



## 1. INTRODUCTION

Global climate change and rapid urbanization have led to several urban challenges, including air pollution, intensified waterlogging and flooding, urban heat island effects, excessive noise, and the loss of biodiversity, which have negatively impacted the physical and mental health of urban residents (Liu et al. 2021). To mitigate these issues, many sustainable approaches, nature-based solutions, practices, methodologies, and algorithms have been designed and implemented, including energy efficient buildings, use of renewable energy sources, air and water pollution mitigation techniques, urban green spaces, an expansion of green infrastructure, etc (Mihalakakou et al. 2023). Green roofs are considered to be an effective contribution to the resolution of several environmental problems at the building and urban levels (Jaffal, Ouldboukhitine, Belarbi 2012).

The subject of the article is to present the perspectives and main development trends in the use of green roofs in architecture. On the basis of the bibliometrics and scientometric analysis of the selected subject, the main research trends were presented, the countries most contributing to its development were distinguished and the most influential authors were presented.

Actions against global climate change, as one of the 17 Sustainable Development Goals (SDGs) of the 2030 Agenda, exposes the need to take urgent measures to combat climate changes and their impacts (Leite, Antunes 2023), therefore we are obliged to develop reliable strategies allowing for achievement of the set goals. Green roofs, which are engineered rooftops that sustain vegetation, have been suggested as one such "nature based" solution to improve urban sustainability and resilience (Cook, Larsen 2021). Therefore, it is worth considering which directions are the most promising and show the greatest potential in terms of energy efficiency of buildings and urban agglomerations.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1. Data acquisition

The development of the data study study was the Scopus database, as an academic research database recommended for conducting quantitative scientific research (Baas et al. 2020, Liu et al. 2021). The data was extracted from the mechanism of triggering words, i.e. "roof", "roof", "green", "garden", "vegetation", appearing in the summary, later or as a keyword. In the next step, the search area was narrowed down to the topics of "Environmental Science", "Engineering" and "Energy" and in the period from 2003 to 2023 (two decades) to develop the purpose of the analysis. A total of 5,336 articles were held. Detailed data extraction schemes for later analysis are presented in (Fig. 1).

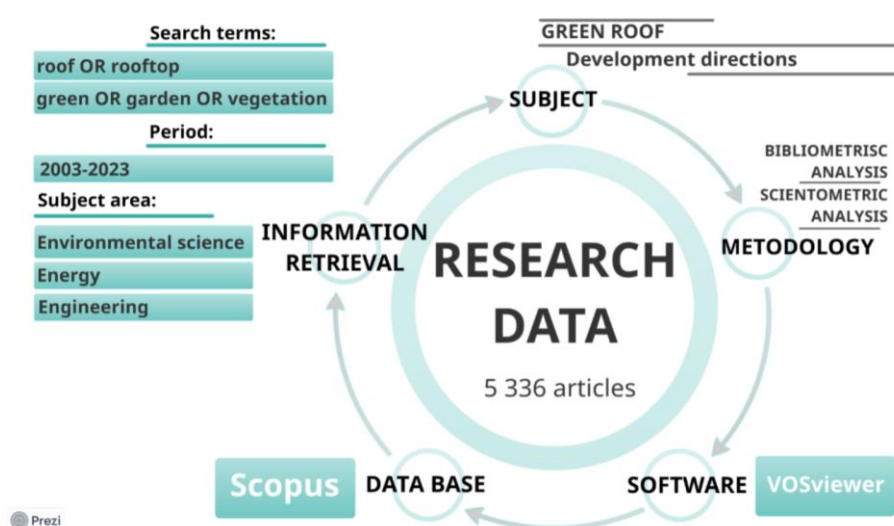


Fig. 1. Methodology.  
Source: by author

**2.2. Methodology**

Research developed by scientists using the Science Mapping methodology of the attached bibliometric and scientific-research technique was covered by the scheme presented in (Fig.2). Science Mapping is the development and computational techniques to visualize, analyze and model the application of science and technology activities as a whole (Chen et al. 2014). The aim of these activities is to create maps that describe how particular disciplines, scientific fields or research fields are conceptually, intellectually and socially structured (Cobo et al. 2011). Such a map contains a scientific landscape that can be used to explore, describe or establish the status and development of scientific knowledge and practice. Visualize the relationship between these characteristics across different actives, examining direct links between the effects of works, conceptual relationships between groups of articles, similarity between authors, and links between larger scientific organizations such as journals and institutions (Chen et al. 2014). The Science Mapping method is a research method that can be classified into three corresponding quantitative research techniques: infometric, bibliometric and scientometric analysis (Hosseini et al. 2018; Hood, Wilson 2001). Hood and Wilson in their publication cite a number of definitions and interpretations of the above analyses, thus presenting the ambiguity of these terms. Bibliometric analysis refers mainly to "physically" published publications and their bibliographic data (Hood, Wilson 2001), while scientometric analysis complements it with considerations of networks of dependencies between the number of citations of articles or publications, co-authors, research units or countries (Wuni et al. 2019).

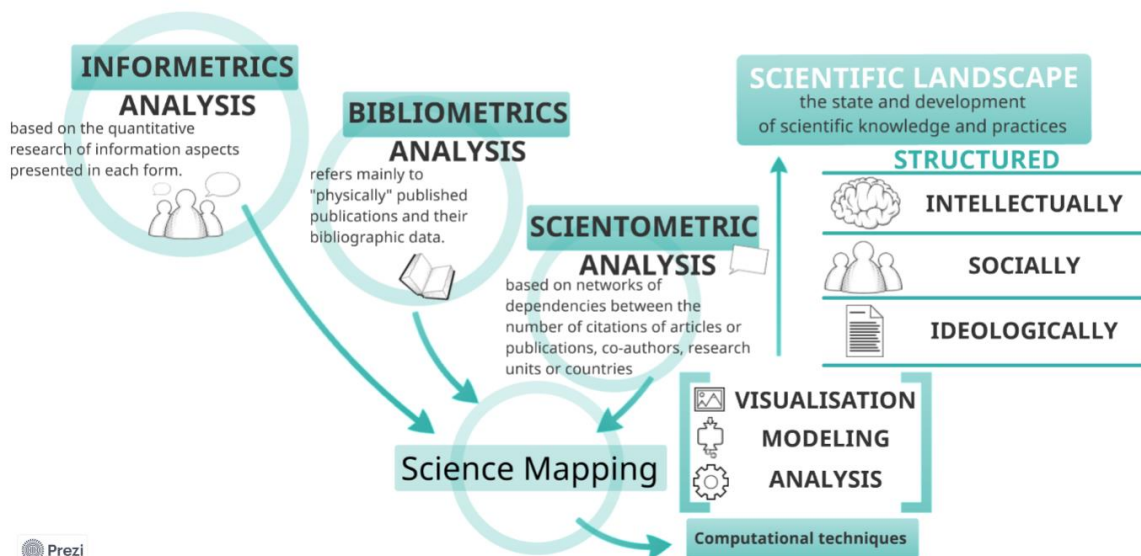


Fig. 2. Science Mapping: Infometrics, bibliometric and scientometric analysis. Source: by author

**2.3. Selection of tools**

The presentation of the results was developed using the VOSviewer software, which allows you to generate dependency maps based on selected categories and criteria. This tool is widely used to develop scientific maps of many scientific fields (Ghalambaz et al. 2023, Aghalari et al. 2023, Wang et al. 2023, Zyoud et al. 2023). Detailed parameters for each of the analyzes are shown in the table (Tab. 1).

Tab. 1. Selected parameters necessary to develop a network of connections in the VOSviewer program. Source: by author

No.	Network	Type of the analysis	Calculation method	Unit of analysis	Minimum number of occurrences	Minimum number of documents	Minimum number of citations
1.	Co-occurring keyword network	Co-occurrence	Fractional counting	Author keywords	30	-	-
2.	Co-authorship network	Co-authorship	Fractional counting	Country	-	5	200
3.	Author co-citation network	Co-citation	Fractional counting	Cited authors	-	-	300
4.	Citation network	Citation	-	Documents	-	-	300

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1. Co-occurrence network od keywords

Keywords are necessary for the indexation of scientific articles in databases, and their main task is to indicate the topic of publication (Wuni et al. 2019). The analysis of the co-occurrence of keywords is helpful in identifying the main trends of research on a specific topic (Liu et al. 2021). The network of related keywords provides an accurate picture of the "production" of scientific knowledge in terms of patterns, relationships and intellectual organization of the topics addressed (Hosseini et al. 2018).

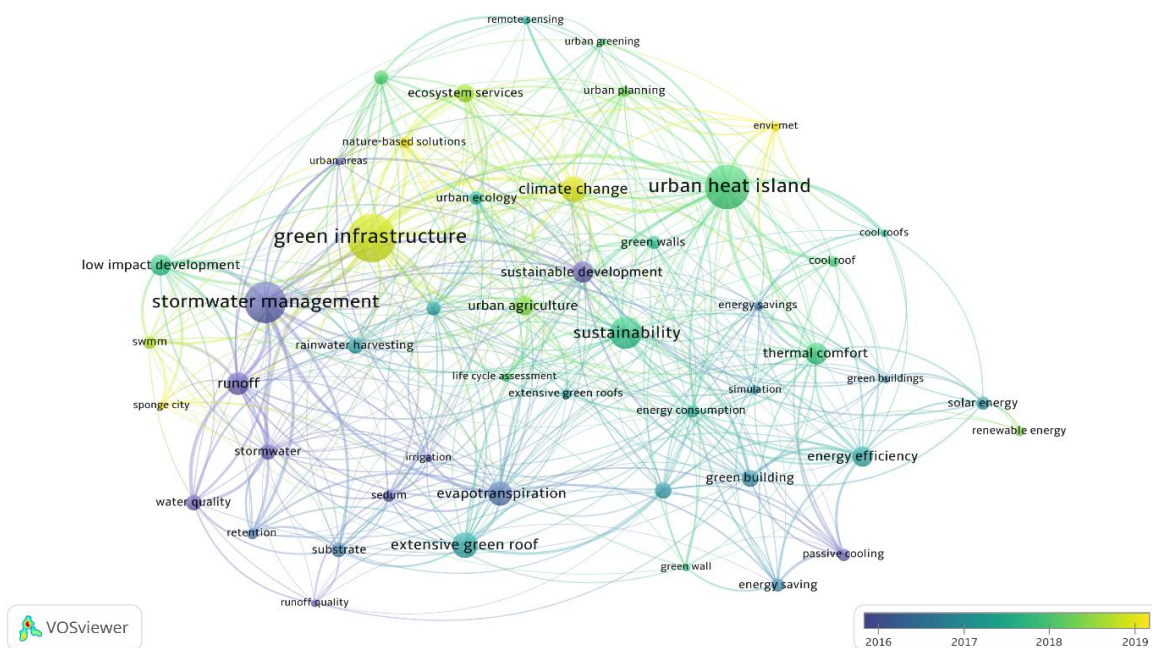


Fig. 3. Co-occurrence of keywords network. Source: by author

Ryc. 3. Sieć współwystępowania słów kluczowych. Źródło: autor

In (Fig. 3) the authors' keyword co-occurrence network is presented, consisting of 51 keywords and 507 combinations. Obvious keywords such as "green roof" and "green roofs" and "vegetation" were excluded from the network of connections, bearing in mind their participation in extracting the database. The distances between each other determine the co-occurrence of individual keywords: the closer they are, the more often given terms co-occur. On the other hand, individual colors indicate the year of publication according to the legend. Thanks to them, it is possible to define the directions of development of a given subject over the years. Font size determines the frequency of occurrence. The most common keyword is "green infrastructure", which is a general term and refers to many aspects of green roof applications. In combination with terms such as "sustainability", "climate change", "sustainable development" or "energy efficiency", it refers directly to climate change and defines the importance of green roofs in low-emission policy activities. The following areas of high research potential have been defined:

- Higher air quality and lower temperature in city centers – "Urban heat island",
- Thermal comfort and energy consumption in buildings – "Thermal comfort", "Green building", "Thermal performance",
- Rainwater management – "Stormwater management", "Evapotranspiration", "Runoff", "Water quality", "Stormwater", "Rainwater harvesting",
- Roofs as urban service space – "Urban agriculture", "Ecosystem services".

Based on the years in which the given expressions were most often used, the course of development of research on green roofs can be indicated. In 2016, a frequent subject of research was rainwater, its quality, collection possibilities and management in a holistic sense. Next, the considerations concerned buildings as a unit: thermal efficiency of buildings, passive and "green" energy buildings. The following years prompted researchers to expand the field of research and focus on clusters of buildings, i.e. urban agglomerations, and to analyze the effects of the solutions applied for individual buildings in a broader perspective. The most current topic since the beginning of 2019 are urban heat islands and research on thermal comfort in the context of sustainable development. It is also worth noting the variety of keywords: from specific concepts to very general terms that guarantee the author to reach a wider audience.

Table 2 shows the first 20 keywords, sorted by occurrences, for which total link strength was determined. Occurrence determines the number of documents in which a given word occurs, while the total linking strength determines the number of documents in which two keywords occur together (Wuni et al. 2019).

Tab. 2. The most frequently used keywords. Source: by author

No.	Keyword	Occurrences	Total link strength
1.	Green infrastructure	190	151
2.	Urban heat island	174	140
3.	Stormwater management	162	137
4.	Sustainability	124	91
5.	Extensive green roof	101	44
6.	Climate change	100	71
7.	Evapotranspiration	94	81
8.	Runoff	89	84
9.	Thermal comfort	86	67
10.	Sustainable development	84	54
11.	Low impact development	83	58
12.	Energy efficiency	80	59

No.	Keyword	Occurrences	Total link strength
13.	Urban agriculture	78	49
14.	Ecosystem services	70	55
15.	Green building	69	46
16.	Thermal performance	65	51
17.	Water quality	63	51
18.	Stormwater	62	52
19.	Rainwater harvesting	61	37
20.	Substrate	58	51

### 3.2. Co-authorship network

Cooperation between authors has a significant impact on the development of science. It allows for confrontation of views, discussion, which may result in the adaptation of new methodologies or research tools. This part presents a network analysis of co-authorship of publications in the considered area of research, broken down by the country of the unit to which they belong. In accordance with the applied criteria indicated in the methodology, 51 were identified from 163 countries that meet the given criteria. On this basis, a network of co-authors was generated (Fig. 4), and detailed data are presented in (Tab. 3).

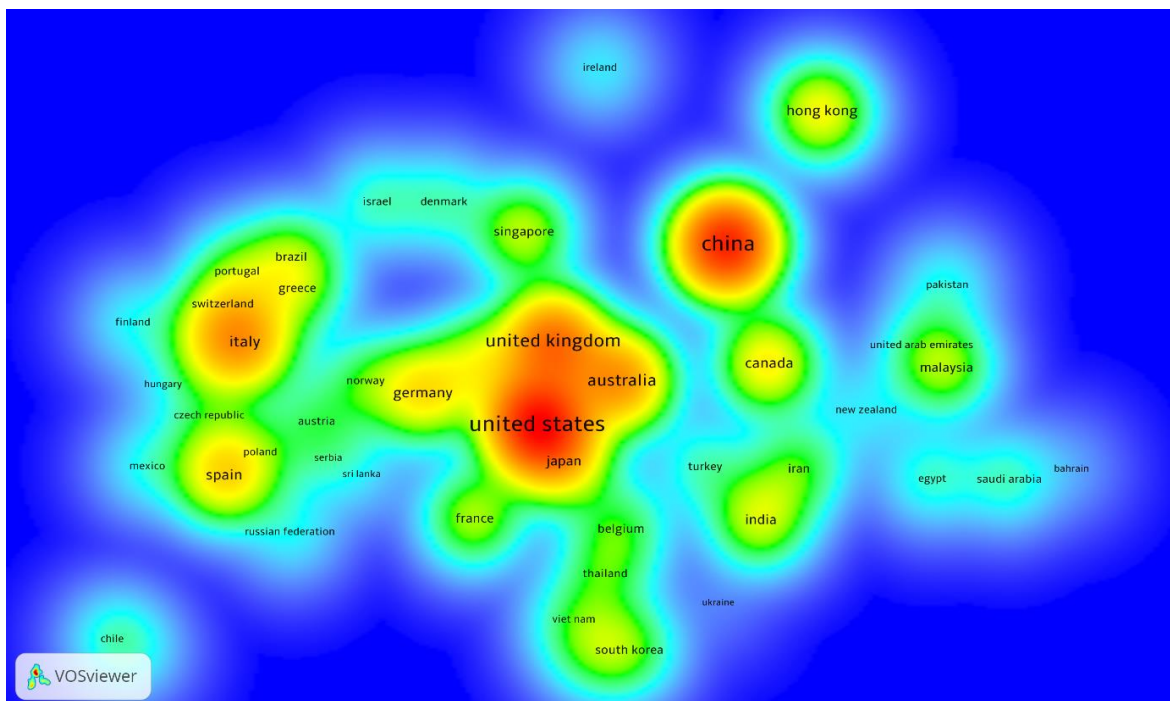


Fig. 4. Co-authorship network. Source: by author

Ryc. 4. Sieć współautorstwa. Źródło: autor

The visualization of the generated network of connections regarding co-authorship shows the dependencies between the location of the unit to which the authors of the publication belong. Total link strength was defined as the weight for individual links, which determines the number of publica-

tions co-authored by two researchers, while the greater the number and weight of elements in the vicinity of a point (country), the larger the font of the description (Wuni et al. 2019). Three groups of countries centered around the United States, China and Italy stand out on the density map, which proves their frequent cooperation with other members of the groups to which they belong, but also the impact of their work on the entire environment. According to the visualization, authors belonging to scientific units in China rather do not cooperate with the rest of the world when developing publications, although they sometimes cooperate with authors from Canada. Units from Italy, on the other hand, conduct joint research with units from neighboring countries: Switzerland or Greece. The table (Tab. 3) has been arranged according to the number of citations of authors from particular countries. The most frequently cited publications come from authors in units located in the United States, United Kingdom and Italy. Depending on the number of documents, the United States, China and Italy are again in the lead. It is worth noting that Australia and Japan form a strong group together with the United States, whose publications are additionally often cited. Spain and Germany stand out on the density map, but they are missing from the table below, which means that the number of publication citations is below 1,500. If we consider the authors' cooperation, it is very diverse, while apart from the three previously indicated groups of countries, the remaining works within a country or a scientific unit. Regardless of the adopted criterion, the United States is in the forefront, with the greatest impact on the study area.

Tab. 3. A list of the first 10 countries in which the units to which the most cited authors belong are located. Source: by author

No.	Keywords	Number of publications	Number of citations	Total link strength
1.	United States	229	7760	74
2.	United Kingdom	70	4687	41
3.	Italy	112	4596	26
4.	Greece	33	3850	19
5.	Australia	71	3309	28
6.	China	149	3130	51
7.	Hong Kong	46	2944	20
8.	Singapore	30	2121	19
9.	Kanda	52	2074	21
10.	Japan	50	1468	20

### 3.3. Author co-citation network

An excellent supplement to the co-authorship analysis is the co-citation analysis based on the dependency network generated in the VOSviewer program. A co-citation network shows connections between two authors who are cited in the same document (Wuni et al. 2019). The greater the distance between them, the less often they are cited in the same publications. The figure (Fig.5) shows the network of connections between the authors. The weighting for the individual points (font size) is the total link strength. Of the 46,033 cited authors, 140 met the threshold. Four groups of the most frequently co-cited authors were distinguished, which were presented on the dependency network. In each of the groups, we can distinguish the "main" author, who is most often co-cited with others. Rowe, Santamouris, Stovin and Li are the most frequently quoted and at the same time the most influential. Individual groups usually include authors sharing common interests, conducting research in the same institutions or in the same country. Rowe and Rugh represent the same academic unit of Michigan State University. The authors gathered around Stovin focus on the topic of rainwater management and topics directly related to it, while around Santamouris they focus on the problem of hot islands in cities and climate change.

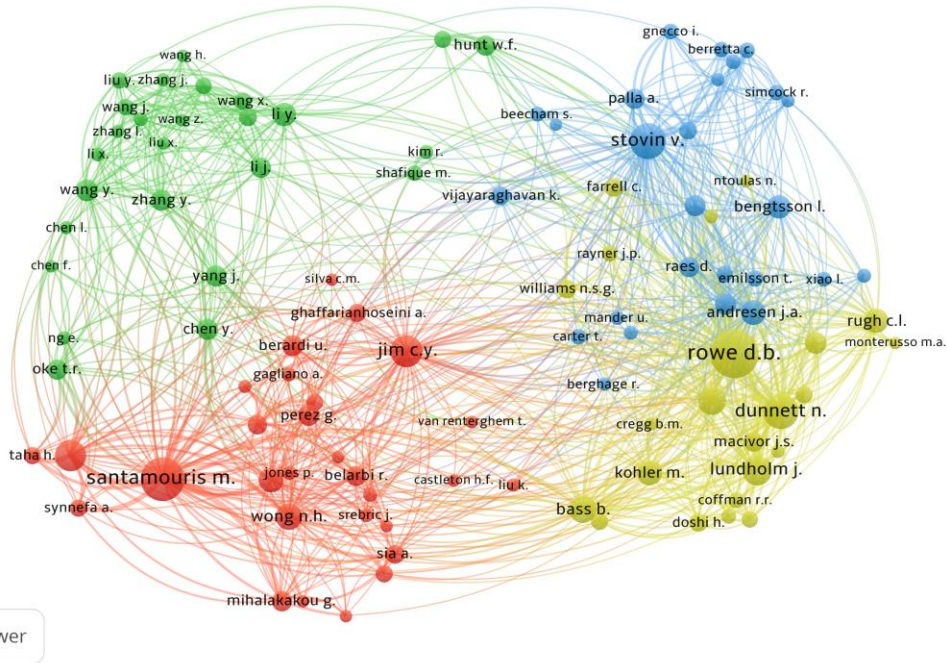


Fig. 5. Co-citation network. Source: by author  
 Ryc. 5. Sieć współcytowań. Źródło: autor

In the table (Tab. 4), among all the authors forming the network, those with the largest number of citations were selected. Rowe, Santamouris and Stovin are at the top of the list in terms of the number of citations, while Akbari and Lundholm, although they are extremely influential authors, do not stand out on the map of dependencies due to the small group of co-citers. At this point, it should be noted that the authors' co-citation network shows dependencies resulting from the citation strength of publications, and not from the number of citations alone. The highest position in the network is achieved by authors whose publications are often cited by a wide group of authors with the largest number of citations, i.e. occupying a significant place on the way to the development of a given research branch.

Based on the table (Tab. 4), it is possible to notice the diverse location of the institutions to which the authors belong, although the United States has a significant advantage, which confirms the conclusions drawn from the analysis of the co-authorship network.

Tab. 4. Most cited authors. Source: by author

No.	Author	Institution	Citations	Total link strength
1.	Rowe D.B.	Michigan State University, East Lansing, United States	2362	2189,89
2.	Santamouris M.	UNSW Sydney, Sydney, Australia	2020	1721,31
3.	Stovin V.	The University of Sheffield, Sheffield, United Kingdom	1499	1392,93
4.	Dunnett N.	The University of Sheffield, Sheffield, United Kingdom	1488	1417,55
5.	Jim C.Y.	The Education University of Hong Kong, Hong Kong, Chin	1270	1084,70



6.	Akbari H.	Concordia University, Concordia, Canada	1227	999,47
7.	Lundholm J.	Saint Mary's University, Halifax, Canada	1129	1066,38
8.	Getter K.L.	Michigan State University, East Lansing, United States	1043	1014,86
9.	Bass B.	University of Toronto, Toronto, Canada	988	951,37
10.	Wong N.H.	National University of Singapore, Singapore City, Singapore	944	892,41
11.	Kohler M.	Fachhochschule Neubrandenburg, Neubrandenburg, Germany	879	823,63
12.	Andresen J.A.	Michigan State University, East Lansing, United States	875	860,90
13.	Sailor D.J.	Arizona State University, Tempe, United States	874	826,46
14.	Rugh C.L.	Michigan State University, East Lansing, United States	842	810,47
15.	Li. Y.	The University of Hong Kong, Pokfulam Road, Hong Kong, China	786	731,49
16.	Bengtsson L.	Lunds Universitet, Lund, Sweden	773	736,45
17.	Wang Y.	The University of Hong Kong, Hong Kong	712	659,85
18.	Nagase A.	Chiba University, Chiba, Japan	701	678,31
19.	Perez G.	Universitat de Lleida, Lleida, Spain	690	642,87
20.	Chen Y.	School of Architecture, The Chinese University of Hong Kong, Hong Kong	688	664,37

### 3.4. Article citation network

In the scientific community, the number of citations of a given publication determines both the level of interest in a given issue, but also evaluates its impact on the development of research in a given area. Thanks to the analysis of citation metrics, you can determine the direction of development of a given field of knowledge and identify areas with potential. Based on the criterion of at least 200 citations of publications, 32 articles were selected in 32 groups (Fig. 6). The linkage value of each of them is equal to 0, which is indicated by the characteristic form of the density map: each publication is located in a separate field. This means that the articles at the forefront (due to the number of citations) were not mutually cited. This is quite an interesting phenomenon, which may be caused by the thematic variety of articles and the lack of convergence of the date of publication in a given topic.

Of the 20 articles indicated in the table (Table 5), 10 of them are review articles. Wolch et al. (Wolch et al. 2014) presents an approach to urban greenery in the context of social and ecological development by analyzing green spaces in the United States and China. Bowler et al. (Bowler et al. 2010) and Santamouris (Santamouris 2014) took up the topic of urban heat islands, looking for cooling possibilities by successively greening spaces and using reflex roofs. Sadineni et al. (Sadineni et al. 2011) considered the housing of a passive house, while Dietz (Dietz 2007) was looking for solutions conducive to sustainable development. The next two articles at the forefront are also review articles on rainwater management (Berndtsson 2009; Mentens, Raes, Hermly 2005). An important topic is also discussed by Yang et al. (Yang et al. 2008) and Abhijith et al. (Abhijith et al. 2017) concerning the reduction of air pollution in cities through the use of green urban spaces, including green roofs. Publications dealing with the topic of urban heat islands have a definite advantage in this ranking - there are as many as 8 of them (Bowler et al. 2010, Santamouris 2014, Berndtsson 2010, Alexandri, Joes 2008, Norton et al. 2015, Ng et al. 2012, Susca 2011, Mohajerani et al. 2017), while in second place is the management of rainwater and solutions

for buildings conducive to sustainable development. The publication date of individual articles is between 2003 and 2017, with the majority of articles before 2011, which is understandable when analyzing publications with the largest number of citations.

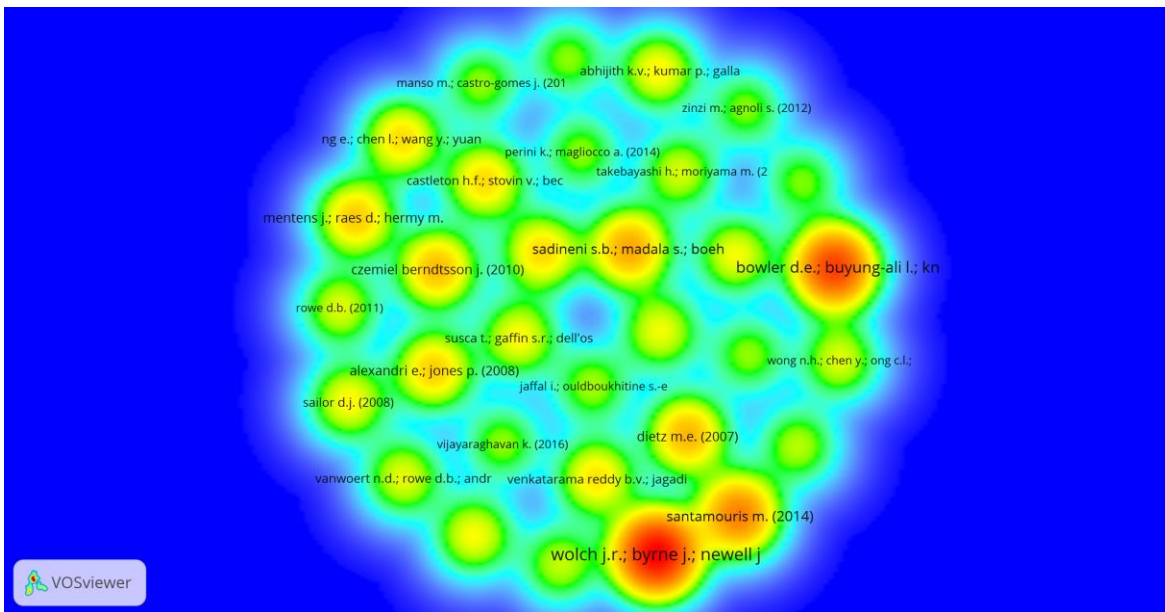


Fig. 6. Number of citation network. Source: by author  
Ryc. 6. Sieć ilości cytowań. Źródło: autor

Tab. 5. Most cited publications. Source: by author

No.	Author	Publication	Type	Date issue	of Citations
1.	Wolch, J.R., Byrne, J., Newell, J.P.	Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'	Review	2014	2072
2.	Bowler, D.E., Buyung-Ali, L., Knight, T.M., Pullin, A.S.	Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence	Review	2010	1545
3.	Santamouris, M.	Cooling the cities - A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments	Review	2014	1059
4.	Sadineni, S.B., Madala, S., Boehm, R.F.	Passive building energy savings: A review of building envelope components	Review	2011	835
5.	Dietz, M.E.	Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions	Review	2007	758
6.	Czemieli Berndtsson, J.	Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review	Review	2010	730
7.	Mentens, J., Raes,	Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in	Review	2006	668

No.	Author	Publication	Type	Date issue	of Citations
	D., Hermy, M.	the urbanized 21st century?			
8.	Alexandri, E., Jones, P.	Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates	Article	2008	650
9.	Norton, B.A., Coutts, A.M., Livesley, S.J., Hunter, A.M., Williams, N.S.G.	Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes	Article	2015	604
10.	Castleton, H.F., Stovin, V., Beck, S.B.M., Davison, J.B.	Green roofs; Building energy savings and the potential for retrofit	Review	2010	599
11.	Ng, E., Chen, L., Wang, Y., Yuan, C.	A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong	Article	2012	594
12.	Venkatarama Reddy, B.V., Jagadish, K.S.	Embodied energy of common and alternative building materials and technologies	Article	2003	563
13.	Abhijith, K.V., Kumar, P., Gallagher, J., Di Sabatino, S., Pulvirenti, B.	Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – A review	Review	2017	504
14.	Sailor, D.J.	A green roof model for building energy simulation programs	Article	2008	496
15.	Susca, T., Gaffin, S.R., Dell'Osso, G.R.	Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs	Article	2011	485
16.	Berardi, U., GhaffarianHoseini, A., GhaffarianHoseini, A.	State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs	Review	2014	474
17.	Yang, J., Yu, Q., Gong, P.	Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago	Article	2008	469
18.	Mohajerani, A., Bakaric, J., Jeffrey-Bailey, T.	The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete	Review	2017	455
19.	VanWoert, N.D., Rowe, D.B., Andresen, J.A., Fernandez, R.T., Xiao, L.	Green roof stormwater retention: Effects of roof surface, slope, and media depth	Article	2005	439
20.	Wong, N.H., Chen, Y., Ong, C.L., Sia, A.	Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment	Article	2003	425

#### 4. LITERATURE REVIEW AND CONCLUSION

Green roofs are a multifunctional element of the building envelope, which, with appropriate modifications, can offer many benefits not only for its direct users, but also have a positive impact on the environment around it. K.V. Abhijith et al. proved that green infrastructure can play a significant role in mitigating air pollution in cities, while green walls and roofs effectively reduce pollution on streets/open roads (Abhijith et al. 2017). Johannes Langemeyer has attempted to develop a spatial, multi-criteria tool to identify where green roofs should be prioritized based on expert demand for a wide range of ecosystem services (Langemeyer et al. 2020). Green roofs show promising results in reducing heat islands in urban areas (Fahed et al. 2020), lowering the temperature in

buildings (Wong et al. 2003) or filtering and reusing rainwater (Berndtsson et al. 2009, Gong et al. 2020). Therefore, the benefits of using green roofs are undeniable.

The conducted analysis presents research directions with high research potential, which are of great importance in the context of climate change and ongoing considerations on action programs supporting sustainable development around the world: higher air quality and lower temperature in city centers, thermal comfort and energy consumption in buildings, rainwater management, roofs as urban service space. The largest contributors to the study and at the same time forming a strong group of co-authors are the United States, United Kingdom and Australia, and their authors Rowe, Stovin and Santamouris. A perfect complement to the conducted research would be an analysis of scientific units in the context of the number of citations and co-authorship, which would present the relationships between them and would select the unit that contributed the most to the development of the subject of green roofs. In addition, narrowing the database down to studies focusing on the benefits of green roofs for urban agglomerations will present a broader view of green roofs.

The topic of green roofs is an extremely topical issue, perfectly fitting into the current energy policy around the world. The concept, materials and thus the characteristics and properties of the discussed roofs are the answer to the problems and challenges generated by almost every facility, regardless of its function, and in the holistic approach, every major city.

## **PRZEGLĄD BIBLIOMETRYCZNY I NAUKOMETRYCZNY: PERSPEKTYWY I ROZWÓJ W ZAKRESIE WYKORZYSTANIA DACHÓW ZIELONYCH**

### **1. WSTĘP**

Globalne zmiany klimatyczne i szybka urbanizacja postawiły przed nami szereg wyzwań miejskich, w tym zanieczyszczenie powietrza, nasilanie się problemów związanych z podtopieniami i powodzią, efekty miejskich wysp ciepła, nadmierne hałasy oraz utratę bioróżnorodności, które negatywnie wpływają na zdrowie fizyczne i psychiczne mieszkańców miast (Liu et al. 2021). W celu łagodzenia tych problemów opracowano i wdrożono wiele zrównoważonych podejść, rozwiązań opartych na naturze, praktyk, metodologii i algorytmów, w tym energooszczędne budynki, wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, techniki redukcji zanieczyszczeń powietrza i wody, miejskie przestrzenie zielone czy rozwój infrastruktury ekologicznej itp. (Mihalakakou et al. 2023). Zielone dachy są uważane za skuteczny wkład w rozwiązywanie problemów środowiskowych na poziomie budynków i miast (Jaffal, Ouldboukhitine, Belarbi 2012).

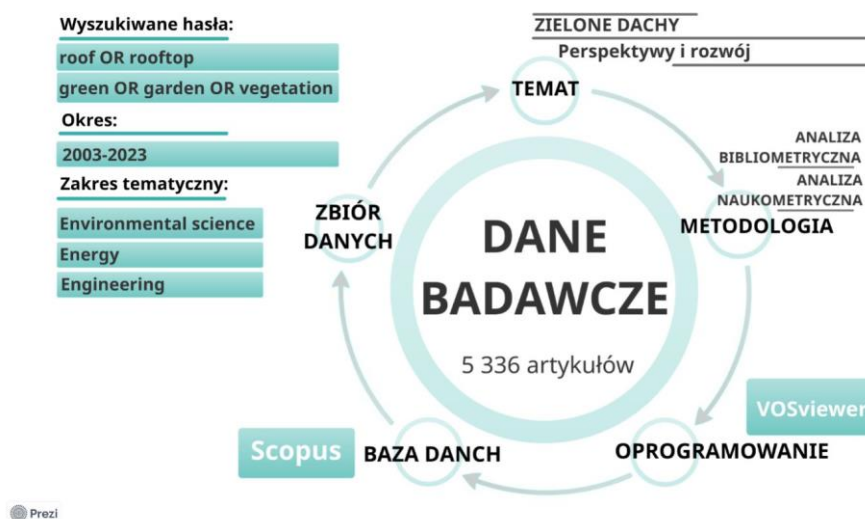
Przedmiotem artykułu jest przedstawienie perspektyw oraz głównych nurtów rozwoju w zakresie wykorzystania dachów zielonych w architekturze. Na podstawie analizy bibliometrycznej i naukometrycznej wybranej tematyki, zaprezentowano główne nurty badań, wyodrębniono najbardziej przyczyniające się do jej rozwoju kraje oraz przedstawiono najbardziej wpływowych autorów.

Działania przeciwko globalnym zmianom klimatycznym, jako jeden z 17 Celów Zrównoważonego Rozwoju (SDGs) Agendy 2030, ujawniają potrzebę podjęcia pilnych działań w celu przeciwdziałania zmianom klimatycznym i ich skutkom (Leite, Antunes 2023), dlatego jesteśmy zobligowani do opracowania niezawodnych strategii pozwalających na osiągnięcie obranych celów. Zielone dachy, jako przestrzenie podtrzymujące roślinność, zostały zaproponowane jako jedno z takich „opartych na naturze” rozwiązań mających na celu poprawę zrównoważonego rozwoju i żywotności miast (Cook, Larsen 2021). Zatem warto zastanowić się, które kierunki są najbardziej obiecujące i wykazują największy potencjał w zakresie efektywności energetycznej budynków oraz aglomeracji miejskich.

## 2. MATERIAŁY I METODY

### 2.1. Zbiór danych

Podstawą opracowania zbioru danych była baza danych Scopus, jako największa akademicka baza danych rekomendowana do prowadzenia ilościowych badań naukowych (Baas et al. 2020, Liu et al. 2021, Kokowski 2015). Dane zostały wyodrębnione z zastosowaniem kombinacji słów kluczowych tj. „roof”, „rooftop”, „green”, „garden”, „vegetation”, występujących w streszczeniu, tytule lub jako słowo kluczowe. W następnym kroku obszar poszukiwań zawężono do tematyki „Environmental Science”, „Engineering” i „Energy” oraz okresu między 2003 do 2023 roku (dwie dekady) mając na uwadze cel prowadzonych analiz. Otrzymano łącznie 5 336 artykułów. Szczegółowych schemat wyodrębnienia bazy danych do późniejszych analiz został przedstawiony na (Ryc. 1).



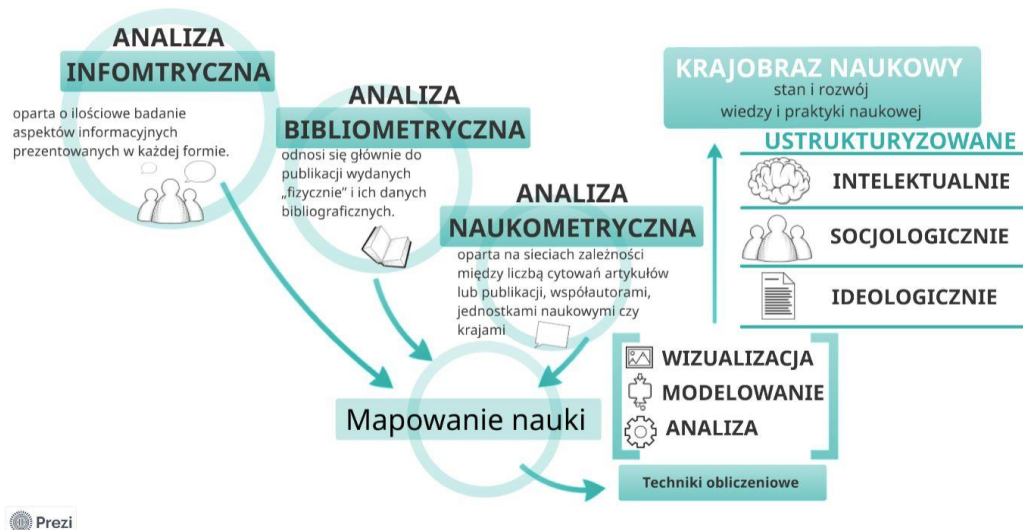
Ryc. 1. Metodologia.  
 Źródło: autor

### 2.2. Metodologia

Badania zostały oparte na metodologii mapowania nauki (ang. Science Mapping) wykorzystującej techniki bibliometryczne (ang. Bibliometrics) oraz naukometryczne (ang. Scientometrics), których szczegółowy schemat został przedstawiony na (Ryc.2). Mapowanie nauki polega na opracowaniu i zastosowaniu technik obliczeniowych do wizualizacji, analizy i modelowania szerokiego zakresu działań naukowych i technologicznych jako całości (Chen et al. 2014). Celem tych działań jest stworzenie map, które opisują w jaki sposób poszczególne dyscypliny, dziedziny naukowe czy pola badawcze są koncepcyjnie, intelektualnie i socjalnie ustrukturyzowane (Cobo et al. 2011). Taka mapa zawiera krajobraz naukowy, który można wykorzystać do obserwacji, opisu lub wyjaśnienia stanu oraz rozwoju wiedzy i praktyk naukowych. Możemy wizualizować relacje między tymi cechami na różnych poziomach szczegółowości, badając bezpośrednio powiązania między poszczególnymi dziełami, relacje pojęciowe między grupami artykułów, podobieństwa między autorami oraz powiązania między większymi organizacjami naukowymi, takimi jak czasopisma i instytucje (Chen et al. 2014). Metoda mapowania nauki jest metodą badań, która może być sklasyfikowana na trzy korespondujące ze sobą techniki badań ilościowych analizy infometrycznej, bibliometrycznej i naukometrycznej (Hosseini et al. 2018; Hood, Wilson 2001).

Początki wskazanych technik sięgają roku 1963 roku i Derek’a J. de Solla Price’a, który postrzegał naukę jako złożony system badając ją na podstawie analogii do zasad termodynamiki tj. traktował naukę jak gaz zbudowany z pojedynczych jednostek (naukowców) posiadających prędkości i interakcje oraz wykazujących ogólne właściwości i prawa (Wu et al. 2022). W tamtym okresie badania

oparte na analizach bibliometrycznych prowadzone m.in. przez Nicka Mullinsa, Eugene'a Garfielda, Derek'a J. de Solla Price'a czy Diany Crane były określane mianem najnowocześniejszej socjologii nauki, rozwijanej równolegle z nowo utworzonym indeksem cytowań naukowych, tworzonym przez Instytut Informacji Naukowej (Wray 2013).



Ryc. 2. Mapa naukowa: analiza informatyczny, bibliometryczna i scjentomeryczna. Źródło: autor

Naukometria (ang. Scientometrics) to nauka zajmująca się ilościową analizą wszystkich składników nauki i jej osiągnięć. Z metodologicznego punktu widzenia, traktuje wytwory nauki (prace naukowe, instytucje) jako składniki procesu informacyjnego, które są mierzalne i które można ująć jakościowo albo ilościowo (Sznigir 2018). Bibliometria natomiast definiuje dokumenty jako obiekty badając elementy opisu bibliograficznego jako jednostki badania statystycznego, np. nazwisko autora, czasopismo, rok wydania (Sznigir 2018). Zatem analiza bibliometryczna odwołuje się głównie do "fizycznie" wydanych publikacji oraz ich danych bibliograficznych (Hood, Wilson 2001; Sznigir 2018), natomiast analiza naukometryczna uzupełnia ją o rozważania nad sieciami zależności pomiędzy ilością cytowań artykułów czy publikacji, współautorami, jednostkami badawczymi czy krajami (Wuni et al. 2019).

### 2.3. Wykorzystane narzędzia i oprogramowanie

Prezentacja wyników została opracowana z wykorzystaniem oprogramowania VOSviewer, który pozwala na generowanie map zależności na podstawie wybranych kategorii i kryteriów. Narzędzie to jest szeroko wykorzystywane do opracowywania map naukowych wielu dziedzin naukowych (Ghalambaz et al. 2023, Aghalari et al. 2023, Wang et al. 2023, Zyoud et a. 2023). Szczegółowe parametry dotyczące każdej z analiz wskazano w tabeli (Tab. 1).

Tab. 1. Wybrane parametry niezbędne do opracowania sieci połączeń w programie VOSviewer. Źródło: autor

Lp	Sieć	Typ analizy	Metoda obliczeniowa	Jednostka analizy	Minimalna liczba występowania	Minimalna liczba dokumentów	Minimalna liczba cytowań
1.	Sieć współwystępowania słów kluczowych	Współwystępowanie	Liczenie ułamkowe	Autorskie słowa kluczowe	30	-	-

2.	Sieć współautorstwa	Współautorstwo	Liczenie ułamkowe	Kraj	-	5	200
3.	Sieć współcytowań autorów	Współwystępowanie	Liczenie ułamkowe	Cytowani autorzy	-	-	300
4.	Sieć cytowań	Cytowania	-	Publikacje	-	-	300

### 3. PRZEPROWADZONE BADANIA I REZULTATY

#### 3.1. Sieć współwystępowania słów kluczowych (autora)

Słowa kluczowe są niezbędne do indeksacji artykułów naukowych w bazach danych, a ich głównym zadaniem jest wskazywanie tematu publikacji (Wuni et al. 2019). Analiza współwystępowania słów kluczowych jest pomocna w przypadku identyfikacji głównych nurtów badań o określonej tematyce (Liu et al. 2021). Sieć powiązanych słów kluczowych zapewnia dokładny obraz „produkcji” wiedzy naukowej w zakresie wzorców, relacji i intelektualnej organizacji poruszanych tematów (Hosseini et al. 2018).

Na (Ryc. 3) przedstawiono sieć współwystępowania słów kluczowych autorów składającą się z 51 słów kluczowych i 507 połączeń. Z sieci połączeń wykluczono oczywiste słowa kluczowe jak „green roof i „green roofs” i „vegetation” mając na uwadze ich udział w wyodrębnieniu bazy danych. Odległości między sobą określają współwystępowanie poszczególnych słów kluczowych: im bliżej tym częściej dane określenia współwystępują. Natomiast poszczególne kolory określają rok wydania publikacji zgodnie z legendą. Dzięki nim można zdefiniować kierunki rozwoju danej tematyki na przestrzeni lat. Wielkość czcionki określa częstotliwość występowania. Najczęściej pojawiającym się słowem kluczowym jest „green infrastructure”, które jest określeniem ogólnym i odnoszącym się do wielu aspektów zastosowań dachów zielonych. W zestawieniu z takimi określeniami jak „sustainability”, „climate change”, „sustainable development” czy „energy efficiency” odnosi się bezpośrednio do zmian klimatycznych i definiuje znaczenie zielonych dachów w działaniach polityki niskoemisyjnej. Zdefiniowano następujące obszary o wysokim potencjale badawczym:

- Wyższa jakość powietrza i niższa temperatura w centrach miast – „Urban heat Island”,
- Komfort cieplny i zużycie energii w budynkach – „Thermal comfort”, „Green building”, „Thermal performance”,
- Zagospodarowanie wody opadowej – „Stormwater management”, „Evapotranspiration”, „Run-off”, „Water quality”, „Stormwater”, „Rainwater harvesting”,
- Dachy jako miejska przestrzeń usługowa – „Urban agriculture”, „Ecosystem services”.

Na podstawie lat w jakich dane sformułowania były wykorzystywane najczęściej można wskazać przebieg rozwoju badań nad zielonymi dachami. W 2016 roku częstym przedmiotem badań była woda opadowa, jej jakość, możliwości gromadzenia i zarządzanie w znaczeniu holistycznym. Następnie rozważania dotyczyły budynków jako jednostki: efektywności cieplnej budynków, budynków pasywnych i „zielonych” energetycznie. Kolejne lata skłoniły badaczy do rozszerzenia pola badań i skierowania uwagi na skupiska budynków, czyli aglomeracje miejskie i analizy jakie efekty w szerszej perspektywie niosą zastosowane rozwiązania dla jednostkowych budynków. Najbardziej aktualnym tematem od początku 2019 roku są miejskie wyspy ciepła oraz badania nad komfortem cieplnym w kontekście zrównoważonego rozwoju. Warto również zauważyć różnorodność słów kluczowych: od szczegółowych pojęć po bardzo ogólne określenia, które gwarantują autorowi dostarczenie do szerszego grona odbiorców.

W tabeli (Tab. 2) przedstawiono pierwsze 20 słów kluczowych uporządkowanych na podstawie występowania (occurrences), dla których określono całkowitą siłę łączącą (total link strength). Występowanie określa liczbę dokumentów, w których dane słowo występuje, natomiast całkowita siła łącząca określa liczbę dokumentów, w których dwa słowa kluczowe występują razem (Wuni et al. 2019).

Tab. 2. Najczęściej wykorzystywane słowa kluczowe. Źródło: autor

Lp.	Słowa kluczowe	Występowanie	Całkowita siła łącząca
1.	Zielona infrastruktura	190	151
2.	Miejska wyspa ciepła	174	140
3.	Zarządzanie deszczówką	162	137
4.	Zrównoważony rozwój	124	91
5.	Ekstensywny zielony dach	101	44
6.	Zmiana klimatu	100	71
7.	Ewapotranspiracja	94	81
8.	Spyw	89	84
9.	Komfort termiczny	86	67
10.	Zrównoważony rozwój	84	54
11.	Rozwój o niskim wpływie	83	58
12.	Efektywność energetyczna	80	59
13.	Rolnictwo miejskie	78	49
14.	Usługi ekosystemowe	70	55
15.	Zielony budynek	69	46
16.	Wydajność cieplna	65	51
17.	Jakość wody	63	51
18.	Woda opadowa	62	52
19.	Zbieranie wody deszczowej	61	37
20.	Podłoże	58	51

### 3.2. Sieć współautorstwa

Współpraca między autorami ma istotny wpływ na rozwój nauki. Pozwala na konfrontację poglądów, dyskusję, co w efekcie może skutkować adaptacją nowych metodologii czy narzędzi badań. W tej części zaprezentowano sieciową analizę autorów współtworzących publikacje naukowe w rozważanym obszarze badań z podziałem na kraj jednostki, do której przynależą. Zgodnie z zastosowanymi kryteriami wskazanymi w metodologii z 163 krajów zostało wyodrębnionych 51, które spełniają zadane kryteria. Na tej podstawie wygenerowano sieć współautorów (Ryc. 4), natomiast szczegółowe dane zaprezentowano w tabeli (Tab. 3).

Wizualizacja wygenerowanej sieci połączeń dotycząca współautorstwa prezentuje zależności między lokalizacją jednostki do której przynależą autorzy publikacji. Jako wagę dla poszczególnych połączeń określono całkowitą siłę łączącą (Total link Strength), która określa liczbę publikacji, którą dwóch badaczy współtworzyło, natomiast im większa liczba oraz waga elementów w sąsiedztwie punktu (kraju), tym czcionka opisu jest większa (Wuni et al. 2019). Na mapie gęstości wyjątkowo wyróżniają się trzy grupy krajów, skupione wokół Stanów Zjednoczonych, Chin i Włoch, co świadczy o ich częstej współpracy z pozostałymi członkami tych grup, do których należą, ale również wpływie ich pracy na całe środowisko. Zgodnie z wizualizacją autorzy przynależący do jednostek naukowych w Chinach raczej nie współpracują z resztą świata podczas opracowywania publikacji, choć zdarza im się współpraca z autorami z Kanady. Natomiast jednostki z Włoch prowadzą wspólne badania z jednostkami z krajów sąsiadujących: Szwajcarii czy Grecji. Tabela (Tab. 3) została uporządkowana w zależności od ilości cytowań autorów z poszczególnych krajów. Najczęściej cytowane publikacje pochodzą od autorów z jednostek zlokalizowanych w Stanach Zjednoczonych, Wielka Brytania i Włoszech. W zależności od ilości dokumentów w czołówce znajdują się ponownie Stany Zjednoczone, Chiny oraz Włochy. Warto zauważyć, że silną grupę wraz ze Stanami Zjednoczonymi tworzą Australia i Japonia, których publikacje dodatkowo są bardzo często cytowane. Na mapie gęstości wyróżniają się Hiszpania oraz Niemcy, jednak brak ich w poniższej



tabeli co oznacza, iż ilość cytowań publikacji znajduje się poniżej 1500. Jeśli rozważyć współpracę autorów jest ona bardzo zróżnicowana, natomiast poza trzema wskazanymi wcześniej grupami krajów pozostała część jednak pracuje w obrębie kraju lub jednostki naukowej. Bez względu na przyjęte kryterium w zdecydowanej czołówce znajdują się Stany Zjednoczone, których wpływ na badany obszar jest największy.

Tab. 3. Wykaz pierwszych 10 krajów, w których mieszczą się jednostki do których przynależą najczęściej cytowani autorzy. Źródło: autor

Lp.	Kraj	Ilość publikacji	Ilość cytowań	Całkowita siła łącząca
1.	Stany Zjednoczone	229	7760	74
2.	Wielka Brytania	70	4687	41
3.	Włochy	112	4596	26
4.	Grecja	33	3850	19
5.	Australia	71	3309	28
6.	Chiny	149	3130	51
7.	Hong Kong	46	2944	20
8.	Singapur	30	2121	19
9.	Kanda	52	2074	21
10.	Japonia	50	1468	20

### 3.3. Sieć współcytowań autorów

Doskonałym uzupełnieniem analizy współautorstwa jest analiza współcytowań autorów, na podstawie wygenerowanej w programie VOSviewer sieci zależności. Sieć współcytowań prezentuje połączenia między dwoma autorami, którzy są cytowani przez ten sam dokument (Wuni et al. 2019). Im większa odległość między nimi tym rzadziej są cytowani w tych samych publikacjach. Rycina (Ryc.5) przedstawia sieć połączeń między autorami. Wagą dla poszczególnych punktów (wielkość czcionki) jest całkowita siła łącząca. Spośród 46 033 cytowanych autorów, 140 spełniło kryteria Wyodrębniono 4 grupy najczęściej współcytowanych autorów, które zostały zaprezentowane na sieci zależności. W każdej z grup możemy wyróżnić autora „głównego”, który najczęściej jest współcytowany z innymi. Najczęściej współcytowani i jednocześnie najbardziej wpływowi są Rowe, Santamouris, Stovin i Li. W poszczególnych grupach najczęściej znajdują się autorzy dzielący wspólne zainteresowania, prowadzący badania w tych samych instytucjach czy na terenie tego samego kraju. Rowe oraz Rugh reprezentują tę samą jednostkę akademicką Michigan State University. Autorzy zgromadzeni wokół Stovin koncentrują się na tematyce zagospodarowania wody opadowej i tematów z nią bezpośrednio powiązanych, natomiast wokół Santamouris na temat problemu gorących wysp w miastach i zmian klimatycznych.

W tabeli (Tab. 4) spośród wszystkich autorów tworzących sieć wybrano tych o największej liczbie cytowań. Rowe, Santamouris i Stovin w kontekście ilości cytowań znajdują się na szczycie listy, natomiast Akbari czy Lundholm choć są wyjątkowo wpływowymi autorami, nie wyróżniają się na mapie zależności ze względu na niewielką grupę współcytujących. W tym miejscu należy zaznaczyć, iż sieć współcytowań autorów przedstawia zależności płynące z siły cytowań publikacji, a nie z samej ilości cytowań. Najwyższą pozycję w sieci osiągnęli autorzy, których publikacje są często cytowane przez szerokie grono autorów o największej liczbie cytowań, czyli zajmujących znaczące miejsce na drodze do rozwoju danej gałęzi badawczej.

Na podstawie tabeli (Tab. 4) można zauważyć zróżnicowaną lokalizację instytucji, do których należą autorzy, choć znaczącą przewagę posiadają Stany Zjednoczone co potwierdza wnioski płynące z analizy sieci współautorstwa.

Tab. 4. Najczęściej cytowani autorzy. Źródło: autor

Lp.	Autor	Instytucja	Ilość cytowań	Całkowita siła łącząca
1.	Rowe D.B.	Uniwersytet Stanowy Michigan, East Lansing, Stany Zjednoczone	2362	2189,89
2.	Santamouris M.	UNSW Sydney, Sydney, Australia	2020	1721,31
3.	Stovin V.	Uniwersytet w Sheffield, Sheffield, Wielka Brytania	1499	1392,93
4.	Dunnett N.	Uniwersytet w Sheffield, Sheffield, Wielka Brytania	1488	1417,55
5.	Jim C.Y.	Uniwersytet Edukacyjny w Hongkongu, Hongkong, Chiny	1270	1084,70
6.	Akbari H.	Uniwersytet Concordia, Concordia, Kanada	1227	999,47
7.	Lundholm J.	Uniwersytet Świętej Marii, Halifax, Kanada	1129	1066,38
8.	Getter K.L.	Uniwersytet Stanowy Michigan, East Lansing, Stany Zjednoczone	1043	1014,86
9.	Bass B.	Uniwersytet w Toronto, Toronto, Kanada	988	951,37
10.	Wong N.H.	Narodowy Uniwersytet Singapuru, miasto Singapur, Singapur	944	892,41
11.	Kohler M.	Fachhochschule Neubrandenburg, Neubrandenburg, Niemcy	879	823,63
12.	Andresen J.A.	Uniwersytet Stanowy Michigan, East Lansing, Stany Zjednoczone	875	860,90
13.	Sailor D.J.	Arizona State University, Tempe, Stany Zjednoczone	874	826,46
14.	Rugh C.L.	Uniwersytet Stanowy Michigan, East Lansing, Stany Zjednoczone	842	810,47
15.	Li. Y.	Uniwersytet Hongkongu, Pokfulam Road, Hongkong, Chiny	786	731,49
16.	Bengtsson L.	Lunds University, Lund, Szwecja	773	736,45
17.	Wang Y.	Uniwersytet Hongkongu, Hongkong	712	659,85
18.	Nagase A.	Uniwersytet Chiba, Chiba, Japonia	701	678,31
19.	Perez G.	Uniwersytet Lleida, Lleida, Hiszpania	690	642,87
20.	Chen Y.	School of Architecture, Chiński Uniwersytet w Hong Kongu, Hong Kong	688	664,37

### 3.4. Ilość cytowań publikacji

W środowisku naukowym liczba cytowań danej publikacji określa zarówno poziom zainteresowania danym zagadnieniem, ale również wartościuje jej wpływ na rozwój badań w danym obszarze. Dzięki analizie wskaźników dotyczących cytowań można określić kierunek rozwoju danej dziedziny wiedzy oraz wskazać obszary pełne potencjału. Na podstawie kryterium minimum 200 cytowań publikacji wyodrębniono 32 artykuły, w 32 grupach (Ryc. 6). Wartość powiązań każdego z nich jest równa 0, na co wskazuje charakterystyczna forma mapy gęstości: każda z publikacji zlokalizowana w odrębnym polu. Oznacza to, iż artykuły znajdujące się w czołówce (z uwagi na ilość cytowań) nie były wzajemnie cytowane. Jest to dość ciekawe zjawisko, którego przyczyną może być różnorodność tematyczna artykułów oraz brak zbieżności daty publikacji w określonym temacie.

Na 20 artykułów wskazanych w tabeli (Tab. 5) 10 z nich to artykuły przeglądowe. Wolch et al. (Wolch et al. 2014) prezentuje podejście dotyczące zieleni w miastach w kontekście rozwoju społecznego i ekologicznego analizując zielone przestrzenie w Stanach Zjednoczonych i Chinach. Bowler et al. (Bowler et al. 2010) i Santamouris (Santamouris 2014) podjęli temat miejskich wysp

ciepła poszukując możliwości chłodzenia kolejno zazieleniając przestrzeń i stosując dachy refleksyjne. Sadineni et al. (Sadineni et al. 2011) poddali rozważaniom obudowę budynku pasywnego, natomiast Dietz (Dietz 2007) szukał rozwiązań sprzyjających zrównoważonemu rozwojowi. Kolejne dwa artykuły w czołówce to również artykuły przeglądowe, dotyczące zagospodarowania wód opadowych (Berndtsson 2009; Mentens, Raes, Hermy 2005). Istotny temat poruszają również Yang et al. (Yang et al. 2008) oraz Abhijith et al. (Abhijith et al. 2017) dotyczący redukcji zanieczyszczeń powietrza w miastach poprzez zastosowanie zielonych przestrzeni miejskich w tym zielonych dachów. Zdecydowaną przewagę w tym zestawieniu mają publikacje podejmujące temat miejskich wysp ciepła - jest ich aż 8 (Bowler et al. 2010, Santamouris 2014, Berndtsson 2010, Alexandri, Joes 2008, Norton et al. 2015, Ng et al. 2012, Susca 2011, Mohajerani et al. 2017), natomiast na drugim miejscu znajduje się zagospodarowanie wody opadowej oraz rozwiązania dla budynków sprzyjające zrównoważonemu rozwojowi. Data wydania poszczególnych artykułów mieści się w latach między 2003 a 2017, z przewagą artykułów przed 2011 rokiem co jest zrozumiałe w przypadku analizy publikacji o największej liczbie cytowań.

Tab. 5. Najczęściej cytowane publikacje. Źródło: autor

Lp.	Autor	Publikacja	Rodzaj	Data wydania	Cytowania
1.	Wolch, J.R., Byrne, J., Newell, J.P.	Miejskie tereny zielone, zdrowie publiczne i sprawiedliwość środowiskowa: wyzwanie, jakim jest uczynienie miast „wystarczająco zielonymi”.	Przegląd	2014	2072
2.	Bowler, D.E., Buyung-Ali, L., Knight, T.M., Pullin, A.S.	Zazielenianie miast w celu ochłodzenia: systematyczny przegląd dowodów empirycznych.	Przegląd	2010	1545
3.	Santamouris, M.	Chłodzenie miast — przegląd technologii dachów odblaskowych i zielonych w celu zwalczania wyspy ciepła i poprawy komfortu w środowiskach miejskich.	Przegląd	2014	1059
4.	Sadineni, S.B., Madala, S., Boehm, R.F.	Oszczędność energii w budynkach pasywnych: przegląd elementów przegród budowlanych..	Przegląd	2011	835
5.	Dietz, M.E.	Praktyki rozwoju o niskim wpływie: przegląd aktualnych badań i zalecenia dotyczące przyszłych kierunków.	Przegląd	2007	758
6.	Czemiel Berndtsson, J.	Wydajność zielonego dachu w kierunku zarządzania ilością i jakością wody odpływowej: przegląd.	Przegląd	2010	730
7.	Mentens, J., Raes, D., Hermy, M.	Zielone dachy jako narzędzie rozwiązania problemu odpływu wód opadowych w zurbanizowanym XXI wieku?	Przegląd	2006	668
8.	Alexandri, E., Jones, P.	Spadek temperatury w miejskim kanionie dzięki zielonym ścianom i zielonym dachom w różnych klimatach.	Artykuł	2008	650
9.	Norton, B.A., Coutts, A.M., Livesley, S.J., Hunter,	Planowanie chłodniejszych miast: Ramy priorytetowego traktowania zielonej infrastruktury w celu łagodzenia	Artykuł	2015	604

Lp.	Autor	Publikacja	Rodzaj	Data wydania	Cytowania
	A.M., Williams, N.S.G.	wysokich temperatur w miejskich krajobrazach.			
10.	Castleton, H.F., Stovin, V., Beck, S.B.M., Davison, J.B.	Zielone dachy; Oszczędność energii w budynkach i możliwości modernizacji.	Przegląd	2010	599
11.	Ng, E., Chen, L., Wang, Y., Yuan, C.	Badanie wpływu zazielenienia na ochłodzenie w gęsto zaludnionym mieście: doświadczenie z Hongkongu.	Artykuł	2012	594
12.	Venkatarama Reddy, B.V., Jagadish, K.S.	Ucieleśniona energia powszechnych i alternatywnych materiałów i technologii budowlanych.	Artykuł	2003	563
13.	Abhijith, K.V., Kumar, P., Gallagher, J., Di Sabinino, S., Pulvirenti, B.	Skuteczność ograniczania zanieczyszczenia powietrza przez zieloną infrastrukturę w otwartych drogach i zabudowanych środowiskach kaniionów ulicznych - przegląd.	Przegląd	2017	504
14.	Sailor, D.J.	Model zielonego dachu do programów symulacji energetycznej budynków.	Artykuł	2008	496
15.	Susca, T., Gaffin, S.R., Dell'Osso, G.R.	Pozytywne efekty roślinności: Miejska wyspa ciepła i zielone dachy.	Artykuł	2011	485
16.	Berardi, U., GhaffarianHoseini, A., GhaffarianHoseini, A.	Najnowocześniejsza analiza korzyści środowiskowych płynących z zielonych dachów.	Przegląd	2014	474
17.	Yang, J., Yu, Q., Gong, P.	Ilościowe usuwanie zanieczyszczeń powietrza przez zielone dachy w Chicago.	Artykuł	2008	469
18.	Mohajerani, A., Bakaric, J., Jeffrey-Bailey, T.	Efekt miejskiej wyspy ciepła, jego przyczyny i możliwości ich łagodzenia w odniesieniu do właściwości termicznych betonu asfaltowego.	Przegląd	2017	455
19.	VanWoert, N.D., Rowe, D.B., Andresen, J.A., Fernandez, R.T., Xiao, L.	Retencja wody deszczowej na zielonym dachu: wpływ powierzchni dachu, nachylenia i głębokości.	Artykuł	2005	439
20.	Wong, N.H., Chen, Y., Ong, C.L., Sia, A.	Badanie korzyści termicznych ogrodu na dachu w środowisku tropikalnym.	Artykuł	2003	425

#### 4. PRZEGLĄD LITERATURY I PODSUMOWANIE

Dachy zielone to multifunkcyjny element obudowy budynku, który przy odpowiednich modyfikacjach może oferować wiele korzyści nie tylko dla jego bezpośrednich użytkowników, ale również pozytywnie wpływać na środowisko wokół niego. K.V. Abhijith et al. udowodnili, iż zielona infrastruktura może odgrywać znaczącą rolę w łagodzeniu zanieczyszczenia powietrza w miastach, natomiast zielone ściany i dachy skutecznie zmniejszają zanieczyszczenie na ulicach/otwartych drogach (Abhijith et al. 2017). Johannes Langemeyer podjął próbę opracowania przestrzennego, wielokryterialnego narzędzia w celu określenia gdzie zielone dachy powinny być traktowane priorytetowo w oparciu o zapotrzebowanie ekspertów na szeroki zakres usług ekosystemowych (Langemeyer et al. 2020). Zielone dachy prezentują obiecujące efekty w zakresie zmniejszenia wysp cie-

pła na obszarach miejskich (Fahed et al. 2020), obniżeniu temperatury w budynkach (Wong et al. 2003) czy filtrowania i ponownego wykorzystania wody opadowej (Berndtsson et al. 2009, Gong et al. 2020). Zatem korzyści płynące z zastosowania zielonych dachów są niezaprzeczone.

Przeprowadzona analiza prezentuje kierunki badań o wysokim potencjale badawczym, mające ogromne znaczenie w kontekście zmian klimatu i trwających rozważań na temat programów działań sprzyjających zrównoważonemu rozwojowi na całym świecie: wyższa jakość powietrza i niższa temperatura w centrach miast, komfort cieplny i zużycie energii w budynkach, zagospodarowanie wody opadowej, dachy jako miejska przestrzeń usługowa. Największy wkład w prowadzone badania i jednocześnie tworzący silną grupę współautorów to Stany Zjednoczone, Wielka Brytania i Australia oraz pochodzący z nich autorzy Rowe, Stovin i Santamouris. Doskonałym uzupełnieniem przeprowadzonych badań byłaby analiza jednostek naukowych w kontekście ilości cytowań oraz współautorstwa, która przedstawiłaby zależności między nimi oraz wyróżniłaby jednostkę, która przyczyniła się w największym stopniu do rozwoju tematyki zielonych dachów. Ponadto zawężenie bazy danych do badań skupiających się na korzyściach płynących z zastosowania zielonych dachów w odniesieniu do aglomeracji miejskich zaprezentuje szersze spojrzenie na tematykę zielonych dachów.

Temat zielonych dachów jest zagadnieniem niezwykle aktualnym, doskonale wpisującym się w obecną politykę energetyczną całego świata. Koncepcja, materiały a co za nimi idzie charakterystyka i właściwości omawianych dachów są odpowiedzią na problemy i wyzwania, które generuje niemal każdy obiekt niezależnie od pełnionej funkcji, natomiast w podejściu holistycznym każde większe miasto.

## BIBLIOGRAPHY

- Abhijith, K.V., Kumar, P., Gallagher, J., McNabola, A., Baldauf, R., Pilla, F., Broderick, B., Di Sabatino, S., Pulvirenti, B., 2017a. Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – A review. *Atmospheric Environment* 162, 71–86. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.05.014>
- Abhijith, K.V., Kumar, P., Gallagher, J., McNabola, A., Baldauf, R., Pilla, F., Broderick, B., Di Sabatino, S., Pulvirenti, B., 2017b. Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – A review. *Atmospheric Environment* 162, 71–86. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.05.014>
- Aghalari, Z., Dahms, H.-U., Sillanpää, M., 2023. Food hygiene research: a bibliometric comparison in Iranian and international “Environmental Health” journals. *Journal of Health, Population and Nutrition* 42. <https://doi.org/10.1186/s41043-022-00339-1>
- Alexandri, E., Jones, P., 2008. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment, Part Special: Building Performance Simulation* 43, 480–493. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.055>
- Baas, J., Schotten, M., Plume, A., Côté, G., Karimi, R., 2020. Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies. *Quantitative Science Studies* 1, 377–386. [https://doi.org/10.1162/qss\\_a\\_00019](https://doi.org/10.1162/qss_a_00019)
- Berardi, U., GhaffarianHoseini, AmirHosein, GhaffarianHoseini, Ali, 2014. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy* 115, 411–428. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.047>

- Berndtsson, J.C., Bengtsson, L., Jinno, K., 2009. Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs. *Ecological Engineering* 35, 369–380. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.09.020>
- Bowler, D.E., Buyung-Ali, L., Knight, T.M., Pullin, A.S., 2010. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning* 97, 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>
- Castleton, H.F., Stovin, V., Beck, S.B.M., Davison, J.B., 2010. Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and Buildings* 42, 1582–1591. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.004>
- Chen, C., Dubin, R., Schultz, T., 2014. Science Mapping, in: Khosrow-Pour, D.B.A., M. (Ed.), *Advances in Information Quality and Management*. IGI Global, pp. 4171–4184. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-5888-2.ch410>
- Cobo, M.J., López-Herrera, A.G., Herrera-Viedma, E., Herrera, F., 2011. Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. *J. Am. Soc. Inf. Sci.* 62, 1382–1402. <https://doi.org/10.1002/asi.21525>
- Cook, L.M., Larsen, T.A., 2021. Towards a performance-based approach for multifunctional green roofs: An interdisciplinary review. *Building and Environment* 188, 107489. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107489>
- Czemiel Berndtsson, J., 2010. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering* 36, 351–360. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014>
- Dietz, M.E., 2007. Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions. *Water, Air, and Soil Pollution* 186, 351–363. <https://doi.org/10.1007/s11270-007-9484-z>
- Fahed, J., Kinab, E., Ginestet, S., Adolphe, L., 2020. Impact of urban heat island mitigation measures on microclimate and pedestrian comfort in a dense urban district of Lebanon. *Sustainable Cities and Society* 61, 102375. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102375>
- Ghalambaz, M., Sheremet, M., Fauzi, M.A., Fteiti, M., Younis, O., 2023. A scientometrics review of solar thermal energy storage (STES) during the past forty years. *Journal of Energy Storage* 66. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107266>
- Gong, Y., Zhang, X., Li, J., Fang, X., Yin, D., Xie, P., Nie, L., 2020. Factors affecting the ability of extensive green roofs to reduce nutrient pollutants in rainfall runoff. *Science of The Total Environment* 732, 139248. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139248>
- Hood, W.W., Wilson, C.S., 2001. *The Literature of Bibliometrics, Scientometrics, and Informetrics*.
- Hosseini, M.R., Martek, I., Zavadskas, E.K., Aibinu, A.A., Arashpour, M., Chileshe, N., 2018. Critical evaluation of off-site construction research: A Scientometric analysis. *Automation in Construction* 87, 235–247. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.002>
- Jaffal, I., Ouldboukhitine, S.-E., Belarbi, R., 2012. A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. *Renewable Energy* 43, 157–164. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.12.004>
- Kokowski, M., 2015. Jakiej naukometrii i bibliometrii potrzebujemy w Polsce? *Studia Historiae Scientiarum* 14, 135–184. [https://doi.org/10.4467/23921749PKHN\\_PAU.16.008.5264](https://doi.org/10.4467/23921749PKHN_PAU.16.008.5264)
- Langemeyer, J., Wedgwood, D., McPhearson, T., Baró, F., Madsen, A.L., Barton, D.N., 2020. Creating urban green infrastructure where it is needed – A spatial ecosystem service-based decision analysis of green roofs in Barcelona. *Science of The Total Environment* 707, 135487. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135487>
- Leite, F.R., Antunes, M.L.P., 2023. Green roof recent designs to runoff control: A review of building materials and plant species used in studies. *Ecological Engineering* 189, 106924. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.106924>
- Liu, H., Kong, F., Yin, H., Middel, A., Zheng, X., Huang, J., Xu, H., Wang, D., Wen, Z., 2021. Impacts of green roofs on water, temperature, and air quality: A bibliometric review. *Building and Environment* 196, 107794. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107794>
- Mentens, J., Raes, D., Hermy, M., 2006. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning* 77, 217–226. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.010>
- Mihalakakou, G., Souliotis, M., Papadaki, M., Menounou, P., Dimopoulos, P., Kolokotsa, D., Paravantis, J.A., Tsangrassoulis, A., Panaras, G., Giannakopoulos, E., Papaefthimiou, S., 2023. Green roofs as a nature-based solution for improving urban sustainability: Progress and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 180, 113306. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113306>

- Mohajerani, A., Bakaric, J., Jeffrey-Bailey, T., 2017. The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management* 197, 522–538. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095>
- Ng, E., Chen, L., Wang, Y., Yuan, C., 2012. A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. *Building and Environment, International Workshop on Ventilation, Comfort, and Health in Transport Vehicles* 47, 256–271. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.014>
- Norton, B.A., Coutts, A.M., Livesley, S.J., Harris, R.J., Hunter, A.M., Williams, N.S.G., 2015. Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning* 134, 127–138. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.018>
- Sadineni, S.B., Madala, S., Boehm, R.F., 2011. Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 3617–3631. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.014>
- Sailor, D.J., 2008. A green roof model for building energy simulation programs. *Energy and Buildings* 40, 1466–1478. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.001>
- Santamouris, M., 2014. Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy* 103, 682–703. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>
- Susca, T., Gaffin, S.R., Dell’Osso, G.R., 2011. Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution, Selected papers from the conference Urban Environmental Pollution: Overcoming Obstacles to Sustainability and Quality of Life (UEP2010), 20-23 June 2010, Boston, USA* 159, 2119–2126. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.007>
- Sznigir, M., 2018. Podejmowanie tematu naukometrii i bibliometrii w Polsce w latach 2015–2017. *Zagadnienia Informatyki Naukowej - Studia Informatyczne* 56, 114–128.
- VanWoert, N., Rowe, D., Andresen, J., Rugh, C., Fernandez, R., Xiao, L., 2005. Green Roof Stormwater Retention: Effects of Roof Surface, Slope, and Media Depth. *Journal of environmental quality* 34, 1036–44. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.0364>
- Venkatarama Reddy, B.V., Jagadish, K.S., 2003. Embodied energy of common and alternative building materials and technologies. *Energy and Buildings* 35, 129–137. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00141-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00141-4)
- Wang, L., Xu, Y., Qin, T., Wu, M., Chen, Z., Zhang, Y., Liu, W., Xie, X., 2023. Global trends in the research and development of medical/pharmaceutical wastewater treatment over the half-century. *Chemosphere* 331, 138775. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138775>
- Wolch, J.R., Byrne, J., Newell, J.P., 2014. Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities ‘just green enough.’ *Landscape and Urban Planning* 125, 234–244. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.017>
- Wong, N.H., Chen, Y., Ong, C.L., Sia, A., 2003. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. *Building and Environment* 38, 261–270. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00066-5](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00066-5)
- Wray, K.B., 2013. The Future of The Structure of Scientific Revolutions. *Topoi* 32, 75–79. <https://doi.org/10.1007/s11245-012-9140-0>
- Wu, L., Kittur, A., Youn, H., Milojević, S., Leahey, E., Fiore, S.M., Ahn, Y.-Y., 2022. Metrics and mechanisms: Measuring the unmeasurable in the science of science. *Journal of Informetrics* 16, 101290. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2022.101290>
- Wuni, I.Y., Shen, G.Q.P., Osei-Kyei, R., 2019. Scientometric review of global research trends on green buildings in construction journals from 1992 to 2018. *Energy and Buildings* 190, 69–85. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.02.010>
- Yang, J., Yu, Q., Gong, P., 2008. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment* 42, 7266–7273. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.003>
- Zyoud, S.H., Shakhshir, M., Abushanab, A.S., Koni, A., Shahwan, M., Jairoun, A.A., Al-Jabi, S.W., 2023. Bibliometric mapping of the landscape and structure of nutrition and depression research: visualization analysis. *Journal of Health, Population and Nutrition* 42, 33. <https://doi.org/10.1186/s41043-023-00378-2>

**AUTHOR'S NOTE**

Assistant, conducts research and teaching at the University of Zielona Góra. In his scientific activity, he deals with energy efficiency in construction in the context of sustainable development.

**O AUTORZE**

Asystent, pracownik badawczo-naukowy Instytutu Architektury i Urbanistyki na Uniwersytecie Zielonogórskim. W działalności naukowej zajmuje się efektywnością energetyczną w budownictwie w kontekście zrównoważonego rozwoju.

Contact | Kontakt: [n.rzeszowska@aiu.uz.zgora.pl](mailto:n.rzeszowska@aiu.uz.zgora.pl)