degraded natural areas include the application of green and blue infrastructure (GBI) in cities and the addition of permeable surfaces and ponds [7]. Of course, not all of the pre-existing interventions from the ‘green-concept family’ can be automatically framed as NBS. The actions with the greatest chance of becoming NBS include conservation, restoration and sustainable use components [8]. To do so, these actions must meet the Global Standards for NBS formulated by Union for Conservation of Nature [2], which are as follows: (1) NBS effectively address societal challenges; (2) the design of NBS is informed by scale; (3) NBS result in a net gain in biodiversity and ecosystem integrity; (4) NBS are economically viable; (5) NBS are based on inclusive and transparent governance processes; (6) NBS equitably balance trade-offs; (7) NBS are managed adaptively; and (8) NBS support sustainable development. The self-assessment sheet proposed by the Global Standards enables, among other things, the assessment of whether pre-existing green interventions can be framed as NBS. If the criteria are met in more than 75% of the aspects, pre-existing green interventions adhere to the IUCN Global Standard for NBS and can be called as strong NBS candidates [2].

Challenge-orientation is one of the main pillars of NBS and enables the presentation of these actions to policy planners and decision-makers as win-win or mutually beneficial solutions that simultaneously provide different benefits [9]. Challenge-orientation refers to the contributions of NBS to alleviating well-defined environmental, societal and economic challenges [10]. For any intervention to be considered an NBS, in relation to both brand new and pre-existing concepts, it is necessary to address, in an integrated manner, at least one of the seven societal challenges defined by the IUCN [2], which directly affect a specific group of people or indirectly impact society as a whole. They are also relevant to the Sustainable Development Goals (SDG) [11]. The Global Standards for NBS also emphasise that to differentiate NBS from pure conservation measures, an intervention that addresses the ecosystem degradation challenge must also address at least one other challenge. For example, renaturalisation actions should, besides improving the ecological state of water ecosystems, include an additional challenge, such as flood protection or the creation of a green area, thus enabling outdoor activities that support human health. Despite being somewhat formal, the challenges listed by the IUCN [2] have been modified or detailed by other authors. For example, Dumitru and Wendling [12] listed the following among societal challenges that are oriented towards people: place regeneration, knowledge and social capacity buildings; participatory planning and governance; social justice and cohesion; and wealth and wellbeing. Next to these, there are planet-oriented challenges such as climate resilience, water management, green space management, biodiversity and air quality, as well as prosperity-oriented ones, including natural and climate hazards, new economic opportunities and green jobs. Somarakis and Stagakis [5] also listed coastal resilience as a separate challenge area.

As pre-existing interventions can also be framed as NBS, under the IUCN Global Standards, the question of how the challenge-orientation of these ‘historical’ solutions can be determined to rise. On the one hand, conservation and management interventions that were not explicitly designed or managed to deliver societal benefits may directly or indirectly generate ancillary societal benefits and, thus, resolve a set of societal challenges [2]. On the other hand, the challenge-orientation of NBS means that they are directed at providing solutions to problem(s) detected a priori, meaning that challenges to be tackled should be detected before an action is taken and constitute the main reason behind the implementation of an NBS [13]. Therefore, post-implementation goal(s) should be treated as criteria that exclude a given solution from the NBS set [4]. A helpful tool for assessing the challenge-orientation criterion of NBS is the NBS handbook ‘Think Nature’ [5]. It presents a matrix showing the relevance of the set of different types of NBS in relation to the set of societal challenges. However, taking into account the general nature of the matrix, a

lack of consideration for local differences among NBS interventions and the absence of specific assessment criteria, it should constitute a starting point for the determination of the challenge-orientation of a given solution type. The most effective way to accomplish this is to use a set of qualitative and quantitative indicators that objectively reflect different environmental, social, political and economic characteristics [8]. Such an approach, among other things, is presented in the 'Handbook for Practitioners' published by the European Commission [12], which includes a dozen indicators that help to assess the relevance of existing and planned NBS solutions to the set of societal challenges. A study conducted by Pirro et al. [14] adopted a different approach: The authors identified and differentiated NBS according to their capacity to provide ES and their ability to address selected challenges by adopting the performance assessment and ranging approaches. On the other hand, Croeser et al. [15] adopted the Ecosystem Services Provision and Institutional Capability criteria to determine the suitability of NBS to respond to urban challenges.

The present study aims to assess the challenge-orientation of one particular NBS type: pre-existing interventions existed at the area of Lublin city (Poland). This statement is based on the results of a Scopus database search conducted by the authors (search criteria: pre-existing AND nature-based solution in ALL Fields, June 2022) which showed that there are only 23 papers referring to those two keywords, or 6 papers if the search is limited to title, keywords and abstract. None of these papers, however, explore the challenge-orientation assessment of pre-existing solutions, and none of them refer to Polish case studies. Therefore, the search results showed that the topic discussed in the paper is not only novel and relevant to Polish conditions, but also that there is a lack of similar studies worldwide. Of course, there are studies referring to Polish urban parks, allotment gardens, urban waters, etc. in the context of considering them as NBS. Therefore, a second Scopus search (search criteria: Poland OR Polish AND nature-based solution in ALL Fields, June 2022) was performed. Despite the fact that the search results showed 224 papers, including only 2 referring to the city of Lublin [5,16], they usually referred to elements of GBI as being NBS from the definition, without taking into consideration the fact that, to be framed as an NBS, a given pre-existing intervention should meet the IUCN global criteria for NBS [2], including challenge-orientation. Such research, however, is required to contribute to future NBS implementation in Lublin and other cities facing current sustainability challenges. To achieve the goal of the paper, a set of objective criteria referring to the seven societal challenges formulated by the IUCN [2] is presented. As many of the challenge-orientation indicators proposed in previous studies are difficult to calculate due to the lack of data, the need for long-term assessment and high estimation costs [4]; the adopted approach is based on the use of objective criteria that are simple to assess. They are based on open spatial data, local documents and fieldwork. The case study on Lublin city (Poland) was applied in relation to 24 types of pre-existing NBS interventions. This city was selected as it has no solutions officially termed NBS—there are only strong NBS candidates based on pre-existing concepts [16].

2. Materials and Methods

2.1. Study Area Description

The city of Lublin is located in eastern Poland and is the centre of the Lubelskie Voivodeship, with important administrative, economic and cultural functions. The city is located in the Lublin Upland of the Bystrzyca River Valley. The Valley divides the city into two parts with different landscape features (Figure 1). The left bank is characterized by varied terrain relief. There are deep valleys and old loess ravines. The right bank is flatter and less varied in terms of relief. The ecosystem of the Bystrzyca Valley has been recognized as a key ecological corridor (on the regional scale). The fragments of river valleys located within the administrative borders of the city are situated in protected landscape areas (OCKs): the Czerniejowski OCK and the Ciemięga Valley OCK. On the local scale, the network of protected areas in the city and its nearby surroundings are complemented by larger forest complexes, including the 'Stasin' nature reserve [17]. The structure of green

and blue city infrastructure is completed by urban parks and squares, allotment gardens, a green transport track and patches of trees of protective and/or recreational function [16].

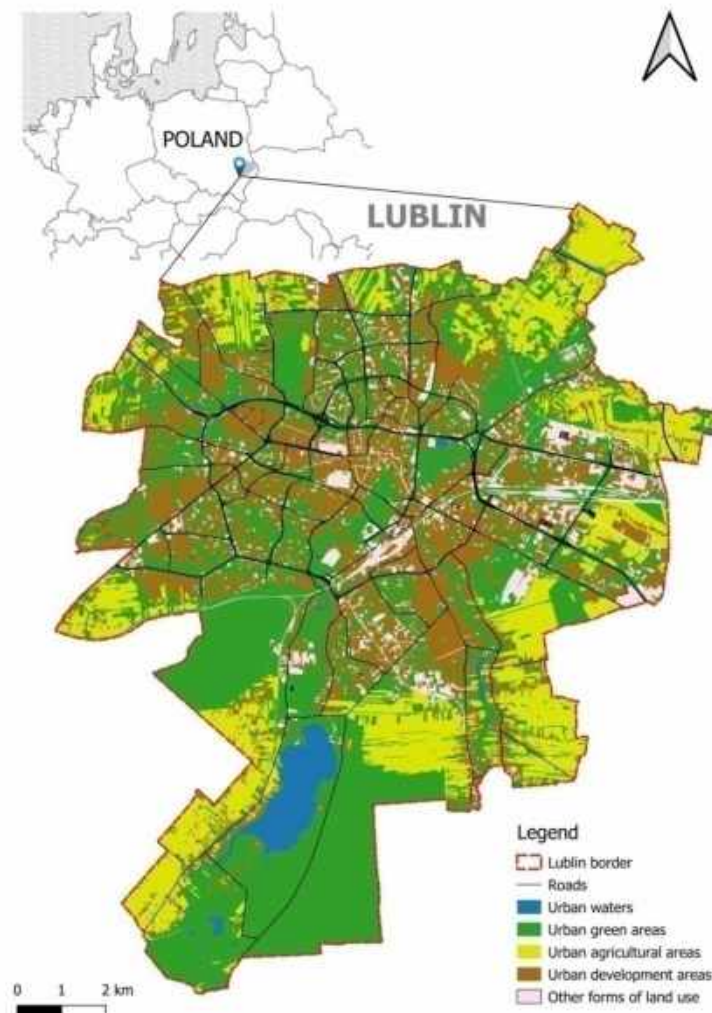


Figure 1. Localization of the study area and the main landcover forms of Lublin city.

In Lublin, there is a strong emphasis on the revitalization and development of green areas. Former projects include, but are not limited to, the modernisation and revalorisation of the historical Saxon Garden, the creation of the urban John Paul II Park, pro-ecological square development, and ongoing projects aiming, among other things, to introduce flower meadows and rain gardens. The works and efforts carried out by municipal services have been recognized by external institutions by being awarded several times with the titles 'Environmentally Friendly Municipality' and 'Environmentally Friendly Local Government' [18]. Lublin also received first place in the 2021 *Forbes* Green Cities Ranking. It was recognised for its financial contributions and involvement in the creation of green spaces for residents as well as its general activities for the benefit of the green city (Figure 1).

Despite the effort that the Lublin Municipality put into the management and development of GBI, previous studies show that different types of NBS based on the elements of GBI contribute in varied ways to sustainable development, including both ecological [16] and socioeconomic aspects [7]. Furthermore, these elements may be regarded as a kind of unsophisticated NBS, the effectiveness of which is limited. These solutions may be created as independent structures, or (historical) green/blue infrastructure may be enlarged, fitted out, linked, and improved to implement NBS projects [7]. Therefore, to fully exploit the potential of these structures, it is necessary to, first of all assess, their challenge-orientation in relation to challenges that are crucial to Lublin's development, and, secondly, to detect which aspects of pre-existing interventions (social, ecological, economic, management, etc.) require changes or co-financing. For Lublin's development towards a 'green city vision', the same level of importance should be placed on resolving both challenges referring to the socio-economic development, such as human health and neighbourhood security, as well as to ecological challenges, such as biodiversity loss and disaster risk reduction.

2.2. Mapping of Pre-Existing Interventions

The typology of pre-existing interventions (level of NBS types) was based on the division proposed by Eggermont et al. [19], which includes the level of human intervention in ecosystems and landscapes. For the purpose of this study, the typology was modified by extracting a fourth NBS type, which includes water-based interventions comprising both natural and seminatural hydrological systems (Table 1, Types 1–4). The NBS subtypes (Table 1, Columns A and B) were based on the list of potential NBS types proposed by Dumitru and Wendling [12] (pages 123–125). From that list, the subtypes that are not present in the study area due to natural conditions (e.g., mangroves, dune structures), land functions (e.g., control of erosion through the management of grazing animals) and management tactics and techniques (e.g., integrated pest/weed management, bioretention basins) were removed. The list was enriched by the pre-existing intervention types that are typical of Polish conditions (e.g., conservation zones around water intake stations and around bird breeding sites, allotment gardens). The final list of pre-existing interventions was checked on the basis of an online survey directed to the representatives of seven departments of the Lublin City Office (February 2022), who are responsible for the management of green and blue infrastructure, nature protection, revalorisation actions and energy and climate activities.

The data used to map pre-existing interventions include the Database of Topographic Objects for the Lublin province, vector format (BDOT 2021), the Study of Conditions and Directions of Spatial Development of Lublin, 2019 [17], the Lublin City Office (LCO) website (<https://lublin.eu/urzad-miasta-lublin/>, accessed on 30 May 2022), data obtained from the LCO through the online survey, data from the University of Marie Curie Skłodowska (UMCS) and an Internet search for spatial data in case of a lack of comprehensive databases for Lublin city (February–April 2022) (Table 1, Column C). The intervention was spatially mapped using QGIS software to produce a map of pre-existing interventions. As a result, 24 types of pre-existing intervention were included in the subsequent assessment.

Table 1. Analysed pre-existing interventions and the data source used for their mapping.

A NBS Subtypes	B List of the Pre-Existing Intervention Analyses in the Study	C Data Source Used
Type 1: Minimal interference with the ecosystem: protection and monitoring activities		
Protection and conservation strategies	- Establishment of protected areas; - Conservation zones around water intake stations; - Protecting surface wetlands.	- BDOT 2021 - Study 2019 - BDOT 2021
Urban planning strategies	- Ensuring the continuity of the ecological network: ESOCh Lublin; - Maintenance of agriculture areas (plantations and orchards).	- Study 2019 - BDOT 2021
Type 2: The sustainable management and natural enrichment of existing elements of urban green and blue infrastructure		
Green space	- Urban parks; - Botanical garden; - Allotment gardens; - Flower meadows; - Playgrounds with permeable surfaces; - Sport fields with permeable surfaces; - Pro-ecological square development.	- BDOT 2021 - BDOT 2021 - BDOT 2021 - Data from LCO - BDOT 2021 - BDOT 2021 - Data from LCO
Trees and shrubs	- Urban forests; - Green transport tracks; - Planting trees with protective and recreational functions.	- BDOT 2021 - BDOT 2021 - BDOT 2021
Sustainable management protocols	- Nesting boxes for native bats; - Insect hotels; - Installation of apiaries.	- Data from UMCS Lublin - Data from LCO - Data from LCO
Type 3: The creation of new ecosystems		
Green built environment	- Green roofs; - Green walls; - Green bus stops.	- Internet list - Internet list - Data from LCO
Type 4: The implementation of natural or seminatural water storage and transport systems		
Water restoration measures	- Restoring degraded waterbodies; - Maintaining floodplains.	- BDOT 2021 - Study 2019
Infiltration, filtration, and biofiltration structures	Rainwater collection systems (absorptive wells, above-ground tanks, ponds).	Data from LCO

2.3. Challenge-Orientation Assessment

The assessment was conducted in relation to the seven societal challenges (SCh) listed by the IUCN [9], which are briefly described in Table 2, referring to their link to the Sustainable Development Goals (SDG). The challenge-orientation criteria (Table 2, Column A) were based on an on-systematic review of both peer-reviewed research papers [4,7,8,11,12,16,20–36] and relevant reports published by the EC [1,13,37], IUCN [2,11]

and UNEP [38]. Each criterion was selected on the basis of the following principles: (1) relevance to the topic under study, which is how to meet a given societal challenge; (2) universal character, so that NBS featuring different levels of human intervention in the ecosystem of different spatial extents and located in various areas can be assessed; and (3) measurability, meaning the availability of data or ease of data collection. The challenge-orientation criteria were determined in close collaboration with the representatives of different departments of the Lublin City Office (LCO) (e.g., emails, telephone interviews). The data used to assess each criterion are presented in Table 2, Column C. During the assessment, the strength (scope) of the intervention to meet a given challenge was not taken into account, as criteria are not indicators. It was only determined whether a given pre-existing intervention met a given challenge. For example, wetlands are more effective carbon sinks than flower meadows, but both biotopes provide carbon sequestration benefits and thus contribute positively to the climate change adaptation and mitigation challenge.

Table 2. Challenge-orientation criteria.

Description of Societal Challenges (SCh)		
A. Challenge-Orientation Criterion	B. Criterion Description	C. Data Used in Relation to the Case Study Example
Climate change adaptation and mitigation (SCh1) via the implementation of NBS can both provide resilience to the impacts of climate change through the provision of ecosystem services (ES) and enhance social awareness and political actions to combat climate change [12,20,26–30]. Especially effective are solutions that serve as natural carbon sinks, including forests, wetlands and oceans. NBS to climate change are addressed by SDG 13: climate change.		
SCh1_I1: Function of natural carbon sinks	Existence of ecosystems that serve the function of a natural carbon sink;	- Map of pre-existing interventions; - Fieldwork in relation to the presence of educational boards on climate change issues; screening of intervention websites; telephone interviews with LCO employees.
SCh1_I2: Enhancement of social awareness regarding climate change	Existence of climate awareness educational actions.	
Disaster risk reduction (SCh2) can be achieved via a combination of infrastructures such as flood protection levees and dams with elements of natural infrastructures that provide regulatory services, especially large-scale ecosystems such as wetlands, forests, large parks, riverbanks, lakes and coastal systems, which can reduce physical exposure to natural hazards by serving as protective barriers or buffers [4,11,21,31–33]. NBS to disaster are addressed in part by SDG 11 (sustainable cities and communities) and by SDG 13 (climate action).		
SCh2_I1: Function served	- Buffer and/or protected barrier functions; - Area (mean) of the intervention patches (more than 1000 m² or more than 10 points).	- Map of pre-existing interventions; screening of local documents; - Map of pre-existing interventions.
SCh2_I2: Power of disaster risk reduction		
Socioeconomic development (SCh3) in relation to the social dimension includes diverse aspects such as building knowledge and social capacity through educational initiatives, strengthening the participatory planning and governance of green areas, reducing environmental injustice, supporting the cocreation process and providing opportunities for social transformation [7,22,23]. NBS support economic development by providing cost-effective solutions at all stages of the solution life cycle: implementation, maintenance and transformation; creating resilient buildings; and generating jobs in the green sector [4]. Socioeconomic development is addressed by SDG 8 (decent work and economic growth) and SDG 12 (responsible consumption and production).		

Table 2. Cont.

Description of Societal Challenges (Sch)		
A. Challenge-Oriented Criterion	B. Criterion Description	C. Data Used in Relation to the Case Study Example
SCh3_I1: Reduction of environmental injustice	Localization in the city structure (even distribution in municipal districts);	Map of the pre-existing interventions;
SCh3_I2: Use of alternative sources of energy	Solution equipment in solar panels.	Fieldwork; screening of intervention websites; telephone interviews with LCO employees
Human health (SCh4) results from the fact that natural and seminatural ecosystems affect human health, wellbeing and social cohesion [4,16,34–36]. NBS may have many positive effects on both mental and physical health by reducing depression; improving social cohesion; providing community support; promoting outdoor activities; creating new recreational areas and sports facilities; reconnecting people with nature, thus improving their involvement in restoration actions; and raising social awareness [7,24]. NBS to human wellbeing are addressed by SDG 3 (human health and wellbeing), SDG 11 (sustainable cities and communities) and SDG 13 (climate action).		
SCh4_I1: Offer public space and free accessibility	Ownership structure of the preintervention;	Data from the LCO;
SCh4_I2: Provide recreational opportunities	Recreational possibilities and infrastructure.	Data from the LCO; fieldwork.
Food security (SCh5) means the availability of food that is accessible to all, safe and locally appropriate and reliable all the time regardless of location [11]. Solutions to this challenge will need to be multifaceted, comprising food provision from both rural and urban areas. These include, for example, protecting wild genetic resources; managing wild species (e.g., fish); providing irrigation water; and introducing urban agriculture, including commune, allotment and vertical gardens [7]. Food security is addressed by SDG 2: zero hunger.		
SCh5_I1: Food production service	Provision of food from agriculture, fishing, wild berries and mushrooms.	Map of pre-existing interventions; fieldwork.
The water security challenge (SCh6) results from the fact that built infrastructure alone is increasingly unlikely to provide future water security and resilience against changing climate conditions [11]. NBS can serve to resolve water quality and management problems that derive from anthropogenic impacts on the water cycle. These may include reducing groundwater and surface water levels, recharging aquifers and managing storm water [12]. NBS for water security are addressed by SDG 6: clean water and sanitation.		
SCh6_I1: Impact on water quality	Existence of water saving/purification/infiltration infrastructure, rainwater collectors.	Map of pre-existing interventions; fieldwork; Screening of intervention websites.
Ecosystem degradation and biodiversity loss (SCh7) derives from changes in land and sea use, overexploitation, climate change, pollution and invasive/alien species [12]. NBS refer to the abovementioned driving factors by introducing, particularly in urban areas, biologically active areas that support native and heat-resilient plant species, including greenery to buildings, as well as urban apiaries and hotels for insects [2,12]. NBS contribute to the regeneration of sustainable places by connecting people with nature using fewer environmental resources and fostering collective participation and social cohesion [25]. NBS for ecosystem degradation and biodiversity loss are addressed in SDG 14 (life below water) and SDG15 (life on land).		
SCh7_I1: Impact on biodiversity	Plant selection, creation of habitats.	Fieldwork; screening of intervention websites.

3. Results

3.1. Mapping of Pre-Existed Interventions

The results showed that the structure of Lublin city can be distinguished by 24 types of pre-existing interventions, among which 20 are of the patch character and 4 are of the point character. Patch types cover 44.67% of the city area (without overlapping interventions), and 72.8% include overlapping interventions (Figure 2). Overlapping interventions mainly include the maintenance of floodplains and conservation zones around water intake stations/urban forests, as well as patches of trees with protection/recreational functions and ensuring the continuity of the ecological network.

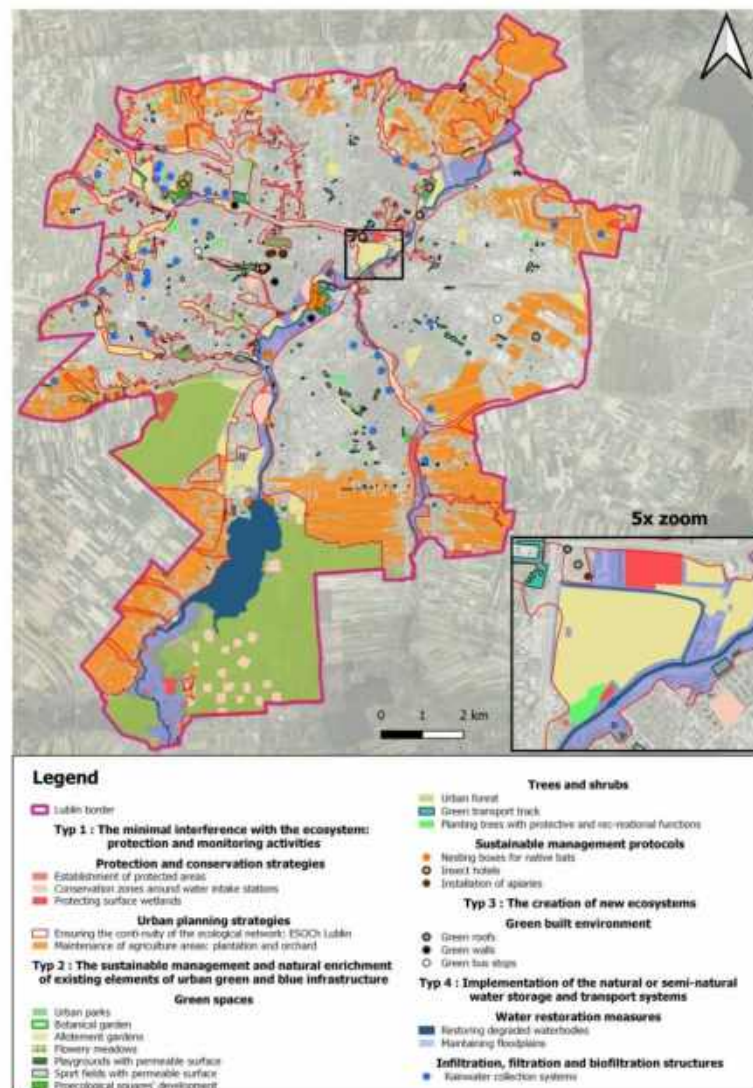


Figure 2. Map of pre-existing NBS interventions.

The largest area and, thus, the highest percentage of the city, is covered by Type 1: minimal interference with the ecosystem (45.61%) (Table 3). This type contains five pre-existing intervention types that are located in different city districts. In this type, the largest area is occupied by an intervention called 'Ensuring the continuity of the ecological network' (24.69%). This type consists of 63 patches that differ significantly in their area—the larger patch is 579.21 ha, whereas the smallest is only 0.06 ha. Therefore, the standard deviation is equal to 113.49 (median, 5.58), wherein the mean patch area is 579.21 ha. The smallest share is occupied by the 'Establishment of protected areas' (0.17%), as, in Lublin, only one nature reserve exists—the 'Stasin' forest reserve, which is located at the south part of the city at constating part of the urban forest.

The smallest area and, thus, the smallest percentage of the city, is covered by Type 4: 'Implementation of natural or seminatural water storage and transport systems' (9.44%). It derives from the fact that one out of three of the pre-existing types that belong to this type are of the point character. Among this type, the largest area is occupied by the 'Floodplain maintenance' intervention (7.18%, NP = 45), and the smallest is occupied by 'Restoration of degraded waterbodies' (2.26%, NP = 9). Both interventions are characterised by an uneven distribution, as, due to their character, they are located along the Bystrzyca River. In addition, Type 4 includes 32-point solutions representing different rainwater collection systems, such as absorptive wells, aboveground tanks and ponds that have been installed on private plots at single-family houses. Therefore, they are mainly located in the district with the predominant share of this kind of estate.

Type 2, 'The sustainable management and natural enrichment of existing elements of urban green and blue infrastructure', occupies 17.83% of the city area and stands out as the large-scale solution of the urban forest, which occupies 11.87% of the city's area (1756.280 ha) and numerous playgrounds (413) and sport fields with permeable surfaces (130). Another important part of this type constitutes urban parks of relatively large mean area (23.63 ha) as well as 70 patches of allotment gardens with a mean area of 55.57 ha, which are located in almost all the city districts. As such, they continue the important element of GBI structure of the city.

Solutions belonging to Type 3, 'The creation of new ecosystems', are less numerous, as they are composed of only nine points of green buildings, including green walls, rooves and bus stops. Because of the way they were mapped as point spatial features, they were not included in the total sum/percentage of pre-existing interventions. Type 3 is mainly located in the city centre, where most of the innovative solutions have been recently implemented. The spatial composition of all the detected pre-existing intervention types is irregular. They are concentrated in the south end of the city (urban forest, urban lagoon, conservation zones), along the Bystrzyca River Valley (e.g., maintenance of floodplains, allotment gardens, nesting boxes for native bats) and close to city borders (e.g., the maintenance of the agriculture areas). As a result, on the northwest and east sides of the city, there are large areas (max 2.81 km²) without any implemented green and blue solutions. Of course, some intervention types are connected to a particular natural condition, for example, conservation zones around water intake stations connected to underground water reservoirs; therefore, their localizations are predetermined.

Table 3. Spatial characteristics of pre-existing solutions.

Pre-Existing Intervention	Number of Patches/Points NP	Total Area (ha)	Mean/Max/Min Area (ha)	Area Standard Deviation SD	Median Area	% of Interventions in Relation to the Lublin Area
Type 1						
Establishment of protected areas	1	25.06	25.06	-	-	0.17
Conservation zones around water intake stations	39	229.34	5.88 38.40 1.31	6.92	3.96	1.56
Protecting surface wetlands	107	53.72	0.50 0.50 0.0005	1.44	0.08	0.36
Ensuring the continuity of the ecological network	63	3640.89	57.79 579.21 0.06	113.49	5.58	24.69
Maintenance of agriculture areas	407	2775.92	6.82 472.42 0.0002	35.02	0.40	18.83
Sum for Type 1 (patch forms)	211	6724.92		-		45.61
Type 2						
Urban parks	13	108.34	8.33 23.63 1.24	6.19	5.75	0.73
Botanical garden	1	12.88	12.88	-	-	0.09
Allotment gardens	70	416.24	5.86 55.57 0.09	8.08	5.86	2.85
Flower meadows *	3	0.30	0.10 0.14 0.04	0.04	0.12	0.002
Playgrounds with permeable surfaces	413	27.23	0.07 1.71 0.006	0.10	0.04	0.18
Sport fields with permeable surfaces	130	37.39	0.29 3.32 0.10	0.42	0.12	0.25
Pro-ecological square development	6	0.59	0.10 0.48 0.006	0.17	0.02	0.004
Urban forest	8	1756.28	219.54 1169.11 0.0046	385.89	219.54	11.91
Green transport tracks	168	121.38	0.72 6.99 0.002	1.07	0.36	0.82

Table 3. Cont.

Pre-Existing Intervention	Number of Patches/Points NP	Total Area (ha)	Mean/Max/Min Area (ha)	Area Standard Deviation SD	Median Area	% of Interventions in Relation to the Lublin Area
Planting trees with protective and recreational functions	229	151.76	0.66 5.64 0.05	8782.92	3560.67	1.03
Sum for Type 2 (patch forms)	1085	2626.72		-		17.83
Nesting boxes for native bats	104	-	-	-	-	-
Insect hotels **	18	-	-	-	-	-
Installation of apiaries (including public lands) **	4	-	-	-	-	-
Sum for Type 2 (point forms)	126			-		
Type 3						
Green rooves	3	-	-	-	-	-
Green walls **	4	-	-	-	-	-
Green bus stops	2	-	-	-	-	-
Sum for Type 3 (point forms)	9			-		
Type 4						
Restoring degraded waterbodies	9	332.66	36.96 294.99 0.19	91.44	0.76	2.26
Maintaining floodplains	45	1057.96	23.51 177.20 0.01	31.35	15.64	7.18
Sum for Type 4 (patch forms)	86	1390.63		-		9.44
Rainwater collection systems	32	-	-	-	-	-
Sum for Type 4 (point forms)	32			-		
Sum % of Lublin area (including overlapping interventions)			72.8%			
Sum % of Lublin area (without overlapping interventions)			44.67%			

* state for year 2022; ** database is not complete as there is a lack of the city level register.

3.2. Challenge-Oriented Assessment

The challenge-orientation assessment showed that in 7 out of the 24 pre-existing solutions in the study area, the level of each intervention type was too general to draw conclusions about its challenge-orientation. Therefore, in the assessment matrix, in relation to the selected interventions, the levels of assessment for the following types were included:

(1) landcover (LC) forms—semi-natural (greenery, water) and paved surfaces; (2) access type—open (public areas) and with restrictions (private areas, entrance fee required); and (3) construction type—above- and belowground construction. Moreover, the seven criteria of challenge-orientation could not be determined in relation to all the solution types because both reference levels (the type and level of assessment) were too general: the assessment should be performed in relation to each intervention patch/point. Therefore, in the matrix, the PL (patch/point level) symbol was used to indicate that only (a) selected solution(s) from a given type meet a given challenge-orientation criterion (e.g., a given park, a given complex of the allotment gardens). As a result, the total number of societal challenges that a given pre-existing intervention met (Figure 3), as well as the sum of intervention types attributed to a given challenge (Figure 4), was provided in reference to two scales: patch level (PL), which includes intervention types from which only selected patches/points meet a given criterion, and type level (TL), which includes intervention types from which all patch/points meet the criteria.

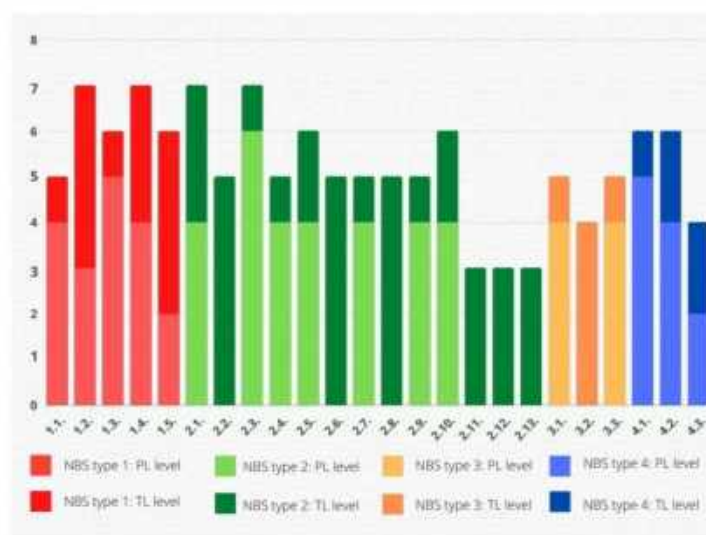


Figure 3. The total number of societal challenges met by a given pre-existing intervention.

The results of the matrix showed that all of the analysed pre-existing NBS met at least two of the societal challenges formulated by the IUCN [2] (Table 4). The solutions with the highest challenge-orientation potential were: ensuring the continuity of the ecological network, meeting four challenges at patch level and seven at type level (4PL-7TL); protecting surface wetlands (5PL-6TL); maintaining public parks (4PL-7TL) and allotment gardens (6PL-7TL); planting trees with protective and recreational functions (4PL-6TL); restoring degraded waterbodies (5PL-6TL); and maintaining floodplains (4PL-6TL) (Figure 3). Their high potential, in relation to pre-existing interventions representing Type 2, mainly resulted from their positive impact on human health and positive impact on biodiversity, and in relation to Type 4, the water security challenge and disaster risk reduction. Among them, the most promising NBS are those interventions that met a similar high number of challenges both at the patch and type level. Taking into account this criterion, allotment gardens constitute one of the strongest NBS candidates. Nesting boxes for native bats, insect hotels and the installation of apiaries (3PL/TL) and belowground rainwater collection systems (2PL/4TL) showed the lowest potential (Table 4). This resulted from their point character and their targeting of one specific goal, such as biodiversity protection or water security.

Therefore, taking into account the adopted criteria, they lack the impact on other challenges.

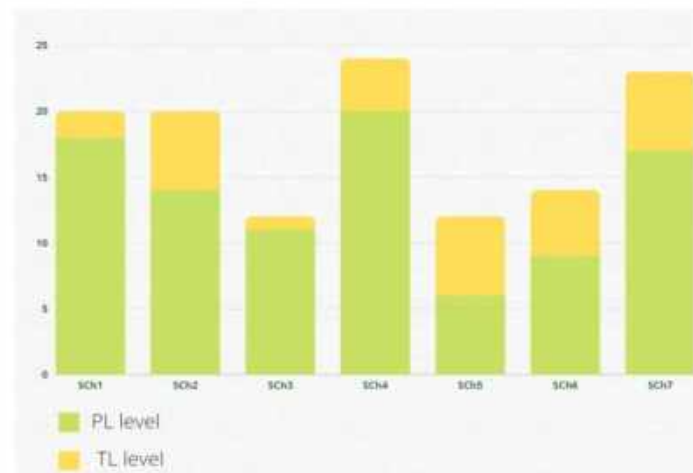


Figure 4. The sum of intervention types attributed to a given challenge.

Table 4. Matrix of pre-existing intervention orientations to societal challenges.

Pre-Existing Intervention Type	Level of Assessment	Case Study Level	SCH1		SCH2		SCH3		SCH4		SCH5	SCH6	SCH7
			I1	I2	I1	I2	I1	I2	I1	I2	I1	I1	I1
Type 1													
1.1. Establishment of protected areas	-	-	x	x	x	x	-	-	x	x	PL	-	x
1.2. Conservation zones around water intake stations	LC forms	Greenery	x	-	x	x	x	-	PL	PL	PL	PL	x
		Paved surfaces	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.3. Protecting surface wetlands	-	-	x	x	x	x	-	-	x	x	x	PL	x
1.4. Ensuring the continuity of the ecological network	-	-	x	x	x	x	x	-	PL	PL	PL	PL	x
1.5. Maintenance of agriculture areas in urban structure	-	-	-	-	-	PL	x	-	PL	PL	x	PL	PL
Type 2													
2.1 Urban parks	Access type	Open	x	PL	PL	x	x	-	x	x	-	PL	x
		With restrictions	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.2. Botanical garden	-	-	x	x	-	x	-	-	-	x	-	x	x
2.3. Allotment gardens	-	-	x	PL	-	PL	x	PL	-	x	x	x	x
2.4. Flower meadows	-	-	x	x	-	PL	x	-	x	x	-	-	x
2.5. Playgrounds with permeable surfaces	Access type	Open	x	PL	-	PL	x	-	x	x	-	x	PL
		With restrictions	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.6. Sport fields with permeable surfaces	Access type	Open	x	-	-	x	x	-	x	x	-	x	-
		With restrictions	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Table 4. Cont.

Pre-Existing Intervention Type	Level of Assessment	Case Study Level	SCh1		SCh2		SCh3		SCh4		SCh5	SCh6	SCh7
			I1	I2	I1	I2	I1	I2	I1	I2	I1	I1	I1
2.7. Pro-ecological square development	-	-	x	PL	-	PL	x	-	x	x	-	x	PL
2.8. Urban forests	-	-	x	x	x	x	-	-	x	x	x	-	x
2.9. Green transport tracks	-	-	x	PL	x	x	x	-	x	PL	-	-	PL
2.10. Planting trees with protective and recreational functions	Access type	Open	x	PL	x	PL	x	-	x	x	PL	-	PL
		With restrictions	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.11. Nesting boxes for native bats	-	-	-	-	-	x	-	-	x	-	-	-	x
2.12. Insect hotels	-	-	-	-	-	x	-	-	x	-	-	-	x
2.13. Installation of apiaries	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	x	-	x
Type 3													
3.1. Green rooves	-	-	x	PL	-	-	-	-	x	x	PL	x	x
3.2. Green walls	-	-	x	PL	-	-	-	-	x	-	-	x	x
3.3. Green bus stops	-	-	x	x	-	-	-	PL	x	-	-	x	x
Type 4													
4.1. Restoring degraded waterbodies	-	-	x	x	x	x	-	-	x	x	x	PL	x
4.2. Maintaining floodplains	-	-	x	x	x	x	-	-	x	x	PL	PL	x
4.3. Rainwater collection systems	Construction type	Aboveground tanks	x	-	-	x	-	-	-	x	-	x	x
		Below ground structures	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum of intervention type (PL/TL)			18-20		14-20		11-12		20-24		6-12	9-16	17-24

In reference to the societal challenges assessed, pre-existing interventions responded with the broadest scope to human health (SCh4) and ecosystem degradation and biodiversity loss, which were met by all 24 solution types (20 and 17 at the PL, respectively) and to climate change adaptation and mitigation (SCh1), which were met by all 20 solution types (18 at the PL). The analysed solutions that met the lowest scope were the challenge of food security (SCh5), which was met by 12 solution types (6 at PL), and the challenge of socioeconomic development (SCh3), which was met by 11 solution types (12 at PL) (Figure 4).

4. Discussion

4.1. Pre-Existing Interventions as NBS Candidates: A Case Study Example

The study showed that, in relation to Lublin city, pre-existing interventions belonging to all four analysed NBS types exhibited a high potential for challenge-orientation. Among them, allotment gardens, which do not fully correspond to only one of the societal challenges, stand out. The potential of Polish allotment gardens to be considered NBS was also reported in a previous study, with a reminder that they lack a clear governance process and are of limited economic efficiency [7]. Urban, open parks also make a great contribution to all of the analysed challenges. This results from the fact that they provide a set of environmental, social and economic benefits, such as contributing to carbon sequestration, erosion prevention, water and air purification, habitat creation, economic development and nature-based recreation promotion, which help to reduce many urgent problems [7,14,39,40]. A high challenge-orientation potential was also revealed in relation

to different types of interventions connected to the protection, maintenance and restoration of urban waters and floodplains. These pre-existing interventions are recognized as combining ecological, social and, if well managed, economic benefits and being of high value to hydrological balance, climate regulation, energy production and the drinking water supply [2,41]. Nesting boxes for native bats, insect hotels, the installation of apiaries and belowground rainwater collection systems were revealed to have the lowest challenge-orientation potentials. The same was proved by Castellar et al. [39] in relation to offering good performance addressing challenges and providing ES by NBS. This mainly derives from the point character of such solutions, as interventions must be sufficiently large to successfully respond to challenges [22,42]. It does not mean that the positive contribution of these pre-existing interventions to tackling ecological problems should be underestimated. The study revealed that they are designed to respond, specifically, to a given challenge: biodiversity loss in the case of boxes, hotels and apiaries, and water security in the case of rainwater collection systems. The same was also reported by Pirro et al. [14] in relation to retention ponds and infiltration basins and the challenge of water management with a flood hazard.

The study also revealed that, among the seven societal challenges formulated by the IUCN, the analysed pre-existing interventions respond, in a broader scope, to human health and climate change adaptation and mitigation challenges. This is consistent with the research of Castellar et al. [39] or López et al. [26], which revealed that these challenges are responded to by several NBS types, such as gardens, parks and green corridors. Health and wellbeing have also been recognized as two of the urban (sub)challenges most frequently assessed in the literature [43] and as being in high demand by urban society [15,33]. The pre-existing NBS interventions analysed in the paper met the challenges of food security in the narrowest scope. The first results from the fact that the main food production functions have only one of the analysed types: the maintenance of agriculture areas in urban structure. Other types that meet this challenge serve the food production function as an additional benefit: wild fruits and mushrooms from urban forests, fish from urban waters, vegetables and fruits from allotment gardens and honey from urban apiaries. The fact that only 11PL/12TL of the analysed pre-existing interventions respond to the socioeconomic development challenge is surprising. The reason behind this finding lies in the fact that, due to their uneven distribution in city districts, they deepen the environmental injustice connected to the accessibility of green/blue areas by all citizen groups. Furthermore, both public and private green infrastructure are poorly equipped with renewable sources of energy, including solar panels [7].

4.2. Challenge-Orientation of Pre-Existing NBS Solutions: Scale of Assessment Implications

The present study clearly shows that the combination of local environmental, socio-political, management and economic conditions results in a level of solution type that is not enough to conclude whether a given pre-existing NBS intervention can be farmed as an NBS. For example, converting historical gardens and parks to NBS, e.g., by introducing recreational infrastructure, generally refers to the social justice/social cohesion challenge, provided that they are open access [8]. If an entrance fee is mandatory, the relevance to the societal challenge is questionable [32]. Another example deals with the dominant landcover type of pre-existing NBS interventions. Diverse types of conservation zones and controlled urban expansion strategies generally respond to climate change mitigation and human health challenges [5], provided that they are covered by seminatural landcover forms. Paved surfaces not only do not respond to these challenges but cannot be framed as NBS, as these actions must be inspired and/or powered by nature to enhance natural capital [1] and result in a net gain in biodiversity and ecosystem integrity [2]. The latest requirement is directly connected to the ecosystem degradation and biodiversity loss challenge, the fulfilment of which strongly depends on plant selection (this aspect was included in criterion SCh7_I1) [30]. Green actions based on ‘copying’ existing ecosystems into surrounding areas, such as enlarging a forest area by implementing monocultural tree

plantations or planting grass in a place with favourable conditions for a flower meadow, do not fulfil the requirements posed by NBS [13]. Another vital level of challenge-orientation assessment (included in criterion SCh2_I2) deals with the scale of the solution. To be considered an NBS, a pre-existing solution should be sufficiently large to successfully respond to challenges [22,42]. To address global challenges, such as climate adaptation and mitigation or ecosystem degradation, large-scale initiatives such as ECCA 30 (which aims to restore 350 million hectares of the world's deforested and degraded land by 2030) are required [13]. Local problems, such as environmental injustice at the city scale, may be tackled by small-scale or even point actions aimed at the creation of pocket gardens in green playgrounds [8]. The larger the intervention scale, however, the greater the contribution to the successful application and operation of NBS, and more positive outcomes for biodiversity, human wellbeing and the economy are expected [2]. Therefore, if the intervention type is composed of different spatial patches, such as surface wetland protection or the maintenance of agricultural areas in the present study, each patch of the intervention should be analysed separately in relation to the spatial configuration of patches on a landscape scale, which affects the ecological quality of a given area [16].

4.3. Limitations of the Adopted Approach and Future Outlook

The results of the matrix showed that all of the analysed pre-existing NBS solutions meet at least two of the societal challenges formulated by the IUCN [2]. As a result, in terms of the challenge-orientation, they can be considered strong NBS candidates. Of course, the paper assessed only one out of the eight criteria to frame pre-existing interventions as NBS. The adopted criteria, however, are partially connected to other IUCN criteria that refer to the appropriate scale (SCh2_I2) and a net gain in biodiversity (SCh7_I1). Of course, the analysed aspects do not fully refer to these criteria. Appropriate scale also refers to the illusion of dependencies between the area under the action and the adjusted areas, including complementary interventions, in terms of ecological and socioeconomic impacts, as NBS cannot be managed in isolation [8]. In terms of biodiversity, the IUCN criterion also includes positive impacts on ecosystem integrity, which was not assessed in this study but may be determined on the basis of the use of landscape metrics [16], and stresses the need to identify clear and measurable biodiversity conservation outcomes. Therefore, the next stage of the research is to, on the basis of the self-assessment sheet [2], assess the relevance of the analysed interventions, especially for criteria referring to the following aspects: synergies and trade-offs on the landscape scale, ecosystem integrity, economic viability, governance processes and management practices. The latter two aspects are of specific significance, as only adaptive landscape planning management and governance may ensure the effective implementation of NBS [29,44]. Only when the result of assessing all eight criteria shows that the criteria are met in more than 75% of these aspects do pre-existing green interventions adhere to the IUCN Global Standard for NBS, and only then can they be called strong NBS candidates.

5. Conclusions

The study showed that the mapping technique and the use of objective criteria are helpful to assess the challenge-orientation of pre-existing NBS. Therefore, such approaches can be used to assess whether different types of blue and green interventions can be framed as strong NBS candidates. Moreover, it is possible to identify gaps that need to be strengthened or improved in order to frame a given intervention as an NBS. For example, despite the fact that 44.67% of the area of Lublin is covered by pre-existing solutions that have the potential to become strong NBS candidates, their spatial distribution is heterogeneous, which favours environmental injustice. To overcome this problem, further local spatial plans and development strategies should be based on the detailed analysis of NBS localization among city districts, also taking into account the socioeconomic profile of their inhabitants. It is not the number and total size of interventions but the appropriate distribution and quality that determine the well-planned structure of GBL. Regarding the

latter, it is crucial to remember that green and blue areas can respond to several societal challenges, not only to the human health and climate change adaptation and mitigation challenges. It is relatively easy to implement cheap solutions, such as installing hotels for insects or solar panels, which could strengthen the multi-aspect challenge-orientation of the pre-existing solutions and, thus, bring them closer to the NBS intervention.

Author Contributions: J.W.-M.: software, validation, investigation, writing—original draft preparation, visualization, project administration, funding acquisition; B.S.-S.: conceptualization, methodology, writing—review and editing, supervision. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was supported by project no. SD/64/IŚGiE/2022 provided by the University of Life Sciences in Lublin, Poland.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

Acknowledgments: We would like to thank the Lublin City Office for its contribution to the research, including the completion of online questionnaires, participation in telephone interviews and spatial data sharing.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. European Commission. *Towards an EU Research and Innovation Policy Agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities*; European Commission: Brussels, Belgium, 2015.
2. IUCN. *Global Standard for Nature-Based Solutions. A User-Friendly Framework for the Verification, Design and Scaling up of NbS*, 1st ed.; IUCN: Gland, Switzerland, 2020. Available online: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2020-020-En.pdf> (accessed on 29 March 2022).
3. Wendling, L.; Garcia, J.; Descoteaux, D.; Sowińska-Świerkosz, B.; McPhearson, T.; Frantzeskaki, N.; La Rosa, D.; Yiwen, Z.; Lin, T.; Fidélis, T.; et al. Editorial: Introduction to the Nature-Based Solutions journal. *Nat.-Based Solut.* **2021**, *1*, 100003. [CrossRef]
4. Sowińska-Świerkosz, B.; Garcia, J. A new evaluation framework for nature-based solutions (NBS) projects based on the application of performance questions and the indicators approach. *Sci. Total Environ.* **2021**, *787*, 147615. [CrossRef] [PubMed]
5. Somarakis, G.; Stagakis, S.; Chrysoulakis, N. (Eds.) *Think Nature Nature-Based Solutions Handbook*, Think Nature Project Funded by the EU Horizon 2020 Research and Innovation Programme under Grant Agreement No 730338. 2019. Available online: https://www.researchgate.net/publication/339983272_ThinkNature_Nature-Based_Solutions_Handbook (accessed on 29 March 2022).
6. Fastenrath, S.; Bush, J.; Coenen, L. Scaling-up nature-based solutions. Lessons from the Living Melbourne strategy. *Geoforum* **2020**, *116*, 63–72. [CrossRef]
7. Sowińska-Świerkosz, B.; Michalik-Śniezek, M.; Bieske-Matejak, A. Can Allotment Gardens (AGs) Be Considered an Example of Nature-Based Solutions (NBS) Based on the Use of Historical Green Infrastructure? *Sustainability* **2021**, *13*, 835. [CrossRef]
8. Sowińska-Świerkosz, B.; García, J. What are Nature-based solutions (NBS)? Setting core ideas for concept clarification. *Nat.-Based Solut.* **2022**, *2*, 100009. [CrossRef]
9. Herrmann-Pillath, C.; Hiedanpää, J.; Soini, K. The co-evolutionary approach to nature-based solutions: A conceptual framework. *Nat.-Based Solut.* **2022**, *2*, 100011. [CrossRef]
10. Albert, C.; Brilling, M.; Guerrero, P.; Gottwald, S.; Henze, J.; Schmidt, S.; Ott, E.; Schröter, B. Planning nature-based solutions: Principles, steps, and insights. *Ambio* **2021**, *50*, 1446–1461. [CrossRef]
11. Cohen-Shacham, E.; Walters, G.; Janzen, C.; Maginnis, S. (Eds.) *Nature-Based Solutions to Address Global Societal Challenges*; IUCN: Gland, Switzerland, 2016. Available online: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2016-036.pdf> (accessed on 29 March 2022).
12. Dumitru, A.; Wendling, L. (Eds.) *Evaluating the Impact of Nature-Based Solutions: A Handbook for Practitioners*; European Commission: Luxembourg, 2021. Available online: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d7d496b5-ad4e-11eb-9767-01aa75ed71a1> (accessed on 29 March 2022).
13. Science for Environment Policy. *The Solution Is in Nature. Future Brief 24*; Brief Produced for the European Commission DG Environment; Science Communication Unit, UWE Bristol: Bristol, UK, 2021.
14. Pirro, E.D.; Sallustio, L.; Castellar, J.A.C.; Sgrigna, G.; Marchetti, M.; Lasserre, B. Facing Multiple Environmental Challenges through Maximizing the Co-Benefits of Nature-Based Solutions at a National Scale in Italy. *Forests* **2022**, *13*, 548. [CrossRef]

15. Croeser, T.; Garrard, G.; Sharma, R.; Ossola, A.; Bekessy, S. Choosing the right nature-based solutions to meet diverse urban challenges. *Urban For. Urban Green.* **2021**, *65*, 127337. [CrossRef]
16. Sowińska-Świerkosz, B.; Wójcik-Madej, J.; Michalik-Śnieżek, M. An Assessment of the Ecological Landscape Quality (ELQ) of Nature-Based Solutions (NBS) Based on Existing Elements of Green and Blue Infrastructure (GBI). *Sustainability* **2021**, *13*, 11674. [CrossRef]
17. The Lublin City Council. *Study of Conditions and Directions for Spatial Development of the City of Lublin 2019 Resolution*; No. 283/VIII/2019 1 July 2019; The Lublin City Council: Lublin, Poland, 2019.
18. Czupryn, P.; Szostok, A.; Ioannidis, K. *Environmental Impact Assessment Development Strategy of Lublin Municipality for 2021–2030*; Lublin City Hall: Lublin, Poland, 2021. Available online: https://lublin.eu/gfx/lublin/userfiles/_public/biznes/aktualnosci/konsultacje_spoleczne_ii_etap/prognoza_oddziaływania_na_srodowisko_strategii_lublin_2030.pdf (accessed on 29 March 2022).
19. Eggermont, H.; Balian, E.; Azevedo, J.M.N.; Beumer, V.; Brodin, T.; Claudet, J.; Fady, B.; Grube, M.; Keune, H.; Lamarque, P.; et al. *Nature-Based Solutions: New Influence for Environmental Management and Research in Europe*; GAIA Ecological Perspectives for Science and Society; OekomVerlag: Munich, Germany, 2015; Volume 24, pp. 243–248.
20. Xie, L.; Bulkeley, H.; Tozer, L. Mainstreaming sustainable innovation: Unlocking the potential of nature-based solutions for climate change and biodiversity. *Environ. Sci. Policy* **2022**, *132*, 119–130. [CrossRef]
21. Young, A.F.; Marengo, J.A.; Martins Coelho, J.O.; Scofield, G.B.; de Oliveira Silva, C.C.; Prieto, C.C. The role of nature-based solutions in disaster risk reduction: The decision maker's perspectives on urban resilience in São Paulo state. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* **2019**, *39*, 101219. [CrossRef]
22. Frantzeskaki, N. Seven lessons for planning nature-based solutions in cities. *Environ. Sci. Policy* **2019**, *93*, 101–111. [CrossRef]
23. Raymond, C.M.; Frantzeskaki, N.; Kabisch, N.; Berry, P.; Breil, M.; Nita, M.R.; Calafapietra, C. A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas. *Environ. Sci. Policy* **2017**, *77*, 15–24. [CrossRef]
24. Kolokotsa, D.; Lilli, A.A.; Lilli, M.A.; Nikolaidis, N.P. On the impact of nature-based solutions on citizens' health & well being. *Energy Build.* **2020**, *229*, 110527. [CrossRef]
25. Korkmaz, C.; Balaban, O. Sustainability of urban regeneration in Turkey: Assessing the performance of the North Ankara Urban Regeneration Project. *Habitat Int.* **2020**, *95*, 102081. [CrossRef]
26. López, A.; Mabe, L.; Cantergiani, C. Integration of multiple methodologies to evaluate effects of Nature Based Solutions on urban climate mitigation and adaptation. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* **2019**, *323*, 012078. [CrossRef]
27. MacKinnon, K.; Dudley, N.; Sandwith, T. Natural solutions: Protected areas helping people to cope with climate change. *Oryx* **2011**, *45*, 461–462. [CrossRef]
28. Parker, J.; Simpson, G.D.; Miller, J.E. Nature-Based Solutions Forming Urban Intervention Approaches to Anthropogenic Climate Change: A Quantitative Literature Review. *Sustainability* **2020**, *12*, 7439. [CrossRef]
29. Chausson, A.; Turner, B.; Seddon, D.; Chabaneix, N.; Girardin, C.A.J.; Kapos, V.; Key, I.; Roe, D.; Smith, A.; Woroniecki, S.; et al. Mapping the effectiveness of nature-based solutions for climate change adaptation. *Glob. Chang. Biol.* **2020**, *26*, 6134–6155. [CrossRef]
30. Burch, S.; Berry, P.; Sanders, M. Embedding climate change adaptation in biodiversity conservation: A case study of England. *Environ. Sci. Policy* **2014**, *37*, 79–90. [CrossRef]
31. Ommer, J.; Buchignani, E.; Leo, L.S.; Kalas, M.; Vranić, S.; Debele, S.; Kumar, P.; Cloke, H.L.; Di Sabatino, S. Quantifying co-benefits and disbenefits of Nature-based Solutions targeting Disaster Risk Reduction. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* **2022**, *75*, 102966. [CrossRef]
32. Anderson, C.C.; Renaud, F.G.; Hanscomb, S.; Gonzalez-Ollauri, A. Green, hybrid, or grey disaster risk reduction measures: What shapes public preferences for nature-based solutions? *J. Environ. Manag.* **2022**, *310*, 114727. [CrossRef]
33. Anderson, C.C.; Renaud, F.G. A review of public acceptance of nature-based solutions: The 'why', 'when', and 'how' of success for disaster risk reduction measures. *Ambio* **2021**, *50*, 1552–1573. [CrossRef] [PubMed]
34. Diaz, S.; Demissew, S.; Carabias, J.; Joly, C.; Lonsdale, M.; Ash, N.; Larigauderie, A.; Adhikari, J.R.; Arico, S.; Baldi, A.; et al. The IPBES Conceptual Framework—Connecting nature and people. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* **2015**, *14*, 1–16. [CrossRef]
35. Howe, C.; Suich, H.; Vira, B.; Mace, G.M. Creating win-wins from trade-offs? Ecosystem services for human well-being: A meta-analysis of ecosystem service trade-offs and synergies in the real world. *Glob. Environ. Chang.* **2014**, *28*, 263–275. [CrossRef]
36. Hauck, J.; Schweppe-Kraft, B.; Albert, C.; Görg, C.; Jax, K.; Jensen, R.; Fürst, C.; Maes, J.; Ring, I.; Hönigová, I.; et al. The Promise of the Ecosystem Services Concept for Planning and Decision-Making. *GAIA* **2013**, *22*, 232–236. Available online: https://www.researchgate.net/publication/259214239_The_Promise_of_the_Ecosystem_Services_Concept_for_Planning_and_Decision-Making (accessed on 14 July 2022). [CrossRef]
37. Wild, T.; Freitas, T.; Vandewoestijne, S. (Eds.) *Nature-Based Solutions State of the Art in EU-funded Projects*; European Commission: Luxembourg, 2020. Available online: https://ec.europa.eu/info/publications/nature-based-solutions-state-art-eu-funded-projects_en (accessed on 29 March 2022).
38. UNEP. *The Fifth Edition of the UNEP Adaptation Gap Report Looks at Progress in Planning for, Financing and Implementing Adaptation—with a Focus on Nature-Based Solutions*; United Nations Avenue: Gigiri, Kenya, 2020. Available online: <https://www.unep.org/resources/adaptation-gap-report-2020> (accessed on 29 March 2022).

39. Castellar, J.A.C.; Popartan, L.A.; Pueyo-Ros, J.; Atanasova, N.; Langergraber, G.; Säumel, I.; Corominas, C.; Comas, J.; Acuña, V. Nature-based solutions in the urban context: Terminology, classification and scoring for urban challenges and ecosystem services. *Sci. Total Environ.* **2021**, *779*, 146237. [\[CrossRef\]](#)
40. Dick, J.; Miller, J.D.; Carruthers-Jones, J.; Dobel, A.J.; Carver, S.; Garbutt, A.; Hester, A.; Hails, R.; Magreehan, V.; Quinn, M. How are nature based solutions contributing to priority societal challenges surrounding human well-being in the United Kingdom: A systematic map protocol. *Environ. Evid.* **2019**, *8*, 37. [\[CrossRef\]](#)
41. Carvalho, P.N.; Finger, D.C.; Masi, F.; Cipolletta, G.; Oral, H.V.; Tóth, A.; Regelsberger, M.; Exposito, A. Nature-based solutions addressing the water-energy-food nexus: Review of theoretical concepts and urban case studies. *J. Clean. Prod.* **2022**, *338*, 130652. [\[CrossRef\]](#)
42. Majidi, A.N.; Vojinovic, Z.; Alves, A.; Weesakul, S.; Sanchez, A.; Boogaard, F.; Kluck, J. Planning Nature-Based Solutions for Urban Flood Reduction and Thermal Comfort Enhancement. *Sustainability* **2019**, *11*, 6361. [\[CrossRef\]](#)
43. Babi Almenar, J.; Elliot, T.; Rugani, B.; Philippe, B.; Gutiérrez, T.N.; Sonnemann, G.; Geneletti, D. Nexus between nature-based solutions, ecosystem services and urban challenges. *Land Use Policy* **2021**, *100*, 104898. [\[CrossRef\]](#)
44. Albert, C.; Schröter, B.; Haase, D.; Brillinger, M.; Henze, J.; Herrmann, S.; Gottwald, S.; Guerrero, P.; Nicolas, C.; Matzdorf, B. Addressing societal challenges through nature-based solutions: How can landscape planning and governance research contribute? *Landsc. Urban Plan.* **2019**, *182*, 12–21. [\[CrossRef\]](#)



Research article

Multi-criteria evaluation method for the selection of nature-based solutions for urban challenges

Julia Wójcik-Madej^a, Joan García^b, Barbara Sowińska-Świerkosz^{a,*}^a Department of Hydrobiology and Ecosystems Protection, University of Life Sciences in Lublin, Dębnińskiego 37, Lublin, 20-262, Poland^b GENMA-Group of Environmental Engineering and Microbiology, Department of Civil and Environmental Engineering, Universitat Politècnica de Catalunya-BarcelonaTech c/ Jordi Girona 1-3, Building D1, E-08034, Barcelona, Spain

ARTICLE INFO

Handling Editor: Lixiao Zhang

1. Introduction

To promote the use of nature-based solutions (NBS) and assist in their implementation, the European Commission and the International Union for Conservation of Nature regularly publish documents. These publications encompass NBS principles (European Commission, 2015, 2020b, 2023; Science for Environment Policy, 2021; IUCN et al., 2016; 2020a, 2020b), offer practical insights into their implementation (European Commission, 2015, 2023; IUCN et al., 2016; 2020a, 2022a, 2023) and provide updates on their current application (European Commission, 2020a, 2020b, 2022, 2023; IUCN, 2022a, 2022b, 2023). These publications have established clear standards for NBS (IUCN, 2020a) and practical guidelines for their implementation (Dumitru and Wendling, 2021). The documents and research papers aim to clarify NBS by identifying their core features and linking them with pre-existing concepts such as ecosystem-based adaptation (EbA), green-blue infrastructure (GBI), ecological engineering (EE), sustainable urban drainage systems (SuDs) and ecosystem services (ESs). They also address current challenges, including climate change mitigation and adaptation, biodiversity loss, air pollution, and poor quality of green infrastructure in urban areas (e.g. Almenar et al., 2021; O'Sullivan et al., 2020; Sowińska-Świerkosz and García, 2022). The current focus of NBS research is to develop methodological frameworks that facilitate the selection and implementation of NBS. These frameworks should also enable effective monitoring and assessment of NBS and promote evidence-based learning from past implementations. These frameworks need to consider the contextual nature of NBS, which makes it challenging to replicate strategies directly. Different implementation approaches can be adopted by

frameworks, usually designed for urban areas (Wickenburg et al., 2021). Some important frameworks include evaluations for assessing and implementing the co-benefits of NBS in urban areas (Raymond et al., 2017), methods for selecting the best-suited context-specific solutions (Sowińska-Świerkosz and García, 2021), enhancing impact assessments within a comprehensive framework for NBS (Dumitru et al., 2020), and the structure for addressing circularity challenges (Atanasova et al., 2021; Langergraber et al., 2021). Despite the mentioned frameworks, many factors are still considered knowledge gaps in the effective implementation of NBS (NetworkNature, 2021). These include aspects related to effective governance systems for NBS implementation (Dumitru et al., 2020), co-benefits and trade-offs (Aggostini et al., 2020), the effectiveness of NBS across different scales and contexts (Eggermont et al., 2021) and the impact of these solutions on health and well-being (Grace et al., 2021). Consequently, it is crucial to identify implementation barriers and opportunities specific to such actions and thus select NBS types that are likely to be particularly effective in a given urban context.

Various factors affect the effective design of NBS, including technological, biophysical, social, ecological, political, and financial issues. These factors both contribute to and limit the development of NBS designs (Almenar et al., 2021). Urban areas pose unique challenges for NBS implementation due to ecological and social aspects. In urban areas, there is typically a localized increase in biodiversity, which may be higher than in other anthropogenic systems like industrialized or agricultural ecosystems. The design of an NBS is uncertain due to the difficulties in predicting the local impacts of climate change on urban systems (Herrmann-Pillath et al., 2022).

* Corresponding author.

E-mail addresses: julia.madej@up.lublin.pl (J. Wójcik-Madej), joan.garcia@upc.edu (J. García), barbara.swierkosz@up.lublin.pl (B. Sowińska-Świerkosz).<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123387>

Received 20 February 2024; Received in revised form 16 October 2024; Accepted 15 November 2024

Available online 25 November 2024

0301-4797/© 2024 Elsevier Ltd. All rights are reserved, including those for text and data mining, AI training, and similar technologies.

Table 1
Methodological assumptions (MAs) and derived research questions (RQs).

Justification	Consequences	Research questions
(MA1) Urban strategy based on the use of NBS should encompass a diverse set of actions		
Urban areas are intricate socio-ecological systems, necessitating diverse strategies to achieve implementation goals. Therefore, one type of NBS should be implemented in an integrated manner with other solutions aimed at addressing a range of societal challenges (IUCN et al., 2016).	Consideration of different types of NBS in terms of stage of implementation, level of human intervention into ecosystem and landscape spatial scale.	(RQ1) What are the possible types of NBS that may be implemented in Lublin?
(MA2) Effective NBS should reach their objectives.		
NBS should respond to urban challenges by eliminating/decreasing the problem or improving the actual state. This challenge-orientation approach distinguishes NBS from other ecological concepts and enables the presentation of these actions to decision-makers as win-win solutions that simultaneously provide a set of benefits (Hermans-Fillath et al., 2022).	Assessment of challenge orientation in relation to seven aspects and the consideration of the four effectiveness levels of NBS.	(RQ 2) What types of NBS address various societal challenges?
(MA3) Enhancement of the NBS implementation should be the result of social compromise.		
NBS have to be accepted by different stakeholder groups to function properly, generate benefits, and avoid failure. To do so, communication between researchers and the administrative bodies is required, together with the mobilization of commitment by various interest groups. The reduction of urban challenge depends not only on how and where but also for whom the NBS will be implemented (Almenar et al., 2021; Hermans-Fillath et al., 2022).	Assessment of social preferences in relation to two key stakeholder groups: local authorities and citizens.	(RQ 3) What types of NBS should be implemented according to different stakeholder groups?
(MA4) Effective NBS should be incorporated into the political context.		
Urban NBS must be well incorporated into the political context. Victims of NBS implementation should complement, not compete with, the existing city vision and movements and be linked with former planning strategies. Path-dependence with existing urban political systems will reduce the risk of land use conflict (Albert et al., 2021; Kabisch et al., 2022).	Feasibility assessment in terms of legal documents and plans.	(RQ 4) What types of NBS are feasible to be implemented according to local planning and law provisions?

Moreover, cities often have a fragmented ecological structure, making it challenging to implement systematic green and blue infrastructure (GBI) that can merge and complement existing ecological systems (Sowińska-Swierkosz et al., 2021). In addition, the selection of

plants and other organisms should generally be influenced by local natural conditions. Urban NBS strategies typically require a combination of native and non-native specimens better adapted to specific urban environmental conditions (Kabisch et al., 2022). In urban areas, strong spatial conflicts, multi-sector interdependencies, and dependency on cultural and planning legacies are prevalent (Kabisch et al., 2022). The active involvement of residents in NBS planning can lead to a better understanding of how climate affects their lives and how to adapt to these changes. This involvement may also increase public support for implementing NBS (Baptiste et al., 2015; Demuzere et al., 2014). Different preferences regarding the implementation of NBS can lead to community conflicts (Giordano et al. 2017a, 2017b; Santoro et al., 2019), which can contribute to the failure to achieve intended actions (Brugnach and Ingram, 2012; Ferretti et al., 2019; Santoro et al., 2019). It is crucial to strive for compromises between the opinions and needs of residents and local authorities. Additionally, it is essential to consider expert opinions, as they can contribute valuable insights to enhance the implementation process of NBS (Josephs and Humphries, 2018; Ferreira et al., 2021; Sowińska-Swierkosz and Garcia, 2021).

When enhancing NBS implementation, it is important to consider ecological and social aspects, as well as the intricacies of scale and cross-scale dynamics in designing urban strategies. This is because solutions cannot be managed in isolation, as ecosystems are affected by (and have effects on) the larger land and seascape in which they are embedded (IUCN, 2020a). In particular, urban areas are affected by external factors, both ecological and socio-political. Implementation of a given solution type at a given location may positively contribute to the increase of ecological integration at the city scale by reinforcing ecological corridors (Almenar et al., 2021; IUCN, 2020a). At the same time, such action may exacerbate social inequalities if implemented alongside other GBI that already exist in affluent neighborhoods (Bockarjova et al., 2020; Kiss et al., 2022).

In summary, urban areas can be described as hybrid systems where natural and cultural components are intertwined. Therefore, urban NBS should meet human needs, be supported by political and management systems, and contribute to ecological processes (Almenar et al., 2021; IUCN, 2020a). Thus, identifying the factors that influence the selection of a solution to be implemented and then defining urban strategies is a challenging task. It must be based on a transdisciplinary, evidence-based, context-specific and equitable approach (Albert et al., 2021). The UNaLab project adopted an approach aimed at co-creating and effectively implementing the NBS, URBAN Green UP project. This project's objective is to develop, apply, and replicate Renaturing Urban Plans and examine how innovation can be fostered in NBS implementation to better respond to urban sustainability challenges. These valuable projects focus on implementing the selected NBS type(s) based on a co-creation and co-development approach. However, there are few studies that focus on all possible types of NBS that can be effectively implemented in urban contexts and take into account a set of local conditions. These conditions should include not only social aspects but also ecological, management and financial considerations.

This paper presents an innovative and novel approach with the general aim of introducing a multi-criteria evaluation method based on four assumptions. This method is used to select the best-suited NBS types to be implemented in urban areas in order to address various challenges. The novelty of the applied method arises from taking an equity approach to ecological, social, and management aspects that are crucial for the effective implementation of NBS. The framework includes all possible NBS types presenting different levels of human intervention in ecosystems. The framework was tested using the example of Lublin, a city in Poland, by analyzing existing solutions and NBS types that have the potential to be implemented.

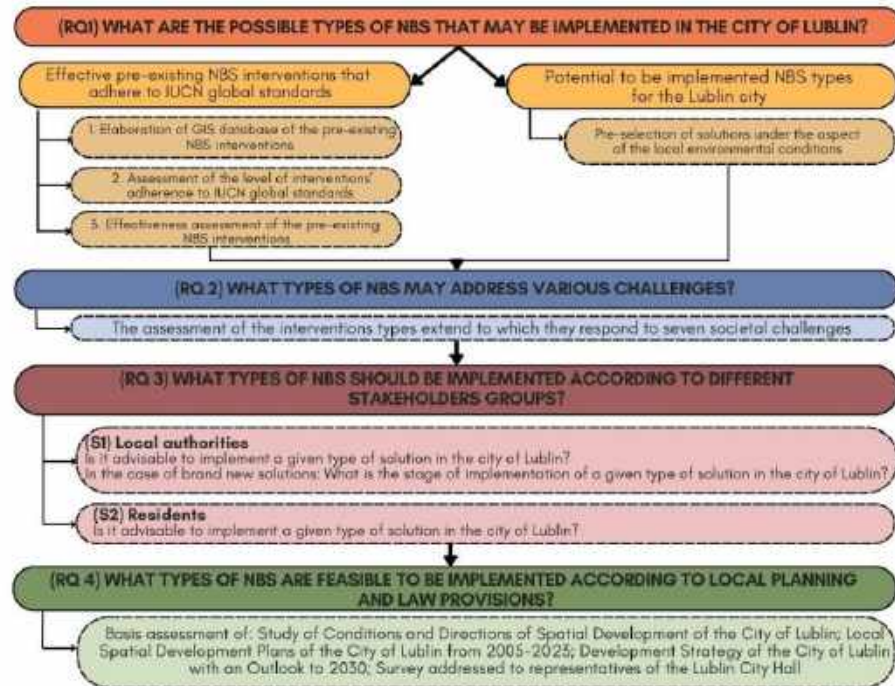


Fig. 1. Methodological framework based on four research questions (RQs) and two general types of NBS (pre-existing and potential NBS types for the analyzed city) aimed to determine effective NBS types to be implemented in the city of Lublin (Poland).

2. Methods

2.1. Methodological framework

The study aimed to develop a framework for selecting a set of NBS types to effectively address various challenges in urban areas, using the example of the city of Lublin in Poland. The framework is based on two general types of NBS, which will further be referred to as:

- (1) pre-existing NBS interventions - interventions that have been implemented earlier, although they may not have been called NBS, to protect, sustainably use and restore degraded natural areas mainly by using green and blue infrastructure and natural infrastructure.
- (2) potential NBS types - interventions that have not been used in the analyzed city before but may be considered in the future, taking into account local ecological, social and management aspects and addressing the city's most important challenges.

In order to effectively choose which NBS to implement in urban areas, a method was used to evaluate different types of NBS based on ecological, social and management factors. The method used a multi-criteria approach, giving equal importance to all three factors. A method called the exclusion approach was employed to select the best-suited NBS for a specific city. This approach means that NBS types that did not meet the criteria for a given stage were not included in further stages. Such an approach enabled the authors of the present paper to select the most effective NBS types from the initial set of several dozen based on the analyzed criteria. The study was based on four

methodological assumptions (MAs) and four research questions (RQs) constituting the basis of the methodological framework (Table 1, Fig. 1).

2.2. Study area description

The city of Lublin, Poland, has been selected as a case study area. Lublin, like many other cities, faces significant urban pressure on green and blue infrastructure (GBI). Consequently, it is essential to safeguard the current structure and introduce new strategies to maintain and enhance the connected and compact nature of biologically active spaces (The Lublin City Council, 2019). Green infrastructure in the city includes elements such as city parks, gardens and forests, flower meadows, sports areas and fields with permeable surfaces, environmentally-friendly urban squares, street greenery, green roofs, walls and bus stops. This infrastructure covers approximately 18% of the city's area, totaling 2627 ha. Blue infrastructure includes elements such as a dam reservoir, river and flood areas that, in total, cover approximately 10% of the city's area, i.e. 1391 ha (Wójcik-Madej and Sowińska-Swierkosz, 2022) (Fig. 2).

2.3. (RQ1) what are the possible types of NBS that may be implemented in Lublin?

In relation to the general NBS analyzed, both pre-existing NBS interventions and potential NBS types to be implemented, the authors of the present study applied the typology proposed by Eggermont et al. (2015), which considers the level of human intervention in ecosystems and landscapes. As a result, the following NBS types were taken into account: minimal interference with the ecosystem through protection

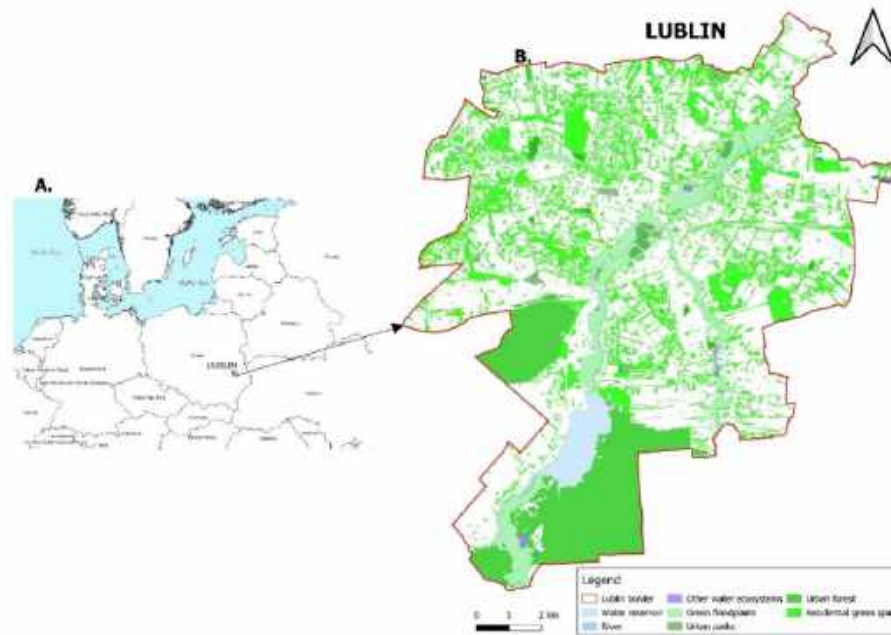


Fig. 2. A. Study area localization on the background of Europe and Poland; B. Lublin city borders and key elements of GBI.

Table 2
Assessment of pre-existing NBS intervention adherence to global IUCN standards used for selecting effective GBI implemented in Lublin city.

Criterion	Statements assessed based on Linkert scale*
Design of NBS is informed by scale	The number of solutions/scale of solutions
NBS result in a net gain to biodiversity/ecosystem integrity	The solution influences the biodiversity gain
NBS are economically viable	The solution's implementation/maintaining costs exceed (potential) benefits
NBS are based on inclusive, transparent and empowering governance processes; NBS are sustainable and mainstreamed within an appropriate jurisdictional context	The solution's management model is effective
NBS are managed adaptively, based on evidence	The solution's management process was/is changed according to needs
NBS are balanced in terms of social benefits and compromises	The solution does not generate social conflicts
NBS equitably balance trade-offs between achievement of their primary goal(s) and the continued provision of multiple benefits	The solution is effective in terms of well-balanced benefits provision

* 1- definitely YES; 2- YES; 3- either YES or NO; 4- NO; 5- definitely NO.

and monitoring activities, sustainable management and natural enrichment of existing urban GBI elements, and the creation of new ecosystems. The specific NBS types were based on the list proposed by Dumitru and Wendling (2021) (pages 123–125). From that list, interventions that are not present in the study area due to natural conditions, land functions and management tactics and techniques were removed. The list was enriched by interventions existing in Lublin that are typical of the Polish conditions, such as conservation zones around water intake

stations and allotment gardens. The details of the method adopted were previously published by the authors as a part of preliminary research (Authors 1).

As a result of the adopted typology, 22 different types of pre-existing NBS interventions were detected. Secondly, as part of the present study, the authors also analyzed whether each of these interventions met the IUCN global standards (IUCN, 2021). Contrary to the majority of studies that usually use IUCN-recommended indicators (e.g., Chales et al., 2023; Le Gouvello, 2023; Berg et al., 2024; Sharma et al., 2024; Vasseur and Andrade, 2024), the authors took a different approach by conducting an online survey aimed at representatives from the Lublin City Office (LCO). Such an approach was used as local authorities have extensive knowledge about the effectiveness of (and issues related to) implementing and operating NBS in social, political, economic and legal terms. Additionally, through monitoring and evaluation, this group draws conclusions about pre-existing NBS interventions and their contribution to intended outcomes and impacts. The survey was conducted online using the Microsoft Forms platform and was based on the use of a 5-point Linkert scale (Table 2).

Adherence to global standards was assessed based on the mean number of points ascribed by all the respondents to each criterion. Following the standards, the level of adherence for each of the pre-existing NBS interventions was classified as strong, adequate, partial or insufficient (Table 3). Interventions with a rating of partial or insufficient were excluded from further stages of the research.

Thirdly, the effectiveness of pre-existing NBS that met IUCN standards was assessed. Five aspects of effectiveness were included: social, policy and management, economic, spatial and long-term effectiveness and 15 indicators were applied (Table 4). The applied methods included field visits, analysis of local documents, literature review, gross assessment of implementation/maintenance costs, and analysis of the GIS environment. The total effectiveness of the solutions was assessed according to the following scale.

Table 3

Scoring criteria for calculating the percentage match of the interventions against the criteria presented in Table 2 and identifying whether a given intervention adheres to the IUCN Global Standard for NBS.

%	Strong >75	50<Adequate>75	25<Partial>50	Insufficient<25
Points	Strong >3.75	2.5<Adequate>3.75	2.5 <Partial>1.25	Insufficient<1.25

- 1 very effective: more than 75% of indicators were scored as high;
- 2 effective: between 75% and 50% of indicators were scored as high/medium;
- 3 partially effective: between 50% and 25% of indicators were scored as high/medium;
- 4 ineffective: less than 25% of indicators were scored as high/medium.

NBS types of effectiveness levels described as partially effective or ineffective were excluded from further stages of the research.

In order to identify potential NBS to implement, the authors looked at the options suggested by Dumitru and Wendling (2021) (pages 123–125) and chose solutions that have not been used in Lublin before and that are suitable for the local environmental conditions. The authors then checked this preliminary list by conducting an online survey of representatives from seven departments of LCO. The final list consists of 30 different NBS types, with 22 being pre-existing types and eight being potential new implementations.

2.4. (RQ 2) what types of NBS address various societal challenges?

This stage was based on the results of the previous study conducted by authors aiming at the challenge-orientation assessment of pre-existing NBS interventions implemented in Lublin (Authors 1). A set of 11 qualitative and quantitative indicators were used to assess the extent to which each of the pre-existing NBS types responds to seven social challenges listed by the IUCN: (1) climate change adaptation and mitigation, (2) disaster risk reduction, (3) socio-economic development, (4) human health, (5) food security, (6) the water security challenge and (7) ecosystem degradation and biodiversity loss. The total number of challenges met by a given NBS type was used to assess its challenge orientation on the following scale: (1) strong ≥ 6 , (2) 4 $\leq$ adequate > 6 , (3) 2 $\leq$ partial > 4 and (4) insufficient < 2 .

2.5. (RQ 3) what types of NBS should be implemented according to different stakeholder groups?

A set of feasible NBS types, selected in previous stages, was presented to two stakeholder groups through an online survey using the Microsoft Forms platform. The two stakeholder groups were: (S1) representatives of the different departments of the Lublin City Office (5 respondents) and (S2) citizens from different Lublin districts (105 respondents). To make the survey user-friendly, it was illustrated with photographs of existing NBS and a short description in easy-to-understand language along with graphs/examples of innovative solutions. Each group of respondents was asked to express their opinion on the potential implementation of a specific solution type in Lublin by rating it on a 5-point Likert scale (Table 5). The total assessment was based on the mean number of points given to each intervention by all respondents in a particular group. The preference scale used was as follows: (1) strong preference > 3.75 points, (2) 2.5<medium preference > 3.75 points, (3) weak preference < 2.5 points. Solutions with weak preferences were excluded from the final list of NBS types best suited for Lublin.

2.6. (RQ 4) what types of NBS are feasible to be implemented in Lublin according to local planning and law provisions?

The potential NBS types identified in the previous stages of the study were evaluated based on the following criteria.

- inclusion to be implemented in local planning and law provisions, including the Study of Conditions and Directions of Spatial Development of Lublin (2019), the spatial local plans from 2005 to 2023, Lublin development strategy of 2018 with an outlook to 2030, Environmental Impact Forecast Development Strategy of the Lublin Municipality for 2021–2030, which formed a baseline assessment conducted by authors;
 - the current stage of their implementation according to the representatives of LCO knowledge as indicated in the online survey described in section 2.3.3
- Solutions that are planned to be implemented or further developed, according to at least one source, were included in the final selection of the most suitable types of nature-based solutions for Lublin.

3. Results

Fig. 3 illustrates the exclusion approach and criteria applied in the subsequent stages of the multi-criteria evaluation method, as well as the results of a number of the best-suited NBS types (in circles) to be implemented in Lublin. The results of each stage are described in detail in sections 3.1. to 3.4.

3.1. (RQ1) what are the possible types of NBS that may be implemented in Lublin?

In the initial phase of the study, the authors examined 22 pre-existing NBS types to assess their alignment with the global standards established by the IUCN (Table 6; Column A). The assessment sheet showed that 11 of the solutions strongly adhered to the standards, ten adhered adequately, and one only partially adhered. As a result, the solution “Maintenance of agriculture areas” that only partially aligned with the standards was not included in further stages of the research. A total of 21 solutions were assessed in the next stage of the research.

The assessment of effectiveness showed that out of 21 pre-existing NBS types, two were very effective, and the others were deemed effective (Table 6; Column B). Regarding the effectiveness levels, the lowest effectiveness was reported in the case of social, spatial and economic factors, while the highest was reported in relation to political and long-term factors (Appendix C). The most effective solutions were “Ensuring the continuity of the ecological network” and “Restoring degraded waterbodies”. As none of the NBS types were rated as partially or non-effective, all 21 types were included in further stages of the research.

In the case of potential NBS types to be implemented in Lublin, eight of them were identified and further analyzed in stages 2, 3 and 4 (Table 7).

3.2. (RQ 2) what types of NBS may address various challenges?

The results of the assessment showed that ten NBS interventions

Table 4

Indicators and scoring criteria used to evaluate the effectiveness of pre-existing interventions in the Lublin area in terms of social, political, economic, and spatial aspects.

Effectiveness level	Indicator	Scale
Social	S1. Level of equipment in elements facilitating social interactions (e.g. benches, walking routes, meeting spots, dog parks)	S1, S2, S3: High $\geq 75\%$; 50% $\leq$ Medium $> 75\%$; 25% $\leq$ Low $> 50\%$; Very low $< 25\%$ of interventions belonging to a given NBS type is equipped with a given facility
	S2. Level of equipment in sport facilities	
	S3. Level of equipment in playgrounds	
Political	P1. Existence of top-down regulations	
	P2. Existence of competent units to implement/manage a given solution (e.g. municipal department, local government unit, association)	P1, P2, P3: Full; Partial; None
	P3. Existence of effective management model	
Economical	E1. Approximate cost of solution implementation	E1, E2: High $< 25\%$; 25% $\leq$ Medium $> 50\%$; 50% $\leq$ Low $> 75\%$; Very low $> 75\%$, where
	E2. Approximate cost of solution maintenance	
	E3. Level of producing energy from renewable sources and water reuse	100% is related to the approximate cost of the most expensive solution from

		analyzed set; E3: High; Medium; Low; Very low based on the expert assessment		
Spatial	SP1. % of interventions' area in relation to the Lublin area /Number of interventions	SP1: 50%≤Medium>75%; 25%≤ Very low<25%, where 100% is equal to	SP2: High≥75%; 25%≤ Low>50%;	
	SP2. Accessibility to the solution for citizens (district level)	the total number of Lublin districts (27); SP3: High; Medium; Low; Very low based on the expert assessment		
	SP3. Level of biodiversity enhancement			
Long-term	T1. Positive impact on ecological connectivity	T1, T2: High; Medium; Low; Very low T1. Based on the GIS landscape changes analysis (before-after NBS implementation)		
	T2. Impact on health of residents (activation for outdoor activities)	T2. Based on the expert assessment		
	T3. Level of rainwater retention	T3: High ≥ 80%; <80% Medium >40%; Low <40% based on the Retention rate for individual forms of land development (own elaboration based on Oral et al. 2020)		

were of strong challenge orientation, 14 of adequate and five of partial challenge orientation (Table 6; Column C). The latter interventions refer to "Nesting boxes for native bats", "Insect hotels", "Installation of apiaries", "Rainwater collection systems", and "Temporally green installations". The partial challenge orientation of these interventions stems from their specific nature and concentration in specific areas. Solutions must be sufficiently large to effectively address societal challenges related to reducing disaster risk and adapting to (and mitigating) climate change. As a result, 17 pre-existing types of NBS interventions and seven potential NBS types to be implemented were further analyzed based on stakeholders' preferences.

3.3 (RQ 3) what types of NBS should be implemented in Lublin according to different stakeholder groups?

Both groups of respondents expressed strong preferences for most of the analyzed solutions (Table 6, Column D, E). However, the representatives of LCO were more critical than the citizens, especially regarding the existing NBS types. Weak preferences were expressed for two types of solutions: "Allotment gardens" (2.8 Points) by citizens and "Natural bathing ponds" (2.4 Points) by representatives of LCO. As a result, these solutions were not included in the final stage of the assessment.

Table 5
Structure and dissemination channels of online surveys addressed to representatives of the Lublin City Office (LCO) and Lublin residents.

Questions		Intervention type	
		Pre-existing interventions	Potential solution to be implemented
Local authorities			
Is it advisable to implement a given type of solution in Lublin?	5 point Likert scale ^a	✓	✓
What is the stage of implementation of a given type of solution in Lublin?	multiple choice ^a		✓
Dissemination channels: the contact persons in the Lublin City Office (LCO) representing different departments and having suitable knowledge			
Residents			
Would you like a given solution to be implemented in Lublin?	5 point Likert scale ^a	✓	✓
Dissemination channels: websites of the Lublin City Office, websites and meetings of district councils			

^a 5 point Likert scale: 1-definitely YES; 2- YES; 3- either YES or NO; 4- No, 5-definitely NO; “no action was taken; idea; preliminary analysis; inclusion in strategic and/or planning documents; execution of the concept/implementation project; securing financing; preparatory work in the field; I have no knowledge about it.

3.4. (RQ 4) what types of NBS are feasible to be implemented in Lublin according to local planning and law provisions?

According to local provisions and planning documents, all of the pre-existing NBS solutions and four potential NBS types to be implemented have been identified as feasible for further implementation (Table 6, Column E). It derives either from their involvement in local proceedings or the planning/implementation stage declared by representatives of the LCO (Appendix C). There are two potential NBS types to be implemented that are not mentioned in any of the local law documents or provisions, and they include “Biofiltration basins and ditches” and “Infiltration ditches”. Therefore, they were not included in the final set of the most suitable NBS for Lublin.

3.5. Final set of the best-suited NBS types to be implemented in Lublin

From the initial set of 30 NBS types, after considering a multi-criteria evaluation method, the final set of 20 solutions (66% of the initial set)

best-suited for Lublin was identified (Figs. 3 and 4). Among these, 16 are pre-existing NBS types, while four are potential NBS types that could be implemented in the city. The main criteria for exclusion from this final set were challenge orientation and implementation feasibility. Adherence to global standards and social preferences were moderately important factors, while the effectiveness of existing solutions turned out to be less significant in the selection of the final set of the best-suited NBS types to be implemented in Lublin.

4. Discussion

4.1. Urban strategy based on the use of NBS should encompass a diverse set of actions

Urban areas are complex socio-ecological systems, and therefore, different types of NBS are required to obtain implementation goals (IUCN et al., 2016). Effective NBS should be based on best practices, and the pre-existing NBS interventions effective in the long term can be considered as “living labs” and should be implemented alongside new innovative solutions (Sowirika-Swierkosz and Garcia, 2022). This approach will also ensure the implementation of solution types representing different levels of human intervention in ecosystems and landscapes. These include restoration strategies, sustainable development activities and the creation of new ecosystems (Eggermont et al., 2015). In other words, it involves no-tech, low-tech and high-tech solutions (Snep et al., 2020). Urban systems usually require extensive and complex infrastructure to meet human needs. Meeting societal challenges in urban areas cannot be achieved solely based on solutions with minimum or medium human intervention in ecosystems, as can be done in protected or rural areas. Therefore, in some cases, extensive modification of urban ecosystems and the creation of new ones are required, while in other cases, only low-intervention NBS types, such as the restoration and nature-based management of coastal areas and wetlands, can be successfully applied (Almeida et al., 2021).

The same has been found for the Lublin case study, as both pre-existing NBS types and potential NBS types to be implemented for the city were detected as being the best-suited. When analyzing their integration into the ecosystem and landscape, it was found that 20% of them require minimal interference with the ecosystem, involving protection and monitoring activities, 45% involve sustainable management and natural enrichment of existing urban GBI elements, 10% involve creating new ecosystems, while 25% involve implementing natural or semi-natural water storage and transport systems. Furthermore, the selected interventions vary in scope, including the criterion of legal framework, passive and active protection actions, and the improvement

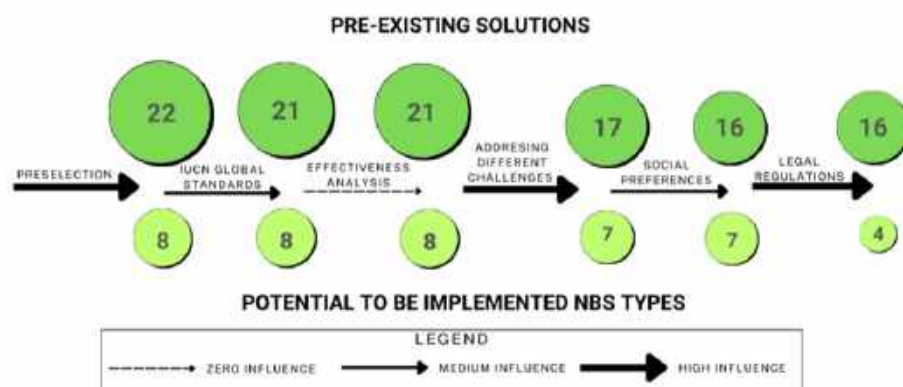


Fig. 3. The results of the exclusion approach applied in the Lublin case study to select the best-suited NBS types for implementation in Lublin.

Table 6

Possible types of pre-existing NBS interventions for implementation in the Lublin area along with their assessment in terms of IUCN global standards and overall effectiveness level. This assessment includes challenge orientation, stakeholders' opinions on implementation needs, and consideration of the analyzed set of NBS solutions in local planning and legal provisions.

Type of intervention	PRE-EXISTING NBS INTERVENTIONS					
	A. Adherence to IUCN standards	B. Total effectiveness	C. Challenge-orientation	D. Preferences of local authorities	E. Preferences of residents	F. Local planning
Urban parks	STRONG	EFFECTIVE	STRONG	STRONG	STRONG	YES
Allotment gardens	STRONG	EFFECTIVE	STRONG	STRONG	WEAK	-
Flower meadows	STRONG	EFFECTIVE	ADEQUATE	STRONG	STRONG	YES
Sport fields with permeable	STRONG	EFFECTIVE	ADEQUATE	STRONG	STRONG	YES
Pro-ecological square design	STRONG	EFFECTIVE	ADEQUATE	STRONG	STRONG	YES
Urban forest	STRONG	EFFECTIVE	ADEQUATE	STRONG	STRONG	YES
Green transport tracks	STRONG	EFFECTIVE	ADEQUATE	STRONG	STRONG	YES
Trees with protective tree-	STRONG	EFFECTIVE	STRONG	STRONG	STRONG	YES
Restoring degraded water-	STRONG	VERY EFFECTIVE	STRONG	STRONG	STRONG	YES
Maintaining floodplains	STRONG	EFFECTIVE	STRONG	STRONG	STRONG	YES
Establishment of pro-	ADEQUATE	EFFECTIVE	ADEQUATE	MEDIUM	MEDIUM	YES
Conservation zones	ADEQUATE	EFFECTIVE	STRONG	MEDIUM	STRONG	YES
Controlled erosion by	ADEQUATE	EFFECTIVE	STRONG	MEDIUM	STRONG	YES
Ensuring continuity of	ADEQUATE	VERY EFFECTIVE	STRONG	MEDIUM	STRONG	YES
Playgrounds with permeable	ADEQUATE	EFFECTIVE	STRONG	MEDIUM	STRONG	YES
Green roofs and walls	ADEQUATE	EFFECTIVE	ADEQUATE	MEDIUM	STRONG	YES
Green bus stops	ADEQUATE	EFFECTIVE	ADEQUATE	MEDIUM	STRONG	YES
Nesting boxes for native	STRONG	EFFECTIVE	PARTIAL	-	-	-
Insect hotels	ADEQUATE	EFFECTIVE	PARTIAL	-	-	-
Installation of apiaries	ADEQUATE	EFFECTIVE	PARTIAL	-	-	-
Rainwater collection sys-	ADEQUATE	EFFECTIVE	PARTIAL	-	-	-
Maintenance of agricultural	PARTIAL	-	-	-	-	-
POTENTIAL TO BE IMPLEMENTED NBS TYPES						
Rain garden	NOT APPLICABLE	NOT APPLICABLE	STRONG	STRONG	STRONG	YES
Pro-ecological develop-	NOT APPLICABLE	NOT APPLICABLE	ADEQUATE	STRONG	STRONG	YES
Temporary green installa-	NOT APPLICABLE	NOT APPLICABLE	PARTIAL	-	-	-
Retention pond	NOT APPLICABLE	NOT APPLICABLE	ADEQUATE	STRONG	STRONG	YES
Biofiltration basins and	NOT APPLICABLE	NOT APPLICABLE	ADEQUATE	STRONG	STRONG	NO
Infiltration trenches	NOT APPLICABLE	NOT APPLICABLE	ADEQUATE	STRONG	STRONG	NO
Hybrid wastewater treat-	NOT APPLICABLE	NOT APPLICABLE	ADEQUATE	MEDIUM	MEDIUM	YES
Natural bathing ponds	NOT APPLICABLE	NOT APPLICABLE	ADEQUATE	WEAK	STRONG	-

Table 7

Potential to be implemented NBS types interventions for Lublin area.

1. Rain garden	5. Biofiltration basins and ditches
2. Pro-ecological development of loess meadows	6. Infiltration trenches
3. Temporary green installations	7. Hybrid wastewater treatment plants
4. Retention ponds	8. Natural bathing ponds

of social infrastructure to enrich ecological values and services. Therefore, the best strategies for Lublin involve complementary interventions that penetrate both spatially and functionally.

4.2. Effective NBS should reach their objective

Challenge orientation should be considered one of the main characteristics of NBS. This enables presenting these actions to policy planners and decision-makers as win-win solutions simultaneously providing different benefits (Herrmann-Pillath et al., 2022). The concept of challenge orientation refers to how NBS can address specific challenges, such

as those identified by IUCN (2020a) and examined in the presented study. Addressing these challenges requires solutions that are not only of a certain type (e.g., urban agriculture for food provision) and effective but also appropriate in scale to successfully tackle the challenges (Frantzeskaki et al., 2019). Urban challenges with global implications, such as climate change adaptation and mitigation, require the implementation of large-scale initiatives that are at least district-wide in scope (Science for Environment Policy, 2021). Initiatives at this scale have a greater potential to positively impact human well-being, biodiversity and the economy.

The most significant challenges for Lublin include human health issues, climate change adaptation and mitigation, and ecosystem degradation/biodiversity loss (Authors 1). The study indicates that large-scale nature-based solutions such as allotment gardens, urban forests, green transport tracks and trees with protective or recreational functions are more effective in addressing these challenges. On the other hand, small-scale solutions like nesting boxes for native bats, insect hotels, apiaries, rainwater collection systems, and temporary green installations were found to be only partially effective in addressing societal challenges. These small-scale NBS types do not fully respond to disaster risk reduction, socio-economic development, and ecosystem degradation.

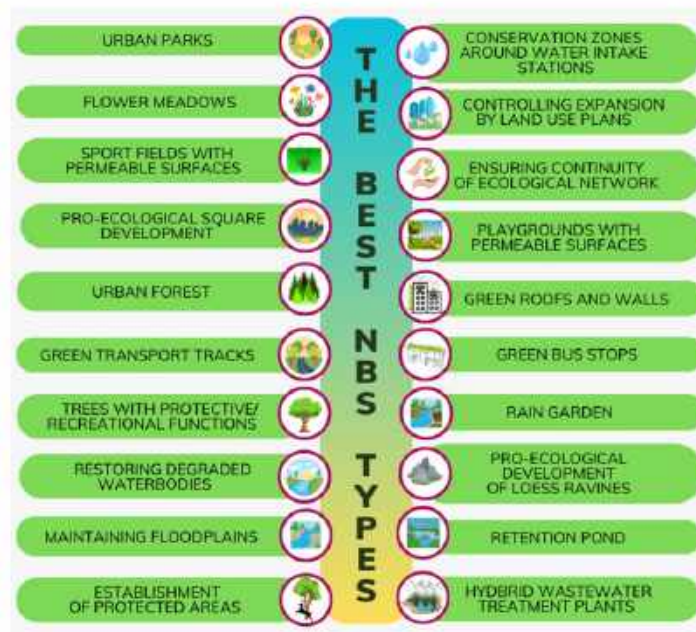


Fig. 4. The total set of the best-suited NBS types to be implemented in Lublin selected using the multi-criteria evaluation method.

The study recommends the implementation of innovative solutions like rain gardens, retention ponds, and hybrid wastewater treatment plants in Lublin to comprehensively address a range of societal challenges and enhance retention levels and water purification.

4.3. Enhancement of the NBS implementation should be the result of social compromise

It is essential for all urban strategies, including NBS, to receive approval from various stakeholder groups in order to function effectively, produce benefits, and avoid failure. This requires communication between researchers and administrative bodies and the mobilization of commitment from different interest groups. The successful implementation of NBS depends not only on how and where they are implemented but also for whom they are implemented (Almenar et al., 2021; Herrmann-Pillath et al., 2022). Prioritizing stakeholders' actions related to NBS reveals that the creation of accessible parks and gardens, bike paths, exercise facilities, water bodies, and additional amenities such as benches and lighting are crucial (Ferreira et al., 2021). Paul and Nigendra (2017) also emphasized the importance of introducing more green spaces to provide psychological and environmental health benefits for users. In addition to this, reducing heat stress and managing stormwater (Duan et al., 2018; Langergraber et al., 2021) are important for users, as well as ensuring ecological sustainability to protect wildlife and enhance the aesthetics of cities (Bain et al., 2016). These findings are in line with the Lublin case study. The analyzed groups of respondents expressed strong preferences for elements GBI that directly impact human well-being, such as urban parks and sports fields, and for actions aimed at protecting and enhancing urban greenery and waters. This includes planting trees with protective functions and restoring degraded water bodies. The passive actions aimed at establishing protected areas are of moderate preference, as both groups are aware that procedural actions alone are not enough to provide expected ecosystem services and

benefits. It may be surprising that there is a weak resident preference towards the implementation of more allotment gardens. Currently, there are 34 such complexes in Lublin. This lack of preference stems from the fact that these gardens can only be directly used by the owners, leading to irregular provision and distribution of benefits. As a result, most of the services are obtained by a few people, which increases environmental injustice (Sowinski-Swierkosz et al., 2021). Moreover, negative ecological impacts of Polish allotment gardens have been reported (Bartomiejski and Kowalewski, 2019; Trembecka and Kwiatnik-Pruc, 2018).

4.4. Effective NBS should be incorporated into the political context

In urban areas, there are various levels of management bodies, including private owners (gardens), companies (green roofs on shopping centers), local communities (green playgrounds), the city (public parks) and even national owners (river valley). Moreover, even though some cities may share similar ecological conditions, each city is unique due to its cultural, historical and political background. Therefore, urban managers cannot use a one-size-fits-all approach when implementing NBS (Sowinski-Swierkosz and Garcia, 2022). For example, some cities have deep historical roots and have been developed over centuries, while others are more recent creations (Kabisch et al., 2022). As a result, urban NBS must not only cater to the local population's needs but also be well-integrated into the political context. To achieve this, the visions of NBS implementation should complement, rather than compete with, the city's existing vision and planning strategies (Albert et al., 2021). Aligning NBS with the existing urban political systems will help reduce the risk of land use conflicts (Kabisch et al., 2022).

The same approach was also adopted in the current study. It was found that the further implantation and/or improvement of all analyzed pre-existing NBS interventions are included in local planning and legal provisions. It was confirmed that the existing solutions are described as

effective and efficient. Out of the potential types of NBS to be implemented in the city, only two of them, i.e. "Biofiltration basins and ditches" and "Infiltration trenches", are not included in LCO implementation plans. Of course, for innovative NBS to be successfully implemented and to function, policy changes are also required, such as establishing a legal framework for implementation.

4.5. Novelty and limitation of adopted multi-criteria evaluation method

The advantage and novelty of this approach lie in its consideration of all potential types of NBS that can be effectively implemented in an urban area. It takes into account specific local conditions, including social, environmental, managerial and financial issues. Another advantage of the presented scheme is the general character, which enables its application in Polish and European conditions. This is possible because the developed multi-criteria evaluation method is based on widely accepted IUCN global standards and urban challenges. Moreover, the framework is not limited to a specific set of NBS types typical for Polish conditions but can be adapted to any set of interventions suitable for a given geographical and social context, including both pre-existing and potential NBS types to be implemented. Therefore, the described framework can be used in courtyards with well-developed NBS structures and those in the initial implementation phase of these solutions.

The utilized multi-criteria evaluation method has limitations as it excluded certain NBS types that could effectively address local issues specific to Lublin and other cities. To overcome this limitation, a more detailed analysis is needed to identify NBS types that are better suited to address the unique challenges faced by the city. Another limitation of the adopted approach was the simplification of the methodology for NBS adherence to IUCN global standards. Unlike most studies, which rely on IUCN-recommended indicators, the authors of the present study conducted an online survey targeting representatives from the Lublin City Office (LCO). This approach simplified the scope of the survey to make it easily understandable by non-experts in NBS and management practices. As a result, aspects such as intervention connectivity, which fit into the general socio-economic context and biophysical landscape and are crucial for global standards, were not included. However, these aspects were analyzed from an expert point of view in the effectiveness assessment stage. Stakeholders' subjectivity, coupled with their limited knowledge and awareness about the full spectrum of environmental and economic benefits of the different NBS types, may also be considered as a certain limitation. This is particularly important in the case of Poland, where the lack of research on NBS has led to fragmented knowledge among citizens on the subject (Burszta-Adamiak, 2015; Kronenberg

et al., 2017; Malecka-Ziembinska and Janicka, 2022). However, in Western European countries, awareness about NBS is generally higher due to greater experience with NBS implementation (Kronenberg et al., 2017). These countries have also been experiencing rapid weather changes, enabling stakeholders to link the effects of climate change with measures to mitigate them through the implementation of NBS (Ferreira et al., 2022).

5. Conclusions

After considering IUCN global standards, effectiveness level, challenge orientation, social preferences, and implementation feasibility, the final set of the best-suited NBS types for Lublin consists of 20 solutions (66% of the initial set). These solutions encompass varying levels of human intervention in ecosystems and landscapes, indicating that effective NBS require diversified approaches. The solutions primarily aim at sustainable management and natural enrichment of existing urban green and blue infrastructure. Large and medium-scale solutions were deemed most effective for the city. Exclusion from the final set was based on challenge orientation and implementation feasibility. The innovative aspect of this approach is that it considers all possible types of NBS that can be effectively implemented in an urban area. It takes into account specific local conditions, including social, environmental, managerial, and financial factors.

CRediT authorship contribution statement

Julia Wójcik-Madej: Writing – original draft, Visualization, Software, Investigation, Formal analysis. **Joan Garcia:** Writing – review & editing, Methodology. **Barbara Sowinska-Swierkosz:** Writing – original draft, Supervision, Methodology.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgments

We would like to thank the Lublin City Office for its contribution to the research, including completion of on-line questionnaires, participation in face-to-face and telephone interviews and spatial data sharing.

Appendix A. Model questionnaire on NBS implementation' preferences

SURVEY

NATURE-BASED SOLUTIONS: BENEFITS, PROBLEMS AND IMPLEMENTATION NEEDS

The questionnaire was prepared for the purposes of the doctoral dissertation entitled 'Determination of optimal location of Nature-based solutions (NBS) on the example of the city of Lublin' carried out at the Doctoral School of the University of Life Sciences in Lublin.

The purpose of the questionnaire is to select the Nature-Based Solutions that should be implemented in the City of Lublin according to residents' preferences.

INSTRUCTION

The questionnaire consists of two parts. Part one focuses on NBS that have been already implemented in Lublin and preferences for their further implementation. The second part focuses on innovative solutions that have not yet been implemented in the city and the identification of preferences for their implementation. Rate on a scale of 1 to 5: 1 means strongly disagree and 5 means strongly agree. If you are unsure, please tick 'Don't know/Not applicable'.

METRIC

DEGREE OF KNOWLEDGE OF NATURE-BASED SOLUTIONS

☐ I first learned about this type of solution from this survey.
☐ I have heard of "Nature-based solutions" but don't know what it means.
☐ I have knowledge of this type of solution.

AGE ☐ <18 ☐ 18-25 ☐ 26-35 ☐ 36-45 ☐ 46-55 ☐ 56-65 ☐ >65 **GENDER** ☐ Male ☐ Female ☐ Prefer Not to Answer

PERIOD OF RESIDENCE IN LUBLIN ☐ Less than 1 year ☐ 1 - 5 years ☐ 5 - 10 years ☐ More than 10 years

CURRENT DISTRICT OF RESIDENCE (If you do not know the name of the district, please select "Other" and write the street you live in):
☐ Abramowice ☐ Bronowice ☐ Czechów Południowy ☐ Czechów Północny ☐ Czuby Południowe ☐ Czuby Północne
☐ Działosza ☐ Felin ☐ Głusk ☐ Hajdów-Zadębie ☐ Kalinowszczyzna ☐ Konstantynów ☐ Kośminiek ☐ Ponikwoda
☐ Rury ☐ Sławin ☐ Sławinek ☐ Stare Miasto ☐ Szerokie ☐ Śródmieście ☐ Tatary ☐ Węglin Południowy ☐ Węglin Północny
☐ Wieniawa ☐ Wrotków ☐ Za Cukrownią ☐ Zemborzycze ☐ Other: _____

PART I: NATURE-BASED SOLUTIONS EXISTING IN THE CITY OF LUBLIN



fot. Julia Wójcik-Madej

Solution: Allotment gardens



fot. Julia Wójcik-Madej



fot. Barbara Sowińska-Świerkosz

QUESTIONS:

I enjoy the benefits of allotment gardens:

I would like to more allotment gardens be implemented in the Lublin city:

RATING SCALE:

1 - strongly disagree 2 - rather disagree 3 - neither agree nor disagree 4 - rather agree 5 - strongly agree Do not know/ not applicable

I enjoy the benefits of allotment gardens:

I would like to more allotment gardens be implemented in the Lublin city:

1 2 3 4 5

DISTRICT(S) PREFERRED FOR THE ESTABLISHMENT OF ALLOTMENT GARDENS

(You may also indicate the exact location when selecting "Other")

☐ Abramowice ☐ Bronowice ☐ Czechów Południowy ☐ Czechów Północny ☐ Czuby Południowe ☐ Czuby Północne
☐ Działosza ☐ Felin ☐ Głusk ☐ Hajdów-Zadębie ☐ Kalinowszczyzna ☐ Konstantynów ☐ Kośminiek ☐ Ponikwoda
☐ Rury ☐ Sławin ☐ Sławinek ☐ Stare Miasto ☐ Szerokie ☐ Śródmieście ☐ Tatary ☐ Węglin Południowy ☐ Węglin Północny
☐ Wieniawa ☐ Wrotków ☐ Za Cukrownią ☐ Zemborzycze ☐ Other: _____

SURVEY

NATURE-BASED SOLUTIONS: BENEFITS, PROBLEMS AND IMPLEMENTATION NEEDS

DO YOU HAVE ANY ADDITIONAL COMMENTS ON THE FUNCTIONING AND/OR IMPLEMENTATION OF ALLOTMENT GARDENS IN THE CITY OF LUBLIN?

PART II: INNOVATIVE SOLUTIONS FOR THE LUBLIN CITY

Solution: Hybrid wastewater treatment plants

Hybrid wastewater treatment plants – use so-called hydrophytes in their technology, i.e. special plant species that, during their growth, utilise nutrients contained in wastewater, such as nitrogen and phosphorus by assimilating them in their root zone or sorbing them on their surface.



fol. Krzysztof Józwiakowski



fol. Krzysztof Józwiakowski

QUESTIONS:

RATING SCALE:

1 - strongly disagree 2 - rather disagree 3 - neither agree nor disagree 4 - rather agree 5 - strongly agree Do not know/ not applicable

I would like hybrid wastewater treatment plants to be implemented in the Lublin city

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

DISTRICT(S) PREFERRED FOR THE ESTABLISHMENT OF HYBRID WASTEWATER TREATMENT PLANTS

(You may also indicate the exact location when selecting "Other")

☐ Abramowice ☐ Bronowice ☐ Czechów Południowy ☐ Czechów Północny ☐ Czuby Południowe ☐ Czuby Północne
☐ Działowa ☐ Felin ☐ Głusk ☐ Hajdów-Zadębie ☐ Kalinowszczyzna ☐ Konstantynów ☐ Kośminak ☐ Ponikwoda
☐ Rury ☐ Sławin ☐ Sławinek ☐ Stare Miasto ☐ Szerokie ☐ Śródmieście ☐ Tatary ☐ Węglin Południowy ☐ Węglin Północny
☐ Wieniawa ☐ Wroclów ☐ Za Cukrownią ☐ Zemborzycze ☐ Other: _____

DO YOU HAVE ANY ADDITIONAL COMMENTS ON THE IMPLEMENTATION OF HYBRID WASTEWATER TREATMENT PLANTS IN THE LUBLIN CITY?

Appendix B. Detailed results of effectiveness assessment in relation to social, political, economical spatial and long-term effects of analyzed NBS types

NBS type	Effectiveness level						Total effectiveness
	Social (S1, S2, S3)	Political (P1, P2, P3)	Economical (E2, E2, E3)	Spatial (SP1, SP2, SP3)	Long-term (T1, T2, T3)		
1. Establishment of protected areas	Low N/A	Full Full Partial	Medium Medium N/A	Low Low High	High High High		Effective
2. Conservation zones around water intake stations	N/A	Full Full Partial	High High Medium	Low Medium Medium	Medium Medium Medium		Effective
3. Controlling the expansion of the city through provisions in Land Use Plans	N/A	Full Full Partial	Medium Medium N/A	Medium High High	High Medium Medium		Effective
4. Ensuring the continuity of the ecological network	N/A	Full Full Partial	Medium Medium N/A	High High High	High High High		Very effective
5. Urban parks	High High High	Full Full Full	Low Low Medium	Low Medium High	High High Medium		Effective
6. Allotment gardens	Low Very low Very low	Full Full Partial	Medium High Low	Medium High Medium	High Medium Medium		Effective
7. Flower meadows	N/A	Full Full Full	High High Low	Low Low High	High Medium High		Effective
8. Playgrounds with permeable surfaces	High High High	Full Full Partial	Medium Medium Low	Medium High Low	Medium Medium Low		Effective
9. Sport fields with permeable surfaces	Medium High Medium	Full Full Partial	Medium Medium Low	Medium High Low	Medium High Low		Effective
10. Pro-ecological square development	High Low Low	Full Full Full	Medium Medium Medium	Low Low Medium	Medium Medium Low		Effective
11. Urban forest	Low Low N/A	Full Full Partial	High High N/A	Medium Very low High	High High High		Effective
12. Green transport tracks	N/A	Full Full Full	Medium High N/A	Low Medium Medium	High Medium Medium		Effective
13. Planting trees with protective and recreational functions	N/A	Full Full Full	Medium High N/A	Low Medium Medium	High Medium Medium		Effective
14. Nesting boxes for native bats	N/A	Full Full Full	High High N/A	Medium Low Medium	N/A Low N/A		Effective
15. Insect hotels	N/A	Full Full Full	High High N/A	Medium Medium Medium	N/A Low N/A		Effective
16. Installation of apiaries	N/A	Full Full Partial	High High N/A	Low Medium High	N/A Medium High		Effective
17. Grass roofs and walls	High Low Low	Full Full Partial	Low Medium Medium	Low Low Medium	Low Medium Medium		Effective
18. Green bus stops	N/A	Full Full Partial	Medium Medium Medium	Low Low Low	High Medium Low		Effective
19. Restoring degraded waterbodies	N/A	Full Full Partial	Medium Medium N/A	Low Medium High	High Medium High		Very effective
20. Maintaining floodplains	Medium Low Low	Full Full Partial	Medium Medium N/A	Low Medium High	N/A Medium High		Effective
21. Rainwater collection systems	N/A	Full Full Partial	Medium High N/A	Low Very low Very Low	N/A High High		Effective

N/A = not applicable

Appendix C. The consideration of a given NBS type in local planning and law provisions

PRE-EXISTING NBS SOLUTIONS

Urban parks: YES

The provisions of the Study indicate that local land use plans should take into account the designation of publicly accessible areas intended for: organized greenery related to leisure and recreational needs of the public and of a public nature park and forest parks. In particular, it is necessary to ensure the functioning of: greenery in river valleys such as: Nadwarcany Park/Wroclaw, Park Ładowy, Park Romka, Zawłocze Park, Nadwarcany Park/Bronowice, Park in Gluch, Wywielonin Park; greenery in ravines and dry valleys such as: Rury Park, John Paul II Park, Academic Park, Kalinowiczyno Park, Czechów Park, Park in Górki Czechowskie, Park in Węgin, Abramowice Park, Felin Park, Konstantynów Park, Dębina Park, SławitkaWola Park, Stawin Park, Rudnik Park, and Pouliwoda Park.

Flower meadows: YES

In the Study in the Zone of protection of natural and scenic values of the area of Górki Czechowskie, the location of passive recreation sites, among others, floral meadows is established.

Sport fields with permeable surfaces: YES

The Study does not specify the type of surface to be used for the construction of sports fields. The creation of a sports stadium for soccer at Zemborzycka Street and S. Leszczyński Street and a sports stadium for rugby at J. Kosiński Street is specified. In the planned "Zone of protection of natural and landscape values" of the area of Górki Czechowskie, it is envisaged to create pitches for various games with permeable surfaces.

Pre-ecological square development: YES

Although, there are no provisions in the Study for pre-ecological square development, such solutions are being developed in various districts of Lublin.

Urban forest: YES

The Study provides the correct conditions for life and preservation of ecological functions for urban forests. Provisions have been introduced that guarantee the protection of forests.

The Study does not specify new locations for future forests.

Green transport tracks: YES

The Study identifies the locations of greenery along roads in John Paul II Street, Granikowa Street, Wileńska Street, M. Smarzewskiego Street, Kompozytorów Polskich Avenue, T. Smarzewskiego Street, M. Smarzewskiego Street, Jagielska Street, Przeczaj Street and Kalinowiczyno Street.

Planting trees with protective and recreational functions: YES

According to the provisions of the Study, afforestation and shrubbery should be restored in strip systems in the river valleys of the Bystrzyca, Czarniejkowa and Czechówka. Tree plantings should be introduced in the Tatary and Hajdów-Zabłotie districts in order to mitigate the collision of industrial and storage functions, economic activity, etc. with residential development.

Restoring degraded waterbodies: YES

According to the Study, the river valleys of the Bystrzyca, Czarniejkowa and Czechówka should be subjected to renaturalization. Renaturalization should be based on: cleaning river channels, limiting the inconvenience of transport routes, protecting fauna and natural forms of greenery found in river valleys arranging or restoring park greenery complexes in the vicinity of areas of intensive urbanization, creating recreational areas using landscape values.

Maintaining floodplains: YES

According to the provisions of the Study, floodplains are protected from development and development should be eliminated from them. Floodplains should be subject to reclamation.

Establishment of protected areas: YES

The Study identifies areas to be legally protected. These areas are: planned ecological oases (Dziękaszew Łaki, Zadzioł), planned natural and landscape complexes (Górki Czechowskie, Valley Cieka Kosopulicy, Ravine Wędlinek, Valley Świdkowej Czechówka, Valley Jakubowicka, Valley Trześniowska, Jakubowice Murowane, Majdan Wrocławski, Łysaków, Skarpa Jakubowicka, Menadry Bystrzycy, Uroczysko Krętańskie) and planned nature monuments.

Conservation zones around water intake stations: YES

The Study plans to designate more protection zones around water intake stations (no specific locations).

Controlling the expansion of the city of Lublin through provisions in Land Use Plans: YES

The Study specifies that the expansion of the city into open areas, development and degradation of the areas most valuable for the city in terms of nature and landscape, unfavorable land transformation including filling of river valleys, dry valleys and ravines, interruption of the continuity of the natural system should be controlled.

Ensuring the continuity of the ecological network: YES

The Study delineates the Ecological System of Protected Areas consisting of ecological corridors and reaches, as well as node areas, and ecological nodes, including: river valleys, (Bystrzyca, Czarniejkowa, Czechówka, Nędrza and Ciek spod Kosopulicy), dry valleys and ravines, legally protected areas existing and planned, including: Reserves, Areas of Protected Landscape, Natura 2000 areas, ecological utilities, natural and landscape complexes, forests (including protective forests), forest park and other wooded areas, areas of managed greenery including: parks, gardens, squares, green, the new gardens, meadows, selected allotment gardens, cemeteries, larger clusters of estate greenery, areas of valuable unmanaged greenery serving to maintain the gene pool and strengthen biodiversity, areas of open water, open areas used for agriculture, horticulture, or wasteland serving to strengthen the natural and proper ventilation of the city space.

Playgrounds with permeable surfaces: YES

The Study did not indicate the exact locations of the playgrounds and did not indicate what kind of surface they should be built with. The Study determines what percentage of a building plot should be devoted to yards, depending on the type of development of the plot.

Green roofs and walls: YES

Although, there are no provisions in the Study for green roofs and walls, such solutions are being developed in various districts of Lublin.

Green bus stops: YES

Although, there are no provisions in the Study for green bus stops, such solutions are being developed in various districts of Lublin.

POTENTIAL TO BE IMPLEMENTED NBS TYPES

Information from UM Lublin

Records of local documents

Rain garden: YES

Ideas are developed, preliminary analyses are conducted that will be included in planning/strategic documents, concepts/projects for implementation and execution are developed (no specific locations).

The Study lacks provisions for rain garden.

Pre-ecological development of loess ravines and dry valleys: YES

Preliminary analyses have been made and are being incorporated into planning/strategic documents, and concepts/projects for implementation are being developed.

The Study only indicates that it introduces the protection of loess ravines and dry valleys from urbanization and indicates that these areas should be designated for green areas (no specific locations).

Retention pond: YES

Ideas are developed, preliminary analyses are conducted that will be included in planning/strategic documents, concepts/projects for implementation and execution are developed.

The Study includes a provision that indicates that it is necessary to increase the retention of the catchment area of each river through the construction of retention reservoirs, increase rainwater retention in proportion to the increase in built-up and paved areas in the catchment area of each river within urbanized areas (no specific locations).

Biofiltration basins and ditches: NO

Respondents had no additional information regarding biofiltration basins and ditches.

There are no provisions for biofiltration basins and ditches in the Study.

Infiltration trenches: NO

Respondents had no additional information regarding infiltration trenches.

There are no provisions for infiltration ditches in the Study.

Hybrid wastewater treatment plants: YES

Ideas are developed, preliminary analyses are conducted that will be included in planning/strategic documents.

There are no provisions for hybrid wastewater treatment plants in the Study.

Data availability

No data was used for the research described in the article.

References

- Aggoston, P., Konczal, A., Setiray, M., Wallin, I., Polwet, Y., Spinelletti, R., Lindner, M., Berka, J., et al., 2020. Can nature conservation and wood production be reconciled in managed forests? A review of driving factors for integrated forest management in Europe. *J. Environ. Manag.* 268, 110670.
- Alban, C., Brilling, M., Guzman, P., Gutwirth, X., Montu, J., Schmidt, S., Ott, E., Schuster, B., 2021. Planning nature-based solutions: principles, steps, and insights. *Ambio* 30, 1448–1461.
- Almeida, J.B., Elbot, T., Ruggini, B., Philippe, B., Gutierrez, Y.N., Sonnenmann, G., Gualletti, D., 2023. Nature-based solutions: ecosystem services and urban challenges. *Land Use Pol.* 109, 104890.
- Arancibia, N., Castellari, J.A.C., Pineda-Martos, R., Nils, C.R., Katon, E., Irenic, D., Puthier, R., Andreucci, M.B., et al., 2021. Nature-based solutions and circularity in cities. *Circular Economy and Sustainability* 1, 319–332.
- Bopst, A.K., Foley, C., Smardon, R., 2015. Understanding urban neighborhood differences in willingness to implement green infrastructure measures: a case study of Syracuse, NY. *Landsc. Urban Plan.* 136, 1–12.
- Bortolozzi, R., Kowalski, M., 2019. Polish urban allotment gardens as 'slow city' enclaves. *Sustainability* 11, 3225.
- Bour, J.W.R., Tynan, J.F., Rias, P., Rosenberger, R.E., 2018. Public attitudes about urban forest ecosystem services management: a case study in Oregon cities. *Urban For. Urban Green.* 17, 42–50.
- Berg, M., Spray, C., Blom, A., Slinger, J.H., Stancanelli, L.M., Snook, Y., Schielen, R.M.J., 2024. An Assessment of the IUCN Global Standard for Nature-Based Solutions. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4746185>.
- Beckmann, M., Buiter, W.J.W., Van Scha, M.H., Kruis, M.J., 2020. Property price effects of green interventions in cities: a meta-analysis and implications for greification. *Environ. Sci. Pol.* 112, 293–304.
- Bogusch, M., Ingens, H., 2012. Ambiguity: the challenge of knowing and deciding together. *Environ. Sci. Pol.* 15, 69–71.
- Burczak-Adamski, E., 2015. Zielone Duchy jako Element Zrównoważonych Systemów Odejmowania Ryzyka. *Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu*.
- Chiles, P., Bellanger, M., Bailly, D., Dutra, L.X.C., Penfletto, L., 2023. Using standards for coastal nature-based solutions in climate commitments: applying the IUCN global standard to the case of pacific small island developing states. *Nature-Based Solutions* 3, 100034.
- Darmstad, M., Ottu, E., Heidrich, O., Olagbade, E., Genceli, D., Ottu, H., Blawn, A.O., Mital, N., et al., 2014. Mitigating and adapting to climate change: multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. *J. Environ. Manag.* 148, 107–115.
- Dunn, J., Wang, Y., Fan, C., Kim, B., de Groot, R., 2015. Perception of urban environmental risks and the effects of urban green infrastructure (UGIs) on human well-being in four public green spaces of Guangzhou, China. *Environ. Manag.* 60, 509–517.
- Dumitru, A., Wendling, L. (Eds.), 2021. *Evaluating the Impact of Nature-Based Solutions - A Handbook for Practitioners*. European Commission Report. European Union, Luxembourg.
- Dumitru, A., Frantzeskaki, N., Collin, M., 2020. Identifying principles for the design of robust impact evaluation frameworks for nature-based solutions in cities. *Environ. Sci. Pol.* 112, 107–116.
- Eggermont, H., Balan, E., Anzeile, J.M.N., Deumer, V., Benda, T., Chaudet, J., Pady, R., Crube, M., et al., 2015. Nature-based solutions: new influence for environmental management and research in Europe. *GAMA Ecological Perspectives for Science and Society* 24, 243–246.
- Eggermont, H., Le Roux, X., Tamasz, M., Eustache, J., Zouhar, K., 2021. Strategic Research & Innovation Agenda: Horizon Europe Partnership on Biodiversity, vol. 100. *Biodiversity: partners*.
- European Commission, 2015. *Towards an EU Research and Innovation policy agenda for nature-based solutions and re-naturing cities*. Final report of the hub. 2020. Expert Group on Nature-Based Solutions and Re-naturing Cities. European Commission, Brussels.
- European Commission, 2022. In: Plesch, A. (Ed.), *Nature-based Solutions for Agricultural Water Management - Challenges and Enabling Factors for a Broader Adoption*. European Union, Luxembourg.
- European Commission, 2023. *EU-Funded NBS Research Projects Tackle the Climate and Biodiversity Crisis*.
- European Commission, 2020a. In: Wild, T., Freitas, T., Vanderweert, S. (Eds.), *Nature-Based Solutions State of the Art in EU-Funded Projects*. European Union, Luxembourg.
- European Commission, 2020b. In: Motylite, E., Durieux, E. (Eds.), *Public Procurement of Nature Based Solutions Addressing Barriers to the Procurement of Urban NBS: Case Studies and Recommendations*. European Union, Luxembourg.
- Fezaila, V., Baveian, A.P., Louren, L., Arcaute, D., Panagopoulos, T., 2021. Stakeholders' perceptions of appropriate nature-based solutions in the urban context. *J. Environ. Manag.* 290, 110502.
- Fezaila, V., Baveian, A.P., Plato, P., Panagopoulos, T., 2022. Understanding attitudes towards the adoption of nature-based solutions and policy priorities shaped by stakeholders' awareness of climate change. *Environ. Sci. Pol.* 131, 149–159. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.02.007>.
- Ferretti, V., Plochinotta, I., Trovati, A., 2019. Studying the generation of alternatives in public policy making processes. *Eur. J. Oper. Res.* 273, 353–363.
- Frantzeskaki, N., McPherson, T., Collier, M.J., Renda, D., Bulkeley, H., Dumitru, A., Walsh, C., Noble, E., et al., 2019. Nature-based solutions for urban climate change adaptation: linking science, policy, and practice communities for evidence-based decision making. *Bioscience* 69, 455–466.
- Giordano, R., Bugnatch, M., Plochinotta, I., 2017a. Ambiguity in problem framing as a barrier to collective action: some hints from groundwater protection policy in the Apulia region. *Group Decis. Negot.* 26, 911–930.
- Giordano, R., Paganò, A., Plochinotta, I., del Amo, R.G., Hernandez, S.M., Lafuente, E.S., 2017b. Modelling the complexity of the network of interactions in flood emergency management: the Lerca flash flood case. *Environ. Model. Software* 95, 199–195.
- Greco, M., Balzan, M., Collier, M., Gensler, D., Tomashova, J., Abela, R., Burg, D., Bubagiar, G., et al., 2021. Priority knowledge needs for implementing nature-based solutions in the Mediterranean islands. *Environ. Sci. Pol.* 116, 36–60.
- Herrera-Pillado, C., Hiedra, J., Bani, K., 2023. The co-evolutionary approach to nature-based solutions: a conceptual frame work. *Nature-Based Solutions* 2, 100011.
- IUCN, 2022a. *Global Standard for Nature-Based Solutions: A User-Friendly Framework for the Verification, Design and Scaling up of NBS*. IUCN, Gland, Switzerland.
- IUCN, 2022b. *Ensuring effective nature-based solutions*. <https://www.iucn.org/resource/nature-based-solutions/effective-nature-based-solutions>.
- IUCN, 2021. *Annual Report 2021 IUCN NL*. https://www.iucn.nl/app/uploads/2022/07/V8_AnnualReport_21_ENG_geocompressed-1.pdf.
- IUCN, 2018. In: Cohen-Blanchard, E., Walter, G., Jansen, C., Maginik, S. (Eds.), *Nature-based Solutions to Address Global Societal Challenges*. IUCN, Gland, Switzerland.
- IUCN, 2022b. *Integrating Nature-Based Solutions into Policies for Climate Change Adaptation and Disaster Risk Reduction*. IUCN, Gland, Switzerland. Authors: A. Buzari, K. Meyer.
- IUCN, 2022c. *Nature-based Solutions and Protected and Conserved Areas*. Gland, Switzerland. IUCN and Tokyo, Japan: Ministry of the Environment, Government of Japan. Authors: R. Dudley, N. Fauria, Y. Nambu, N. Okuma.
- IUCN, 2023. In: Luo, M., Zhang, Y., Cohen-Blanchard, E., Andrieu, A., Maginik, S. (Eds.), *Towards Nature-Based Solutions at Scale*. IUCN, and Beijing, the People's Republic of China: Ministry of Natural Resources, Gland, Switzerland.
- Joseph, L.I., Humphries, A.T., 2018. Identifying social factors that undermine support for nature-based coastal management. *J. Environ. Manag.* 212, 32–38.
- Kabisch, N., Frantzeskaki, N., Hansen, R., 2022. Principles for urban nature-based solutions. *Ambio* 31, 1385–1401.
- Kim, B., Selkova, P., Hirschelmann, K., Sall, C.P., Takahashi, W., Wampler, C., 2012. Citizen participation in the provision of nature-based solutions. *Environmental Policy and Governance* 22, 247–277.
- Kronenberg, J., Berger, T., Maliszewska, K., 2017. The challenge of innovation diffusion: nature-based solutions in Poland. In: Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., Bonn, A. (Eds.), *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas: Theory and Practice of Urban Sustainability Transitions*. Springer International Publishing, Cham, pp. 291–305. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56061-3_17.
- Lungu, G., Gensler, D., Collier, M., Bugnatch, M., Buzari, K., Meyer, K., 2021. A framework for advancing circularity challenges in cities with nature-based solutions. *Water* 13 (7), 2355.
- Le Gouvello, R., et al., 2023. The IUCN Global Standard for Nature-based SolutionsTM as a tool for enhancing the sustainable development of marine aquaculture. *Front. Mar. Sci.* 10. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1148637>.
- Malecka-Ziembinska, E., Janicka, I., 2022. Nature-based solutions in Poland against climate change. *Energies* 15, 357. <https://doi.org/10.3390/en15010357>.
- European Commission, 2023. *Harnessing the Power of Collaboration for Nature-Based Solutions: New Ideas and Insights for Local Decision-Makers*. European Union, Luxembourg. Authors: G. Neumann, N. Borges Cuevas, C. Davies, S. Bradley, J.H. Mohamed, A. Alali.
- NetworkNature, 2021. In: ElHarrak, M., Lemaire, F. (Eds.), *Deliverable 3.5. Report on Practical, Research and Innovation Needs*. Biodiversa +, <https://networknature.eu/sites/default/files/uploads/networknature-d3report-practical-research-and-innovation-needs.pdf>. (Accessed 10 November 2023).
- O'Sullivan, F., Moll, I., Clement, S., 2020. Novel solutions or rebranded approaches: evaluating the use of nature-based solutions (NBS) in Europe. *Frontiers in Sustainable Cities* 2.
- Patel, R., Nagendra, H., 2017. Factors influencing perceptions and use of urban nature: surveys of park visitors in Delhi. *Land* 6 (2), 27.
- Raymond, C.M., Frantzeskaki, N., Kabisch, N., Berry, P., Bail, M., Nils, M.E., Gualletti, D., Calaguir, C., 2017. A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas. *Environ. Sci. Pol.* 77, 15–24.
- Sauter, S., Plochinotta, I., Paganò, A., Peng, P., Calou, B., Giordano, R., 2019. Assessing stakeholders' risk perception to promote Nature Based Solutions as flood protection strategies: the case of the Glina river (Slovenia). *Sci. Total Environ.* 655, 198–201.
- Science for Environment Policy, 2021. *The solution is in nature*. Future Brief 24. Brief Produced for the European Commission DG Environment. Science Communication Unit, UWE Bristol, Bristol, UK.
- Sharma, M., Ashraf, J., Mehta, D., Pandey, R., 2024. Assessment of nature-based interventions adherence with IUCN global standards and an analysis of flow of associated ecosystem services in tropical drylands of India. *Ecol. Indic.* 159, 117177. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.117177>.

- Snep, R.P., Voeten, J.G., Mol, G., Van Hartem, T., 2020. Nature-based solutions for urban resilience: a distinction between No-tech, low-tech and high-tech solutions. *Front. Environ. Sci.* 8, 594060.
- Sowinska-Swierkosz, B., Garcia, J., 2021. A new evaluation framework for nature-based solutions (NBS) projects based on the application of performance questions and indicators approach. *Sci. Total Environ.* 797, 147613.
- Sowinska-Swierkosz, B., Garcia, J., 2022. What are Nature-based solutions (NBS)? Setting core ideas for concept clarification. *Nature-Based Solutions* 2, 100009.
- Sowinska-Swierkosz, B., Wójcik-Madej, J., Mirkulik-Sulech, M., 2021. An assessment of the ecological landscape quality (ELQ) of nature-based solutions (NBS) based on existing elements of green and blue infrastructure (GBI). *Sustainability* 13 (21), 11674.
- The Lublin City Council, 2019. Study of Conditions and Directions for Spatial Development of the City of Lublin. Resolution: No. 283/VIII/2019 1 July 2019; the Lublin City Council: Lublin, Poland, 2019.
- Tymberka, A., Kwarcik-Pisic, A., 2016. An analysis of the changes in the structure of allotment gardens in Poland. *Sustainability* 10, 3829.
- Vasquez, L., Andrade, A., 2024. Using the red list of ecosystems and the nature-based solutions global standard as an integrated process for climate change adaptation in the andean high mountains. *Phil. Trans. Biol. Sci.* 379, 20220326, <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0326>.
- Wickensberg, R., McCormick, K., Claman, J.A., 2021. Advancing the implementation of nature-based solutions in cities: a review of frameworks. *Environ. Sci. Pol.* 125, 44–53.
- Wójcik-Madej, J., Sowinska-Swierkosz, B., 2022. Tree-planting interventions as NBS candidates to address societal challenges. *Sustainability* 14 (15), 9690.



Retrofitting existing buildings by the use of modular green roofs

Julia Wójcik-Madej^a, Barbara Sowińska-Świerkosz^{b,*}, Gabriel Pérez Luque^b,
Malwina Michalik-Śnieżek^c

^a Department of Hydrobiology and Ecosystems Protection, University of Life Sciences in Lublin, Dobrzańskiego 37, Lublin 20-262, Poland

^b Innovative Technologies for Sustainability (IT4S) Research Group, University of Lleida, C/Jaume II 69 25003, Lleida, Spain

^c Department of Grassland and Landscape Planning, University of Life Sciences in Lublin, Akademicka 15 Lublin 20-950, Poland

ARTICLE INFO

Keywords:

Existing buildings
Modular green roof
Nature-based solutions
Poland
Urban areas

ABSTRACT

This study aimed to demonstrate how modular green roofs align with the Nature-based solution concept (NBS) and how their site selection process can be optimized to maximize benefits while minimizing economic costs. The implementation potential was assessed based on a set of legal, social, ecological, technical and economic criteria. The most important factors detected are environmental benefits, technical and management feasibility, building ownership status, and the condition of the roofing material. The proposed site assessment methodology provides a versatile and replicable tool that can be adapted to other urban contexts.

1. Introduction

1.1. Green roofs as the flagship example of nature-based solutions (NBS)

Roofs occupy 20–25 % of the total urban area [1], making their adaptation into green roofs a way to partially compensate for the loss of green space and habitat [1,2]. If they are designed, implemented and managed correctly, such structures can provide several benefits simultaneously, including increasing the energy efficiency of buildings and urban biodiversity, improving microclimatic conditions, reducing greenhouse gas emissions and the urban heat island effect, improving air quality, reducing traffic noise and enhancing the aesthetic value of urban spaces [3]. Therefore, it is not surprising that green roofs are one of the flagship examples of Nature-based solutions (NBS) [4]. It is also supported by the Scopus search as search criterion 'green roof' and 'nature-based solutions' gives 336 matching papers (June8th, 2025). These types of green solutions can be classified as NBS type 3 creation of new ecosystems; subtype: ecological built environment. The installation of green roofs has increased significantly over the last years, thanks to the greater attention paid by public institutions and private individuals to ecological issues [5]. This inter alia stems from the European Union's 2030 biodiversity strategy, 'Bringing nature back into our lives', which encourages cities with more than 20,000 inhabitants to develop greening plans including green roofs [6]. Furthermore, European policy promotes green roofs as part of its strategies for green infrastructure,

climate change adaptation, and biodiversity protection [7]. In addition, the European Parliament's Regulation on the Restoration of Natural Resources (Nature Restoration Law For people, climate, and planet) recognizes green roofs as a means of increasing the amount of green infrastructure in urban areas [8]. It is worth noting that not every green roof should be framed as NBS, to do it should inter alia provide multiple benefits, including biodiversity net gain and be cost-efficient. Unfortunately, in some cases green roofs have the green washing character, meaning they are installed to meet urbanistic indicators rather than for other reasons [2]. Therefore, it is crucial to demonstrate how green roofs, including modular ones, align with the NBS concept and how their site selection process can be optimized to maximize benefits while minimizing economic costs.

1.2. Modular green roofs installation on existing buildings

The New European Bauhaus, the instrument that should allow the application of the Green Deal to the building sector in Europe, is promoting innovating the built environment through design for adaptability and disassembly (https://new-european-bauhaus.europa.eu/index_en, date of access: 11 August 2025). In many cities, however, limited areas are available for the construction of new buildings. Therefore, efforts should be made to retrofit existing buildings. The above-mentioned strategies advocate for green roofs to be installed on both new and existing buildings. As the implementation of traditional

* Corresponding author.

E-mail addresses: julia.madej@up.lublin.pl (J. Wójcik-Madej), barbara.swierkosz@up.lublin.pl (B. Sowińska-Świerkosz), gabriel.perez@idl.cat (G. Pérez Luque), malwina.sniezek@up.lublin.pl (M. Michalik-Śnieżek).

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113900>

Received 25 August 2025; Received in revised form 9 October 2025; Accepted 24 October 2025

Available online 24 October 2025

0360-1323/© 2025 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Fig. 1. A. A green roof module constructed from a tray; B. Plants used; C. Maintenance process; D. Installation of modular green roof; E. Carlsberg Byen district of Copenhagen (https://www.shl.dk/work/dahlerups-tower?utm_source); F. Nye district of Aarhus N, Denmark (https://www.designboom.com/architecture/big-modular-housing-spirals-pond-danish-sustainable-suburb-09-29-2022/?utm_source); G. 3A Wyzalazek Street in Warsaw, Poland; H. A Baluty nursery school in Warsaw, Poland (<https://stelone-budownictwo.pl/>) (date of access: 4 July 2025); www.natureimpact.com (date of access: 4 July 2025).

green roofs with multi-layered and heavy construction on existing buildings is problematic, the use of modular green roofs, which weigh around 32 kg/m², have begun to offer an alternative to traditional green roofs. A green roof module can be a tray, block, container, box or similar structure, and must provide structural support for the growing medium and plants [9] (Fig. 1A). The modular system consists of an interlocking system, trays, a filter layer to ensure excess water is drained away, a growing medium, and a vegetation layer consisting mainly of sedums and other well-rooted plants (Fig. 1B). Geotextiles are used under modular systems to protect waterproofing and improve water retention. A system that can cope well with water and does not require regular irrigation. However, additional irrigation may be necessary during the initial growth phase and during droughts (Fig. 1C) [10]. The use of such modular systems is appropriate for urban spaces, which bring desirable benefits due to the ease and speed of installation (Fig. 1D), dismantling and maintenance, improvement of aesthetic quality of landscape and having great potential in solving problems with insufficient green spaces in the city [9,10]. In addition, modular construction reduces the generation of manufacturing waste and allows control of energy and water flows, in line with a circular building economy [5]. A great example of a

Table 1

Selection of site selection criteria based on the IUCN global standards principles.

Criterion 1: NBS effectively address societal challenges	
Legal criterion	Compliance with local spatial planning documents, which include information on well-documented challenges that significantly affect society
Social criterion	Enhancement of the visual landscape and the delivery of human well-being outcomes
Criterion 2: Design of NBS is informed by scale	
Environmental criterion	Assessment of compatibility with other NBS interventions
Criterion 3: NBS result in a net gain to biodiversity and ecosystem integrity	
Ecological criterion	Evaluation of the installation's impact on the proportion of biologically active area within each building plot
Criterion 4: NBS are economically viable	
Economic criterion	Assessment of building ownership status to estimate the required investment costs
Technical criterion	Evaluation of the roof's structure, surface area, and technical condition to minimize structural barriers and ensure economic viability of the installation
Criterion 5: NBS are based on inclusive, transparent and empowering governance processes	
Expert consultations were conducted with representatives from various departments of the Lublin City Office, building managers, and green roof specialists to verify the validity of the proposed sites	
Criterion 6: NBS equitably balance trade-offs between achievement of their primary goal(s) and the continued provision of multiple benefits	
Economic criterion	Assessment of building ownership structure to understand property rights, usage, and access - ensuring practical feasibility for implementation
Criterion 7: NBS are managed adaptively, based on evidence (applied to post-implementation period)	
Priority was given to buildings owned by the Lublin City Office and those where installation was accepted by building managers	
Criterion 8: NBS are sustainable and mainstreamed within an appropriate jurisdictional context	
Legal criterion	Consideration of existing policies, local laws, spatial plans, and management structures to facilitate the mainstreaming of NBS within the appropriate jurisdictional context

modular green roof on the historical former brewery Carlsberg Byen building in Copenhagen, Denmark that enable to harmonize heritage and modernity (Fig. 1E). The same was achieved in relation to the historic National Bohemian Brewery building in Baltimore. Another example is the building located in the Nye district of Aarhus, Denmark that play a key role in increasing energy efficiency and performing a retention function (Fig. 1F) or project completed in 2003 on the Klinikum 2 building at the University Hospital in Basel, Switzerland.

1.3. Built environment and green roofs in Poland

The characteristic feature of Polish built environment is the fact that until 1992, about 50 % of multi-family buildings were constructed using prefabricated technologies. This technology was most often used for the construction of multi-family buildings, but it was also used for the construction of buildings serving other functions including commercial and educational ones. The roofs of these buildings were mainly covered with asphalt roofing felt between the 1950s and 1970s, and with heat-weldable roofing felt between the 1980s and 1990s [11]. Currently, prefabricated buildings remain a significant part of Poland's housing stock. It is estimated that around 60,000 of such buildings contain approximately 4 million apartments, housing between 10 and 12 million people. In provincial capital cities, the share of dwellings in these panel buildings ranges from about 20 % to over 40 %. As their technical condition varies, there are different programs aimed at retrofitting them. The installation of modular green roofs may be one of stages of such revitalization process, aiming at the same time at the improvement of human well-being, increase of biodiversity and decrease of cooling and heating costs.

Although Poland has a Strategic Adaptation Plan for sectors and areas vulnerable to climate change until 2020 with a perspective until

2030 [12], it does not directly regulate the implementation of green roofs. Nevertheless, individual cities' Climate Change Adaptation Plans contain provisions for their implementation. For example, in Warsaw, one of the measures to reduce the urban heat island effect is the implementation of green roofs and Wrocław has offered tax relief on real estate to owners of green roofs since 2015, as well as subsidies for their installation. There is currently no official register of green roofs in Poland. It results from several reasons, including no obligation to keep records, no nationwide monitoring and registration systems and a high share of private initiatives being recorded at any there. As a result, estimating the number and total area of green roofs in Poland, including modular ones, is difficult. Some examples of modular green roof installations in Poland can be found on the official websites of product manufacturers and service contractors — for instance, a residential building (Fig. 1G) and a kindergarten (Fig. 1H) in Warsaw.

2. Results

The overall benefits of modular green roofs as well successful examples listed above led to undertake a discussion on the feasibility of their implementation in the Polish context. In order to effectively plan and locate modular green roofs on existing buildings under Polish conditions, it has become necessary to develop a methodology for identifying their most suitable locations. Approach adopted aimed to demonstrate how modular green roofs align with the NBS concept and how their site selection process can be optimized to maximize benefits while minimizing economic costs. To do that, site selection criteria were matched to the eight IUCN global standards [4] for NBS (Table 1). While the IUCN framework consists of eight broad criteria, this study defined six types of practical selection criteria for evaluating potential sites. Among them two criteria were considered hard criteria, meaning they had to be met by all sites for modular green roof installation (referred to as optional sites): (1) legal: compliance with the existing spatial policy framework and conservation guidelines and (2) environmental: current state of roof development. As soft criteria, meaning they had to be met by the best-suited sites, were considered criteria: (3) economic: the current lack of cost-benefit studies of the impacts (benefits) of NBS implies that owners must make an economic effort to implement and maintain these solutions, and for this reason, it has been considered appropriate to only consider publicly owned buildings; (4) ecological: fulfilment of 30 % of the statutory requirement for a biologically active area of at least 30 % of the plot; (5) technical, which were divided into two sub criteria: roof slope, shape, area and installation obstacles (no 1), and technical condition of the roof (no 2); and (6) social: the visibility of green roofs from surroundings building, which improves the aesthetics and psychological comfort of the urban space users.

The procedure was tested in relation to the city of Lublin, Poland, which description is provided on Fig. 3, A. Currently, within the administrative limits of Lublin, only 31 buildings are presently fitted with green roofs (state on 10th June 2025). Green roofs were identified through GIS analyses using vector building data and the NDVI index calculated from an infrared orthophotomap (2024), which enabled clear detection of vegetated roof surfaces. Of the total building stock, 21 are multi-family residential blocks, three function as corporate headquarters, three are commercial-service facilities, one is a hotel, one is a hospital, one is a theatre, and one is a library. The site selection procedure for Lublin consisted of eight-stage (Fig. 3, B). As a result of the procedure implementation, of the 46,317 buildings in Lublin, 568 were excluded due to legal restrictions or the presence of existing green roofs (stages no 2 and 3). The rest were referred to as optional sites (Fig. 3C). Of the remaining 45,749 only city-owned buildings were considered, reducing the number of potential locations to 197 (stage 4). These buildings were then assessed based on roof structure, slope, surface area, the presence of solar panels, and chimney configuration. This process resulted in the selection of 43 buildings (stage 5). Visibility and ecological potential limit this number to 17 locations (stages 6 and 7).

Ultimately, feasibility of implementation assessed through site visits and consultations resulted in the selection of four best-suited locations for modular green roofs (stage 8 and 9) (Fig. 3D). This process demonstrates that, while many roofs are technically suitable, the main barriers are economic, management and related to access.

3. Discussion

Examples from both scientific studies and real-life implementations have demonstrated the great potential of modular green roofs as a tool for retrofitting existing buildings, including historical ones. Thanks to their flexibility and relatively low weight, this system is particularly suited for adaptation on existing roofs, as it minimizes interference with the building structure and facilitates installation [2,4,5]. Modularity enables the system to be implemented gradually, in a way that is tailored to the facility's technical and financial capabilities, while still delivering real environmental benefits. This stepwise approach enables cities and facility managers to adapt the project to their available resources, making it more feasible and reducing the risks associated with large, one-off investments [1,2,5]. The gradual and evidence-based implementation of green roofs also reduces the risk of greenwashing — the practice of presenting projects or policies as being more environmentally friendly than they actually are. By adhering to the IUCN's global standards for NBS, green roofs can be designed and implemented transparently, providing measurable environmental benefits [4]. This ensures that green roofs contribute to biodiversity, climate change mitigation in cities, and stormwater management rather than merely being symbolic 'green' interventions [2,7,9].

However, the Lublin case study revealed certain limitations and constraints in mainstreaming modular green roofs into urban planning. These challenges stem primarily from management-related, economic and accessibility factors [13]. Regarding the first factor, to be effective, the retrofitting process required the support from public institutions, a clear division of responsibilities for maintaining green areas and active participation from building managers and users [2,3]. Maintenance responsibilities, including tasks such as regular watering, monitoring vegetation conditions and conducting seasonal inspections, should be clearly assigned [5,10]. Municipal authorities can facilitate this process by providing funding and coordination, as well as access to national or EU grants, while leveraging existing organisational structures and previous experience with green infrastructure projects [3,6,7]. This structured approach to management ensures the sustainable development and long-term effectiveness of modular green roofs while maintaining environmental, social, and economic benefits. Regarding the economic aspects, investment costs involved in installing and maintaining these systems constitute a major obstacle to private individuals, which is why existing buildings owned by cities are a more reasonable option. Such an approach, being one of the criterion for best-suited locations in the presented study, eliminates the need for individual agreements with private owners and significantly simplifies the implementation process for the investment. Furthermore, it offers substantial economic advantages, as there is no requirement to purchase or lease real estate. As the owner, the city can also manage the investment process more effectively by leveraging existing organizational structures and experience in implementing green infrastructure projects. Additionally, local authorities have easier access to national and international funds. This increases the feasibility of implementation and the scalability of similar solutions in the future. The Lublin case study revealed that many existing buildings do not have the structural capacity to safely and durably support green roofs. Therefore, the crucial aspect of the implementation potential assessment should be the detailed technical assessment of the roof taking into account its load-bearing capacity and condition [14].

When considering implementation possibilities, attention should be given not only to the best-suited sites that meet all the principles for NBS, but also to optional sites. In the case of the Lublin study, these

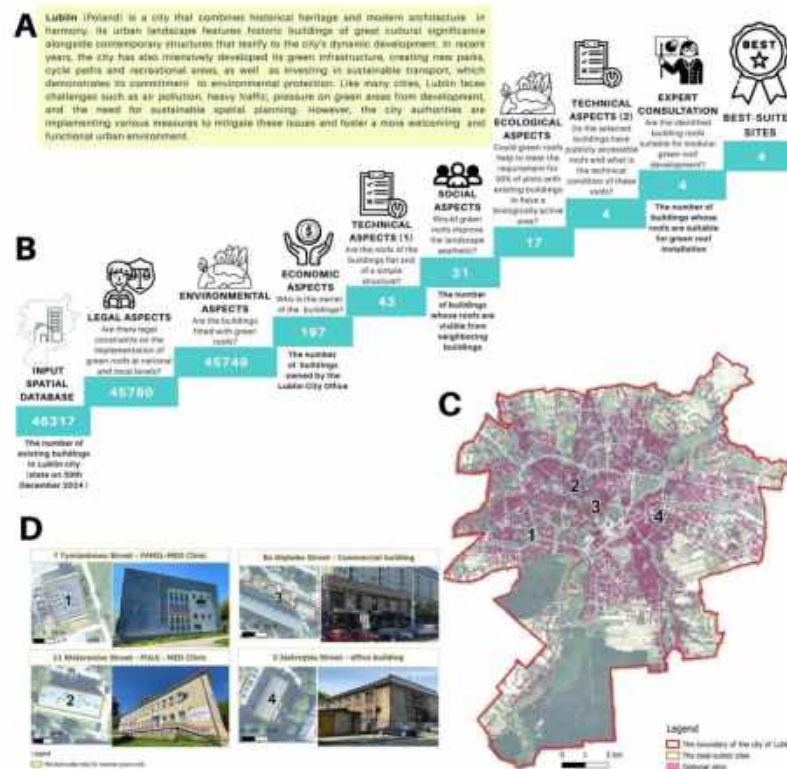


Fig. 3. A. Characteristics of the city of Lublin, Poland; B. The process of selecting the best sites for modular green roofs in the city of Lublin, Poland; C. Optional sites for modular green roofs. D. The best-suited sites for modular green roofs.

buildings through the use of NBS.

Taking into account the above, successfully implementing modular green roofs to retrofit buildings requires a comprehensive approach integrating support from public institutions, including coordination and city funding, as well as active involvement from building managers and end users [2]. Only in this way can technical and organizational barriers be overcome to ensure the sustainability and effectiveness. In this way, modular green roofs on existing buildings can become an important element of sustainable urban development, combining ecological, economic, and social aspects [15]. From the wider European perspective, the proposed site assessment methodology provides a versatile and replicable tool that can be adapted to other urban contexts. The framework adopted is not limited to Polish local conditions, meaning it can be applied in other spatial contexts, regions, and countries. This is possible because the multi-criteria method for assessing the suitability of an area was based on widely accepted IUCN global standards for NBS.

Fig. 2

Statement

Zielone Budownictwo Sp. z o.o. grants permission for the publication of photo compositions (labeled A–H) depicting projects and processes related to green roofs in the article titled “Retrofitting existing buildings by the use of modular green roofs”. Consent for the use of these photographs has been provided through a separate document, attached in the system.

Non-Human-Subject interactions statement

This study did not involve interactions with human participants, nor did it use any personal data. All data used in the analyses were obtained from publicly available sources or were fully anonymized, eliminating the need for participant consent. The study did not require approval from an institutional review board or ethics committee, in accordance with applicable research regulations.

CRedit authorship contribution statement

Julia Wójcik-Madej: Writing – original draft, Visualization, Validation, Software, Resources, Investigation, Formal analysis, Data curation, Writing – review & editing, Methodology. **Barbara Sowińska-Swierkosz:** Visualization, Supervision, Methodology, Conceptualization, Writing – original draft, Writing – review & editing. **Gabriel Pérez Luque:** Writing – review & editing, Validation, Supervision. **Malwina Michalik-Sniezek:** Writing – original draft, Visualization, Methodology, Funding acquisition.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgements

The authors would like to express their gratitude to the City of Lublin and the managers of its buildings for its substantial support and expert consultations, which enabled a more in-depth analysis of the issues raised in the article.

The authors would also like to thank “Zielone Budownictwo” for kindly providing photographic documentation of modular green roof projects, which made an important addition to the research material.

The authors at IT4S research group would like to thank the Catalan Government for the quality accreditation given to their research group (2021 SGR 00512). The work is partially funded by the Spanish Government - Ministry of Science, Innovation and Universities, through the Spanish State Research Agency (project TED2021-12982B-I00 and project PID2022-137971OB-I00), and the European Union through the LIFE program under grant agreement 101114024 - LIFE22-ENV-ES-BIG4LIFE.

Data availability

Data will be made available on request.

References

- [1] R. Taberkhani, S. Shaahtazari, N. Hashempour, F. Taberkhani, Sustainable cities through the right selection of vegetation types for green roofs, *Int. J. Sustain. Build. Technol. Urban. Dev.* 13 (2022) 365–386, <https://doi.org/10.22712/ijstb.20220027>.
- [2] M. Michalik-Snietek, K. Adamczyk-Mucha, R. Sowisz, A. Bieske-Matejak, Green roofs: nature-based solution or forced substitute for biologically active areas? Case Study, *Lub. City. Pol. Sustain.* 16 (2024) 3131, <https://doi.org/10.3390/su16203131>.
- [3] R. Lambarki, A. Elmostafa, M. Maanan, H. Rhinane, Assessing the Potential of Green Roofs in Urban areas: A multicriteria Boolean Analysis Utilizing GIS and Remote Sensing Data in the City of Nador, *Green Technologies and Sustainability, Morocco*, 2025 100171, <https://doi.org/10.1016/j.grets.2025.100171>.
- [4] IUCN, *Global Standard for Nature-based Solutions. A user-Friendly Framework For the verification, Design and Scaling Up of NbS*, IUCN, Gland, Switzerland, 2020. First edition.
- [5] A.L. Cervantes-Nájera, M.-C. Martínez-Rodríguez, L.E. Campos-Villegas, X.V. Bello-Yañez, S. Brenneisen, Green roof systems within the framework of a circular economy: a scoping review, *Recycling* 9 (2024) 69, <https://doi.org/10.3390/recycling9040069>.
- [6] European Commission, Directorate General for Environment, EU Biodiversity Strategy For 2030: Bringing Nature Back Into Our Lives, Publications Office, LU, 2021. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/677548> (accessed June 8, 2025).
- [7] European Commission, Directorate General for Environment, Green Roofs As Nature Based Solutions For a Better Life in Cities, Publications Office, LU, 2023. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/518419> (accessed June 8, 2025).
- [8] European Parliament and Council, Regulation (EU) on nature restoration and amending Regulation (EU) 2022/869, PE-CONS 74/1/23 REV 1, Coun. Eur. Union (2024). Available at: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-74-2023-REV-1/en/pdf> (Accessed 8 October 2025).
- [9] S. Cascone, Green roof design: state of the art on, *Technol. Mater. Sustain.* 11 (2019) 3020, <https://doi.org/10.3390/su11113020>.
- [10] I.R. Bacia, N. Taram, D.N. Isopescu, M.L. Lupo, T.C. Dragon, S.G. Maxineasa, Green roofs – modern solutions for greening buildings, *IOP. Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 789 (2020) 012001, <https://doi.org/10.1088/1757-699X/789/1/012001>.
- [11] J. Szulc, A. Piekarczyk, Diagnostics and technical condition assessment of large-panel residential buildings in Poland, *J. Build. Eng.* 50 (2022) 104144, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104144>.
- [12] Polish National Strategy for adaptation to Climate change (NAS 2020) with the perspective by 2030, Minist. Environ. Repub. Pol. Wars (2013). <https://fasdes.fas.gov.pl/docs/pdf/poi178018.pdf> (accessed October 8, 2025).
- [13] M. Trenta, A. Quadri, B. Samhuco, C.A. Perez Garcia, A. Barbaresi, P. Tassinari, D. Torreggiani, Green roof management in Mediterranean climates: evaluating the performance of native herbaceous plant species and Green manure to increase sustainability, *Buildings* 15 (2025) 640, <https://doi.org/10.3390/buildings15040640>.
- [14] Report by the Polish Chamber of the Construction Industry, 10 milionów szans czyli jak termomodernizować budynki z wielkiej płyty w Polsce. Polish Chamber of the Construction Industry [in Polish]. Available at: https://pib.net.pl/images/termomodernizacja/PBI_RAPORT_2024.pdf, 2024 [Accessed 16 July 2025].
- [15] R. Shukya, L. Ahiablame, A synthesis of social and economic benefits linked to green infrastructure, *Water* 13 (2021) 3651, <https://doi.org/10.3390/w13243651>.

Decision: **accept**

November 30, 2025

JEENG-08720-2025-02

Integrating Nature-Based Solutions in Cities: Strategic Approaches with a Focus on Green Gullies and Linear Parks

Dear Dr. Sowińska-Świerkosz,

I am pleased to inform you that your manuscript has been accepted for publication in our journal.

We would like to publish this article in the nearest Issue, as soon as we receive the payment.

We will send you a proof of article for correction and approval before publication.

Thank you for submitting your work to us.

Kindest regards,

Prof. Gabriel Borowski

Editor-in-Chief

Journal of Ecological Engineering

Integrating Nature-Based Solutions in Cities: Strategic Approaches with a Focus on Green Gullies and Linear Parks

Julia Wójcik-Madej¹, Barbara Sowińska-Świerkosz^{1*}, Joan Garcia², Malwina Michalik-Śniezek³

¹University of Life Sciences in Lublin, Department of Hydrobiology and Ecosystems Protections, Dobrzańskiego 37, Lublin, 20-262, Poland

²Universitat Politècnica de Catalunya-BarcelonaTech, GEMMA-Group of Environmental Engineering and Microbiology, Department of Civil and Environmental Engineering, c/ Jordi Girona 1-3, Building D1, E-08034, Barcelona, Spain

³University of Life Sciences in Lublin, Department of Grassland and Landscape Planning, Akademicka 15, Lublin, 20-950, Poland

*Corresponding author's e-mail: barbara.swierkosz@up.edu.pl

ABSTRACT

Effective implementation of Nature-based Solutions (NBS) in urban environments requires precise tools to support site selection, considering complex spatial, environmental and institutional conditions. The presented study refers to this issue in relation to two NBS types, which are pro-ecological gullies development and linear parks implementation. It focused on three main objectives: (1) to assess the feasibility of implementing these NBS types in urban areas, (2) to translate the IUCN Global Standard into operational local site-selection criteria, and (3) to identify both best-suited and optional locations through a multi-stage GIS-based analysis in relation to Lublin (Poland) case study. The methodology was based on the six local assessment dimensions: legal, environmental, economic, ecological, social and technical. A multi-stage exclusion procedure was applied, resulting in the identification of 32 optional and 6 best-suited locations for pro-ecological gullies development, as well as 84 optional and 3 best-suited locations for linear parks. The most significant localization factors were related to legal issues link to spatial planning policy and plans. The outcome of this study is a geospatial database of NBS possible locations that serves as a transparent and repeatable decision-support tool for planners and local authorities.

Keywords: global standards for nature-based solutions, pro-ecological gully development, linear park, urban planning, Poland

INTRODUCTION

Due to the increasing impacts of climate change and urbanization, urban ecosystems are at risk of degradation due to rising temperatures, increased occurrence of extreme weather events, expansion of built-up areas, overexploitation of natural resources, and habitat loss (Castelo et al., 2023, Kabisch et al., 2016). This poses a threat to the spatial sustainability of urban areas. Past strategies that relied on grey infrastructure are outdated, and cities need new, greener solutions that integrate nature into the urban environment from a more holistic perspective. Therefore, sustainable and resilient measures need to be implemented in planning and development to enable cities to adapt to these changes (Chrysoulakis et al., 2021). Furthermore, ecosystems that support natural processes, or elements that replicate these processes through appropriate spatial planning, provide the greatest environmental benefits (Dremel et al., 2023, Wójcik-Madej et al., 2025). As a result, nature-based solutions (NBS) have been recommended by the European Commission and the International Union for Conservation of Nature (IUCN) as an approach to restore urban areas (e.g., Dumitru and Wendling Eds., 2021, EC, 2015, IUCN, 2020). NBS are now widely used in many European cities, and beyond, as alternatives to grey or even hybrid solutions. This shift reflects a long tradition of urban planners seeking to connect cities with nature to increase synergies and address the challenges of anthropogenic pressures.

NBS encompasses many types of interventions and actions used in urban design. They are significant differences in various aspects, including the scale of implementation, the level of anthropogenic impact, and functionality. Each type of NBS therefore requires a different planning and engineering approach. At the plot level, issues such as access to water infrastructure, soil conditions, or sunlight may be important, while at the urban landscape scale, ecosystem linkages,

integration with existing green networks, and adaptability to climate change become crucial (Albert et al., 2021, Castellar et al., 2021, Van Rooij et al., 2021). Furthermore, the effectiveness of the implemented NBS is highly dependent on site conditions, including responses to social challenges, ecosystem types, specific landscape characteristics, and the socio-economic systems (IUCN, 2020, Sowińska-Świerkosz et al., 2024). Strategically deployed NBS can perform macro-ecosystem functions, such as improving air quality or protecting against flooding, while locally adopted solutions focus on improving the quality of life of residents, such as enriching public spaces with green elements (Van der Jagt et al., 2023, Van Rooij et al., 2021). Therefore, the lack of precise site selection criteria for different types of NBS can be considered as one of the main obstacles to their effective implementation.

The site selection of NBS is usually based on an analysis of local environmental challenges, site-specific characteristics, and expected environmental and social outcomes. Key methods include integrated multi-criteria assessments, which enable different factors to be considered (Croeser et al., 2021, Wójcik-Madej et al., 2026). This process usually involves several stages: recognising the problem; identifying possible solutions; and selecting the best option based on criteria such as the type of threat, the scale of the impact, and the size of the area affected (Albert et al., 2021). Taken into account the interdisciplinary character of NBS, however, these site selection criteria should take into account technical, environmental, and social aspects. Such an approach can provide a basis for developing optimal implementation strategies tailored to specific local conditions (Albert et al., 2021, Castellar et al., 2021). Besides, comprehensive comparative analyses of different implementation models to identify best practice in the context of specific cities are required (Albert et al. 2021; Castellar et al. 2021). As part of further research, it is crucial to identify the best site selection criteria for different types of NBS, taking into account both specific local conditions and a broad ecosystem perspective (Van Rooij et al., 2021, Sowińska-Świerkosz et al., 2024, Van der Jagt et al., 2023).

The presented paper focuses on the possibilities of incorporating in city planning two types of solutions, namely: pro-ecological development of gullies and linear parks, whose role as effective NBS types is underestimated in the literature. A review conducted by the authors using Scopus research (date: 15 October 2025; Criterion: Title, Abstract, Keywords, English language) showed that the knowledge of these two types of NBS is rather limited globally. With regard to the pro-ecological development of gullies as a NBS type, only twelve papers were found (search criterion: nature-based solutions AND ravine OR gully OR dry valley). Out of the mentioned, only one was considered relevant to the topic under study (Mira et al., 2021). The concept of linear parks as NBS was discussed in 10 papers (search criterion: nature-based solutions AND linear park), mainly focusing on their role in climate change adaptation, improving water retention, reducing flood risk, and mitigating the urban heat island effect (examples include Kim et al., 2024, Orta-Ortiz and Geneletti, 2023). Therefore, it is essential to expand knowledge on these solutions as potential NBS types that can be implemented and used effectively in urban areas.

Gullies and dry valleys are unique geological structures within the urban fabric that are vulnerable to degradation due to strong anthropogenic pressures resulting from urban sprawl (Luo et al., 2024, Oviedo et al., 2022). On the one hand, such structures have high ecological value due to their diverse topography, specific water conditions, and unique plant associations, which should be preserved and maintained in their natural state. On the other hand, leaving them as undeveloped enclaves of natural, unorganized greenery often leads to their transformation into dumping grounds, which are perceived by local communities as dangerous areas (Dagar and Singh, eds., 2018). It is therefore important to manage these areas by finding a balance between their natural and scenic values and the social and management needs (Luo et al., 2024, Oviedo et al., 2022, Rodzik et al., 2025). A potential solution is the adaptation of NBS principles into their management, particularly through the pro-ecological development of gullies. To transform gullies into multifunctional and socially friendly green spaces while preserving their unique values, this approach should limit access to the most natural and valuable areas (Rodzik et al., 2025). This can be achieved through the design of elevated paths above ground level and viewpoints for the observation of vegetation and wildlife. Such development ensures controlled access to biodiversity-rich areas and introduces educational elements (Maciejko and Wojtyśzyn, 2019, Sumanapala and Wolf, 2019). According to

the NBS typology presented by Dumitru and Wendling, Eds. (2021), such a solution can be classified as Type 1: minimal or no intervention in ecosystems, with objectives related to maintaining or improving delivery of ecosystem services within and beyond the protected ecosystems.

A linear park is a specific form of urban park characterized by an elongated, linear shape, usually located along roads, waterfronts, transport routes, or rivers (Ibrahim et al., 2020, Kim et al., 2024). These parks integrate elements of green infrastructure, such as ecological corridors, and often develop previously unused land, such as former railway or industrial sites (Park and Kim, 2019). Due to their structure and location, linear parks can connect various elements of the urban landscape, including green spaces, monuments, or city skylines (Park and Kim, 2019). Linear parks play a significant role in a pro-environmental approach to urbanism, promoting sustainable development and balancing urban functions with environmental protection. The typology of linear parks depends on their location and function, including parks along rivers and coastlines, near railway lines, or elevated parks such as the famous High Line in New York (Li et al., 2020, Sim, 2024). Their design adapts to local conditions and needs, allowing for the introduction of various forms and functions, including walking and cycling paths, resting areas, and landscaping elements (Yang et al., 2023, Li et al., 2022a). According to the NBS typology presented by Dumitru and Wendling, Eds. (2021), such a solution can be classified as Type 2: sustainable management and natural enrichment of existing green and blue urban infrastructure elements.

As described above, the pro-ecological development of gullies and the implementation of linear parks have the potential to be effective NBS in specific urban contexts, yet their contribution to the NBS framework remains insufficiently explored. This study addresses this knowledge gap by pursuing three main objectives: (1) to assess the feasibility of implementing two types of NBS – pro-ecological gully development and linear parks – in the urban context; (2) to translate the IUCN Global Standard for NBS into a set of locally applicable, operational site-selection criteria; and (3) to identify both best-suited and optional locations through a multi-stage GIS-based analysis in relation to Lublin (Poland) case study.

MATERIALS AND METHODS

Study Area Description

The study area encompasses the city of Lublin, located in the southeastern part of Poland (**Figure 1A**). Lublin is located in eastern Poland, between 51°15'N latitude and 22°34'E longitude, at an altitude of approximately 183 meters above sea level. The city is situated in the Lublin Upland, along the valley of the Bystrzyca River. Lublin covers an area of 147 km² and is divided into 27 districts, with a population of approximately 331,000 inhabitants (2023), resulting in a population density of 2,251 inhabitants per square kilometer. Lublin serves as the centre of Lubelskie Voivodeship, with significant administrative, economic, educational, cultural, and tourist functions. Lublin ranks 11th out of 18 provincial cities in terms of the percentage of urban green areas in the total area of the city, which is 9.55%. In contrast, it ranks 6th out of 18 provincial cities for the percentage of protected areas in the urban area, which is 17.20% (State of the City of Lublin Report, 2023). Urban green spaces in Lublin include parks, gardens, green squares, urban forests and urban waters; however, there is still potential for further integration of green spaces into the existing urban infrastructure. A number of green interventions are currently taking place in the city, including planting trees and shrubs along streets, creating rain gardens and flower meadows, and establishing a river park.

Relevance of the Selected NBS Types to the Lublin Context

Ecological and spatial potential of the city

Lublin is the only large city in Poland characterized by a typical loess relief, where the flat top of the plateau is intersected by various valley forms, creating a system of dry valleys and gullies (Inventory of Ravines in the Lublin City Area, 2012) (**Figure 1B**). Of the 87 such structures within the Lublin city limits, only 12 are fully or partially developed with paved footpaths, recreational areas and playgrounds, and are included in the city's green infrastructure system. Most

of the smaller gullies, especially on the outskirts of the city, remain in their natural state with little or no human intervention. As a result, only a small number of Lublin's dry valleys are used by residents, mainly for jogging, cycling, and dog walking. Those that are undeveloped and lack proper management are often transformed into wild dumps, with negative social and ecological impacts (Rodzik et al., 2025). However, these areas have the potential to complement and enhance the existing NBS structure by creating multifunctional spaces that preserve their natural qualities and increase their utility value.

There are 23 urban parks in the city, covering 1.36% of its territory and located in 16 out of 27 districts. The concept of linear parks is still at an early stage of development in Lublin. As a result, no linear parks have been introduced yet that could be harmoniously integrated into existing ecological or transportation networks, or other urban infrastructure elements. Some sites, such as Rury Park and John Paul II Park, have elements characteristic of this type of space, but do not fully meet the criteria for linear parks. However, the city has the spatial potential to implement this type of NBS. Lublin is divided in two parts by the Bystrzyca River, creating a large green area along the river valley that could be developed into linear parks, connecting various elements of the urban green landscape. Additionally, the system of street trees along the main roads is fairly well developed, covering 0.28% of the city (Wójcik-Madej and Sowińska-Świerkosz, 2022). Some of these structures have recently been incorporated into the NBS, such as by implementing flowering meadows and green gardens (Wójcik-Madej et al., 2025). This system can be further enriched by transforming some of the areas along roads into linear parks. Therefore, integrating areas located next to rivers and roads into the broader NBS structure could enhance their functionality, promote biodiversity, improve the aesthetics of the urban landscape, and provide city residents with spaces for outdoor recreation.

Urban planning policy

The City of Lublin is constantly trying to become a 'green city' by implementing numerous pro-environmental initiatives and involving residents in the decision-making process. One of the key tools for public participation is the Green Budget, which allows residents to submit and select projects to improve the quality of the city's environment. As a result, a total of 80 projects has already been implemented as part of the Green Budget. Another initiative of the city, in cooperation with companies, is the implementation of a system of rain gardens, which aims to reduce the amount of rainwater entering the sewerage system, improve air quality and increase biodiversity in the city. The city is also investing in other NBS solutions, such as the development of green roofs - including the award-winning green roof on Lublin's main railway station - green bus stops, and riverside parks. Thanks to these measures, the number of parks and green spaces in the city is steadily increasing, improving the quality of life for residents. To reach the 'green city' status, the city's strategic and planning documents specify the percentage of the area of Lublin devoted to green spaces; sports and recreational areas: 1.7%; river banks and meadows: 5.1%; wooded areas: 11.9%; public green areas: 7.5%, and organised green areas related to the public's leisure and recreation needs: 3.7% (**Figure 1B**). Thanks to the commitment of the city authorities and the activity of its inhabitants, Lublin is gradually implementing a sustainable development strategy and becoming an increasingly friendly and green place to live.

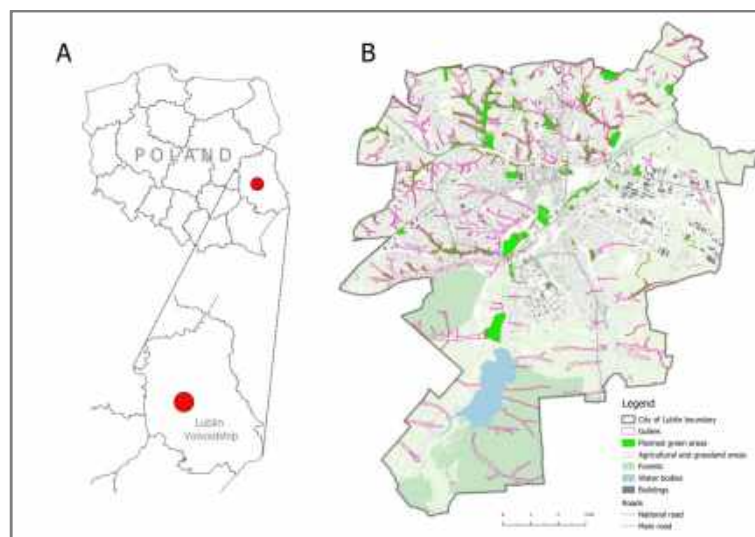


Figure 1. A. Location of the city of Lublin within the borders of Poland; B. Location of gullies in the city of Lublin and areas designated for urban greenery according to the local spatial development plans of the city of Lublin, Poland (<https://geoportal.lublin.eu/2d/>), available 10.05.2025).

Stakeholder preferences

The assessment of stakeholder preferences, which was part of the previous authors' paper (Wójcik-Madej et al., 2025) showed high support for the two types of solutions analysed. Public preferences for innovative types of NBS for Lublin were measured through two online surveys conducted on the Microsoft Forms platform. The survey included employees of the Lublin City Office (LCO), representatives of various institutions in the city, and residents, with a total of 120 respondents. The surveys were conducted between December 2021 and September 2024. In the case of the pro-environmental development of gullies, representatives of the Lublin City Office (LCO) awarded 4.8 out of 5 points, while residents rated this type of development 4.6 out of 5 points. Urban parks, on the other hand, received 4.3 out of 5 points from city office representatives and 4.73 out of 5 points from residents. These results indicate a convergence of opinion between the two groups, which is crucial for the acceptance of NBS and their effective management.

Preliminary study

The previous study conducted by the authors (Wójcik-Madej et al., 2025) revealed that the pro-ecological development of gullies and the introduction of urban parks in the form of linear structures are examples of the best-suited innovative NBS types for the city of Lublin. The multi-criteria evaluation performed focused on major urban challenges, social trade-offs and compliance with planning documents and urban planning policies. The study concluded that the implementation of the selected solutions would provide multi-dimensional benefits, including landscape protection, climate change adaptation to and mitigation, and an overall improvement in the quality of life.

Methodological assumptions

The research was based on the following methodological assumptions, which are further detailed in Table 1: **(MA1)** The effective implementation of the NBS in the city of Lublin requires the active involvement of the Lublin City Office (LCO), and **(MA2)** The use of IUCN global standards principles facilitates the assessment of solutions from the perspective of the NBS concept.

Table 1. Methodological assumptions and their implications in the adopted approach.

Justification	Impact on research design
(MA1) The effective implementation of the NBS in the city of Lublin city requires the active involvement of the Lublin City Office (LCO).	
- The Lublin City Office (LCO) is the owner of most of the land designated for urban greenery. - The LCO is responsible for approving spatial plans that regulate land use, location, and restrictions.	The research was conducted in close collaboration with the Lublin City Office (LCO) in terms of obtaining data, share opinions and consultations on the implementation of the NBS in the city.

• The implementation of multifunctional green interventions, including the revitalization of gullies and riverbanks, is an integral part of the city's urban strategy. • The LCO has the necessary resources and experience to manage green and blue infrastructure interventions.	• The starting point for the assessment was a database of the dry valleys and gullies prepared by the LCO, as well as planned green areas outlined in city plans. • Land ownership by local government units and the State Treasury was taken as the economic criterion. • The accessibility of the sites to citizen was adopted as a social criterion. • The final locations were consulted with representatives of the LCO.
(MA2) The use of IUCN global standards principles facilitates the assessment of solutions from the perspective of the NBS concept.	
• To be classified as an NBS, a given solution must meet the criteria outlined by the IUCN (2020). • NBS are highly context-specific. • NBS should maximize benefits while minimizing trade-offs. • The design of NBS should acknowledge and respond to the interactions between the economy, society, and ecosystems.	• Assessment of legal, environmental, economic, social, ecological and technical criteria. • Application of an exclusion approach by eliminating sites that do not meet the specified criteria at each stage.

Methods

To assess the implementation possibilities of the two selected solution types in relation to the city of Lublin, the IUCN global standards principles were applied. A locational criterion was matched to each of the IUCN criteria (2020) in order to capture the multifaceted nature of NBS. As a result, site criteria include various dimensions, such as legal, economic, environmental, social, ecological and technical ones (**Table 2**). Although the IUCN framework comprises eight general criteria, the study identified six practical groups of criteria that are better suited to local spatial and technical conditions. This method was developed and tested in a published study on modular green roofs (Wójcik-Madej et al., 2026), in which it was found to be highly effective in identifying the most suitable locations, as well as those that were optional. In that study, adapting the IUCN global standard criteria to local conditions was found to be a transparent, consistent and repeatable assessment approach. The results confirmed that this method is sufficiently flexible and sound in its methodology to be applied to pro-ecological gullies development and linear parks, while taking into account their specific functional and spatial conditions.

The criteria were divided into two basic categories. Mandatory, hard criteria, were used to identify 'optional' locations, i.e. areas of possible implementation that took legal and environmental conditions into account, but were not fully effective due to other factors. Additional soft criteria, the fulfilment of which significantly increased the functionality and effectiveness of implementing a given type of solution, determined the optimal locations. The hard criteria were analysed first, while the order of the soft criteria depended on the specifics of the solution in question. Of the analysed criteria, legal and environmental criteria were adopted as hard criteria. As part of the legal criterion, the compliance of the preferred locations with the city of Lublin's current planning documents was analysed. As part of the environmental criterion, the current state of land development and use was analysed to identify locations that could be developed to avoid functional and spatial conflicts. In the case of linear parks, an additional hard criterion was the technical criterion relating to the location and shape of this type of solution. Based on an assessment of spatial, morphological and infrastructural conditions, the implementation of individual types of NBS was analysed in terms of the technical criteria determining their effective implementation and functioning. As part of the economic criterion, land ownership was assessed to identify locations on land owned by the State Treasury or the Municipality of Lublin. This criterion was crucial in ensuring the feasibility of implementing NBS while maintaining sustainable costs (i.e. avoiding the need to purchase land and buildings or undergo lengthy administrative procedures). As part of the social criterion, accessibility was analysed to ensure that various groups of residents could access the selected locations. As part of the ecological criterion, the natural value of the selected locations was assessed to exclude those with high natural value that could be lost or disturbed by the implementation of the NBS. The final stage consisted of expert consultations with representatives from Lublin City Council and specialists in spatial management, physical geography, and environmental engineering. These consultations enabled to verify the best locations to be identified. **Figure 2** shows in details data sources used, pre-processing stages and description in relation to each criterion and analysed NBS type.

The location analysis was based on an elimination approach, whereby locations that did not meet the defined criteria were systematically excluded from further analysis (see **Columns A–C of Figure 2**). This process narrowed down the selection to the most suitable implementation areas. Such an approach has been used in some previous studies. For example, Azadgar et al. (2025) used this method to identify areas requiring high-risk flood interventions in Gdansk, Poland, by adapting the appropriate NBS types such as rain gardens, drainage ditches and retention ponds. The multi criteria method proposed by Alves et al. (2024) also excludes areas that do not meet the technical criteria for rainwater management in terms of NBS implementation, such as bioswales, permeable pavements, rain barrels and infiltration trenches. All spatial analyses were conducted using QGIS software. As a result, a geospatial database of potential NBS locations was created, highlighting the advantages and limitations of NBS implementation at a given site, taking into account a variety of factors.

Table 2. Selection of location criteria based on the principles of the Global IUCN Standards (Adapted and modified from Wójcik-Madej et al., 2026)

IUCN criterion	Local criterion and its justification
Criterion 1: NBS effectively address societal challenges: NBS address specified and well-documented challenges that have significant impacts on society as well as provide human well-being outcomes	Legal – taking into account the provisions of local spatial plans, which result from analyses concerning, among other things, the challenges related to the development of a given area Social – assessment of the accessibility to the areas that facilitates outdoor activities and promote mental and physical well-being
Criterion 2: Design of NBS is informed by scale: NBS recognizes economy, society and ecosystems interactions and is integrated with other interventions	Environmental – assessment of compatibility with other NBS interventions which allow for integration with other complementary existing activities and the pursuit of synergy.
Criterion 3: NBS result in a net gain to biodiversity and ecosystem integrity: NBS must be based on well-founded understanding of the ecosystems and key biodiversity values should be established	Ecological – appreciation of ecological values of no developed areas that are natural green enclaves and biodiversity hotspots
Criterion 4: NBS are economically viable: identify who pays and who benefits and test the cost-effectiveness and affordability of the solution	Economical – assessment of land ownership resulted in selecting sites that reducing investment costs Technical – assessment of specific technical requirements minimizing technical barriers and shortening implementation time thus making investment economically viable
Criterion 5: NBS are based on inclusive, transparent and empowering governance processes: obtain acceptance and involvement of key stakeholders and taken into account cooperation agreements between relevant authorities	Expert consultations with representatives of different departments of the Lublin City office as well as specialists and researchers to verify the validity of the proposed sites; consideration of responsibilities in land use management and spatial development of different authorities, including those of the State Forests and Polish Waters
Criterion 6: NBS equitably balance trade-offs between achievement of their primary goal(s) and the continued provision of multiple benefits: consideration of rights, usage of and access to land and resources and understanding cost and benefits of trade-offs	Economical – assessment of land ownership to understand rights, usage of and access to land and thus ensure the practical feasibility of solution implementation Detection of optional sites at each level of assessment that helps to understanding cost and benefits of trade-offs among different factors used in the analysis
Criterion 7: NBS are managed adaptively, based on evidence (applied to post-implementation period)	To ensure this criterion in the post-implementation period, the priority was given to the feasibility of NBS implementation by the LCO meaning that this authority will be also responsible for the solution management. Taken into account LCO resources, experience and functional model, the adaptive management can be achieved.
Criterion 8: NBS are sustainable and mainstreamed within an appropriate jurisdictional context: NBS are designed and managed with a view to long-term sustainability, and they are aligning with existed policy frameworks	Legal – consistency with local strategies, development plans and sectoral regulations to support institutional implementation.

SITE SELECTION PROCESS					
A. Stage number	B. Number of locations	C. % of locations retained	D. Criterion	E. Description: Data source and pre-processing	F. Description: Operational rules
TYPE I: PRO-ECOLOGICAL MANAGEMENT OF GULLIES					
1	87	100	Input spatial database	- Data analysis and processing were performed in QGIS (version 3.34.15) using the ETRF2000-PL/CS92 coordinate system. - Data on the location of the gullies was obtained from the City of Lublin's Planning Department. - The data was in DWG format. - The preliminary processing involved importing the data into QGIS, converting it from DWG to SHP format and verifying the attributes and geometry.	- Elements with incomplete or incorrect attribute data (e.g. missing identifiers, names, or geometry discontinuities) were rejected from further processing. - Objects representing gullies which were correctly located and had the correct geometry after conversion to SHP format were included in the analysis. - During data verification, particular attention was paid to ensuring the topology was correct and that the coordinate system complied with the adopted spatial reference, ETRF2000-PL/CS92. - There were difficulties in the form of inconsistencies between the reference layer and the source data layer, which required the manual correction of object positions in the QGIS environment.
Hard criteria					
2	40	45,98	Legal criterion	- A database of gullies in SHP format was developed based on data obtained from the Planning Department of the Lublin City Council. - The texts of the planning documents (Study of Conditions and Directions for the Spatial Development of the City of Lublin and Local Spatial Development Plans for the City of Lublin for 2024) are available on the Lublin City Council website (https://bip.lublin.eu/strategia-planowanie/planowanie-przestrzenne). - Drawings of the planning documents in WMS format can be found on the Open Data Lublin website (https://otwartedane.lublin.eu/). - Date of data acquisition: 30 March 2024. - Preliminary processing includes adding WMS layers to the QGIS project, verifying the mapping is correct and referencing the dry valley location layer.	- The gullies areas were analysed in the context of existing and proposed planning documents. - Gullies located within areas planned for development, other than landscaped green areas (e.g. residential, commercial or industrial development) were excluded from further analysis. - Gullies designated for landscaped green areas in planning documents were selected for further analysis. - In the absence of a valid local plan, the provisions of the Study of Conditions and Directions of Spatial Development were applied. - For areas covered by multiple plans, the consistency of the provisions and the validity of the documents as of the date of the analysis were verified. - The verification of the location and consistency of the data was carried out using reference layers in the QGIS environment.
3	32	36,78	Environmental criterion	- The gullies database was updated in Stage I, and data on the location of buildings in Lublin was downloaded in QGIS as a data package in SHP format using the GUGIK Data Downloader plug-in as of 1 April 2024. - The orthophotomap from 2023 was downloaded from the Otwarte Dane Lublin website (https://otwartedane.lublin.eu/) as a GeoTIFF COG, which is connected to the programme. - Preliminary processing: - This involved importing data on building locations and adding a raster with an orthophoto map to the programme. The consistency of building locations was then verified using satellite imagery, and layers were prepared for spatial analysis.	- Gullies containing buildings and landscaped greenery were excluded from further analysis. - Gullies without buildings or greenery were selected for further analysis. - The following difficulties were encountered: the need to manually check the location of buildings on the orthophotomap, and possible inconsistencies in the scale and resolution of the data.
Soft criteria					
4	8	9,20	Economic criterion	- Database of gullies updated in Stage II. - Database of plots in WFS format, obtained from the website of the Main Office of Geodesy and Cartography, GUGIK (https://integracja.gugik.gov.pl) as of 1 April 2024. - Regulation of the Minister of Development, Labour and Technology of 27 July 2023 on the register of land and buildings (Journal of Laws 2024.0.219). - Preliminary processing: - Import of the database with the location of plots, conversion of the WFS data format to the SHP format. - Classification of plots by type of ownership in accordance with the Regulation of the Minister of Development, Labour and Technology.	- Gullies located on privately owned land were excluded from further analysis. - Gullies located on land owned by the State Treasury, the Municipality of Lublin or jointly owned by these entities were selected for further analysis. - Difficulties: the need to manually check the location of gullies that partially overlapped with several plots of land, which required verification of which parts of the area were actually eligible for further analysis.
5	8	9,20	Social criterion	- The gullies database was updated in Stage III. - Vector data showing paved roads, cycle paths and footpaths for analysis were downloaded in the programme using the GUGIK plug-ins, using the following key-value pairs: <code>highway=primary</code>, <code>highway=secondary</code>, <code>highway=tertiary</code>, <code>highway=residential</code>, <code>highway=cycleway</code>, <code>highway=footway</code>. - Data on the location of car parks and bus stops was mapped in the programme using the OpenStreetMap connected to the project as a WMS service. - Preliminary processing: - Integration of all spatial layers in the ETRF2000-PL/CS92 system. - Updating the ravine database by adding the accessibility attribute. - Classification of gullies according to transport accessibility: 'accessible', 'limited access' and 'no access'.	- Gullies that were difficult to access, i.e. classified as 'restricted access' or 'no access', were excluded from further analysis. - Gullies that were easily accessible on foot, by bicycle, by car or by public transport and were classified as 'accessible' were selected for further analysis. - Difficulties: heterogeneity of spatial data sources (different years and formats) and the need for manual verification of the course of roads, cycle paths and pavements.
6	8	9,20	Ecological criterion	- The gullies database was updated in Stage V. - Data for the analysis of natural values was obtained from various sources, including: - Study of conditions and directions of spatial development of the city of Lublin and local spatial development plans for the city of Lublin for 2005-2024 (https://bip.lublin.eu/strategia-planowanie/planowanie-przestrzenne/). - Climate Change Adaptation Plan for the City of Lublin until 2030 (https://bip.lublin.eu/strategia-planowanie/ochrona-srodowiska/plan-adaptacji-do-zmian-klimatu-miasta-lublin-do-roku-2030.328275.html). - Geoportal of the City of Lublin (https://geoportal.lublin.eu/2d/). - Open Data Lublin (https://otwartedane.lublin.eu/group/przestrzen-srodowisko). - Forest Data Bank (https://www.bdl.lasy.gov.pl/portali/). - Report of 7 December 2021 on the floristic and zoological inventory of two sections of the 'Stary Gał' forest complex in Lublin, numbered 177 and 178 (https://lublin.eu/gfx/lublin/userfiles/public/mieszkancy/srodowisko/aktualnosci/2022/stary_gal_-_ekspertyza_umcs-up_2_vykonania_inwentaryzacji_florystyczno-przyrodniczej.pdf). - Official websites of the city and environmental institutions. - Publicly available spatial databases and thematic maps. - Reports for individual plots downloaded from the OnGeo.pl website. - Inventory and natural valuation of the 'Dolina Trześniowska' area (https://lublin.eu/mieszkancy/partycypacja/budzet-obywatelski/aktualnosci/opracowania-przyrodnicze/13036271.html). - The available data was analysed in terms of records concerning various forms of protection of dry valleys in the city of Lublin. - Supplementary data: Orthophotomap from 2023. - Preliminary processing: - Updating the ravine database by adding the attribute 'value'. - Classification of gullies according to their natural value: 'high', 'medium' and 'low'.	- Gullies that were protected and classified as having high natural value were excluded from further analysis. - Gullies that did not have significant natural value, were not protected, and were classified as having medium or low natural value were selected for further analysis. - Difficulties: diversity of data sources and the need to standardise them, varying levels of detail and timeliness of information, data gaps and information gaps, problems with spatial integration, subjective assessment of natural values, and the need for manual data updating and verification.

SITE SELECTION PROCESS						
A. Stage number	B. Number of locations	C. % of locations retained	D. Criterion	E. Description: Data source and pre-processing	F. Description: Operational rules	
TYPE 1: PRO-ECOLOGICAL MANAGEMENT OF GULLIES						
7	6	6,90	Technical criterion	- The gullies database was updated in Stage IV. - The data was obtained on the basis of a field survey and expert consultation. - The field survey was conducted in August 2024, together with photographic documentation. - The expert consultation was conducted in September 2024 with an expert specialising in physical geography, geomorphology and palaeogeography from UMCS Lublin - Preliminary processing: - Preparation of notes from the expert consultation and a summary in tabular form. - Identification of conclusions regarding technical and organisational barriers to the implementation of pro-ecological management of gullies.	- Gullies where trees had been felled, leading to the destruction of their structure, and valleys identified by the expert were rejected from further analysis. - Gullies which, based on field observations and expert consultation, could be developed in an environmentally friendly manner were selected for further analysis. - Difficulties: varying levels of detail in the information on the geomorphology of individual gullies.	
8	6	6,90	Expert consultation	- The gullies database was updated in Stage VI. - Qualitative data was obtained as a result of expert consultations conducted between February and April 2025. - Representatives of the Lublin City Council participated in the consultations. - The consultations took the form of online meetings, face-to-face discussions and e-mail correspondence. - Preliminary processing: - Preparation of notes from discussions and summaries in tabular form. - Identification of recurring conclusions regarding technical and organisational barriers to the implementation of pro-ecological management of gullies.	- Gullies which, according to representatives of the Lublin City Council, could not be developed in an environmentally friendly manner were rejected. - Gullies whose environmentally friendly development was in line with the internal arrangements presented by representatives of the Lublin City Council were considered the best locations. - The results of the consultation were used to verify the assumptions regarding the implementation of pro-ecological management of gullies. - Difficulties: varying levels of detail in the information provided by participants.	
TYPE 2: LINEAR PARKS						
1	2813	100	Input spatial database	- Data analysis and processing was performed in QGIS (version 3.34.15) using the ETRF2000-PU/C502 coordinate system. - Data on the location of green areas in the city of Lublin was downloaded into the programme using the BDOT10k plug-in as an SHP data package. - Data attributes: rcode, type, species, data status as of 24 June 2024. - Preliminary processing: - Importing data into the programme. - Verifying the geometry of objects. - Checking the correctness and completeness of attributes. - Verifying the compliance of the reference system.	- Objects with missing or incorrect data were rejected. - Green areas that were correctly located and had a complete set of required information were included in the analysis. - Difficulties: the need to check the compatibility of the reference system and the correctness of data imported into QGIS.	
Hard criteria						
2	184	6,5	Legal criterion	- A database of green areas in the city compiled on the basis of data downloaded from the programme using the BDOT10k plug-in. - The texts of planning documents (Study of conditions and directions of spatial development of the city of Lublin, Local spatial development plans for the city of Lublin for 2005-2024) are available on the website of the Lublin City Council (https://bip.lublin.eu/strategia-i-planowanie/planowanie-przestrzenne/). - Drawings of planning documents in WMS format are available on the Open Data Lublin website (https://otwartedane.lublin.eu/). - Date of data acquisition: 30 March 2024. - Preliminary processing includes adding WMS layers to the QGIS project, verifying the correctness of the mapping and referencing the layer with the location of green areas in Lublin.	- The aim of the analysis was to develop a database of preferred areas for the location of: landscaped greenery, park greenery, recreational greenery, low, medium and high greenery. - Areas located within the boundaries of land for which development other than landscaped green areas is planned (e.g. residential, commercial, industrial) were rejected from further analysis. - Areas covered by planning documents and meeting legal requirements were selected for further analysis. - Difficulties: the need to check the compatibility of the reference system and the correctness of the import of WMS data and documents into the QGIS environment.	
3	165	5,87	Technical criterion (I)	- Database with preferred areas for green space location updated in Stage I. - Orthophoto map from 2023 downloaded from the Open Data Lublin website (https://otwartedane.lublin.eu/) as GeoTIFF COG connected to the programme. - Preliminary processing: - Updating the database of preferred areas for green space implementation by adding the location attribute. - Classification of areas by location: 'river', 'road', 'railway line' and 'other' based on location analysis using the orthophoto map.	- Areas whose location was defined as 'other' were rejected from further analysis. - Areas with the location attribute 'river', 'road' or 'railway line' were selected for further analysis. - Difficulties: the need to manually verify the location of areas in the QGIS environment and check their compliance with the orthophoto map and the database of preferred areas.	
4	84	2,99	Environmental criterion	- Database of preferred areas for green space location updated in Stage II. - Data on the location of buildings in Lublin was downloaded in QGIS as a data package in SHP format using the GUGIK Data Downloader plug-in (as of 1 April 2024). - Orthophotomap from 2023 downloaded from the Otwarte Dane Lublin website (https://otwartedane.lublin.eu/) as GeoTIFF COG connected to the programme. - Preliminary processing: - Importing data with building locations and adding a raster with an orthophoto map to the programme. - Verifying the consistency of building locations with satellite imagery and preparing layers for spatial analysis.	- Areas with buildings and landscaped greenery were excluded from further analysis. - Areas without buildings and without landscaped greenery were selected for further analysis. - Difficulties: the need to manually check the location of buildings on orthophotomaps and possible inconsistencies in the scale and resolution of data.	
Soft criteria						
5	41	1,46	Economic criterion	- Database of preferred areas for green space location updated in Stage III. - Database of plots in WFS format, obtained from the website of the Main Office of Geodesy and Cartography, GUGIK (https://integracja.gugik.gov.pl) as of 1 April 2024. - Regulation of the Minister of Development, Labour and Technology of 27 July 2021 on the register of land and buildings [Journal of Laws 2024.0.219]. - Preliminary processing: - Import of the database with the location of plots, conversion of the WFS data format to the SHP format. - Classification of plots by type of ownership in accordance with the Regulation of the Minister of Development, Labour and Technology.	- Areas located on privately owned land were excluded from further analysis. - Areas located on land owned by the State Treasury, the Municipality of Lublin or jointly owned by these entities were selected for further analysis. - Difficulties: the need to manually verify the location of areas preferred for green space, as they partially overlapped with several plots, which required determining which parts of the area were eligible for further analysis.	
6	19	0,68	Technical criterion (2)	- Database of preferred areas for green space location updated in Stage IV. - Preliminary processing: - Calculation of the area of each area in the programme using the Field Calculator tool. - Analysis of the shape of the areas by assessing whether they are elongated. - Determination of the minimum area for areas eligible for further analysis: 0.55 ha (Alexandra 2008; Korwel-Lajkowska and Topa 2017).	- Areas with an area of ≤ 0.55 ha and a shape other than elongated were excluded from further analysis. - Areas with an area ≥ 0.55 ha and an elongated shape were selected for further analysis. - Difficulties: the need to manually verify the shape and proportions of areas to confirm that they meet the technical criteria for elongation and minimum area.	

SITE SELECTION PROCESS					
A. Stage number	B. Number of locations	C. % of locations retained	D. Criterion	E. Description: Data source and pre-processing	F. Description: Operational rules
TYPE 2: LINEAR PARKS					
7	19	0,68	Social criterion	- Database of preferred areas for green space location updated in Stage V. - Vector data showing paved roads, cycle paths and pavements for analysis were downloaded into the programme using the QuickOSM plugin, using the following key-value pairs: highway=primary, highway=secondary, highway=tertiary, highway=residential, highway=cycleway, highway=footway. - Data on the location of car parks and bus stops was mapped in the programme using the OpenStreetMap connected to the project as a WMS service. - Preliminary processing: - Integration of all spatial layers in the ETRF2000-PLACS92 system. - Updating the database with preferred areas for green space by adding the accessibility attribute. - Classification of areas according to transport accessibility: 'accessible', 'limited access' and 'no access'.	- Areas that were difficult to access, i.e. classified as 'restricted access' or 'no access', were excluded from further analysis. - Areas that were easily accessible on foot, by bicycle, by car or by public transport were selected for further analysis and classified as 'accessible'. - Difficulties: heterogeneity of spatial data sources (different years and formats) and the need for manual verification of the course of roads, cycle paths and pavements.
8	4	0,14	Technical criterion (1)	- Database of preferred areas for green space location updated in stage VI. - Documentation of site visits carried out in October and December 2024, including photographs of locations. - Preliminary processing involved supplementing area attributes with information on the condition of the sites obtained during the visits.	- Further analysis ruled out areas in poor technical and spatial condition, unsuitable for development as a park, as well as those with minor green elements introduced by residents, such as flower pots or flower beds. - Areas in good technical and spatial condition, which allowed for the development of the site as a park and created the potential for new plantings and small architectural elements, were selected for further analysis. - Difficulties: the need to manually verify the condition of the areas, match the results of the field surveys to spatial data in the QGIS environment, and evaluate the documentary photographs.
9	3	0,11	Ecological criterion	- Database of preferred areas for green space [updated in the previous stage]. - Data for the analysis of natural values was obtained from various sources, including: - Study of conditions and directions of spatial development of the city of Lublin, and local spatial development plans for the city of Lublin for 2005-2024 (https://bip.lublin.eu/strategia-i-planowanie/planowanie-przestrzenne/). - Climate Change Adaptation Plan for the City of Lublin until 2030 (https://bip.lublin.eu/strategia-i-planowanie/wchona-srodowiska/plan-adaptacji-do-zmian-klimatu-miasta-lublin-do-roku-2030.328275.21.html). - Geoportals of the City of Lublin (https://geoportallublin.eu/2d/). - Open Data Lublin: https://otwartadane.lublin.eu/grupa/przestrzen-srodowisko/. - Official websites of the city and environmental institutions. - Publicly available spatial databases and thematic maps. - Reports for individual plots downloaded from the OnGeo.pl website. - The available data was analysed in terms of records concerning various forms of protection of areas preferred for the location of green spaces in the city of Lublin. - Supplementary data: Orthophotomap from 2023. - Preliminary processing: - Updating the database of preferred areas for green space location by adding the attribute 'value'. - Classification of areas according to natural values: 'high', 'medium' and 'low'.	- Areas that were protected and classified as having high natural value were excluded from further analysis. - Areas that did not have significant natural value, were not protected, and were classified as having medium or low natural value were selected for further analysis. - Difficulties: diversity of data sources and the need to standardise them, varying levels of detail and timeliness of information, data gaps and information gaps, problems with spatial integration, subjective assessment of natural values, and the need for manual data updating and verification.
10	3	0,11	Expert consultation	- Database of preferred areas for green space location [updated in the previous stage]. - Qualitative data was obtained as a result of expert consultations conducted between February and April 2025. - The consultations involved scientists involved in the implementation and monitoring of urban parks and representatives of the Lublin City Council. - The consultations took the form of online meetings, face-to-face discussions and e-mail correspondence. - Preliminary processing: - Preparation of notes from discussions and summaries in tabular form. - Identification of recurring conclusions regarding technical and organisational barriers to the implementation of linear parks.	- Areas which, according to experts and representatives of the Lublin City Council, could not be designated for linear parks were rejected. - Areas that, according to experts and representatives of the Lublin City Council, could be designated for linear parks were considered the best locations. - The results of the consultation were used to verify the assumptions regarding the implementation of environmentally friendly development of city valleys. - Difficulties: varying levels of detail in the information provided by participants.

Figure 2. Characteristics and sequential stages of the site selection process, together with number of identified best-suited and optional locations for the analysed NBS types.

RESULTS

Pro-ecological development of gullies

The assessment showed that out of 87 gully sites within the borders of Lublin included in the input spatial database (see **Figure 1B**), 32 meet the hard legal and environmental criteria (**Figure 3**). This is due to the fact that 47 gullies are not designated as green recreational areas according to local development plans. In addition, eight sites have already been developed as green areas, but not in a pro-ecological form (e.g., concrete pavements have been introduced). The remaining 32 sites can be considered as potential sites for the implementing of pro-ecological management of gullies.

Regarding the best-suited sites, the application of the economic criterion showed that only 8 sites are located on land owned by the State Treasury or the Municipality of Lublin (the other sites are privately owned). All eight of these sites meet the social criterion as they are easily accessible to citizens: access to the gully is possible directly from the paved road, from the pavement near the parking lot or from the pavement near the bus stop. Besides, five sites are crossed by a cycle path. In addition, all of them have moderate ecological values which do not prevent their pro-ecological development. Site no 1 contains valuable species of so-called 'primeval relics' as well and 24 insect species unique for the Lublin region. Other sites are located in a forested protected landscape area. Among them, six sites met the technical criterion (sites no 1-6, see **Figure 4**), as two sites were rejected due to the intensive forest management in their area, which prevents the introduction of tourist infrastructure. The remaining six sites were consulted with experts to determine the

feasibility of their pro-ecological development. They were approved by the geomorphologist and 10 representatives of different Department of the Lublin City Office.

In summary, the research identified 32 sites (37% of the input database) were identified as optional sites, and six sites (7%) were identified as best-suited sites for the implementation of pro-ecological development of gullies (Figure 4). The characteristic of six best-suited sites together with the general guidelines for their pro-ecological development is provided in Appendix A.



Figure 3. The process of selecting the optional and best-suited sites for pro-ecological development of gullies in Lublin, together with the number of sites selected at each stage.

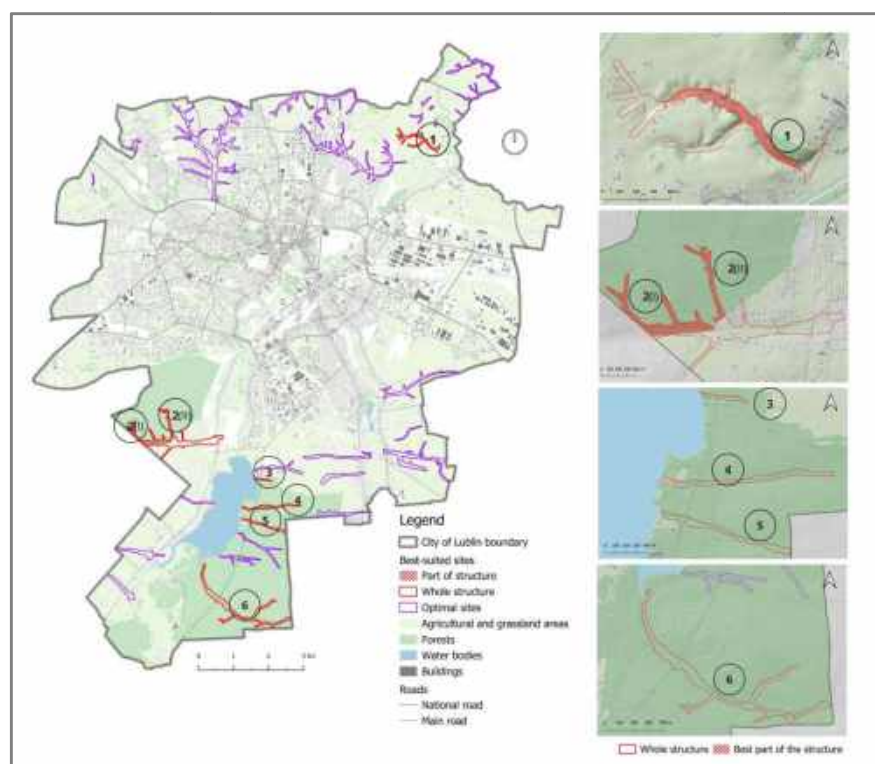


Figure 4. Optional 32 sites and 6 best-suited sites for the implementation of pro-ecological development of gullies in Lublin.

Implementation of linear parks

The assessment showed that out of 2813 green areas within the borders of Lublin included in the input spatial database, 84 meet the hard legal and environmental criteria (Figure 5). This is due to the fact that only 184 sites have been designated in local planning documents to provide open green spaces such as parks and gardens. In addition, 19 of these 184 sites are not located along a river, road or railway line and therefore do not meet the linear park characteristic (technical criterion 1), and 81 sites have already been developed as open green space (environmental

criterion). The remaining 84 sites be considered as potential sites for the implementation of linear parks.

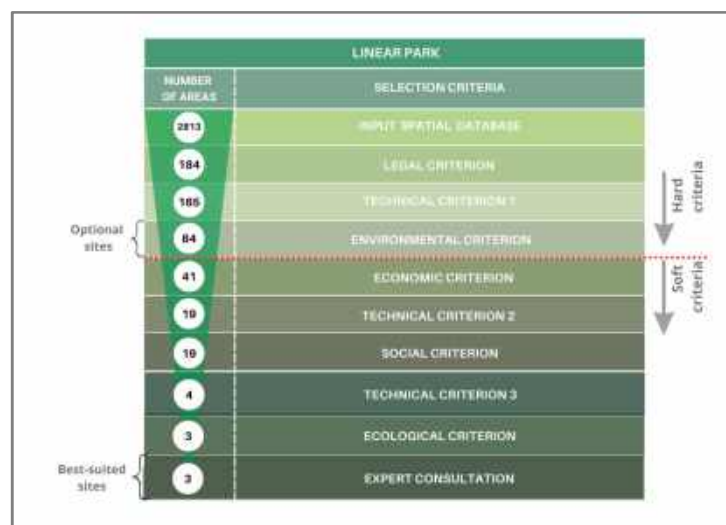


Figure 5. The process of selecting the optional and best-suited sites for linear parks implementation in Lublin together with the number of sites selected at each stage.

With regard to the best-suited sites, the application of the economic criterion showed that 41 sites are located on land owned by the State Treasury or the Lublin Municipality (the other sites are privately owned). The application of technical criterion 2 showed that 19 sites do not have an elongated shape and/or a minimum area of 0.55 ha and thus were rejected for further assessment. Remaining 19 sites met the social criterion, as they are easily accessible to citizens, both by car, public transport and by walking. The technical criterion no 3 was met by four sites, as rest of them have been already developed in various extent (e.g. benches, playgrounds, new planting of flowers, shrubs and trees), which were not visible on the orthophotomap from 2023 and therefore these sites were not excluded based on environmental criterion. Finally, only 3 sites met the ecological criterion. One site is of high natural value and should be remain it its natural character without human intervention in the ecosystem. The remaining 3 sites were consulted with experts to determine the feasibility of transforming them into linear parks. They were approved by a green infrastructure expert and 10 representatives of the Lublin City Office, representing different department.

In summary, the research identified 84 sites (3% of the input database) were identified as optional sites and only three sites (0.1%) were identified as best-suited sites for the implementation of a linear parks in Lublin (**Figure 6**). The characteristic of six best-suited sites together with the general guidelines for their pro-ecological development is provided in **Appendix B**.

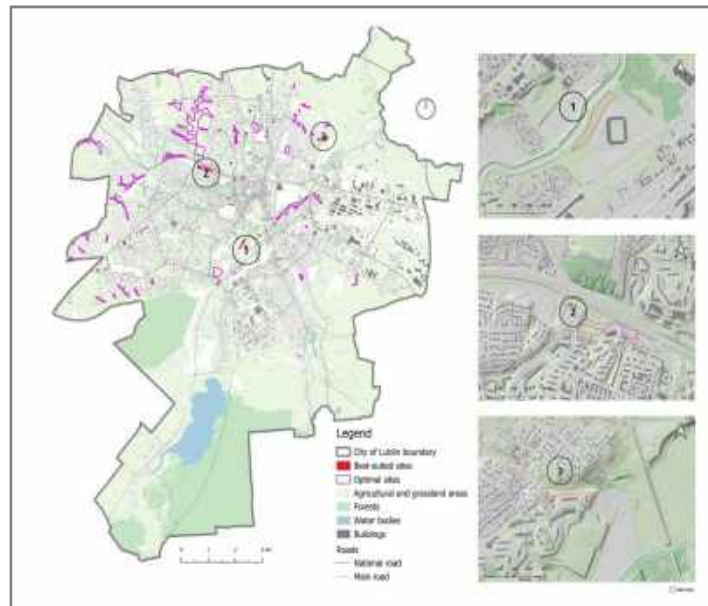


Figure 6. Optional 84 sites and 3 the best-suited for the implementation of linear parks in Lublin.

DISCUSSION

Site criteria for NBS and possibilities for NBS implementation in the city

The selection of location criteria for NBS is primarily based on environmental aspects, including terrain, hydrological conditions, land cover and biodiversity indicators, as well as technical criteria. Social and management aspects, however, are given less consideration. For instance, when selecting locations for urban parks, Li et al. (2022) considered criteria such as terrain elevation, slope, precipitation and vegetation indices, as well as one social factor: access to public transport. Asare et al. (2024) to select suitable sites for a specific type of NBS to mitigate urban flooding in Accra, Ghana, was also strongly oriented towards environmental factors such as distance from rivers. Unlike these studies, the set of soft criteria adopted in the present study represents a sustainable approach to site selection, as none of the criterion types was given the predominant role. Ecological criteria were limited to the designation of valuable/protected areas due to environmental and/or landscape values based on the baseline analysis to avoid the destruction of valuable habitats by NBS implementation. Due to the current moderate negative impact of climate change on the analysed city, an additional criterion related to e.g. water retention or urban cooling was not taken into account. Such an additional aspect would be crucial in relation to other urban areas suffering from the occurrence of the extreme weather conditions such as heat waves, strong winds, floods or droughts.

Regardless of the adopted criteria and their importance, studies on the selection of NBS locations most often use a multi-criteria method. This involves eliminating locations that do not meet specific technical or environmental requirements and then assessing the remaining areas in terms of feasibility and social accessibility (Azadgar et al., 2025; Alves et al., 2024). This dissertation adopted a similar approach, except that the selection of location criteria was based on the global criteria of the IUCN (2020). This is an innovative approach. This approach was adopted to facilitate the assessment of the analysed solutions from the perspective of the NBS concept, capturing their multidimensional nature (Wójcik-Madej et al., 2026).

As a result of the adopted approach, in the case of the city of Lublin, despite of the large number of sites included in the input databases, only 6 sites (7% of the total analysed) were qualified as best-suited for the pro-ecological development of gullies and only 0.1% (3 out of 2813) were considered particularly suitable for the implementation of linear parks. In addition, optional sites represent 37% of the total input database of gullies and 1.6% of the planned parks. The results obtained in terms of best-suited sites for both analysed NBS types, however, have a strong implementation potential, as the study was conducted in the close cooperation with the LCO, e.g. in terms of data sharing and expert consultation. Taken into account LCO resources, experience and functional model, the adaptive management can be achieved, being one of the key

aspects of NBS (Kauark-Fontes et al., 2023). Another advantage of the methodology is also the inclusion of legal criteria, which ensures compliance with the city's existing urban planning documents. This ensures that the analysis is based on viable spatial development plans, reducing the risk of incompatibility with the city's development policy. Consideration of existing policies, local laws, spatial plans and sectoral regulations as legal factors would facilitate NBS mainstreaming within an appropriate jurisdictional context (Brokking et al., 2021). In addition, priority was given to the land ownership by local government units and the State Treasury in order to facilitate the implementation of the solution from an economic point of view. Results obtained are also consistent with the needs of residents and city authorities for the implementation of solutions that have a low impact on the natural environment (Wójcik-Madej, 2025). One of the other advantages is the analysis of social accessibility, which ensures that the area is easily accessible both on foot and by public transport, thus increasing its usability and attractiveness for the residents (Mitropoulos et al., 2023, Rossetti et al., 2020). Therefore, as a key advantage of the approach is considered the integration of various criteria such as environmental, legal, economic, social, ecological and technical, allowing the identification of sites with a high implementation potential that can be implemented within the formal and legal context of the city. In particular, the results of the study confirm the significant potential for the implementation of pro-ecological development of gullies in Lublin. According to e.g. Trzaskowska and Adamiec (2014) and Rodzik et al. (2025), gullies play an important role in the structure of urban greenery and can provide an alternative to intensively developed recreational areas. Moreover, their natural preservation is important for users, allowing them to commune with nature regardless of the amount of recreational and leisure infrastructure (Boguszewska and Boguszewski, 2014). The allocation of gullies for the implementation of green spaces is important from the point of view of protecting them from development, so that they are well preserved. When implementing infrastructure, it is important to ensure that it does not destroy the structure of the gully, for example by filling in branches or placing overused buildings such as slopes or sports and entertainment halls (Trzaskowska and Adamiec, 2014). Geotourism is also possible in the gully areas, which would allow the discovery of landscape gullies by establishing special routes so that the natural environment is not damaged by visitors (Kołodzyńska-Gawrysiak, 2014). An important element that should appear in the gully areas is the educational element, which could be implemented in the city schools not only through the insertion of information boards, but also through field classes with educators trained in physical geography, geomorphology and paleogeography (Pytko et al., 2014).

The introduction of linear parks in Lublin also would bring many benefits to both residents and the environment. Such parks can provide valuable recreational spaces, offering residents places to rest, walk or play sports. Increasing biodiversity and creating ecological corridors helps to protect local ecosystems, improve air quality and reduce noise. Linear parks created along transport infrastructure improves the aesthetics of urban spaces and mitigate the negative effects of the presence of roads or railways (Yang et al., 2019, Argüelles et al., 2022). In terms of sustainability, linear parks help cities adapt to climate change by increasing rainwater retention and improving the microclimate (Kimic, 2013). They also contribute to urban sustainability by linking green spaces with residential and commercial areas and increasing the value of surrounding properties. Such investments can also act as tourist attractions, attracting visitors and promoting Lublin as a city that cares about the balance between urbanisation and environmental protection.

CONCLUSIONS

This study fully achieved its objectives of assessing the potential for implementing two types of nature-based solutions (NBS) in Lublin, adapting the International Union for Conservation of Nature (IUCN) Global Standard criteria to local conditions, and identifying the most suitable and optional locations through a multi-stage geographic information system (GIS) analysis. Furthermore, the results confirm that the adopted methodological approach enables a consistent, transparent and repeatable assessment of the implementation potential of NBS in complex urban conditions.

The study highlights the potential of linear parks and pro-ecological gully developments as undervalued yet important types of NBS in contemporary urban planning. The multi-criteria spatial

analysis demonstrated that these solutions can simultaneously fulfil legal, environmental, technical, economic, social and ecological functions while contributing to the revitalisation of neglected urban areas. Applying the method in the case of Lublin made it possible to identify both best-suited and optional locations, providing valuable support for municipal authorities and urban planners in spatial decision-making.

The proposed site-assessment methodology constitutes a versatile and replicable tool that can be adapted to other urban contexts facing similar environmental challenges. The framework is not limited to the two NBS types characteristic of Lublin's local conditions and can therefore be applied in other spatial contexts, regions and countries with different levels of NBS implementation. Because the multi-criteria suitability assessment is grounded in widely recognised IUCN global standards, the presented location-selection scheme has a universal character and can be used in both Polish and broader European settings. The method enables an evaluation of any selected NBS type within the adopted soft criteria, based on the knowledge and expertise of researchers or specialists working with specific solutions. Moreover, the proposed methodology for identifying best-suited sites for NBS implementation in urban areas can be extended to other NBS based on the sustainable management of green and blue infrastructure, provided that appropriate technical criteria are defined to capture the specificity of each solution.

Acknowledge

We would like to thank the Lublin City Office, and in particular the Department of Planning and Greenery and Municipal Affairs, for their contribution to the study, including the provision of numerical and spatial data for their participation in the consultation on the selection of the best-suited NBS sites. In addition, we would like to thank Professor Jan Rodzik (Institute of Earth and Environmental Sciences, Maria Curie-Skłodowska University in Lublin, Al. Kraśnicka 2D, 20-718, Lublin, Poland) for his expert advice and for providing valuable information on the evolution of gullies. J.G. acknowledges the support provided by the ICREA Academia program.

REFERENCES

1. Ahmed, F., Loc, H. H., Shrestha, S., Weesakul, S., & Thanh, N. H. (2023). Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) Approach to Evaluate the Applicability of Nature Based Solutions (NBS) in Tropical Region: A Field Note from the Asian Institute of Technology (AIT), Thailand. W P. L. Vo, D. A. Tran, T. L. Pham, H. Le Thi Thu, & N. Nguyen Viet (Eds.), *Advances in Research on Water Resources and Environmental Systems* (p. 345–360). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-17808-5_22
2. Albert, C., Brillinger, M., Guerrero, P., Gottwald, S., Henze, J., Schmidt, S., Ott, E., & Schröter, B. (2021). Planning nature-based solutions: Principles, steps, and insights. *Ambio*, 50(8), 1446–1461. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01365-1>
3. Alves, R. A., Santos, M. M. D., Rudke, A. P., Francisquetti Venturin, P. R., & Martins, J. A. (2024). Site selection for nature-based solutions for stormwater management in urban areas: An approach combining GIS and multi-criteria analysis. *Journal of Environmental Management*, 359, 120999. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120999>
4. Argüelles, L., Cole, H. V. S., & Anguelovski, I. (2022). Rail-to-park transformations in 21st century modern cities: Green gentrification on track. *Environment and Planning E: Nature and Space*, 5(2), 810–834. <https://doi.org/10.1177/25148486211010064>
5. Asare, P., Atun, F., & Pfeffer, K. (2024). Spatial Multi-Criteria Analysis for Discovering Nature-Based Solutions Location for Urban Flood Mitigation in Accra. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 17(1), 207–239. <https://doi.org/10.1007/s12061-023-09541-y>
6. Ayala-Azcárraga, C., Diaz, D., & Zambrano, L. (2019). Characteristics of urban parks and their relation to user well-being. *Landscape and Urban Planning*, 189, 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.04.005>
7. Azadgar, A., Gańcza, A., Asl, S. R., Salata, S., & Nyka, L. (2025). Optimizing nature-based solutions for urban flood risk mitigation: A multi-objective genetic algorithm approach in Gdańsk, Poland. *Science of The Total Environment*, 963, 178303.

- <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.178303>
8. Boguszewska, K., Boguszewski, M., & Trzaskowska, E. Eds. (2014). Development of urban green areas on the example of dry valleys of Lublin in the context of design solutions from Poland and around the world. In: *Gullies and dry valleys of Lublin. Potential and threats* (p. 195–210). Lublin City Office.
 9. Brokking, P., Mörtberg, U., & Balfors, B. (2021). Municipal Practices for Integrated Planning of Nature-Based Solutions in Urban Development in the Stockholm Region. *Sustainability*, 13(18), 10389. <https://doi.org/10.3390/su131810389>
 10. Cai, M., Cui, C., Lin, L., Di, S., Zhao, Z., & Wang, Y. (2021). Residents' Spatial Preference for Urban Forest Park Route during Physical Activities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(22), 11756. <https://doi.org/10.3390/ijerph182211756>
 11. Castellar, J. A. C., Popartan, L. A., Pueyo-Ros, J., Atanasova, N., Langergraber, G., Säumel, I., Corominas, L., Comas, J., & Acuña, V. (2021). Nature-based solutions in the urban context: Terminology, classification and scoring for urban challenges and ecosystem services. *Science of The Total Environment*, 779, 146237. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146237>
 12. Castelo, S., Amado, M., & Ferreira, F. (2023). Challenges and Opportunities in the Use of Nature-Based Solutions for Urban Adaptation. *Sustainability*, 15(9), 7243. <https://doi.org/10.3390/su15097243>
 13. Chrysoulakis, N., Somarakis, G., Stagakis, S., Mitraka, Z., Wong, M.-S., & Ho, H.-C. (2021). Monitoring and Evaluating Nature-Based Solutions Implementation in Urban Areas by Means of Earth Observation. *Remote Sensing*, 13(8), 1503. <https://doi.org/10.3390/rs13081503>
 14. Croeser, T., Garrard, G., Sharma, R., Ossola, A., & Bekessy, S. (2021). Choosing the right nature-based solutions to meet diverse urban challenges. *Urban Forestry & Urban Greening*, 65, 127337. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127337>
 15. Dagar, J. C. (2018). Ravines: Formation, Extent, Classification, Evolution and Measures of Prevention and Control. W J. C. Dagar & A. K. Singh (Eds.), *Ravine Lands: Greening for Livelihood and Environmental Security* (p. 19–67). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8043-2_2
 16. Dremel, M., Goličnik Marušić, B., & Zelnik, I. (2023). Defining Natural Habitat Types as Nature-Based Solutions in Urban Planning. *Sustainability*, 15(18), 13708. <https://doi.org/10.3390/su151813708>
 17. Dumitru, A., & Wendling, L. (Eds.). (2021). *Evaluating the impact of nature-based solutions: A handbook for practitioners*. Publications Office. <https://doi.org/10.2777/244577>
 18. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation. (2015). *Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions and re-naturing cities: Final report of the Horizon 2020 expert group on "Nature-based solutions and re-naturing cities" (Full version)*. Publications Office. <https://doi.org/10.2777/479582>
 19. Gwozda, M. (2023). *Report on the state of the city of Lublin for 2023*. Planning Department, Lublin City Office. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://bip.lublin.eu/gfx/bip/userfiles/_public/import/rada_miasta_lublin/raport_o_stanie_miasta/raport_o_stanie_miasta_lublin_za_2023_rok.pdf
 20. Ibrahim, A., Bartsch, K., & Sharifi, E. (2020). Green infrastructure needs green governance: Lessons from Australia's largest integrated stormwater management project, the River Torrens Linear Park. *Journal of Cleaner Production*, 261, 121202. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121202>
 21. Planning Department of the Lublin City Office. (2012). *Inventory of gullies in the Lublin city area*.
 22. IUCN. (2020). *Global standard for nature-based solutions: A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS* (1st ed.). IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.08.en>

23. Kabisch, N., Frantzeskaki, N., Pauleit, S., Naumann, S., Davis, M., Artmann, M., Haase, D., Knapp, S., Korn, H., Stadler, J., Zaunberger, K., & Bonn, A. (2016). Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: Perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. *Ecology and Society*, 21(2), art39. <https://doi.org/10.5751/ES-08373-210239>
24. Kauark-Fontes, B., Ortiz-Guerrero, C. E., Marchetti, L., Hernández-García, J., & Salbitano, F. (2023). Towards Adaptive Governance of Urban Nature-Based Solutions in Europe and Latin America—A Qualitative Exploratory Study. *Sustainability*, 15(5), 4479. <https://doi.org/10.3390/su15054479>
25. Kim, E. J., Lee, D. H., & Kang, Y. (2024). Explorations on cooling effect of small urban linear park design in low-rise, high-density district: The case of Gyeongui line forest park in Seoul. *Urban Forestry & Urban Greening*, 100, 128461. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128461>
26. Kimic, K. (2013). Contemporary linear park as the element of city's green infrastructure. In: *A modern linear park as an element of the city's green infrastructure* (Vol. 36, p. 47–60).
27. Kołodyńska-Gawrysiak, R., & Trzaskowska, E. Eds. (2014). Geotourism potential of ravines and dry valleys of the Węgliń Street area in Lublin. In: *Gullies and dry valleys of Lublin. Potential and threats* (p. 227–242). Lublin City Office.
28. Korwel-Lejkowska, B., & Topa, E. (2017). Accessibility of urban parks as elements of green infrastructure in Gdańsk (in Polish). *Regional Development and Regional Policy*, 37, 63–75.
29. Li, C., Zhang, T., Wang, X., & Lian, Z. (2022). Site Selection of Urban Parks Based on Fuzzy-Analytic Hierarchy Process (F-AHP): A Case Study of Nanjing, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(20), 13159. <https://doi.org/10.3390/ijerph192013159>
30. Li, H., Wang, G., Tian, G., & Jombach, S. (2020). Mapping and Analyzing the Park Cooling Effect on Urban Heat Island in an Expanding City: A Case Study in Zhengzhou City, China. *Land*, 9(2), 57. <https://doi.org/10.3390/land9020057>
31. Li, Z., Liu, Q., Zhang, Y., Yan, K., Yan, Y., & Xu, P. (2022b). Characteristics of Urban Parks in Chengdu and Their Relation to Public Behaviour and Preferences. *Sustainability*, 14(11), 6761. <https://doi.org/10.3390/su14116761>
32. Liu, K., Li, J., Sun, L., Yang, X., Xu, C., & Yan, G. (2024). Impact of Urban Forest and Park on Air Quality and the Microclimate in Jinan, Northern China. *Atmosphere*, 15(4), 426. <https://doi.org/10.3390/atmos15040426>
33. Liu, W.-Y., Lin, Y.-Z., & Hsieh, C.-M. (2021). Assessing the Ecological Value of an Urban Forest Park: A Case Study of Sinhua Forest Park in Taiwan. *Forests*, 12(6), 806. <https://doi.org/10.3390/f12060806>
34. Luo, M., Jia, X., Zhao, Y., Zhang, P., & Zhao, M. (2024). Ecological vulnerability assessment and its driving force based on ecological zoning in the Loess Plateau, China. *Ecological Indicators*, 159, 111658. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111658>
35. Maciejko, A., & Wojtyszyn, B. (2019). Tourism Infrastructure Providing Access to Areas of Protected Landscape and Nature in Poland. Selected Examples. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 603(4), 042049. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/603/4/042049>
36. Mira, E., Evette, A., Labbouz, L., M, R., Rousteau, A., & Tournebize, R. (2021). Investigation of the asexual reproductive characteristics of native species for soil bioengineering in the west Indies. *Journal of Tropical Forest Science*, 33(3), 333–342. <https://doi.org/10.26525/jtfs2021.33.3.333>
37. Mitropoulos, L., Karolemeas, C., Tsigdinos, S., Vassi, A., & Bakogiannis, E. (2023). A composite index for assessing accessibility in urban areas: A case study in Central Athens, Greece. *Journal of Transport Geography*, 108, 103566. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2023.103566>
38. Orta-Ortiz, M. S., & Geneletti, D. (2023). Prioritizing urban nature-based solutions to support scaling-out strategies: A case study in Las Palmas de Gran Canaria. *Environmental*

- Impact Assessment Review*, 102, 107158. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107158>
39. Oviedo, M., Drescher, M., & Dean, J. (2022). Urban greenspace access, uses, and values: A case study of user perceptions in metropolitan ravine parks. *Urban Forestry & Urban Greening*, 70, 127522. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127522>
 40. Park, J., & Kim, J. (2019). Economic impacts of a linear urban park on local businesses: The case of Gyeongui Line Forest Park in Seoul. *Landscape and Urban Planning*, 181, 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.10.001>
 41. Pytka, P., Szczesna, Wojtanowicz, P., & Trzaskowska, E. Eds. (2014). Educational Potential of Lublin's Dry Valleys. In: *Gulies and dry valleys of Lublin. Potential and threats* (p. 243–258). Lublin City Office.
 42. Rodzik, J., Żuraw, B., Sowińska-Świerkosz, B., Kuna, J., Sosnowska, M., & Podsiedlik, M. (2025). Multi-criteria evaluation for the sustainable use of loess gullies in rural–urban borderline. *Scientific Reports*, 15(1), 10801. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-94597-8>
 43. Rossetti, S., Tiboni, M., Vetturi, D., Zazzi, M., & Caselli, B. (2020). *Measuring Pedestrian Accessibility to Public Transport in Urban Areas: A GIS-based Discretisation Approach*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:221543637>.
 44. Sim, J. (2024). The emerging trend of converting abandoned elevated infrastructure into linear parks: State of the arts and categories of intervention. *Urban Design International*. <https://doi.org/10.1057/s41289-024-00245-4>
 45. Singh, G., Kumar, R., Jinger, D., & Dhakshanamoorthy, D. (2021). Ecological Engineering Measures for Ravine Slope Stabilization and Its Sustainable Productive Utilization. In: A. Ismet Kanlı (Ed.), *Slope Engineering*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.94136>
 46. Sowińska-Świerkosz, B., & García, J. (2022). What are Nature-based solutions (NBS)? Setting core ideas for concept clarification. *Nature-Based Solutions*, 2, 100009. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100009>
 47. Sowińska-Świerkosz, B., García, J., & Wendling, L. (2024). Linkages between the concept of nature-based solutions and the notion of landscape. *Ambio*, 53(2), 227–241. <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01935-z>
 48. Sumanapala, D., & Wolf, I. D. (2019). Recreational Ecology: A Review of Research and Gap Analysis. *Environments*, 6(7), 81. <https://doi.org/10.3390/environments6070081>
 49. Trzaskowska, E., Adamiec, P., & Trzaskowska, E. Eds.(2014). City Park as a Form of Protection for Lublin's Dry Valleys. In: *Lublin's Gullies and Dry Valleys. Potential and Threats* (p. 211–226). Lublin City Office.
 50. Van Der Jagt, A., Tozer, L., Toxopeus, H., & Runhaar, H. (2023). Policy mixes for mainstreaming urban nature-based solutions: An analysis of six European countries and the European Union. *Environmental Science & Policy*, 139, 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.10.011>
 51. Van Rooij, S., Timmermans, W., Roosenschoon, O., Keesstra, S., Sterk, M., & Pedroli, B. (2021). Landscape-Based Visions as Powerful Boundary Objects in Spatial Planning: Lessons from Three Dutch Projects. *Land*, 10(1), 16. <https://doi.org/10.3390/land10010016>
 52. Wójcik-Madej, J., García, J., & Sowińska-Świerkosz, B. (2025). Multi-criteria evaluation method for the selection of nature-based solutions for urban challenges. *Journal of Environmental Management*, 373, 123387. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123387>
 53. Wójcik-Madej, J., & Sowińska-Świerkosz, B. (2022). Pre-Existing Interventions as NBS Candidates to Address Societal Challenges. *Sustainability*, 14(15), 9609. <https://doi.org/10.3390/su14159609>
 54. Wójcik-Madej, J., Sowińska-Świerkosz, B., Pérez Luque, G., & Michalik-Śnieżek, M. (2026). Retrofitting existing buildings by the use of modular green roofs. *Building and Environment*, 287, 113900. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113900>
 55. Yang, L., Van Dam, K. H., Majumdar, A., Anvari, B., Ochieng, W. Y., & Zhang, L. (2019). Integrated design of transport infrastructure and public spaces considering human behavior: A review of state-of-the-art methods and tools. *Frontiers of Architectural Research*, 8(4), 429–453. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.08.003>
 56. Yang, M., Wu, R., Bao, Z., Yan, H., Nan, X., Luo, Y., & Dai, T. (2023). Effects of urban

park environmental factors on landscape preference based on spatiotemporal distribution characteristics of visitors. *Forests*, 14(8), 1559. <https://doi.org/10.3390/f14081559>

12. Oświadczenia doktoranta oraz współautorów dotyczących ich wkładu w przygotowanie opublikowanych prac naukowych

Lublin, dn. 15.11.2025 r.

Mgr inż. Julia Antonina Wójcik-Madej
Katedra Hydrobiologii i Ochrony Ekosystemów
Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie
ul. Bohdana Dobrzańskiego 37, 20-262 Lublin
Tel. 667-012-471
julia.madej@up.edu.pl

**Rada Dyscypliny Inżynierii Środowiska,
Górnictwa i Energetyki
Uniwersytetu Przyrodniczego
w Lublinie**

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracach:

- 1) Wójcik-Madej Julia, Sowińska-Świerkosz Barbara. 2022. Pre-Existing Interventions as NBS Candidates to Address Societal Challenges. *Sustainability*, 14(15), 9609. <https://doi.org/10.3390/su14159609>

Mój udział wynosił 70% i polegał na opracowaniu koncepcji pracy, zaplanowaniu i przeprowadzeniu badań, wyborze oprogramowania, przeprowadzeniu walidacji, przygotowaniu wersji roboczej artykułu, wizualizacji wyników, administrowaniu projektem oraz pozyskaniu finansowania.

- 2) Wójcik-Madej Julia, Garcia Joan, Sowińska-Świerkosz Barbara. 2025. Multi-criteria evaluation method for the selection of nature-based solutions for urban challenges. *Journal of Environmental Management*, 373, 123387. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123387>

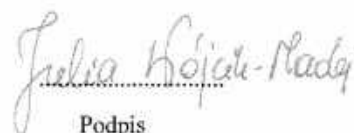
Mój udział wynosił 60% i polegał na opracowaniu koncepcji pracy, przygotowaniu wersji roboczej artykułu, wizualizacji wyników, wyborze oprogramowania, przeprowadzeniu badań oraz analizie danych.

- 3) Wójcik-Madej Julia, Sowińska-Świerkosz Barbara, Pérez Luque Gabriel, Michalik-Śnieżek Malwina. 2026a. Retrofitting existing buildings by the use of modular green roofs. *Building and Environment*, 287, 113900. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113900>

Mój udział wynosił 70% i polegał na przygotowaniu wersji roboczej artykułu, opracowaniu wizualizacji, wykonaniu walidacji, wyborze i obsłudze oprogramowania, pozyskaniu i przygotowaniu danych, przeprowadzeniu badań, analizie oraz opracowaniu danych, a także udziale w redakcji i recenzji tekstu oraz w przygotowaniu metodologii.

- 4) Wójcik-Madej Julia, Sowińska-Świerkosz Barbara, García Joan, Michalik-Śnieżek Malwina. 2026b. Integrating Nature-Based Solutions in Cities: Strategic Approaches with a Focus on Green Gullies and Linear Parks. *Journal of Ecological Engineering*, Vol. 27(4). <https://doi.org/10.12911/22998993/214908> (przyjęta do druku).

Mój udział wynosił 70% i polegał na przygotowaniu wersji roboczej artykułu, opracowaniu wizualizacji, wykonaniu walidacji, wyborze i obsłudze oprogramowania, pozyskaniu i przygotowaniu danych, przeprowadzeniu badań, analizie oraz opracowaniu danych, a także udziale w redakcji i recenzji tekstu oraz w przygotowaniu metodologii.


Podpis

Lublin, dn. 15.11.2025 r.

dr hab. Barbara Sowińska-Świerkosz, prof. uczelni
Katedra Hydrobiologii i Ochrony Ekosystemów
Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie
ul. Bohdana Dobrzańskiego 37, 20-262 Lublin
Tel. 81 461 00 61
barbara.swierkosz@up.edu.pl

**Rada Dyscypliny Inżynierii Środowiska,
Górnictwa i Energetyki
Uniwersytetu Przyrodniczego
w Lublinie**

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracach:

- 1) Wójcik-Madej Julia, Sowińska-Świerkosz Barbara. 2022. Pre-Existing Interventions as NBS Candidates to Address Societal Challenges. *Sustainability*, 14(15), 9609. <https://doi.org/10.3390/su14159609>

Mój udział wynosił 30% i polegał na opracowaniu koncepcji pracy, przygotowaniu metodologii badań, recenzji i redakcji tekstu oraz nadzorze nad realizacją projektu.

- 2) Wójcik-Madej Julia, García Joan, Sowińska-Świerkosz Barbara. 2025. Multi-criteria evaluation method for the selection of nature-based solutions for urban challenges. *Journal of Environmental Management*, 373, 123387. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123387>

Mój udział wynosił 20% i polegał na przygotowaniu wersji roboczej artykułu, nadzorze nad realizacją projektu oraz opracowaniu metodologii badań.

- 3) Wójcik-Madej Julia, Sowińska-Świerkosz Barbara, Pérez Luque Gabriel, Michalik-Śniezek Malwina. 2026a. Retrofitting existing buildings by the use of modular green roofs. *Building and Environment*, 287, 113900. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113900>

Mój udział wynosił 20% i polegał na przygotowaniu wizualizacji, nadzorze merytorycznym nad pracą, współtworzeniu metodologii i koncepcji badań, udziale w przygotowaniu wersji roboczej artykułu oraz w recenzji i redakcji tekstu

- 4) Wójcik-Madej Julia, Sowińska-Świerkosz Barbara, García Joan, Michalik-Śniezek Malwina. 2026b. Integrating Nature-Based Solutions in Cities: Strategic Approaches with a Focus on Green Gullies and Linear Parks. *Journal of Ecological Engineering*, Vol. 27(4). <https://doi.org/10.12911/22998993/214908> (przyjęta do druku).

Mój udział wynosił 20% i polegał na przygotowaniu wizualizacji, nadzorze

merytorycznym nad pracą, współtworzeniu metodologii i koncepcji badań, udziale w przygotowaniu wersji roboczej artykułu, recenzji i redakcji tekstu oraz pozyskaniu finansowania.

Barbara Gwizdo-Siucha

Podpis

Lublin, dn. 15.11.2025 r.

dr inż. Małwina Michalik-Śniezek
Katedra Łąkarstwa i Kształtowania Krajobrazu
Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie
ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin
Tel. 81 445 60 30
malwina.sniezek@up.edu.pl

**Rada Dyscypliny Inżynierii Środowiska,
Górnictwa i Energetyki
Uniwersytetu Przyrodniczego
w Lublinie**

Oświadczenie o współautorstwie

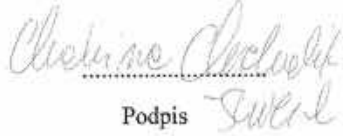
Niniejszym oświadczam, że w pracach:

- 1) Wójcik-Madej Julia, Sowińska-Świerkosz Barbara, Pérez Luque Gabriel, Michalik-Śniezek Małwina. 2026a. Retrofitting existing buildings by the use of modular green roofs. *Building and Environment*, 287, 113900. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113900>

Mój udział wynosił 5% i polegał na przygotowaniu wersji roboczej artykułu, wykonaniu wizualizacji, współtworzeniu metodologii oraz pozyskaniu finansowania.

- 2) Wójcik-Madej Julia, Sowińska-Świerkosz Barbara, García Joan, Michalik-Śniezek Małwina. 2026b. Integrating Nature-Based Solutions in Cities: Strategic Approaches with a Focus on Green Gullies and Linear Parks. *Journal of Ecological Engineering*, Vol. 27(4). <https://doi.org/10.12911/22998993/214908> (przyjęta do druku).

Mój udział wynosił 5% i polegał na przygotowaniu wersji roboczej artykułu, wykonaniu wizualizacji, współtworzeniu metodologii.


Podpis

Barcelona, 15 November 2025

prof. Joan García Serrano
GEMMA-Group of Environmental Engineering
and Microbiology, Department of Civil and
Environmental Engineering,
Universitat Politècnica de Catalunya – Barcelona Tech
c/ Jordi Girona 1-3, Building D1, E-08034 Barcelona, Spain
Tel. +34 93 4016464
joan.garcia@upc.edu

**Discipline Council
Environmental Engineering,
Mining and Energy
of University of Life Sciences
in Lublin**

Declaration of co-authorship

I hereby declare that the following works:

- 1) Wójcik-Madej Julia, García Joan, Sowińska-Świerkosz Barbara. 2025. Multi-criteria evaluation method for the selection of nature-based solutions for urban challenges. *Journal of Environmental Management*, 373, 123387. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123387>

My contribution amounted to 20%, which included reviewing and editing the manuscript, and developing the research methodology.

- 2) Wójcik-Madej Julia, Sowińska-Świerkosz Barbara, García Joan, Michalik-Śnieżek Malwina. 2026b. Integrating Nature-Based Solutions in Cities: Strategic Approaches with a Focus on Green Gullies and Linear Parks. *Journal of Ecological Engineering*, Vol. 27(4). <https://doi.org/10.12911/22998993/214908> (accepted for publication).

My contribution was 5% and consisted of participating in the review and editing of the text, performing validation and providing substantive support in the form of supervision.

JOAN GARCIA JOAN GARCIA
SERRANO - DNI SERRANO - DNI
46650832R 46650832R (TCAT)
2025.12.06
(TCAT) 11:08:35 +01'00'

.....
Signature

Lleida, 15 November 2025

Dr Gabriel Pérez Luque, university professor
Innovative Technologies for
Sustainability (IT4S) Research Group
University of Lleida
C/Jaume II 69 25001, Lleida, Spain
Tel. +34 973 00 35 73
gabriel.perez@udl.cat

**Discipline Council
Environmental Engineering,
Mining and Energy
of University of Life Sciences
in Lublin**

Declaration of co-authorship

I hereby declare that in the paper Wójcik-Madej Julia, Sowińska-Świerkosz Barbara, Pérez Luque Gabriel, Michalik-Śnieżek Malwina. 2026a. Retrofitting existing buildings by the use of modular green roofs. *Building and Environment*, 287, 113900 my contribution was 5% and consisted of participating in the review and editing of the text, performing validation and providing substantive support in the form of supervision.

Firmado por Gabrie Perez Luque - DNI ***9730** (TCAT) el día
17/11/2025 con un certificado emitido por EC-SectorPublic

.....
Signature