

# Klasifikácia ekosystémových služieb podľa tried sídelnej vegetácie vo vybraných sídlach s využitím satelitných dát Sentinel-2A

Kopecká, M., Szatmári, D.: Classification of Ecosystem Services in Selected Cities Based on Sentinel-2A Satellite Data. *Životné prostredie*, 2017, 51, 4, p. 227 – 231.

*The diversity and quality of urban green spaces (UGS) and human well-being are tightly linked. UGS provide a wide range of ecosystem services, especially urban heat mitigation, stormwater infiltration, food security and physical recreation. Analyses and inter-city comparison of UGS patterns and their functions require not only detailed information on their relative quantity but also a closer examination of UGS in terms of quality and land use derived from land cover composition and spatial structure. In this study, we present an approach to ecosystem mapping based on Sentinel-2A satellite imagery provided in the framework of the European Copernicus program. The comparative analyses of the towns of Bratislava, Trnava and Žilina serve as a reference for decision- and policymakers in preserving urban biodiversity and improving life quality as well as providing the basis for further environmental research in these cities.*

**Keywords:** urban green spaces, Sentinel-2A, ecosystem services, Bratislava, Trnava, Žilina

Sídelná vegetácia predstavuje integrálnu časť urbánneho ekosystému. Dôležitú úlohu zohráva najmä pri posudzovaní kvality života v sídlach, a to vzhľadom na jej zásadný vplyv na ekosystémové funkcie, ako napr. regulácia miestnej mikroklimy a kvality ovzdušia, alebo na percepciu prostredia z estetického hľadiska. Údaje získavané pomocou diaľkového prieskumu Zeme (DPZ) poskytujú vhodné podklady na mapovanie a hodnotenie sídelnej vegetácie na rôznych hierarchických úrovniach v rôznych časových horizontoch. Dostupnosť aktuálnych satelitných dát s vysokým rozlíšením v kombinácii s ďalšími geodatabázami umožňujú tvorbu súboru indikátorov pre potreby územného plánovania a decíznej sféry. K najnovším zdrojom údajov o krajinskej pokrývke patria satelitné snímky z družíc Sentinel-2A, ktoré sú súčasťou programu Copernicus ([www.copernicus.eu](http://www.copernicus.eu)). Cieľom tohto príspevku je prezentovať výsledky hodnotenia ekosystémových služieb v troch vybraných mestách – Bratislave, Trnave a Žiline, a to na základe priestorovej analýzy sídelnej vegetácie zo satelitných dát Sentinel-2A.

## Satelitné dáta z družice Sentinel-2A a mapovanie sídelnej vegetácie
















Družica Sentinel-2A sníma povrch Zeme od roku 2015 v trinástich spektrálnych pásmach so šírkou záberu 290 km s rozlíšením 10, 20 a 60 m. Vysoká frekvencia snímkovania (každých 10 dní Sentinel-2A, resp. každých 5 dní v kombinácii so satelitom Sentinel-2B, vypusteným v roku 2017) zabezpečuje kvalitné podkla-

dy na monitoring zmien vegetácie počas vegetačného obdobia. V rámci identifikácie polygónov so sídelnou vegetáciou sme v prvom kroku pomocou riadenej automatickej klasifikácie identifikovali vegetačné plochy, ktoré boli následne klasifikované do 15 tried (tab. 1). Podrobný postup mapovania areálov sídelnej vegetácie uvádza Rosina, Kopecká (2016).

## Ekosystémové služby na území vybraných miest

Urbánne ekosystémové služby bývajú najčastejšie klasifikované do štyroch kategórií: produkčné, regulačné, biotopové, resp. podporné a kultúrne (TEEB, 2011). Mestské lesy a nekultivované parky (trieda 1), ako aj brehová vegetácia (trieda 5) sú dôležitými refúgiami mnohých voľne žijúcich druhov. Kultivované parky, cintoríny a mestské záhrady (triedy 2, 3 a 4) poskytujú obyvateľom najmä estetické a psychologické benefity (Bolund, Hunhammar, 1999; Müller et al., 2013; Kaplan, 1983; Chiesura, 2004; Cornelis, Hermy, 2004), niektoré z nich (napr. botanické záhrady) sú využívané aj na vzdelávacie účely. Zelená infraštruktúra na sídliskách a v areáloch občianskej vybavenosti (triedy 6 a 8) prispieva k regulácii horúčav a zmiernovaniu efektu tzv. mestských tepelných ostrovov (Moreno-Garcia, 1994; Nowak, Crane, 2002; Wang et al., 2015). Záhrady pri rodinných domoch (trieda 7) poskytujú ich obyvateľom rozličné možnosti trávenia voľného času (napr. kúpanie, grilovanie), zároveň v značnej miere umožňujú zásobovanie domácností vlastnými produktmi, najmä zeleninou a ovocím (Andersson et al., 2007; Goddard et

Tab. 1. Prehľad identifikovaných tried sídelnej vegetácie

	Trieda	Popis	Ukážka	Ekosystémová služba
1.	<b>Mestský les/ nekultivovaný park</b>	areály charakterizované viac ako 50 % podielom drevinovej vegetácie bez znakov kultivácie a bez viditeľných ciest a chodníkov		biotopová
2.	<b>Kultivovaný park</b>	areály charakterizované viac ako 50 % podielom drevinovej vegetácie s viditeľnými chodníkmi a trávnikmi		kultúrna
3.	<b>Cintoríny</b>	areály cintorínov s výrazným podielom vegetácie		kultúrna
4.	<b>Mestské záhrady</b>	areály s pravidelnými záhonmi kvetov, trávnikov, krovín, chodníkov a rozptýlených stromov		kultúrna
5.	<b>Brehová vegetácia</b>	vegetácia na brehoch rybníkov, jazier, riek a kanálov		biotopová/ regulačná
6.	<b>Vegetácia na sídliskách</b>	verejná zeleň v rezidenčných zónach s viacbytovými domami a menšími budovami s obchodnou funkciou		regulačná/ kultúrna
7.	<b>Vegetácia pri rodinných domoch</b>	zeleň v rezidenčných zónach s rodinnými domami s prevahou súkromných záhrad		produkčná/ kultúrna
8.	<b>Vegetácia v areáloch občianskej vybavenosti</b>	zeleň v súvislých areáloch občianskej vybavenosti so špecifickou funkciou, napr. nemocnice, univerzity, zoológické záhrady a pod. (s výnimkou športových areálov)		kultúrna
9.	<b>Vegetácia v športových areáloch</b>	zeleň v športových areáloch s prevahou trávnatých plôch, napr. futbalové ihriská, golfové ihriská, dostihové areály a pod.		kultúrna
10.	<b>Záhradkárske osady</b>	areály s malými parcelami jednoročných rastlín a trvalých kultúr, spravidla s rozptýlenými záhradnými domčekmi		produkčná/ kultúrna
11.	<b>Polia a sady</b>	poľnohospodárske areály s viditeľnými znakmi kultivácie s pestovanými jednoročnými plodinami a trvalými kultúrami vrátane lúk a pasienkov		produkčná
12.	<b>Sprievodná vegetácia dopravných komunikácií</b>	okraje ciest s trávnatou alebo drevinovou vegetáciou pozdĺž ciest, diaľnic a železníc		regulačná
13.	<b>Vegetácia v areáloch výroby</b>	vegetácia v areáloch s priemyselnou výrobou, logistických centrách a pod.		regulačná
14.	<b>Vegetácia na letiskách</b>	trávnaté plochy na letiskách pozdĺž vzletových a pristávacích dráh		regulačná
15.	<b>Ruderálna vegetácia</b>	areály s bylinnou vegetáciou a náletmi krovín bez znakov kultivácie, opustená poľnohospodárska pôda, nevyužívané priestranstvá v opustených priemyselných objektoch a pod.		regulačná

al., 2010; van den Berg et al., 2010). Vegetácia v industriálnych zónach a v susedstve dopravných komunikácií (triedy 12, 13 a 14) prispieva k redukcii znečisťujúcich látok v ovzduší a eliminácii hluku (Kiss et al., 2015).

Tri vybrané krajské mestá – Bratislava, Trnava a Žilina – boli hodnotené podľa proporčného zastúpenia jednotlivých tried sídelnej vegetácie (Kopecká et al., 2017).

Výsledky tohto hodnotenia uvádzajú tab. 2 a 3. Hraniče miest boli definované v súlade s rozlohou zástavby evidovanej v rámci celoeurópskeho projektu *Urban Atlas* (<http://land.copernicus.eu/local/urban-atlas>).

Na území mesta **Bratislava** nepriepustné povrchy pokrývajú 51,6 %, sídelná vegetácia tvorí 46,5 % (z čoho je približne 53 % drevín) a podiel vodných plôch je 1,9 %

Tab. 2. Klasifikácia sídelnej vegetácie na území miest Bratislava, Trnava a Žilina

	Trieda	Počet polygónov triedy			Rozloha triedy (ha)			Podiel triedy (%)		
		Bratislava	Trnava	Žilina	Bratislava	Trnava	Žilina	Bratislava	Trnava	Žilina
1.	Mestský les/nekultivovaný park	36	6	13	469,55	29,71	67,06	9,2	4,0	6,1
2.	Kultivovaný park	39	19	3	74,63	43,94	9,82	1,5	6,0	0,9
3.	Cintoríny	10	7	12	58,57	6,51	11,97	1,1	0,9	1,1
4.	Mestské záhrady	7	3	2	12,43	2,54	1,22	0,2	0,3	0,1
5.	Brehová vegetácia	64	5	29	149,54	8,29	59,87	2,9	1,1	5,4
6.	Vegetácia na sídliskách	823	151	112	679,34	73,96	139,27	13,2	10,0	12,6
7.	Vegetácia pri rodinných domoch	589	215	120	1035,07	130,67	466,27	20,2	17,7	42,2
8.	Vegetácia v areáloch občianskej vybavenosti	292	99	90	358,40	48,40	78,54	7,0	6,6	7,1
9.	Vegetácia v športových areáloch	67	16	11	136,92	30,65	15,61	2,7	4,2	1,4
10.	Záhradkárske osady	53	5	15	434,44	6,78	71,19	8,5	0,9	6,4
11.	Polia a sady	58	30	5	446,98	64,25	11,49	8,7	8,7	1,0
12.	Sprievodná vegetácia dopravných komunikácií	305	64	63	285,94	45,57	86,99	5,6	6,2	7,9
13.	Vegetácia v areáloch výroby	442	129	97	454,23	164,48	35,15	8,9	22,3	3,2
14.	Vegetácia na letiskách	27	0	0	287,82	0,00	0,00	5,6	0,0	0,0
15.	Ruderálna vegetácia	97	47	41	243,48	82,06	51,37	4,7	11,1	4,6
	<b>Spolu</b>	<b>2 909</b>	<b>796</b>	<b>613</b>	<b>5 127,34</b>	<b>737,81</b>	<b>1 105,82</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

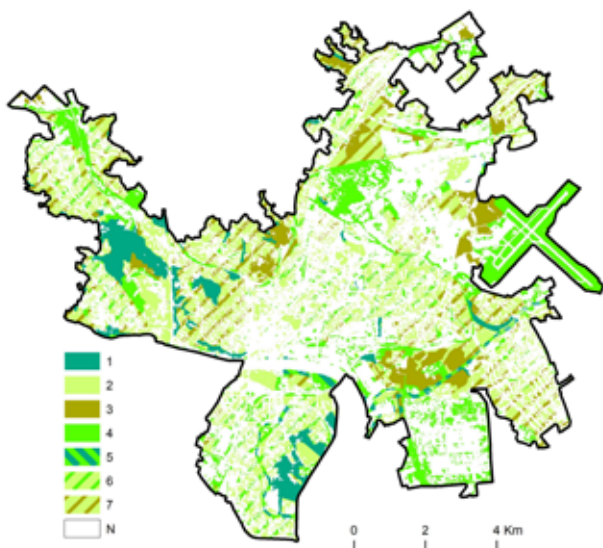
Tab. 3. Podiel drevín a priemerná veľkosť areálu v rámci jednotlivých tried na území miest Bratislava, Trnava a Žilina

	Trieda	Podiel drevín (%)			Priemerná veľkosť areálu (ha)		
		Bratislava	Trnava	Žilina	Bratislava	Trnava	Žilina
1.	Mestský les/nekultivovaný park	92,9	74,6	65,7	13,04	4,95	5,16
2.	Kultivovaný park	84,9	59,0	49,9	1,91	2,31	3,27
3.	Cintoríny	88,4	58,9	19,0	5,86	0,93	1,00
4.	Mestské záhrady	71,5	42,4	0,0	1,78	0,85	0,61
5.	Brehová vegetácia	81,7	22,4	8,7	2,34	1,66	2,06
6.	Vegetácia na sídliskách	67,2	38,0	2,4	0,83	0,49	1,24
7.	Vegetácia pri rodinných domoch	57,5	19,3	3,2	1,76	0,61	3,89
8.	Vegetácia v areáloch občianskej vybavenosti	57,5	34,4	2,9	1,23	0,49	0,87
9.	Vegetácia v športových areáloch	33,4	7,9	2,4	2,04	1,92	1,42
10.	Záhradkárske osady	51,4	2,7	23,3	8,20	1,36	4,75
11.	Polia a sady	13,0	3,4	1,6	7,71	2,14	2,30
12.	Sprievodná vegetácia dopravných komunikácií	66,0	29,2	1,9	0,94	0,71	1,38
13.	Vegetácia v areáloch výroby	36,7	8,0	0,3	1,03	1,28	0,36
14.	Vegetácia na letiskách	0,5	0,0	0,0	10,66	0,00	0,00
15.	Ruderálna vegetácia	43,0	8,7	8,4	2,51	1,75	1,25
	<b>Priemer za mesto</b>	<b>53,2</b>	<b>22,1</b>	<b>9,0</b>	<b>1,76</b>	<b>0,93</b>	<b>1,80</b>

(obr. 1). Rozloha sídelnej vegetácie v prepočte na jedného obyvateľa je 121 m<sup>2</sup>. Najväčší podiel v rámci sídelnej vegetácie (viac ako 20 %) tvorí vegetácia pri rodinných domoch s celkovou rozlohou viac ako 1 000 ha. Druhý najvyšší podiel z hľadiska rozlohy má vegetácia na sídliskách (13,2 %), ktorú reprezentuje najvyšší počet polygónov (823 z celkového počtu 2 909 areálov sídelnej vegetácie). Najvyšší podiel drevinovej vegetácie bol za-

znamenajú okrem mestských lesov v triede cintoríny, najnižší v areáli letiska.

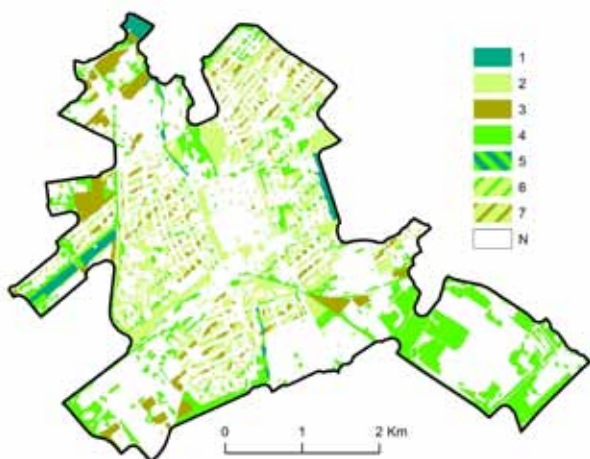
*Trnava* predstavuje kompaktné mesto s relatívne vysokým podielom nepriepustných povrchov (viac ako 59 %) a najnižšou rozlohou sídelnej vegetácie na jedného obyvateľa v porovnaní s hodnotenými mestami – 112 m<sup>2</sup> (obr. 2). Podiel drevín v areáloch vegetácie je podstatne nižší ako v Bratislave – približne 22 %. Z hľadiska roz-



Obr. 1. Ekosystémové služby na území mesta Bratislava.

Zdroj: upravené podľa Kopecká et al. (2017)

Vysvetlivky: 1 – biotopová, 2 – kultúrna, 3 – produkčná, 4 – regulačná, 5 – biotopovo-regulačná, 6 – regulačno-kultúrna, 7 – produkčno-kultúrna, N – areály bez vegetácie (zastavané povrchy a vodné plochy)



Obr. 2. Ekosystémové služby na území mesta Trnava.

Zdroj: upravené podľa Kopecká et al. (2017)

Vysvetlivky: 1 – biotopová, 2 – kultúrna, 3 – produkčná, 4 – regulačná, 5 – biotopovo-regulačná, 6 – regulačno-kultúrna, 7 – produkčno-kultúrna, N – areály bez vegetácie (zastavané povrchy a vodné plochy)

lohy zaberá najväčší podiel vegetácia v areáloch výroby, čo je ovplyvnené najmä rozsiahlym záberom pôdy pri výstavbe automobilového závodu PSA Peugeot-Citroën v juhovýchodnej časti mesta. Druhý najvyšší podiel (17,7 %) tvorí trieda vegetácie pri rodinných domoch s najvyšším počtom polygónov. V porovnaní s Brati-

slavou a Žilinou je táto trieda na území mesta Trnava oveľa viac fragmentovaná – priemerná veľkosť areálu je 0,61 ha, kým v Bratislave 1,76 ha a v Žiline až 3,89 ha.

Sídelná vegetácia na území mesta Žilina pokrýva 1 120 ha, čo predstavuje 50,64 % z jeho celkovej rozlohy (obr. 3). Mesto má najvyššiu rozlohu vegetácie v prepočte na jedného obyvateľa v porovnaní s hodnotenými mestami – 136 m<sup>2</sup>, avšak podiel drevín v rámci areálov vegetácie bol zaznamenaný len na úrovni 9 %. Záhrady pri rodinných domoch predstavujú až 42 % z rozlohy areálov sídelnej vegetácie. Podobne ako v Bratislave, aj v Žiline má druhé najvyššie zastúpenie vegetácia sídlisk s podielom 12,6 %.

V súvislosti so zmiernovaním letných horúčav na území miest zohráva dôležitú úlohu najmä podiel drevinovej vegetácie v rezidenčných zónach. V rámci triedy 6 – vegetácia na sídliskách sme zaznamenali značné rozdiely v podiele drevinovej vegetácie – najvyšší v Bratislave (67,2 %), výrazne nižší v Trnave (38 %) a mimoriadne nízky v Žiline (2,4 %). Podobné rozdiely vykazovala aj trieda 7 – vegetácia pri rodinných domoch (Bratislava 57,5 % drevín, Trnava 19,3 % a Žilina 3,2 %). Aj v prípade sprievodnej vegetácie pozdĺž dopravných komunikácií s predpokladanou regulačnou funkciou existujú veľké rozdiely – kým v Bratislave je v rámci tejto triedy podiel drevín 66 %, v meste Žilina len 1,9 %.

V centrálnych častiach miest s husto zastavaným historickým jadrom ekosystémové služby prakticky absentujú. V blízkosti historických jadier prevažujú malé fragmentované areály s kultúrnymi ekosystémovými službami. Multifunkčné fragmenty zelene sú typickým prvkom urbanneho priestoru v rezidenčných zónach nadväzujúcich na centrá miest. Podobná štruktúra je typická aj pre mestské štvrte, ktoré boli v minulosti samostatnými obcami. Rozľahlejšie areály s kultúrnymi ekosystémovými službami, ako napr. parky sa vyskytujú nepravidelne v rôznych častiach miest. Areály s produkčnou funkciou sú spravidla situované vo väčšej vzdialenosti od centra a vo veľkej miere reprezentujú lokality pre budúcu zástavbu. Menšie areály vegetácie s primárne regulačnými službami sú rozptýlené pozdĺž ciest na území celého mesta, väčšie kompaktné plochy sú spravidla na periférii v industriálnych zónach, príp. na letisku.

\* \* \*

Dynamický nárast urbanizovaných areálov predstavuje jednu z dôležitých výziev pre územné plánovanie a manažment. Informácie o sídelnej vegetácii odvodené zo satelitných dát poskytujú v tomto procese užitočné vstupné informácie, ktoré môžu byť zohľadnené pri definovaní indexov zastavanosti územia, resp. koeficientov zelene. K hlavným výhodám údajov zo satelitu Sentinel-2A patrí okrem relatívne dobrého rozlíšenia aj vysoká frekvencia získavania údajov, takže predstavi-

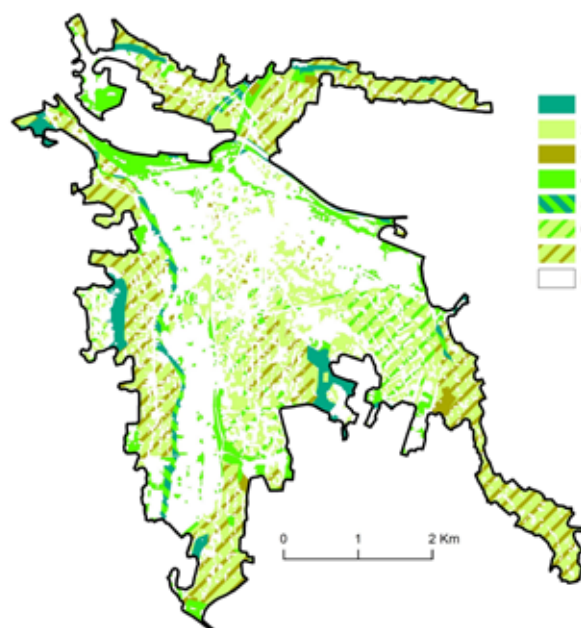


jú vhodné vstupné údaje na analýzu vplyvu vegetácie na elimináciu efektu mestských ostrovov tepla. Územia s rôznymi ekosystémovými službami vyžadujú rozdielne prístupy k starostlivosti a údržbe sídelnej vegetácie. Prezentovaná komparatívna analýza sídelnej vegetácie v Bratislave, Trnave a Žiline dokumentuje relatívne vysokú významnosť súkromnej vegetácie pri rodinných domoch z hľadiska pomerného zastúpenia drevín na území mesta, čo môže podnietiť diskusie o definovaní motivačných nástrojov na zvýšenie osobnej zainteresovanosti obyvateľov na zlepšení celkovej kvality života miestnych obyvateľov.

*Príspevok je jedným z výstupov projektu APVV-15-0136 Vplyv nepriepustného pokrytia pôdy na klímu miest v kontexte klimatickej zmeny a projektu podporeného Vedeckou a grantovou agentúrou MŠVVaŠ a SAV č. 2/0096/16 Zmeny vo využívaní poľnohospodárskej krajiny – hodnotenie dynamiky a príčin pomocou údajov o krajinskej pokrývke a vybraných environmentálnych vlastností, riešených na Geografickom ústave SAV.*

## Literatúra

- Andersson, E., Barthel, S., Ahrné, K.: Measuring Social-Ecological Dynamics behind the Generation of Ecosystem Services. *Ecological Applications*, 2007, 17, 5, p. 1267 – 1278.
- Bolund, P., Hunhammar, S.: Ecosystem Services in Urban Areas. *Ecological Economics*, 1999, 29, p. 293 – 301.
- Cornelis, J., Hermy, M.: Biodiversity Relationships in Urban and Suburban Parks in Flanders. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 69, 4, p. 385 – 401.
- Goddard, M. A., Dougill, A. J., Benton, T. G.: Scaling up from Gardens: Biodiversity Conservation in Urban Environments. *Trends in Ecology & Evolution*, 2010, 25, 2, p. 90 – 98.
- Chiesura, A.: The Role of Urban Parks for the Sustainable City. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 68, 1, p. 129 – 138.
- Kaplan, R.: The Analysis of Perception via Preference: A Strategy for Studying how the Environment is Experienced. *Landscape Urban Planning*, 1983, 12, p. 161 – 176.
- Kiss, M., Takács, A., Pogacsas, R., Gulyas, A.: The Role of Ecosystem Services in Climate and Air Quality in Urban Areas: Evaluating Carbon Sequestration and Air Pollution Removal by Street and Park Trees in Szeged (Hungary). *Moravian Geographical Reports*, 2015, 23, p. 36 – 46.
- Kopecká, M., Szatmári, D., Rosina, K.: Analysis of Urban Green Spaces Based on Sentinel-2A: Case Studies from Slovakia. *Land*, 2017, 6, 2, 17 p. (<http://www.mdpi.com/2073-445X/6/2/15>)
- Moreno-Garcia, M. C.: Intensity and Form of the Urban Heat Island in Barcelona. *International Journal of Climatology*, 1994, 14, 6, p. 705 – 710.
- Müller, N., Ignatieva, M., Nilon, Ch. H., Werner, P., Zipperer, W. C.: Patterns and Trends in Urban Biodiversity and Landscape Design. In: Elmquist, T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotullio, P. J., McDonald, R. I., Parnell, S., Schewenius, M., Sendstad, M., Seto, K. C., Wilkinson, C. (eds.): *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities: A Global Assessment*. Dordrecht, Heidelberg, New York, London: Springer, 2013, p. 123 – 174.
- Nowak, D. J., Crane, D. E.: Carbon Storage and Sequestration by Urban Trees in the USA. *Environmental Pollution*, 2002, 116, 3, p. 381 – 389.
- Rosina, K., Kopecká, M.: Mapping of Urban Green Spaces Using Sentinel-2A Data: Methodical Aspects. In: Bandrova, T., Konec-



**Obr. 3. Ekosystémové služby na území mesta Žilina. Zdroj: upravené podľa Kopecká et al. (2017)**

Vysvetlivky: 1 – biotopová, 2 – kultúrna, 3 – produkčná, 4 – regulačná, 5 – biotopovo-regulačná, 6 – regulačno-kultúrna, 7 – produkčno-kultúrna, N – areály bez vegetácie (zastavané povrchy a vodné plochy)

- ný, M., eds.: *Proceedings of the 6th International Conference on Cartography and GIS*. Albena, Bulgaria, 13 – 17 June 2016. (<https://cartography-gis.com/docs/bca/iccgis2016/ICCGIS2016-57.pdf>)
- TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity): *TEEB Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management*. Geneva, Switzerland: TEEB, 2011, 43 p. ([www.teebweb.org](http://www.teebweb.org))
- van den Berg, A. E., van Winsum-Westra, M., de Vries, S., van Dillen, S. M. E.: Allotment Gardening and Health: A Comparative Survey among Allotment Gardeners and their Neighbors without an Allotment. *Environmental Health*, 2010, 9, 74, p. 1 – 12. DOI: /10.1186/1476-069X-9-74
- Wang, Y., Bakker, F., de Groot, R., Wortche, H., Leemans, R.: Effects of Urban Trees on Local Outdoor Microclimate: Synthesizing Field Measurements by Numerical Modelling. *Urban Ecosystems*, 2015, 18, p. 1305 – 1331.

**RNDr. Monika Kopecká, PhD.,** [monika.kopecka@savba.sk](mailto:monika.kopecka@savba.sk)  
**Ing. Daniel Szatmári, PhD.,** [geogszat@savba.sk](mailto:geogszat@savba.sk)  
 Geografický ústav SAV, Štefánikova 49, 814 73 Bratislava