

Vymezení urbánního území měst a obcí ČR pomocí řízené klasifikace multispektrálních družicových dat

Ing. Jana Seidlová, Mgr. Martin Hofrajtr,
Mgr. Jiří Kvapil, RNDr. Pavel Doubrava,
CENIA, Česká informační agentura
životního prostředí

Abstrakt

Metodika vymezuje urbánní území v rámci administrativních jednotek sídel České republiky (ČR) tak, aby bylo možné identifikovat dílčí fenomény odehrávající se v městském prostředí a potřebné analýzy pravidelně opakovat, a také aby vymezení samotné bylo dostatečné pro potřeby dalšího plánování. Družicové snímky řešeného území se pomocí řízené klasifikace největší pravděpodobnosti (Maximum Likelihood) klasifikují na tři kategorie povrchu: zástavbu, zeleň a vodstvo. Nad třídou zástavby se vytvoří čtvercová mřížka (grid) 100 m x 100 m. Čtverce gridu s chybějící kategorií zástavby se odstraní z výsledné vrstvy, která se následně sjednotí. Výsledná vrstva tak vymezí urbánní území měst a obcí ČR. Metodiku lze aplikovat v jednotlivých časových horizontech s možností mezinárodního srovnání i pro další analýzy.

Demarcation of Urban Areas of Towns and Municipalities in Czechia Using Supervised Classification of Multispectral Satellite Data

Abstract

The methodology demarcates urban areas within the administrative units of Czechia settlements so that it is possible to identify partial phenomena taking place in the urban environment and to repeat the necessary analysis on a regular basis, and to ensure that the delimitation is sufficient for further planning. Satellite imagery of the selected area is classified into three classes of surface by means of the Supervised Classification (Maximum Likelihood): built-up area, greenery and water. A grid of 100 m x 100 m is created above the built-up area class. The grid squares with the missing class – built-up area – are removed from the resulting layer, which is then unified. The resulting layer delimits the urban areas of towns and municipalities in Czechia. The methodology can be applied in individual time horizons with the possibility of international comparison for further analysis.

Keywords: built-up area, classification, coverage classes, maximum likelihood, remote sensing

1. Úvod

Ve městech a obcích se v současnosti koncentrují téměř dvě třetiny veškerého obyvatelstva České republiky (ČR) [1]. Jsou to místa centralizující služby, a také oblasti, kde dochází k transformaci a výměně energetických toků a materiálů. Města a obce jsou proto velmi zranitelná vůči projevům změny klimatu. Pro potřeby adaptace a také mitigace vůči těmto projevům je třeba vymezit zastavěné urbánní území (městské prostředí), kde se většina těchto aktivit odehrává.

Pro hodnocení zranitelnosti měst a obcí ČR vůči projevům změny klimatu byla definována hranice zastavěného území. Hranice je bez větších okrajových částí jako by tomu bylo např. při použití administrativního členění. Jako základní pojem, který v případě této metodiky definuje hranici zastavěného území byl zvolen termín „urbánní území“.

Vlastní metodika je dílem autorského kolektivu CENIA, české informační agentury životního prostředí (v Laboratoři dálkového průzkumu). Vznikla prvotně pro potřeby hodnocení systému zranitelnosti ČR vůči projevům změny klimatu v městském prostředí, a to z důvodu neexistence aktuálně dostupné, použitelné a v čase opakovatelné metodiky [2]. Podkladem pro zpracování této metodiky byla jak rešerše odborných článků, tak reálné vymezování urbánního prostředí dle vlastních přístupů.

1.1 Cíle metodiky

Hlavním cílem metodiky je vymezení urbánních území, v rámci dané administrativní sídelní jednotky tak, aby bylo

možné identifikovat dílčí fenomény odehrávající se v městském prostředí. Potřebné analýzy se musejí dít pravidelně opakovat a také vymezení samotné musí být dostatečné pro potřeby dalšího plánování (dostatečná velikost měřítka).

Díličními cíli metodiky jsou:

- vymezit vrstvu urbánního území v rámci administrativního členění sídel ČR na základě vydefinovaných tříd povrchu (obsahujících zástavbu, zeleň a vodstvo),
- vymezit urbánní území ve všech městech a obcích ČR v časovém horizontu několika let,
- využít metodiku při mezinárodním srovnávání,
- využít metodiku pro další analýzy městského prostředí v urbánním území.

2. Metoda klasifikace obrazových dat

Klasifikace obrazových dat představuje širokou škálu digitálních metod založených na automatizovaném počítačovém vyhodnocení. Klasifikace družicových snímků využívá jejich spektrální pásma, lze pomocí nich rozlišovat jednotlivé třídy krajinného pokryvu a na rozdíl od vizuální interpretace vyhodnocuje jednotlivé pixely.

Existují dvě metody klasifikace optických snímků – řízená a neřízená. Nejvhodnější metodou je řízená klasifikace, protože předpokládá, že statistiky pro každou třídu v každém pásmu jsou normálně distribuovány a vypočítá pravděpodobnost, že daný pixel patří do určité třídy (každý pixel je přiřazen třídě, která má nejvyšší pravděpodobnost

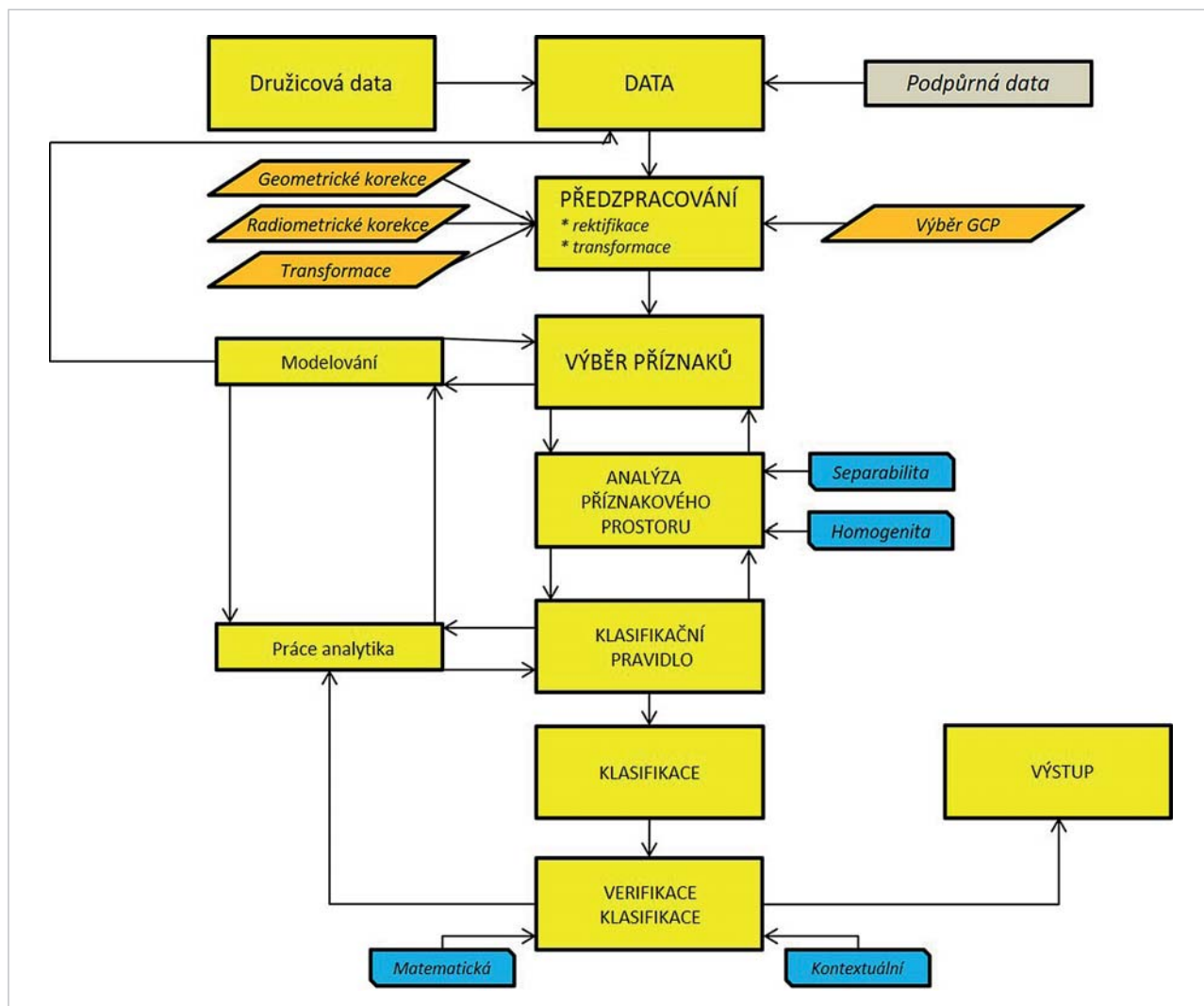
(tj. maximální pravděpodobnost)). Neřízená klasifikace je nepřesná a výsledky nemusí být interpretovatelné. Dalším dělením může být to, zda je objektem, který je přiřazen do tříd, samostatný pixel (per-pixel neboli pixelové klasifikace), nebo skupina pixelů s podobnými vlastnostmi (objektově-orientovaná klasifikace). Klasifikační postupy lze rozdělit do několika kategorií podle různých kritérií, ale i přes odlišnou obtížnost provedení nemusejí být příliš citlivé na různorodý stupeň rozptylu ve spektrálních chování dat, a proto nejsou pro toto řešení vhodné [3].

2.1 Řízená klasifikace

Řízená klasifikace (obr. 1) se skládá ze dvou základních fází – trénovací (fáze učení zahrnující výpočet statistických charakteristik jednotlivých tříd) a klasifikační fáze [4]. Klasifikace probíhá tak, že algoritmus rozpoznává předem definované třídy na základě tzv. trénovacích množin, které jsou definovány zpracovatelem dle vizuální interpretace [5]. Algoritmus trénovacích množin potřebuje informaci, která skupina představuje např. jehličnatý les, listnatý les, vodu, zástavbu. Na základě těchto informací se pokouší zařadit všechny části snímku do stanovených tříd [6]. Trénovací plochy pro jednu třídu by nikdy neměly zahrnovat

několik spektrálních tříd – například pro zemědělskou půdu je nutné definovat několik podtříd, které budou rozlišovat různé zemědělské plodiny na polích, různou vlhkost, typ půdy atd. [7]. Dále se v reliéfu ovlivněných scénách musí brát ohled na osluněné a zastíněné svahy, pro stejnou třídu pak definovat jednu kategorii na slunci a druhou ve stínu, a v poklasifikačních úpravách je teprve spojit do jedné informační třídy [8]. Řízená klasifikace také často vyžaduje i terénní mapování. Klasifikační stadium pak zařadí či nezařadí jednotlivé pixely do předem vybraných tříd a vytvoří tak zcela nový digitální obraz s novými funkčními hodnotami [9]. K rozřazování pixelů do jednotlivých tříd je využíváno různých klasifikátorů, nejčastěji na základě statistiky, ale nověji i na bázi umělé inteligence a strojového učení [10].

Pro vytvoření popisované metodiky byl použit řízený klasifikátor největší pravděpodobnosti (Maximum Likelihood). Tento klasifikátor pracuje na principu výpočtu pravděpodobnosti, s jakou klasifikovaný pixel spadá do určité třídy [11]. Je založen na předpokladu, že rozdělení pixelů tvořících jednu třídu tréninkových dat má Gaussovo, tedy normální rozdělení. Lze tak určit statistickou pravděpodobnost dané hodnoty pixelu jako člena vybrané třídy. Pixel je nakonec zařazen do třídy s největší určenou pravděpodobností [12].



Obr. 1 Schéma řízené klasifikace od získávání dat přes klasifikaci až k verifikaci

Po analýze a testování příznakových prostorů bylo možno přistoupit k vlastní řízené klasifikaci. Dobrý výsledek dalo Bayesovo pravidlo největší pravděpodobnosti. Proces klasifikace proběhl podle následujícího předpisu [13]:

$$D = \ln(a_c) - \left(\frac{1}{2} \ln(|\text{Cov}_c|)\right) - \left(\frac{1}{2} (X - M_c)^T (\text{Cov}_c^{-1}) (X - M_c)\right),$$

kde

D = váhová vzdálenost (pravděpodobnost),
 c = daná třída (příznak),
 X = rozměrový vektor kandidátského pixelu,
 M_c = střední vektor vzorku třídy (příznaku) c ,
 a_c = procentuální pravděpodobnost, kdy kandidátní pixel se stává součástí třídy c ,
 Cov_c = kovarianční matice pixelů ve vzorku třídy c ,
 $|\text{Cov}_c|$ = determinant Cov_c ,
 Cov_c^{-1} = inverzní matice Cov_c ,
 \ln = přirozený logaritmus,
 T = transpoziční funkce.

Pro zvýšení přesnosti Bayesova klasifikátoru bylo použito váhových faktorů pro jednotlivé třídy. Ty byly počítány jako váhové odchylky podle následujícího předpisu [13]:

$$W_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^{c-1} \left(\sum_{j=i+1}^c f_i f_j U_{ij} \right)}{\frac{1}{2} \left[\left(\sum_{i=1}^c f_i \right)^2 - \sum_{i=1}^c f_i^2 \right]},$$

kde

W_{ij} = vážená odchylka mezi i a j ,
 i a j jsou dva příznaky (třídy), které se porovnávají,
 U_{ij} = nevážená odchylka mezi i a j ,
 c = počet příznaků (tříd),
 f_i = váhový faktor pro příznak i .

Klasifikátor největší pravděpodobnosti je velmi citlivý na případné nedostatky v trénovacích datech, ale pokud jsou trénovací data kvalitní, tedy dobře vybraná, dává skvělé výsledky [6].

Přesnost klasifikace určuje, jak dobře se algoritmu podařilo zařadit pixely (při pixelové klasifikaci) či objekty (při objektové klasifikaci) do stanovených tříd. Při dobrém výsledku jde o přesnost 85–95 % [14]. Souvislost s výsledkem klasifikace má třeba i nejmenší mapovaná jednotka (minimum mapping unit – MMU). MMU je nejmenší velikost obrazových dat (scény), která odpovídá požadavkům na tematické rozlišení, bezproblémovou digitalizaci a ekonomické náklady. Určení MMU definuje množství detailů zachycených v procesu interpretace obrazu [15].

3.

Metodika vymezení urbánního území na základě řízené klasifikace

Základem metodiky pro vymezení urbánního území jsou volně dostupné multispektrální družicové snímky z družice Sentinel-2 (případně pro potřeby vyhodnocení dlouhé časové řady je možné použít i družicové snímky družice Landsat). Pro klasifikaci byla použita všechna spektrální pásma multispektrálních obrazových dat družice Sentinel-2 s rozlišením 10 m nebo i družice Landsat s rozliše-

ním 30 m [16]. Požadavkem pro toto vymezení jsou snímky bez oblačnosti a sněhu nad zájmovým územím.

Před použitím klasifikace prošly družicové snímky předzpracovatelským procesem pro atmosférické a radiometrické korekce. Tři nejčastější radiometrické korekce jsou záření, odrazivost horní části atmosféry a odrazivost povrchu. Obrazová data byla kalibrována na odrazivost povrchu. Kalibrace snímků na odrazivost povrchu také zajišťuje konzistenci při porovnávání indexů s časem a od různých senzorů. Korekce atmosférických vlivů eliminuje účinky rozptylu atmosféry a absorpci plynů, které způsobují chyby u vytváření dat při odrazu povrchu.

Na korigovaných družicových snímcích pak byla maskována oblačnost. Byl vytvořen trénovací soubor dle vizuální interpretace pro tři třídy povrchu: zástavbu (vše uměle vytvořené), zeleň (nízká a vysoká vegetace) a vodstvo (voda) [17]. Poté se spustila vybraná řízená klasifikace největší pravděpodobnosti (Maximum Likelihood) s přesností 95 %. Území se klasifikovalo na tři kategorie povrchu, tj. na zástavbu, zeleň a vodstvo (obr. 2).

Od klasifikovaného území se poté odmaskovalo zbylé území podle administrativní hranice měst a obcí a byla ponechána pouze třída zástavby.

Vrstva zástavby se převedla z rastru na polygon a výsledný obraz byl transformován do souřadnicového systému S-JTSK. Na vrstvě zástavby byl vytvořen grid 100 m x 100 m. Obě tyto vrstvy byly propojeny a byly eliminovány prázdné čtverce gridu. V nově vzniklé vrstvě byly odstraněny drobné polygony vzniklé eliminací ostatních tříd a neklasifikovaných pixelů. Limitní hodnota těchto polygonů byla 40 000 m². Vznikla tím výsledná vrstva vymezení urbánního území měst a obcí ČR (obr. 3).

4. Diskuse

Problematika vymezení hranice zastavěného území měst a obcí už byla řešena na národním i mezinárodním stupni. Odlišné přístupy v sobě tak odrážejí vždy jiný účel zpracování a výstupů.

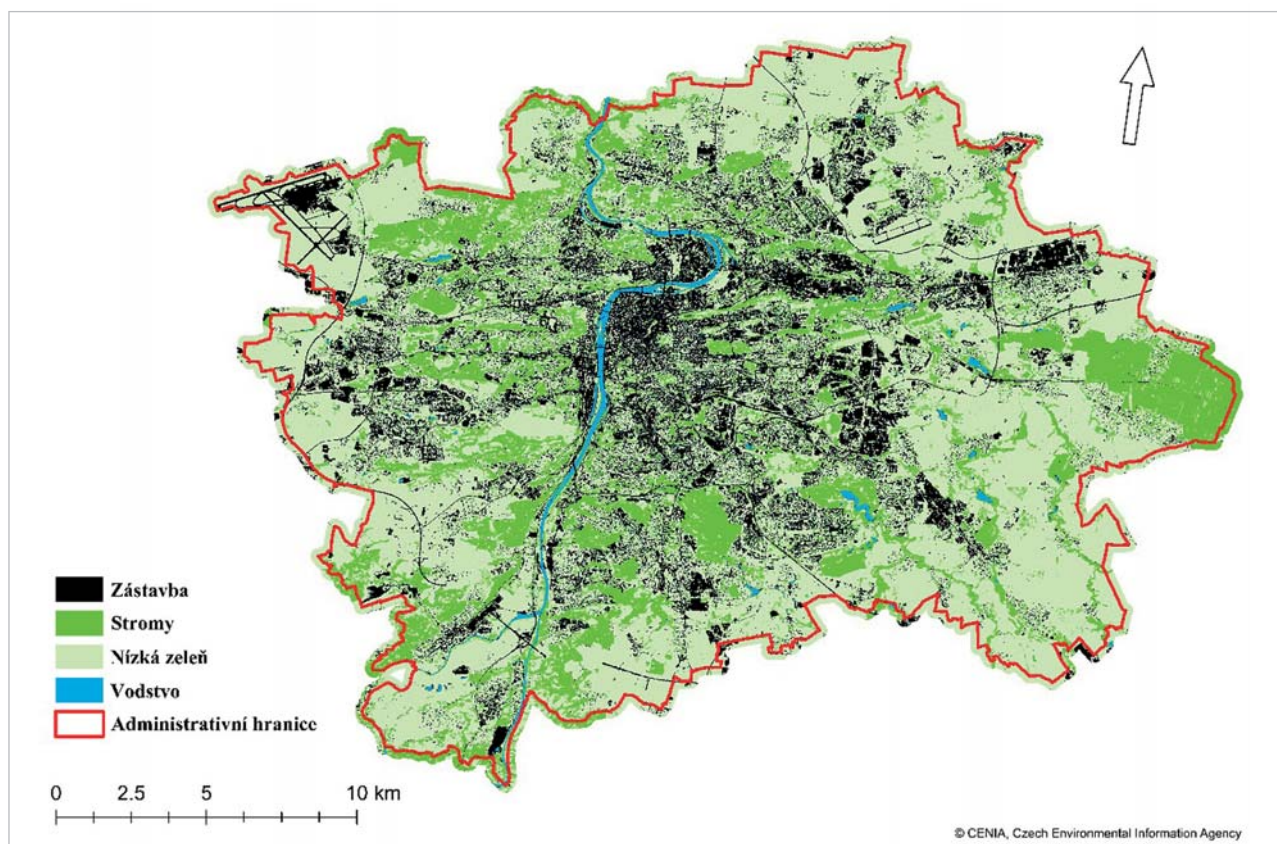
Mezi nejpoužívanější vymezení zastavěných území patří Administrativní členění ČR. Administrativní členění má výhodu v dostupnosti dat. Nevýhodou je, že zastavěné území je zahrnuto včetně větších okrajových částí, a proto není vhodné pro stanovené cíle naší studie.

Územně analytické podklady používají odlišnou metodu při vytváření podkladů (odlišní pořizovatelé). Data nejsou volně dostupná a vedený typ krajinného pokryvu neodpovídá aktuálnímu stavu, ale strategickému a územnímu plánování daného sídelního celku [18].

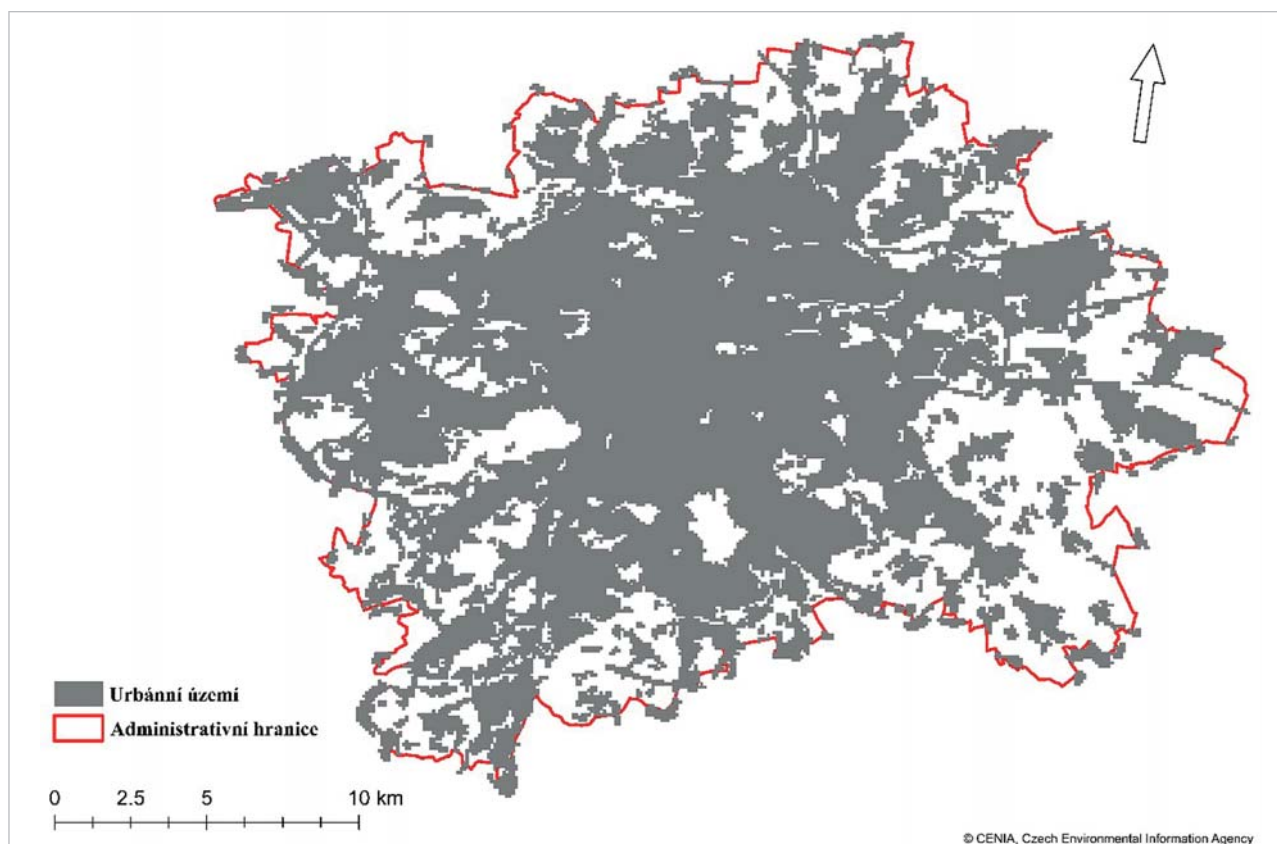
Využití katastru nemovitostí není možné, protože se prozatím neshoduje s reálným stavem. Nicméně po zlepšení by se dal využít pro svou podrobnost [19].

Adresní místa nezohledňují např. průmyslové areály a ostatní velké zastavěné plochy, protože často mají pouze jednu adresu a míra zástavby tak nekoreluje s hustotou adresních bodů [20].

Projekt CORINE Land Cover má volně dostupná data pro téměř celé území Evropy. Vznikl vizuální interpretací pro lokální potřeby, ale metodika zpracování se bohužel v průběhu času mírně pozměnila. Pro vymezení urbánního území má příliš generalizované třídy a třídy se liší v závislosti na zpracovateli (např. lesy/městské plochy zeleně). Další problém je v nejmenší mapovací jednotce 25 hektarů pro prostorové prvky a minimální šířce 100 m pro liniové



Obr. 2 Řízená klasifikace, ukázka na hlavním městě Praze



Obr. 3 Vymezení urbánního území, ukázka na hlavním městě Praze

prvky (tento fakt výrazně ovlivňuje absenci liniových prvků, kterými jsou např. silnice a řeky) [21].

Projekt Urban Atlas má dostupnost pouze pro některé roky, nejisté výhledy do budoucna a nepokrývá celé území ČR. Obsahuje geometrické a tematické generalizace v průběhu tvorby. Stejně je to tak i s Core City Layer, který vznikl jako ořez databáze Urban Atlas [22].

High Resolution Layers poskytuje informace o specifických charakteristikách půdního krytu, pokrývá celou ČR, ale opět je dostupný pouze pro některé roky [23].

Nejvhodnějším řešením pro vymezení hranice urbánního území měst a obcí ČR zůstává řízená klasifikace multispektrálních družicových snímků. Je podrobná, lze tuto metodiku opakovat a použít pro celou ČR. Má využití pro porovnání území i časových řad (v rámci dostupnosti snímků).

5. Uplatnění metodiky

Metodika vymezení urbánního území je součástí indikátorů, které jsou definovány pro rezort Ministerstva životního prostředí. CENIA, česká informační agentura životního prostředí, pravidelně zpracovává a hodnotí různé indikátorové sady. Zejména se jedná o sadu indikátorů životního prostředí a sadu indikátorů zranitelnosti, dále se pak podílí na zpracování a naplňování indikátorové sady udržitelného rozvoje a indikátorů regionálního rozvoje. V rámci všech výše uvedených sad je plánováno využívat a uplatňovat tuto metodiku. Využitím metodiky je možné zamezit nesrovnatelné interpretaci obdobných fenoménů. Metodika poslouží také k dalším rozvojovým aktivitám CENIA. V roce 2020 tak bude tato metodika, kromě naplňování jednotlivých výzkumných a běžných úkolů, sloužit jako výchozí bod pro mapování dalších indikátorů zabývajících se městským prostředím. Metodika je uplatnitelná i v gesci ostatních resortů a v rámci územního a regionálního plánování.

6. Závěr

Metodika je uplatňována na základě rešerše literatury a následné verifikace prostorových dat řešitelským kolektivem. Takto navržená metodika byla ověřována na městech a obcích ČR s přesností 95 %. Metodika je využitelná pro potřeby resortu životního prostředí v různých časových horizontech i při mezinárodním srovnávání.

Na základě této metodiky je možné v budoucnu hodnotit ty fenomény, které se v urbánním území vyskytují, např. se jedná o vývoj a identifikaci sídelní zeleně a její potenciál a rizika, rozvoj zástavby, identifikaci ploch náchylných k přehřívání atd.

LITERATURA:

- [1] ČSÚ: Obyvatelstvo [online, cit. 4. 9. 2019]. Dostupné na: https://www.czso.cz/csu/czso/obyvatelstvo_lide.
- [2] KOCHOVÁ, T.-CÉZA, V.-ČERMÁKOVÁ, E.-MERTL, J.-POKORNÝ, J.-PŘECH, J.-ROLLEROVÁ, M.-VLČKOVÁ, V.: Hodnocení zranitelnosti České republiky ve vztahu ke změně klimatu k roku 2017. Praha, CENIA, 2019, 250 s.
- [3] LILLESAND, T. M.-KIEFFER, R. W.-CHIPMAN, J. W.: Remote sensing and image interpretation. Hoboken, John Wiley & Sons, 2015, 736 p.
- [4] KOLÁŘ, J.: Dálkový průzkum Země. Praha, Vydavatelství technické literatury, 1990, 176 s.
- [5] RAVINDRANATH, N. H.-OSTWALD, M.: Carbon Inventory Methods. Dordrecht, Springer, 2008, 306 p.
- [6] DOBROVOLNÝ, P.: Dálkový průzkum Země, Digitální zpracování obrazu. Brno, MUNI, 1998, 210 s.
- [7] HALOUNOVÁ, L.-PAVELKA, K.: Dálkový průzkum Země. Praha, ČVUT, 2008, 182 s.
- [8] PHAM, B. T.-PRAKASH, I.-TIEN BUI, D.: Spatial prediction of landslides using a hybrid machine learning approach based on Random Subspace and Classification and Regression Trees. Elsevier, Geomorphology, 2018, 303 p.
- [9] KOLÁŘ, J.-HALOUNOVÁ, L.-PAVELKA, K.: Dálkový průzkum Země 10. Praha, ČVUT, 1997, 164 s.
- [10] CAMPBELL, J.-WYNNE, R.: Introduction to Remote Sensing. New York, The Guilford Press, 2011, 667 p.
- [11] HARRIS GEOSPATIAL SOLUTIONS: Maximum Likelihood [online, cit. 4. 9. 2019]. Dostupné na: <http://www.harrisgeospatial.com/>.
- [12] DOUBRAVA, P.-KVAPIL, J.-PONOCNÁ, T.-REJENTOVÁ, L.-ŘEŘIČKA, J.-STEIN, Z.: Možnosti využití metod dálkového průzkumu a prostorových analýz pro řešení krizových situací. Praha, CENIA, 2015, 123 s.
- [13] DOUBRAVA, P.-JIRÁSKOVÁ, L.-PETRUCHOVÁ, J.-ROUŠAROVÁ, Š.-ŘEŘIČKA, J.-SUCHÁNEK, Z.: Metody dálkového průzkumu v projektu Národní inventarizace kontaminovaných míst. Praha, CENIA, 2011, 96 s.
- [14] GISAT: Dálkový průzkum Země [online, cit. 4. 9. 2019]. Dostupné na: <http://www.gisat.cz/content/cz/dpz>.
- [15] ST-LOUIS, V.-PIDGEON, A. M.-KUEMMERLE, T.-SONNENSCHNEIN, R.-RADELOFF, V. C.-CLAYTON, M. K.-LOCKE, B. A.-BASH, D.-HOSTERT, P.: Modelling avian biodiversity using raw, unclassified satellite imagery. London, The Royal Society, 2014, 369 p.
- [16] SEIDLOVÁ, J.-HOFRAJTR, M.-STEIN, Z.-REJENTOVÁ, L.-KVAPIL, J.-DOUBRAVA, P.-KOCHOVÁ, T.: Technický list – Vymezení urbánního území pro potřeby identifikace a vyhodnocení indikátorů zranitelnosti. Praha, CENIA, 2019, 24 s.
- [17] SEIDLOVÁ, J.-HOFRAJTR, M.-STEIN, Z.-REJENTOVÁ, L.-KVAPIL, J.-KOCHOVÁ, T.: Metodika vymezení urbánního území na základě klasifikace dat dálkového průzkumu Země, Praha, CENIA, 2019, 11 s.
- [18] PONOCNÁ, T.-MERTL, J.-PERNICOVÁ, H.-MYŠKOVÁ, T.-POKORNÝ, J.-STEIN, Z.-REJENTOVÁ, L.-ROLLEROVÁ, M.-VLČKOVÁ, V.-RAJCHLOVÁ, Z.: Hodnocení zranitelnosti České republiky ve vztahu ke změně klimatu k roku 2014. Praha, CENIA, 2018, 215 s.
- [19] ČÚZK: Katastr nemovitostí [online, cit. 7. 2. 2020]. Dostupné na: <https://www.cuzk.cz/Katastr-nemovitosti.aspx>.
- [20] ČSÚ: Adresní místa [online, cit. 7. 2. 2020]. Dostupné na: <https://www.czso.cz/csu/rso/adresni-mista-bod>.
- [21] EEA: CORINE Land Cover technical guidelines. Copenhagen, EEA, 2007, 70 p.
- [22] EEA: Mapping Guide for A European Urban Atlas 2012. Copenhagen, EEA, 2016, 39 p.
- [23] COPERNICUS: High Resolution Layers [online, cit. 7. 2. 2020]. Dostupné na: <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers>.

Do redakce došlo: 31. 10. 2019

Lektorovala:
RNDr. Lenka Tlapáková, Ph.D.,
Výzkumný ústav meliorací
a ochrany půdy, v. v. i.