

# UPORABA NENADZOROVANE KLASIFIKACIJE ZA DOLOČANJE TIPOLOGIJE PRETEŽNE RABE PROSTORA

## USE OF UNSUPERVISED CLASSIFICATION FOR THE DETERMINATION OF PREVAILING LAND USE TOPOLOGY

Miha Konjar, Alma Zavodnik Lamovšek, Dejan Grigillo

UDK: 025.4:711.4(497.4)  
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.01  
Prispelo: 26. 7. 2017  
Sprejeto: 7.11. 2017

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2017.04.541-581  
SCIENTIFIC ARTICLE  
Received: 26. 7. 2017  
Accepted: 7. 11. 2017

### IZVLEČEK

V prispevku so prikazane metode za klasifikacijo prostorskih enot, s katerimi je prostor mogoče členiti na homogena območja, ki združujejo lastnosti prostora z vplivom na stanje in spremembe rabe prostora. Pri tem je bilo ugotovljeno, da obstoječe tovrstne metode največkrat ne vključujejo dovolj celovitih kriterijev za združevanje prostorskih enot v homogene skupine. Rezultati analize so pokazali, da na njihovi podlagi ne moremo v celoti prikazati kompleksnosti in raznolikosti prostora, ki sta pomembna pri analizi in interpretaciji sprememb njegove rabe. V prispevku zato predstavljamo nov pristop h klasifikaciji prostora na homogene skupine prostorskih enot, ki temelji na nenadzorovani klasifikaciji digitalnih podob. Predlagan je izbor ustreznega algoritma za razvrščanje prostorskih enot v skupine in uporaba večjega števila kazalnikov, ki rabo prostora obravnavajo celoviteje in s tem omogočajo boljše rezultate klasifikacije. Uporaba nenadzorovane klasifikacije za določanje tipologije pretežne rabe prostora je bila preizkušena na primeru Slovenije. Na ravni občin je bilo določenih sedem tipov pretežne rabe prostora.

### ABSTRACT

This paper presents classification methods that enable the division of space into homogeneous areas that combine the spatial characteristics with influence on land use and changes thereof. It was determined that the existing methods do not always include the criteria needed for the aggregation of spatial units into homogeneous groups. The results of the analysis showed that the identified homogenous groups do not fully capture the spatial complexity and diversity important for land use change analyses. For this reason, a new approach to the classification of spatial units based on the unsupervised classification of digital images was proposed. The methodology includes the selection of appropriate indicators, that consider land use more comprehensively and thus enable better classification results. The use of the unsupervised classification method for prevailing land use typology has been tested in Slovenia. At the municipal level, seven types of prevailing land use were identified.

### KLJUČNE BESEDE

nenadzorovana klasifikacija, prostorska enota, pretežna raba prostora, tipologija, Slovenija

### KEY WORDS

unsupervised classification, spatial unit, prevailing land use, typology, Slovenia

## 1 INTRODUCTION

Back in 1973 Anderberg wrote down one of the basic principles of processing and classifying data, which is still relevant today: “Only careful and intelligent use of clustering methods can reveal an unknown structure in data, thus opening new vistas in investigation of the phenomena” (Anderberg, 1973). Spatial analyses in land use development are gaining in importance, allowing for an insight into spatial development as part of the dynamic processes transforming space according to economic, social, and environmental factors over a significant period of time. The multitude and scope of the factors influencing changes in land use make it impossible to fully forecast spatial changes, as the overall impact of these factors is too complex for us to fully understand (Mlakar, 2009).

Spatial planning endeavours to achieve coherent, balanced, and sustainable spatial development, which requires spatial development policies to accommodate the differences in the level of development, spatial potentials, and spatial challenges. Spatial development is also reflected in the actual land use and changes thereof. Land use is a good indicator of the situation, while changes in land use are the result of both current and long-term spatial trends and conditions. When studying land use development, we mostly focus on the factors that we can link to a location. In this way we divide the area in question into groups of similar spatial units (SU) according to their prevailing land use or homogeneous areas, which can be described using common spatial characteristics. In doing so, we address SUs as the basic elements (raster cells, settlements, municipalities, regions, etc.) that make up space at a specific level, and which are aggregated into homogeneous SU groups based on the classification used. The identification of homogeneous SU groups improves both the understanding of spatial development and the decision making concerning future spatial development at all levels. To successfully address the specific spatial challenges and exploit the recognised spatial potentials for achieving sustainable spatial development, improving development and competitiveness of specific areas, and territorial cohesion it is necessary to put in place spatial policies, strategies, and other development documents, which take into account the characteristics of individual SU groups (Green Paper, 2008), i.e., at the European level and the level of states, regions and municipalities.

The aim of this paper is to propose a method for determining the typology of prevailing land use for the needs of spatial delimitation in future analyses of land use and changes thereof. In classifying spatial units as an alternative to statistical programs, an image processing software was used, allowing for both supervised and unsupervised multi-band image classification. Supervised and unsupervised classification are tested for the case of Slovenia. In this paper, unsupervised SU classification is proposed, which does not require any previous knowledge about the area addressed prior to the procedure taking place. With a view of developing a widely applied approach allowing for classification of SUs into groups using selected spatial characteristics, it was assumed when developing the method that the conditions in the area in question are not known.

The proposed methodology is based on the unsupervised classification used in remote sensing for clustering pixels in images (usually multi-band, satellite) into classes or groups. In the literature we found no studies to date demonstrating the use of this classification to classify SUs into groups. The method proposal combines the selection of an algorithm for SU classification into groups and the selection of indicators used to describe, in detail, the spatial characteristics influencing the situation and land use changes, based on which space can be divided into homogeneous groups of SUs. By appropriately preparing input data

(indicators), the classification method can be used at various spatial levels, i.e. various SU types can be classified, as addressed in this paper for the needs of this study. It is necessary to transform each indicator providing values for the selected SU type into an individual “band”, while the combined multi-band image of indicators is then classified into homogeneous SU groups with equal spatial characteristics. Finally, the typology of SU groups is identified according to the spatial phenomena observed. In terms of prevailing land use typology, this refers to identifying types of homogeneous SU groups according to their characteristic, mostly also prevailing land use (e.g. agricultural, forest, urban).

Over 50 unsupervised classifications of Slovenian municipalities were done, which tested various combinations of types and the number of indicators, various algorithms for SU clustering, and various settings of parameter classification, from selecting the number of classes, limiting the number of iterations, to setting the threshold of minimum changes in iterations. The possibility of immediate depiction of results was one of the advantages of using remote sensing classification software, allowing for visual monitoring of the impacts of changes in the various parameters on the classification results. The most appropriate classification method for determining the typology of prevailing land use was selected based on the analysis of the results obtained.

Chapter 2 of this paper provides a general overview of the characteristics of the SU classification into homogeneous groups and of the existing commonly used methods of SU classification. Three selected methods were studied in detail and tested for the case of Slovenia (Chapter 3). Based on the analysis of the test results, Chapter 4 puts forward a proposal of authors' own classification method, based on the use of unsupervised classification for identifying the prevailing land use typology. The application of this method for the case of Slovenia is presented in Chapter 5, followed by the Conclusions and Discussion in Chapter 6.

## 2 OVERVIEW OF EXISTING METHODS FOR DETERMINING HOMOGENEOUS AREAS

For identifying homogeneous groups of SUs that are similar in selected spatial characteristics, mathematical and statistical methods of classifying units into groups are most commonly used (Carvalho et al., 2009). Experts both from abroad (Fukada, 1980, Dijkstra and Poelman, 2013, Rembowska et al., 2014) and Slovenia (Ferligoj, 1989, Rebernik, 1995, Kušar, 2004) have addressed the merging of similar SUs into homogeneous groups using various criteria.

In spatial analyses, the use of classification methods of similar SUs into homogeneous groups allows for recognition of various SU types and their spatial distribution. Overall, the classification procedure can be presented using five basic steps (Košmelj and Breskvar Žaucer, 2006), which also apply generally, not only in SU classification:

1. Selection of units and their characteristics.
2. Selection and normalisation of classification indicators that are used to make groups similar.
3. Calculation of similarities and differences among units. Selection of the appropriate spacing between units, depending on the type of data and the similarity criterion.
4. Selection and application of the appropriate method for classification into groups.
5. Analysis of the results, solution assessment, and determination of types of homogeneous groups of units.

The first two classification steps refer to the selection of the spatial level, i.e. the SU type, and the definition of the indicators used to analyse and classify the SUs addressed. Mathematically, the set of indicator values or the set of indicators  $X$  describing the individual  $i$ -th SU is written as (1), where  $X_i$  is the  $i$ -th SU,  $m$  is the number of indicators,  $x$  is their value.

$$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{im}) \quad (1)$$

SUs identified in this way provide the starting point for further SU classification to create homogenous groups. Graphical distribution of SUs determined with the value of one or more numerical variables can be demonstrated with points in a one- or multi-dimensional space, where each dimension is determined by one variable (Kranjc, 2005). The selection of indicators as well as their suitable preparation importantly impact the SU classification efficiency in terms of the problem at hand. Generally, a larger number of indicators makes the division of SUs easier, and thus also their classification into homogeneous groups. Indiscriminate adding of input data does not always improve results, as this increases the classification's complexity and decreases its legibility. Ferligoj (1989) finds that prior to applying clustering methods it is sensible to reduce the number of indicators, by leaving only those that had been previously identified as having a sufficient explanatory power. Numerical indicators of various measuring values must be normalized prior to their application to give values equal weight. An extensive overview of various approaches to standardization in cluster analysis was given by Milligan and Cooper (1988).

In the next step it is important to establish which of the SU classification methods (EEA, 2004, EULUPA, 2012, Dijkstra and Poelman, 2013, Rembowska et al., 2014) is the most effective to solve the problem stated. In general, most methods are divided into: hierarchical, non-hierarchical, and geometrical (Ferligoj, 1989), where it is important to realise that each method imposes its own inherent structure in its search for the rules in the data. The choice of the clustering method depends on the need and purpose of using the results. Even though classifications can vary greatly, they all have one thing in common, i.e. classification into as homogeneous groups as possible. Here the similarity principle applies, i.e. that SUs within a group are, according to the predetermined criteria, as similar as possible, while the units in different groups are, according to this criterion, as different as possible (Košmelj and Breskvar Žaucer, 2006). By analysing the solutions obtained, the classification procedure is completed by determining and naming the types of the homogeneous SU groups obtained.

Classification procedures are also used in remote sensing, where digital image classification provides one of the most important procedures in remote sensing data processing (Oštir, 2006). Indeed, satellite imagery classification is not much different than the statistical procedures of classifying data into groups. The only difference is that input data for image classification are prepared in raster rather than tabular format. The basic classification procedures of multi-band images are supervised and unsupervised classification. Prior to running an unsupervised classification, we must apply our own knowledge about the area investigated, to create learning patterns based on which the entire image is then classified into individual classes. In unsupervised classification, which does not require any previous knowledge about the area addressed prior to the procedure taking place, pixels are clustered into classes according to their "natural" aggregation in spectral space, based on the values of the selected indicators (ENVI EX, 2009).

## 2.1 Overview of existing classifications of space into homogeneous groups of spatial units

There are not many classifications that are based only on indicators of natural features or surface features. Nevertheless, the study under the EU-LUPA, "European Land Use Pattern", ESPON, is worth mentioning. The SU classification methodology proposed in the project is based on European CORINE Land Cover (CLC) data, allowing for classification to take place only based on land cover data. The classification at the European level assumes regions at the NUTS2/3 level for their basic SUs (EU-LUPA, 2012).

In Slovenia, previous studies have classified the state territory according to its natural geographic features (e.g. Marušič et al., 1996). Perko (1998) provided an overview of existing regionalisations in Slovenia, which testified to Slovenia's rich history of territorial divisions. The divisions by Melik, published in four books on regional geography in 1954, 1957, 1959, and 1960, by Ilešič in 1958, and by Gams in 1983 are particularly relevant. Additionally, Perko suggests his own natural geographic delimitation of Slovenia, which he elaborated between 1993 and 1995 in collaboration with two Slovenian research institutions: Anton Melik Geographical Institute of the Scientific Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts and The Geography Institute. The classification is based on merging SUs with similar natural geographic features, including bedrock composition, climate, vegetation, and land use (Perko, 1998). The works by Kovačič et al. (2000) and Perpar and Kovačič (2002) are devoted to the topic of the so-called developmental and topological division of Slovenia, which classifies and identifies various types of areas according to their developmental characteristics and potentials, thus dividing Slovenian territory into developmentally homogeneous groups of SUs. Furthermore, Gabrijelčič and Fikfak (2002) divide rural areas according to their degree of responsiveness, emerging phenomena, and the type of development measures necessary. In their study *Členitev slovenskega podeželja* (Division of Slovenian Rural Areas), Kladnik and Ravbar (2003) describe two ways of identifying rural areas in Slovenia, both based on the use of a combination of indicators, which show the degree of development, most relevant natural conditions, and spatial development processes.

The typology of urban and rural areas is among the most important spatial divisions classifying space in terms of development. Even though over the last few decades the border between urban and rural areas has been increasingly disappearing (Ravbar, 2005) due to urbanisation and suburbanisation, the differences between urban and rural areas remain relevant in the spatial and development sense. In the territory of EU member states, the relations between urban and rural areas were addressed by the ESPON project, entitled "Urban-Rural Relations in Europe" (Urban-rural, 2005). The importance of dividing space into urban and rural areas is also highlighted by the Statistical Office of the European Union (Eurostat) and the Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD). Both have the goal of defining urban and rural areas as well as the criteria based on which it would be possible to identify comparable areas, in order to create more appropriate rural and urban development policies at the European level. To that end, back in 1991 (DG REGIO, 2011) and 1994 (OECD, 1994) Eurostat and OECD, respectively, developed methods for identifying urban and rural areas based on population density. The early concepts of the SU classification methods have been amended several times in response to the deficiencies and to improve the methodology (Dijkstra and Poelman, 2008, 2013, Regional Statistics Team, 2013, Statistics Explained, 2013, Dijkstra and Poelman, 2014).

The Eurostat and OECD methodologies were introduced in Slovenia by the European project Rural Development Statistics, whose purpose was to establish a set of indicators necessary for planning the development and monitoring the situation in rural areas (Merc, 2006). Figures 1 and 2 show the SU classification carried out in 2006 at the level of statistical regions and municipalities in Slovenia. While these two typologies of homogeneous groups of SUs are based on the population numbers and density in local administrative units (municipalities), recent classifications have used the population grid, which provides the information about population distribution in space, thus providing a more accurate basis for determining the settlement characteristics of areas and regions (SORS, 2017).



Figure 1: Urban-rural OECD typology at the level of statistical regions, Slovenia (Merc, 2006).

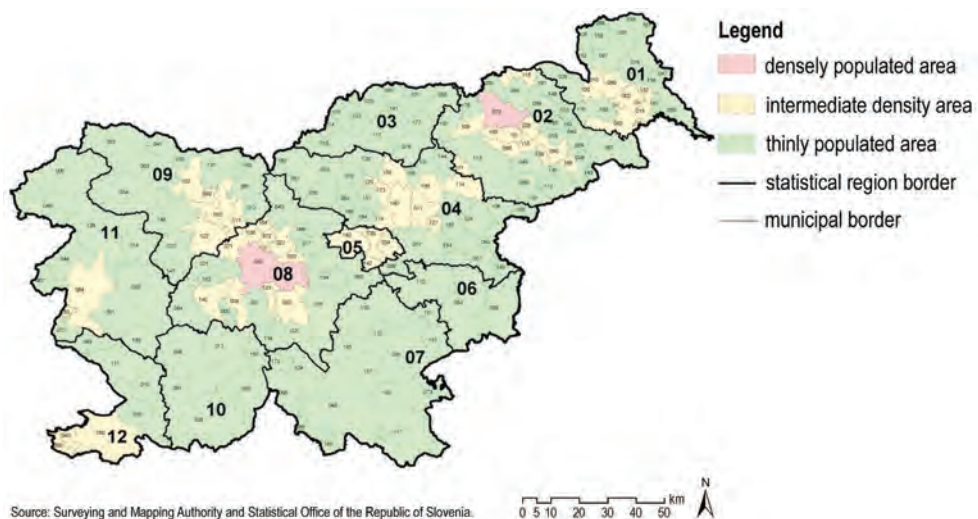


Figure 2: Eurostat typology (according to the degree of urbanisation) at the municipal level, Slovenia, 2006 (Merc, 2006).



Even though OECD's definition of rural areas classifies all Slovenian statistical regions as moderately and predominantly rural areas, there are considerable differences in economic and development performance between rural areas in Slovenia (PRP RS 2014–2020, 2013). These differences become even more obvious at lower spatial levels, where the level of detail necessitates the development of a new, or at least improved SU classification methodology.

## 2.2 Conclusions on the overview of classification methods of spatial units into homogeneous groups

The overview of the existing classification typologies and methods shows the need for recognising homogeneous groups of SUs with similar spatial characteristics, based on which it is possible to monitor the spatial situation and development, while supporting decision-making and creation of spatial development policies. These classifications are most often linked to a certain observation level or to specific data, and are thus not widely applicable. The identification of the types of homogeneous SU groups mostly depends on the choice of classification indicators, based on which it is possible to describe spatial conditions as far as possible and determine the borders that divide space both in terms of similarities and differences between the SUs addressed. A single indicator is used only rarely, as space and conditions therein cannot be described in such a simple way. Usually groups of indicators or composite indicators are used, which can appropriately describe space and its characteristics.

## 3 TESTING OF SELECTED METHODS ON THE CASE OF SLOVENIA

In order to create a suitable method for SU classification and determine the types of homogeneous SU groups according to the prevailing land use, three classification methods were tested on the case of Slovenia:

- SU classification methodology according to Eurostat, which divides urban and rural areas based on the degree of urbanisation (DG REGIO, 2011, Regional Statistics Team, 2013),
- methodology of SU classification according to OECD (Statistics Explained, 2013), and
- SU classification methodology according to the prevailing land cover (EU-LUPA, 2012).

Based on the availability of data, Eurostat and OECD SU classifications were done for 2012, while the SU classification according to the prevailing land cover was done for 2006. The strengths and weaknesses of these methods were analysed as well as the applicability of the various indicators for determining homogeneous SU groups for the needs of spatial divisions in analysing the situation and land use changes. The methods' testing provided the starting points for creating our own methodological approach to classifying SUs and identifying the types of homogeneous SU groups. Below we show only the most relevant steps and results for the three methods tested.

### 3.1 Classification method of spatial units according to Eurostat

Eurostat's methodology (DG REGIO, 2011, Regional Statistics Team, 2013) is based on the data on population density and two additional criteria: (1) the criterion of geographical contiguity and (2) the minimum population threshold. Based on the proposal of Dijkstra and Poelmana (2013) another criterion, i.e. accessibility, was added to the methodology, which was used to classify Slovenian municipalities into three groups of SUs with a significant degree of urbanisation. For accessibility calculations, the

advanced accessibility model was used, as described and upgraded by Drobne (2003, 2014), Drobne et al. (2004) and Drobne and Paliska (2015). SU classification, in the first stage of raster cells and then of municipalities, was done in software package ESRI ArcGIS using the population grid or raster of population density in Slovenia of  $1 \times 1$  km from 2012.

This method is based on the raster cell aggregation into clusters concerning population density (Figure 3):

- A high-density cluster: cluster of contiguous grid cells with a population density of at least 1500 inhabitants/km<sup>2</sup>, covering an area with a minimum of 50,000 inhabitants. In raster cell clustering two rules should be applied: the raster cells should not be clustered diagonally, and the rule of cluster contiguity specifying that when there are at least 5 neighbouring raster cells in a cluster then the empty cells should be filled in.
- Urban cluster: an integrated group of raster cells with a population density of at least 300 inhabitants/km<sup>2</sup>, covering an area with a minimum of 5,000 inhabitants. The geographical contiguity criterion specifies that the clustering takes place among all neighbouring raster cells, including the diagonal ones.
- Rural cluster: other rural cells besides high-density clusters and urban clusters.

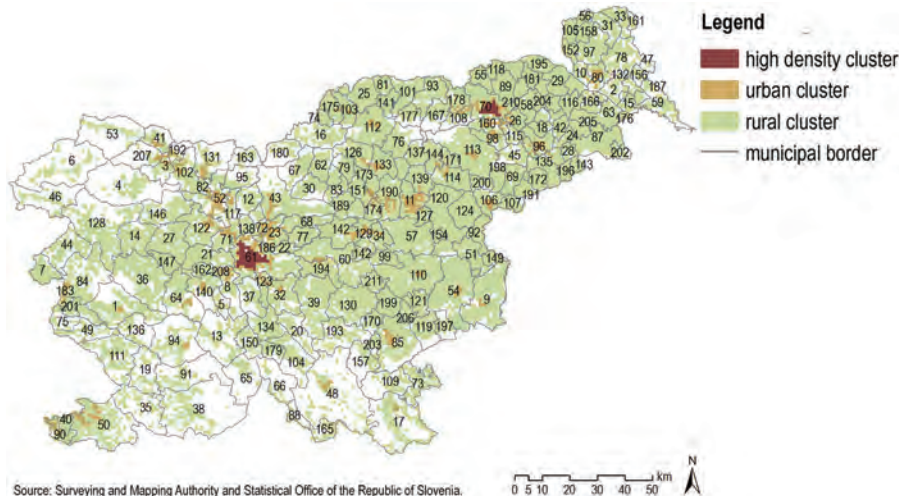


Figure 3: Raster cell clusters of population density using the Eurostat method, Slovenia, 2012.

The classification of municipalities then takes place according to the share of population living in the identified clusters (Figure 4):

- Densely populated areas or cities or larger urban areas are municipalities where at least 50% of their population lives in high density clusters.
- Thinly populated areas or rural areas make up municipalities where at least 50% of population lives outside urban clusters or high-density clusters.
- Intermediate density areas or areas of small towns and suburban areas make up the municipalities that do not meet the conditions of densely populated or thinly populated areas.

The additional accessibility criterion allows for determination of two more types of areas: remote thinly populated areas and remote intermediate density areas (Figure 4). Areas are considered remote when more



than 50% population lives outside the 45-minute accessibility to the urban centres that were recognised as significant for development of rural areas under the project Significance of Small and Medium-Sized Towns (Prosen et al., 2008).

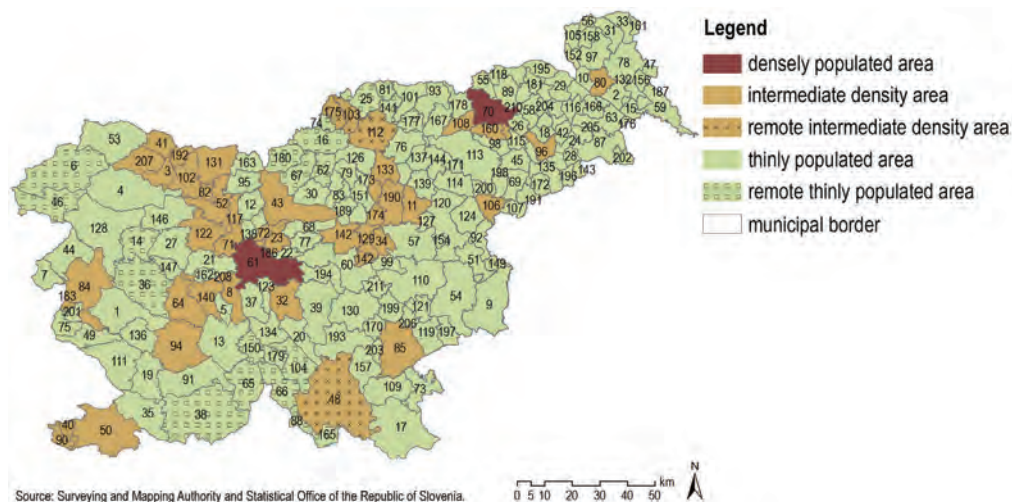


Figure 4: Municipality classification using the Eurostat method with the additional accessibility criterion, Slovenia, 2012.

The analysis of the SU classification showed that the use of raster data eliminates the impact of SU size on the classification, which was found to be a strength of the method tested. Its shortcoming, however, is the use of a single criterion, i.e. population density, as it does not allow for identifying all urban centres in Slovenia. The shortcomings are particularly evident in identifying smaller, but nevertheless important centres in the Slovenian urban system, which play an important role at the regional or even state level. At the same time, among intermediate density areas, municipalities such as Gorje (207), Prevalje (175), Kočevje (48), and Rogaška Slatina (106) stand out, as they have smaller centres but most population of the particular municipality lives there; this additionally points to the deficiency of using population density as a single criterion.

### 3.2 Classification method of spatial units according to OECD

The SU classification is done at two spatial levels, where population density is the only criterion for identifying urban and rural areas (OECD, 2011, Statistics Explained, 2013). The original methodology distinguishes between two hierarchical levels, municipal and regional, which were, in land use development analyses, found to be inappropriate, as the classification results at the regional level are too general. The methodology was then tested for lower spatial levels. Administrative units of settlements and municipalities were used as SUs (Figure 5). Urban settlements were determined based on the data on population density from 2012, with a minimum population density of 150 inhabitants/km<sup>2</sup>, while others were considered rural settlements. This was followed by the classification of municipalities according to the share of the population living in rural settlements:

- predominantly rural municipalities with more than 50% of population living in rural settlements,
- moderately rural municipalities with 15–50% of population living in rural settlements, and

— predominantly urban municipalities with below 15% of population living in rural settlements.

The third criterion, i.e. the presence of a larger city, is according to the OECD methodology considered in the case of cities with a minimum of 200,000 or 500,000 inhabitants. Only Ljubljana belongs to this category, which however does not affect this classification as the City of Ljubljana (61) had been earlier, according to previous criteria, identified as a predominantly urban municipality.

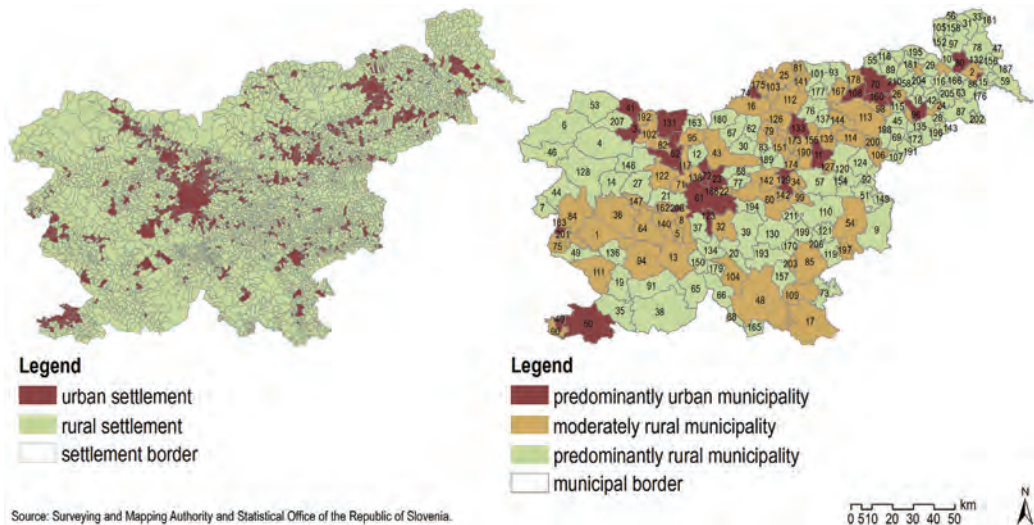


Figure 5: Classification of rural and urban settlements (left) and rural and urban municipalities (right) according to the OECD methodology, Slovenia, 2012.

The analysis of the results showed the dependence of the OECD methodology on the spatial level of consideration. The lowering of the initial spatial level of investigation from the level of municipalities to the level of settlements and the SU classification without adjusting the limit values of population density means that a growing number of albeit smaller units meets the conditions to be classified as urban settlements. This increases the number of predominantly urban and moderately rural municipalities in the further classification of SUs into homogeneous groups. Along with lowering the spatial level it is also necessary to adjust the limit values concerning population density. The results indicated some other specificities of the methodology. The size of a SU significantly affects the results of the classification due to the population density criterion. In terms of their surface area, smaller settlements show a higher population density due to the smaller rural hinterland, and are as a rule classified as urban areas. This means that smaller municipalities, having only a few settlements, such as Mežica (designation on Figure 4 right: 74), Odranci (86), Log-Dragomer (208), etc., are defined as predominantly urban. The SU size impact is observed across all categories. Results also show that this method classifies the municipalities whose population is less fragmented as predominantly urban or at least moderately rural municipalities, regardless of the number of inhabitants and the size of their rural hinterland. This applies to the municipalities of Bled (3), Tržič (131), Ruše (108), Kočevje (48), etc. Again, it was shown that in order to obtain more accurate results in SU classification, the use of a larger number of complementing indicators is necessary.

### 3.3 Classification method of spatial units according to the prevailing land cover

This method was developed with a view of identifying the characteristic, i.e. prevailing, land cover types in the territory of Europe (EU-LUPA, 2012). The method is based on CORINE Land Cover (CLC) raster data on land cover, of a grid of  $100 \times 100$  m, which are the only data of this kind available for the entire European territory. The CLC nomenclature distinguishes 44 land cover classes at the third level. The 2006 CLC data were used, which were obtained from the European Environment Agency's web portal (EEA, 2014). The first part of the methodology was tested on the case of Slovenia, which classifies CLC land cover data according to the prevailing land cover in 6 urban and 7 rural homogeneous groups of SUs, in this case raster cells of a size of  $1 \text{ km}^2$ .

The basic classification is a procedure of combining CLC data given in a grid of raster cells of  $100 \times 100$  m into raster cells of  $1 \times 1 \text{ km}$ . For each SU, i.e. a raster cell of  $1 \text{ km}^2$ , four basic statistics should be calculated (minimum, maximum, median, and mode) according to the CLC nomenclature (44 classes) and the presence of land cover classes inside the  $1 \text{ km}^2$  area of an individual raster. According to the CLC nomenclature, the classes assume values between 1 and 44, which are used to calculate the four statistics. Here, the minimum and maximum show the range of land cover types in an individual cell, while the median and mode provide information on the prevailing land cover type. The values of the four calculated basic statistics for the entire grid of raster cells  $1 \times 1 \text{ km}$ , which covers the area in question, are the input data for further SU classification. The first part of the classification procedure enables the partitioning of urban and rural raster cells, i.e. SUs:

- urban cells: values of at least two basic statistics between 1 and 11, which according to the CLC nomenclature belong to the class of Artificial Surfaces, and
- rural cells: all other cells that do not meet the criterion for urban cells.

The second part of the classification separately addresses the recognised urban and rural cells. The classification into homogeneous groups of prevailing land cover is done based on the four previously calculated statistics using Ward's clustering algorithm, which clusters raster cell in a way that cells with as similar as possible values fall within a certain group, while the different groups are as different as possible (Košmelj and Breskvar Žaucer, 2006). The result is 6 urban types and 7 rural types of raster cell clusters.

Despite the methodology's several advantages, e.g. the use of a larger number of indicators and the information on land cover in the classification, its shortcomings or limitations outweigh its advantages. The biggest shortcoming is the methodology's dependence on the CLC land cover data, i.e., the predefined nomenclature of 44 land cover classes. Due to the lower level of detail and lower accuracy, the use of CLC data does not allow for more detailed analyses at the local level. Data allow for mapping at a scale of  $1 : 100,000$ , meaning a predetermined level of spatial and content generalisation of land cover data (the smallest mapping surface is 25 ha, the smallest polygon width is 100 m, and the smallest detected change in land cover is 5 ha), which thus limits the depiction accuracy and the locations of the identified land cover classes at lower levels. Due to its dependence on CLC data, this methodology could not be tested on other, more accurate spatial data layers, which prevented its use in more detailed analyses of land use changes.

### 3.4 Syntheses about testing the selected methods of SU classification into homogeneous groups in Slovenia

The analysis of the selected methods and their results at the level of Slovenia revealed some shortcomings of the tested and otherwise high-quality methods. Their use at lower spatial levels is particularly limited (municipality or settlement level), as they do not allow for a detailed enough SU classification necessary for studying land use changes. The need to use additional indicators was revealed, which could describe SUs and spatial characteristics influencing land use and changes thereof in a detailed way. Despite the identified shortcomings of the analysed method, this provided a good enough basis for upgrading and developing our own adjusted SU classification method for the needs of observing land use changes.

## 4 UNSUPERVISED CLASSIFICATION FOR IDENTIFYING THE TYPES OF HOMOGENEOUS GROUPS OF SPATIAL UNITS OF PREVAILING LAND USE

We propose a new approach, i.e. a SU classification method, for identifying homogeneous group types of prevailing land use, based on unsupervised image classification. This method was developed with a view of its wider applicability, without any extensive previous analyses necessary. The unsupervised classification procedure is, in general, divided into SU classification into homogeneous groups or classes and identification thereof (Oštir, 2006). SU classification into homogeneous classes consists of selecting the number and type of indicators describing SU characteristics as well as selecting the unsupervised classification algorithm laying down the rules for merging SUs. The classes created using this kind of SU classification make up a homogeneous whole. The identification procedure of homogeneous classes helps to identify groups of SUs with appropriate IDs assigned. The procedure of identifying SU groups is done based on the actual values that the indicators assume by groups. SU groups can be determined and their characteristics identified based on the actual value of the indicators and the calculated characteristic variables (minimum, maximum, mean value, and standard deviation) according to SU groups.

### 4.1 Selection and preparation of indicators for unsupervised classification

The test of the existing SU classification methods showed that the indicators influencing land use changes cannot rely on a single indicator only but rather on a combination of several indicators. A separate indicator about the maximum share of land use can reveal much about the natural characteristics of a place, the prevailing agricultural branch, and similar, but it does not allow for the necessary partitioning of SUs in the spatial classification. In order to provide a detailed identification of the characteristics influencing the location of land use changes and to identify the similarities and differences between SUs concerning land use development, the initial set of 22 indicators was proposed (Table 1) on the basis of testing the selected existing methodologies (Eurostat, OECD, prevailing land cover).

The relatively quick carrying-out of unsupervised SU classification and the possibility of immediate illustration of results allowed for visual monitoring of the impact of the type selection, number, and indicator combination. Thus, the initial SU classifications were primarily intended to test the individual indicators according to their explanatory power and impact on the classification. The data from publicly available Slovenian databases were used for calculating the variables (databases of the Statistical Office of the Republic of Slovenia, the Ministry of Agriculture, Forestry, and Food, and the Ministry of Finance). The calculation of indicator values according to the proposed SU classification method is not linked to

a certain data pool, but specifies only the type of indicators used in the classification. The choice of data depends on both the area in question and the spatial level of investigation. Thus, the calculation of values of the individual indicator is based on the available data for the area in question or the SUs classified.

Table 1: The initial set of 22 indicators in SU classification for identifying the types of prevailing land use.

| SPATIAL CHARACTERISTICS                             |                                   |                                                         |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------|
| URBANITY                                            | ACTUAL USE                        | ACCESSIBILITY                                           |
| number of inhabitants                               | arable land per capita            | average accessibility of SUs to urban centres           |
| population density                                  | permanent crop area per capita    | average accessibility of SU population to urban centres |
| number of inhabitants per built-up area             | meadows per capita                |                                                         |
| share of urban population                           | forest areas per capita           |                                                         |
| municipality revenue and other income per capita    | built-up areas per capita         |                                                         |
| investment expenditure of a municipality per capita | other areas per capita            |                                                         |
|                                                     | share of arable land              |                                                         |
|                                                     | share of permanent crops          |                                                         |
|                                                     | share of meadows                  |                                                         |
|                                                     | share of forests                  |                                                         |
|                                                     | share of built-up land            |                                                         |
|                                                     | share of other areas              |                                                         |
|                                                     | share of intensive farming areas  |                                                         |
|                                                     | share of total agricultural areas |                                                         |

Additionally, the Pearson correlation coefficient was calculated, which made it possible to avoid the multiple use of very similar or even mutually exclusive indicators. The analysis of SU classification results was done based on calculated representative values and actual indicator values by SU groups. The final set of eight indicators was produced (Table 2).

Table 2: Set of selected indicators for SU classification in identifying prevailing land use types.

| INDICATOR ID | INDICATOR NAME            |
|--------------|---------------------------|
| GP           | population density        |
| DUP          | share of urban population |
| D11          | share of arable land      |
| D12          | share of permanent crops  |
| D13          | share of meadows          |
| D20          | share of forests          |
| D30          | share of built-up land    |
| D100         | share of other areas      |



Indicators population density (GP), share of urban population (DUP), and share of built-up land (D30) describe the urbanity of a place, which was recognised as an important characteristic separating space according to the level of development (Kokole, 1978) and significantly impacting land use changes. Spatial urbanity combines the spatial aspects of various economic, social, environmental as well as cultural factors. This spatial characteristic is thus linked to various identified trends, such as overgrowth in rural areas, developments of agricultural land near urban centres, etc. Here, the indicator “the share of built-up land” (D30) complements the indicator “the share of population density” (GP), as the latter does not take into account urban areas without inhabitants, e.g. stores, sports facilities, industries, and others. However, the third indicator, i.e. “the share of urban population” (DUP), stemming from Eurostat’s methodology of degree of urbanisation, at least partially removes the impact of size of the SUs in question, which both previously addressed indicators depend on (GP and D30). The DUP indicator is calculated as the share of SU population living in high density clusters and urban clusters (Figure 3). Cluster types are determined using the Eurostat methodology (Regional statistics team, 2013), which is explained in detail in Chapter 3.1. The combination of all three indicators allows for a more detailed classification, while these indicators, if used together, are able to describe urbanity in more detail.

Other selected indicators in Table 2 (D11, D12, D13, D20, D30, and D100) describe the existing land use. Both the natural conditions of an area (relief, geological composition, climate, etc.) as well as previous land use development trends are reflected in it. Actual land use is the second significant spatial characteristic, which combines information both on natural and social elements and factors characteristic for a certain area (Petek, 2005). It can be described using selected indicators of shares of most significant actual land use categories (D11, D12, D13, D20, D30), describing the main characteristics and differences in land use. We adhered to the principle of selecting a smaller number of indicators with a sufficient explanatory power (Ferligoj, 1989). The set of indicators of significant land use categories, i.e. categories with the highest shares on average, is complemented by the indicator of “the share of other surfaces” (D100). This indicator combines other land use categories, which are generally evenly distributed across an area and thus do not allow for distinguishing between SUs in the classification (e.g. aquatic areas). Nevertheless, the D100 indicator should be included in the classification as it allows us to identify exceptions, cases of a single SU or a smaller number of SUs, characterised by the large proportion of special uses, such as extensive unfertile land, land unfit for construction, larger aquatic areas, etc.).

Prior to the SU classification, the indicator values were normalised and translated to whole numbers between 0 and 100 (2). The data normalisation balanced the various ranges of numerical values that the individual indicator could assume. This allowed for the comparability of the impact of the indicators on the classification.  $x_{ij}$  is the actual value of the  $i$ -th indicator of the  $j$ -th SU,  $z_{ij}$  is the “normalised” value of pixels of the associated SU,  $\min X_i$  and  $\max X_i$  are the actual minimum or maximum value of the  $i$ -th indicator of all SUs.

$$z_{ij} = \left[ \frac{x_{ij} - \min X_i}{\max X_i - \min X_i} \right]. \quad (2)$$

A raster band was produced for each indicator. All cells of a single SU on the raster image of Slovenia were assigned the appropriate indicator value. The case of indicator population density (PD), as one of the input image bands in the classification, is shown in Figure 6.

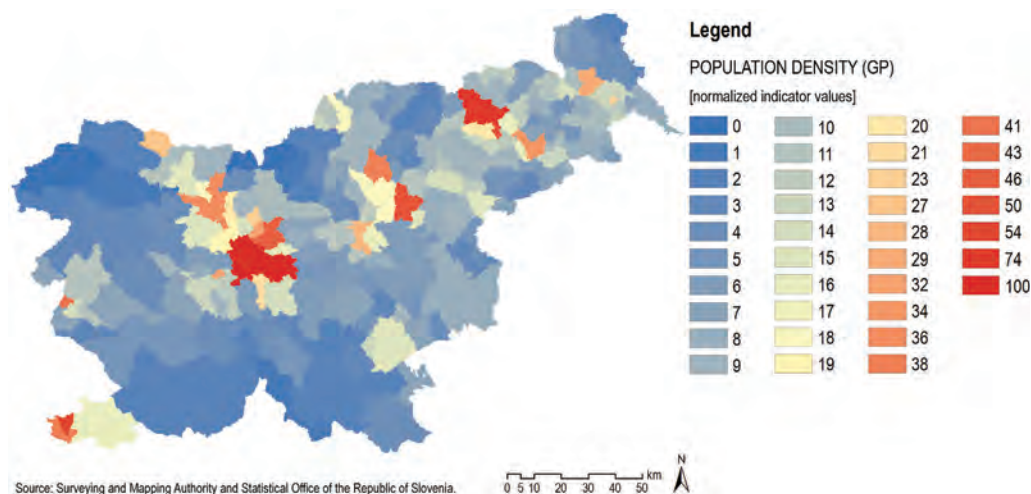


Figure 6: Indicator population density (PD) organised as an input image band for unsupervised classification, Slovenia, 2012.

The bands created from the indicators were combined in a multi-band raster image, which was analysed using the per-pixel unsupervised classification. As the cell values are homogeneous for the entire SU in a band, the results of the per-pixel classification are the same as if the object-based classification at the SU level had been done (the per-pixel classification did not divide SUs into smaller classes).

## 4.2 Selection of an algorithm for unsupervised classification of spatial units

Various mathematical algorithms are used to classify multidimensional data into classes, which are mostly demanding to calculate (Oštir, 2006). One of the simplest algorithms is the k-means algorithm, in statistics also known as the leader clustering method (Košmelj and Breskvar Žaucer, 2006). This is an iterative method, which belongs to the group of local optimisation methods and is based on the maximum similarity principle. The Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique (ISODATA) algorithm is a slightly improved K-means algorithm. ISODATA works dynamically, which means that it can merge related clusters, erase smaller clusters, and split larger clusters into several parts.

The classification using ISODATA is primarily affected by the selection of the number of classes. Increasing the number of classes improves the degree of similarity inside the classes as well as the differences among them, while the transparency of the classification procedure is lost. The advantage of a larger number of classes (12 classes were selected) is the possibility of the subsequent class merging when identifying SU types or homogeneous groups of SUs. The procedure starts with a random choice of initial centres, also referred to as initial leaders, for the selected number of classes or groups evenly distributed in the space of data (ENVI EX, 2009). The classification of units is then iterative, where the procedure is limited by the choice of the number of iterations and the minimum change threshold. To prevent additional impact of this selection on the classification, the number of iterations is not limited or a high limitation

of iterations is selected (we chose 100 iterations). The share of the unit surfaces that can switch classes in the iteration is set to the value that corresponds to the area of the smallest investigated SU in relation to the total area concerned (in the classification of Slovenian municipalities it was set to 0.015%). Thus we allow for the smallest changes to occur and additionally impose no restrictions on the classification procedure.

## 5 TESTING THE SELECTED METHODS ON THE CASE OF SLOVENIA

SU classification was done using ENVI (Harris, 2017). The proposed method was used to classify 210 Slovenian municipalities from 2011. Along with the use of eight normalised indicators (Table 2), the SUs at the level of municipalities were classified into 12 groups (Figure 7), which allows for a more detailed spatial division of Slovenia and, if appropriate, allows for the later aggregation of groups when identifying the typology of homogeneous SU groups. The initial values of the selected indicators by municipalities (Table 2) were calculated based on the data about the number of inhabitants per municipality from the Statistical Office of the RS and the data by the Ministry of Agriculture, Forestry and Food (MKGP). Population density relates to the information about the number of inhabitants per municipality in 2012, the share of urban population was calculated as the share of the inhabitants with permanent residence inside urban areas, determined according to Eurostar's methodology of the degree of urbanisation and based on the raster of population density in Slovenia in 2012. The shares of actual land use are calculated from the layer of actual land use of the Ministry of Agriculture, Forestry and Food from 2012.

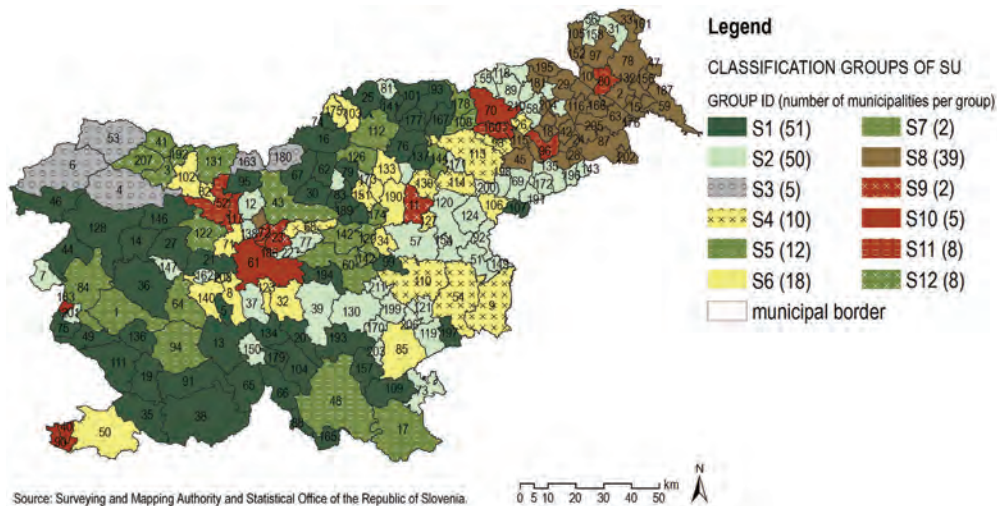


Figure 7: The results of unsupervised classification of Slovenian municipalities according to eight selected indicators, Slovenia, 2012.

The results of classifying all 210 Slovenian municipalities into 12 groups are also captured in a table, which gives the characteristic values of the created groups. Due to the size of the entire table, this paper shows the characteristic group values for only two, rather than eight indicators selected (GP and D30). The groups are numbered randomly according to the classification procedure (Table 3).

Given the characteristic values in Table 3, it is worth mentioning that “normalised” input data with values from 1 to 100 (Equation 2) were used for calculating the minimum, maximum, mean value, and standard deviation. The calculated statistics do not correspond to the actual values. The latter can be calculated for the individual groups from the initial indicator values.

Table 3: Statistical values of groups after the completion of the unsupervised classification.

|                                               | GROUP ID |      |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------------------|----------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
|                                               | S1       | S2   | S3  | S4   | S5   | S6   | S7  | S8   | S9   | S10  | S11  | S12  |
| <b>INDICATOR GP (population density)</b>      |          |      |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |
| minimum                                       | 1        | 2    | 0   | 6    | 4    | 11   | 2   | 2    | 2    | 38   | 20   | 2    |
| maximum                                       | 13       | 17   | 2   | 16   | 12   | 38   | 11  | 23   | 50   | 100  | 50   | 28   |
| mean value                                    | 3.4      | 7.0  | 0.7 | 8.7  | 7.3  | 16.7 | 2.9 | 8.1  | 48.3 | 82.8 | 31.4 | 12.2 |
| standard deviation                            | 1.7      | 2.8  | 0.8 | 2.4  | 2.5  | 5.4  | 2.7 | 3.8  | 2.0  | 21.3 | 7.2  | 7.1  |
| <b>INDICATOR D30 (share of built-up land)</b> |          |      |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |
| minimum                                       | 2        | 6    | 0   | 15   | 8    | 17   | 3   | 5    | 5    | 53   | 35   | 1    |
| maximum                                       | 16       | 33   | 2   | 32   | 20   | 45   | 16  | 56   | 66   | 100  | 69   | 31   |
| mean value                                    | 7.0      | 16.9 | 1.1 | 21.3 | 12.5 | 27.0 | 4.3 | 21.3 | 63.4 | 82.7 | 46.8 | 15.0 |
| standard deviation                            | 3.7      | 5.3  | 0.9 | 4.3  | 3.0  | 5.5  | 3.9 | 8.5  | 3.0  | 10.0 | 8.8  | 8.1  |

The classification results were assessed subjectively, based on our knowledge of the conditions in spatial planning and land use in Slovenia. Analytical classification assessment was not done. A comparison of three existing methods that were tested was made. Assessment, comparison, and further analysis of the results based on the actual values of indicators in groups have shown that the classification gave sufficient results and thus provides a detailed division of Slovenian municipalities into homogeneous groups of SUs according to prevailing land use.

According to the selected parameters, the number of classes, and the number and type of indicators, the proposed method identified 3 large groups (S1, S2, and S8 with 51, 50, and 39 municipalities, respectively), 5 medium groups (S4, S5, S6, S11, and S12 with 10, 12, 18, 8, and 8 municipalities, respectively), and 4 small groups (S3, S7, S9, and S10 with 5, 2, 2, and 5 municipalities, respectively). Based on the size of the groups we can draw conclusions about the fragmentation of the area in question. Large groups, combining a large number of municipalities, show large similarities in space while small groups mostly highlight potential spatial dimensions, which are shown as strengths or challenges of spatial development, and can importantly influence potential land use changes. The case in point is combining various alpine municipalities (Bohinj (designation in Figure 6: 4), Bovec (6), Kranjska Gora (53), Jezersko (163), and Solčava (180)), which are characterised by certain limiting development factors, particularly larger areas of unfertile land and land less suitable for construction, into group S3. The spatial component of the identified groups is observed. It is possible to distinguish groups with SUs dispersed across the entire area in question (e.g. S5, S6) and those whose SUs are aggregated (e.g. S8 and S12) only in a part of the area in question (e.g. S8 and S12), which is mostly influenced by an area's natural geographical conditions.

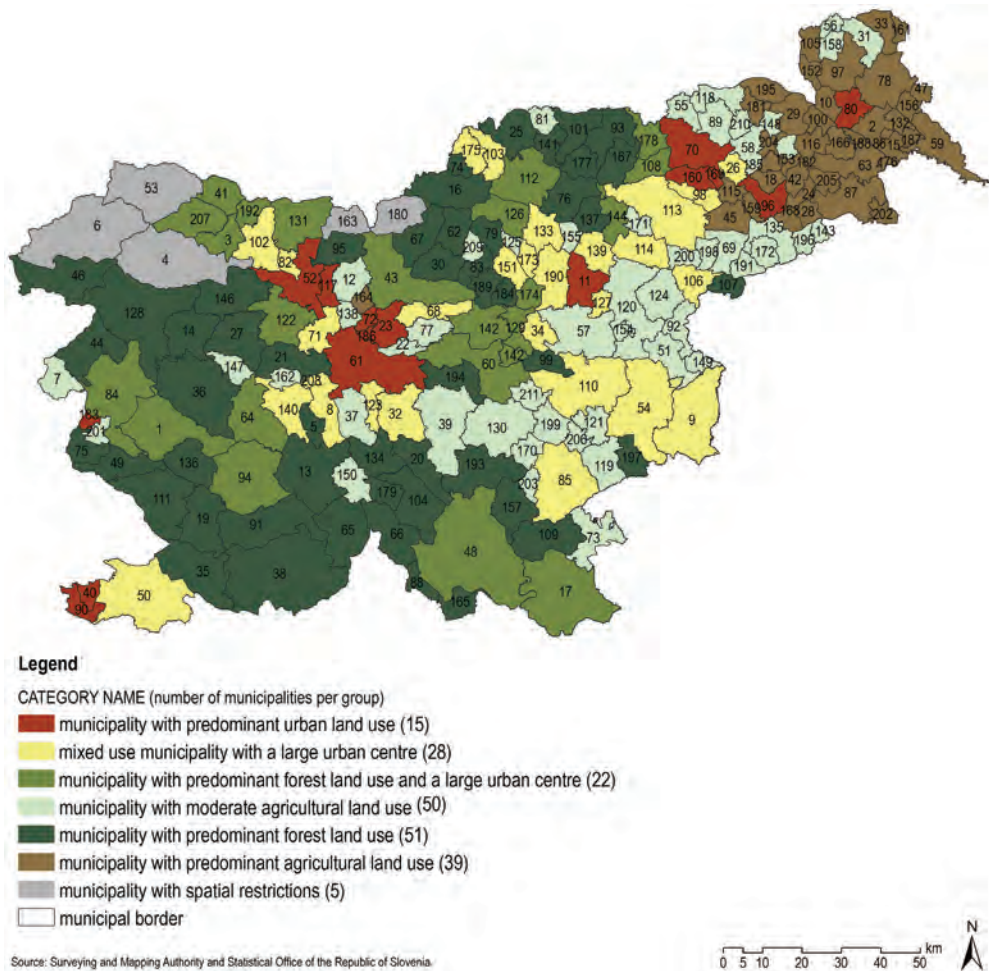


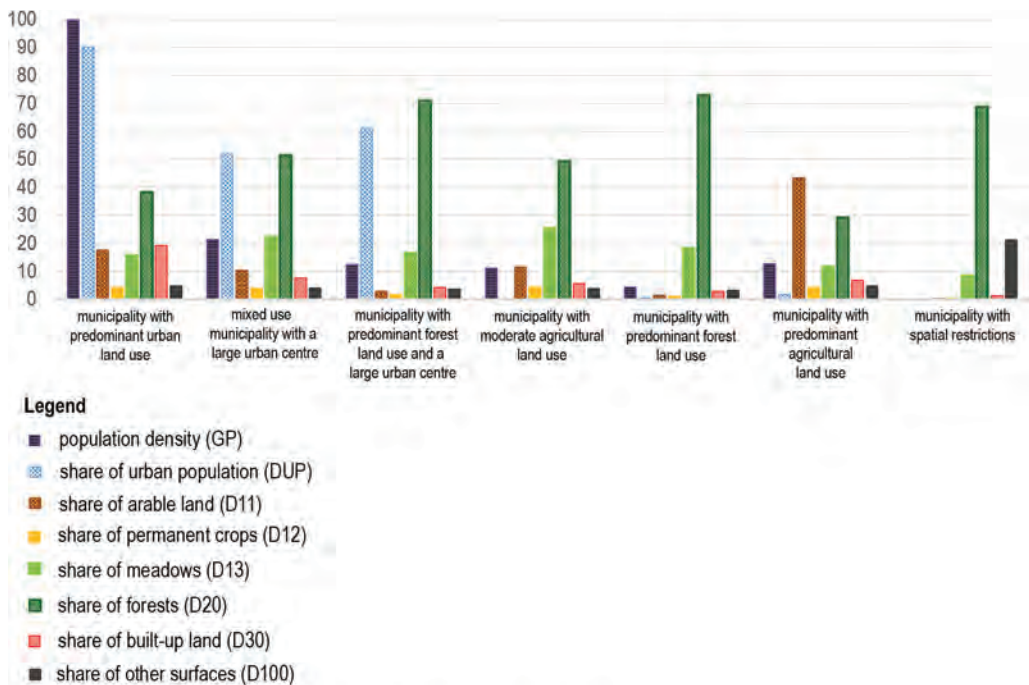
Figure 8: Municipalities according to the prevailing land use typology, Slovenia, 2012.

The homogeneous groups obtained can be assessed according to the number of SUs that the group combines as well as according to the characteristic group values (Table 3). Since the group values are calculated from “normalized” indicators it is sensible to upgrade the analysis by calculating the statistics from the actual values of the indicators (Figure 9). Only based on these data will it be possible to make realistic assessments to identify the main characteristics of the individual groups and thus determine the typology of the SUs investigated. The procedure of group identification was run based on the actual values assumed by the indicators in the groups and the characteristic statistics (minimum, maximum, mean value, and standard deviation) by groups. Out of 12 groups, 7 types of municipalities or prevailing land use types (Figure 8) were identified for spatial delimitation in analyses of land use changes: municipality with predominant urban land use, mixed use municipality with a large urban centre, municipality with predominant forest land use and a large urban centre, municipality with moderate agricultural land use, municipality with predominant forest land use, municipality with predominant agricultural land use,



and municipalities with spatial restrictions, which mostly relate to the high share of other, less suitable land for construction or infertile land. It was shown that it is possible to merge some of the smaller groups, as they have some similarities, while the differences are not large enough to significantly affect land use changes. This is the case in groups S9, S10, and S11, which can be merged into a common type of urban municipalities, as the municipalities in these groups are connected by common characteristics having an impact on land use changes.

The characteristics and differences between the identified prevailing land use types are shown on Figure 9 with graphical representation of the calculated mean values of the eight indicators used. The average value of the individual indicator is calculated according to the actual values of the indicator in all SUs of the same type of prevailing land use. Due to the common illustration of indicators by prevailing land use types and to make the indicator values comparable, “normalised” values between 0 and 100 are used for the indicator of population density.



Source: Ministry of Agriculture, Forestry and Food and Statistical Office of the Republic of Slovenia.

Figure 9: Average values of the indicators used, by types of prevailing land use, Slovenia, 2012.

## 6 CONCLUSIONS AND DISCUSSION

This paper first provides an overview of the selected existing methods (classifications using the Eurostat method, OECD method, and the prevailing land cover method from EU-LUPA ESPON project) for identifying homogeneous SU groups. The analysis of the existing methods' strengths and weaknesses revealed that none of the analysed methods allows for an appropriate spatial division, which is necessary

to study land use and changes thereof. Due to the choice of indicators and the classification based on a single indicator, the existing methods do not allow for determination of the typology suitable for further analyses of land use changes. The indicators used are often subject of the SU size, while the use of a single indicator fails to allow for a detailed description of the spatial characteristics having an impact on land use changes. Some methods are conditioned by the use of certain data, which prevents the adjustment of the method to the selected spatial level of the study.

We propose our own classification method for identifying the prevailing land use typology, based on unsupervised classification of multi-band images. Eight indicators were selected for the SU classification (Table 2), which provide a detailed description of the spatial characteristics having a bearing on the situation and changes in land use, based on which it is possible to divide space into homogeneous groups of SUs, which are connected by common spatial characteristics affecting land use. The indicators were designed as individual bands of the raster image, which was then classified using ISODATA, an unsupervised classification algorithm. The proposed SU classification method was successfully tested on the case of determining types of prevailing land use in Slovenia. The result of unsupervised classification of Slovenian municipalities is 12 homogeneous groups of municipalities with the highest level of contiguity of the municipalities inside the groups and the lowest level of contiguity between the municipalities of different groups. Using the group identification procedure, 7 characteristic types of predominant land use were defined out of 12 groups.

The proposed methodology eliminates most of the weaknesses of the existing methods. The choice of combining eight indicators allows for a detailed SU description in terms of the prevailing land use. The use of the indicator that is not linked to the SU size (share of urban population) removes the impact of SU size on the classification, while the ISODATA algorithm, based on searching for the best similarity in SU classification into homogenous groups, provides the optimum spatial division, without the subjective impact of the user. Additionally, the choice of the number of classes allows for adaptation of the classification to the various spatial levels of investigation. The proposed method allows for a simple repeatability and adaptability to the area in question, the selected spatial unit, and the data available. This method is useful at all spatial levels, for various SUs, i.e. raster cells, settlements, municipalities, regions, and states.

In SU classification it was also shown that it would be reasonable to include some further indicators describing land use changes only (shares of changes, changes in land use intensity, etc.), which would without doubt improve the obtained typology of the prevailing land use. The selection of better, even more appropriate and additional indicators, will be the topic of further studies.

## Literature and references:

- Andenberg, M. R. (1973). *Cluster Analysis for Applications. Probability and Mathematical Statistics: A Series of Monographs and Textbooks*. New York: Academic press.
- Carvalho, A. X.Y., Albuquerque, P. H. M., Almeida Junior, G. R., Guimaraes, R. D. (2009). Spatial hierarchical clustering. *Brazilian Journal of Mathematic and Statistics. Biometric Brazilian Journal* 27 (3): 411–442.
- DG REGIO (2011). The New Degree of Urbanisation. Eurostat. [http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/miscellaneous/index.cfm?TargetUrl=DSP\\_DEGURBA](http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/miscellaneous/index.cfm?TargetUrl=DSP_DEGURBA), accessed 28. 1. 2014.
- Dijkstra, L., Poelman, H. (2008). Remote Rural Regions. How proximity to a city influences the performance of rural regions. European Union. Regional Policy. [http://ec.europa.eu/regional\\_policy/sources/docgener/focus/2008\\_01\\_rural.pdf](http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/focus/2008_01_rural.pdf), accessed 25. 3. 2013.
- Dijkstra, L., Poelman, H. (2013). Regional typologies overview. Eurostat. [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\\_explained/index.php/Regional\\_typologies\\_overview](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Regional_typologies_overview), accessed 24. 3. 2013.
- Dijkstra, L., Poelman, H. (2014). A harmonised definition of cities and rural areas:

- the new degree of urbanisation. Regional Working Paper 2014. European Commission. [http://ec.europa.eu/regional\\_policy/sources/docgener/work/2014\\_01\\_new\\_urban.pdf](http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/work/2014_01_new_urban.pdf), accessed 18. 3. 2014.
- Drobne, S. (2003). Modelling Accessibility Fields in Slovene Municipalities. In L. Zadnik Stirn (ed.), M. Bastič, (ed.), S. Drobne (ed.), SOR'03 proceedings. 7th International Symposium on Operational Research in Slovenia, Podčetrtek, Slovenia (pp. 89–96). Slovenian Society Informatika, Section for Operational Research.
- Drobne, S. (2014). Izračun povprečne dostopnosti do najbližjega priključka na avtocesto ali hitro cesto po občinah Republike Slovenije v letu 2013. Ljubljana, University of Ljubljana. Faculty of Civil and Geodetic Engineering: 14 p.
- Drobne, S., Paliska, D. (2015). Average transport accessibility of the Slovenian municipalities to the nearest motorway or expressway access point (= Povprečna prometna dostopnost občin Slovenije do najbližjega priključka avtoceste ali hitre ceste). *Geodetski vestnik*, 59 (3): 486–519.  
DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2015.03.486-519>
- Drobne, S., Paliska, D., Fabjan, D. (2004). Rastrski pristop dvostopenjskega modeliranja dostopnosti v GIS-u. In T. Podobnikar (ed.), D. Perko (ed.), M. Krevs (ed.), Z. Stančič (ed.), D. Hladnik (ed.), M. Čeh (ed.): *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2003–2004* (pp. 265–276). Ljubljana: Založba ZRC.
- EEA (2004). High Nature Value Farmland. Characteristics, Trends and Policy Challenges. In EEA Report No. 1/2004. Luxembourg: European Environment Agency: 31 p.
- EEA (2014). Corine Land Cover Data. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps>, accessed 12. 5. 2014.
- ENVI EX (2009). ENVI EX User's Guide. [http://www.exelisvis.com/portals/0/pdfs/envienv/ENVI\\_EX\\_User\\_Guide.pdf](http://www.exelisvis.com/portals/0/pdfs/envienv/ENVI_EX_User_Guide.pdf), accessed 20. 10. 2014.
- EU-LUPA (2012). European land use patterns. ESPON Applied Research Project 2013/1/8. VOLUME I—Land use Characterization in Europe: Analysing land use patterns using typologies. Part C Scientific report. Version 20/November/2012, ESPON & TECNALIA Research & Innovation: 96 p.
- Ferligoj, A. (1989). Razvrščanje v skupine: Teorija in uporaba v družboslovju. Zbirka metodološki zvezki, št. 4. Ljubljana: Jugoslovansko združenje za sociologijo, Raziskovalni inštitut FDV: 182 p.
- Fukada, Y. (1980). Spatial clustering procedures for region analysis. *Pattern Recognition*, 12 (6): 395–403. DOI: [https://doi.org/10.1016/0031-3203\(80\)90015-1](https://doi.org/10.1016/0031-3203(80)90015-1)
- Gabrijelčič, P., Fikfak, A. (2002). *Rurizem in ruralna arhitektura: univerzitetni učbenik*. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of Architecture: 163 p.
- Green Paper (2008). Green Paper on Territorial Cohesion. Turning territorial diversity into strength. Brussels, Commission of the European Communities: 13 p. [http://ec.europa.eu/regional\\_policy/archive/consultation/terco/paper\\_terco\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/regional_policy/archive/consultation/terco/paper_terco_en.pdf), accessed 22. 4. 2015.
- Harris (2017). Web Page ENVI: Image Analysis, Spectral Analysis, ENVI Products. Harris. Geospatial Solutions. <http://www.harrisgeospatial.com/ProductsandTechnology/Software/ENVI.aspx>, accessed 2. 6. 2017.
- Kladnik, D., Ravbar, M. (2003). Členitev slovenskega podeželja. Prispevek k usmerjanju skladnega regionalnega razvoja. Ljubljana: Anton Melik Geographical Institute ZRC SAZU: 196 p.
- Kokole, V. (1978). Problemi urbanizacije v manj razvitih območjih SR Slovenije. In M. Pak (ed.), *Sociogeographical aspects of the border regions of Slovenia* : geographical symposium at the fifteenth anniversary of the Geographical institute of the University of Ljubljana. Ljubljana: Geographica Slovenica.: 5 p.
- Košmelj, K., Breskvar Žaucer, L. (2006). Metode za razvrščanje enot v skupine: osnove in primer. *Acta agriculturae Slovenica*, 87 (2): 299–310.
- Kovačič, M., Gosar, L., Fabjan, R., Perpar, A., Gabrovce, M., Jakoš, A. (2000). Razvojno-tipološka členitev podeželja v Republiki Sloveniji (= Typologische Gliederung des ländlichen Raumes in Republik Slowenien). Ljubljana, University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy: 129 p.
- Kranjc, M. (2005). Razvrščanje slovenskih občin v skupine glede na ekonomske in demografske spremenljivke. Maribor, University of Maribor, Faculty of Economics and Business: 158 p.
- Kušar, S. (2004). Razvrščanje v skupine z omejitvami kot metoda regionalizacije. Na primeru določanja problemskih regij v Sloveniji. *Metode in tehnike*, 15 (2): 87–92.
- Marušič, J., Ogrin, D., Maligoi, T., Japelj-Mužič, M. (1996). Značilni krajinski vzorci Slovenije: po projektu Regionalna razdelitev krajinskih tipov Slovenije. Ljubljana, Ministry of the Environment and Spatial Planning: 26 p.
- Merc, M. 2006. Statistični posvet za regionalne statistike, 12. 10. 2006. Statistike razvoja podeželja. Statistical Office of the Republic of Slovenia. PowerPoint Slides. [www.stat.si/doc/sosvet/Sosvet\\_18/Sos18\\_s638-2006.ppt](http://www.stat.si/doc/sosvet/Sosvet_18/Sos18_s638-2006.ppt), accessed 18. 9. 2017.
- Milligan, G. W., Cooper, M. C. (1988). A study of standardization of variables in cluster analysis. *Journal of Classification*, 5 (2): 181–204.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/bf01897163>
- Mlakar, A. (2009). Negotovost v prostorsko načrtovalnih postopkih. *Urbani izziv*, 20 (2): 22–35. DOI: <https://doi.org/10.5379/urbani-izziv-2009-20-02-003>
- OECD (1994). Creating rural indicators for shaping territorial policy. OECD publications. Organisation for Economic Co-operation and Development: 93 p.
- OECD (2011). OECD Regional Typology, Directorate for Public Governance and Territorial Development: 16 p.
- Oštir, K. (2006). Daljinsko zaznavanje. Ljubljana, Institute of Anthropological and Spatial Studies ZRC SAZU: 250 p.
- Perko, D. (1998). The Regionalization of Slovenia (= Regionalizacija Slovenije). *Geografski zbornik*, 38: 11–57.
- Perpar, A., Kovačič, M. (2002). Typology and development characteristics of rural areas in Slovenia (= Tipologija in razvojne značilnosti podeželskih območij v Sloveniji). In M. Klemenčič (ed.), *Podeželje na prelomu tisočletja: problemi in izzivi: challenges and problems* (pp. 85–99). Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of Arts, The Department of Geography.
- Petek, F. (2005). Typology of Slovenia's Alpine region with emphasis on land use and changes in land use. *Acta Geographica Slovenica*, 45 (1): 33–45.  
DOI: <https://doi.org/10.3986/ags45102>
- Prosen, A., Zavodnik Lamovšek, A., Žaucer, T., Drobne, S., Soss, K. (2008). Pomen majhnih in srednje velikih mest za razvoj urbanih območij: zaključno poročilo s predlogom meril za razmejitev mest in odprtega prostora. CRP "Konkurenčnost Slovenije 2006–2013". Ljubljana, University of Ljubljana. Faculty of Civil and Geodetic Engineering: 119 p.

- PRP RS 2014–2020 (2013). Program razvoja podeželja Republike Slovenije za obdobje 2014–2020 (= Rural Development Programme 2014–2020). Ljubljana: Ministry of agriculture and environment: 227 p.
- Ravbar, M. (2005). "Urban sprawl": Popačena slika (sub) urbanizacije v Sloveniji? *Geografski vestnik*, 77 (1): 27–36.
- Rebernik, D. (1995). Tipologija stanovanjskih območij ob uporabi metode razvrščanja v skupine na primeru Celja, Kopra in Novega mesta. *Dela*, 11, 131–149.
- Regional statistics team (2013). Urban-rural typology update. Updated urban-rural typology: integration of NUTS 2010 and the latest population grid. Eurostat. [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\\_explained/index.php/Urban-rural\\_typology\\_update](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Urban-rural_typology_update), accessed 18. 5. 2014.
- Rembowska, D. S., Cieslak, I., Szuniewicz, K., Bednarczyk, M. (2014). Identification of homogeneous spatial planning zones with the use of statistical clustering methods. *Conference Proceedings vol 3. 14th SGEM GeoConference on Informatics*,

Konjar M., Zavodnik Lamovšek A., Grigillo D. (2017). Use of unsupervised classification for the determination of prevailing land use topology. *Geodetski vestnik*, 61 (4), 541–581. DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2017.04.541-581

Miha Konjar, Alma Zavodnik Lamovšek, Dejan Grigillo | UPORABA NENADZOROVANE KLASIFIKACIJE ZA DOLOČANJE TIPOLOGIJE PRETEŽNE RABE PROSTORA | USE OF UNSUPERVISED CLASSIFICATION FOR THE DETERMINATION OF PREVAILING LAND USE TOPOLOGY | 541–581 |

# UPORABA NENADZOROVANE KLASIFIKACIJE ZA DOLOČANJE TIPOLOGIJE PRETEŽNE RABE PROSTORA

OSNOVNE INFORMACIJE O ČLANKU

GLEJ STRAN 541

## 1 UVOD

Že leta 1973 je Anderberg zapisal eno osnovnih načel o obdelavi in razvrščanju podatkov, ki velja še danes: »Le skrbna in inteligentna uporaba metod razvrščanja v skupine lahko razkrije neznano strukturo v podatkih in s tem odpre nove poglede na proučevane pojave.« (Anderberg, 1973) Prostorske analize razvoja rabe prostora vse bolj pridobivajo na pomenu, saj omogočajo poglobljen vpogled v prostorski razvoj v okviru dinamičnih procesov, ki prostor preoblikujejo glede na gospodarske, družbene in okoljske dejavnike v daljšem časovnem obdobju. Zaradi številčnosti in razsežnosti dejavnikov, ki vplivajo na spreminjanje rabe prostora, kljub temu velja, da sprememb v prostoru ne moremo napovedati v celoti, saj je skupni vpliv dejavnikov preveč kompleksen, da bi ga bilo mogoče v celoti razumeti (Mlakar, 2009).

Prostorsko načrtovanje teži k skladnemu, uravnoteženemu in trajnostnemu prostorskemu razvoju, ki zahteva prilagojene politike razvoja prostora glede na razlike v stopnji razvitosti, prostorske potenciale in prostorske izzive. Razvitost prostora pa se odraža tudi v dejanski rabi in njenem spreminjanju. Raba prostora je dober pokazatelj stanja, njeno spreminjanje pa je posledica tako sedanjih kot dolgoročnih teženj in razmer v prostoru. Pri raziskovanju razvoja rabe prostora se tako večinoma osredotočamo na dejavnike, ki jih lahko povežemo z lokacijo v prostoru. Tako obravnavano območje razčlenimo na skupine podobnih prostorskih enot (PE) glede na pretežno rabo prostora oziroma na homogena območja, ki jih je mogoče opisati s skupnimi prostorskimi značilnostmi. Pri tem PE obravnavamo kot osnovne gradnike (rastrske celice, naselja, občine, regije idr.), na katere prostor delimo na posamezni prostorski ravni ter jih na podlagi izvedene klasifikacije združujemo v homogene skupine PE. Določitev homogenih skupin PE prispeva k boljšemu razumevanju razvitosti prostora in tudi k sprejemanju smotrnejših odločitev o nadaljnjem prostorskem razvoju na vseh ravneh. Le s prostorskimi politikami, strategijami in drugimi razvojnimi dokumenti, v katerih se upoštevajo lastnosti posameznih homogenih skupin PE, je mogoče tudi uspešno reševanje specifičnih prostorskih izzivov in izkoriščanje prepoznanih prostorskih potencialov za doseganje trajnostnega prostorskega razvoja, izboljšanje razvitosti in konkurenčnosti posameznih območij ter teritorialne kohezije (Green Paper, 2008) na evropski ravni, pa tudi na ravni držav, regij in občin.

Namen članka je predlagati metodo za določanje tipologije pretežne rabe prostora za potrebe členitve prostora pri nadaljnjih analizah rabe prostora in njenih sprememb. Pri klasifikaciji prostorskih enot je bil kot alternativa statističnim programom uporabljen program za obdelavo podob, ki omogoča nadzorovano in tudi nenadzorovano klasifikacijo večkanalnih podob. Na primeru Slovenije sta bili preizkušeni nadzorovana in nenadzorovana klasifikacija. V prispevku za klasifikacijo PE predlagamo uporabo nenadzorovane klasifikacije, za katero pred izvedbo postopka ne potrebujemo nikakršnega



vedenja o obravnavanem prostoru. S ciljem razviti širše uporaben pristop, ki omogoča razvrščanje PE v skupine po izbranih prostorskih značilnostih, je bilo pri razvoju metode predpostavljeno, da razmer v obravnavanem prostoru ne poznamo.

Predlagana metoda temelji na nenadzorovani klasifikaciji, ki se v daljinskem zaznavanju uporablja za razvrščanje pikslov (običajno večkanalnih satelitskih) posnetkov v razrede oziroma skupine. V znanstveni literaturi še ni zaslediti takšnega razvrščanja PE v skupine. Predlog metode združuje izbiro algoritma za razvrščanje PE v skupine in izbiro kazalnikov, s katerimi podrobneje opišemo prostorske značilnosti, ki vplivajo na stanje in spreminjanje rabe prostora ter na podlagi katerih je prostor mogoče členiti v homogene skupine PE. Z ustrezno pripravo vhodnih podatkov (kazalnikov) lahko metodo klasifikacije uporabimo na različnih prostorskih ravneh oziroma klasificiramo različne tipe PE, kot jih obravnavamo v tem članku za potrebe izvedene raziskave. Vsak kazalnik, s katerim so podane vrednosti za izbrani tip PE, je treba preoblikovati v posamezen 'kanal', združena večkanalna podoba kazalnikov pa je nato klasificirana v homogene skupine PE z enakimi prostorskimi značilnostmi. Skupinam PE je nazadnje določena še tipologija glede na opazovani prostorski pojav. Pri tipologiji pretežne rabe prostora gre torej za določanje tipov homogenih skupin PE glede na njihovo značilno, največkrat tudi prevladujočo rabo prostora (na primer kmetijsko, gozdno, urbano idr.).

Izvedenih je bilo več kot petdeset različnih nenadzorovanih klasifikacij slovenskih občin, pri čemer so bile preizkušene različne kombinacije tipov in števila kazalnikov, različni algoritmi za razvrščanje PE v skupine in različne nastavitve parametrov klasifikacije, od izbire števila skupin, omejitve števila iteracij do določitve praga velikosti najmanjše možne spremembe pri iteraciji. Pri tem se je kot prednost uporabe programskih paketov daljinskega zaznavanja za klasifikacijo izkazala tudi možnost takojšnje upodobitve rezultatov, ki je omogočila vizualno spremljanje vpliva sprememb naštetih parametrov na rezultate klasifikacije. Na podlagi analize pridobljenih rezultatov je bila izbrana najprimernejša metoda klasifikacije za določitev tipologije pretežne rabe prostora.

V prispevku je v drugem poglavju predstavljen splošen pregled značilnosti metod klasifikacije PE v homogene skupine in podan pregled obstoječih *širše uporabljenih* metod klasifikacije PE. Podrobneje so bile raziskane tri izbrane metode ter izveden njihov preizkus na primeru Slovenije (poglavje 3). Na podlagi analize rezultatov preizkusa je v poglavju 4 podan predlog lastne metode klasifikacije, ki temelji na uporabi nenadzorovane klasifikacije za določanje tipologije pretežne rabe prostora. Aplikacija metode na primeru Slovenije je predstavljena v poglavju 5, ki mu sledita še sklep in razprava v poglavju 6.

## 2 PREGLED OBSTOJEČIH METOD ZA DOLOČANJE HOMOGENIH OBMOČIJ

Za opredeljevanje homogenih, po izbranih prostorskih značilnostih podobnih skupin PE se največkrat uporabljajo matematično-statistične metode klasifikacije enot v skupine (Carvalho et al., 2009). Z združevanjem podobnih PE v homogene skupine po različnih kriterijih na različnih prostorskih ravneh se ukvarjajo strokovnjaki v tujini (Fukada, 1980; Dijkstra in Poelman, 2013; Rembowska et al., 2014) in pri nas (Ferligoj, 1989; Rebernik, 1995; Kušar, 2004).

V prostorskih analizah uporaba metod klasifikacije podobnih PE v homogene skupine omogoča prepoznanje različnih tipov PE in njihovo prostorsko razporeditev. Celoten postopek klasifikacije lahko

predstavimo s petimi osnovnimi koraki (Košmelj in Breskvar Žaucer, 2006), ki veljajo tudi v splošnem, ne le za klasifikacijo PE:

1. Izbira enot in njihovih lastnosti.
2. Izbira in normalizacija kazalnikov za klasifikacijo, glede na katere želimo, da so si skupine podobne.
3. Računanje podobnosti in različnosti med enotami. Izbira ustrezne razdalje med enotami, ki je odvisna od vrste podatkov in od kriterija podobnosti.
4. Izbira in uporaba ustrezne metode razvrščanja v skupine.
5. Analiza rezultatov, ocena rešitve in določitev tipov homogenih skupin enot.

Prva dva koraka klasifikacije predstavljata izbiro prostorske ravni ter s tem tipa PE in opredelitev kazalnikov, na podlagi katerih želimo analizirati ter klasificirati obravnavane PE. Matematično nabor vrednosti kazalnikov oziroma množico spremenljivk  $X$ , ki opisujejo posamezno  $i$ -to PE, zapišemo kot (1). Pri tem je  $X_i$ ,  $i$ -ta PE,  $m$  število kazalnikov,  $x$  pa njihova vrednost.

$$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{im}) \quad (1)$$

Tako opredeljene PE so izhodišče za nadaljnjo klasifikacijo PE v homogene skupine. Grafično razvrstitev PE, določenih z vrednostjo ene ali več številskih spremenljivk, lahko ponazorimo s točkami v eno- ali večrazsežnem prostoru, kjer je vsaka izmed razsežnosti določena z eno spremenljivko (Kranjc, 2005). Pri tem izbor kazalnikov in tudi njihova primerna priprava odločilno vplivata na učinkovitost klasifikacije PE glede na zastavljeni problem. V splošnem velja, da večje število kazalnikov olajša ločevanje PE in s tem tudi njihovo klasifikacijo v homogene skupine. Seveda z nekritičnim dodajanjem vhodnih podatkov rezultatov ne izboljšamo vedno, saj se ob tem lahko znatno poveča kompleksnost in poslabša razumljivost izvedene klasifikacije. Kot ugotavlja Ferligoj (1989), je pred uporabo metod razvrščanja v skupine koristno, da število kazalnikov zmanjšamo in v analizo vključimo le tiste, za katere smo v predhodni analizi dognali, da imajo zadostno pojasnjevalno moč. Številске kazalnike različnih merskih vrednosti je pri metodah razvrščanja pred uporabo treba normalizirati zaradi enake obtežbe vrednosti. Obsežen pregled različnih možnosti normalizacij pri razvrščanju v skupine podajata Milligan in Cooper (1988).

V naslednjem koraku se je treba odločiti, katera od metod klasifikacije PE (EEA, 2004; EU-LUPA, 2012; Dijkstra in Poelman, 2013; Rembowska et al., 2014) je najprimernejša za reševanje postavljenega problema. Večino metod lahko delimo na: hierarhične, nehierarhične in geometrijske (Ferligoj, 1989), pri čemer se je treba zavedati, da vsaka pri iskanju zakonitosti v podatkih vsiljuje strukturo, ki je vgrajena vanjo. Izbira metode razvrščanja je odvisna predvsem od potrebe in namena uporabe rezultatov. Čeprav so klasifikacije lahko zelo različne, je vsem skupen cilj PE razvrstiti v čim bolj homogene skupine. Pri tem velja načelo podobnosti, da so v skupini PE, ki so si glede na vnaprej določene kriterije čim bolj podobne, v različnih skupinah pa enote, ki so si glede na ta kriterij čim bolj različne (Košmelj in Breskvar Žaucer, 2006). Z analizo dobljenih rešitev postopek klasifikacije končamo z določitvijo in poimenovanjem tipov dobljenih homogenih skupin PE.

Postopke razvrščanja oziroma klasifikacije poznamo tudi na področju daljinskega zaznavanja, kjer je klasifikacija digitalnih podob eden najpomembnejših postopkov pri obdelavi daljinsko zaznanih podatkov (Oštir, 2006). Postopek klasifikacije satelitskih posnetkov se dejansko ne razlikuje veliko od statističnih postopkov razvrščanja podatkov v skupine. Razlika je le pri vhodnih podatkih, ki so pri klasifikaciji

podob pripravljeni v rastrski in ne tabelarni obliki. Osnovna postopka klasifikacije večkanalnih podob sta nadzorovana in nenadzorovana klasifikacija. Pred izvedbo nadzorovane klasifikacije moramo uporabiti lastno znanje o obravnavanem območju, da ustvarimo učne vzorce, na podlagi katerih se v nadaljevanju celotna podoba klasificira v posamezne razrede. Pri nenadzorovani klasifikaciji, za katero pred izvedbo postopka ne potrebujemo nikakršnega vedenja o obravnavanem prostoru, so piksli razporejeni v razrede glede na njihovo 'naravno' združevanje v spektralnem prostoru na podlagi vrednosti izbranih kazalnikov (ENVI EX, 2009).

## 2.1 Pregled dosedanjih klasifikacij prostora v homogene skupine PE

Klasifikacij, ki temeljijo le na kazalnikih naravnih danosti in značilnosti površja, je malo. Kljub temu velja izpostaviti raziskavo, izvedeno v projektu LUPA – *European Land Use Patterns* (2012) v okviru programa ESPON. V projektu predlagana metodologija klasifikacije PE temelji na evropskih podatkih pokrovnosti Corin Land Cover (CLC), kar omogoča izvedbo klasifikacije le na podlagi podatka o pokrovnosti prostora. Klasifikacija, izvedena na evropski ravni, za osnovno PE določa regije na ravni NUTS2/3 (EU-LUPA, 2012).

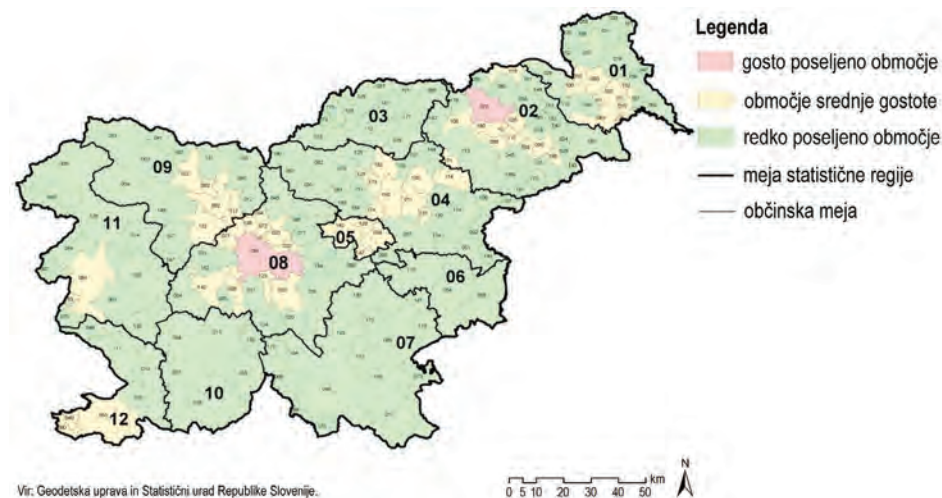
Tudi v Sloveniji so že bile izvedene študije, s katerimi je bilo ozemlje celotne države klasificirano po značilnih naravnogeografskih lastnostih (na primer Marušič et al., 1996). Perko (1998) podaja pregled obstoječih regionalizacij Slovenije, ki kaže na bogato zgodovino členitve države. Izpostavljene so predvsem Melikove členitve, objavljene v štirih regionalno-geografskih knjigah v letih 1954, 1957, 1959 ter 1960, Ilešičeve iz leta 1958 in Gamsove iz leta 1983. Dodatno Perko predlaga svojo naravnogeografsko členitev, ki jo je med letoma 1993 in 1995 pripravljala v sodelovanju z dvema slovenskima geografskima raziskovalnima ustanovama: Geografskim inštitutom Antona Melika ZRC SAZU in Inštitutom za geografijo. Klasifikacija temelji na združevanju PE s podobnimi naravnogeografskimi lastnostmi, od kamninske sestave površja, podnebja, rastja do rabe tal (Perko, 1998). Deli Kovačič et al. (2000) ter Perpar in Kovačič (2002) predstavljata tako imenovano razvojno-topološko členitev Slovenije, s katero se klasificirajo in določajo različni tipi območij glede na njihove razvojne značilnosti ter potenciala, in tako členi slovenski prostor na razvojno homogene skupine PE. Nadalje Gabrijelčič in Fikfak (2002) podeželje delita po stopnji odzivnosti, po obliki pojavov in vrsti potrebnih razvojnih ukrepov. V raziskavi Členitev slovenskega podeželja Kladnik in Ravbar (2003) opisujeta dva načina določevanja podeželskih območij Slovenije, temelječa na uporabi kombinacije kazalnikov, ki ponazarjajo stanje razvitosti, ključne naravne razmere ter razvojne procese v prostoru.

Med pomembnejše členitve, ki klasificirajo prostor po razvitosti, štejemo tudi tipologije mestnih in podeželskih območij. Čeprav v zadnjih desetletjih zaradi urbanizacije in spremljajoče suburbanizacije meja med mestom in podeželjem čedalje bolj izginja (Ravbar, 2005), so v prostorskem in razvojnem smislu razlike med mestnimi in podeželskimi območji še vedno pomembne. Na območju članic EU so se z raziskovanjem odnosov med mestnimi in podeželskimi območji ukvarjali v projektu ESPON z naslovom *Urban-Rural relations in Europe* (Urban-rural, 2005). Pomen razmejitve prostora na mestna in podeželska območja poudarjajo tudi pri organizaciji Eurostat (Statistical office of the European Union) in OECD (Organizaton for Economic Cooperation and Development). Cilj enih in drugih je poiskati opredelitev mestnih in podeželskih območij ter določiti kriterije, na podlagi katerih bi lahko določali

primerljiva območja, namenjena oblikovanju ustrežnejših politik razvoja podeželja ter mest na evropski ravni. Zato so pri Eurostatu že leta 1991 (DG REGIO, 2011) in pri OECD leta 1994 (OECD, 1994) razvili metodi za določanje mestnih in podeželskih območij na podlagi gostote prebivalstva. Metodi klasifikacij PE sta bili od začetnih konceptov že večkrat dopolnjeni zaradi odprave pomanjkljivosti in izboljšanja metodologije (Dijkstra in Poelman, 2008, 2013; Regional statistics team, 2013; Statistics Explained, 2013; Dijkstra in Poelman, 2014).



Slika 1: Urbano-ruralna tipologija OECD na ravni statističnih regij, Slovenija, 2006 (Merc, 2006).



Slika 2: Tipologija Eurostat (glede na stopnjo urbanizacije) na ravni občin, Slovenija, 2006 (Merc, 2006).

Eurostat in OECD metodologiji sta bili v slovenski prostor vpeljani z evropskim projektom Statistike razvoja podeželja, z namenom, da se vzpostavi nabor kazalnikov, potrebnih za načrtovanje razvoja in spremljanja stanja na podeželju (Merc, 2006). Sliki 1 in 2 prikazujeta leta 2006 izvedeno klasifikacijo

PE na ravni slovenskih statističnih regij in občin. Medtem ko prikazani tipologiji homogenih skupin PE temeljita na številu in gostoti prebivalcev v lokalnih administrativnih enotah (občinah), se v novejših klasifikacijah uporablja prebivalstvena mreža, ki podaja podatek o razporeditvi prebivalcev v prostoru in tako zagotavlja natančnejšo podlago za določitev poselitvenih značilnosti območij in regij (SORS, 2017).

Čeprav se po OECD-jevi opredelitvi podeželskih območij vse slovenske statistične regije uvrščajo med zmerno in pretežno podeželske, lahko med posameznimi podeželskimi območji v Sloveniji vendarle opazimo velike razlike v gospodarski in razvojni uspešnosti (PRP RS 2014–2020, 2013). Tovrstne razlike postajajo še očitnejše pri obravnavi na nižjih prostorskih ravneh, vendar se je za tako podrobno obravnavo pokazala potreba po razvoju nove ali vsaj izboljšanje metodologije klasifikacije PE.

## 2.2 Sklepne ugotovitve o pregledu metod klasifikacije prostorskih enot v homogene skupine

Pregled obstoječih tipologij in metod za klasifikacijo kaže na potrebo po prepoznavanju homogenih skupin PE s podobnimi prostorskimi značilnostmi, na podlagi katerih je mogoče spremljati stanje in razvoj v prostoru, hkrati pa pomenijo podporo odločanju in oblikovanju prostorskih razvojnih politik. Največkrat so klasifikacije vezane na posamezno raven opazovanja ali na specifične podatke in tako ne omogočajo širše uporabnosti. Določitev tipov homogenih skupin PE je odvisna predvsem od izbire kazalnikov za klasifikacijo, na podlagi katerih je mogoče kar najbolje opisati razmere v prostoru in določiti meje, ki prostor členijo tako po podobnostih kot po razlikah med obravnavanimi PE. Pri tem gre le redko za posamezen kazalnik, saj prostora in razmer v njem ni mogoče opisati tako preprosto. Najpogostejše so zato uporabljene skupine kazalnikov ali sestavljeni kazalniki, s katerimi je mogoče prostor in njegove značilnosti ustrezno opisati.

## 3 PREIZKUS IZBRANIH METOD NA PRIMERU SLOVENIJE

Z namenom oblikovanja primerne metode za izvedbo klasifikacije PE in določitev tipov homogenih skupin PE glede na pretežno rabo prostora so bile na primeru Slovenije preverjene tri izmed predstavljenih metod klasifikacije:

- metodologija klasifikacije PE po Eurostatu, s katero razmejujemo mestna in podeželska območja na podlagi stopnje urbanizacije (DG REGIO, 2011; Regional statistics team, 2013);
- metodologija klasifikacije PE po OECD (Statistics Explained, 2013) ter
- metodologija klasifikacije PE po prevladujoči pokrovnosti prostora (EU-LUPA, 2012).

Glede na razpoložljivost podatkov sta bili klasifikaciji PE Eurostat in OECD izvedeni za leto 2012, klasifikacija PE po prevladujoči pokrovnosti prostora pa za leto 2006. Pri tem so bile analizirane prednosti in pomanjkljivosti posamezne metode ter uporabnost različnih kazalnikov za določitev homogenih skupin PE za potrebe členitve prostora pri analizah stanja in spreminjanja rabe prostora. Na podlagi preizkusa metod so bila pripravljena izhodišča za oblikovanje lastnega metodološkega pristopa za klasifikacijo PE in določanje tipov homogenih skupin PE. V nadaljevanju so prikazani le najpomembnejši koraki in rezultati za vse tri preverjene metode.

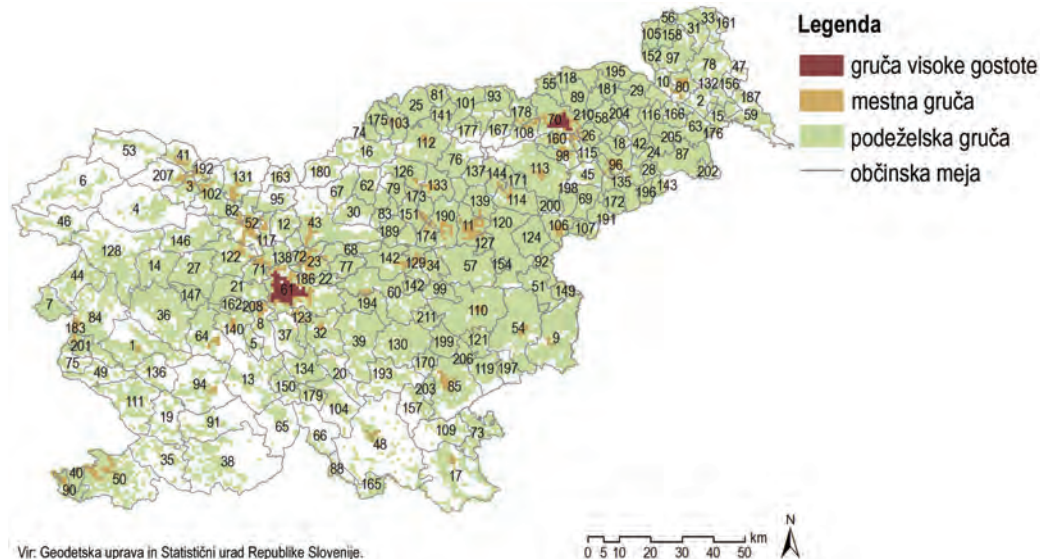


### 3.1 Metoda klasifikacije prostorskih enot po Eurostatu

Eurostatova metodologija (DG REGIO, 2011; Regional statistics team, 2013) temelji na podatkih o gostoti prebivalstva ter dveh dodatnih kriterijih: (1) prostorski povezanosti ter (2) kriteriju številčnosti, ki določa najmanjše število prebivalstva. Po predlogu Dijkstra in Poelmana (2013) je metodi, s katero je bila izvedena klasifikacija slovenskih občin v tri skupine PE z značilno stopnjo urbanizacije, dodan še kriterij dostopnosti. Za izračun dostopnosti je bil uporabljen napreden model dostopnosti, opisan in nadgrajevan v Drobne (2003, 2014), Drobne et al. (2004) ter Drobne in Paliska (2015). Klasifikacija PE, v prvi fazi rastrskih celic, nato občin, je bila izvedena v programskem paketu ESRI ArcGIS ob uporabi prebivalstvene mreže oziroma rastra gostote prebivalstva Slovenije velikosti 1 x 1 km iz leta 2012.

Metoda temelji na postopku združevanja rastrskih celic gostote prebivalstva v skupine oziroma gruče (slika 3):

- gruče visoke gostote: sklenjena skupina rastrskih celic z gostoto prebivalstva vsaj 1500 preb./km<sup>2</sup>, ki zajema območje z najmanj 50.000 prebivalci. Pri gručenju rastrskih celic sta pomembni dve pravili: 1. rastrske celice se v gruče ne združujejo po diagonalah in 2. Pravilo sklenjenosti gruč, ki določa, da je treba v primeru vsaj petih okoliških rastrskih celic iste gruče, prazna polja zapolniti;
- mestne gruče: povezana skupina rastrskih celic z gostoto prebivalstva vsaj 300 preb./km<sup>2</sup>, ki zajema območje z najmanj 5000 prebivalci. Kriterij prostorske povezanosti ob tem določa, da združevanje poteka med vsemi sosednjimi rastrskimi celicami, tudi diagonalnimi;
- podeželske gruče: preostale rastrske celice zunaj gruč visoke gostote in urbanih gruč.



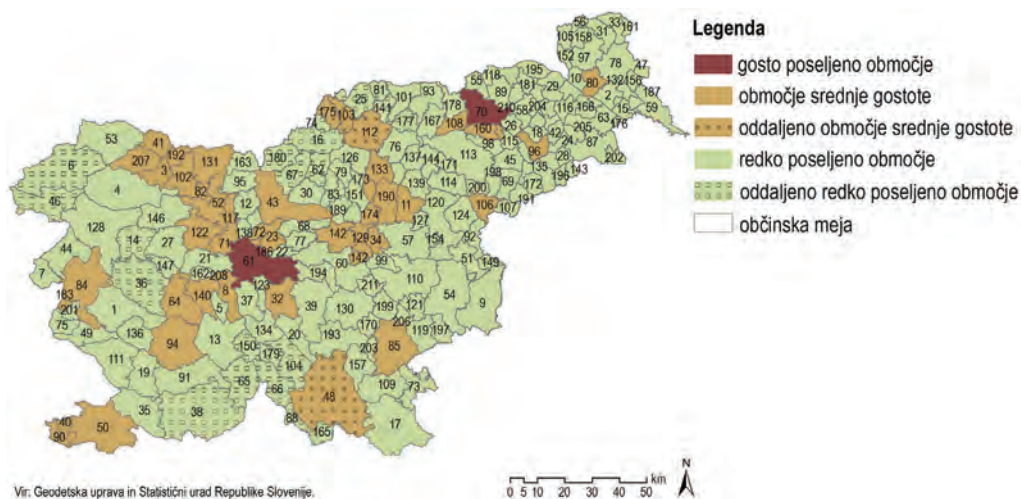
Slika 3: Gruče rastrskih celic gostote prebivalstva po Eurostatovi metodi, Slovenija, 2012.

Klasifikacija občin se nato izvede glede na delež prebivalstva, ki živi v prepoznanih gručah (slika 4):

- gosto poseljena območja oziroma mesta ter večja mestna območja predstavljajo občine, v katerih vsaj 50 % prebivalcev živi v gručah visoke gostote;

- redko poseljena območja oziroma podeželska območja tvorijo občine, kjer vsaj 50 % prebivalcev živi zunaj območij urbanih gruč in gruč visoke gostote;
- območja srednje gostote oziroma območja manjših mest ter primestna območja sestavljajo občine, ki ne izpolnjujejo pogoja za gosto ali redko poseljena območja.

Dodaten kriterij dostopnosti omogoča določitev še dveh dodatnih tipov območij: oddaljena redko poseljena območja in oddaljena območja srednje gostote (slika 4). Za oddaljena veljajo območja, v katerih več kot 50 % prebivalstva živi zunaj 45-minutne dostopnosti do urbanih središč, ki so bila v projektu Pomen majhnih in srednje velikih mest (Prosen et al., 2008) prepoznana kot pomembna za razvoj podeželskih območij.



Slika 4: Klasifikacija občin po Eurostatovi metodi z dodatnim kriterijem dostopnosti, Slovenija, 2012.

Analiza izvedene klasifikacije PE je pokazala, da uporaba rastrskih podatkov odpravlja vpliv velikosti PE na klasifikacijo, kar se je izkazalo kot prednost preizkušene metode. Njena slabost pa je uporaba le kriterija gostote prebivalstva, saj ne omogoča prepoznavanja vseh urbanih središč v Sloveniji. Pomanjkljivosti se kažejo predvsem pri prepoznavanju manjših, vendar za slovenski urbani sistem pomembnih središč s pomembno vlogo na regionalni ali celo državni ravni. Hkrati pa med območji srednje gostote izstopajo občine, kot so Gorje (207), Prevalje (175), Kočevje (48), Rogaška Slatina (106), z manjšim središčem, v katerem pa živi večina prebivalstva posamezne občine, kar dodatno kaže na pomanjkljivost uporabe gostote prebivalstva kot edinega kriterija.

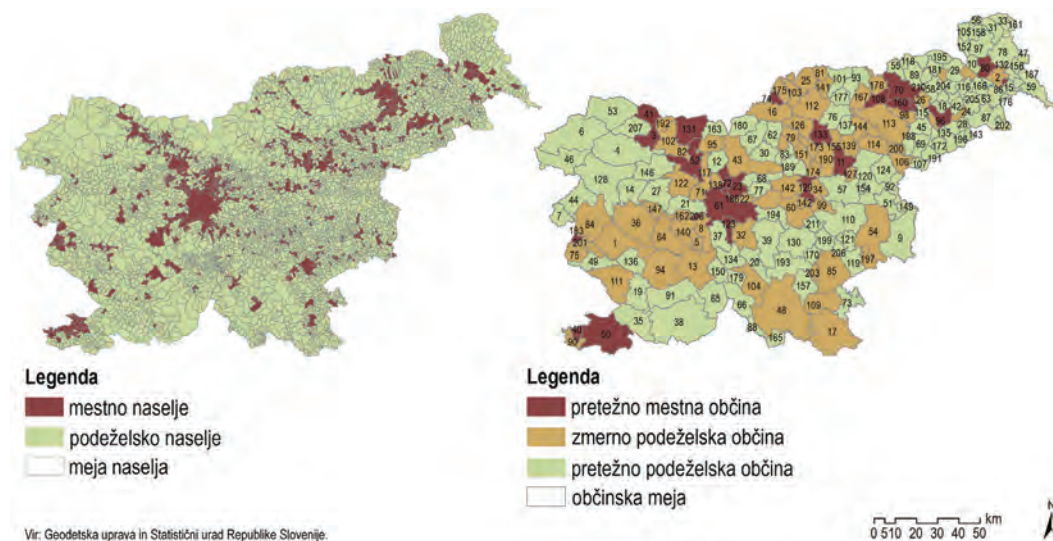
### 3.2 Metoda klasifikacije prostorskih enot po OECD

Postopek klasifikacije PE se izvede na dveh prostorskih ravneh, ob tem pa je edini kriterij za določitev mestnih in podeželskih območij gostota prebivalstva (OECD, 2011; Statistics Explained, 2013). Po izvorni metodologiji obstajata dve ločeni hierarhični stopnji, občinska in regionalna, ki pa sta se pri analizah razvoja rabe prostora v Sloveniji pokazali kot neprimerni, saj so rezultati klasifikacije na ravni regij presplošni. Metodologija je bila zato preizkušena na nižjih prostorskih ravneh. Kot PE so se uporabile administrativne enote naselij in občin (slika 5). Na podlagi podatka o gostoti prebivalstva iz leta 2012

so bila določena mestna naselja z najmanjšo gostoto prebivalstva 150 preb./km<sup>2</sup> ter preostala podeželska naselja. Temu je sledila klasifikacija občin glede na delež prebivalstva, ki živi v podeželskih naseljih:

- pretežno podeželske občine, kjer več kot 50 % prebivalcev živi v podeželskih naseljih,
- zmerno podeželske občine s 15 %–50 % deležem prebivalcev, ki živijo v podeželskih naseljih, in
- pretežno mestne občine z manj kot 15 % prebivalcev, ki živijo v podeželskih naseljih.

Tretji kriterij, prisotnost večjega mesta, se po metodologiji OECD upošteva pri mestih z najmanj 200.000 oziroma 500.000 prebivalci. V to kategorijo spada le naselje Ljubljana, kar pa nima dodatnega vpliva na klasifikacijo, saj je Mestna občina Ljubljana (61) že po predhodnih kriterijih opredeljena kot pretežno mestna občina.



Slika 5: Klasifikacija podeželskih in mestnih naselij (levo) ter podeželskih in mestnih občin (desno) po metodologiji OECD, Slovenija, 2012.

Analiza rezultatov je pokazala na odvisnost metodologije OECD od prostorske ravni obravnave. Zaradi nižanja začetne prostorske ravni obravnave z občin na raven naselij in klasifikacije PE brez prilagoditve mejnih vrednosti gostote prebivalstva vse več sicer manjših enot izpolnjuje pogoje za uvrstitev med mestna naselja. Posledično se povečuje tudi število pretežno mestnih ter zmerno podeželskih občin pri nadaljnji klasifikaciji PE v homogene skupine. Tako je ob nižanju prostorske ravni obravnave nujna tudi prilagoditev mejnih vrednosti gostote prebivalstva. Rezultati so pokazali na še nekatere posebnosti metodologije. Zaradi kriterija gostote prebivalstva na rezultate klasifikacije močno vpliva tudi sama velikost PE. Po površini manjša naselja namreč izkazujejo višjo gostoto prebivalstva zaradi manjšega podeželskega zaledja, zato se praviloma uvrščajo med mestna naselja. To pomeni, da so tudi manjše občine, v katerih je le nekaj naselij, kot so Mežica (oznaka na sliki 4 desno: 74), Odranci (86), Log-Dragomer (208) itd., opredeljene kot pretežno mestne. Vpliv velikosti PE je zaznati po vseh kategorijah. Dodatno rezultati kažejo, da obravnavana metoda občine, katerih prebivalstvo je manj razpršeno, razvršča v pretežno mestne ali vsaj zmerno podeželske občine, ne glede na število prebivalcev ali velikost podeželskega zaledja. Primer so občine Bled (3), Tržič (131), Ruše (108), Kočevje (48) idr. Ponovno se je pokazalo, da je za natančnejše rezultate klasifikacije PE nujna uporaba večjega števila dopolnjujočih se kazalnikov.

### 3.3 Metoda klasifikacije prostorskih enot po prevladujoči pokrovnosti prostora

Metodo so razvili za prepoznavanje značilnih oziroma prevladujočih tipov pokrovnosti prostora na ozemlju Evrope (EU-LUPA, 2012). Temelji na rastrskih podatkih CLC (Corine Land Cover) o pokrovnosti zemeljskega površja z mrežo 100 x 100 m, ki so edini tovrstni razpoložljivi podatki za celotno ozemlje Evrope. Nomenklatura CLC na tretji ravni ločuje 44 kategorij pokrovnosti prostora. Uporabljeni so bili podatki CLC iz leta 2006, pridobljeni s spletnega portala evropske okoljske agencije (EEA, 2014). Na primeru Slovenije je bil preizkušen prvi del metodologije, ki podatke o pokrovnosti CLC klasificira po prevladujoči pokrovnosti prostora v šest mestnih in sedem podeželskih homogenih skupin PE, ki so v tem primeru rastrske celice velikosti 1 km<sup>2</sup>.

Klasifikacija temelji na postopku združevanja podatkov CLC, podanih v mreži rastrskih celic 100 x 100 m, v rastrske celice velikosti 1 x 1 km. Za posamezno PE, rastrsko celico velikosti 1 km<sup>2</sup>, je treba izračunati štiri osnovne statistike (minimum, maksimum, mediana in modus) glede na nomenklaturu CLC (44 kategorij) in pojavnost kategorij pokrovnosti na območju 1 km<sup>2</sup> posamezne rastrske celice. Po nomenklaturi CLC kategorije zavzamejo vrednostni od 1 do 44 in se uporabljajo za izračun štirih statistik. Pri tem minimum in maksimum prikazujeta razpon tipov pokrovnosti v posamezni celici, mediana in modus pa podajata informacijo o prevladujočem tipu pokrovnosti. Vrednosti izračunanih štirih osnovnih statistik za celotno mrežo rastrskih celic 1 x 1 km, ki prekriva obravnavano območje, so vhodni podatek za nadaljnjo klasifikacijo PE. Prvi del postopka klasifikacije omogoča ločevanje mestnih in podeželskih rastrskih celic oziroma PE:

- mestne celice: vrednost vsaj dveh osnovnih statistik med 1 in 11, ki po nomenklaturi CLC pripadajo kategoriji grajenih površin, in
- podeželske celice: vse preostale celice, ki ne izpolnjujejo pogoja za mestne.

Drugi del klasifikacije nato ločeno obravnava prepoznane mestne in podeželske celice. Klasifikacija v homogene skupine prevladujoče pokrovnosti prostora se izvede na podlagi štirih predhodno izračunanih statistik z Wardovim algoritmom, ki rastrske celice gruči tako, da so v posameznih skupinah celice s čim bolj podobnimi vrednostmi, med skupinami pa so čim večje razlike (Košmelj in Breskvar Žaucer, 2006). Rezultat je šest mestnih tipov in sedem podeželskih tipov gruč rastrskih celic.

Kljub nekaterim prednostim metodologije, kot je uporaba večjega števila kazalnikov ter podatka o pokrovnosti prostora pri klasifikaciji, so pomembnejše njene pomanjkljivosti oziroma omejitve. Največja pomanjkljivost je predvsem odvisnost od podatkov pokrovnosti CLC oziroma od vnaprej podane nomenklature 44 kategorij pokrovnosti. Ob tem uporaba podatkov CLC zaradi manjše podrobnosti ter slabše natančnosti ne omogoča podrobnejših analiz na lokalni ravni. Podatki omogočajo le kartiranje v merilu 1 : 100.000, kar pomeni vnaprej določeno stopnjo prostorske in vsebinske generalizacije podatkov pokrovnosti (najmanjša površina kartiranja 25 hektarov, najmanjša širina poligona 100 metrov in najmanjša zaznana sprememba v pokrovnosti 5 hektarov), ki tako omejuje natančnost prikaza in lokacije prepoznanih kategorij pokrovnosti prostora na nižjih ravneh. Zaradi odvisnosti od podatkov CLC metodologije ni mogoče preizkusiti na drugih, prostorsko natančnejših podatkovnih slojih, kar onemogoča njeno uporabo za potrebe podrobnejših analiz spreminjanja rabe prostora.

### 3.4 Sintezne ugotovitve preizkusa izbranih metod klasifikacije PE v homogene skupine v Sloveniji

Analiza izbranih metod in njihovih rezultatov na ravni Slovenije je pokazala, da imajo sicer preizkušene



in kakovostne metode tudi pomanjkljivosti. Predvsem je omejena njihova uporaba na nižjih prostorskih ravneh (raven občine ali celo naselja), saj ne omogočajo podrobnega klasificiranja PE, ki je potrebno za proučevanje sprememb rabe prostora. Pokazala se je tudi potreba po uporabi dodatnih kazalnikov, s katerimi lahko PE in prostorske značilnosti, ki vplivajo na rabo in spreminjanje rabe prostora, podrobneje opišemo. Kljub prepoznani pomanjkljivostim so analizirane metode dobra podlaga za nadgradnjo in razvoj prilagojene lastne metode klasifikacije PE za potrebe členitve prostora za opazovanje spreminjanja rabe prostora.

#### 4 NENADZOROVANA KLASIFIKACIJA ZA DOLOČANJE TIPOV HOMOGENIH SKUPIN PROSTORSKIH ENOT PRETEŽNE RABE PROSTORA

Predlagamo nov pristop oziroma metodo klasifikacije PE za določanje tipov homogenih skupin pretežne rabe prostora, ki temelji na nenadzorovani klasifikaciji podob. Metoda je bila razvita, da bi omogočala širšo uporabnost brez obsežnih predhodnih analiz. Postopek nenadzorovane klasifikacije v osnovi razdelimo na razvrščanje PE v homogene skupine in prepoznavanje teh skupin (Oštir, 2006). Razvrščanje PE v homogene skupine obsega izbiro števila in vrste kazalnikov, ki opisujejo značilnosti PE, in izbiro algoritma nenadzorovane klasifikacije, ki določa pravila, po katerih se PE združujejo. Skupine, ki nastanejo s takšnim razvrščanjem PE, so homogene sklenjene celote. S postopkom prepoznavanja homogenih skupin se določijo tipi PE, ki se jim nato dodelijo še ustrezne oznake. Postopek prepoznavanja skupin PE se izvede na podlagi dejanskih vrednosti, ki jih kazalniki zavzemajo po skupinah. Na podlagi dejanske vrednosti kazalnikov in izračunanih značilnih spremenljivk (minimum, maksimum, srednja vrednost in standardni odklon) po skupinah PE je skupine PE mogoče prepoznati in jim določiti značilnosti, ki jih zaznamujejo.

##### 4.1 Izbira in priprava kazalnikov za nenadzorovano klasifikacijo

Preizkus obstoječih metod klasifikacije PE je pokazal, da dejavnikov, ki vplivajo na spremembe prostora, ni mogoče opisati le na podlagi enega kazalnika, temveč je treba uporabiti kombinacijo več kazalnikov. Ločen kazalnik o maksimalnem deležu rabe prostora nam lahko pove veliko o naravnih danostih v prostoru, prevladujoči kmetijski panogi in drugem, ne omogoča pa ustreznega ločevanja PE pri klasifikaciji prostora. Za podrobno določitev lastnosti, ki vplivajo na lokacijo sprememb rabe prostora ter prepoznavanje podobnosti in razlik med PE glede razvoja rabe prostora je bil na podlagi preizkusa izbranih obstoječih metodologij (Eurostat, OECD, prevladujoča pokrovnost prostora) pripravljen začetni nabor 22 kazalnikov (preglednica 1).

Relativno hitra izvedba nenadzorovane klasifikacije PE in možnost takojšnje upodobitve rezultatov je omogočila vizualno spremljanje vpliva izbire tipa, števila in kombinacije kazalnikov. Tako je bila izvedba začetnih klasifikacij PE namenjena predvsem preizkusu posameznih kazalnikov glede na njihovo pojasnjevalno moč in preizkusu njihovega vpliva na klasifikacijo. Za izračun vrednosti kazalnikov so bili pri preizkusu uporabljeni podatki iz javno dostopnih slovenskih podatkovnih baz (baza Statističnega urada RS, podatki ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano ter podatki ministrstva za finance). Izračun vrednosti kazalnikov pri predlagani metodi klasifikacije PE ni vezan na posamezen vir podatkov, temveč določa le tipe kazalnikov za klasifikacijo. Izbira podatkov je odvisna predvsem od obravnavanega območja pa tudi od prostorske ravni obravnave. Tako izračun vrednosti posameznega kazalnika temelji na razpoložljivih podatkih za obravnavano območje oziroma PE, ki jih klasificiramo.



Preglednica 1: Začetni nabor 22 kazalnikov pri klasifikaciji PE za določanje tipov pretežne rabe prostora

| PROSTORSKE ZNAČILNOSTI                          |                                        |                                                         |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| URBANOST                                        | DEJANSKA RABA                          | DOSTOPNOST                                              |
| število prebivalcev                             | njivske površine na prebivalca         | povprečna dostopnost PE do urbanih središč              |
| gostota prebivalstva                            | površine trajnih nasadov na prebivalca | povprečna dostopnost prebivalstva PE do urbanih središč |
| št. prebivalcev na pozidane površine            | travniške površine na prebivalca       |                                                         |
| delež urbanega prebivalstva                     | gozdne površine na prebivalca          |                                                         |
| prihodki in drugi prejemki občine na prebivalca | pozidane površine na prebivalca        |                                                         |
| investicijski odhodki občine na prebivalca      | ostale površine na prebivalca          |                                                         |
|                                                 | delež njivskih površin                 |                                                         |
|                                                 | delež površin trajnih nasadov          |                                                         |
|                                                 | delež travniških površin               |                                                         |
|                                                 | delež gozdnih površin                  |                                                         |
|                                                 | delež pozidanih površin                |                                                         |
|                                                 | delež ostalih površin                  |                                                         |
|                                                 | delež površin intenzivnega kmetijstva  |                                                         |
|                                                 | delež vseh kmetijskih površin          |                                                         |

Dodatno je bil izračunan Pearsonov koeficient korelacije, s čimer se je bilo mogoče izogniti večkratni uporabi zelo podobnih ali izključujočih se kazalnikov. Izvedena je bila analiza rezultatov klasifikacij PE na podlagi izračunanih reprezentativnih vrednosti in dejanskih vrednosti kazalnikov po skupinah PE. Oblikovan je bil končni nabor osmih kazalnikov (preglednica 2).

Preglednica 2: Nabor izbranih kazalnikov za klasifikacijo PE pri določanju tipov pretežne rabe prostora

| OZNAKA KAZALNIKA | IME KAZALNIKA                 |
|------------------|-------------------------------|
| GP               | gostota prebivalstva          |
| DUP              | delež urbanega prebivalstva   |
| D11              | delež njivskih površin        |
| D12              | delež površin trajnih nasadov |
| D13              | delež travniških površin      |
| D20              | delež gozdnih površin         |
| D30              | delež pozidanih površin       |
| D100             | delež ostalih površin         |

Kazalniki gostota prebivalstva (GP), delež urbanega prebivalstva (DUP) ter delež pozidanih površin (D30) opisujejo urbanost prostora, prepoznano kot pomembno značilnost, ki prostor ločuje glede na stopnjo razvitosti (Kokole, 1978) in značilno vpliva na spreminjanje njegove rabe. Urbanost prostora združuje

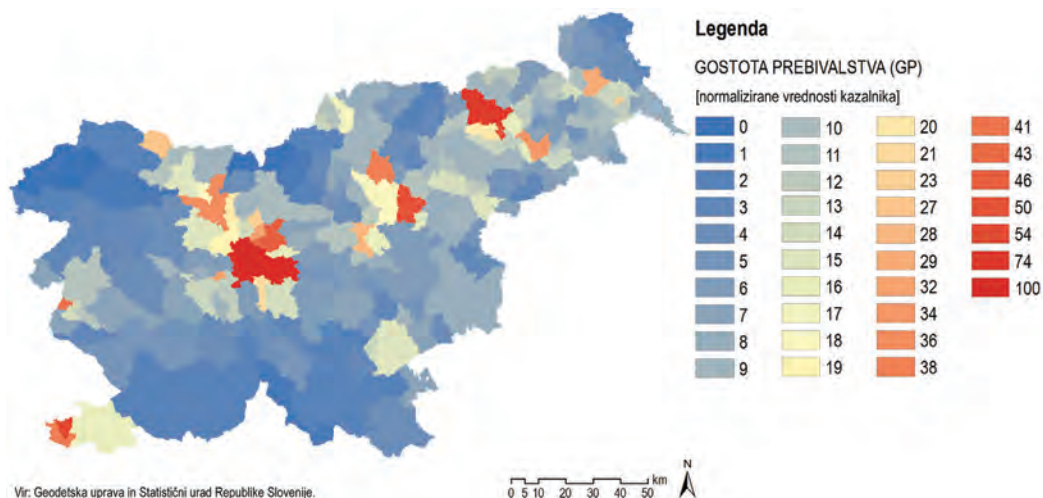
prostorski vidik različnih gospodarskih, družbenih, okoljskih, pa tudi kulturoloških dejavnikov. Tako s to prostorsko značilnostjo povezujemo tudi različne prepoznane trende, kot so zaraščanje na podeželskih območjih, pozidava kmetijskih zemljišč v bližini urbanih središč idr. Pri tem kazalnik delež pozidanih površin (D30) dopolnjuje kazalnik gostote prebivalstva (GP), saj slednji ne upošteva urbanih površin brez prebivalcev, kot so območja trgovine, športnih objektov, industrije in druga. Tretji kazalnik, delež urbanega prebivalstva (DUP), ki izhaja iz Eurostatove metodologije stopnje urbanizacije, pa vsaj delno odpravlja vpliv velikosti obravnavanih PE, od česar sta odvisna oba predhodno obravnavana kazalnika (GP in D030). Kazalnik DUP se izračuna kot delež prebivalstva PE, ki živi v gručah visoke gostote in urbanih gručah (slika 3). Tipi gruč so določeni po Eurostatovi metodologiji (Regional statistics team, 2013), ki je podrobneje razložena v poglavju 3.1. Kombinacija vseh treh kazalnikov omogoča podrobnejšo klasifikacijo, hkrati pa kazalniki skupaj podrobneje opišejo urbanost.

Ostali izbrani kazalniki v preglednici 2 (D11, D12, D13, D20, D30 ter D100) opisujejo obstoječo rabo prostora. Odražajo tako naravne danosti območja (relief, geološko zgradbo, podnebje itd.) kot tudi dosedanje trende razvoja rabe prostora. Dejanska raba prostora je tako druga pomembna prostorska značilnost, ki združuje podatek o naravnih ter tudi družbenih prvinah in dejavnikih, značilnih za posamezno območje (Petek, 2005). Opišemo jo z izbranimi kazalniki deležev pomembnejših kategorij dejanske rabe prostora (D11, D12, D13, D20, D30), ki zajemajo poglobitvene značilnosti in razlike v rabi prostora. Pri tem smo upoštevali načelo, da je treba izbrati le manjše število kazalnikov, ki imajo zadostno pojasnjevalno moč (Ferligoj, 1989). Nabor kazalnikov pomembnejših kategorij rabe prostora, kategorij s povprečno najvišjimi deleži, dopolnjuje kazalnik deleža ostalih površin (D100). Kazalnik združuje preostale kategorije rabe prostora, ki so praviloma enakomerno porazdeljene po celotnem obravnavanem območju in tako ne omogočajo ločevanja med PE pri klasifikaciji (na primer vodne površine). Kljub temu je kazalnik D100 treba vključiti v klasifikacijo, saj omogoča prepoznavanje izjem, primere ene ali manjšega števila PE, ki jih zaznamuje velik delež posebnih rab, kot so večje površine nerodovitnih in za gradnjo manj primernih površin, večje vodne površine idr.

Vrednosti kazalnikov so bile pred klasifikacijo PE normalizirane in preračunane na cela števila med 0 in 100 (2). Z normalizacijo podatkov so bili uravnoteženi različni razponi številčnih vrednosti, ki jih lahko zavzame posamezen kazalnik. S tem je bila zagotovljena primerljivost vpliva kazalnikov na klasifikacijo.  $x_{ij}$  je dejanska vrednost  $i$ -tega kazalnika  $j$ -te PE,  $z_{ij}$  je 'normalizirana' vrednost pikslov pripadajoče PE,  $\min X_i$  in  $\max X_i$  pa pomenita minimalno oziroma maksimalno dejansko vrednost  $i$ -tega kazalnika vseh PE.

$$z_{ij} = \left[ \frac{x_{ij} - \min X_i}{\max X_i - \min X_i} \cdot 100 \right]. \quad (2)$$

Za vsak kazalnik je bil izdelan rastrski kanal. Vsem celicam posamezne PE na rastrski podobi Slovenije je bila dodeljena ustrezna vrednost kazalnika. Primer kazalnika gostota prebivalstva (GP), enega od kanalov vhodne podobe v klasifikacijo, je prikazan na sliki 6.



Slika 6: Kazalnik gostota prebivalstva (GP), urejen kot kanal vhodne podobe za nenadzorovano klasifikacijo, Slovenija, 2012.

Kanali, izdelani iz kazalnikov, so bili združeni v večkanalno rastrsko podobo, ki smo jo analizirali s pikselno nenadzorovano klasifikacijo. Ker so vrednosti celic homogene za celotno PE na posameznem kanalu, so rezultati pikselne klasifikacije enaki, kot če bi izvedli objektno klasifikacijo na ravni PE (s pikselno klasifikacijo se PE ni razdelila na manjše skupine).

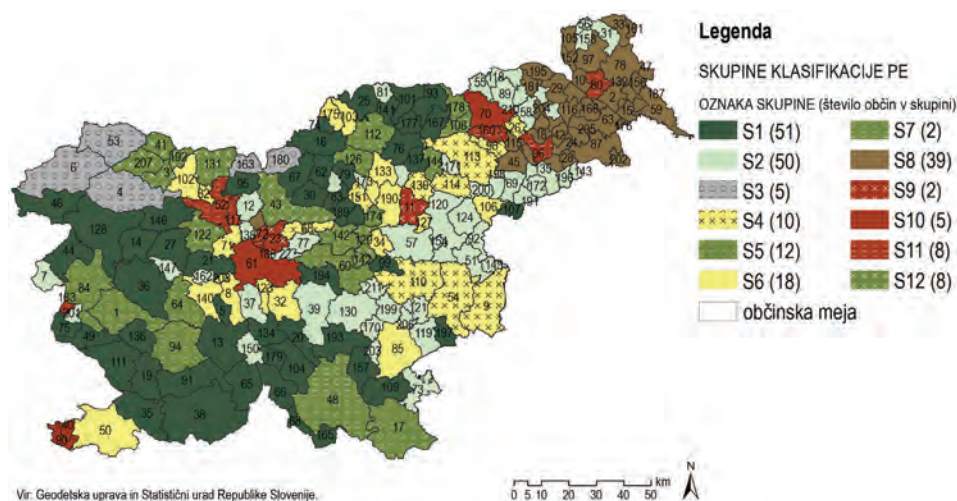
#### 4.2 Izbira algoritma za nenadzorovano klasifikacijo prostorskih enot

Za razvrščanje večrazsežnih podatkov v skupine se uporabljajo različni matematični algoritmi, ki so praviloma računsko precej zahtevni (Oštir, 2006). Eden najpreprostejših je K-means, pri metodah razvrščanja v statistiki poznan tudi kot metoda voditeljev (Košmelj in Breskvar Žaucer, 2006). Metoda je iteracijskega tipa, prištevamo jo med metode lokalne optimizacije in temelji na načelu iskanja največje podobnosti. Algoritem ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) je nekoliko izboljšan algoritem K-means. ISODATA deluje dinamično, kar pomeni, da lahko po potrebi združuje sorodne skupine, briše majhne skupine in velike razdeli na več delov.

Pri uporabi algoritma ISODATA na postopek razvrščanja vpliva predvsem izbira števila skupin. Kolikor več jih je, toliko bolj se izboljšuje mera podobnosti v posameznih skupinah, povečujejo se tudi razlike med njimi, izgublja pa se preglednost postopka razvrščanja. Prednost večjega števila skupin (izbrali smo jih dvanajst) je možnost naknadnega združevanja v postopku določitve tipov PE oziroma homogenih skupin PE. Postopek klasifikacije se prične z naključno izbiro začetnih centrov, imenovanih tudi začetni voditelji, za izbrano število skupin, ki so enakomerno porazdeljeni po prostoru podatkov (ENVI EX, 2009). Razvrščanje enot nato poteka iterativno, pri čemer postopek omejuje izbira števila iteracij in določitev praga velikosti najmanjše spremembe. Da izbira dodatno ne vpliva na postopek razvrščanja, števila iteracij ne omejujemo oziroma izberemo visoko omejitev (izbrali smo jih sto). Odstotek površine enot, ki v iteraciji lahko spremenijo skupino, pa nastavimo na vrednost, ki ustreza površini najmanjše obravnavane PE v razmerju s površino celotnega območja obdelave (pri izvedeni klasifikaciji slovenskih občin je bil nastavljen na 0,015 %). Tako omogočimo tudi najmanjše spremembe in dodatno ne omejimo postopka razvrščanja.

## 5 PREIZKUS PREDLAGANE METODE NA PRIMERU SLOVENIJE

Klasifikacija PE je bila izvedena s programom ENVI (Harris, 2017). S predlagano metodo je bilo klasificiranih 210 slovenskih občin iz leta 2011. Z uporabo osmih normaliziranih kazalnikov (preglednica 2) je bila izvedena klasifikacija PE na ravni občin na dvanajst skupin oziroma razredov (slika 7), ki omogoča podrobnejšo prostorsko členitev Slovenije, hkrati pa po potrebi dopušča naknadno združevanje skupin pri določanju tipologije homogenih skupin PE. Začetne vrednosti izbranih kazalnikov po občinah (preglednica 2) so bile izračunane na podlagi podatkov o številu prebivalcev po občinah iz Statističnega urada RS ter podatkov ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP). Gostota prebivalstva se nanaša na podatek o številu prebivalstva po občinah v letu 2012, delež urbanega prebivalstva je izračunan kot delež prebivalstva s stalnim prebivališčem na mestnih območjih, določenih po Eurostatovi metodologiji stopnje urbanizacije, in temelji na rastru gostote prebivalstva Slovenije iz leta 2012. Deleži dejanske rabe prostora pa so izračunani iz sloja dejanske rabe MKGP iz leta 2012.



Slika 7: Rezultat nenadzorovane klasifikacije slovenskih občin po izbranih osmih kazalnikih, Slovenija, 2012.

Rezultati klasifikacije vseh 210 slovenskih občin na dvanajst skupin so zajeti tudi v preglednici, v kateri so podane značilne vrednosti ustvarjenih skupin. V prispevku so zaradi obsega celotne preglednice prikazane le značilne vrednosti skupin za dva izmed izbranih osmih kazalnikov (GP in D30). Skupine so pri tem oštevilčene naključno glede na postopek razvrščanja (preglednica 3).

Glede značilnih vrednosti v preglednici 3 velja opozoriti, da so bili pri izračunu rezultatov za minimalno, maksimalno, srednjo vrednost in standardni odklon uporabljeni 'normalizirani' vhodni podatki z vrednostmi od 1 do 100 (enačba 2). Izračunane statistike tako ne ustrezajo dejanskim vrednostim. Slednje lahko za posamezno skupino izračunamo iz izvornih vrednosti kazalnikov.

Rezultati klasifikacije so bili ocenjeni subjektivno na podlagi poznavanja razmer na področju prostorskega načrtovanja in rabe prostora v Sloveniji. Analitična ocena klasifikacije ni bila izvedena, je pa bila opravljena primerjava z rezultati treh preizkušenih obstoječih metod. Ocena, primerjava in dodatna analiza rezultatov na podlagi dejanskih vrednosti kazalnikov po skupinah so pokazali, da je klasifikacija

dala zadovoljive rezultate in tako podaja podrobno členitev slovenskih občin po homogenih skupinah PE glede na prevladujočo rabo prostora.

Preglednica 3: Statistične vrednosti skupin po izvedeni nenadzorovani klasifikaciji

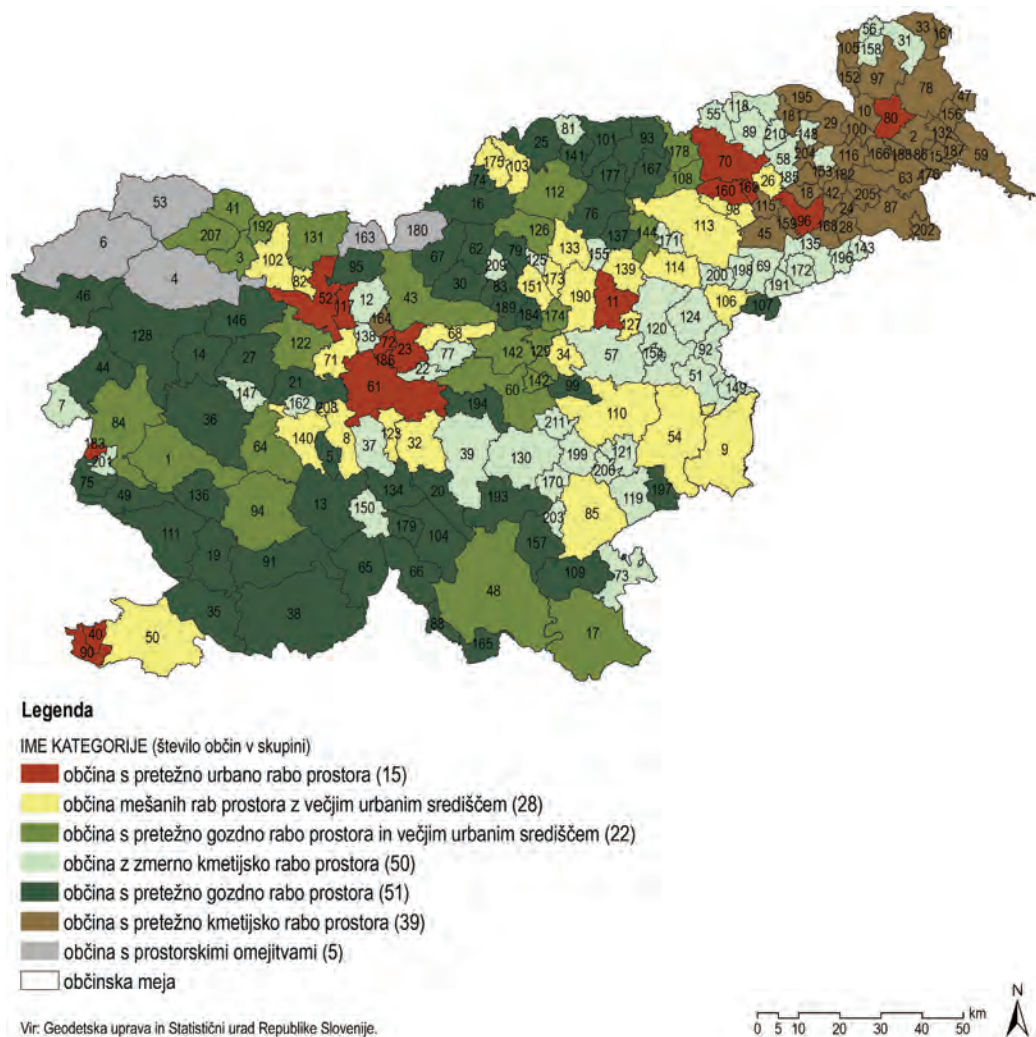
|                                        | ID SKUPINE |      |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |
|----------------------------------------|------------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
|                                        | S1         | S2   | S3  | S4   | S5   | S6   | S7  | S8   | S9   | S10  | S11  | S12  |
| KAZALNIK GP (gostota prebivalstva)     |            |      |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |
| minimum                                | 1          | 2    | 0   | 6    | 4    | 11   | 2   | 2    | 2    | 38   | 20   | 2    |
| maksimum                               | 13         | 17   | 2   | 16   | 12   | 38   | 11  | 23   | 50   | 100  | 50   | 28   |
| srednja vrednost                       | 3,4        | 7,0  | 0,7 | 8,7  | 7,3  | 16,7 | 2,9 | 8,1  | 48,3 | 82,8 | 31,4 | 12,2 |
| standardni odklon                      | 1,7        | 2,8  | 0,8 | 2,4  | 2,5  | 5,4  | 2,7 | 3,8  | 2,0  | 21,3 | 7,2  | 7,1  |
| KAZALNIK D30 (delež pozidanih površin) |            |      |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |
| minimum                                | 2          | 6    | 0   | 15   | 8    | 17   | 3   | 5    | 5    | 53   | 35   | 1    |
| maksimum                               | 16         | 33   | 2   | 32   | 20   | 45   | 16  | 56   | 66   | 100  | 69   | 31   |
| srednja vrednost                       | 7,0        | 16,9 | 1,1 | 21,3 | 12,5 | 27,0 | 4,3 | 21,3 | 63,4 | 82,7 | 46,8 | 15,0 |
| standardni odklon                      | 3,7        | 5,3  | 0,9 | 4,3  | 3,0  | 5,5  | 3,9 | 8,5  | 3,0  | 10,0 | 8,8  | 8,1  |

Predlagana metoda glede na izbrane parametre, število skupin in število ter tip kazalnikov v slovenskem prostoru prepozna tri velike skupine (S1, S2 in S8 z 51, 50 in 39 občinami), pet srednje velikih skupin (S4, S5, S6, S11 in S12 z 10, 12, 18, 8 in 8 občinami) ter štiri male skupine (S3, S7, S9 in S10 s 5, 2, 2 in 5 občinami). Iz velikosti dobljenih skupin lahko sklepamo o razdrobljenosti obravnavanega prostora. Velike skupine, ki združujejo veliko občin, kažejo na velike podobnosti v prostoru, medtem ko male skupine največkrat izpostavljajo morebitne prostorske posebnosti, ki se kažejo kot prednosti ali izzivi prostorskega razvoja in lahko pomembno vplivajo na morebitne spremembe rabe prostora. Primer je povezovanje nekaterih alpskih občin (Bohinj (oznaka na sliki 6: 4), Bovec (6), Kranjska Gora (53), Jezer-sko (163) in Solčava (180)), za katere so značilni nekateri omejitveni dejavniki razvoja, predvsem večje površine nerodovitnih in za gradnjo manj primernih površin, v skupino S3. Opaziti je tudi prostorsko sestavino prepoznanih skupin. Med skupinami lahko ločimo tiste s PE, razpršeni po celotnem obrav-nanem območju (na primer S5, S6), ter tiste, katerih PE so strnjene le na delu obravnavanega območja (na primer S8 in S12), na kar vplivajo predvsem naravnogeografske danosti prostora.

Dobljene homogene skupine je mogoče oceniti glede na število PE, ki jih skupina združuje, pa tudi glede na značilne vrednosti skupin (preglednica 3). Ker so vrednosti skupin izračunane iz ‚normalizi-ranih‘ kazalnikov, je analizo skupin smiselno dopolniti še z izračunom statistik iz dejanskih vrednosti kazalnikov (slika 9). Šele na podlagi teh podatkov je mogoče realno ovrednotiti in določiti poglobitve lastnosti posameznih skupin ter s tem določiti tipologijo obravnavanih PE. Na podlagi dejanske vred-nosti, ki jih kazalniki zavzemajo po skupinah in izračunih značilnih statistik (minimum, maksimum, srednja vrednost in standardni odklon) po skupinah, je bil izveden postopek prepoznavanja skupin. Iz dvanajstih skupin je bilo prepoznanih sedem tipov občin oziroma tipov pretežne rabe prostora (slika 8), pomembnih za členitev prostora pri analizi spreminjanja rabe prostora: občina s pretežno urbano rabo prostora, občina mešanih rab prostora z večjim urbanim središčem, občina s pretežno gozdno rabo



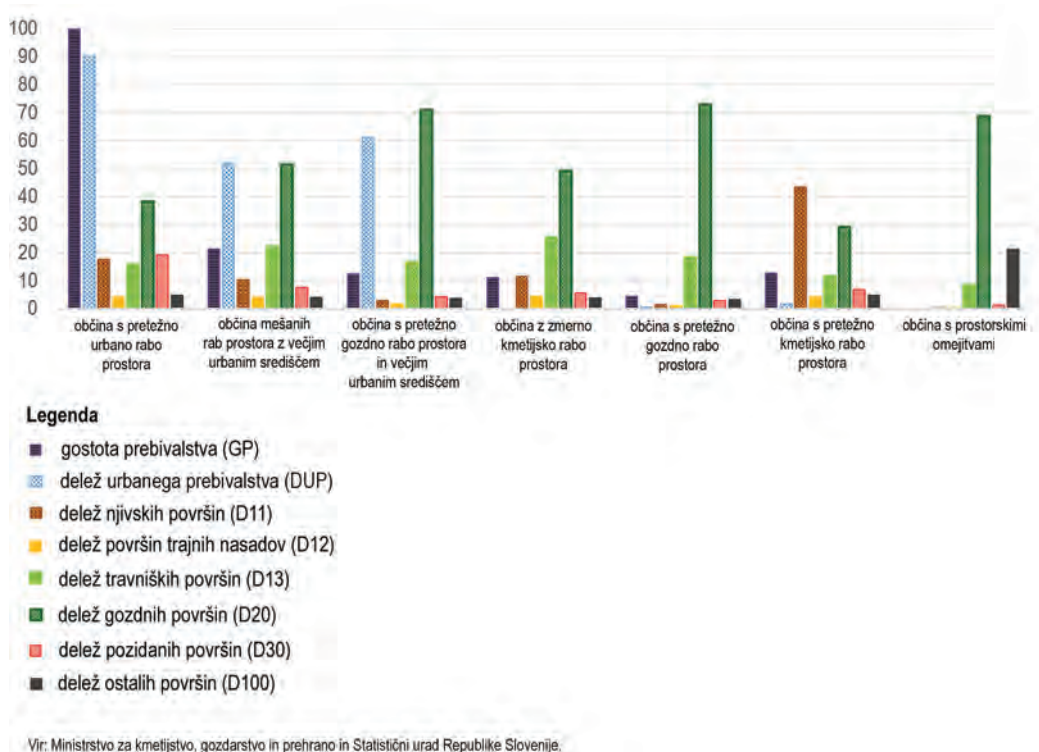
prostora in večjim urbanim središčem, občina z zmerno kmetijsko rabo prostora, občina s pretežno gozdno rabo prostora, občina s pretežno kmetijsko rabo prostora in občine s prostorskimi omejitvami, ki se nanašajo predvsem na visok delež ostalih, za gradnjo manj primernih in nerodovitnih površin. Pokazalo se je, da je mogoče nekatere manjše skupine združiti, saj jih povezujejo podobne značilnosti, razlike pa tudi niso dovolj velike, da bi lahko bistveno vplivale na spreminjanje rabe prostora. Primer so skupine S9, S10 in S11, ki se lahko združijo v skupni tip urbanih občin, saj občine teh skupin združujejo podobne lastnosti z vplivom na spremembe rabe prostora.



Slika 8: Občine po predlagani tipologiji pretežne rabe prostora, Slovenija, 2012.

Značilnosti prepoznanih tipov pretežne rabe prostora in razlike med njimi so ponazorjene na sliki 9 z grafičnim prikazom izračunanih srednjih vrednosti uporabljenih osmih kazalnikov. Povprečna vrednost posameznega kazalnika je izračunana glede na njegove dejanske vrednosti v vseh PE istega tipa pretežne

rabe prostora. Zaradi skupnega prikaza kazalnikov po tipih pretežne rabe prostora in zato, da so vrednosti kazalnikov primerljive, so za kazalnik gostote prebivalstva prikazane ‚normalizirane‘ vrednosti med 0 in 100.



Slika 9: Prikaz povprečnih vrednosti uporabljenih kazalnikov po tipih pretežne rabe prostora, Slovenija, 2012.

## 6 SKLEP IN RAZPRAVA

V prispevku je najprej izdelan pregled izbranih obstoječih metod (klasifikacija PE po Eurostatovi metodi, metodi OECD in po prevladujoči pokrovnosti prostora iz projekta ESPON EU-LUPA) za določanje homogenih skupin PE. Analiza prednosti in slabosti obstoječih metod je pokazala, da nobena izmed analiziranih metod ne zagotavlja ustrezne členitve prostora, ki je nujna za proučevanje rabe prostora in njegovih sprememb. Zaradi izbire kazalnikov in izvedbe klasifikacije na podlagi le enega kazalnika obstoječe metode ne omogočajo določitve tipologije, ki bi bila primerna za nadaljnje analize sprememb rabe po prostoru. Uporabljeni kazalniki so velikokrat pogojeni z velikostjo PE, hkrati pa uporaba le enega kazalnika ne omogoča natančnega opisa prostorskih značilnosti z vplivom na spremembe rabe prostora. Ob tem so nekatere metode pogojene z uporabo posameznega podatka, kar onemogoča prilagoditev metode izbrani prostorski ravni raziskave.

V nadaljevanju je predlagana lastna metoda klasifikacije za določanje tipologije pretežne rabe prostora, ki temelji na nenadzorovani klasifikaciji večkanalnih digitalnih podob. Za klasifikacijo PE je bilo upo-

rabljenih osem izbranih kazalnikov (preglednica 2), ki podrobno opisujejo lastnosti prostora z vplivom na stanje in spremembe rabe prostora, na podlagi katerih je mogoče prostor členiti v homogene skupine PE, ki jih povezujejo enotne prostorske značilnosti z vplivom na rabo prostora. Kazalniki so bili oblikovani kot posamezni kanali digitalne rastrske podobe, ki je bila v nadaljevanju klasificirana z algoritmom nenadzorovane klasifikacije ISODATA. Predlagana metoda klasifikacije PE je bila uspešno preizkušena na primeru določitve tipov pretežne rabe prostora v Sloveniji. Rezultat nenadzorovane klasifikacije slovenskih občin je dvanajst homogenih skupin občin z najvišjo stopnjo povezanosti občin znotraj skupin in najnižjo stopnjo povezanosti med občinami različnih skupin. Iz dvanajstih skupin je bilo s postopkom prepoznavanja skupin opredeljenih sedem značilnih tipov pretežne rabe prostora.

Predlagana metoda odpravlja večino pomanjkljivosti obstoječih metod. Izbira kombinacije osmih kazalnikov omogoča podroben opis PE glede pretežne rabe prostora. Uporaba kazalnika, ki ni vezan na velikost PE (delež urbanega prebivalstva), odpravlja vpliv velikosti PE na klasifikacijo, algoritem ISODATA pa na podlagi iskanja najboljše podobnosti pri razvrščanju PE v homogene skupine podaja optimalno členitev prostora, brez subjektivnega vpliva uporabnika. Izbira števila skupin ob tem dodatno omogoča prilagoditev klasifikacije različnim prostorskim ravнем obravnave. Predlagana metoda omogoča tudi enostavno ponovljivost ter prilagodljivost obravnavanemu območju, izbrani prostorski enoti in razpoložljivim podatkom. Metoda je uporabna na vseh prostorskih ravneh, za različne PE od rastrskih celic, naselij, občin do regij, držav itd.

Pri izvedbi klasifikacije PE se je dodatno pokazalo, da bi bilo v klasifikacijo smiselno vključiti še nekatere kazalnike, ki opisujejo samo spreminjanje rabe prostora (deleži sprememb, sprememba intenzitete rabe prostora itd.), s čimer bi vsekakor izboljšali dobljeno tipologijo pretežne rabe prostora. Izbira boljših, še primernejših ali dodatnih kazalnikov bo predmet nadaljnjih raziskav.

## Literatura in viri:

Glej literaturo na strani 560.



Konjar M., Zavodnik Lamovšek A., Grigillo D. (2017). Use of unsupervised classification for the determination of prevailing land use topology. Uporaba nenadzorovane klasifikacije za določanje tipologije pretežne rabe prostora. *Geodetski vestnik*, 61 (4), 541–581.

DOI: 10.15292//geodetski-vestnik.2017.04.541-581

**Asist. Miha Konjar, univ. dipl. inž. geod.**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo  
Zoisova cesta 12, SI-1000 Ljubljana  
e-naslov: miha.konjar@fa.uni-lj.si

**Asist. dr. Dejan Grigillo, univ. dipl. inž. geod.**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana  
e-naslov: dejan.grigillo@fgg.uni-lj.si

**Doc. dr. Alma Zavodnik Lamovšek, univ. dipl. arh.**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana  
e-naslov: alma.zavodnik-lamovsek@fgg.uni-lj.si