

SPATIAL ANALYSIS SUPPORTING URBAN APIARY SITE SELECTION

Anna Fijalkowska, Rafał Sadowski

Faculty of Geodesy and Cartography, Warsaw University of Technology

KEY WORDS: multi-criteria analysis, GIS technology, automation, ArcGIS Desktop, Model Builder, beekeeping

SUMMARY: Spatial analysis and GIS technologies support decision-making in many different fields. New applications are also emerging in agriculture and the environment, one of which is beekeeping. Climate change, noticed on all continents, means that one of the priorities is sustainable development and care for the natural environment, also in cities where one of the trends is increasing the area of urban greenery. It means that one of our priorities is sustainable development and care for the natural environment, also in cities where one of the trends is increasing the green urban spaces. In Europe, the main pollinators are bees. They are essential for maintaining ecosystems in balance and biodiversity. The location of the municipal apiary must be planned in such a place as to provide bees with good living conditions and access to food, but also so that insects do not pose a threat to the inhabitants. This article presents a two-stage methodology for the use of multi-criteria spatial analysis supporting the determination of the optimal location of an urban apiary. The first stage consists in determining the areas of apiary location, considering the location criteria, and the second stage creates a rank of areas from the first stage, taking into account the needs of the bee colony. In order to automate the testing of various scenarios of the proposed solution, a data flow diagram tool was created in the ArcGIS Desktop environment using the Model Builder application. The evaluation of the obtained results shows that the research carried out with the use of GIS technology proved that the hypothesis was correct.

1. INTRODUCTION

In recent years, an acceleration in the dynamics of changes in the natural situation in the world has been noticed. The climate change causes many unfavourable phenomena, including a decreasing number of pollinating insects. Without them, many plant species and their living organisms may disappear forever. The recession in the bee population also affects food security - it causes losses in yields and a decline in global food resources. The main reason for the decrease in the number of pollinators is human interference with the environment and occupying more and more natural habitats, which means that insects have less food and space to build nests. The use of pesticides and the increase in air, water and soil pollution contribute to disease and significant insect mortality. According to Greenpeace, since 2006 in the United States, the loss of bee colonies has been as high as 40%, according to research conducted in Great Britain, since 1985 this loss is up to 54%. Across Europe, the average loss of bee colonies in 2008-2010 ranged from 7 to 22% and is still growing ([Tirado](#)

[et al., 2013](#)). Many cities that, while revitalizing representative areas (e.g. the town square), cut down trees, remove lawns and replace them with impermeable surfaces. The list of cities presented in the book "Betonoza, How to Destroy Polish Cities" is depressing - such changes have recently taken place in Rzepin, Kielce, Lubaczów, Włocławek, Kruszwica, Bartoszyce, Kruszwica, Janów Podlaski and many others ([Mencwel, 2020](#)). One of the ideas to increase the bee population is to build apiaries in urban areas with large amounts of green spaces. In Poland and around the world, beekeepers and activists are putting this concept into practice ([European Parliament, 2019](#)). One of the best races to breed in the city is the Carniolan bee due to its gentleness. This is a fundamental feature that must be met in a terrain inhabited by people. This species creates strong families, but in winter the number of insects in the nest decreases, and during spring they tend to regenerate quickly ([Celik et al., 2010](#)). The location of the apiary must allow insects to have access to food, and not every plant has the same honey yield. Ideally, the apiary should be close to highly honey-bearing plants. The species with the highest efficiency include: field maple, small-leaved lime, black locust and glossy cotoneaster ([Trzybiński, 2013](#); [Pyrzanowski, 2018](#)).

The first urban apiaries in Poland were built in 2011 in Warsaw on the roof of the Regent Hotel, and in 2016 there were about 400 hives (for comparison, in Berlin - about 4,000, and in London as many as 5,000) ([Kobiałka, 2016](#)). In 2020, in the second edition of the Participatory Budget of the Warsaw University of Technology, after a vote in which over 3,800 students and employees of WUT participated, 4 projects were selected to implementation. The idea of saving the bee population of "Bees at WUT" came second. Additionally, thanks to the camera located at the hives, it will be possible to monitor the life of polytechnic bees online¹.

The most important aspect of erecting hives in city areas is the compliance with the legal basis regulating their foundation. According to Art. 2. the Act of June 29, 2007 *on the organization of livestock breeding and reproduction*², honey bees in the Republic of Poland are considered farm animals. According to the Act of September 13, 1996 *on the maintenance of cleanliness and order in municipalities*³, municipal councils may adopt regulations, which also consider the principles of keeping farm animals. This document is an act of local law, and different conditions may apply in each municipality. In Warsaw, pursuant to Art. 28 Resolution No. LXI / 1631/2018 of the Council of the Capital City of Warsaw of February 8, 2018⁴, the requirements for the maintenance of honeybees in areas excluded from agricultural production (point 2) define: the location of the hives in places that prevent the accidental entry of bystanders and the marking of these places with boards with the words "Attention - bees! Unauthorized persons are not allowed "; location of the hives at a distance of at least 10 m from the border of the property and a public road (this distance may be reduced with the consent of the owner or user of the neighbouring property), and in the case of location of the hives on the roofs of buildings, keep a distance of at least 10 m from window openings located at the level and above the foundation of the hives and the maintenance of bees characterized by reduced aggressiveness towards the environment and low swarming.

¹ <https://www.biuletyn.pw.edu.pl/> (access: 11.2020)

² Dz.U. 2007 nr 133 poz. 921 z późn. zm.

³ Dz.U. 1996 nr 132 poz. 622 z późn. zm.

⁴ http://edziennik.mazowieckie.pl/WDU_W/2018/1968/akt.pdf

In addition, people from neighbouring breeding bees are protected by the Civil Code, Art. 144 says that activities carried out on the property should not disrupt neighbouring plots ([Dombrowski, 2012](#)).

More and more specialists in various fields use GIS tools and methods to support the decision-making process, and the increasing access to spatial data only accelerates these changes. One of the areas in which GIS technologies are used is agriculture. The beekeeping can also use spatial analysis - the spatial information system can be used to locate areas for the foundation of hives, taking into account the safety of people and food for bees at the same time ([Abou-Shaara, 2019](#)). The EU-funded IoBee project aims to investigate disruptions in the apiculture sector by providing appropriate systems for monitoring pollinators and their environment. The basic IoBee tool is a meter installed at the hive entrance to monitor the movement of bees, detect pests and check the health of the colony. With these tools, beekeepers, researchers and public authorities can increase their role as active participants in bee surveillance programs ([IoBee, 2020](#))⁵. The European project EPILOBEE investigated the relationship between winter mortality rates, environmental and biological conditions, and the beekeeping management of honey bees in Wallonia (southern Belgium). Potential explanatory variables were subjected to two-dimensional linear regression to identify the dominant variables related to winter insects mortality ([Esch & De Kok, 2019](#)). In Paris, the effect of urban honey bees on wild pollinator populations and the degree of competition for flower resources was studied ([Ropars et al., 2019](#)). Multi-criteria analysis for the Calabria region (southern Italy) using fuzzy logic tools, taking into account the location in relation to the road network, access to water resources and land cover, as well as terrain height and temperature, allowed for an expert classification of land suitability for the apiary location ([Zoccali et al., 2017](#)). In another project, 20 variables were analysed for 60 apiaries from the western part of the Paraná region in Brazil. The data were analysed by multivariate analysis with GENES software, using a cluster analysis technique to identify similarities between the variables. The designed application can assist beekeepers in planning the location of new apiaries and in assessing the suitability of selected areas ([Camargo et al., 2014](#)). Beekeepers from the local Apiculture Circle in Międzyzlesie, together with the Department of Geodesy and Cartography of the Marshal's Office of the Dolnośląskie Voivodeship, are implementing a project to create a geoportal on the spatial location of permanent and migratory apiaries, as well as breeding and preventive treatments in Międzyzlesie. This is to create a picture of the overcrowding in the region (disturbance of biodiversity). The map was published on the Dolnośląskie Geoportal in a closed module, available only to allowed users (beekeepers and officials) ([Nakonieczna, 2018](#)).

2. STUDY AREA AND PROJECT DATA

The Mokotów district is located on the left bank of the Vistula river, in the south-central part of Warsaw, and covers an area of 35.4 km². It is adjacent to the following ogródistricts: Wilanów, Ursynów, Wawer, Włochy, Ochota, Śródmieście, Praga Południe. This district is characterized by diversified buildings and land development. It covers vast areas of the upper and lower terraces of the Skarpa Wiślana. On the development of Mokotów

⁵ <https://io-bee.eu/> (access: 12.2020)

housing estate consists of villas (Stary Mokotów), which placed itself among the many embassies, as well as multi-dwelling buildings (Służew, Stegny). It is characterized by a significant area of urban green spaces, which are recreational and leisure spaces, parks, greenery along streets and squares, and allotment gardens. Numerous water reservoirs are usually also surrounded by greenery, and the largest natural water reservoir - Czerniakowskie Lake (19.5 ha) is a nature reserve⁶.

For spatial analysis, data from PZGiK (National Geodesy and Cartography Resource) were used - selected BDOT10k (Database of Topographical Objects) layers (up-to-date: October 2018) as well as DTM and DSM with a resolution of 0.5m, processed from ALS measurement data (up-to-date: 04.2018, standard II: 12 points / m²).

The most important data missing to perform the analysis with the required thematic accuracy are the data on the species of vegetation in the study area. During the implementation of this project, the Map of Tree Crowns of the City of Warsaw and the trees from the Green Database were not yet available, which can now be visualized in the geportal of the Capital City of Warsaw. Data from the BDOT10k and GDOŚ (General Directorate for Environmental Protection) databases provide information on the species of trees and plants in some layers, but these data are incomplete and insufficient for this purpose.

3. METHODOLOGY OF SPATIAL ANALYSIS

In order to determine the optimal location of the urban apiary, a two-stage methodology using multi-criteria analysis was proposed. The first stage consisted in identifying possible locations for the foundation of the apiary, considering 7 location criteria (Table 1). Four of them are legally regulated by the Ministry of Agriculture and Rural Development, setting the impassable limits for the location of hives in relation to these facilities (criteria: 1.1, 1.2, 1.3, 1.4).

The next three stages are additional assumptions that limit areas potentially contaminated with heavy metals, which may have a negative impact on bees (criterion 1.5) and to facilitate the placement of hives (criterion 1.6), and significantly help avoid conflicts with neighbours (criterion 1.7). After completing the sequence of spatial analysis planned for each of the criteria, standardized (fuzzy logic tools) suitability maps were created. Then they were combined (WLC method) and used for further processing in order to indicate possible locations of the apiary. The weights of individual criteria were calculated using the AHP (Analytic Hierarchy Process) method.

⁶ Mokotów District Office (<http://mokotow.waw.pl/>, access: 10.2020r.)

Table 1. Data sources and criteria parameters for the study of the urban apiary location (STAGE 1).

Tabela 2. Źródła danych i parametry kryteriów do badania lokalizacji pasieki miejskiej (ETAP 1).

No.	Criteria	Evaluation method	Parameters	Data sources
1.1	Proximity to residential, livestock and farm buildings	fuzzy logic	as far as possible, at least 10 m	BDOT10k x_kod = 'BUBD 01' (single-family residential buildings), 'BUBD02' (double-flat buildings), 'BUBD03', (buildings with three or more flats) 'BUBD04' (collective residential buildings), 'BUBD05' (hotels), 'BUBD07' (office buildings), 'BUBD08' (public buildings and facilities)
1.2	Proximity to schools, health care facilities and other public buildings	fuzzy logic	as far as possible, at least 150 m	BDOT10k x_kod = 'BUBD13' (culture objects open for general use), 'BUBD14' (libraries and museum buildings), 'BUBD15' (school and research institute buildings), 'BUBD16' (hospital and medical care buildings), 'BUBD17' (physical culture buildings), 'BUBD19' (buildings dedicated to religious worship)
1.3	Proximity to public roads	fuzzy logic	as far as possible, at least 10 m	BDOT10k x_kod = 'SKJZ04' (main roads), 'SKJZ05' (collective / trunk roads), 'SKJZ06' (local roads)
1.4	Proximity to highways and expressways	fuzzy logic	as far as possible, at least 50 m	BDOT10k x_kod = 'SKJZ02' (express roads), 'SKJZ03' (main fast roads)
1.5	Outside the industrial facilities zones	fuzzy logic	as far as possible, at least 200 m	BDOT10k x_kod = 'BUBD11' (industrial buildings)
1.6	Land cover	Boolean	green spaces	BDOT10k x_kod = 'KUSK01' (botanical gardens), 'KUSK02' (zoological gardens), 'KUSK04' (parks), 'PTLZ01' (forests), 'PTLZ03' (tree plantings), 'PTRK02' (shrubs), 'PTUT02' (plantations), 'PTUT03' (orchards), 'PTUT05' (ornamental plants nurseries)
1.7	Outside the allotment gardens	Boolean	-	BDOT10k x_kod = 'PTUT01' (allotment gardens)

The second stage includes four criteria (Table 2), so that the ranking was created and the five best areas from the previously indicated locations were selected. This stage is aimed at assessing the suitability of the areas for bees in a given buffer zone in 3 solution scenarios of the bee flight distance: 300 m, 600 m and 900 m from the possible locations of the apiary. The first condition (2.1) assumed three height thresholds for the main obstacles for bees in the city - buildings. Another criterion (2.2) negatively evaluates the surface of the land, which may be contaminated with heavy metals (industrial zones). It is more advantageous to avoid such areas as they can affect the development of bees. In order for a bee to be productive in

collecting pollen, it must travel the shortest possible route to useful plants, therefore the third criterion (2.3) relates to the ratio of the area of green spaces within the designated buffer zones. The last criterion (2.4) indicates the need to avoid depressions in the terrain (sinks), as they are favoured by cold air gusts, which are poorly tolerated by bees.

Table 3. Data sources and criteria parameters for the study of the urban apiary location - neighbourhood examination of locations from stage 1 (stage 2).

Tabela 4. Źródła danych i parametry kryteriów do badania lokalizacji pasieki miejskiej - badanie otoczenia wskazanych lokalizacji (ETAP 2).

No.	Criteria	Evaluation method	Assessment weight (points)	Data sources
2.1	Influence of buildings and their height	area in the buffer zone	(5m<) = -1 point (5-17m) = -2 point (17m>) = -5 point	DTM LIDAR (ALS)
2.2	Industrial facilities zones	area in the buffer zone	tereny: uncontaminated = 1 point slightly contaminated = -1 point contaminated = -2 point very contaminated = -5 point	BDOT10k x_kod = 'BUBD11'
2.3	Green spaces	area in the buffer zone	green spaces = 1 point	BDOT10k x_kod = PTUT (01,02,03,04,05) PTLZ (01,02,03) PTRK (01,02) PTTR (01,02) KUSK (01,02,04)
2.4	Outside the depressions of the terrain (sinks)	-	sink = - 1 point	DSM LIDAR (ALS)

The diagram of the described methodology is presented in Figure 4 - Appendix 1. A geoprocessing model was created in the ArcGIS Desktop Model Builder application (Figure 5 and 6 - Appendix 2) to automatically generate subsequent scenarios, as well as to correct the analysis parameters assumed at the beginning of the project.

4. MULTICRYTERIAL SPATIAL ANALYSIS

4.1. Stage 1 – determining the location areas of urban apiaries

This stage was carried out in accordance with the methodology presented in Figure 4. For each of the criteria 1.1-1.5, Euclidean Distance and Point Density analysis were performed, which were then normalized to the suitability range <0.1> using fuzzy logic tools (Fuzzy Membership). Criteria 1.6 and 1.7 were used to define the land cover of the possible location of the apiary. Sample results for the criteria: 1.1 (Proximity to residential, livestock and farm buildings) and 1.5 (Outside the industrial facilities zones) are presented in Figure 1.

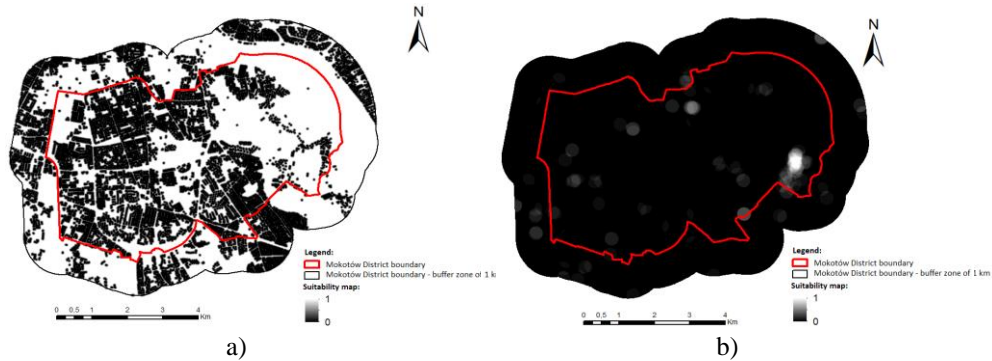


Figure 1. The results of normalization of the values of selected criteria:
1.1 (proximity to residential, livestock and farm buildings) (a);
1.5 (outside the industrial facilities zones) (b).

Rysunek 2. Wyniki normalizacji wartości wybranych kryteriów:
1.1 (odległość od budynków mieszkalnych, inwentarskich i gospodarczych) (a)
oraz 1.5 (poza strefą obiektów przemysłowych) (b).

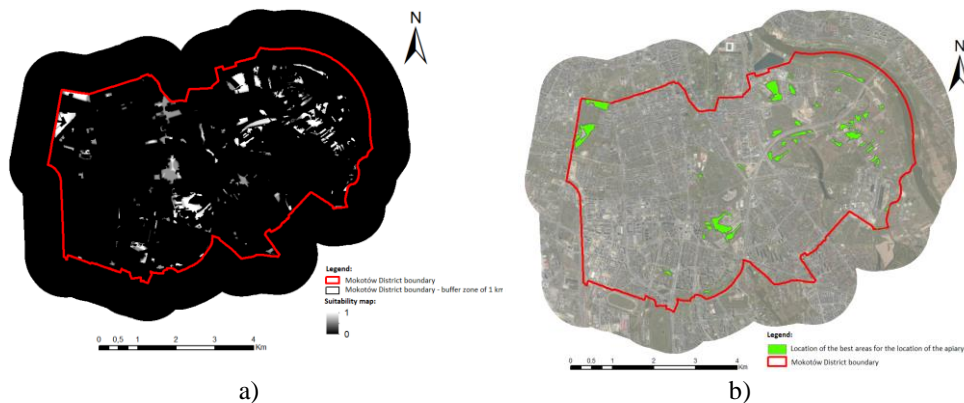


Figure 3. Suitability map - STAGE 1 - the result of combining fuzzy logic criteria (a)
and the distribution of 42 areas meeting the suitability conditions
with a probability greater than 0.9 (b).

Rysunek 4. Mapa przydatności – ETAP 1 - wynik łączenia kryteriów miękkich (a)
oraz rozmieszczenie 42 obszarów spełniających warunek przydatności
z prawdopodobieństwem powyżej 0,9 (b).

Then, all criteria were combined using the Weighted Linear Combination method (WLC), calculating the weights of individual criteria with the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. The highest weight was given to the criteria related to maintaining an appropriate distance from public and residential buildings (0.32), and the lowest - to the criterion related to potential pollution (0.07). The distribution of the value of the suitability map obtained because of of combining the soft criteria in stage 1 and the resulting location proposals after applying the threshold value (with a probability above 0.9) are presented in Figure 2. At this stage, 42 best areas for the foundation of hives were obtained, considering t the criteria set in

the study. Most of them are found in the eastern part of the district. Based on of the aerial orthophotomap it can be seen that it is the least developed part of the analysed area. In addition, the algorithm implementing the proposed methodology indicated the possibility of taking into account individual areas in the southern part of the district and two areas in Pola Mokotowskie. All the indicated locations have a total area of 89.70 ha, which is 3% of the analysed area. The smallest area for the apiary is 0.51 ha, and the largest is 13.66 ha. Each of the selected areas is good enough for the foundation of the hives.

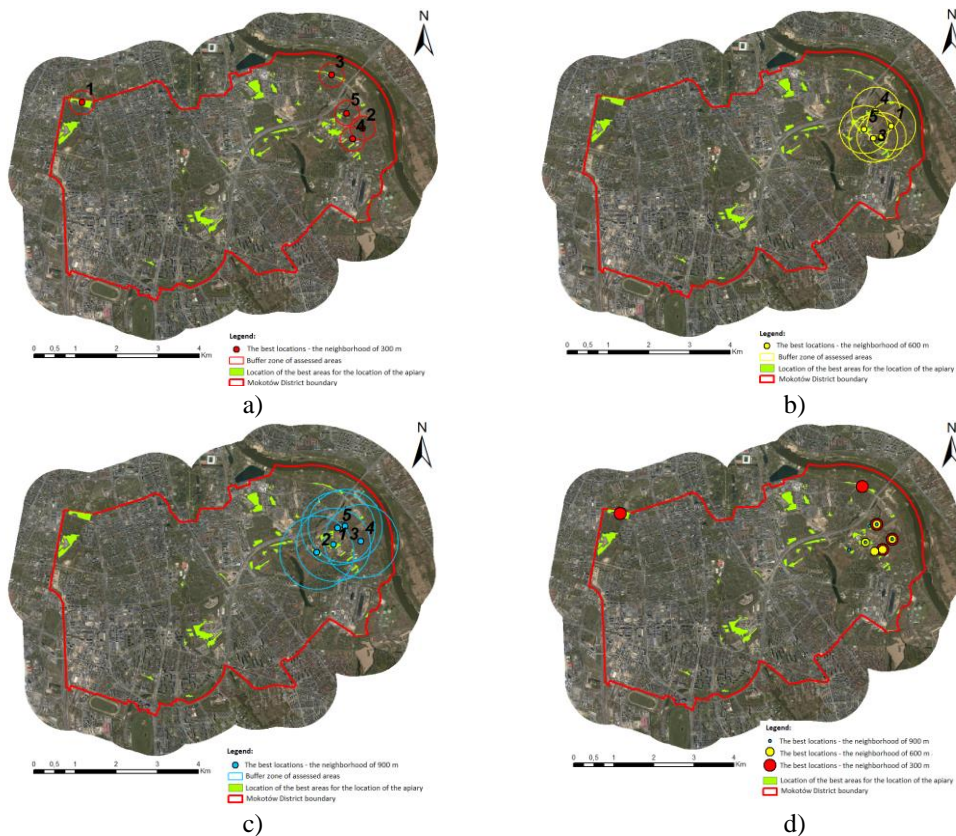


Figure 5. Ranking (top 5 locations) in 3 scenarios assessment of the neighbourhood of potential municipal apiary locations: 300 m (a), 600 m (b) and 900 m (c) and a summary of the 3 scenarios - result of STAGE 2 (d).

Rysunek 6. Uszeregowanie rankingu (5 najlepszych lokalizacji) w 3 scenariuszach oceny otoczenia potencjalnych lokalizacji pasieki miejskiej: 300 m (a), 600 m (b) i 900 m (c) oraz podsumowanie 3 scenariuszy – wynik ETAPU 2 (d).

4.2. Stage 2 – the rank of areas and indicating the optimal location of the apiary

The second part of the analysis is based on the use of 4 criteria to assess the neighbourhood of the indicated locations and their suitability for bees. This test was performed in 3 solution scenarios - for different widths of buffer zones: 300 m, 600 m and 900 m. The widths of the zones result from the literature analysis presented in the introduction and the optimal and maximum distance for an apiary and food sources. Each location was assessed comparing the area in the surrounding buffer zone according to the score given in Table 2. In each of the scenario of the zone width, the locations were ranked according to the score obtained and the first 5 locations in the ranking were selected. The results are shown in Figure 3.

5. SUMMARY AND CONCLUSIONS

The result of the second part of the analysis consists of 3 solution scenarios, as the five best locations were examined, taking into account the area assessment for the three widths of buffer zones. The first variant (Figure 3a), with the smallest range of the study, shows that as many as four areas are located in the eastern part of the study area. Only one (with the highest score) was selected in the Pola Mokotowskie (id_sort = 1). The next variants (Figures 3b and 3c) have a very similar final result. The five best areas for the foundation of apiaries are located in the south-eastern part of the Mokotów district. The greatest impact on this result is the lack of heavy metal pollution, a small number of buildings, and a large area of green spaces in the buffer zones. Along with increasing the radius of the buffer zone of the assessed area, the location of the best areas for the foundation of apiaries also changes. After comparing the results, it appears that only 2 areas are selected in the same place for all three analysed buffer zone ranges (Figure 3d). It is recommended to consider these two locations for the planned investment location.

The overall time of the full implementation of the algorithm was 3 hours 53 minutes and 19 seconds with the hardware parameters: processor: Intel (r) core (tm) i5-7300hq CPU @ 2.50 GHz, RAM: 8GB, operating system: Windows 10, 64-bit. The algorithm creating a building height raster turned out to be the longest processing. It lasted 3 hours and 24 minutes. The reason for such a long process was the large size of the data file (45.7 GB) to be processed and the high spatial resolution of the resulting raster (0.5 m).

The performed analysis proves that the application of GIS technology can be useful in making decisions in the field of beekeeping. Both the proposed methodology and the created geoprocessing models can be extended by additional assessment criteria in both stages, e.g. by analysis to distinguish the occurrence of plant species and their location. However, in Poland there are no nationwide spatial databases containing information on vegetation species. Some cities currently have such bases, including Warsaw or Krakow⁷ The performed data processing allows to indicate the optimal location of the urban apiary, taking into account the legal basis and ensuring favourable living conditions for bees.

⁷ Map of actual vegetation of Krakow (https://www.bip.krakow.pl/?sub_dok_id=20495; access: 10.2020r.)

LITERATURE

- Abou-Shaara H. F., & Staron M., (2019). Present and future perspectives of using biological control agents against pests of honey bees. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 29(1), 1-7.
- Camargo S. C., Garcia R. C., Feiden A., Vasconcelos E. S., Pires B. G., Hartleben A. M., ... & Pereira D. J., (2014). Implementation of a geographic information system (GIS) for the planning of beekeeping in the west region of Paraná. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 86(2), 955-971.
- Celik K., Demir E., Canalicchio M., Timmers B., Palotas J., Alapitvany T., Dekonick K., Dymacz M., & Czernatowicz W. (red.) Ślusarz J., (2010). Podręcznik dla pszczelarzy, Materiały szkoleniowe opracowane przez członków zespołu konsorcjum projektowego „Zrównoważony rozwój pszczelarstwa w aspekcie środowiskowym w Europie” „Beekeeping European Environmental Sustainability TO BEE OR NOT TO BEEZZZ”, TR1-2010-1-16698-No LEO05.
- Dombrowski B., (2012). Odpowiedź podsekretarza stanu w Ministerstwie Rolnictwa i Rozwoju Wsi - z upoważnienia ministra - na interpelację nr 5619 w sprawie problemów pszczelarzy, <http://www.sejm.gov.pl/sejm7.nsf/InterpelacjaTresc.xsp?key=36E6878F> (dostęp: 10.2020).
- Kobiałka T., (2016). Miejskie pasieki zdobywają popularność. *Pasieka*. 6/2016. <https://www.pasieka24.pl/index.php/pl-pl/pasieka-czasopismo-dla-pszczelarzy/147-pasieka-6-2016/1597-miejskie-pasieki-zdobywaja-popularnosc> (dostęp: 10.2020).
- Mencwel, J. (2020). Betonozja: jak się niszczy polskie miasta Wydanie pierwsze., *Warszawa: Wydawnictwo Krytyki Politycznej*, 339 s.
- Nakoneczna I. M. (2018). System Informacji Przestrzennej jak narzędzie wspomagające proces planistyczny i decyzyjny w samorządzie. *Miasto. Pamięć i Przyszłość*, 3(1), 135-151.
- Parlament Europejski. 2019. [online] <https://www.europarl.europa.eu/news/pl/headlines/society/20191129STO67758/co-powoduje-spadek-liczebnosci-pszczol-i-innych-zapylaczy-infografiki> [dostęp: 08.2020];
- Pyrzanowski K. (2018). Pożytek poszukiwany. Twój doradca - Rolniczy Rynek, nr 4. Wrocław <http://www.dodr.pl/userfiles/uploads/dodr/pliki/tdrr/2018/04/2.pdf>; (dostęp: 08.2020).
- Ropars, L., Dajoz, I., Fontaine, C., Muratet, A., & Geslin, B. (2019). Wild pollinator activity negatively related to honey bee colony densities in urban context. *PloS one*, 14(9), e0222316;
- Tirado R., Simon G., & Johnston P., (2013). Spadek populacji pszczół. Przegląd czynników zagrażających owadom zapylającym i rolnictwu w Europie. *Greenpeace*. Warszawa.
- Trzybiński S., (2013). Współczesna gospodarka pasieczna. Rok w pasiece. *Bee & Honey*, tom II. 206 s.
- Van Esch, L., De Kok, J. L., Janssen, L., Buelens, B., De Smet, L., de Graaf, D. C., & Engelen, G., (2020). Multivariate landscape analysis of honey bee winter mortality in Wallonia, Belgium. *Environmental Modeling & Assessment*, 25(3), 441-452.
- Zoccali, P., Malacrinò, A., Campolo, O., Laudani, F., Algeri, G. M., Giunti, G., ... & Palmeri, V., (2017). A novel GIS-based approach to assess beekeeping suitability of Mediterranean lands. *Saudi journal of biological sciences*, 24(5), 1045-1050.

APPENDIX 1 / ZAŁĄCZNIK 1

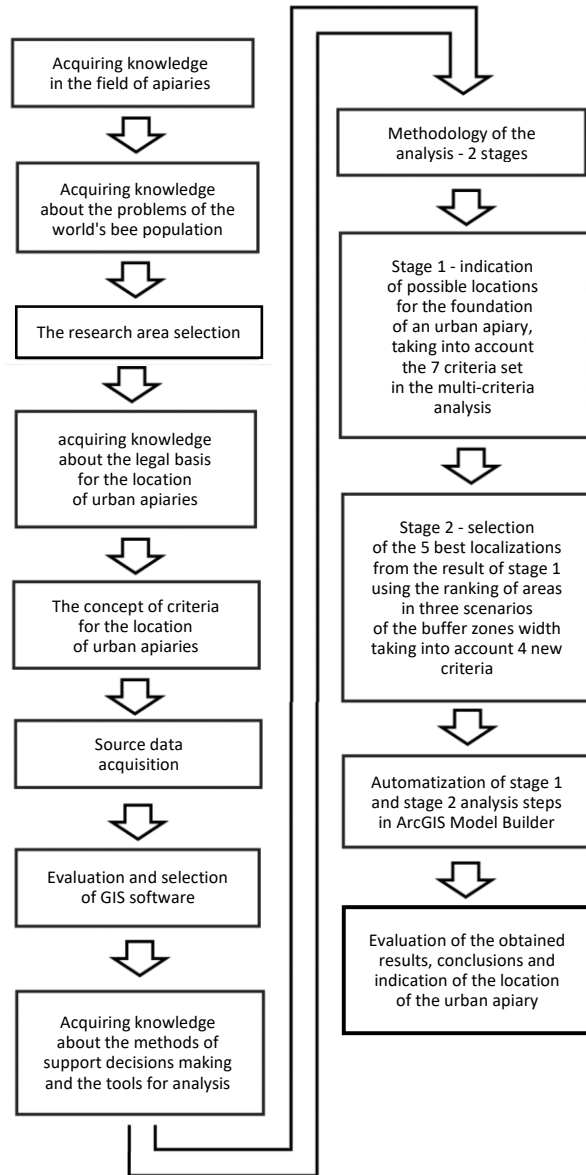


Figure 7. Data flow diagram of the methodology for conducting the location study of urban apiary (STAGE 1 and STAGE 2).

Rysunek 8. Schemat blokowy metodyki przeprowadzenia badania lokalizacji pasieki miejskiej (ETAP 1 i ETAP 2).

APPENDIX 2./ ZAŁĄCZNIK 2

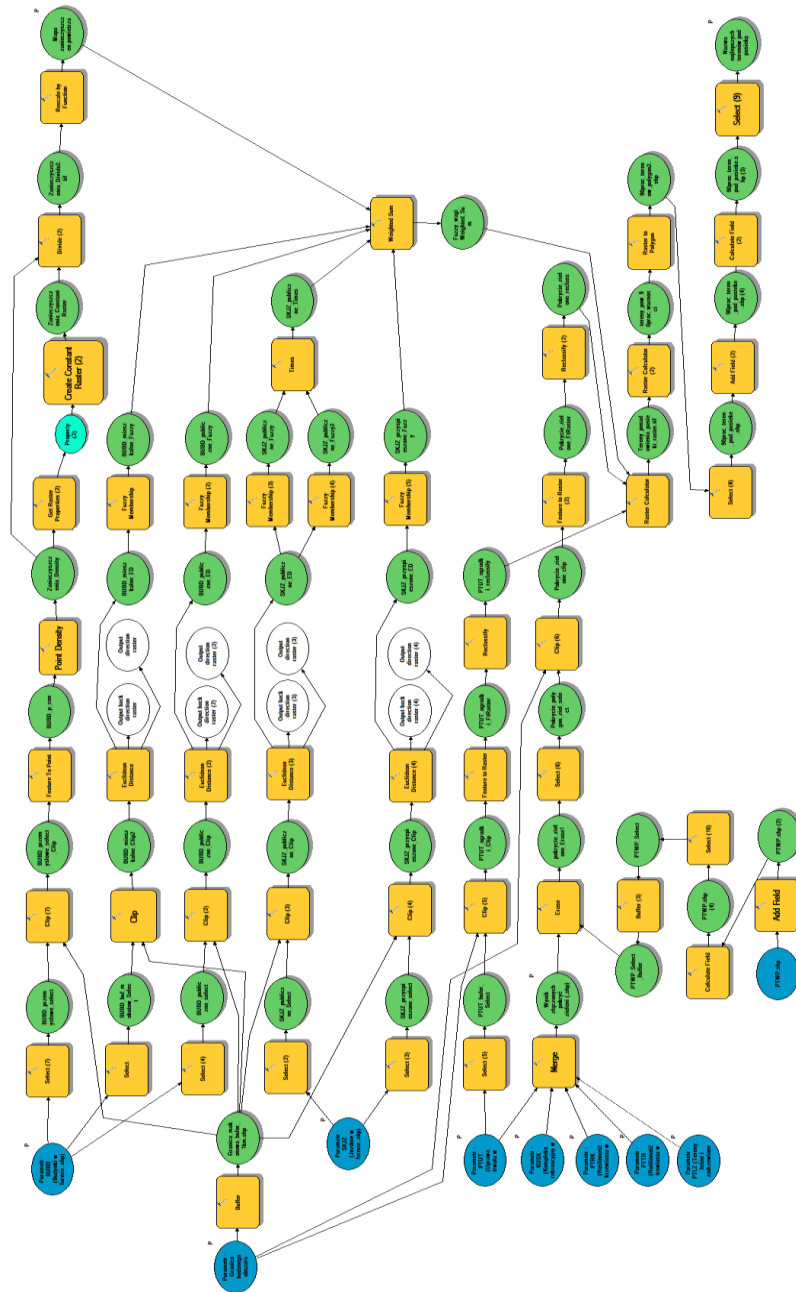


Figure 9. Implementation of the STAGE 1 methodology in the Model Builder application.
 Rysunek 10. Implementacja metodyki ETAPU 1 zrealizowana w aplikacji Model Builder.

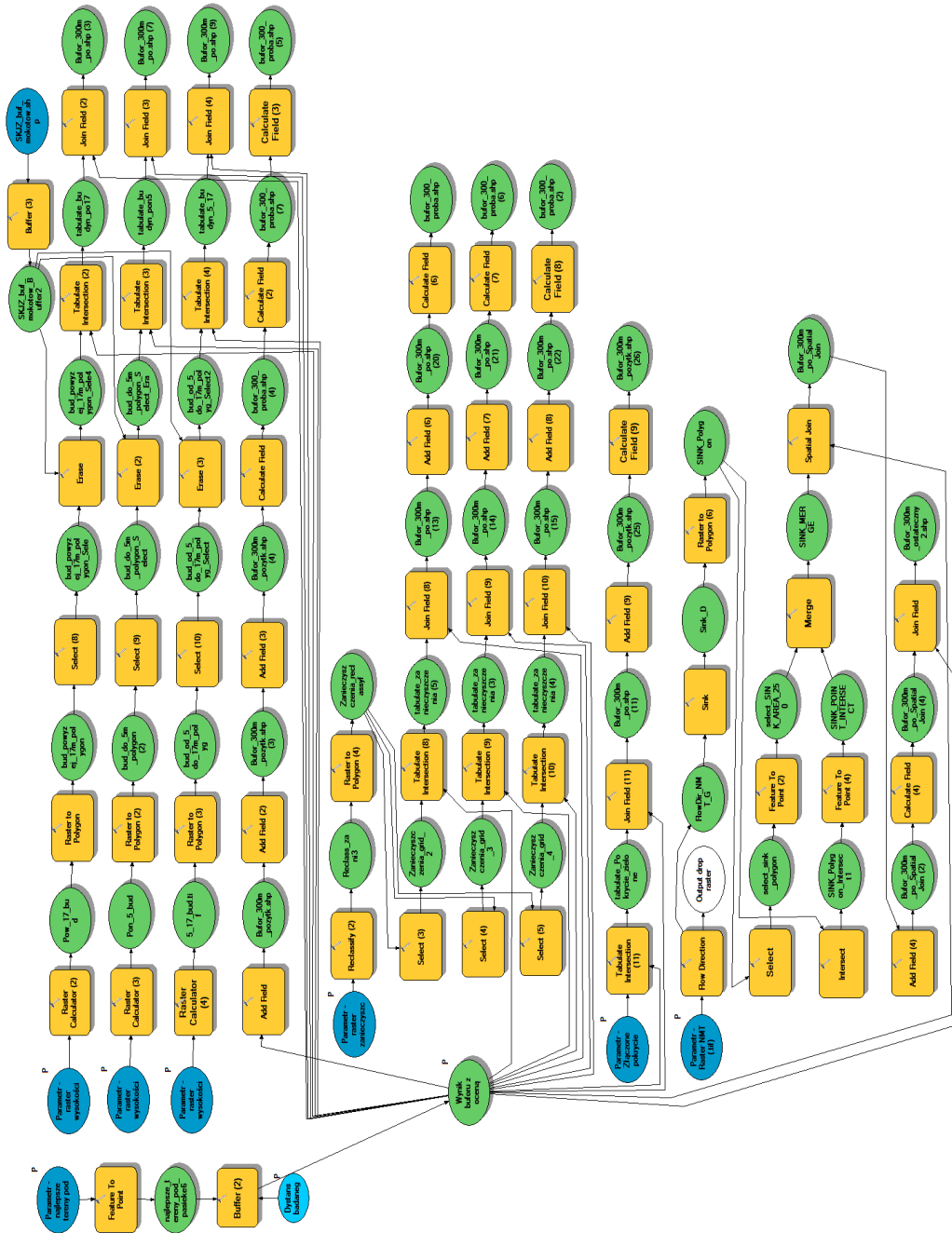


Figure 11. Implementation of the STAGE 2 methodology in the Model Builder application.

Rysunek 12. Implementacja metodyki ETAPU 2 zrealizowana w aplikacji Model Builder.

ANALIZY PRZESTRZENNE WSPOMAGAJĄCE WYZNACZENIE POŁOŻENIA PASIEKI MIEJSKIEJ

SŁOWA KLUCZOWE: analizy wielokryterialne, technologia GIS, automatyzacja, ArcGIS Desktop, Model Builder, pszczelarstwo

STRESZCZENIE: Analizy przestrzenne i technologie GIS wspomagają podejmowanie decyzji w wielu różnych dziedzinach, a nowe zastosowania pojawiają się również w zakresie rolnictwa i ochrony środowiska – jednym z nich jest pszczelarstwo. Dostrzegane na wszystkich kontynentach zmiany klimatu powodują, że jednym z priorytetów jest zrównoważony rozwój i troska o środowisko przyrodnicze, także w miastach, w których jednym z trendów jest zwiększanie powierzchni zieleni miejskiej. W Europie głównymi zapylaczami są pszczoły - niezbędne do utrzymania ekosystemów w równowadze i różnorodności biologicznej. Lokalizacja pasieki miejskiej musi być zaplanowana w takim miejscu, by zapewnić pszczołom dobre warunki życia i dostęp do pożywienia, ale też tak, by owady nie stanowiły zagrożenia dla mieszkańców. Niniejszy artykuł prezentuje dwuetapową metodykę wykorzystania wielokryterialnych analiz przestrzennych wspomagających wyznaczenie optymalnej lokalizacji pasieki miejskiej. Pierwszy etap polega na wyznaczeniu obszarów posadwienia pasieki z uwzględnieniem kryteriów lokalizacji, a drugi na tworzeniu rankingu obszarów z etapu pierwszego z uwzględnieniem zapotrzebowań rodziny pszczelej. W celu automatyzacji dla możliwości testowania różnych scenariuszy proponowanego rozwiązania stworzono schemat blokowy w środowisku ArcGIS Desktop, przy użyciu aplikacji Model Builder. Ocena uzyskanych wyników pozwala stwierdzić, że przeprowadzone badanie z zastosowaniem technologii GIS wykazało słuszność postawionego celu badawczego.

1. WPROWADZENIE

W ostatnich latach zauważa się przyspieszenie dynamiki zmian sytuacji przyrodniczej na świecie, a zmiany klimatu powodują wiele niekorzystnych zjawisk, w tym coraz mniejszą liczbę owadów zapyłających rośliny. Bez nich wiele gatunków roślin wraz z organizmami na nich żyjącymi może zniknąć bezpowrotnie. Spadek populacji pszczoł wpływa także na bezpieczeństwo żywnościowe - powoduje straty w plonach i spadek światowych zasobów żywności. Główną przyczyną zmniejszenia się liczby zapyłaczy jest ingerencja człowieka w środowisko i zajmowanie coraz większej powierzchni naturalnych siedlisk, przez co owady mają mniej pożywienia i przestrzeni do budowy gniazd. Zagrożenie powoduje też stosowanie pestycydów i wzrost zanieczyszczenia powietrza, wody i gleb, które przyczyniają się do chorób i znacznej śmiertelności owadów. Według Greenpeace od 2006 r. w Stanach Zjednoczonych ubytek rodzin pszczelich sięga nawet 40%, wg badań prowadzonych w Wielkiej Brytanii, od 1985 r. ubytek ten wynosi aż do 54%. W całej Europie średnia strata rodzin pszczelich w latach 2008-2010 wyniosła od 7 do 22% i ciągle rośnie ([Tirado i in., 2013](#)). Wiele miast, które rewitalizując tereny reprezentacyjne (np. rynek) wycinają drzewa, likwidują trawniki i zastępują je powierzchniami nieprzepuszczalnymi. Lista miast przedstawiona w książce „Betonozja, Jak się niszczy Polskie miasta” jest przygnębiająca – największe zmiany nastąpiły ostatnio między innymi w Rzepinie, Kielcach, Lubaczowie, Włocławku, Kruszwicy, Bartoszycach, Kruszwicy, Janowie Podlaskim i wielu innych ([Mencwel, 2020](#)). Jednym z pomysłów na zwiększenie populacji pszczoł jest stawianie pasiek również na terenach zurbanizowanych, gdzie występują duże zasoby terenów zielonych. W Polsce oraz na świecie pszczelarze i aktywiści wprowadzają tę koncepcję w życie ([Parlament Europejski, 2019](#)). Jedną z najlepszych ras do hodowania

w mieście jest pszczoła kraińska ze względu na jej łagodność. Jest to podstawowa cecha, która musi być spełniona w zamieszkałym przez ludzi terenie. Gatunek ten tworzy silne rodziny, lecz na zimę maleje liczba owadów w gnieździe, a podczas wiosny ma tendencję do szybkiej regeneracji (Celik *et al.*, 2010). Lokalizacja pasieki musi umożliwić zapewnienie owadom dostępu do pożywienia, a nie każda roślina ma taką samą wydajność miodową. Najlepiej jakby pasieka znajdowała się blisko roślin wysoko miododajnych. Do gatunków o najwyższej wydajności należą: klon polny, lipa drobnolistna, robinia akacja i irga błyszcząca (Trzybiński, 2013; Pyrzanowski, 2018).

Pierwsze pasieki miejskie w Polsce powstały w 2011 roku w Warszawie na dachu hotelu Regent, a w roku 2016 w stolicy mieściło się około 400 uli (dla porównania w Berlinie - około 4000, a w Londynie aż 5000) (Kobiąłka, 2016). W 2020 r. w drugiej edycji Budżetu Partycypacyjnego Politechniki Warszawskiej, po głosowaniu, w którym uczestniczyło ponad 3800 studentów i pracowników PW, do realizacji zostały skierowane 4 projekty. Drugie miejsce zajął pomysł ratowania pszczelej populacji „Pszczoły na PW”, a dzięki umieszczonej przy ulach kamerze będzie można on-line monitorować życie politechnicznych pszczół⁸.

Najważniejszym aspektem stawiania uli na terenach zurbanizowanych jest stosowanie się do podstaw prawnych regulujących ich posadowienie. Zgodnie z art. 2. *ustawy z dnia 29 czerwca 2007r. o organizacji hodowli i rozrodzie zwierząt gospodarskich*⁹ pszczoły miodne w Rzeczypospolitej Polskiej są uważane za zwierzęta gospodarskie. Według *ustawy z dnia 13 września 1996 r. o utrzymywaniu czystości i porządku* uwzględnia się zasady utrzymywania zwierząt gospodarskich. Dokument ten jest aktem prawa miejscowego, a w każdej gminie mogą obowiązywać inne warunki. W Warszawie zgodnie z art. 28 *uchwały NR LXI/1631/2018 Rady Miasta Stołecznego Warszawy z dnia 8 lutego 2018r.*¹⁰ wymagania dotyczące utrzymania pszczół miodnych na terenach wyłączonych z produkcji rolniczej (pkt. 2), określają: usytuowanie uli w miejscach uniemożliwiających przypadkowe wejście osób postronnych oraz oznakowania tych miejsc tablicami z napisem „Uwaga – pszczoły! Osobom nieupoważnionym wstęp zabroniony”; usytuowanie uli w odległości co najmniej 10 m od granicy nieruchomości i drogi publicznej (odległość ta może być zmniejszona za zgodą właściciela lub użytkownika nieruchomości sąsiedniej), a w przypadku usytuowania uli na dachach budynków, zachowanie odległości co najmniej 10 m od otworów okiennych znajdujących się na poziomie i powyżej poziomu posadowienia uli oraz utrzymywanie pszczół charakteryzujących się obniżoną agresywnością wobec otoczenia i niską rojliwością. Ponadto osoby sąsiadujące z hodowlą pszczół są chronione przepisami kodeksu cywilnego, art. 144 mówi o tym, aby czynności prowadzone na nieruchomości nie zakłócały korzystania z sąsiednich działek (Dombrowski, 2012).

Coraz więcej specjalistów różnych dziedzin gospodarki sięga po narzędzia i metody GIS dla wspomagania procesu decyzyjnego, a coraz szerszy dostęp do danych przestrzennych tylko przyspiesza ten kierunek zmian. Jedną z dziedzin, w której wykorzystuje się technologię GIS jest rolnictwo. Pszczelarstwo również może być dziedziną, w której wykorzystuje się analizy przestrzenne. System informacji przestrzennej może

⁸ <https://www.biuletyn.pw.edu.pl/> (dostęp: 11.2020r.)

⁹ Dz.U. 2007 nr 133 poz. 921 z późn. zm.

¹⁰ http://edziennik.mazowieckie.pl/WDU_W/2018/1968/akt.pdf

posłużyć do lokalizacji obszarów pod posadzenie uli z uwzględnieniem jednoczesnego zapewnienia bezpieczeństwa ludziom oraz pożywienia pszczołom (Abou-Shaara, 2019). Finansowany przez UE projekt IoBee ma na celu badanie zakłóceń funkcjonowania sektora pszczelarskiego poprzez zapewnienie odpowiednich systemów monitorowania zapylaczy i ich środowiska. Podstawowym narzędziem IoBee jest licznik zainstalowany przy wejściu do ula w celu monitorowania ruchu pszczół i wykrywania szkodników oraz wglądu w stan zdrowia kolonii. Dzięki tym narzędziom pszczelarze, badacze i władze publiczne mogą zwiększyć swoją rolę jako aktywnych uczestników programów nadzoru pszczół (IoBee, 2020)¹¹. W projekcie europejskim EPILOBEE badano zależność między wskaźnikami śmiertelności w okresie zimowym, warunkami środowiskowymi i biologicznymi oraz gospodarką pasieczną pszczół miodnych w Walonii (południowej części Belgii). Potencjalne zmienne objaśniające zostały poddane dwumianowej regresji liniowej w celu zidentyfikowania dominujących zmiennych związanych ze śmiertelnością zimową owadów (Esch & De Kok, 2019). W Paryżu badano wpływ miejskich pszczół miodnych na populację dzikich zapylaczy i stopień rywalizacji o zasoby kwiatowe (Ropars *et al.*, 2019). Wielokryterialna analiza dla rejonu Kalabrii (południowe Włochy) wykorzystując narzędzia logiki rozmytej, z uwzględnieniem położenia względem sieci drogowej, dostępu do zasobów wodnych i pokrycia terenu, a także wysokości terenu i temperatury umożliwiła przeprowadzenie eksperckiej klasyfikacji przydatności terenu dla lokalizacji pasieki (Zoccali *et al.*, 2017). W kolejnym projekcie przeanalizowano 20 zmiennych zebranych dla 60 pasiek z obszaru zachodniej części rejonu Parana w Brazylii. Wykonano analizę wieloczynnikową za pomocą oprogramowania GENES, stosując technikę analizy skupień w celu zidentyfikowania podobieństw między zmiennymi. Zaprojektowana aplikacja może wspomagać pszczelarzy w planowaniu lokalizacji nowych pasiek i w ocenie adekwatności wybranych obszarów (Camargo *et al.*, 2014). Także grupa pszczelarzy z terenowego Koła Pszczelarskiego w Międzyzlesiu wraz z Wydziałem Geodezji i Kartografii Urzędu Marszałkowskiego Województwa Dolnośląskiego realizują projekt stworzenia geoportalu o tematyce położenia przestrzennego pasiek stałych oraz wędrownych, a także prowadzonych zabiegach hodowlanych i profilaktycznych w Międzyzlesiu. Ma to na celu stworzenia dynamicznego obrazu zmieniającej się sytuacji związanej z panującym w tym regionie przepszczeniem (zaburzenie bioróżnorodności). Mapa została opublikowana na Geoportalu Dolny Śląsk w module zamkniętym, dostępnym tylko dla zainteresowanych pszczelarzy (Nakonieczna, 2018).

¹¹ <https://io-bee.eu/> (dostęp: 12.2020)

2. OBSZAR OPRACOWANIA I DANE ŹRÓDŁOWE

Dzielnica Mokotów znajduje się po lewej stronie Wisły, w południowo-środkowej części m. st. Warszawy i zajmuje obszar 35,4 km². Sąsiaduje z dzielnicami: Wilanów, Ursynów, Wawer, Włochy, Ochota, Śródmieście, Praga Południe. Dzielnica ta charakteryzuje się zróżnicowaną zabudową oraz zagospodarowaniem terenu zajmującym rozległe tereny górnego i dolnego tarasu Skarpy Wiślanej. Na zabudowę Mokotowa składają się osiedla willowe (Stary Mokotów), wśród których ulokowało się wiele ambasad oraz placówek dyplomatycznych, a także z osiedli budynków wielokondygnacyjnych (Służew, Stegny). Cechuje się znacznym udziałem zieleni miejskiej, które stanowią zespoły roślinności spełniające cele rekreacyjno-wypoczynkowe i estetyczne – są to parki, zieleń wzdłuż ulic i placów oraz ogródki działkowe. Liczne zbiorniki wodne zazwyczaj również są otoczone zielenią, a największy naturalny zbiornik wodny - Jeziorko Czerniakowskie (19.5 ha) jest rezerwatem przyrody¹².

Do analiz przestrzennych pozyskano dane z PZGiK – wybrane warstwy BDOT10k (aktualność: 10.2018r.) oraz NMT i NMPT o rozdzielczości 0,5m, opracowane z danych pomiarowych ALS (aktualność: 04.2018r., standard II: 12 pkt/m²).

Najważniejszymi danymi brakującymi do wykonania analizy o wymaganej szczegółowości tematycznej są dane o gatunkach roślinności na badanym obszarze. W okresie realizacji niniejszego projektu nie była jeszcze dostępna Mapa Koron Drzew UM Warszawa oraz drzewa z Bazy Zieleni, które można obecnie zwizualizować w geoportalu m. st. Warszawy¹³, Dane z baz BDOT10k oraz GDOŚ są do tego celu niepełne i niewystarczające.

3. METODYKA ANALIZ PRZESTRZENNYCH

Do wyznaczenia optymalnej lokalizacji pasieki miejskiej zaproponowano dwuetapową metodykę przeprowadzenia analiz wielokryterialnych. Pierwszy etap polegał na wskazaniu możliwych lokalizacji posadowienia pasieki na terenie miasta z uwzględnieniem 7 kryteriów lokalizacyjnych (Tabela 1). Cztery z nich są uregulowane prawnie poprzez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, ustalając nieprzekraczalne granice ulokowania uli względem niektórych obiektów (kryteria: 1.1, 1.2, 1.3, 1.4; Tabela 2). Kolejne trzy są dodatkowymi założeniami, które ograniczają tereny potencjalnie zanieczyszczone metalami ciężkimi, mogące mieć negatywny wpływ na pszczoły (kryterium 1.5) oraz mające na celu łatwiejsze posadowienie uli (kryterium 1.6), a także w znacznym stopniu pomagają uniknąć konfliktów z sąsiadami (kryterium 1.7). Po zrealizowaniu sekwencji analiz przestrzennych przewidzianych w każdym z kryteriów powstały zestandaryzowane (narzędzia logiki rozmytej) mapy przydatności, które zostały połączone, a następnie posłużyły dalszemu przetwarzaniu w celu wskazania możliwych lokalizacji pasieki. Wagi poszczególnych kryteriów obliczono z zastosowaniem metody AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

¹² Urząd Dzielnicy Mokotów (<http://mokotow.waw.pl/>), dostęp:10.2020r.)

¹³ <http://mapa.um.warszawa.pl/mapaApp1/mapa?service=zielen&L=pl> (dostęp 10.2020r.)

Drugi etap zawiera cztery kryteria (Tabela 2), dzięki którym utworzono ranking i wybrano pięć najlepszych obszarów z wcześniej wskazanych lokalizacji. Ten etap ma na celu ocenę przydatności terenów dla pszczół w zadanej strefie buforowej w 3 wariantach odległości lotu pszczół: 300m, 600m oraz 900m od ewentualnych lokalizacji pasieki. Pierwszy warunek (2.1) zakładał trzy progi wysokościowe głównych przeszkód dla pszczół w mieście – budynków. Kolejne kryterium (2.2) ocenia negatywnie powierzchnię terenu, która może być zanieczyszczona metalami ciężkimi. Korzystniej jest omijać takie obszary, gdyż mogą mieć wpływ na rozwój pszczół. Aby pszczoła była produktywna w gromadzeniu pyłku, musi przebywać jak najkrótszą drogę do użytecznych roślin, dlatego też trzecie kryterium (2.3) odnosi się do powierzchni terenów zieleni znajdujących się w wyznaczonej strefie buforowej. Ostatnie kryterium (2.4) wskazuje na konieczność omijania zagłębień terenu, gdyż sprzyjają one zastoiskom zimnego powietrza, które są źle tolerowane przez pszczoły.

Schemat opisanej metodyki przedstawiono na Rysunku 4 – załącznik nr 1.

4. WIELOKRYTERIALNE ANALIZY PRZESTRZENNE

4.1. Etap 1 – wyznaczenie obszarów lokalizacji pasiek miejskich

Etap ten zrealizowano zgodnie z metodyką przedstawioną na Rysunku 4. Do automatycznego generowania kolejnych scenariuszy, a także możliwości korygowania założonych na wstępie parametrów analizy, wykonano model geoprzetwarzania w aplikacji ArcGIS Desktop Model Builder (Rysunek 5 i 6 – załącznik nr 2). Dla każdego z kryteriów 1.1 – 1.5 wykonano analizy odległości (*Euclidean Distance*) i intensywności (*Point Density*), które następnie znormalizowano do przedziału przydatności $\langle 0,1 \rangle$ z wykorzystaniem narzędzi logiki rozmytej (*Fuzzy Membership*). Kryteria 1.6 oraz 1.7 posłużyły do zdefiniowania pokrycia terenu obszaru możliwej lokalizacji pasieki. Przykładowe wyniki dla kryteriów: 1.1 (Odległość od budynków mieszkalnych, inwentarskich i gospodarczych) oraz 1.5 (Poza strefą obiektów przemysłowych) przedstawiono na Rysunku 1.

Następnie połączono wszystkie kryteria metodą liniowej kombinacji ważonej (WLC), obliczając wagi poszczególnych kryteriów zgodnie z metodą AHP. Najwyższą wagę przyznano kryteriom związanym z zachowaniem odpowiedniej odległości od budynków publicznych i budynków mieszkalnych (0.32), a najniższą – kryterium związanemu z potencjalnymi zanieczyszczeniami (0.07). Rozkład wartości mapy przydatności powstałej w wyniku łączenia kryteriów miękkich w etapie 1 oraz wynikowe propozycje lokalizacji po zastosowaniu wartości progowej (z prawdopodobieństwem powyżej 0.9) przedstawia Rysunek 2. Na tym etapie otrzymano 42 najlepsze tereny pod posadowienie uli uwzględniając postawione w badaniu kryteria. Największa ich liczba występuje we wschodniej części dzielnicy. Na podkładzie ortofotomapy widać, że jest to najmniej zabudowana część obszaru analizy. Oprócz tego algorytm implementujący zaproponowaną metodykę wskazał możliwość uwzględnienia poszczególnych obszarów w południowej części dzielnicy oraz dwa obszary na Polach Mokotowskich. Wszystkie wskazane lokalizacje mają sumaryczną powierzchnię 89,70 ha, co stanowi 3 % powierzchni obszaru analizy.

Najmniejszy zlokalizowany obszar pod pasiekę równa się 0.51 ha, a największy 13.66 ha. Każdy z wytypowanych obszarów jest wystarczająco dobry pod posadowienie uli.

4.2. Etap 2 – ranking obszarów i wskazanie optymalnej lokalizacji pasieki

Druga część przeprowadzonej analizy zakłada wykorzystanie 4 kryteriów pozwalających ocenić sąsiedztwo wskazanych lokalizacji i jego przydatność dla pszczół. Badanie to zostało wykonane w 3 wariantach – dla różnych szerokości stref buforowych: 300 m, 600 m i 900 m. Wartości stref wynikają z przedstawionej we wstępie analizy literaturowej i określonej w niej optymalnej i maksymalnej odległości posadowienia pasieki i źródeł pożywienia. Każda lokalizacja została oceniona pod względem charakterystyki obszaru w otaczającej ją strefie buforowej wg punktacji podanej w Tabeli 2. W każdym z wariantów szerokości stref wykonano uszeregowanie lokalizacji pod względem uzyskanej noty i wybrano 5 pierwszych lokalizacji rankingu. Wyniki przedstawiono na Rysunku 3.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Wynik drugiej części analizy składa się z 3 wariantów, ponieważ badano pięć najlepszych lokalizacji z uwzględnieniem oceny obszaru dla trzech stref buforowych. Z pierwszego wariantu (Rysunek 3a), o najmniejszym zasięgu badania wynika, że aż cztery obszary są zlokalizowane we wschodniej części obszaru badawczego. Tylko jeden (o najwyższej punktacji) został wytypowany na polach mokotowskich (id_sort = 1). Kolejne warianty (Rysunek 3b i 3c) mają bardzo zbliżony wynik końcowy. Pięć najlepszych obszarów pod posadowienie pasiek jest zlokalizowana w południowo-wschodniej części dzielnicy Mokotów. Największy wpływ na taki wynik jest brak zanieczyszczeń metalami ciężkimi, mała liczba budynków, a także znaczna powierzchnia terenów zielonych w strefach buforowych. Wraz ze zwiększaniem promienia strefy buforowej ocenianie obszaru, zmienia się również lokalizacja najlepszych terenów pod posadowienie pasiek. Po zestawieniu wyników wynika, że tylko 2 obszary są wytypowane w tym samym miejscu dla wszystkich trzech analizowanych zakresów stref buforowych (Rysunek 3d). Te dwie lokalizacje zaleca się do rozważenia pod lokalizację planowanej inwestycji.

Ogólny czas pełnego zaimplementowania algorytmu trwał 3 godziny 53 minuty i 19 sekund przy parametrach sprzętowych: procesor: Intel(r) core(tm) i5-7300hq CPU @ 2.50 GHz, pamięć RAM: 8GB, system operacyjny: Windows 10, 64-bitowy. Najdłuższym przetworzeniem okazał się algorytm tworzący raster wysokości budowli. Trwał on aż 3 godziny i 24 minuty. Powodem tak długiego procesu była znaczna wielkość pliku danych (45.7 GB) do przetworzenia oraz wysoka rozdzielczość przestrzenna wynikowego rastra (0.5 m).

Wykonana analiza dowodzi, że zastosowanie GIS może być przydatne w podejmowaniu decyzji w dziedzinie pszczelarstwa. Zarówno zaproponowana metodyka, jak i utworzone modele geoprzetwarzania mogą być rozszerzane o dodatkowe kryteria oceny w obu etapach, np. o analizy dotyczące rozróżnienia występowania gatunków roślin wraz z ich lokalizacją. Warunek ten umożliwiłby oceniać obszary ze względu na miododajność. Jednakże w Polsce nie istnieją ogólnokrajowe bazy danych przestrzennych zawierające informacje o przynależności gatunkowej roślinności. Bazy takie posiadają

obecnie niektóre miasta, min. Warszawa czy Kraków¹⁴. Wykonane przetworzenia pozwalają wskazać optymalne położenie pasieki miejskiej na terenach zurbanizowanych z uwzględnieniem podstaw prawnych i zapewnieniem dogodnych warunków życia dla pszczół.

Details of authors:

PhD. Eng. Anna Fijałkowska
e-mail: anna.fijalkowska@pw.edu.pl

MSc. Eng. Rafał Sadowski
email: sadowskirafal009@gmail.com

Submitted 1.12.2020
Accepted 31.12.2020



¹⁴ Mapa roślinności rzeczywistej Krakowa (https://www.bip.krakow.pl/?sub_dok_id=20495 ; dostęp: 10.2020r.)