

# **First StatGIS Conference**

## **Proceedings**

**StatGis Team**

**18<sup>th</sup> - 21<sup>st</sup> November  
2013  
Olomouc, Czech Republic**



european  
social fund in the  
czech republic



EUROPEAN UNION



## INVESTMENTS IN EDUCATION DEVELOPMENT

This publication was released as a part of the project CZ.1.07/2.3.00/20.0170 (Building of Research Team in the Field of Environmental Modeling and the Use of Geoinformation Systems with the Consequence in Participation in International Networks and Programs) supported by Operational Program Education for Competitiveness - European Social Fund.

The publication was released by Palacký University in Olomouc  
for Department of Geoinformatics as its 47<sup>th</sup> publication.

1<sup>st</sup> edition

© Department of Geoinformatics, 2013  
© Palacký University in Olomouc, 2013

## Preface

The first StatGIS conference is a part of the project led by Department of Geoinformatics, Faculty of Science, Palacký University in Olomouc.

The conference aims to present to the students and teachers of Faculty of Science, Palacký University, the results of scientific researchers reached by their research. The topics are not a common part of the teaching courses, but they extend actual knowledge in studied areas by significant way. The conference will be attended by several of leading international experts.

## Předmluva

První StatGIS konference je součástí projektu, řešeného Katedrou geoinformatiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci.

Konference si klade za cíl prezentovat studentům a zaměstnancům Přírodovědecké fakulty UP výsledky vědeckých pracovníků dosažené při svých výzkumech. Jde o téma, která nejsou součástí běžné výuky, avšak významných způsobem rozšiřují aktuální poznatky ve zkoumaných oblastech. Konference se zúčastní také několik předních zahraničních odborníků.

## Content

Olomouc - A university city .....	7
Palacký University in Olomouc .....	8
Department of Geoinformatics .....	9
StatGIS Team Project .....	10
StatGIS Team Staff .....	11

## English papers

### **Mircea Ardelean**

<i>SmartGrid projects - Maps of Cooperation</i> .....	13
---	----

### **Mircea Ardelean**

<i>The spatial impact of high voltage transmission lines over the European landscape</i> .....	15
--	----

### **Jaroslav Burian**

<i>City Center Delimitation - Olomouc case study</i> .....	18
--	----

### **Jan Caha**

<i>Querying on Fuzzy Surfaces with Vague Queries</i> .....	25
--	----

### **Jan Caha**

<i>Comparison of Crisp, Fuzzy and Possibilistic threshold in Spatial Queries</i> .....	30
--	----

### **Francis Harvey**

<i>A Brief History of Big Data Mapping</i> .....	35
--	----

### **Francis Harvey**

<i>The Next Age of Discovery and a Future in the Post-GIS World</i> .....	36
---	----

### **Jiří Hiess**

<i>Comparison of current SDI development topics in Central Europe with respect to spatial planning and Geoinformation policies</i> .....	37
--	----

<b>Lukáš Marek</b>	
Health Datasets in Spatial Analyses: What We Want, What We Get and What We Can Use.....	38
<b>Lukáš Marek</b>	
<i>Geography of Campylobacter in the Czech Republic .....</i>	44
<b>Jakub Miříjovský</b>	
<i>Morphological analysis of the fluvial forms in the Morava River .....</i>	49
<b>Mukesh Singh Boori</b>	
<i>Satellite generated brightness temperature (AMSR-E BT) influenced by landsurface .....</i>	54
<b>Maik Netzband</b>	
<i>Remote Sensing Data for the Mapping of Urban Poverty and Slum Areas .....</i>	61
<b>Maik Netzband</b>	
<i>Combining Remote Sensing and Landscape Metrics for Urban Development     to monitor Urban Spatial Variation .....</i>	67
<b>Justyna Pastwa</b>	
<i>Spatial and temporal analysis of extreme hydrological events     in Lower Silesian Voivodeship (1994-2011) .....</i>	72
<b>Vít Pászto</b>	
<i>On Shape Metrics in Landscape Analyses.....</i>	77
<b>Pavel Samec</b>	
<i>The occurrence classification of Norway spruce (<i>Picea abies</i> /L./ Karst.) decline .....</i>	88
<b>Vít Voženílek</b>	
<i>Current GIS challenge: getting better in technological skills,     but still remaining geographer.....</i>	93
<b>Lenka Zajíčková</b>	
<i>Geodata for administration and management of public transport     in the Czech Republic .....</i>	99

<b>Qiming Zhou</b>	
<i>nedodal.....</i>	106
<b>Qiming Zhou</b>	
<i>nedodal.....</i>	111

## České příspěvky

<b>Jaroslav Burian</b>	
<i>Aktuální stav vývoje extenze Urban Planner .....</i>	116
<b>Jiří Dvorský</b>	
<i>Omezení škály geodat pomocí genetických algoritmů .....</i>	124
<b>Juraj Furdík</b>	
<i>Urbanisticko krajinárska štúdia Vinice – MČ Bratislava Rača.....</i>	129
<b>Jiří Hiess</b>	
<i>Konceptualizace specializované edukace graduovaných uživatelů geoinformací v celoživotním vzdělávání se zřetelem na prostorové plánovače v ČR .....</i>	130
<b>Jakub Miřijovský</b>	
<i>Hodnocení přesnosti výstupů z UAV fotogrammetrie .....</i>	131
<b>Vít Pászto</b>	
<i>Chaotický fraktál nebo fraktální chaos...? Aplikace v geovědách .....</i>	136
<b>Pavel Samec</b>	
<i>Zóny ohrožení lesů v České republice .....</i>	152
<b>Vít Voženílek</b>	
<i>Sociální data jako zdroj pro studium percepce prostoru.....</i>	157
<b>Lenka Zajíčková</b>	
<i>Fuzzy logika pro řízení světelné signalizace křižovatky.....</i>	162

## Olomouc - University city

Olomouc has always been among the most prominent medieval cities of the Czech lands. For centuries, its good geographical location, its university with a long tradition, its culture and crafts have made it a natural centre of Moravia, attractive to artists, intellectuals and merchants alike. Nowadays, Olomouc is the main city of the Olomouc Region and has over 100,000 inhabitants, which makes it the fifth biggest city in the Czech Republic. After Prague it is the second biggest historical area in the country, with its old university, Archbishopric, Moravian Philharmony, many interesting museums and theatres, vast parks and a zoo.

Olomouc has been known as a university city for centuries. It is a city full of young people that offers cultural and sports events and life in an attractive region with a low cost of living.



## Palacký University in Olomouc

The Czech Republic offers a wide and varied choice of colleges and universities. If you look for high quality teachers, a wide range of study programmes, a stable scientific research base or renowned experts, you do not have to go far. In the historic atmosphere of the city of Olomouc you will find Palacký University – clearly the best choice, not only for students, but also for foreign guests, top researchers and prominent institutions and companies.

The Palacký University draws on a long tradition. It was founded in the 16th century and is the second oldest university in the Czech Republic. It has become a modern educational institution that offers a wide range of study programmes and engages in a variety of research activities. Its eight faculties are attended by 23,000 students – more than a fifth of the city's number of inhabitants. Its prestige among other universities has been repeatedly confirmed by the keen interest, not only of young applicants, but also of a high number of professionals. The demand has been so high that it far exceeds the capacity of our study programmes.

Palacký University is a research university. Promotion and development of science and research stand at the heart of its priorities. Research teams as well as students working on varied research projects can count on state-of-the-art technology. Thanks to the university projects the city has, in recent years acquired new research centres of national and international importance. Modern laboratories and other research possibilities provided by these centres make them attractive for researchers and universities from abroad.



## Department of Geoinformatics

The Department of Geoinformatics was founded in 2001. The roots of geoinformatics at Palacký University can be traced back to 1989, to the Department of Geography. Nowadays, the Department of Geoinformatics is a separate academic department that offers high quality education and research. It is renowned both nationally and internationally. The main fields are geoinformatics and geoinformation technologies in education and research, and their promotion, both in the Czech Republic and abroad. Its activities encompass teaching in the field of geoinformatics with special emphasis on geographical aspects, research projects that follow international trends and the promotion of modern geoinformation technologies in all spheres of Czech society.

The Department owns two specialised laboratories for geoinformation systems and remote sensing and one research laboratory for the eye-tracking technique in cartography. It uses state-of-the-art equipment and software. Its teaching activities are accompanied by cooperation with prominent national commercial companies in the field as well as renowned foreign universities.

The teachers do their best to react to the individual needs of students of bachelor, master and doctoral programmes, enabling them to take part in research projects, to work and gain experience in commercial companies and to excel in national specialised student contests.



## StatGIS Team Project

The project StatGIS Team (Building of Research Team in the Field of Environmental Modeling and the Use of Geoinformation Systems with the Consequence in Participation in International Networks and Programs) is focused on building of two research-educational teams, which are led by well-known experts in the field of mathematical statistics and spatial phenomena modelling (e.g. hazards, floods, landslides, ecological modelling, urban processes etc.). These experts are also treated as a connection to international scientific networks and programs. Department of geoinformatics (DGI) and Department of Mathematical Analysis and Applications of Mathematics (DMAAM) represent significant national institutions in geoinformation technologies and mathematical disciplines and via the project results these departments will strengthen their scientific and educational position (in the field of geoinformatics and applied mathematics) in Czech Republic academic sphere. The project will create new working positions for young researchers and three well-known experts from field of applied statistics and geoinformatics will be involved. Last but not least, activity leading to organize eminent international conferences will be supported.

More information about the project is available on the project website – [statgisteam.upol.cz](http://statgisteam.upol.cz).

## StatGIS Team Staff

**prof. dr. Vít Voženílek** – *Research leader*

**RNDr. Jaroslav Burian, Ph.D.** – *Project manager*

**Mgr. Eva Janečková** – *Project manager*

**assoc. prof. dr. Jiří Dvorský** – *Research team leader*

**Dr. Maik Netzband** – *Research team leader*

**Mgr. Lukáš Marek** – *Research*

**Mgr. Vít Pászto** – *Research*

**Mgr. Lenka Zajíčková** – *Research*

**Mgr. Jan Caha** – *Research*

**RNDr. Jakub Miřijovský** – *Research*

**Ing. Pavel Samec** – *Research*

**RNDr. Jiří Hiess** – *Research*

**RNDr. Alena Vondráková** – *Research*

**Mgr. Miroslav Rypka, Ph.D.** – *Research*

**Ing. Jaroslava Mrázová** – *Research*

**Doc. RNDr. Eva Fišerová, Ph.D.** – *Research*

**Doc. Peter Filzmoser** – *Research*

**Dr. Matthias Templ** – *Research*

**Doc. Marian Grendář, PhD.** – *Research*

**Mgr. Michaela Tučková** – *Research*

**Mgr. Pavel Tuček, Ph.D.** – *Research*

**Mgr. Jana Vrbková, Ph.D.** – *Research*

**RNDr. Karel Hron, Ph.D.** – *Research*

**Mgr. Dana Mlčuchová** – *Research*

**Mgr. Klára Hrůzová** – *Research*

**Mgr. Petra Kynčlová** – *Research*

**Mgr. Sandra Donevská** – *Research*

**Mgr. Alžběta Kalivodová** – *Research*

**Mgr. Silvie Bělašková** – *Research*

**Mgr. Kamila Fačevicová** – *Research*

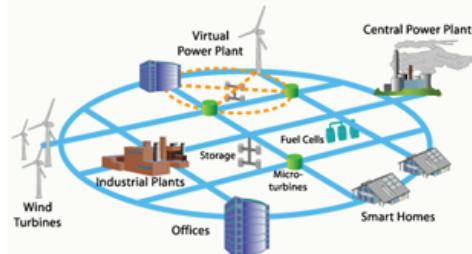
English Papers

Mircea Ardelean

## SmartGrid projects - Maps of Cooperation

dr. Mircea Ardelean, European Commission, Joint Research Centre, mircea@cbg.uvt.ro

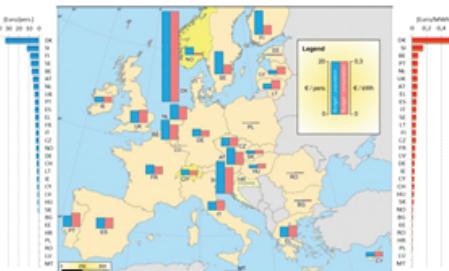
Nowadays the electric network faces a technological and logistical challenge due to the integration of renewable energy resources. Their location and availability is not always in the line with the demand and that causes a stress over the network or a loss of efficiency. One way to solve the problems is to convert the traditional network structure to a smart grid. A smart grid is an electrical network that uses information and communication technology in order to improve the efficiency of production and distribution of electricity. The migration of the present network towards a smart grid implies changes and investment both in physical infrastructure (building new lines of higher capacity, smart metering, installing batteries) but also in the way the information is handled (servers, software).



As more and more devices will attach to the

network (electric vehicles, household solar panels) the update of the network towards smart grid will be a must in future.

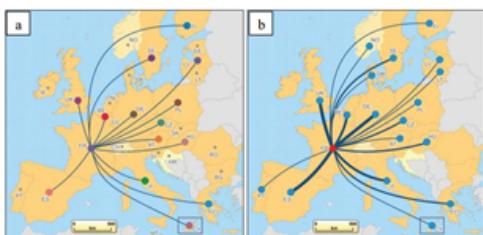
During last decade Europe saw a constant increase of number of smart grid projects addressing different technological or economic aspects, involving different types of institutions and companies and covering almost all countries on the continent.



At the European level there is a strong polarization both in number of projects and investment. The leaders are the countries in Western Europe with a more advanced approach in tapping the wind energy resources available off shore mainly in North and Baltic Seas. They are followed by Southern Europe where the focus

is on integrating the high solar capacity largely available here. Other laboratories across Europe associated with universities or companies study different aspects of smart grid technologies regardless of resources' localization.

The cooperation pattern reveals the authority of western universities and companies which are the leaders in projects while the eastern and southern countries take part as partners. The closest links are between actors from Spain, France, Germany, United Kingdom and Italy who share the largest number of projects and finance dedicated to them. There is a strong cooperation among these countries especially of those that are neighbors. It is not the same pattern that we meet at the eastern half of the continent. Here most of the countries are involved in smart grid projects whose leaders are western countries and the cooperation between neighbor countries is scarce or rather absent. There is no major project in this area led by an institution from Eastern Europe to have a regional focus.



The distribution of projects, leadership and finance reveals a maturity of smart grid concept

in Western and Southern Europe and still an incipient phase in the rest of the continent.

The most advanced countries in implementing the technologies are Denmark and The Netherlands who have the largest number of implementation sites addressing various aspects of smart grid technology.

The growing need for electricity in future years and creation of a single electricity market will lead to the adjustment of the network in order to respond properly to the challenges. The necessity of bulk electricity transfer across Europe will transform the network into a super grid able to receive multiple inputs from different energy sources and to handle properly the flux of electricity.

To achieve a strong, reliable and efficient electric grid across Europe the cooperation must increase with focus on countries having renewable resources and which are expected to experience an increase in electricity demand in future.

## References

- GIORDANO, V., MELETIOU, A., COVRIG, C.F., MENGOLINI, A., ARDELEAN, M., FULLI, G., SÁNCHEZ JIMÉNEZ, M., FILIOU, C. (2013). Smart Grid projects in Europe: Lessons learned and current developments. Report. *European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport*

Mircea Ardelean

## The spatial impact of high voltage transmission lines over the European landscape

dr. Mircea Ardelean, European Commission, Joint Research Centre, mircea@cbg.uvt.ro

Modern society relies heavily on electricity in all economic areas: residential, industry, services, agriculture, and leisure. Electricity is produced in power plants which are in a large extent confined to the resources available (hydro, wind, solar). The consumption on the other hand is more evenly distributed through territory or does not coincide with the production area. For that reason the electricity must be transported from the place of production to the place(s) of consumption via high voltage lines. The economic development in an area leads to a larger demand for electricity and more lines are being built.



The infrastructure associated with the electrical transmission consists beside the pillars and the

lines in a protected area along the path of the transmission lines designed to secure the area for a proper maintenance and minimize the risks in exploitation. Depending of the voltage of the line and the national regulations these corridors may be as 50 m or more wide. Inside these corridors the activities allowed are strictly regulated as well as the building permits. The impact of these corridors range from minimum in case of arable land to a highly one in case of woods or urban areas: in forested areas crossed by the high voltage lines the trees must be cut down along their paths producing disruptive couloirs; the lines may pose problems in areas of birds' nesting or may act as obstacles on the paths of their migration; in urban areas they produce corridors with highly restrictive uses and access.

Although these corridors are not as disruptive as other types of infrastructure they are features visible in the landscape and determine a restriction of the productive potential of the crossed areas.

The analysis of the spatial impact of the

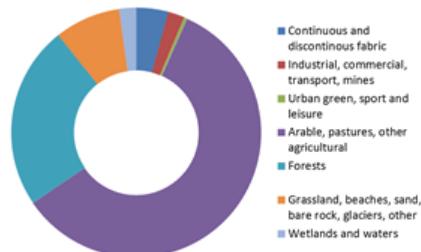
European transmission lines was carried for the lines with voltage equal and above 220kV using the situation reported in 2012. This voltage category was selected due to the availability of the data but also because this voltage (and above) require large corridors (50 m or more) with high impact over the crossed areas. The areas with restrictions due to the presence of high voltage lines are much larger as result.

The impact of these corridors was evaluated against two main features: the land use and the highly populated areas.



In Europe the high voltage lines have a length of 240.000 km. The corridors generated by them cover 0,26 % from the total area of Europe. That might not sound too much but they sum 12.000

km<sup>2</sup> or roughly the size of Montenegro or three times the size of Luxembourg. The overall density of these lines is 5 km/102km<sup>2</sup> but it can reach more than 10 km/102km<sup>2</sup> in highly “energetic” areas exerting a lot of pressure over the available land.



*Tab 1: Structure of land use inside the high voltage lines corridors*

More than half of this area is represented by agriculture land where the impact of the corridors is less powerful. Almost 1/3 consists of forested areas, while almost 250 km<sup>2</sup> are found in wetlands and other humid regions. More than 400 km<sup>2</sup> of high density urban areas ( $\geq 300$  inh./km<sup>2</sup>) are covered by the corridors associated with high voltage lines.

Usage restrictions have also an economic cost as studies have shown (Colwell, 1990, Hamilton & Schwann, 1995, McNair & Abelson, 2010). The proximity of high voltage lines in urban areas diminishes the land value by 5-10%. The corridors in forested areas determined the cut down of more than 50 mil m<sup>3</sup> of wood and prevent the grow of 1,25 mil m<sup>3</sup> wood every year.

In future as more regions will experience economic development the need for electricity will augment, as well the need to expand further the infrastructure associated with electricity transmission. In order to meet that more land will be reclaimed to build this infrastructure.

Based on current situation the future urban planning should take into account the impact of these lines over the territorial accessibility in order to minimize its effects and to balance the needs for energy with the highest potential derived from the land use / land cover.

## References

- COLWELL, P. (1990). Power lines and land value. *Journal of Real Estate Research*, 5: 117-28
- HAMILTON, S.W., SCHWANN, G.M. (1995). Do High Voltage Electric Transmission Lines Affect Property Value? *Land Economics*, 71 (4): 436-44
- MCNAIR, B., ABELSON, P. (2010), Estimating the Value of Undergrounding Electricity and Telecommunications Networks. *The Australian Economic Review*, 43 (4): 376-88

Jaroslav Burian

## City Center Delimitation - Olomouc case study

RNDr. Jaroslav Burian, Ph.D., Palacky University in Olomouc, jaroslav.burian@gmail.com

City center is a commonly used term which, however, can have more meanings. A person living right in the centre has a different idea about a city centre and especially its delimitation than someone living in an adjacent residential district, a trading area, a periphery or in a nearby village. Number of authors were trying to devise a method for delimitation of cities or their centers. Each of the methods, naturally, has its advantages but also many disadvantages and limitations. The most common problem lies in the applicability of a specific method on cities other than the one it was devised for. An objective delimitation of a city centre is important e.g. for a statistical comparison of parameters and data from different cities in different parts of a country. Research of various approaches to delimitation of a city centre, their comparison, evaluation and their application on the city of Olomouc is the main subject of this work.

### **City center**

Research of an inner structure of a city is one of the priorities of the current city geography. The term spatial structure refers primarily to the individual parts of a city – centre, suburbs, city districts, functional zones etc. According to

General Encyclopedia (1996) a center is defined as a core district of a city with the most intensive commercial occupancy of an area in which shops, financial and cultural institutions and branch offices of big companies are concentrated. The most expensive land is to be found here; most of the area is used as office and commercial spaces; the residential function is suppressed.

Mayeh (2010) in connection with city centers describes a so called “central business district” (CBD). He considers it to be a heart of a city, often located in a place a city transportation is directed to and which contains the highest percentage of shops and offices. Due to high accessibility the prices of land are high and therefore the area is utilized most intensively.

A universally applicable method of delimitation of a city centre was dealt with e.g. by Murphy and Vance (1954). In their work the authors were aiming for an objective comparison of centers (or more precisely CBDs) of cities of the same size. Scott (1959), with the help of their method, delimitated the CBDs of six Australian cities and consequently studied their development and structure. Another application of this method is described in Bonhert and Mattingly (1964).

Another research which could be mentioned is e.g. Bowden (1971), in which the same method (with two minor modifications) is used to study the development of a CBD in time or the Carters and Rowleys work (1966), in which the application of the method on the city of Cardiff is described.

Central European authors deal with delimitation of city centers mostly on a theoretical level and if they do delimitate it, they base it on a historical development of a city (Ouředníček (2008), Matlovič (2001), Sýkora (1999)).

### **Delimitation of Olomouc City Centre Currently in Use**

There are several delimitations of the city centre in Olomouc: The city district Olomouc – centre; the cadastral district Olomouc – city; the basic settlement unit – historical centre; historical town reserve; in the municipal plan the functional area of the inner city is defined; Szczyrba (2004) delimitated the economic subcentre core.

used delimitations of centre	delimitated area [km <sup>2</sup> ]
municipal plan – the functional area of the inner city	0.595
the basic settlement unit – Olomouc historical centre.	0.842
the historical town reserve	0.961

the economic subcentre core	1.389
the city district Olomouc – centre	2.279
the cadastral district Olomouc – city	2.708

*Tab 1: Existing city center delimitation*



*Fig 1: City district Olomouc - center*

### **Delimitation of city center by using GIS**

#### **Delimitation of City Centre According to Price Map**

The centre was delimitated by means of the price map of Olomouc on the basis of the most expensive pieces of land in the city centre. An average price of land in Olomouc is 1 109.5 CZK/m<sup>2</sup>, excluding the land for which the price was not set (mostly pieces of land which are not for

sale and owned by the city). To delimitate the city centre, pieces of land with price higher than 2 600, 5 000 and 9 000 CZK/m<sup>2</sup> were selected. That represents approximately 5 %, 2 % and 1 % of estimated land. In this way three different city centers were delimitated. The delimitations of the city centre with price of land higher than 2 600 and 5 000 CZK/m<sup>2</sup> differ only slightly. The resulting polygons of the delimitations of the city centre do not have smooth edges, on the contrary, they are very jagged. A possible solution to this would be a generalization of the polygons either by one of the tools used in ArcGIS or by setting up certain rules. The area of the centre delimitated by means of the price map is the most similar to the functional area of the inner city from the municipal plan of Olomouc.

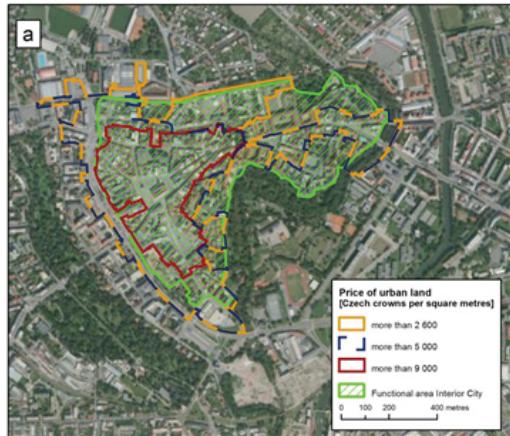
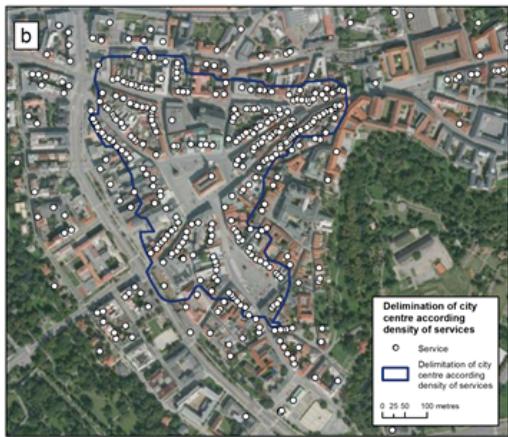


Fig 2: Delimitation according to price map

### Delimitation of City Centre According to Density of Services

The second delimitation of the city centre was carried out on the basis of the density of services. By means of the Repeating Shapes tool several regular polygon grids of various shapes and sizes were created. These were used to cover the area encompassing roughly the city of Olomouc without the annexed villages. Covering the whole area of the city would disproportionately increase the processing time of the individual analyses and would not contribute anything new to the results. For each individual polygon a number of services in it was counted (without dividing services according to qualitative criteria) and subsequently 5% of the polygons with the highest concentration were selected. Out of those the biggest continuous area of polygons comprising the city centre was selected. In the end the selections from the individual polygon grids were added up and only the area in which 100 % of input areas were added together was chosen. Thus a final delimitation of the city centre according to the density of services was obtained.

The resulting polygon covers the area of 0.191 km<sup>2</sup>, which is similar to the city centre delimitated by the pieces of land with the price higher than 9 000 CZK/m<sup>2</sup>. As compared with the delimitation already in use, this area is significantly smaller. It only covers The Horni and The Dolni squares and partially also the adjacent streets.



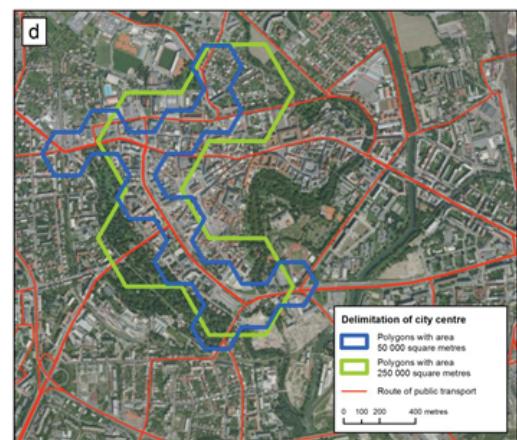
*Fig 3: Delimitation according to services density*

### **Delimitation of City Centre According to Density of Public Transportation Stops and Lines**

The city of Olomouc basically corresponds with a monocentric model of a city and most of its main roads lead to its centre. This tendency is also observed by the public transportation system which carries passengers towards the centre. The method of delimitation was similar to the one used for delimitation according to the density of services. The input layer consisted of representations of the routes of all the regular daily lines of the public transportation system. For each polygon a density of bus and tram lines per square kilometer was calculated. Then the polygons with the highest density were selected.

This method of delimitating the city centre

proved to be unsuitable for three reasons. The first one being the fact that the historical centre of Olomouc is a pedestrian zone surrounded by parks. Therefore the transportation system does not access the city centre itself but only its outskirts. The second reason lies in the low density of the lines of the public transportation system which is sufficient for transporting passengers but not for the delimitation of the city centre. The last reason is that even though Olomouc has a monocentric character, the public transportation is directed not only towards the city centre but also towards the train station which serves as an interchange station for trains and city busses bound both for the villages annexed to Olomouc and other surrounding villages (these depart both from the front of the train station and from the nearby bus station).



*Fig 4: Delimitation according to transportation*

## Delimitation of City Centre According to Mental Maps

A mental map is a graphic (cartographic or schematic) interpretation of a person's mental image of a geographical space, mostly concerning its quality or structure. Mental maps (of Lynch's type) of inhabitants of Olomouc tend to differ significantly with respect to the borders of the city centre. The group of respondents consisted of total of 40 students of Palacky University whose task was to draw the city centre in an aerial photograph of the city according to their individual perception.

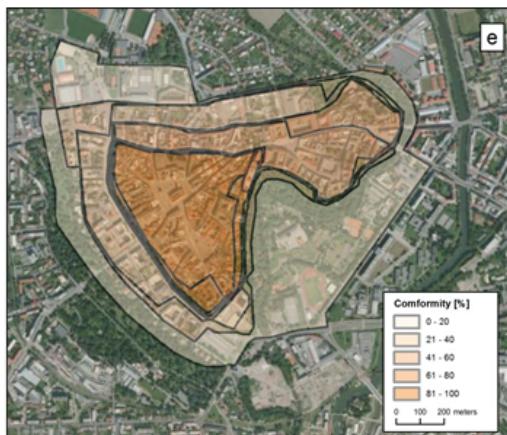


Fig 5: Delimitation according to mental maps

The data were subsequently summed up using the tools of map algebra in the ArcGIS environment. The result was divided into 5 categories; each

of these represents an accordance of a given percentage of the students on a particular delimitation. The category on which most of the students agreed (more than 80%) is the smallest one. It includes the Horní and the Dolní squares and the adjacent streets and has an area of 0.27 km<sup>2</sup>. The second smallest delimitation on which more than 60% of students agreed is only slightly bigger – it has an area of 0.3 km<sup>2</sup>. The biggest delimitation of the city centre has an area of 1.47 km<sup>2</sup>.

## Discussion and conclusion

Three different approaches were used to delimitate the city centre. The delimitation of the city centre according to the density of the public transportation network unfortunately did not prove to be functional. However, the result of the other two methods were highly similar and, moreover, they correspond with the delimitation of the city centre according to the mental maps of the students. As exemplified by the city of Olomouc the methods proposed in this thesis proved to be reliable in delimitating the city centre. When delimitating according to the price map the 1% of the most expensive pieces of land proved to be the most accurate selection. To achieve an accurate delimitation of borders it would be necessary to apply this method to more cities.

On the basis of the information gathered from the specialized literature several methods of delimitation of a city centre were designed.

These were tested on the city of Olomouc. The parameters of the individual methods were set experimentally and were influenced by knowledge of the environment.

By selecting the most expensive pieces of land and areas in which services are accumulated (shops, national and municipal institutions, restaurants) very similar areas were delimitated. These areas also corresponded with the mental maps of the inhabitants of the city. Appropriate methods of delimitation of the city centre were found.

The best results were achieved when delimitating the centre according to the price map and the density of services. In comparison with the delimitations already in existence (the basic settlement unit, the cadastral district, the historical town reserve) the delimitations acquired in this thesis were significantly smaller. The delimitation of the city centre according to the density of the public transportation lines proved to be unsuitable because public transportation bypasses the centre of Olomouc. However, none of the methods are universally applicable because they were tested only on the city of Olomouc; data from other cities were not accessible. The established methods might be applicable to cities of similar structure and/or size. To confirm this assumption a more detailed testing of the designed methods would be required.

## References

- BONHERT, John E.; MATTINGLY, Paul F. (1964). Delimitation of the CBD through time. *Economic Geography*. 40, 4, p. 337-347.
- BOWDEN, Martyn J. (1971). Downtown Through Time: Delimitation, Expansion, and Internal Growth. *Economic Geography*. 47, 2, p. 121-135.
- CARTER, H.; ROWLEY, G. (1966). The morphology of the Central Business District of Cardiff. *Transactions of the Institute of British Geographers*. 1966, 38, p. 119-134.
- MATLOVIČ, R. (2001). Transformačné procesy a ich efekty v intraurbánnych štruktúrach postkomunistických miest. *Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitytis Matthiae Belii, Geografické štúdie Nr. 8, Prameny Slovenska v regionálnom didaktickom kontexte*, s. 73-81. [non vidi]
- MAYHEW, Susan. (2010) A Dictionary of Geography. Oxford: Oxford University Press, 576 s.
- MURPHY, Raymond, E. ; VANCE, J. E. (1954) Delimiting the CBD. *Economic Geography*. 30, 3, s. 189-222.
- OUŘEDNÍČEK, M. (2008). Suburbanizace: Česká republika [online]. [cit. 2011-03-10]. Prostorový vývoj měst. Available WWW: [http://suburbanizace.cz/02\\_teorie\\_prostorovy\\_vyvoj\\_mest.htm](http://suburbanizace.cz/02_teorie_prostorovy_vyvoj_mest.htm)
- PTÁČEK, P., SZCZYRBA, Z., FŇUKAL, M. (2007): Proměny prostorové struktury města Olomouce s důrazem na rezidenční funkce. *Urbanismus a územní rozvoj*, 10/2, s. 14-21.
- SCOTT, Peter (1959). The Australian CBD. *Economic Geography*. 35, 4, p. 290-314.
- SÝKORA, Luděk (1999). Changes in the internal spatial structure of post-communist Prague. *GeoJournal*. Vol. 49, p. 79-89.
- SZCZYRBA, Z. (2004). Globalized retail structures in the city of Olomouc (selected issues of branch, regional and social

organization). In: Acta Universitatis Palackianae Olomucensis,  
Geographica 38. Olomouc: Univerzita Palackého, 2004. p. 85-  
91.

Všeobecná encyklopédie ve čtyřech svazcích (1996). díl 1, a -f.  
1. vyd. Praha: Nakladatelský dům, p. 1 -10. [non vidi]

# Querying on Fuzzy Surfaces with Vague Queries

Mgr. Jan Caha, Palacky University in Olomouc, jan.caha@klikni.cz

## Introduction

In geoinformatics it is often case that the information used for modelling is incomplete. For example points used to the model surface are only samples from the set of all points on the surface and their precision can be unknown. From such inputs it is not possible to create precise and absolutely certain surface. It is necessary to include the uncertainty, that has origin in both input data and interpolation process, in the surface. Since none of the mentioned types of uncertainty is of statistical nature it is convenient to conceptualize the uncertainty by an alternative method i.e. fuzzy set theory. Spatial querying frequently leads to various categorizations of the result into sets with meaning - appropriate, more appropriate, rather inappropriate, inappropriate, etc. In such case rather than creating several sets it is much more practical to allow gradual transition from inappropriate to appropriate results. This can be done using so called soft thresholds. Those allow also modelling of vague terms like "steep slopes". In order to allow spatial queries with soft thresholds on Fuzzy Surfaces it is necessary to have complex system that allows ranking of fuzzy sets. Several such systems exists but the

most complex and appropriate is the one using Theory of possibility. This allows the logically correct and complete evaluation of such spatial queries.

## Vagueness in geography

Vagueness is widely discussed topic in geography with applications to modelling fuzzy geographical regions (Fisher, 2000; Fisher et al., 2007; Fonte and Lodwick, 2005), surfaces with uncertainty (Santos et al., 2002; Waelder, 2007) and decision making based on those vague datasets (Dubois, 2000; Witlox and Derudder, 2005). All those possible applications are essential for geography, because within it is domain there are many concepts that are naturally vague (Fisher 2000).

GIS (Geographical Information Systems) are valued tools for supporting decision making with spatial data however the reliability of results should be questioned (Heuvelink, 2002). All the data and process are usually treated as certain and absolutely correct, even through that none of them actually are either completely certain or correct (Fisher, 2000; Fonte and Lodwick, 2005; Heuvelink, 2002). Besides the question of modelling data and process with uncertainty and/or vagueness there is also the question of

querying the results. Commonly used concepts do not allow almost any flexibility when querying the data. However the flexibility of queries is a necessary concept to access more complex decision support (Bosc et al., 2005). So far there are several studies dealing with quoting fuzzy geographical data (Boroushaki and Malczewski, 2010) but there is no mention of using Possibility theory and its measures of possibility and necessity. Use of Possibility theory allows modelling of vague data and also vague queries (Dubois, 2010), thus it seems as a reasonable tool, that should be used while quoting uncertain datasets with vague queries.

## Fuzzy surfaces

In GIS many variables are modelled as surfaces using so called field model. Field model is partitioning of a geographical space into finite number of spatial entities, usually squares. Surface itself is represented by the mathematical function  $Z=f(x,y)$ . Such function defined on a geographical space assigns each of this spatial entities (cells) value Z. In case of fuzzy surfaces the resulting surface incorporates uncertainty of input data and/or processes of interpolation and the result value of each cell of the grid is a fuzzy number Z. Such surfaces can be further analysed by means of fuzzy arithmetic to derive slope, visibility and other parameters (Waelder, 2007; Oksanen, 2005).

## Soft spatial queries

Usual spatial queries aim to select areas that meet one or more conditions. The condition is usually defined as a value being higher or smaller than given threshold. Such queries cannot quite well introduce any measure of preference in the result, because they are based on classical logical expressions (Bosc et al., 2005). But many decision making situations that involve spatial data are not well suited for such crisp queries, because the crisp query might be far to restrictive for such utilization (Witlox and Derudder, 2005).

Classic query often looks like “is variable X higher (or lower) than threshold Y?”. In such case it does not matter what is the difference between X and Y, if the X is smaller then it is rejected from the set. However there is a clear difference between  $X_1=3.14$  and  $X_2=5.999$  when they are compared to the threshold  $Y=6$ . While  $X_1$  is clearly smaller and should not be included in the set of numbers equal or higher than Y,  $X_2$  is quite another matter. Indeed it is lower than Y but the difference is so small that  $X_2$  is almost indistinguishable from the threshold. For a complex decision making processes it would be much better to specify the threshold as a fuzzy number (Dubois, 2011). In such case a triangular fuzzy number with support values [5,7] and kernel value 6 can be used as an approximation to the original threshold. Evaluating if the specific value of X is lower (or higher) than such threshold is then matter of comparing real value and Fuzzy number and it can be done in terms of possibility and necessity

(Dubois and Prade, 1983).

The problem is even more complex if the input is a fuzzy number. Then both the value and the threshold are fuzzy numbers X and Y. The comparison  $X>Y$  then can be made according to (Dubois and Prade, 1983) by four indices: possibility, necessity, strict possibility and strict necessity of the exceedance of Y by X.

The reasons for creating fuzzy threshold can be summarized as following (Bosc, 2005; Dubois, 2011):

- the concept of Y is naturally fuzzy i.e. definition of “steep slopes”,
- there are more than one acceptable definitions of Y and there is no indications that any of them is more correct or precise than the others,
- Y is based on the expert opinion that is provided as an interval of values rather than precise value, or there is a need to merge definitions of Y from several such expert opinions.

Suppose that we have a fuzzy surface represented by a field model that has N rows and M columns, with each cell denoted by  $C_{i,j}$  where  $i=1,2,\dots,N$  and  $j=1,2,\dots,M$ . In order to perform a soft spatial query, there is a need to compare all the  $N\times M$  fuzzy numbers to the given soft threshold  $T$  in terms of possibility and necessity of exceedance. And in terms of possibility and necessity of the strict exceedance of T by  $C_{i,j}$ .

## Case Study

The aim of the case study is to show how soft queries can be used to query fuzzy surfaces. The task will be to find out areas with higher than “medium slope” on a fuzzy surface. Such query can be for example part of a complex decision of finding suitable areas for waste disposal site. Such object cannot be located on “steep slopes” so all areas that have slope higher than “medium” have to be eliminated from the set of possible locations. Since there is no universal definition of “medium slope” it will be defined according to the expert opinion as a triangular fuzzy numbers with support values 5 and kernel value 7. This definition states that values below 5 clearly are not “medium slope”, value 7 is what can be considered as crisp threshold and values higher than 9 are clearly above the definition of “medium slope”.

For the purpose of this case study the fuzzy surface was build. The kernel values of fuzzy numbers are interpolated by kriging from the input data and the support values are constructed from the kriging standard deviation. From this fuzzy surface the fuzzy slope was calculated. The details of the use of fuzzy arithmetic for calculating slope of fuzzy surfaces are provided in (Waelder, 2007).

Now the comparison of the data and the soft threshold can be made. Possibility of exceedance shows areas that have at least some chance of fulfilling the condition however if their necessity

is zero then it is not strongly supported. If the necessity is higher then 0 then there are stronger indicators supporting the condition. The value of necessity 1 gives quite strong evidence of exceedance.

If strict exceedance of the threshold by the values is required then second set of indicators is used. With those indicators even the possibility of strict exceedence higher then 0 is quite strong support of the fulfilment of the condition. And necessity value of 1 indicates the absolute fulfilment of the condition.

## Discussion

In geoinformatical sciences there are two main approaches to the problem of uncertainty propagation. These are Monte Carlo simulation (based on statistics) and Analytical approach (Oksanen, 2005). Monte Carlo method is often used because of its simplicity in terms of implementation while Analytical approach is quite complex and therefore used rather rarely. Besides those there is a new trend of modelling uncertainty with use of fuzzy set (Santos et al., 2002). However use of fuzzy mathematics for uncertainty propagation is not very common for geographical problems (Fisher and Tate, 2006), but in other disciplines these methods were proved to be useful (Hanss, 2005). If these new methods are used for experimental uncertainty propagation, and according to Heuvelink (2002) there is a need for new approaches to this problem, then new methods of evaluating and

querying the results are necessary.

## Conclusion

The proposed approach allows answering vague spatial queries on Fuzzy Surfaces. Four indices are used to reach this objective, each of this indices takes value from the interval [0,1], where 1 means the complete fulfilment of the rule while 0 means failure to reach the rule. These four indices form two pairs of possibility and necessity measures that complete each other. In the case of possibility value 1 and necessity value lower then 1 there some indicators that value can possibly be higher then the threshold but it is not necessary because both values of necessity of exceedance and strict necessity of exceedance are lower then 1. This information is very useful because it tells the decision maker that it might be that the cell have slope higher then the threshold but that it is not absolutely sure. Such areas can be subject to the further examination, that will offer more information that will eliminate the uncertainty and allow the final decision to take place.

These four indices form natural ordering where the possibility of exceedance is the less restrictive, followed by the possibility of strict exceedance, then the necessity of exceedance and the necessity of strict exceedance is the most restrictive. Proposed approach extends possibilities of spatial decision support by the use of mathematical methods for handling uncertainty and vagueness that is very common

in geographical sciences. Further studies should be focused on more complex decisions than the simple example shown in the case study.

## References

- BOROUSHAKI, S., MALCZEWSKI, J.: Using the fuzzy majority approach for GIS-based multicriteria group decision-making. *Computers & Geosciences*, Vol. 36, no. 3, pp. 302-312 (2010)
- BOSC, P., KRAFT, D. PETRY, F.: Fuzzy sets in database and information systems: Status and opportunities. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 156, no. 3, pp. 418-426 (2005)
- DUBOIS, D., PRADE, H.: Ranking Fuzzy Numbers in the Setting of Possibility Theory. *Information Sciences*, Vol. 30, no. 3, pp. 183-224 (1983)
- DUBOIS, D., PRADE, H.: Possibility Theory An approach to Computerized Processing of Uncertainty. New York, Plenum Press (1986)
- DUBOIS, D.: The role of fuzzy sets in decision sciences: Old techniques and new directions. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 184, no. 1, 3-28 (2011)
- FISHER, P.: Sorites paradox and vague geographies. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 113, no. 1, pp. 7-18 (2000)
- FISHER, P. F., TATE, N. J.: Causes and consequences of error in digital elevation models. *Progress in Physical Geography*, Vol. 30, no. 4, pp. 467-489 (2006)
- FISHER, P., CHENG, T., WOOD, J.: Higher order vagueness in geographical information: Empirical geographical population of type n fuzzy sets. *Geoinformatica*, Vol. 11, no. 3, pp. 311-330 (2007)
- FONTE, C. C., LODWICK, W. A.: Modelling the Fuzzy Spatial Extent of Geographical Entities. In: Petry, F., Robinson, V. B., Cobb, M. A. (eds.), *Fuzzy modeling with spatial information for geographic problems*. Berlin, Springer, pp. 120-142 (2005)
- HANSS, M.: Applied fuzzy arithmetic : an introduction with engineering applications. Berlin, Springer-Verlag (2005)
- HEUVELINK, G. B. M.: Analysing Uncertainty Propagation in GIS: Why is it not that Simple? In: Foody, G. M., Atkinson, P. M., (eds.), *Uncertainty in remote sensing and GIS*. Chichester, Wiley, pp. 155-165 (2002)
- OKSANEN, J., SARJAKOSKI, T.: Error propagation of DEM-based surface derivatives. *Computers & Geosciences*, Vol. 31, no. 8, pp. 1015-1027 (2005)
- SANTOS, J., LODWICK, W. A., NEIMAIER, A.: A New Approach to Incorporate Uncertainty in Terrain Modeling. In: Egenhofer, M. J., Mark, D. M. (eds.), *Geographic Information Science*. Berlin, Springer, pp. 291-299 (2002)
- WAELDER, O.: An application of the fuzzy theory in surface interpolation and surface deformation analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 158, no. 14, pp. 1535-1545 (2007)
- WITLOX, F., DERUDDER, B.: Spatial Decision-Making Using Fuzzy Decision Tables: Theory, Application and Limitations. In: Petry, F., ROBINSON, V. B., COBB, M. A. (EDS.), *Fuzzy modeling with spatial information for geographic problems*. Berlin, Springer, pp. 120-142 (2005)
- ZADEH, L. A.: Fuzzy Sets. *Information and Control*. Vol. 8, no. 3, pp. 338-353 (1965)

# Comparison of Crisp, Fuzzy and Possibilistic threshold in Spatial Queries

Mgr. Jan Caha, Palacky University in Olomouc, jan.caha@klikni.cz

## Introduction

It is stated that up to 90% of the information has a spatial character (Burrough and McDonnell, 1998). For efficient work with them is therefore necessary not only a system that allows a spatial data store and manage, but it is also necessary to ensure a sufficiently effective tool for spatial querying. Spatial analysis and spatial querying have a great importance in a wide range of research areas and human activities. Frequently discussed area is decision making (in crisis management, land use planning, modelling, etc.) (Longley et al., 2005). Precision of data obtained from answers to such spatial querying, as well as a form of this information, have a critical impact on the accuracy of subsequent decisions (Devillers et al., 2010). What more accurately it will be possible to define the parameters of spatial query and what more precisely can be visualized the result, subsequently can be more confident the final decision. The nature of a variety of phenomena, however, cannot be described as precise number. Therefore, the criteria to define the boundaries cannot be crisp values, since these exact boundaries in a variety of phenomena do not occur naturally [8].

Assistance with decision making based on spatial data is one the main objectives of geoinformatics (Burrough and McDonnell, 1998). Such support is mainly oriented on the identification of locations that fulfil certain criterion. Such criterion can be minimal or maximal distance from specific objects, areas with specific slopes and/or orientation, areas with a certain area etc. Regardless on the purpose or type of the spatial query there is one common property that those queries should have. That property is flexibility (softness). Generally it is not reasonable to specify thresholds for spatial queries as crisp values since such query can easily fail to identify suitable solution. Thus so called Fuzzy thresholds were introduced to the problematic of spatial decision support. Such queries are more flexible due to their natural softness which allows better ranking of alternatives and comparison of possible solutions. While these Fuzzy thresholds adds considerable amount of flexibility to the spatial queries the issue can be taken even further by introducing Possibilistic thresholds that are based on Possibility theory and that adds yet another level of flexibility and options for better spatial decision making. The main aim of the article is to present possibilities

of Possibilistic thresholds and their use in spatial queries.

## Spatial Queries

Usual aim of spatial queries is to select areas that meet one or more conditions. The condition is usually defined as a value being higher or smaller than given threshold. Such queries cannot quite well introduce any measure of preference in the result, because they are based on classical logical expressions (Bosc et al., 2005). But many decision making situations that involve spatial data are not well suited for such crisp queries, because the crisp query might be far too restrictive for such utilization (Witlox and Derudder, 2005). The reasons for creating soft thresholds can be summarized as following:

- the concept of the threshold is naturally vague i.e. definition of “steep slopes”,
- there are more than one acceptable definitions of threshold Y and there is no indications that any of them is more correct or precise than the others,
- threshold Y is based on the expert opinion that is provided as an interval of values rather than precise value, or there is a need to merge definitions of Y from several such expert opinions,
- results need to be arranged and the concept of intervals with associated suitability value is insufficient or inappropriate for the problem.
- 

These findings are supported by numerous studies (Bosc et al., 2005; Fonte and Lodwick, 2005).

## Crisp Queries

Crisp query is based on classical logic usually looks like “is variable X higher (or lower) than threshold Y?”. In such case it does not matter what is the difference between X and Y, if X is smaller then it is rejected from the resulting set. However there is a clear difference between  $X_1=0.1$  and  $X_2=1.799$  when they are compared to the threshold  $Y=1.8$ . While  $X_1$  is clearly smaller and should not be included in the set of numbers equal or higher than Y,  $X_2$  is quite another matter. Indeed it is lower than Y but the difference is so small that  $X_2$  is almost indistinguishable from the threshold. This example illustrates the biggest drawback of Crisp Queries which is the rigidity. It can only classify data into two groups. Sometimes more such thresholds are defined that classify the data into several intervals that indicates growing or decreasing suitability of the alternatives in these categories. Each category has assigned specific value of suitability. Even definition of such classes with intervals [0,0.4] and suitability value 0, [0.4,1.8] with suitability 0.33, [1.8,2.7] with 0.66 and finally interval [2.7,3.0] with suitability 1. However the problem of rigidity of definition is preserved, because the crisp thresholds are still used in creation of the stepwise classification and all the values on one class have the same amount of suitability. While this is helpful for the decision maker, the suitability ordering of the values still is not as fluid as it should be.

## Fuzzy Queries

Fuzzy query is based on Fuzzy logic (Zadeh, 1978) and its main purpose is to extend possibilities of Crisp Queries (Hwang and Thill, 2005). For complex decision making processes it is much better to specify the threshold as a fuzzy set (Zadeh, 1978). In a case mentioned in the previous chapter the crisp threshold can be approximated with Fuzzy set that has a membership function defined:

$$\mu_{\bar{Y}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x < 0.4 \\ \frac{x - 0.4}{2.7 - 0.4} & \text{if } 0.4 \leq x \leq 2.7 \\ 1 & \text{if } 2.7 < x. \end{cases}$$

Evaluating if the specific value of X is lower (or higher) then such threshold is then matter of calculation of the membership value to the fuzzy set denoted as Y. The main addition is the natural gradualness of the results. Because of that there is no longer any need to create classes with various suitability. Fuzzy thresholds are typically used in a situation when the threshold is described in terms of values that are possible to be used (in the example these are values higher than 0.4) and values absolutely fulfil the criterion (these are values higher than 2.7 in the example). Such description is quite common in geography, because many elements have naturally vague definitions (Fonte and Lodwick, 2005). It is quite apparent that this approach is a natural extension of the Crisp query with several

intervals. However this approach is much more complex as it can distinguish two close values, that would otherwise fall into one category, but their suitability value will be also quite similar, yet not the same.

## Possibilistic Queries

Possibilistic Queries are based on Possibility theory (Zadeh, 1978; Dubois and Prade, 1983). In such case the threshold used in the query is modelled as a fuzzy number (Hanss, 2005) and it serves as a possibility distribution (Zadeh, 1978). Triangular fuzzy numbers are specified by three values, support values - in the previously mentioned example the values would be 0.4 and 2.7, and a kernel value, which is 1.8. This allows creation of true soft threshold that is represented by such possibility distribution. This type of query is useful when the criterion is described as values that are absolutely suitable, values that are quite suitable, values that can be used but it would be better to avoid them and values that are completely unsuitable. This approach extends the fuzzy approach by introducing not only one but two measures of suitability. These Possibilistic thresholds are compared to the crisp values of the data by means described by Dubois and Prade (1982). The resulting measures identify both possibly and necessary suitable results.

## Case study

The case study presents rather simple problem.

The task is to identify all areas with slope higher than medium slope. All four possible approaches to this spatial query will be shown and compared. The simplest way is to specify crisp threshold after which the slope is considered medium. Since there is no general definition the value 7% is chosen the threshold by the expert. So the slopes are classified into two classes lower than 7% and higher or equal to 7%. The natural extension of this approach is identify values around the threshold and create special classes for them, to emphasize the areas that might were or were not chosen but differs only by a small margin from the threshold. In this case the classes were specified 0%–5%, 5%–7%, 7%–12% and 12%–110%. Such classification obviously offers more information to the user and the decision maker. The second mentioned approach is to approximate possible values of the threshold by a fuzzy set. Such fuzzy set can have linear membership function with important points at values 5% and 12%. Such fuzzy set offers linear classification when compared to crisp case. The result is much smoother and provides even more information then the crisp classification into classes. The last is Possibilistic query. In this case the threshold is modelled by a triangular fuzzy number that has support range [5%,12%] and kernel value 7%. To correctly query such surface there is a need to obtain both measures of possibility and necessity. Possibility identifies much bigger area that has slope value at least 5% and shows complete fulfilment for values higher than 7%. Necessity measure on the other hand identifies partial fulfilment for values higher than

7% and complete fulfilment for values higher than 12%. This is the most flexible solution from all mentioned approaches as it allows the user to operate with limit values (smallest and highest value of the threshold) as well as with the most possible value of the threshold. The use of two measures instead of one then allows obtaining much more information for further decision making.

## Future work

The topic of Possibilistic queries can be further extended especially by presenting more complex case studies and also by presenting methods for handling results of possibilistic queries in further data analysis. While the theoretical background for the use of Theory of Possibility in decision making and decision support is good (Dubois and Prade, 1983) there are surprisingly few practical examples and case studies regarding the subject, not only in the geosciences but also in other scientific fields. Considering the potential and benefits that this approach can offer, it definitely should be studied further. For particular case studies there would be monitored relevance of results with regard to the application of different approaches in spatial querying. For effective implementation of the previous findings there is a need to implement appropriate tools into primarily used software and become potential users familiar with this procedure.

## Conclusion

The contribution described two commonly used ways to query spatial data, Crisp and Fuzzy queries, and present new possible approach to this problematic by introducing Possibilistic queries. These queries are based on the Possibility theory and allows the decision maker to model thresholds by vague numbers. Results are obtained as the measure of possibility, that shows optimistic variant of the resulting selection, and the measure of necessity, that show pessimistic variant of the selection. These measures together allow the decision maker to embrace all types of decisions, those that were barely selected (low possibility values). Decisions that can be used but are not completely suitable (high possibility values but low necessity values). And even decision that absolutely satisfies the constraint (necessity value of 1), such enlargement of possibilities of spatial queries is much desirable for decision making, as it allows better data handling as well as better spatial decision support.

Transactions in GIS. Vol. 14, no. 4, pp. 387-400 (2010)

DUBOIS, D., PRADE, H.: Ranking Fuzzy Numbers in the Setting of Possibility Theory. Information Sciences, Vol. 30, no. 3, pp. 183-224 (1983)

FONTE, C. C., LODWICK, W. A.: Modelling the Fuzzy Spatial Extent of Geographical Entities. In: Petry, F., Robinson, V. B., Cobb, M. A. (eds.), Fuzzy modeling with spatial information for geographic problems. Berlin, Springer, pp. 120-142 (2005)

HANSS, M.: Applied fuzzy arithmetic: an introduction with engineering applications. Berlin, Springer-Verlag (2005)

HWANG, S., THILL, J.-C.: Modeling Localities with Fuzzy Sets and GIS. In: Petry, F., Robinson, V. B., Cobb, M. A. (eds.), Fuzzy modeling with spatial information for geographic problems. Berlin, Springer, pp. 120-142 (2005)

LONGLEY, P., GOODCHILD, M., MAGUIRE, D., RHIND, D.: Geographical information systems and science. 2nd edition. Chichester, Wiley (2005)

WITLOX, F., DERUDDER, B.: Spatial Decision-Making Using Fuzzy Decision Tables: Theory, Application and Limitations.

In: Petry, F., Robinson, V. B., Cobb, M. A. (eds.), Fuzzy modeling with spatial information for geographic problems.

Berlin, Springer, pp. 120-142 (2005)

ZADEH, L. A.: Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility.

Fuzzy Sets and Systems. Vol. 1, pp. 328 (1978)

## References

- BOSC, P., KRAFT, D. PETRY, F.: Fuzzy sets in database and information systems: Status and opportunities. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 156, no. 3, pp. 418-426 (2005)
- BURROUGH, P., MCDONNELL, R.: Principles of geographical information systems. Oxford, Oxford University Press (1998)
- DEVILLERS, R., STEIN, A., BÉDARD, Y., CHRISMAN, N., FISHER, P., SHI, W.: Thirty Years of Research on Spatial Data Quality: Achievements, Failures, and Opportunities.

Francis Harvey

## A Brief History of Big Data Mapping

dr. Francis Harvey, University of Minnesota, fharvey@umn.edu

### **Abstract**

While the term big data remains ambiguous, geography has always dealt with big amounts of data. Scale, generalization, even regions offer conceptual frameworks to get a handle on big data in 'traditional' approaches to geography and cartography. Are they still applicable and relevant in the framework of Jim Gray's fourth paradigm, aka data intensive science? I consider this question and draw on Laura Kurgan's concept of para-empirics to suggest that we are indeed dealing with a fundamentally different approaches. Looking at the use of topology for geographic information transmission, I suggest in this presentation that although that different approaches involve similar concepts they get us to the same understanding.

Francis Harvey

## The Next Age of Discovery and a Future in the Post-GIS World

dr. Francis Harvey, University of Minnesota, fharvey@umn.edu

### **Abstract**

GIS has been successful beyond measure around the world. Following Donald Norman, successful technologies disappear; they become infrastructure. Now almost 50 years after its inception and successful disappearance to become an integral foundation for life in the information age, it's time to think of issues in the Post-GIS era. This presentation specifically considers how the growing ubiquity of computing infrastructures around the world open potentials for a new era of discovery in global science and geographic information technologies. Because of the shifts in access and abilities to use digital information, the potential of geographic information is bursting the limits of GIS, which originated at the end of industrial era and still reflects those origins. Research challenges abound. Post-GIS science and technologies hold key importance in facilitating connections between the physical and virtual worlds, melding them into productive arrangements and raising important questions about changing social and cultural arrangements. Regarding science, networked digital infrastructures hold the potential to alter research in fundamental ways. Known as the Fourth Paradigm of science,

data intensive science goes hand-in-hand with intensely collaborative large group research that considers location in fascinating new ways. Recent scientific activities show how changes in the geographical organization of our work and conduct of science have already begun to take place. The presentation closes with considerations of central issues for this new age and recent activities that highlight the importance of educating future professionals and scientists for the technologies of the post-GIS era.

Jiří Hiess

# Comparison of current SDI development topics in Central Europe with respect to spatial planning and Geoinformation policies

RNDr. Jiří Hiess, Palacky University in Olomouc, hiess2@centrum.cz

## Abstract

I Last decade development of spatial data infrastructures (SDI) in Central Europe shifted the meaning of particular sub/national SDIs, and accentuated deficiencies that depend on the national and subsidiary responsibilities. Listed examples acquaint with both good and bad practices. Besides repeatedly highlighted and proved SDI champions Europe has also countries with a lack of smart Geoinformation Strategies, poor SDI awareness, inaccurate self-reflection. Lacks and incapabilities hinders and delays expected ESDI synergies.

To re-define up-to-date common objectives we discuss selected topics and important trends that appear in the contemporary applied geoinformatics globally. Using the experience from Self Assessment Framework method, which was developed by ESDI-Net project team, and applied in EUROGI Awards across the continent, we pick up appropriate indicators for wider discussion, and soon implementation. A contribution is stated to the list of re-usable methods how to measure, compare, and evaluate partial SDIs. As a part of emerging sectoral

Quality Control system this will accelerate sooner integration of partial SDIs, and next development into higher complexity, into European Geo-Intelligence Environment. This „EGIE“ as upper level concept of European SDI will exploit the comprehensive technical infrastructure, plus reflect the social consequences of the rising SDI integrity.

With respect to the ongoing global ICT revolution the branch of geoinformatics has to declare its own goals more proactively. The time came to renew the outdated keywords, and to spread an up-to-date new live geoinformatic terminology, refresh our realistic and true self-reflection, healthy self-confidence, reach the merited credibility, and access to sources. A discussion about requirements on the data classes listed in Annexes II and III of the EU INSPIRE directive, about missing and underestimated topics is accelerated. Spatial planning serves here to explain similarities of geodata classes with respect to territorial diversity, and/or choristic scale disparities. We recommend concluding thesis useable both in general programming documents, and appropriate to geoinformation strategies.

## Health Datasets in Spatial Analyses: The General Overview

Mgr. Lukáš Marek, Palacky University in Olomouc, lukas.marek@upol.cz

The contribution aims to present several initial steps common in spatial research of medical data. It is focused mainly on the current state in the Czech Republic. The paper starts with the information about data providers and it continues with terms and conditions, which need to be fulfilled due to the usage of data in analyses. Then the form of data and their possibilities of manipulations, analytical procedures and visualizations are presented, while the emphasis is to the anonymization of the data. All statements are supported by examples with real data sets.

### Data

Data and suitable analytical methods are the most important component of any successful research task or case study. Health and medical data require specific procedures of the management, presentation and operations, which emerge from the confidentiality of data. It means that data are usually provided in the aggregated or anonymized form; or as incomplete data sets – mainly in the sense of missing correct and complete addresses of explored cases. These data types need to be analysed by suitable analytical procedures, while the uncertainty and

the inaccuracy of data characteristics need to be taken into account.

The elementary classification of the data could contain the following pair: 1) point data sets - with the direct location (the place of infection, the patient's home address, etc.) and 2) aggregated frequency data – they can be based on the administrative units or grids. A comprehensive data classification can be found e.g. in [2], where data are sorted with regards to their origin and the purpose as follows:

- Irregular lattice data – measures aggregated/averaged to the level of census tracts or other type of administrative district.
- Case-event data – locations of individual cases of a disease, or of individual members of a suitable control group, or covariates.
- Geostatistical data – measurements sampled at point locations.
- Regular lattice data – measures aggregated/averaged to a regular grid (typically arising from remote sensing).

Primary data are usually collected by local, regional and national health institutes and they have also the meaningful significance for analysts. A common statement about the

deficiency of health data sets is not fully true. The question should not be about the amount or the existence of the data, but about their availability and the accessibility. The outstanding summary of existing world sources of health data sets with the emphasis on the cancer research can be found e.g. in [7]. Let us mention at least international organizations - WHO (World Health Organization), EUROSTAT or OECD (Organization for Economic Co-operation and Development). Furthermore, the INSPIRE directive contains theme called Human health and safety in its Annex III.

There are three main Czech providers of the medical and health data sets. They make their data sets publicly accessible in form of tables, reports, journals or annuals – all in the analogue and digital form of sources. The biggest provider is the Institute of Health Information and Statistics of the Czech Republic (<http://www.uzis.cz/>). The Institute manages extensive amount of data in several scales (local - national) but publicly available is just fragment of databases mainly in the Data Presentation System and several registers [7]. The second provider of health data is the Czech Statistical Office (<http://www.czso.cz/>). The CZSO also hold the data concerning the health and medical problematic, which are located in the public database within several topics (demography, health service, etc.). The third provider is the National Institute of Public Health (<http://www.szu.cz/>). The institute provides highly relevant data from previously mentioned fields in forms of three different

specialized journals and also as data and statistical publications and annuals. The output scale of most of publicly available data sets is national or regional.

## Data Privacy

The privacy of personal data is the crucial task that directly influences the data providers and analytics. This same data confidentiality is also the reason of the strain between the usefulness of the analysis in the local scale and the protection of the individual person privacy. The usual patient identifiers such as name and addresses can be obviously used to identify patients and Point locations obtained from geocoding or GPS can be used in the same way [8]. The current climate of legislation in the United States and the European Union is providing greater recognition of the rights of individuals to confidentiality of personal data, including health data, and the need for consent for medical investigations [5]. Public health reporting systems and medical registries were committed to the protection of the privacy of the individual even before all the mandates included in national and international legislatives [4].

The aim of clinical studies is to explore the relations on the individual level. Every single patient is taken into account as one unit, while several persons are considered as data set. The possibility of analysing complete dataset of individuals including all private data is often very unlikely for the researcher in GIS field. But it

also does not have to be necessary, on the other hand. The address (residential, of infection, etc.), or even better direct coordinates, are the most important information for geoanalyses, except the demographic and social status. But the accurate identification is private and sensitive information, which can be easily abused. Health data are often mapped to relatively arbitrary administrative areas (e.g., the level at which population and covariate data are available), but risks can be sensitive to changes in the scale of output, known as the “modifiable area unit problem” [6]. Grouping data at different levels of spatial resolution (e.g., wards, census tracts, regions) or aggregating data to different areal arrangements will inevitably lead to variation in results, which may affect the interpretation of findings [3].

## Anonymization

The provision of the access to relevant data is necessary for the field of study to progress. But implementing of appropriate controls for confidentiality and protection of data is essential to maintain the trust and support of the public [5]. Data providers usually apply procedures that ensure the anonymity of the data, because the data privacy and the data confidentiality are usually in the direct contrary to the effort of geoscientist to provide as precise analysis as possible. Methods that are used to protect confidentiality include the following [4]:

- spatial and temporal aggregation,
- adding geographic or etiologic context variables to original unmasked data and then removing the geographic identifiers,
- random small-scale relocation of individual records,
- limiting access to potentially identifiable data through a user- and/ or function-restricted computer environment.

The outstanding summary of the methods of aggregation methods as well as randomization procedures describes e.g. [1].

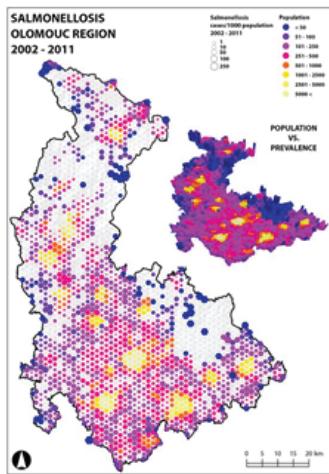
## Data reconstruction and visualization



Fig. 1 Point map based on the hexagonal binning of the data

The real data set of highly confidential medical data is used to prove previously stated facts about anonymization and method of aggregations, and its visualizations are presented. Case study data comes from the Epidemiological Database called EPI DAT. The sample dataset contains the occurrence of the salmonella in the Olomouc Region in the Czech Republic in the period 2002 – 2011. It means aggregation of 11 thousands records is proceeded in the space and also in the time.

Fig. 1 visualizes presents the point map, which is based on the hexagonal binning. The aggregation procedure into regular hexagonal



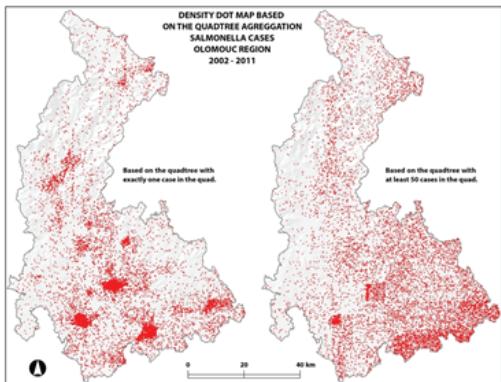
*Fig. 2 Quadtree map – data aggregated to the irregular units, colored quads contains exactly one case of the salmonella.*

grid is based on the average area of cadastral units in the region. The following map unlike the traditional choropleth map contains two kinds of information – the number of salmonella cases per population (raw rate) is expressed by the size of the hexagon, while the total population in the unit is expressed by the colour. One can clearly notice that highest prevalence of the disease is distributed in locations with the lowest population that can be easily misinterpreted.

Fig. 2 represents the quadtree, which allows both – empty spaces and full leaves (quadtree units). Each leaf contains exactly one case of the salmonella in the time period, whilst the empty spaces are indexed as well. The denser is the structure of leaves, the denser is the occurrence of the disease in the space. The bigger are individual leaves, the rarer is the presence of the disease. The advantage of quadtree structures as well as regular fishnet is that they do not use administrative boundaries and that is why the results may describe the essence of continuous phenomenon better.

Dot maps or dot density maps (Fig. 3) are usually used for the visualization of any point phenomena. But they are also very useful for depicting of the spatial pattern and spatial distribution in the case of aggregated data sets. Dots pattern creates a better visual depiction of the phenomenon in the space. Whether data are combined with the regular or irregular polygon units, the dot density map allows to re-identify individual cases at least in the certain

scale. Dotted are usually plotted randomly within boundaries of the areal unit.



*Fig. 3 Dot density map – dot distribution map based on the quadtree aggregation, each dot represents exactly one case of the salmonella. Left map is based on the quadtree with exactly one case in the leaf, while right map is based on the quadtree with at least 50 cases in the leaf.*

## Conclusion and Discussion

The statement about the lack of high-quality health and medical data sets is not fully true. The question should not be only about the existence of the data, but it should concern about their availability and the accessibility as well as about restrictions regarding to their usability and the usefulness of outputting results. The acquiring of the precise data on the local level containing e.g. addresses is usually the task of the long term negotiation and the persuasion of relevant institutions about the positive benefit of

geospatial technologies to their field of research. Previous chapters of the paper described the issue of the spatial health data from several points of view - from the distribution of the data by data providers through the difficulties of spatial data, to data anonymization and their analyses and presentation. The usability of theoretical aspects and the methodology presented in the paper is proved on the real dataset of occurrence of one particular infection disease in the region of the Czech Republic. One can easily imagine number of possible interpretations and, on the contrary, also misinterpretation of these data sets based on the visualizations of the very same data in different forms of aggregation or randomization.

## References

- [1] ARMSTRONG, M.P. et al.: Geographically masking health data to preserve confidentiality. *Statistics in medicine*. 18, 5, 497–525 (1999).
- [2] BAILEY, T.: Spatial statistical methods in health. *Cadernos de Saúde Pública*. 17, 5, 1083–1098 (2001).
- [3] BEALE, L. et al.: Methodologic issues and approaches to spatial epidemiology. *Environmental health perspectives*. 116, 8, 1105–10 (2008).
- [4] BELL, B.S. et al.: Current practices in spatial analysis of cancer data: mapping health statistics to inform policymakers and the public. *International journal of health geographics*. 5, 49 (2006).
- [5] ELLIOTT, P., WARTENBERG, D.: Spatial Epidemiology: Current Approaches and Future Challenges. *Environmental Health Perspectives*. 112, 9, 998–1006 (2004).
- [6] OPENSHAW, S.: The Modifiable Areal Unit Problem. Norwich (1984).
- [7] ŠTAMPACH, R.: Exploratory geographical analysis of health data

and its cartographical presentation. Masarykova Univerzita v Brně  
(2010).

[8] WALLER, L.A., GOTWAY, C.A.: Applied Spatial Statistics for Public  
Health Data. John Wiley & Sons (2004).

# Geography of Campylobacteriosis in the Czech Republic

Mgr. Lukáš Marek, Palacky University in Olomouc, lukas.marek@upol.cz

## Introduction

Analyses of time and space are recently well incorporated in the health research and evaluation of the pattern of medical records. Epidemiologists traditionally use the time series analysis, while geoscientists prefer to use spatial statistics to evaluate the occurrence of certain disease or vulnerability of the area. This contribution aims to presents the early stage of spatial and later also temporal, spatio-temporal and multivariate analyses of the campylobacteriosis in the Czech Republic (Marek, 2013a). The health and medical geography is still rather newly established field of study within the Czech Republic and this research is the first cooperation between the Department of Geoinformatics and the National Institute of Public Health.

## Motivation

Fresh milk vending machines started to appear several years ago, as the result of the increased focus on the quality of the food, drinks and the trend of local and bio food. While people are used to consume pasteurized milk and milk products, the fresh milk can bring strong stomach difficulties which are often

caused by campylobacteria. One of the main aims of the research is then focused on the proving or refusing of the connection among the disease and the location of fresh milk vending machine as well as the presence of farms and farmer's markets.

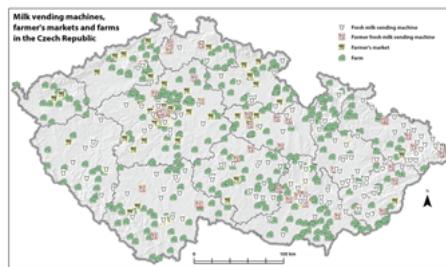


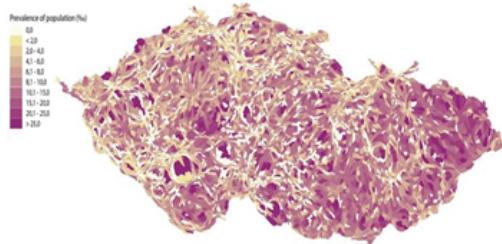
Fig. 1: Milk vending machines, farmer's markets and farms in the Czech Republic.

Fresh milk vending machines started to appear several years ago, as the result of the increased focus on the quality of the food, drinks and the trend of local and bio food. While people are used to consume pasteurized milk and milk products, the fresh milk can bring strong stomach difficulties which are often caused by campylobacteria. One of the main aims of the research is then focused on the proving or refusing of the connection among the disease

and the location of fresh milk vending machine as well as the presence of farms and farmer's markets.

Campylobacteriosis is caused by bacteria called *Campylobacter jejuni*, which is found worldwide in the intestinal tracts of animals. The bacteria are spiral shaped and can cause disease in animals and humans. Most cases of campylobacteriosis are associated with handling or eating raw or undercooked poultry meat or fresh milk. Campylobacteriosis causes gastrointestinal symptoms, such as diarrhoea, cramping, abdominal pain, and fever in domestic animals and humans. Young animals and humans are the most severely affected (CFSPPH, 2013).

## Data

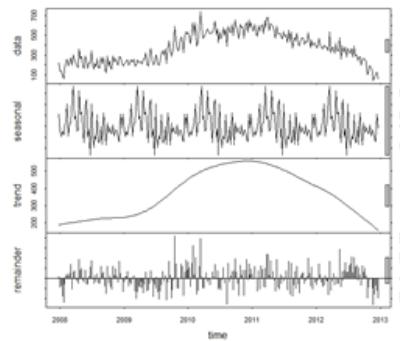


*Fig. 2: Cartogram of the population prevalence to Campylobacteriosis in 2008 - 2012.*

The data set for this study was provided by The National Institute of Public Health of the Czech Republic. The database contains almost 100,000 records of the campylobacteriosis occurrence

in the period 2008 – 2012. Because it is treated with sensitive personal data, the name, surname, identity number and sometimes also the full address are not included. The data were firstly cleansed of inconsistencies and then the geocoding process was able to run. Furthermore the individual records were aggregated into the regular hexagonal fishnet or city districts administrative units due to the clarity of the visualization (Marek, 2013b). The problem of the conversion of spatial phenomena between different areal or administrative units is well known as MAUP – Modifiable Area Unit Problem.

## Time



*Fig. 3: Decomposition of the Campylobacteriosis occurrence time series by SLT.*

Discrete time series are defined as an ordered sequence of random numbers with respect to time. In case of medical records, it is then an occurrence (or prevalence) of the infectious disease in the whole area in certain time period.

When the data is in the form of time series, all components of data (seasonal, trend, random/remainder component) can be assessed and visualized. The decomposition of the time series is one of crucial tasks in the process of evaluation and was done by STL decomposition procedure.

## Space

Analyses of spatial pattern of diseases occurrence, as well as their relations to potentially risk factors of the environment, are important parts of health studies. Three main broad areas of spatial epidemiology can be identified - disease mapping; geographic correlation studies; clustering, disease clusters, and surveillance. The presented study is mainly focused on methods of the estimation of a spatial clustering. Firstly, choropleth map, which visualizes the spatial distribution, was constructed and then methods of global and local spatial clustering estimation were applied. So possible spatial clusters are

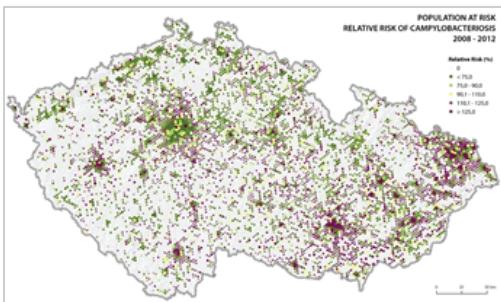


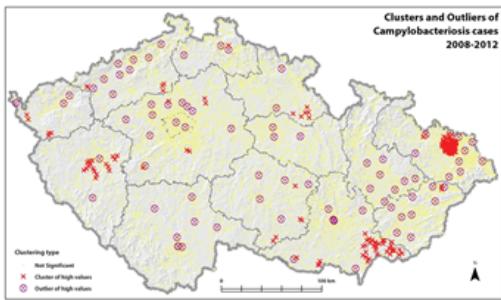
Fig. 4: Risk estimation for the Campylobacteriosis in the Czech Republic.

identified and the intensity of processes is statistically described.

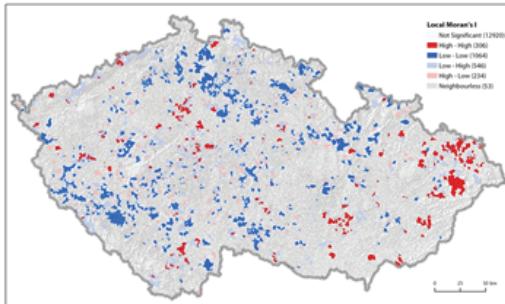
## Spatial Clusters

Spatial autocorrelation is the correlation among values of a single variable, which is strictly attributable to their relatively close locations on a two-dimensional (2-D) surface, introducing a deviation from the independent observations assumption of classical statistics (Griffith and Arbia, 2010). Tobler's first law of geography encapsulates this situation, "everything is related to everything else, but near things are more related than distant things". Positive spatial autocorrelation refers to the patterns where nearby or neighbouring values are more alike; while negative spatial autocorrelation refers to the patterns where nearby or neighbouring values are dissimilar. One can distinguish two main types of spatial autocorrelation, which are global and local.

These techniques are collectively denoted as Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA) and Local Indicators of Spatial Association (LISA), which are widely spread in geosciences and GIS software. Comprehensive description of theory, as well as detail examples of usage, can provide e.g. Anselin (1995) or Haining (2004).



*Fig. 5: Clustering and outlying points resulting from the computing of Local Moran's I and based on the points aggregation.*

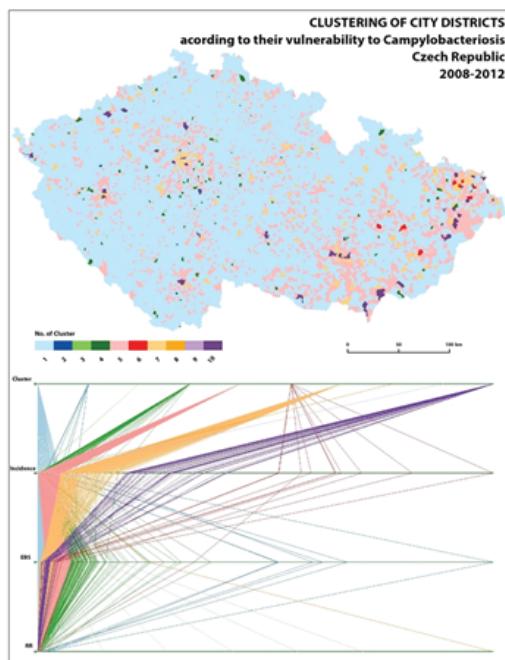


*Fig. 6: Clustering and outlying city districts resulting from the computing of Local Moran's I with Empirical Bayesian rate and randomization.*

## Attributes

While the spatial clustering creates groups, which are based mainly on the similar location or the location and one common characteristic, methods of multivariate statistics deals with

an exactly inverse situation. Thus, an aim of multivariate clustering is to categorize set of object with the emphasis on their quantitative and/or qualitative characteristics but without implementing spatial dependencies (Tabachnick and Fidell, 2007), albeit several attempts for the combination of both approaches have appeared in recent years.



*Fig. 7: Decomposition of the salmonella occurrence time series by SLT.*

Similar areas (city administrative units) were identified using multivariate clustering. Clusters are based on the frequency of the disease appearing in the area, empirical Bayesian rates and relative risk in the area. The k-means algorithm was used to identify 10 different clusters, which were plotted in the map (Fig. 7). The interpretation of similarity of individual clusters is an always complex task. The parallel coordinates chart is a common way of visualizing multidimensional data and can simplify this procedure.

## Conclusion and Discussion

Researchers can easily explore spatial distribution and / or spatial relations of the occurrence of the phenomena using methods of spatial statistics and multivariate statistics. These methods are able to quantify and also evaluate the situation, which is often evident on the surface but it is needed to support it by the calculus. One has to realize also the disadvantages of these methods, which are mainly scale dependency and also the experience dependency of the analyst. The spatial statistics allows evaluating of global spatial pattern, while LISA is the following group of methods, which is revealing the particular location of susceptible or healthy clusters in the area. The time series analyses evaluate the time aspect of the disease and supplement the spatial analyses.

## References

- ANSELIN, L. (1995). Local Indicators of Spatial Association-LISA, 27(2).
- GRIFFITH, D., ARBIA, G. (2010). Detecting negative spatial autocorrelation in georeferenced random variables. International Journal of Geographical Information Science, 24(3), 417–437. doi:10.1080/13658810902832591
- HAINING, R. (2004). Spatial Data Analysis: Theory and Practice. Cambridge University Press.
- MAREK, L. (2013a). Geography of the Campylobacteriosis in the Czech Republic, 2008 – 2012. GEOMED 2013
- MAREK, L. ET AL. (2013b). On Estimation of the Spatial Clustering: Case Study of Epidemiological Data In Olomouc Region, Czech Republic. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava.
- TABACHICK, B., FIDELL, L. (2007). Using multivariate statistics (5th ed., p. 980). Pearson.
- THE CENTER FOR FOOD SECURITY & PUBLIC HEALTH (2013). Campylobacteriosis, available at: [http://www.cfsph.iastate.edu/FastFacts/pdfs/campylobacteriosis\\_F.pdf](http://www.cfsph.iastate.edu/FastFacts/pdfs/campylobacteriosis_F.pdf)

Jakub Miřijovský

## Morphological analysis of the fluvial forms in the Morava River

RNDr. Jakub Miřijovský, Ph.D., Palacky University in Olomouc, jakub.mirijovsky@upol.cz

Rivers are naturally dynamic over the time and space, responding to the variability in water and sediment inputs and also to the anthropogenic pressures that can result in adjustments of the river's shape and form. Therefore, the present form of river channels is continuously influenced by past events. As a result, the present shape of former river channels can only be explained by integrating the historical, hydrological, and spatial perspectives offered by multiple academic disciplines, including remote sensing. Nowadays landscape scanning is crucial in every geographical and geoecological research. It is impossible to make landscape studies without quality aerial or satellite images. Imaging by UAV enables experts to acquire very detailed images at low cost. To make right decisions it is necessary to have completed methodology that ensures correct use of all system components.

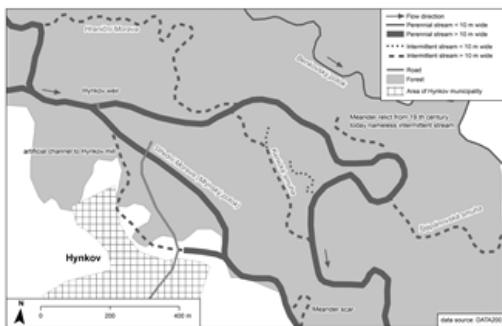
### Study area

Before human activities, the lower Morava had been actively meandering river channel. The length of original channel bed before canalization has been 352 km; 80 km from this reach has been composed by border part ČSR/Austria, beginning at the confluence of Dyje

River and Morava till confluence of Morava and Danube (lower Morava reach). Lower Morava represented typical alluvial meandering river with low slope and low flow velocity. Average river bed slope of border reach before regulation has been 0.15 promile. Original floodplain area of lower Morava has been defined as: area size on the Austrian side is 28.74 km<sup>2</sup>, area size on the Slovak side is 133.95 km<sup>2</sup>. Actual inundation area size (between levees) is 79.75 km<sup>2</sup>, which is almost by 50 % smaller.

Morava is typical example of meandering river influenced by regulation (except of Litovelské Pomoraví, and the locality around Strážnice – our study areas). Regulation markedly simplified and deprived river shape. From initially differentiated meandering channel has been created direct channel. The floods are concentrated into narrow intra levees area. Natural effect of attenuation of floods by spilling into natural floodplain area and such slowing downstream progress into lower basin areas is not used. Dykes systems do not assure enough flood protection, proof of this fact is also dams break on the Austrian side during floods in the spring of year 2006. Cutoff lakes, which stayed isolated in the outside part of dykes, are infilling.

Kenický meander National Nature Reserve is situated on the territory of Litovelské Pomoraví PLA on 250.3 km of the river Morava. To be specific, it is situated in Ramena řeky Moravy National Nature Reserve that includes main and side-streams of the river Morava. A natural (unregulated) lowland river basin and adjacent bank communities of herbs and wood species, that preserved their original species composition, are subjects of protection. On the right bank of the river, westwards from the Kenický meander, there is the National Nature Reserve Kenický, which also includes so called hardwood (alluvial forests with predominant of trees with hardwood, such as an oak, an ash) between the main channel of the river Morava Mlýnský potok (sometimes called as Střední Morava or Malá voda). In this work, an exact determination of Kenický Meander Nature Reserve is a section of the main channel of the river Morava between the transverse profiles No. 8 and No. 18.



*Fig. 1: Morava river in Litovelské Pomoraví protected area. First study area*

## UAV photogrammetry

The UAV photogrammetry is the field of science, contains methods and technologies that deals with the acquisition of further usable measurements, maps, digital terrain models and other products that can be obtained from the images, mostly photographic materials.

The main condition is that a pilot may not be physically presented in the platform. UAV photogrammetry combines advantages of air and land photogrammetry. The UAV photogrammetry takes the advantage of vertical aerial view from air photogrammetry and the advantage of close distance and the high image detail from ground photogrammetry Aber et al. (2010). Geometric-mathematical reconstruction of the direction of the photographic rays in the image is the basic principle of the photogrammetric measurement. The UAV photogrammetry works on the same principle. The UAV photogrammetry is a new measurement tool with a possibility of obtaining geographic data in new applications. More information about data obtaining with UAVs models can be found in Aber et al. (2010) or in Mirijovsky et al. (2011).

It is necessary to know the elements of external and internal orientation in order to properly implement of aerotriangulation. The exterior orientation elements include camera position on the platform in the coordinates X, Y, Z of ground coordinate system and the three angles of cameras tilt ( $\omega, \phi, \kappa$ ). These angles are relative

to the ground coordinate system. The position of coordinates (X, Y, Z) is accorded by very precise D-GPS systems. Tilts of the camera can be easily measured using a system of three levels, preferably using an INS device (Inertial Navigation System) or IMU device (Inertial Measurement Unit). Size, weight and price in most cases do not allow the use of UAVs in the models Aber et al (2010). It is necessary to use the calculation of aerotriangulation without known elements of exterior orientation. The most common method is to determine the elements of internal orientation using GCP (Ground Control Points) with known coordinates X, Y, Z.

The accuracy of positioning of GCP is the most important factor affecting the accuracy of the final aerotriangulation. Measurements using a standard GPS device or subtract of coordinates from the map can be sufficient for working with images of a small scale. But for the SFAP with a precise accuracy is necessary to use a total station or GPS device with dual-frequency correction data for focus of GCP. Elements of internal orientation can be determined either in special laboratories, or even by self-calibration. While aerial cameras are usually already calibrated by the producer, for small cameras used in SFAP applications the calibration protocols are not known. Camera calibration was performed in PhotoModeler and iWitness software. It was executed several types of calibration. Calibration was performed by using a single calibration grid sheet, but also with multi-grid calibration sheet.

## Ground control points

Control points are the most essential elements for the correct processing of aerial photographs. Control points serve as a basis for the calculation of exterior orientation parameters. Their accurate determination is critical for further processing of the photographs. The accuracy of an AAT (Automatic Aerial Triangulation) calculation is affected by several factors. It is an accuracy of measuring the control points' coordinates and their total number and distribution. Only if all three elements are correctly performed, the result of aerial triangulation, or perhaps determination of the exterior orientation parameters, will be correct. The distribution of control points is decisive for the AAT result and accuracy. Normally 4 or 5 symmetrically distributed points are used in practical conventional aerial photography.

However, what does „symmetrical“ mean? According to the generally known photogrammetry rules, the points should be evenly distributed over the entire area of the photograph. But there are many ways to distribute the points. The theory of statistical estimates and solvability of linear equations suggests that the error rate of the model increases if there is a linear relation between the points. In other words, the accuracy of the result decreases. The addition of equations for the third point, which is located on a line connecting two other points, will not increase the rank of the matrix; consequently, this point will not

increase the solvability of the equation system. In other words, this procedure will not reduce the amount of degrees of freedom.

The following example gives an explanation. If six unknowns are to be resolved, six equations must be calculated to correctly solve the entire system. Thus, if we take two points, which have determined X and Y coordinates, these points produce four equations (two for X, two for Y). If we add a third point, which, however, represents a linear combination of the two preceding points, then even the other pair is still a linear combination of the previous points. The resulting system then brings nothing new and the entire system cannot be solved.

## Results



Fig. 2: Neck rupture of the Kenický meander

There were taken three sets of images of Kenický meander. The images were photogrammetrically processed. Based on the processed images was performed morphometric analysis of the development meander and woody debris. Parameters of the imaging flight and image processing are shown in the table 1.

Respondent	Result
Number of images	47
Flying altitude (m)	106
Ground sample distance (cm)	2.3
Number of Ground control points	17
Number of Tie points	94365
Error of the image coordinates (pix)	0.59
Point density (points/m <sup>2</sup> )	299
The average error in Z(m)	-6.01E-05
The standard deviation (m)	0.093
RMSEZ (m)	0.093

Tab 1: Parameters of the imaging flight and image processing

According to survey from the beginning of May, the width of the rupture is only 17.5 m. One of possible reasons is fast decrease of the flood after the rupture, when the river did not have enough energy to widen the passageway sufficiently. Erosion of further part is partly

prevented by trees and their roots that fallen into the basin of the river. Their trunks (located in water in perpendicular position to the flow) partially help to ensure that the water forms the basin by deep erosion not by lateral one. It also causes extreme depth in the former isthmus. This deepening is also supported by a fact that at the bottom of the isthmus there is a pool and so we can presuppose that the level of the bottom will decrease due to backward erosion. Its reach depends on frequency and strength of further floods. Kénická accumulation has already started to help blocking of inlet of the meander, where the flow of the water is much weaker nowadays (in some places, the water is almost stagnant) and in future, it will help to stop its dischargeability. According to current development, it seems that potential length of a meander zone formed by potential meanders will be even longer. It is possible that potential new meanders will also affect bottom part of Kenická branch, which would become a basin with regular flow of water. But this is only a hypothesis of what may happen in future decades.

## References

- ABER, J., MARZOLFF, I., RIES, J. (2010). Small-Format Aerial Photography: Principles, techniques and geoscience applications, Elsevier, first edition, 268.
- MIRIJOVSKY, J.; BRUS, J.; PECHANEC, V. (2011). Utilization of a small format aerial photography from drone PIXY concept in the evaluation of the landscape changes. Conference Proceedings SGEM 2011, 11th International Multidisciplinary Scientific GeoConference STEF92 Technology Ltd., Bulgaria, 345-352.

Mukesh Singh Boori

# Satellite generated brightness temperature (AMSR-E BT) influenced by landsurface

dr. Mukesh Singh Boori, Palacky University in Olomouc, mukesh.boori@upol.cz

## Abstract

Microwave polarization and gradient ratio (MPGR) is an effective indicator for characterizing the land surface characteristics (i.e., bare soil/ developed, ice, and water) from sensors like EOS Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR-E) under cloud covered conditions when this information cannot be obtained using optical remote sensing data. This investigation uses the HDF Explorer, Matlab, and ArcGIS software to process the pixel latitude, longitude, and BT information from the AMSR-E imagery. This paper uses the polarization and gradient ratio from AMSR-E BT for 6.9, 10.7, 18.7, 23.8, 36.5, and 89.0 GHz frequency to identify seventeen land cover types.

## Introduction

Timely monitoring of natural disasters is important for minimizing economic losses caused by floods, drought, etc. Access to large-scale regional land surface information is critical to emergency management during natural disasters. Remote sensing of land cover classification and surface temperature has

become an important research subject globally.

Microwave polarization ratio (PR; the difference between of the first two stokes parameters (H- and V-polarization) divided by their sum) and gradient ratio (GR; the difference of two Stokes Parameters either H or V with different frequency divided by their sum) correspond with seasonal changes in vegetation water content and leaf area index (Becker & Choudhury, 1988; Choudhury & Tucker, 1987; Jackson & Schmugge, 1991; Paloscia & Pampaloni, 1988). The MPGR is sensitive to the NDVI (Becker & Choudhury, 1988), as well as open water, soil moisture, and surface roughness (Njoku & Chan, 2006). Paloscia and Pampaloni (1988) used microwave radiometer to monitor vegetation and demonstrate that the MPGR is very sensitive to vegetation types (especially for water content in vegetation), and that microwave polarization index increases exponential with increasing water stress index. The polarization index also increases with vegetation growth (Paloscia and Pampaloni 1988).

## Data

The Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR-E) was deployed on the NASA Earth Observing System (EOS) polar-orbiting Aqua satellite platform. The AMSR-E sensor measures

vertically (V) and horizontally (H) polarized BT at six frequencies (6.9, 10.7, 18.7, 23.8, 36.5, and 89.0 GHz). MODIS land cover data (MCD12Q1) was acquired from the NSIDC and used to determine land cover information.

0 - Water	09 - Savannas
1 - Evergreen Needle leaf Forest	10 - Grasslands
2 - Evergreen Broad leaf Forest	11 - Permanent Wetlands
3 - Deciduous Need leaf Forest	12 - Croplands
4 - Deciduous Broad leaf Forest	13 - Urban Built-up
5 - Mixed Forest	14 - Cropland Natural Vegetation Mosaic
6 - Closed Shrub lands	15 - Snow Ice
7 - Open Shrub lands	16 - Barren Sparsely Vegetated
8 - Woody Savannas	

Tab. 1: MODIS land cover classes with their code.

## Methodology

MPGR Eq. (1a) and (1b) is an effective indicator for characterizing the land surface vegetation cover density. The polarization ratio used in the study can be described as Eq. (1a)

$$PR(f) = [BT(fV) - BT(fH)] / [BT(fV) + BT(fH)] \quad (1a)$$

And the gradient ratio as Eq. (1b)

$$GR(f1p \ f2p) = BT(f1p) - BT(f2p)] / [BT(f1p) + BT(f2p)]$$

where BT is the brightness temperature at frequency f for the polarized component p. When there is little vegetation cover over the land surface, the value of  $\tau$  can be defined as zero. So the MPGR of bare ground can be written as Eq. (2a) for polarization and Eq. (2b) for gradient ratio.

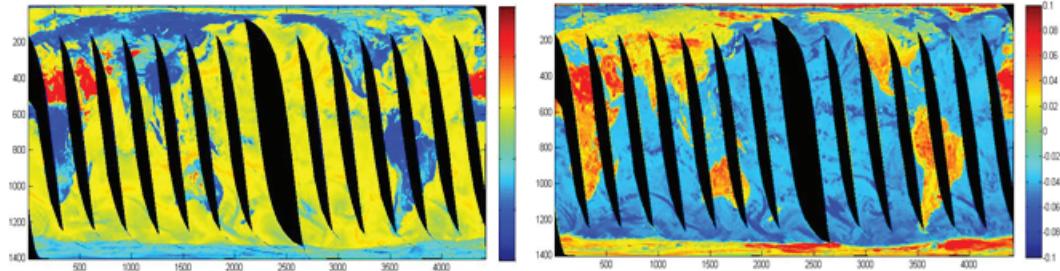
$$PR(f) = [\varepsilon(fV) - \varepsilon(fH)] / [\varepsilon(fV) + \varepsilon(fH)] \quad (2a)$$

$$GR(f1p f2p) = \varepsilon(f1p) - \varepsilon(f2p)] / [\varepsilon(f1p) + \varepsilon(f2p)] \quad (2b)$$

According to Paloscia and Pampaloni (1988), we can assume  $\varepsilon_{soil}(\varepsilon V + \varepsilon H)/2$ , and  $T_c = T_{soil}$ . Then Eq. (2) can be further simplified as

$$MPGR(\tau, \mu) \approx MPGR(0, \mu)e^{-\tau/\mu} \quad (3)$$

Since microwave radiation is polarized, it can be used to depict the condition of vegetation if the vegetation-soil is made a pattern. Eq. (3) shows that MPGR mainly depends on  $\mu$  and  $\tau$ , and MPGR values fall as vegetation becomes thicker. Therefore, MPGR indicates the density of land surface vegetation cover. Vegetation cover also greatly influences the land surface temperature. Thus, we classify the land surface vegetation cover conditions into several types based on values of MPGR (Fig.1).



*Fig.1: AMSR-E image with MPGR value range for (A) polarization ratio ( $PR 36.5$ ) and (B) gradient ratio  $GR V (36.5 - 18.7)$ . In panel A, the dark red areas indicate deserts, dark blue represents dense vegetation, and the color in between correspond to mixed vegetation. In panel B, dark red highlights desert regions, and light red showing vegetation condition, yellow and sky blue showing mixed vegetation (30/09/2011).*

*Both images clearly differentiate land and water on earth after polarization or gradient ratio.*

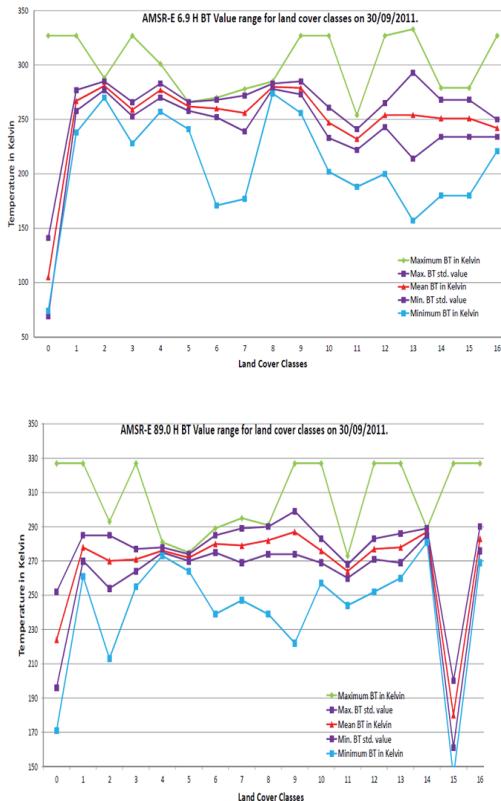
## Result

To identify the behavior of each land cover class, we first selected/determined sample sites in all 17 land cover classes through the use of the ArcGIS system. Then their maximum, minimum, mean, and standard deviation were derived all horizontal and vertical AMSR-E frequencies to

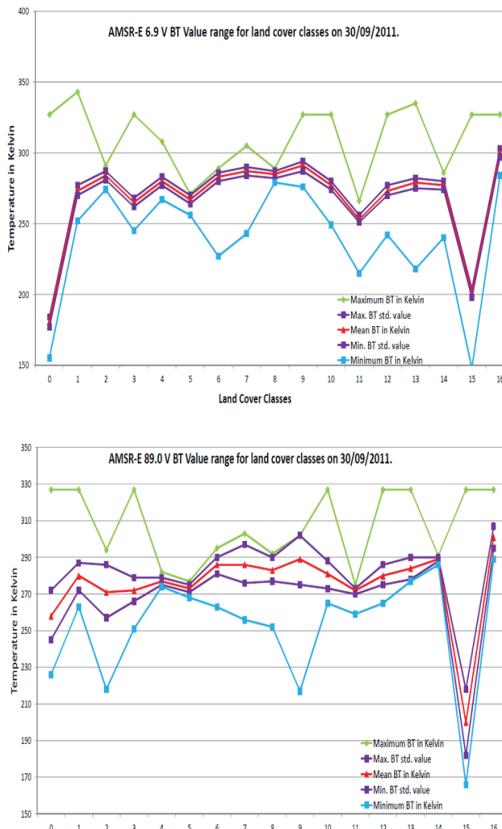
determine which combination of MPGR are best suited for land cover classification. We find (Fig. 2) that vertical and higher frequency are closer to actual physical land surface condition/type compared with horizontal and lower frequency.

For land cover classification on the basis of

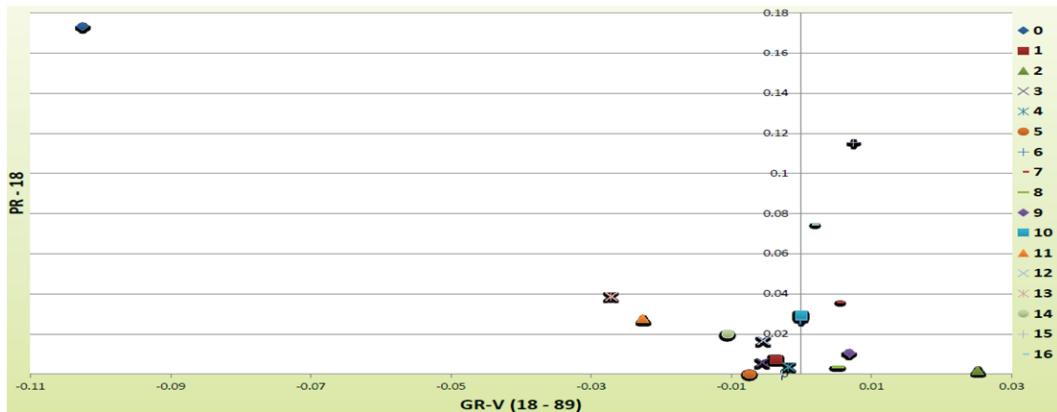
MPGR, we focused on three combinations of PR-PR, PR-GR and GR-GR, and plot two graphs for each combination (Fig. 3). The scatterplots identify all 17 land cover classes (as shown in Fig 3). Water pixels are located at highest value in



the graph, then ice, bare soil, built-up area, and grasslands, savanna, mixed vegetation, degraded vegetation and dense / evergreen vegetation, respectively.



*Fig.2: Seventeen land cover classes maximum, minimum, mean and standard deviation temperature in kelvin for 6.9 and 89.0 Ghz AMSR-E frequency.*



*Fig.3: 17 land cover classes mean PR-GR relation ratio with 18.7 and 89.0 Ghz H-V AMSR-E frequency.*

For land cover classification on the basis of MPGR, we focused on three combinations of PR-PR, PR-GR and GR-GR, and plot two graphs for each combination (Fig. 3). The scatterplots identify all 17 land cover classes (as shown in Fig 3). Water pixels are located at highest value in the graph, then ice, bare soil, built-up area, and grasslands, savanna, mixed vegetation, degraded vegetation and dense / evergreen vegetation, respectively.

## Conclusions

A smaller MPGR indicates dense vegetation, with the MPGR increasing progressively for mixed vegetation, degraded vegetation, bare soil/

developed, and ice and water. This information can help improve the characterization of land surface characteristics for use in weather forecasting applications, even during cloudy and precipitation conditions which often interferes with other sensors.

## References

- BECKER, F., & CHOUDHURY, B. J. 1988. Relative sensitivity of normalized difference vegetation index (NDVI) and microwave polarization difference index (MPDI) for vegetation and desertification monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 24, 297-311.
- CHOUDHURY, B. J., & TUCKER, C. J. 1987. Monitoring global vegetation using Nimbus-7 37 GHz Data Some empirical

- relations. International Journal of Remote Sensing, 8, 1085–1090.
- JACKSON, T. J., & SCHMUGGE, T. J. 1991. Vegetation effects on the microwave emission of soils. *Remote Sensing of Environment*, 36, 203–212.
- NJOKU, E. G., & CHAN, S. K. 2006. Vegetation and surface roughness effects on AMSR-E land observations. *Remote Sensing of Environment*, 100, 190–199.
- PALOSCIA S, PAMPALONI P. 1988. Microwave polarization index for monitoring vegetation growth. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 26, 617–621.

Land Cover Classes	PR-10	PR-18	PR-36	PR-89	GR-V (89-18)	GR-H (89-18)	GR-V (36-10)	GR-H (36-10)
Water	0.20 – 0.25	0.17 – 0.18	0.035 – 0.04	0.06 – 0.07	0.10 – 0.11	0.20 – 0.25	0.10 – 0.11	0.30 – 0.4
Evergreen Needle leaf Forest	0.005 – 0.01	0.005 – 0.01	0.005 – 0.01	0.00 – 0.005	0.00 – 0.005	0.005 – 0.01	0.005 – 0.01	0.005 – 0.01
Evergreen Broad leaf Forest	0.00 – 0.005	0.00 – 0.005	0.00 – 0.005	0.00 – 0.005	-0.02 – -0.03	-0.02 – -0.03	-0.01 – -0.005	-0.01 – -0.005
Deciduous Needle leaf Forest	0.005 – 0.01	0.005 – 0.01	0.005 – 0.01	0.00 – 0.005	0.005 – 0.01	0.005 – 0.01	0.005 – 0.01	0.005 – 0.01
Deciduous Broad leaf Forest	0.005 – 0.01	0.00 – 0.005	0.00 – 0.005	0.00 – 0.005	0.00 – 0.005	0.00 – 0.005	-0.005 – 0.0	0.00 – 0.005
Mixed Forest	0.005 – 0.01	0.00 – 0.005	0.00 – 0.005	0.00 – 0.005	0.005 – 0.01	0.005 – 0.01	0.005 – 0.01	0.005 – 0.01
Closed Shrub lands	0.035 – 0.04	0.025 – 0.03	0.015 – 0.02	0.01 – 0.015	-0.005 – 0.0	0.015 – 0.02	0.00 – 0.005	0.02 – 0.025

Open Shrub lands	0.04 – 0.05	0.035 – 0.04	0.025 – 0.03	0.01 – 0.015	-0.01 – -0.005	0.015 – 0.02	-0.005 – 0.0	0.025 – 0.03
Woody Savannas	0.00 – 0.005	0.00 – 0.005	0.00 – 0.005	0.00 – 0.005	-0.01 – -0.005	-0.005 – 0.0	-0.005 – 0.0	-0.005 – 0.0
Savannas	0.015 – 0.02	0.01 – 0.015	0.005 – 0.01	0.00 – 0.005	-0.01 – -0.005	0.00 – 0.005	-0.005 – 0.0	0.005 – 0.01
Grasslands	0.04 – 0.05	0.025 – 0.03	0.015 – 0.02	0.005 – 0.01	-0.005 – 0.0	0.02 – 0.025	0.005 – 0.01	0.03 – 0.035
Permanent Wetlands	0.035 – 0.04	0.025 – 0.03	0.02 – 0.025	0.015 – 0.02	0.02 – 0.025	0.035 – 0.04	0.015 – 0.02	0.03 – 0.035
Croplands	0.025 – 0.03	0.015 – 0.02	0.01 – 0.015	0.005 – 0.01	0.005 – 0.01	0.015 – 0.02	0.005 – 0.01	0.02 – 0.025
Urban Built-up	0.05 – 0.06	0.035 – 0.04	0.00 – 0.005	0.01 – 0.015	0.025 – 0.03	0.05 – 0.06	0.00 – 0.005	0.05 – 0.06
Cropland Natural Vegetation Mosaic	0.03 – 0.035	0.02 – 0.025	0.01 – 0.015	0.00 – 0.005	0.01 – 0.015	0.025 – 0.03	0.01 – 0.015	0.03 – 0.035
Snow Ice	0.13 – 0.14	0.11 – 0.12	0.07 – 0.08	0.05 – 0.06	-0.01 – -0.005	0.05 – 0.06	-0.02 – -0.01	0.05 – 0.06
Barren Sparsely Vegetated	0.09 – 0.10	0.07 – 0.08	0.05 – 0.06	0.035 – 0.04	-0.005 – 0.0	0.04 – 0.05	-0.005 – 0.0	0.04 – 0.05

Tab. 2: Land cover classes and there MPGR value.

Maik Netzband

# Remote Sensing Data for the Mapping of Urban Poverty and Slum Areas

Dr. Maik Netzband, Palacky University in Olomouc, maik.netzband@rub.de

## Remote Sensing and Social Sciences

Urban focused social science investigates the present-day challenges (threats) to the welfare of urban population. Social science research mostly relies on interactions with individuals, e.g. through surveys or ethnographic research. Social science studies are attracted to remote sensing (RS) data for observing changes in physical characteristics on a local (e.g. urban studies), regional (forest cover change), or even a global scale. Those are the ones that can be coupled with social science data streams, e.g. within surveys or observation of behavior (e.g. migration, market activities). But there is no natural correspondence to grids or even small-scale administrative units. On the other hand technological requirements seriously reduce the usability of RS data in social science (SS) applications.

Urban RS has proven to be a useful tool for urban planning and urban ecological topics on different scales. But remote sensing in urban areas is by nature defined as the measurement of surface radiance and properties connected to the land use/land cover in cities. Beyond the physical

measurement the question remains whether there is (or potentially could be) value for social scientists working on urban topics too. Is it more than just a pretty picture and can it fill spatial gaps in social science data?

Studies concentrating on the challenge of world urbanization still claim an unmet need to link spatial and socio-demographic information. Rindfuss and Stern (1998) discuss the gap between social science and remote sensing research as well as the potential benefits in bridging that gap. As a justification for expensive publicly funded satellite programs, remote sensing scientists argue that remote sensing data are valuable for society. Some social scientists view remote sensing as a tool for gathering information on the context that influences social phenomena or the environmental consequences of various social, economic, and demographic processes. Social science itself can contribute to remote sensing research by validating and interpreting the data as well as investigating the implications of using remote sensing data for confidentiality.

Population modeling was one of the early

applications of remote sensing (de Sherbinin et al. 2002). Although the number of people living in an area can not be seen directly on the remotely sensed data, it can be used as an indirect tool for population estimation by using different methods. There are different branches of population-environment research in which remote sensing data can be effectively used. Remotely sensed data both from aerial photographs and satellite images in combination with Geographical Information Systems (GIS) have scientific value not only in the study of land use/land cover change (e.g., decrease in open green areas, increase in impervious areas), but also for the study of depletion of surface and ground water, increasing air pollution and land surface temperature. Using satellite data can increase accuracy (vis-à-vis ground measurements), will take lesser time, man power, and costs of doing research on urban issues.

### **Identifying Spatial Patterns of Urban Poverty**

Attempts to address the question of whether the worldwide urbanization process is dealing with poverty have, thus far, been based on limited information. There is little scientific and operational knowledge about this process. Urban growth and land consumption patterns are only beginning to be recognized and regulation is still limited. Thus, the available information is very often inadequate for policy and planning. Due to the microstructure and irregularity of fast

growing urban agglomerations as well as their direct adaptation to local conditions and terrain, a generically applicable and operational mapping of these settlements has proven difficult.

Sophisticated data and methods of image analysis are thus necessary. High resolution remotely sensed data sets (e.g. IKONOS, Quick Bird and Cartosat 1 and 2) help to document the growth of urban areas, both quantitatively and, in combination with ancillary data sets, qualitatively. In order to analyze and evaluate intra-urban patterns as well as trends in slums across cities, such data must be taken throughout the various levels of planning processes and must incorporate all existing and documented socio-economic information and environmental issues.

Recent research activities have focused on the identification of the poor in the context of slums, informal settlements, marginal areas and low income neighborhoods, as well as their spatial embeddings in a number of fast growing cities and megacities across the globe (Netzband et al., 2009). The spatial profile that traces poverty in complex, cluttered, uncontrolled, and fast growing urbanized regions is elaborated by means of very high resolution (VHR) remote sensing data e.g. WorldView 1 and 2 and GeoEye-1 and the associated geospatial techniques

There are several issues in addressing the question of how remote sensing can help access the spatial configuration of urban informal

settlements and living conditions. These include:

- Examining whether a spatial correlation exists between the results of the different thematic land-use/ land-cover analyses;
- Identifying land-use patterns combined with a vegetation index analysis (NDVI) and Urban Structure Types (UST); and
- Estimating spatial indicators for quality of life and vulnerability to natural hazards such as flooding.

The concept of classifying UST by remote sensing and GIS has been proved increasingly important as a baseline for urban spatial research (Banzhaf and Höfer 2008; Puissant and Weber 2002; Niebergall et al . 2007; Taubenböck et al . 2006). The UST are characterized as follows. First, they can identify different classes such as types of buildings (residential, commercial, industrial and recreational etc.), other classes of impervious surfaces (road and railways, parking lots, etc.), and classes of open spaces (woodland, allotments, parks). Second, they can typify structures as per their individual compositions, as it takes the composition of two to three of the aforementioned classes to form an urban structure type. Therefore, the amount, connectivity, and distribution of impervious surfaces, green spaces, and other open spaces on an aggregated neighborhood scale are the goal of the quantitative spatial characterization.

After the classification of such single objects, the structural composition in terms of the amount and connectivity of the single objects

is aggregated on a neighborhood scale to generate a UST (Banzhaf & Höfer 2008). The resulting UST layer forms the basis for socio-environmental studies on topics such as socio-spatial differentiation or for socio-ecological investigations on neighborhoods exposed to natural hazards (e.g., flooding and landslides) and also supports socio-economic research on inclusion and exclusion.

In terms of the urban vegetation pattern analyzed with the NDVI, existing vegetation and other open areas are considered as positive urban structure elements because of their ecological functions (biodiversity conservation, production of oxygen and cleansing air from pollutants) as well as their social functions for individual recreational purposes and as social meeting points. Water bodies as potential carriers of disease and the road system as a potential air polluter are considered as negative urban structures in the sense that their proximity can cause respiratory and infectious diseases. Due to the rapid population growth of megacities lacking appropriate infrastructure measures, multiple health complaints result for their inhabitants.

The knowledge of surface temperature is important for urban climatology and human health. Thermal infrared remotely sensed data in the bandwidth of 10.4-12.5  $\mu\text{m}$ , available from Landsat-7 (TM and ETM+) and ASTER satellites, which has 60 m resp. 80 m resolution in thermal region can be used to identify urban

heat islands (Rahman, 2009). Thermal infrared data acquired over urban areas during the day and at night can be used to monitor the heat island effect associated with urban areas, as well as atmospheric pollution.

Sliuzas and Kuffer (2008) analyze the spatial heterogeneity of poverty using selected high resolution remote sensing based spatial indicators such as roof coverage densities and a lack of proper road network characterized by the irregular layout of settlements. Based on these indicators, the heterogeneity of several deprived neighborhoods was identified and different types of poverty areas were delineated. Other approaches, by Gamba et al. (2007), analyze VHR images of disaster events to develop efficient methods for building detection.

These methods also estimate damages on the basis of pre and post event images in order to map the presence, location and status of buildings in order to provide a statistical basis for planning instruments. Such approaches exemplify the possibilities of VHR images for poverty mapping and demonstrate the scale of VHR needed to gain detailed information. In other words, data aggregation may hide the spatial variation of the urban structure, and thus, of poverty.

Studies concentrating on the challenge of world urbanization and its links to global environmental change often refer to a need for combined spatial, physical and socio-demographic information. Geospatial technology and RS can help to fill

some of these gaps. For example, RS can help identify vulnerable groups and their spatial urban environment, which if acted upon, could support the search for equity in megacities. Methods are improving, but cross-disciplinary skills need still better integration and forethought

As stated before, remote sensing based methods could be used for a rapid inventory of the location and physical composition of slums. (Semi-) automatic detection of slums in image data is challenging, owing to the high variability in appearance and definitions across different contexts. Recently, Kohli et al. (2012) develop an ontological framework to conceptualize slums using input from 50 domain-experts covering 16 different countries. This generic slum ontology (GSO) comprises concepts identified at three levels that refer to the morphology of the built environment: the environs level, the settlement level and the object level. It serves as a comprehensive basis for image-based classification of slums, in particular, using object-oriented image analysis (OOA) techniques.

At the object level, building and road characteristics are major components of the ontology. At the settlement level, texture measures can be potentially used to represent the contrast between planned and unplanned settlements. At the environs level, factors which extend beyond the site itself are important indicators, e.g. hazards due to floods plains and marshy conditions. The GSO provides a comprehensive framework that includes all

potentially relevant indicators that can be used for image-based slum identification. According to the authors, these characteristics may be different for other study areas, but show the applicability of the developed framework.

Kit et al. (2011, 2013) outline a methodology to identify informal settlements out of high resolution satellite imagery using automatic line detection and the lacunarity algorithm. For Hyderabad, India circle-based population data from the Census of India and results of the analysis of high resolution Quick Bird satellite image data (2003) were used. It was discovered that the line detection algorithm is advantageous over principal component analysis in providing suitable binary datasets for lacunarity analysis as it is less sensitive to spectral variability within mosaicked imagery. The resulting slum location map constitutes an efficient tool in identifying particularly overcrowded areas of the city and can be used as a reliable source in vulnerability and resilience assessments. The authors suggest that the proposed methodology allows for rapid analysis and comparison of multi-temporal data and can be applied on many developing urban agglomerations around the world.

Such approaches exemplify the possibilities to use VHR images for poverty mapping, integrate ancillary GIS data, and demonstrate that such very high resolution is needed to gain detailed spatial information. In other words, data aggregation could hide spatial variation of the urban structure patterns and thus of spatial

characteristics of poverty.

In order to facilitate security and planning applications we will identify three main approaches which shall be understood as a workflow: those of rapid inventory, analysis, and planning applications. Due to their microstructure, irregularity, fast and direct adaptation to local conditions and the terrain, a generically applicable mapping of these settlements is difficult and never updated. Hence, the sophisticated data, synthetically derived from RS data and census information, and a mix of methods will be developed and applied, which will ideally act as a spatial data basis for a further informal settlement management.

When analysing the urban structure, the Urban Structure Types (UST) supports information on the social strata. UST are spatial indicators that help to divide and differentiate the urban fabric into open and green spaces, infrastructure, building complexes so that their typical characteristics such as physical, functional, and energetic factors can be identified. After the classification of the single objects mentioned above (e.g. different types of buildings, open spaces, etc.) the structural composition in terms of amount and connectivity of the single objects is aggregated on a neighbourhood scale to generate a UST (Banzhaf & Höfer 2008). The resulting UST layer forms the basis for socio-environmental studies such as on socio-spatial differentiation, socio-ecological investigations on neighbourhoods being exposed to natural

hazards (flooding, landslides, etc.) and support socio-economic research on inclusion and exclusion. This approach comprises a segmentation procedure, a classification scheme, and a structural aggregation that aims at being a baseline when organizing the urban pattern, and transferable to other urban systems (Netzbond et al., 2009).

This contribution attempted to show some potential benefits of bridging the gap between spatial analysis and remote sensing in social science by characterizing the deprivation of quality of life for the urban poor, who are strongly influenced by their physical environment.

## References

- BANZHAF, E. HÖFER, R. (2008). "Monitoring Urban Structure Types as Spatial Indicators With CIR Aerial Photographs for a More Effective Urban Environmental Management," Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing (JSTARS), IEEE. Vol. 1, issue 2, 2008, pp. 129-138. ISSN: 1939-1404. Digital Object Identifier: 10.1109/JSTARS.2008.2003310.
- GAMBA, P., DELL'ACQUA, F., ODASSO, L. (2007). "Object-oriented building damage analysis in VHR optical satellite images of the 2004 Tsunami over Kalutara, Sri Lanka," 2007 Urban Remote Sensing Joint Event, Paris. France. ISBN 1-4244-0712-5/07.
- PUISSANT, M., WEBER, C. (2002). The utility of very high spatial resolution images to identify urban objects. Geocarta International, vol. 17 (1), pp. 31–41.
- Young, The Technical Writer's Handbook. Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- KIT, O., LÜDEKE, M., RECKIEN, D. (2011). Texture-based identification of urban slums in Hyderabad, India using remote sensing data. *Applied Geography* 32 (2011) 660-667.
- KIT, O., LÜDEKE, M., RECKIEN, D. (2013). Defining the bull's eye: satellite imagery-assisted slum population assessment in Hyderabad, India. In Press: *Urban Geography* 34 (2013).
- KOHLI, D., SLIUZAS, R., KERLE, N., STEIN, A. (2012). An ontology of slums for image-based classification. *Computers, Environment and Urban Systems* 36 (2012) pp. 154–163.
- NETZBAND, M., BANZHAF, E., HOEFER, R., HANNEMANN, K. (2009). Identifying the poor in cities - How can remote sensing help to profile slums in fast growing cities and megacities? In: IHDP Update 01/2009.
- NIEBERGALL, S., LOEW, A., MAUSER, W. (2007). Object-oriented analysis of very high-resolution Quickbird data for megacity research in Delhi/India. In: 2007 Urban Remote Sensing Joint Event. Paris, France, 2007. [Online]. Available: <http://tlc.unipv.it/urban-remote-sensing-2007/>
- RAHMAN, A., NETZBAND M., SINGH, A., MALLIK, J. (2009). An assessment of urban environmental issues using remote sensing and GIS techniques an integrated approach: A case study: Delhi, India' In *Urban Population-Environment Dynamics in the Developing World: Case Studies an Lessons Learned*. De Sherbinin, A., Rahman A, Barbieri, A., Fosto, J C., and Zhu Y (eds.) International Cooperation in National Research in Demography (CICRED), Paris.
- SLIUZAS, R., KUFFER, M. (2008). "Analysing the spatial heterogeneity of poverty using remote sensing: typology of poverty areas using selected RS based indicators," Jürgens, C (ed.): *Remote Sensing – New Challenges of High Resolution*, Bochum 2008. EARSeL Joint Workshop, Bochum (Germany).
- TAUBENBÖCK, H., ESCH, T., WURM, M., THIEL, M., ULLMANN, T., ROTH, A., SCHMIDT, M., MEHL, H., DECH, S. (2008). "Urban structure analysis of mega city Mexico City using multi-sensoral remote sensing data,". Proc. Of SPIE Vol. 7110, 2008, doi. 10.1117/12.800272, pp. 71100E-1 – 71100E12.

Maik Netzbard

# Combining Remote Sensing and Landscape Metrics for Urban Development to monitor Urban Spatial Variation

Dr. Maik Netzbard, Palacky University in Olomouc, maik.netzbard@rub.de

## Introduction

Large-scale urban development is likely to be one of the primary sources of environmental change over the next decades, and more of this development will take place in India and China than in any other two countries. Rapid urban growth can have severe consequences for environmental sustainability creating an urgent need for alternative pathways to development. Satellite data and further geo-information data are used for landscape ecological evaluations, e.g. to predict structural diversity in landscape, to derive quantitative data on open space fragmentation and on interlink of biotope structures. Satellite images are just as much used to identify compensational areas for planning of building land in conurbations or to quantify landscape metrics by means of derived medium and high resolution satellite parameters in order to calculate neighbourhood relations of objects.

Within the last two decades landscape structure indices or metrics have been implemented on remote sensing image data for different mapping scales. As original input data topographic maps, aerial photographic data as well as satellite

images have been used. Thus the analysis of historical samples represents the base for the comparison of current as well as of future landscape structures and enables predicates to evaluate the dynamics of the landscape. Nature, in particular in the suburban cultural landscape is described regarding indicators such as structure (line or planar expansion, cutting, island areas, etc.), dynamics (entry of the modification processes) and texture (neighbourhood relations to other land use forms). This is based on the identification and computation of static and dynamic indicators that help providing a synthetic assessment of suburban landscapes. The indicators will also allow the comparison of the environment's condition in different conurbations. The static indicator includes proportion of urban land uses at different points in time, of road network cutting land uses, but also fragmentation of recreational sites within metropolitan areas and of built-up areas within green spaces in suburban areas. Dynamic urban area indicators refer to typology of changes and the transition from one land-use class to another.

To better understand the global variation in urban land-cover patterns and trajectories the

variation in urban landscape structure for a subset of cities distributed throughout the world assessed circa in the last two decades. This paper presents findings from systematic comparative analyses of development on the urban fringe and its environmental consequences in various countries. The presentations analyse local and regional variations in developmental trajectories and sustainability among a number of urban regions within each country. The focus of each is on land use, ecosystems and environmental conditions.

### A landscape of patterns in urban areas

The comparison of the different structured models of a delimitation of a conurbation as they are discussed in theoretical urban and regional planning (see Handley & Wood, 1998 or Lörzing, 1998) clarifies the span of possible aspects on the suburban landscapes. The green infrastructure of a city and its surrounding region can adopt a variety of spatial patterns. These patterns can be extremely important in the way they structure the urban fabric. Some patterns are directly inspired by the original landscape in which the city was built. Others are overtly man-made, showing the desire to create new green infrastructures as part of an overall urban plan. Morphologically, one can distinguish between:

- Isolated elements, or „dots“;
- Linear elements, or „lines“;
- area elements, or „zones“.

For their use in urban and regional planning, it is necessary to translate these rather theoretical patterns into realistic park (“green”) structures. The dots represent a structure of one or more isolated parks, situated in the middle of an urban area with no real physical connection with other parks or with the surrounding landscape. In general, this isolated position does not hinder the everyday recreational use of the park but it definitely limits the possibilities for certain types of route-linked recreation. When there are a number of isolated parks in a city, we may speak of ‚scattered parks‘ or a ‚patchwork‘ of green open spaces within the urban fabric.

The linear elements can be divided into isolated (or singular) linear elements and more complicated patterns consisting of two or several linear elements. In the former situation we find a long and narrow green space cutting through the urban fabric like a ‚ribbon‘: in many cases these elements take the shape of a green-lined river meandering through a city. In our times, ribbon solutions are created only by exception; they represent a classical solution, developed in the late nineteenth or early twentieth century as part of a large urban lay-out around an existing river. The more complicated patterns of linear elements form a ‚network‘ of recreational links.

On the area level, we can also determine two different types of patterns. Though both may cover a substantial part of an urban area, the ways in which they function in their urban surroundings differs completely. The ‚belt‘, one

of these patterns of urban green, has been developed as an expression of containment. Greenbelts played an important role in the early urban planning. They were created not only to provide a certain amount of recreational space, but also to define the limits of urban growth. Another group of greenbelts (the ,inner belt') can be found in the older parts of cities, often in situations where bulwarks and ramparts had been rased to make way for a ring of parks between the old downtown area and the nineteenth century extensions.

Finally, the ,wedge' is a more recent phenomenon. It is also firmly rooted in urban planning theory but, unlike the belt, its main purpose is to separate the ,fingers' of a radially planned city. This concept has proved to be more successful in the long run, because the wedge can (in theory) be extended infinitely without giving up its unique position in the urban pattern. Famous green wedges can be found in thoroughly planned cities like Amsterdam and Copenhagen.

To characterise, one might say that the patchwork represents a classical solution in which built-up area and green open space are seen as totally different entities, whereas the network, the belt and the wedge mean typical planners solutions that became popular with the introduction of methodical town and country planning from the beginning of the twentieth century. The latter three differ greatly in their effects on the urban environment: the belt stands for restrictive

planning while the wedge and the network stand for a more open-ended way of planning. Finally, the ribbon and, to a certain extend the wedge are the solutions that depend largely on the use of natural and patrimonial elements in the urban environment.

### **Gridded Landscape Metric Analysis**

The urban landscape is a mosaic of biotic and abiotic land cover classes (or patches) situated within a matrix of human-induced settlements, technical infrastructure and other landscape modifications. Landscape metrics deliver a starting point for the comparison of urban areas that is not dependent on their physical and cultural setting by providing measures of the distribution and shape of ecological patches on the landscape (Zipperer et al., 2000). Environmental pressures result from reduction in both the size and contiguity of ecosystem patch types (Smith, 1980). The field of quantitative landscape ecology has been the primarily developer of landscape metrics or indices. Landscape metrics have been applied to remotely sensed data at different mapping scales to emphasize the spatial content and patch distribution of classified data (Turner et al., 1989; Wu et al., 2000). Numerous metric algorithms have been developed to quantify the spatial contiguity and shape of patches (for example area of contiguous pixels, perimeter vs. area, etc.; McGarigal and Marks, 1994). Several studies during recent years (Alberti and Waddell, 2000; Barnsley and Barr, 2000;

Herold et al., 2002; Rainis, 2003, Huang et al., 2007) demonstrate the usefulness of landscape metrics for the assessment and evaluation of urban structure and ecology.

The eleven-class ASTER land cover classification used for accuracy assessment was further aggregated to six top-level classes (Asphalt, Soil and Bedrock, Agriculture, Undifferentiated Vegetation, Built, and Water) for both theoretical and practical reasons. The top-level classes retain the physical variability of the major land cover classes of interest in the Phoenix study area at the 15 m/pixel scale while also reducing the number of segments for landscape metric calculation. The Water class was not included in further analyses due to its minimal representation in the land cover data. Each pixel in the top-level land cover classification dataset was assigned a unique identifier (Element1\_Class1, Element1\_Class2, etc.) within a GIS for input into the FRAGSTATS software. Three grids (250 x 250 m, 500 x 500 m, and 1 x 1 km) were created from the reprojected MODIS data pixels for direct comparison with the landscape metric results. The location and extent of the 1 x 1 km analysis grid is presented in Figure 4; the extents of the 250 x 250 m and 500 x 500 m grids are similar. The metric results were averaged over each grid element for comparison to the MODIS NDVI data using Pearson correlation coefficients at the three grid scales.

## Conclusions and Outlook

The extent of loads of the human activities in urban agglomerations is closely linked with the characteristics of spatial land-use samples. A founded analysis of land use samples however is only possible with the availability of overall covering and current data, like it only the remote sensing can supply. Estimations of the configuration green areas in urban areas are already roughly possible with the data of the official land-cover statistics. But only by an analysis of digital remote sensing data using modern techniques of geo-information, more precise spatially differentiated and quantitative predicates to green area-structural features in urban areas are possible in an reasonable amount of time. Additionally the developed model should be usable for regional comparative studies. In order to ensure a comparability the information is calculated for non-administrative space systems, like distance zones, sectors and raster matrices.

## References

- ALBERTI, M., WADDELL, P. (2000). An integrated urban development and ecological simulation model. *Integrated Assessment*, 1, 215-227.
- BARNESLEY, M.J., & BARR, S.L. (2000). Monitoring urban land use by Earth observation. *Surveys in Geophysics*, 21, 269-289.
- GRIMM, N. B., GROVE, J.M, REDMAN, C.L., & PICKETT, S.T.A. (2000). Integrated approaches to long-term studies of urban ecological systems. *BioScience*, 70, 571-584.

- HAACK, B. (1983). An analysis of Thematic Mapper Simulator data for urban environments. *Remote Sensing of Environment*, 13, 265-275.
- HEROLD, M., SCEPAN, J., & CLARKE, K.C. (2002). The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses. *Environment and Planning A*, 34 (No. 8), 1443 - 1458.
- HUANG, J.(2007). Global comparative analysis of urban form — using spatial metrics and remote sensing, *Landscape Urban Planning* (2007), doi:10.1016/j.landurbplan.2007.02.010
- Ji, W. (2008). Landscape Effect of Urban Sprawl: Spatial and Temporal Analyses using Remote Sensing Images and Landscape Metrics. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B7, Beijing.
- Ji, W, Ma, J., Twibell, R. W., Underhill, K. (2006). Characterizing urban sprawl using multi-stage remote sensing images and landscape metrics. *Computers, Environ. & Urban Systems*, 30(2006), 861-879.
- Li, J.X., Li, C., Zhu, F.G., Wu, J.G., Song, C.H. (2013). Spatiotemporal dynamics of urban landscape in response to rapid urbanization in metropolitan region of Shanghai, China. *Landscape and Urban Planning* (submitted)
- MCGARIGAL, K., & MARKS, B.J. (1994). FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Corvallis: Oregon State University.
- RAINIS, R. (2003). Application of GIS and landscape metrics in monitoring urban land use change. In N.M. Hashim and R. Rainis (Eds.), *Urban ecosystem studies in Malaysia-A study of change* (pp. 267-278). Parkland: Universal Publishers.
- RAMACHANDRA T. V., KUMAR, U. (2008). Wetlands of Greater Bangalore, India: Automatic Delineation through Pattern Classifiers. *The Greendisk Environmental Jour.*, 1(26), 1-22.
- SOLON, J. (2009). Spatial context of urbanization: Landscape pattern and 1950 and 1990 in the Warsaw metropolitan area, Poland. *Landscape & Urban Plann.*, doi:10.1016/j.landurbplan.2009.07.012
- ZIPPERER, W. C., WU, J., POUYAT, R.V., & PICKETT, S.T.A. (2000). The application of ecological principles to urban and urbanizing landscapes. *Ecological Applications*, 10 (No. 3), 685-688.
- WU, J., JENERETTE, G.D., BUYANTUYEV, A., REDMAN, C.L., (2011). Quantifying spatiotemporal patterns of urbanization: The case of the two fastest growing metropolitan regions in the United States. *Ecological Complexity* 8:1-8.

Justyna Pastwa

## Spatial and temporal analysis of extreme hydrological events impact in Lower Silesian Voivodeship (1994-2011)

Mgr. Justyna Pastwa, Palacky University in Olomouc, pastwa.justyna@gmail.com

Adaptation to weather extremes has recently become one of priority item in management of natural hazards and a policy concern. However natural extremes triggered constantly by changing forces of nature happen perpetual from the beginning of the Earth existence, sociocultural evolution and economic development of human plays significant role in their occurrence. Rapid growth of population connected with economic development led to strong integration of human kind in natural ecosystems, concentration of people in relatively small areas and concentration of wealth, what enhance the exposure of groups and individuals for strikes of extreme events. Instances of hazards created where human activity intersects with natural ecosystems are interpreted as socio-natural hazards (Cardona 2003). Recently, changes in environment made by human are so extent that „pure“ natural hazards are very rare in comparison to those driven by socio-natural forces.

Poland is a country located in Middle Europe, thus relatively safe concerning occurrence of natural hazards and natural disasters. Nevertheless, small scale hazards happens frequently here and cause significant cumulative loss in form of affected

people and economy (directly and indirectly costs). That is why detailed investigation about occurrence of natural extreme event is needed. The main attention in this study is on the past impacts analysis of the disastrous hydrological events (DHE) in Lower Silesian Voivodeship, Poland, within years 1994 - 2011. The analysis are spatial as well as temporal and aims to help understand the nature of the phenomena, identify most vulnerable areas within Lower Silesian Voivodeship to turn adaptation efforts towards them, and finally, to increase general awareness of DHE.

The study concentrate on applied geostatistic and is based on simple geostatistical computations. Its structure is as follow: first, the brief introduction to DHE is given. Second part contains description of data used for analysis and applied methodology. In the third part results are shown; all is closed by conclusions.

### **Disastrous hydrological events (DHE)**

Disastrous hydrological events (DHE) include impacts of extreme floods and extreme precipitation. Extreme hydrological events are

natural in Polish territory due to location within moderate climate with both maritime and continental elements. Researchers agree, that main cause of DHE is natural climate variability, which is estimated to increase in future (IPCC). This mean that threat of DHE will also increase. Very often classical floods (river overflow) are caused by not appropriate decision of urban planning in catchment (Kowalczyk 2011, see map 1). Also not correct urban plan decisions are considered as main factor of flash floods – floods in cities caused by extreme precipitations (Kowalczyk 2011).

## Data

The inception for present study are about impacts of DHE and census data. Comprehensive information about strikes of DHE are collected by National Headquarters of the State Fire Service in Warsaw (Poland). The example of the data is shown on pic. 1. This data are of most importance and was supplemented by Census data from Central Statistical Office in Poland. All the presented analysis are based only on data mentioned above.

Data collected by National Headquarters office contains detailed and substantial information on registered impacts of DHE in Poland during years 1994-2011. Each recorded event includes information about the time of its notification, magnitude, location, number of people affected and estimated cost of damage. The magnitude of the impact is classified in five different

grade which describe its repercussion on human environment. The fifth grade denotes the extreme condition like disaster while first grade denotes very small local event. It should be noted that assignment of magnitude was without instruments, by means of data about people affected, infrastructure damages and economic losses. It infer that the impact of flood with given parameters causes greater harm in wealthy and densely populated areas and smaller harm in sparsely populated areas with poor infrastructure. In the first condition the higher magnitude will be assigned to the impact, whereas in the second condition, lower magnitude will be indicated. The location of impact is given by coordinates and additionally it is attributed to particular administrative unit. Information about affected people is differentiated between injured and dead. Cost of damage is expressed in Polish currency --- zloty.

The impacts of DHE in Lower Silesian Voivodeship in 2009

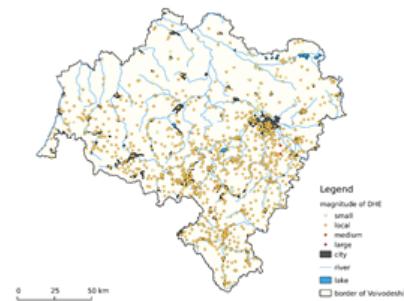


Fig. 1: Impacts of DHE in Lower Silesian Voivodeship (2009).

## **Methodology**

All analysis are performed for four factors: the frequency of events, the magnitude of events, the number of evacuated and the economic losses caused by impacts, all registered in years 1994 – 2011. Four graphical presentations were created to illustrate spatial distribution of selected factors. To allow for subjective comparison of results the frequency was calculated per km<sup>2</sup> of municipality, the magnitude present average magnitude per event in municipality, number of evacuated is calculated per 1000 inhabitants of municipality and economic losses are expressed per income for 1 inhabitants of municipality.

For the same factors Seasonal Trend Decomposition algorithm was used with original data to divide up a time series into three components namely: the trend, seasonality and remainder. The algorithm produce four graphs which are: original data, seasonal component, trend component and the remainder. This allow to show the periodic seasonal pattern extracted out from the original data and the trend. A bar at the right hand side of each graph allows to relative comparison of the magnitudes for each component.

## **Results**

Some important results of the analysis are as follow.

The theorem rose by different researchers about

the inappropriate decisions in urban planning as a significant cause of DHE impact was confirmed in data. The vast majority of impacts are registered in middle and big cities (not appropriate structure of drainage channels) and along river beds (faulty locations of infrastructure, which exposure it for flooding) (for example see pic. 1). The frequency of impacts was higher in areas with higher urbanization rate.

The maximum frequency of DHE per square kilometer of municipality in last 18 years was around value 17, what means that still it was less than one registered event per year (see pic. 2). The average frequency fluctuate around 3: there was approximately 1 registered event per one square kilometer per 6 years.

The average magnitude of average event fluctuate between low and local, what indicates the massive amounts of event has character of local hazards not a disasters. What is very positive, the analysis shows that even in areas with higher urban rate the impacts of DHE are more frequent than in areas with lower urban rate, but are there are smaller and less severe.

Some of the results are presented below.

Number of DHE impacts per square kilometer of voivodeship  
(1994-2011)

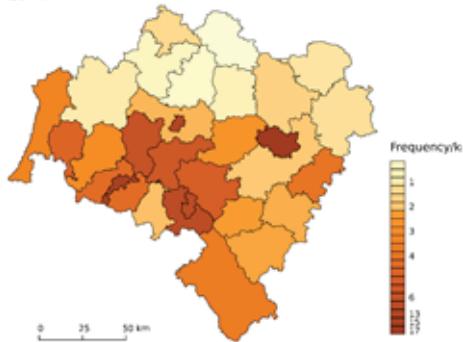


Fig. 2: The frequency of DHE per square kilometer of municipality, Lower Silesian Voivodeship, 1994-2011.

Average magnitude of DHE impact (1994-2011)

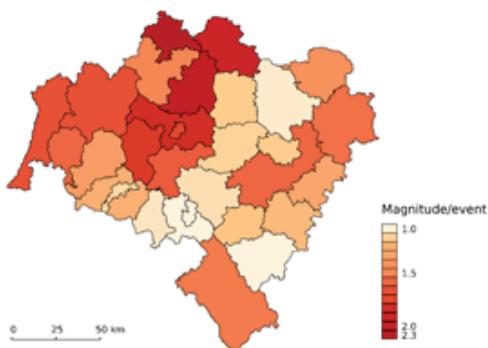


Fig. 3: The magnitude of DHE per event in municipalities, Lower Silesian Voivodeship, 1994-2011.

## Conclusions

One of the advantages of presented analysis is their time span - recent 18 years is analyzed (registered events in years 1994 - 2011) what allows to present current state of DHE impacts in Lower Silesian Voivodeship. The results indicate that even DHE impacts are frequent in some areas, they usually have low magnitude. This is very positive finding, especially when we consider after Cutter (1996) that vulnerability as a hazard of place encompasses biophysical risks as well as social response and action. It makes us, people, responsible for adaptation to weather extremes, and what is more, able to adapt. In case of Lower Silesian Voivodeship this task is relatively easy due to low magnitude of events. There is no doubt that more and deeper research of natural extreme events with use of variety of data are needed to help in faster adaptation to extreme events and to improve the life standard of every man. Nevertheless it was shown that with use of relatively simple statistics and restricted amount of data interesting and useful findings can be achieved.

## References

- CARDONA, O. D. and HURTADO, J. E. and DUQUE, G. and MORENO, A. and CHARDON, A. C. and VELASQUEZ, L. S. and PRIETO, S. D. (2003). The Notion of Disaster Risk. Conceptual Framework for Integrated Management. In: Indicators for Disaster Risk Management. Manizales, 2003, pp.
- CUTTER, S. L. (1996). Vulnerability to environmental hazards. Progress in Human Geography, 20(4), pp. 529 - 539

KOWALCZYK, P. (2011). Zmienność klimatu a przyczyny powodzi w Polsce. Sposoby minimalizowania strat. Presentation. Poznan, 2011.

R Development Core Team (2008). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

QGIS Development Team, (2013). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>

BDR, Bank Danych Lokalnych, GUS (2013). URL [http://www.stat.gov.pl/bdl/app/strona.html?p\\_name=indeks](http://www.stat.gov.pl/bdl/app/strona.html?p_name=indeks)

Vít Pászto

## On Shape Metrics in Landscape Analyses

Mgr. Vít Pászto, Palacky University in Olomouc, vit.paszto@gmail.com

The paper describes spatial and shape metrics application for Corine Land Cover 1990, 2000 and 2006 areas (CLC) and for European major cities' urban footprint analysis along with statistical methods. The main goal of the paper is to evaluate CLC and urban footprint datasets without including attribute or qualitative information into the two analyses. Thus, only geometric part of the data has been processed. More than thirty metrics have been used for both analyses and resulting values have been consequently used for principal component analysis, cluster analysis and others. The results of the study represent evaluation of CLC Level 1 classes and urban footprints using, fundamentally, only the shape of the patches.

### Introduction

Since landscape ecologists and urban planners can use capabilities of computer calculations, they are able to apply numerous tools to quantify landscape patches (including artificial patches – urban areas) in an effective way. For this purpose, various indexes and metrics based on a patch shape have been derived, because according to Turner (1989) landscape ecology is largely founded on the notion that

environmental patterns strongly influence underlying processes. McGarigal and Marks (2012) mentioned that developing methods to quantify landscape patterns are considered as a prerequisite to the study of pattern-process relationships. Authors continue and claim that progress has been facilitated by recent advances in computer processing and geographic information technologies.

Landscape ecology defines elementary, further indivisible unit of the landscape called patch. Every single patch is characterized by its shape (quantitative information) and represents a land cover type (qualitative information). This patch is formed by natural or artificial processes that determine shape itself. Therefore it is possible to study underlying processes only by analyzing the quantitative characteristics of the patch shape.

Shape metrics are exactly those methods used for quantitative description of a patch shape, which represents real world objects. Shape and spatial metrics was recently used in various topics, e.g. city footprint and form evaluation (Huang et al., 2007, and Sphuza, 2007), measuring city sprawl (Torrens and Alberti, 2000), analysis of landscape (Gustafson, 1998, Nungesser, 2011, Wu et al.,

2000), in remote sensing (Mesev, 2007) and also in a land-use change modelling (Herold et al., 2003). Metrics are now being implemented in GIS software or extensions for GIS software but still not widely used. With the use of multivariate statistics, it is possible to evaluate, cluster and classify patches only according to their quantitative characterization. Mentioned methods together with multivariate statistics are considered to be geocomputational and are both stand-alone and integrated in GIS.

There are several approaches how to classify landscape patches, but not many of these are using spatial and shape metrics in combination with multivariate statistics for complex quantitative description of a landscape. It is common to use only limited number of metrics to evaluate one specific patch type (e.g. habitats of particular species, humid areas, urbanized areas etc.). It is important to note that appropriate use of chosen metric depends on what is under the scope of study. Although the use of metrics is purpose-dependent, metrics for this paper have been chosen with intention to calculate the most available ones for consequent multivariate statistics. Thus, the approach presented in this paper is quite unique and the aim is complex landscape analysis via geocomputational methods to evaluate their usability for landscape classification.

## Data and study area

First analysis was performed on freely available

CLC dataset from 1990, 2000 and 2006 using Level 1 nomenclature, which is classifying land cover to 5 main categories – artificial surfaces, agricultural areas, forest and semi-natural areas, wetlands and water bodies. Overall, for 944 landscape patches (sum from all years) from Level 1 metrics calculations was done. Olomouc region (Fig. 1) was chosen as a study area with more than 300 patches of all nomenclature types. Olomouc region has an area around 800 km<sup>2</sup> and lies in a valley almost 20 km wide in south-east direction. This part of the region is mostly covered with agricultural areas and artificial surfaces, which are villages and the centre of the region – Olomouc city. North east part of the region is represented by hilly landscape and is covered with forests and semi-natural areas.

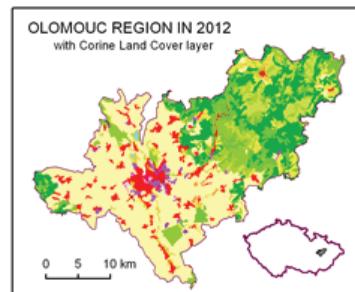


Fig. 1: Olomouc region in 2012 with Corine Land Cover layer from 1990 and its position within Czech Republic.

Second analysis was done using another free dataset, which was Urban Atlas dataset for the reference year 2006. Urban Atlas is the GMES



Fig. 2: Urban footprints used for metrics calculations.

project that classifies a land cover from SPOT 5 satellite images in surroundings of 305 European cities with 100,000 or more inhabitants (EEA, 2010). Thematic classes are based on CORINE Land Cover nomenclature and GUS Legend (EEA, 2011). For this paper, 27 cities were chosen in order to cover all major cities from European Union member states (Fig. 2). An important part of the second analysis was data pre-processing. Firstly, only selected Artificial surfaces (urban areas) were chosen from the Urban Atlas thematic classes. Secondly, the city footprint was

digitized from the chosen urban areas in order to capture real shape of the city urbanization (Fig. 2), which was the most time-consuming.

## Methods

Totally, 34 shape metrics calculations were done (Tab. 1) and their detailed description is available in McGarigal and Marks (2012) and in Parent et al. (2012). Shape metrics in Tab. 1 were calculated for every single CLC patch and urban footprint. It is possible to group these patches and urban footprints only according to their shape. Shape metrics are fundamentally based on an area of a shape and its perimeter (these two characteristics are itself considered as shape metrics and are very easy to obtain), but most of the metrics are more complicated to calculate and are treated as shape indexes. Anyway, there are plenty of software tools to perform metrics calculation. In this study, FRAGSTATS 4.1 and Shape Metrics toolbox for ArcGIS 10.x for Desktop were used. Multivariate statistics was performed in RStudio environment using R Project programming language.

### Shape metrics

- Area index
- Circumscribing index
- Cohesion index
- Normalized Cohesion index
- Contiguity index
- Core index (for 50, 200, 500, 800m for analysis no. 2)
- Core Area Index (for 50, 200, 500, 800m for analysis no. 2)
- Number of Core Areas (for 50, 200, 500, 800m for analysis no. 2)

Dispersion index
Normalized Dispersion index
Depth index
Normalized Depth index
Detour index
Normalized Detour index
Exchange index
Normalized Exchanged index
Girth index
Normalized Girth index
Interior index
Normalized Interior index
Gyrate index
Perimeter-area ratio index
Perimeter index (FRAGSTATS 4.1)
Perimeter index (Shape Metrics Toolbox)
Normalized Perimeter index (Shape Metrics Toolbox)
Proximity index
Normalized Proximity index
Range index
Normalized Range index
Shape index
Spin index
Normalized Spin index
Traversal index
Normalized Traversal index

Tab. 1: Shape and spatial metrics used analysis.

Shape metrics were calculated for every single patch in CLC dataset as well as for chosen cities' urban footprints from Urban Atlas dataset. Next step was to cluster output values using multivariate statistics according to the three main components from principal component

analysis (PCA). Two different clustering methods were applied.

The first one was hierarchical method (method which creates tree structure – dendrogram) called DIANA – Dlvisive ANAlysis Clustering. The DIANA algorithm constructs a hierarchy of clustering, starting with one large cluster containing all objects and clusters are divided until each cluster contains only a single object (Kaufman and Rousseeuw, 1990).

The second method was non-hierarchical, and partitioning, respectively, which means that dataset is broken up into desired number of groups using medoids (representative objects of a dataset, whose average dissimilarity to all surrounding objects is minimized) and is called PAM – Partitioning Around Medoids. This method is similar to the K-means clustering, but K-means uses means or centroids to cluster a dataset. The PAM is treated to be more robust than K-means because of minimizing dissimilarity instead of Euclidean distances (Kaufman and Rousseeuw, 1990, Kumar and Wasan, 2009, Park and Jun, 2009).

Finally, resulting groups of clustering analysis were depicted and comments were added.

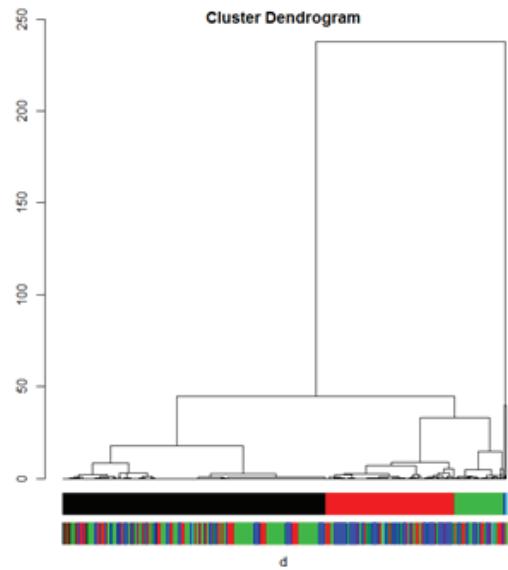
### Analysis no. 1 – CLC dataset

Metrics in Tab. 1 were calculated for every single patch in CLC datasets. Next step was to perform PCA to set the main three components for

consequent clustering. These components are in sum carrying 92 % of dataset variability and are composed of various metrics (mainly from Gyrate index, Shape index, Core index, Normalized Core index, Proximity index, Exchange index, Spin index, Girth index, Dispersion index, Range index and Detour index). These and other metrics are forming the first, second and third component with different weights.

Next step was to perform cluster analysis (DIANA and PAM). To find the best clustering method, cluster simulation was run. Overall, more than 800 combinations of methods and individual settings combinations were given. It is quite subjective phase, which clustering method and its settings to chose. It depends on what the user desires to achieve. Because there are five categories in CLC Level 1 nomenclature, only those cluster methods defining five groups were selected.

First clustering was done using DIANA clustering method (Fig. 3). Colour bars were added for better interpretation and visualization. Upper bar is representing desired five target clusters, lower bar is depicting five groups of every single patch from CLC Level 1 nomenclature to compare the results of desired ones.



*Fig. 3: DIANA clustering dendrogram with five target clusters.*

In PAM clustering, it is needed to define the number of groups. Because there are five classes in CLC nomenclature level 1, target number of clusters was set to five. According to the number of clusters and two main components from PCA values are clustered and depicted via 2D graph (Fig. 4).

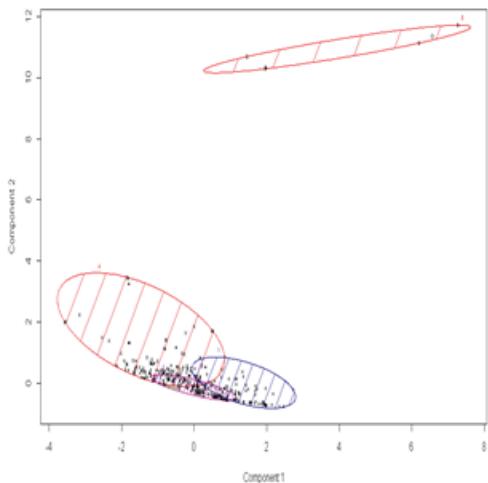


Fig. 4: PAM clustering 2D graph with five target clusters.

## Results and comments of the Analysis no. 1 – CLC dataset

Both clustering methods were performed upon spatial and shape metrics and their principal components, respectively. Cluster groups were set only according to quantitative values. First clustering (DIANA) made 5 main clusters (Tab. 3).

Cluster number	1	2	3	4	5
Number of patches	560	273	105	3	3

Tab. 3: Number of patches in DIANA clustering.

Main patch type in the first cluster is agriculture

areas (49 %). In the second and third one, main patch type is artificial surfaces (59 %) and (42 %), respectively. Other patch types are not as dominant. Visualization of clustered CLC patches is in Fig. 5.

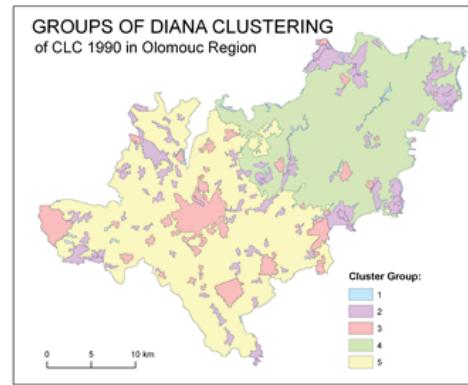


Fig. 5: Olomouc region with Corine Land Cover layer from 1990 and cluster groups according to DIANA clustering method.

Target clusters defined by PAM are in Tab. 4.

Cluster number	1	2	3	4	5
Number of patches	191	255	210	282	6

Tab. 4: Number of patches in PAM clustering.

Main patch type in the first and fourth cluster is artificial surfaces (43 %) and (52 %), respectively. In the second and third one, main patch type is agricultural areas (45 %) and (61 %), respectively. Other patch types are not as dominant.

Visualization of clustered CLC patches is in Fig. 6.

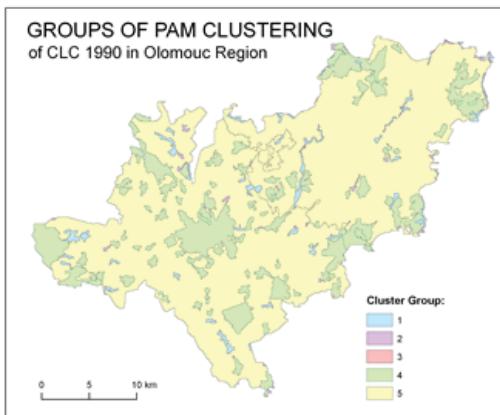


Fig. 6: Olomouc region with Corine Land Cover layer from 1990 and cluster groups according to PAM clustering method.

It is more suitable in this case to perform analysis of the landscape using DIANA clustering method. However, it depends on the purpose what clustering method to use. If one want to have a complex view onto a landscape, DIANA could be used. On the other hand, PAM identified and pinpointed more clearly patches that are narrowly elongated, thus PAM could serve as a clustering method for elongated patches searching.

Aim of this analysis and calculation was to use clustering methods in order to create distinctive groups of landscape patches. Assumption was that CLC Level 1 patch type is directly influenced

by their shape metrics, and vice versa. Ideally, if one of these clustering methods creates same clusters as original types of patches (e.g. artificial surfaces will form their own cluster), it will be very reliable to use them in future automatic classification of any patches. But none of cluster groups in both clustering methods were typical by containing one specific group of patch type in significant amount to claim that e.g. artificial surfaces has very unique shape and thus they form a special group. Anyway, it is possible to use fuzzy words (e.g. it is more or less “agricultural” cluster) for concluding evaluation statements. Thus, it is needed to analyze patches individually and to search for contexts in detailed level in CLC nomenclature. On the other hand, maybe if larger area would be studied (e.g. entire Czech Republic), the similarity within the cluster would be greater due to the total number of patches involved into shape metrics computation. In other words, proportion of different patch types would not affect final results that much.

Hereby presented procedure could be also modified in the way that input clustering variables will not be principal components, but values of shape metrics themselves. Or another clustering method would be used regardless to the cluster precision simulation. Although previously presented results could not provide very convincing results at the first sight, the opposite is true because of the combination of strictly statistical methods together with spatial (visual) evaluation allowed new possibilities of data analysis to arise and unhide clusters

of similar areas with similar properties. Nevertheless, by using above mentioned methods, it is possible to group CLC patches according to their shape similarity, which is useful in a landscape evaluation. Consequent interpretation should take into account the knowledge of shape metrics and the geographic region for which landscape patches are analyzed.

## Analysis no. 2 – Urban footprints

Similarly as in the first analysis, shape metrics listed in Tab. 1 were calculated for all the 27 European major cities. Nevertheless, it is worth to mention, why it is useful to calculate shape metrics. Since shape metrics take into account only geometric properties of the patch (urban footprint), it is possible to eliminate expert subjectivity in city description process. There is no doubt that expert skills are crucial in decision making process, but shape metrics serve them as a “statement of fact” to support their expert knowledge.

Next step was to perform Principal Component Analysis (PCA) of shape metrics to substitute the informational rich complete list of shape metrics and set main three components for consequent clustering. These components are in sum carrying 87 % of the original dataset variability and are composed of various metrics (e.g. main variance contribution for the first principal component is from Core index, Exchange index, Spin index and Interior index). These and other metrics are forming the first, second and third component

with various variance contribution. Principal Component Analysis and the estimation of number of clusters could be depicted via graph of similarity of components within various numbers of clusters (Fig. 7).

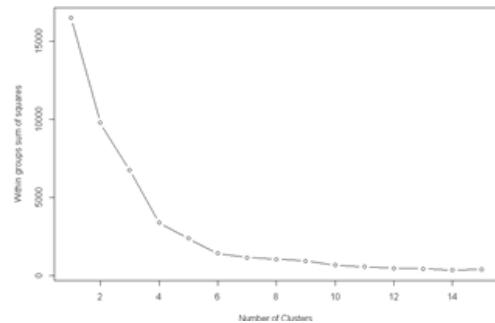


Fig. 7: A plot of principal components intra-cluster similarity within the specific number of clusters.

Figure 7 shows an intra-cluster similarity, based on properties of shape metrics, in given number of clusters according to the method of the least squares. It is clear that the similarity within 6 clusters is the highest with the respect of cluster number minimalization. The similarity highly increases between 3 and 6 numbers of clusters and does not significantly increase further. In other words, increasing number of clusters beyond 6 clusters does not significantly decrease intra-cluster dissimilarity. Therefore, it is optimal to cluster the dataset into 6 groups.

Next step was to perform a cluster analysis. Again, it is quite subjective phase which cluster

method and its settings to choose. It depends on what the user desires to achieve. Authors chose again – hierarchical method called DIANA and non-hierarchical method that was PAM. For better interpretation and visualization, city names were added (Fig. 8 and Fig. 9).

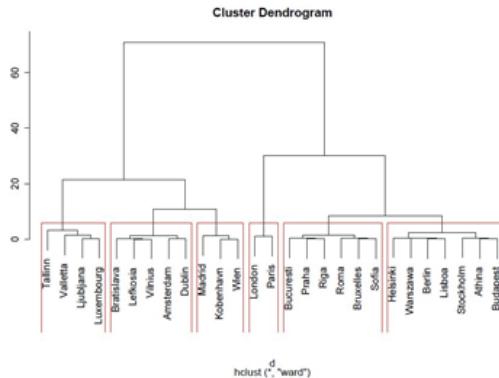


Fig. 8: DIANA clustering dendrogram with six target clusters (boxes shows delimitation into six clusters).

## Results and comments of the Analysis no. 2 – Urban footprints

Firstly, it is important to note that both clustering methods, DIANA and PAM, created identical groups of cities. With the help of clustering methods, it is possible to find out some groups of cities that share similar characteristics according to all shape metrics. But it is also possible to evaluate cities by looking at their individual shape metrics. For instance, according to Fractal dimension index, which measures overall

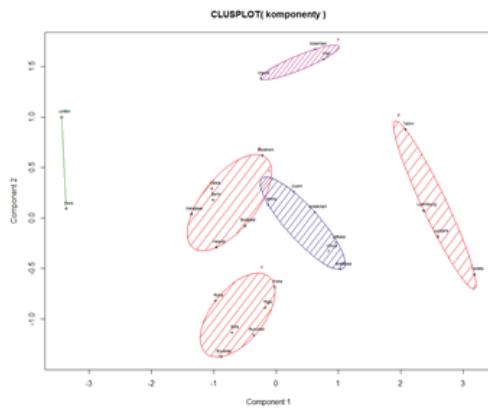


Fig. 9: PAM clustering 2D graph with six target clusters.

shape complexity (borderline complexity), one can find that Paris, Bruxelles and Helsinki form a group with low fractal dimension. Thus their shape appears to be more compact than in the case of cities from the opposite end with high fractal dimension (Valletta, Wien, Ljubljana), which may indicate specific patterns of suburbanization caused by the surrounding landscape or historical urban development. Another shape metric – Proximity index – refers about travel distances for residents commuting to the urban center (index calculates average distance from all points within the shape to the centroid). According to this shape metric, the longest normalized commuting distances are identified for Bruxelles, Bucuresti, Praha, Sofia and Roma which nicely corresponds to clustering in Fig. 8 and Fig. 9, where all these cities are in

one cluster. Similarly, other shape metrics reveal some geometrical and geographical aspects that cities have in common.

Visualization of clustering calculation (Fig. 8 and Fig. 9) shows six groups of cities. Cities within a particular group have similar mix of shape metrics values and are dissimilar with other groups. For example, Paris and London, the biggest European cities, formed an individual cluster and these cities have less complex shape. Another low-member group contains Wien, Kobenhavn and Madrid that are typical for their strait and narrow spits of built-up area. Group formed by Ljubljana, Valletta, Luxembourg and Tallinn is typical by containing rather small cities, which are surrounded by some physical barriers (e.g. sea, mountains, protected areas) limiting omni-directional growth, thus they are elongated in one direction and are quite complex in their shapes. Another cluster contains Athina, Budapest, Berlin, Lisboa, Warszawa, Helsinki and Stockholm. These cities are more or less circular but having very complex shapes with numerous urban spits and core areas. Bruxelles, Sofia, Bucuresti, Praha, Riga and Roma forming next cluster are circular too, but less complex in their urban borderlines. It is interesting to realize that four of these cities are from former soviet-block countries and may share similar development of contemporary urban planning. On the contrary, the cluster with Amsterdam, Dublin, Bratislava, Lefkosia and Vilnius represent cities that are elongated (or their city parts) in one or more directions.

Presented analysis using shape metrics appears to be very useful in urban expansion evaluation and clustering method can help in urban footprint classification. Nevertheless, results from clustering are still not fully satisfying, in terms of distinctive delimitation of cities, but this aspect is now intensively studied by authors. It is also worth to mention that some shape metrics are correlated and for the next research, their detailed selection is needed to be done. By looking to an individual shape metrics, more accurate conclusions were achieved, but it is still one of many possible ways, how to quantify urban patterns and footprints, and it is important to include geographical context (surrounding environment, historical consequences, current land use policy etc.) into overall evaluation of city urbanization.

## References

- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (2011): Mapping Guide for a European Urban Atlas, Copenhagen, 30 p., available from <<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas>>.
- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (2010): Urban Atlas, Copenhagen, available from <<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas>>.
- GUSTAFSON, E. J. (1998): Quantifying Landscape Spatial Pattern: What Is the State of the Art?, *Ecosystems*, Vol. 1, No. 2., pp. 143–156.
- HEROLD, M., COUCLELIS, H., CLARKE, K. C. (2003): The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change, *Computers, Environment and Urban Systems* 29, pp. 369–399.
- HUANG, J., LU, X. X., SELLERS, J. M. (2007): A global comparative

- analysis of urban form: Applying spatial metrics and remote sensing, *Landscape and Urban Planning* 82, pp. 184–197.
- KAUFMAN, L., ROUSSEEUW, P.J. (1990): *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*. Wiley, New York.
- KUMAR, P., WASAN, S.K. (2011): Comparative Study of K-Means, Pam and Rough K-Means Algorithms Using Cancer Datasets. ISCCC 2009, Proc .of CSIT vol.1.
- MCGARIGAL, K., MARKS, B. J. (2012): FRAGSTATS HELP, University of Massachusetts, 168 p., available from <<http://www.umass.edu/landeco>>.
- MESEV, V. (2007): *Integration of GIS and Remote Sensing*, Wiley; 1 edition, 312 p.
- NUNGERESSER, M. K. (2011): Reading the landscape: temporal and spatial changes in a patterned peatland, Springer, *Wetlands Ecological Management* 19, pp. 475–493.
- PARENT, J., CIVCO, D., ANGEL, S. (2012): Shape Metrics (presentation). University of Connecticut, ESRI 2009 User Conference, available from <[http://clear.uconn.edu/tools/Shape\\_Metrics/pubs.htm](http://clear.uconn.edu/tools/Shape_Metrics/pubs.htm)>
- PARK, H. S., JUN, C. H. (2009): A simple and fast algorithm for K-medoids clustering, *Expert Systems with Applications*, 36, (2), pp. 3336–3341.
- SHPUZA, E. (2007): Urban Shapes and Urban Grids: A Comparative Study of Adriatic and Ionian Coastal Cities, *Proceedings, 6th International Space Syntax Symposium, Istanbul*. 22 p.
- TORRENS, P. M., ALBERTI, M. (2000): Measuring Sprawl. CASA Working Paper 27, UCL London, 34 p.
- TURNER, M. G. (1989): Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Ann.Rev.Ec.Syst.* 20: pp.171-197.
- WU, J. G., JELINSKI, D. E., LUCK, M., TUELLER, P.T. (2000): Multiscale analysis of landscape heterogeneity: Scale variance and pattern metrics. *Geographic Information Sciences* 6. pp. 6–19.

Pavel Samec

## The occurrence classification of Norway spruce (*Picea abies* /L./ Karst.) decline

Ing. Pavel Samec, Palacky University in Olomouc, samec.pavel@uhul.cz

The succession of forests will continue to depend on global influences, especially on global climate change and air acidity (Woo 2009). We presume that local events could be depended on global phenomenas. Therefore, causes of local events should be evaluated according to local influences of larger effects. We evaluated the one event from the most critically damaged forests in north-western range of the Outer Western Carpathians (OWC) (the Silesian Beskids). We made silvicultural proposals adopted according to generalized natural situation in the whole Western Carpathian arc, but collaterally we documented other global processes which could influence any local event. Norway spruce (*Picea abies* /L./ Karts.) decline in the Silesian Beskids was evaluated based on literature survey metaanalysis devided to descriptions of potential internal and external factors and ways of restoration. The genetic and biochemical properties of spruce stands were evaluated as internal factors of the decline (Stettler and Bradshaw 1994). The bedrock, soil and climate were evaluated as external factors of the decline (Patzel and Ponge 2001). The metaanalysis was based on comparisons between field results and literature survey. Finally, we used field results to

map projection and we made overlay providing spatial distribution of the investigated spruce decline zones. Field data was obtained by forest protection (Samec et al. 2011), soil (Samec et al. 2010) and dendroecological surveys (Vavrčík et al. 2008). The survey on forest protection provided data about spatial distribution of affected spruce stands. The soil survey provided data about bedrock and top-soil quality. The dendroecological survey provided data about tree growth dynamics in relation to climate change and pollution (Zach and Drápela 1991). The proposed ways of ecological restoration of the forests were completed according to empirical criterions using in forest ecology and management population directives (Kulla et al. 2009).

Since 1980 the local climate warming has potentially had only a moderate influence on the increase in diameter increments of trees (Dobbertin 2005). Such an influence has been more pronounced at locations of the fir-beech and spruce-beech-fir vegetational tiers (VT's); at exposed summit locations the climate warming has not had a direct influence on the increase in tree diameter increment (cf. Feliksik et al.

2001). The spruce decline was also accelerated by their unadapted genotype, long-term weakening from preceding air-pollution events and by the nonexistence of sufficient feedbacks with soil microbiocoenoses in the endangered coeval structured stands (Samec et al. 2011). Dry growing seasons caused an instantaneous decrease in diameter increments of tree species. Soil hydrophysical properties along with the availability of exchangeable bases are permanent predisposition factors of development of

the health status of Norway spruce (*P. abies*) populations in the whole of the Beskids. Sites on the outcrops of conglomerates mostly in locations of the beech VT belong among the most vulnerable sites there. An improvement in the health status of the forests is conditioned by the total conversion of species composition and structure. The cultivation of Norway spruce seems promising only in locations above 800 m a.s.l. (tab. 1).

<b>Model criterion</b>	<b>Source</b>	<b>Information</b>	<b>Result</b>
Climatic altitudinal exposition	Field survey	A larger proportion of trees damaged by honey fungus rot upto beech VT; from fir-beech VT proportion of bark-beetle and rot damaged trees increases, which is reflected in the larger proportion of the multiple damaged trees.	Differentiation of conditions upto beech VT from the next fir-beech VT
	Literature	A stable presence of beech forests is still observed at beech VT, although an expansion of homogeneous beech forest and decrease of fir regeneration occur at fir-beech VT (Sugiero et al. 2009).	
Edatope exposition	Field survey	Low soil base saturation and relatively higher levels of spruce stand defoliation as well as discoloration usually occur on conglomerates.	Differentiation of coarse-grained sandstone flysch from other subsoils.
	Literature	Low forest soil base saturation occurs predominantly at affected spruce stands (Barszcz and Małek 2008).	
Growth trend	Field survey	Spruce stands under 40 years of age are relatively less affected. Optimal health status was found in spruce trees with long crown. Average defoliation was 23.84% with different age trees.	Preference of individual mixing and spruce silviculture under the open canopy. The customizing of a stand structure to natural forests in biocentres and small-areal protected territories.
	Literature	The most effective spruce stands natural regeneration run under stand mantle but at disrupted canopy (Diaci 2006; Kulla et al. 2009). Natural proportion of beech in forests increases in parallel with the ongoing warming of Carpathian climate (Hrubý 2001; Magri et al. 2006; Sugiero et al. 2009; Kulla et al. 2009).	

Tab. 1: Assessment of conjectures between results from field survey in the Beskids and literature.

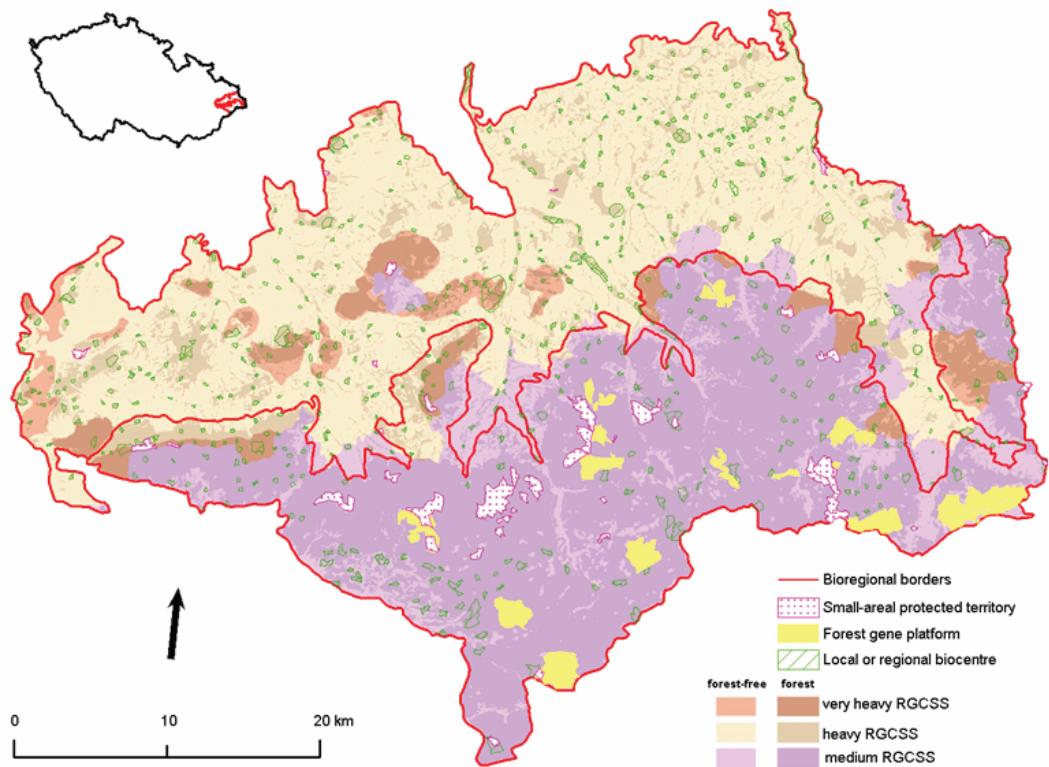


Figure 1: The classes of the spruce stand risk growth conditions in relation to forest functional differentiation in the Podbeskydský and Beskydský biogeographical region of the Czech Republic.

The model was made by geoinformatic overlay of empirical site characteristic (soil and tiers) and forest stand differentiation according to refuges of biodiversity and managed forests in the Podbeskydský and Beskydský biogeographical regions (north-western range of the OWC).

The zone of very heavy risk growth conditions for spruce silviculture (RGCSS) (125 km<sup>2</sup>; 7%) was defined predominantly upto beech VT on conglomerates where present spruce stands are mostly affected by bark-beetles, drought and rots. The zone of heavy RGCSS

was defined up to beech VT on other soil substrates (770 km<sup>2</sup>; 45%) predominantly in the Podbeskydský biogeographical region. The zone of medium RGCS was defined predominantly in the Beskydský biogeographical region at fir-beech and spruce-fir-beech VT (805 km<sup>2</sup>; 47%). At the medium RGCS the forest stands are predominantly affected by insects and significantly less by rots (fig. 1).

Common features of various national proposals for the reconstruction of dead spruce stands in the whole Beskids and adjacent regions are efforts aimed at differentiation of silvicultural practices supporting highly structured mixed forests. The differentiation of reconstructed forest management in the area consists in the delineation of refuges of natural forests and risky enclaves where the soil improvement is promoted by means of an admixture of introduced species. The special importance is expected from European larch which permanently has natural population in the Central Carpathians and increases total stand production. The management of natural forests is usually

identified with protected areas where the natural ecological network and natural processes of the cycle of matter and energy are functional. The functional ecological network is necessary to ensure the natural dissemination of diaspores. The growing of the basic mixture of European beech and many interspersed tree species (especially of aspen, European ash, maples,

rowan, silver fir, and locally also of European larch) is assumed in commercial forests outside protected areas.

The basic objective of presented adaptation measures is a long-term increase in the genetic diversity of forest communities. Artificial forest regeneration is a limiting factor in this process. A crucial issue for specific working procedures of forest reconstruction in the OWC is the unambiguous definition of the extent of artificial regeneration and the level of natural regeneration support.

The target selection structure of established mixed forest stands will enhance the ecosystem resilience. This state theoretically eliminates catastrophic impacts of most disasters and pest gradations. Forest protection measures may be aimed at the predictable component of events according to predictions of medium-term climatic changes. Changes in forest tree species regeneration should naturally indicate the long-term tendencies of ecosystems. The interspersed presence of spruce and larch in some enclaves may ensure the readiness of communities to climate cooling. The broad presence of European beech, European ash and maples, and of small-leaved linden, durmast oak and European hornbeam at the lowest altitudes, corresponds to the continuing trend of warming up. The pioneer species goat willow, European aspen, rowan and European birch may protect sites from erosion after windthrow disasters or fires or if some of the main species is declining.

## References

- BARSZCZ J., MAŁEK S. (2008): Stability of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) stands in the Beskid Śląski and Beskid Żywiecki Mts. from the aspect of their nutrition status. *Journal of Forest Science* 54: 41–48.
- DIACI J. (2006): Gojenje gozdov: pragozdovi, sestoji, zvrsti, načrtovanie, izbrana poglavja. Biotechnička fakulteta, Univerza v Ljubljani.
- DOBBERTIN M. (2005): Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. *European Journal of Forest Research* 124: 319–333.
- FELIKSIK E., WILCZYŃSKI S., DURŁO G. (2001): Variability of air temperatures of the temperate climatic belt of the Beskid Sądecki Mountains in the period 1971–2000 as exemplified by the climatological station in Kopciowa. *Electronical Journal of Polish Agricultural Universities* 4 (Forestry): 1–14.
- HRUBÝ Z. (2001): Dynamika vývoje přírodních lesních geobiocenóz ve Východních Karpatech. MZLU v Brně (disertační práce).
- KULLA L. et al. (2009): Návrh vybraných zložiek modelov hospodárenia pre nepôvodné smrečiny a rekonštruované lesné porasty (ciele, základné rámce a zásady hospodárenia). In: ŠEBEN V. (ed.), Rekonštrukcie nepôvodných lesných spoločenstiev ohrozených zmenou prírodných podmienok (najmä klímy) na ekologicky stabilnejšie ekosystémy. NLC-LVÚ Zvolen: 1–27.
- MAGRI D. et al. (2006): A new scenario for the Quaternary history of European beech populations: palaeobotanical evidence and genetic consequences. *New Phytologist* 171: 199–221.
- PATZEL N., PONGE J.-F. (2001): The heterogeneity of humus components in a virgin beech forests. *European Journal of Soil Biology* 37: 117–124.
- SAMEC P. et al. (2011): The prospects for forests in the Western Carpathians. *Forest ecology in global perspective*. Univerzita Palackého v Olomouci.
- SAMEC P., VAVŘÍČEK D., BOJKO J., ŽID T. (2010): Soil component vectors in the southwestern Silesian Beskids. *Electronical Journal of Polish Agricultural Universities* 13 (Forestry): #14.
- STETTLER R.F., BRADSHAW H.D.Jr. (1994): The choice of genetic material for mechanistic studies of adaptation in forest trees. *Tree Physiology* 14: 781–796.
- SUGIERO D. et al. (2009): Species composition in low mountain beech (*Fagus sylvatica*) stands in the Bieszczady National Park under the global warming. *Journal of Forest Science* 55: 244–250.
- WOO S.W. (2009): Forest decline of the world: A linkage with air pollution and global warming. *Africal Journal of Biotechnology* 8: 7409–7414.
- ZACH J., DRÁPELA K. (1991): A diameter increment analysis of spruce in the Beskydy mountains in the area under the influence of air pollutants. *Lesnictví* 37: 787–794.

## CURRENT GIS CHALLENGE: getting better in technological skills, but still remaining a geographer

Prof. RNDr. Vít Voženílek, CSc., Palacky University in Olomouc, vit.vozenilek@upol.cz

Geographic information systems (GIS) came from geography in 1960s. Nowadays we distinguish GIS from GISC (geographic information science). From the beginning of GIS many geographers have transformed (reeducated) themselves technically to support GIS development. However, are they still geographers? Is a new generation of GIS experts more geographers or engineers?

### Geographic knowledge

The nature of geographic knowledge today is very different from what it was sixty years ago. It has evolved from phenomenal (declarative) to intellectual (primed by cognitive demands) and is still progressing. Surges of interest in systematic specialties and technical innovations in representation and analysis have changed the nature of geographic knowledge, advanced geographic vocabulary, defined and examined geographic concepts, and developed spatially explicit theories relating to human and physical environments (Colledge 2002). But the future still challenges and significant problems face geography if it is to remain a viable academic discipline in the new information technology

society.

How will geographic knowledge increase if the world we live in becomes more reliant on digital information technology? What will be the research and instructional role of technical innovations such as virtual worlds and wearable wireless computers?

### Geographers' views

In early 1980s J.E. Dobson (1983) appealed that analytical methods and computer technology for spatial analysis have advanced rapidly and that geographers have to consider a general form of **automated geography** which integrates all of the new techniques into an analytical whole. He also supported in order to combine computer cartography, computer graphics, Earth digital remote sensing, geographic information systems, spatial statistics, and quantitative spatial modelling eclectically with traditional manual techniques to address geographic problems that are too large and complex for manual treatment alone. His argument that automation can assist in all forms of geography involved warring that its adoption is likely to be highest

among applied scientists. He expected long term effects including improved contributions by geographers to national and international policy analyses, a greater emphasis on team-work and sharing, stronger ties with other disciplines, and a generally more viable discipline.

When R. J. **Bennett** (1985) examined the interrelated questions of quantification, relevance and utility, he also mentioned that geography cannot evolve through a pluralism of positivism and radical methodologies. Instead, it must **return to its roots** and revive its concern with the interrelationship of environmental and social concern within place, area, or context.

K. **Yano** (2000) explored the development of the GIS revolution within the field of geography in the 1980s and 1990s, taking into consideration the influence of external and internal factors on disciplinary change. Geography as rapidly changing science has been impacted by external factors on geographical research and also as a consequence of economic recession and cutbacks in higher education. Most geography departments in universities have tried to approach this impact by promoting or shifting to geography as an applied science, and by offering relevant skills through GIS as an approach to contemporary problems. He concluded that quantitative geography is essential for the further expansion of GIS within geography and also for the **survival of geography**.

In several years the success of GIS has in some

ways proved to be a mixed blessing to academic geography. While quantitative geography has developed as a disciplinary specialism over a long period of time, the infusion of GIS has been more rapid and applications-led. **Geography has been a consumer**, not producer, of mainstream GIS software, and as such GIS may even contribute towards accelerated de-skilling of the discipline (**Longley** 2000). The technology nevertheless provided a crucial means of dealing with the current proliferation of digital geographic data, and had important implications for the future development of geography.

In 2001 E. **Sheppard** stated that representations of quantitative geography, both by practitioners and by others, have tended to associate quantification with empiricism, positivism, and the social and academic status quo. Attempts to engage in debate between these positions rarely challenged this dualism, reproducing the representation of quantitative geography as logical positivism, and a dualism separating quantitative and qualitative geography (Sheppard 2001). He argued that this **dualism** can be broken down, by deconstructing the underlying representation. He also discussed why this representation came into existence and how it was stabilized; how close attention to the practices of quantitative geographers, and particularly to the evolution of these practices, reveals its inadequacies; and what new possibilities for quantitative practices emerge from this deconstruction. He saw GIS as one of the manifestations around which representations

of quantitative geography polarize.

In 2008 M.M. **Hall** and C.B. **Jones** regarded many aspects of spatial language concerned with relationships between spatial entities to be essentially vague and GIS as a technology with very little support for dealing with this vagueness because of a ***lack of quantitative data and models*** for vague spatial relations. They presented an experiment that looks at quantifying spatial prepositions (Hall, Jones 2008). In the context of image captions, the cardinal directions were analysed in an existing set of image captions, with respect to the spatial distribution of the locations of the target object (figure) and the reference object (ground). This study gave background for future work on using these results to improve GIS solutions in a wide variety of scenarios.

With growing number of GIS applications traditional ***time geography*** became one of hottest topics. Some human geographers considered state-of-art of time geography as rigid with admitting only uniform travel velocities in transport geography. Computational time geographic methods that resolve the uniform velocity assumption through transportation networks or isochrones only partially addressed this weakness and did not have a rigorous theoretical foundation. In 2009 H.J. **Miller** and S. **Bridwell** presented an analytical time geographic theory for the case where travel velocities vary continuously across space (Miller, Bridwell 2009). Using the continuous transportation or „urban

fields“ tradition in quantitative geography and regional science, they formulated analytical definitions of the space-time path and prism for the case where unobserved components are characterized by minimum cost curves through an inverse velocity field rather than straight line segments through a uniform velocity plane. This provides a geometrically and visually oriented approach to capturing complex velocities that complements existing methods. In results, they provided a rigorous analytical foundation for time geography to extend the network approach by treating links as regions with continuously varying velocities. Their time geographic fields are also useful for nonnetwork-constrained phenomena such as movement through terrain, water, and air. This research illustrates the GIS approach using a computational implementation based on a lattice approximation.

Intensive discussion between critical theorists and GIScientists over geographic information systems in 1990s geography gave rise to calls for increased communication between critics and practitioners of the technology and most recently for ***“qualitative-quantitative” GIS practices***. Although GIS scholars have successfully addressed mid-1990s critiques of the technology by developing a series of critical GIS practices that involve nuanced and reflexive deployments of GIS and assessments of its visual products, theoretical critiques of GIS remain fixated on the epistemological deficiencies of the technology (**Leszczynski** 2009). Despite references to loosening metaphysical tensions

across the discipline, this difference in assessments reveals the discourses of critical-theoretic geography and GIScience to remain separated by a trenchant philosophical divide, across which ontological and epistemological commitments are inviolable. The inability to fully reconcile a critical-theoretic epistemology with the explicitly ontological metaphysics of GIS further complicates qualitative engagements with the technology by addressing a series of inconsistencies into GIS praxis arising from the quantitative limits to representation encountered in the formal universe of computing.

GISc speeded up the geographic research in the collection, analysis, and visualization of ***movement data*** which is at the forefront of geographic information science research. Movement data are generally collected by recording an object's spatial location at discrete time intervals. Methods for extracting useful information, for example space-time patterns, from these increasingly large and detailed datasets have lagged behind the technology for generating them. J.A. **Long** and T.A. **Nelson** reviewed existing quantitative methods for analysing movement data to provide a synthesis of the existing literature on quantitative analysis of movement data while identifying those techniques that have merit with novel datasets. They identified seven classes of methods (Long, Nelson 2013): (1) time geography, (2) path descriptors, (3) similarity indices, (4) pattern and cluster methods, (5) individual-group dynamics, (6) spatial field methods, and (7)

spatial range methods. Challenges routinely faced in quantitative analysis of movement data include difficulties with handling space and time attributes together, representing time in GIS, and using classical statistical testing procedures with space-time movement data. Areas for future research include investigating equivalent distance comparisons in space and time, measuring interactions between moving objects, developing predictive frameworks for movement data, integrating movement data with existing geographic layers, and incorporating theory from time geography into movement models. In conclusion, quantitative analysis of movement data is an active research area with tremendous opportunity for new developments and methods.

## Conclusion

R. **Bednarz** investigated the relationships between ***GIS skill*** and ***spatial thinking***. In 2003 he used a spatial-skills test to examine the effect of GIS learning on the spatial thinking ability of college students. Eighty students at a large state university completed pre- and post- spatial-skills tests administered during the fall 2003 semester (Lee, Bednarz 2009) and thirty-two students by an interview-based critical spatial thinking oral test during the fall 2010 semester (Kim, Bednarz 2013). Analysis of changes in the students' test scores revealed that GIS learning helped students think spatially. His studies found positive relationships between GIS learning and critical spatial thinking. These improvements

were the result of the connection between students' GIS activities and experiences and the tested spatial thinking skills. Strong correlations were observed between the participants' spatial thinking and their achievement in the GIS course. He argues that the improvement can be attributed to students' experiences in a GIS course.

The changes that have taken place in geography over the last 50 years have given structure and substance to a discipline that was concerned largely with inventory. Today we have all the GISC components deemed necessary to define and justify the existence of a scientific discipline – a huge array of empirically verified factual data, spatial theories and models, innovative methods of spatial analysis, unique modes of representation, and practical usefulness for spatial decision-making and policy formulation. Geography majors are lucky because unlike other disciplines in the humanities, geographers get the unique opportunity to specialize in GI technologies, powerful technological tools used in just about every industry. GISC is a highly marketable skill that directly translates into a career path.

However, all GIS experts, do not forget to be a geographer! Geographic knowledge is universal but it cannot be acquired only informally or incidentally by technical casual observation without geographic concept. It is important that we realize that we need to deal with well-defined (both geographically and technologically)

concepts as opposed to vague ones. Understanding this will in part provide a basis for assessing the validity, reliability, and justifiability of our arguments and conclusions (Voženílek 2002). Geographic knowledge represents a body of GIScience that has much to offer humanity and we must do our best to continue adding to all facets of that knowledge set.

## References

- BENNETT, R.J. (1985). Quantification and relevance. *The future of geography*, pp. 211-224.
- DOBSON, J. E. (1983). Automated geography, *Professional Geographer*, 35(2), pp. 135-143.
- GOLLEDGE, R.G. (2002). The nature of geographic knowledge. *Annals of the Association of American Geographers*, 92(1), pp. 1-14.
- HALL, M.M., JONES, C.B. (2008). Quantifying spatial prepositions: An experimental study. *Proceedings of the 16th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, Article number1463507, pp. 451-454.
- MILLER, H.J., BRIDWELL, S. (2009). A field-based theory for time geography. *Annals of the Association of American Geographers*, 99(1), pp. 49-75.
- KIM, M., BEDNARZ, R. (2013). Development of critical spatial thinking through GIS learning. *Journal of Geography in Higher Education*. 37(3), pp. 350-366.
- LEE, J., BEDNARZ, R. (2009). Effect of GIS learning on spatial thinking. *Journal of Geography in Higher Education*, 33(2), pp. 183-198.
- LESZCZYNSKI, A. (2009). Quantitative limits to qualitative engagements: GIS, its critics, and the philosophical divide. *Professional Geographer*, 61(3), pp. 350-365.

LONG, J.A., NELSON, T.A. (2013). A review of quantitative methods for movement data. International Journal of Geographical Information Science, 27(2), pp. 292-318.

LONGLEY, P.A. (2000). The academic success of GIS in geography: Problems and prospects. Journal of Geographical Systems, 2(1), pp. 37-42.

SHEPPARD, E. (2001). Quantitative geography: Representations, practices, and possibilities. Environment and Planning D: Society and Space, 19(5), pp. 535-554.

VOŽENÍLEK, V. (2002): Geoinformatic literacy: Indispensability or nonsense? [in Czech Geoinformatická gramotnost: nezbytnost nebo nesmysl?] Geografie, 107(4), pp. 371-382.

YANO, K. (2000). GIS and quantitative geography. GeoJournal, 52(3), pp. 173-180.

Lenka Zajíčková

# Geodata for management of public transport in the Czech Republic

Mgr. Lenka Zajíčková, Palacky University in Olomouc, zajickova.l@email.cz

Virtually all issues regarding the management of public transport (hereinafter referred to as PT), its administration and long-term sustainability of up-to-date information about regional transport networks in Czech Republic are dealt with by organizers (coordinators) of Integrated Transport Systems (hereinafter referred to as IDS). Although system of public transport network is relatively invariable, its extensive character makes it often very difficult to keep all relevant data complete and up-to-date. There is also an increasing need to deal with the up-to-dateness and availability of the public transport data and keep them as thorough, clear and accurate as possible. The objective of this paper is to point to the lack of quality public transport geodata and outline the solution of this problem.

## Introduction

Public transport network geodata in the Czech Republic are not administered by a single authority, there are even no mandatory regulations requiring them. Moreover, accuracy or up-to-dateness of these geodata are not subject to any standardization. Most of PT network data are managed by IDS organizers (coordinators) in particular regions or directly by public transport operators. Their data

warehouses are too often incomplete, objects are incorrectly located, layers lack the system of coordinates and errors like undershoots, overshoots and missing attributes frequently occur. Logical structure and method of data management are frequently inappropriate.

## World standards for public transport network data exchange

There are currently many existing standards and norms for PT network data exchange around the world. All of them define structure, format, mandatory entities and attributes. Other new standards are currently under development. One of the world-wide known standards is GTFS (General Transit Feed Specification) by Google [1]. It defines a common format for public transportation schedules and associated geographic information. New in the field of PT data standardization is NeTEx, which is still under development. NeTEx is based on Transmodel V5.1, CEN technical standard IFOPT (Identification of Fixed Objects in Public Transport) [2] and on SIRI standard (Service interface for real-time information) [3]. NeTEx aims to provide a panEuropean standard for data exchange of transport schedules and other related information. It is a complex and extensive

standard describing fixed elements of PT network (stops, stations, places of access, equipment etc.) and also the operational elements of the network (e.g. transfers) [4].

### Czech standards for public transport network data exchange

The only present solution to keep the basic information on moves of PT vehicles in national scope is the unified data format (hereinafter referred to as "JDF") defined by the Decree of the Ministry of Transport No. 388/2000 Coll., on Regular Public Transport Timetables, and the Decree No. 175/2000 Coll., on Transport Rules for Public Railway and Road Transport of People. It is a pre-defined data format designed for regular PT road and railway carriers in order to process the timetables (hereinafter referred to as "JŘ") for the purposes of the National Information System on Timetables (hereinafter referred to as "CIS JŘ"). The carrier elaborates the timetables in an electronic form, is responsible for them and submits them to the appropriate transport authority for an approval and to be advanced to CIS JŘ the management of which was delegated to CHAPS Ltd. [5]. However, no spatial information is related to the data inserted in the CSV files, attributes to individual entities are insufficiently registered and hardly anyone fills in the voluntary files. For passengers' needs, CHAPS allows not only searching for the appropriate connection but also the possibility of graphic display. It involves coordinate visualisation of the stops on the base of a source map and their

interconnection by straight lines. In view of GIS, this solution is unsatisfactory and incorrect, however, CHAPS primarily deals with timetable administration and the visualisation and spatial information are not the subject of their business.

### Data model for public transport network management

The complete lack or incompleteness of relevant geodata are the most frequent problems when keeping records of public transport objects. Proposed data model (see Fig. 1) is built on NeTEx and was adapted for conditions applicable in the Czech Republic. Its compatibility with JDF was also taken into consideration.

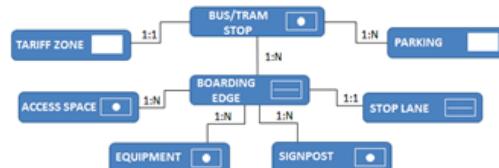
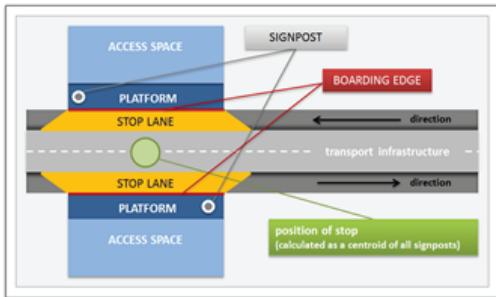


Fig. 1: Outline of proposed data model  
for data management

Basic element of the data model is a stop as a point feature and also as an umbrella term for all other entities in the area (see Fig. 2). Position of the stop is calculated as a centroid of all signposts of a given stop, thus it usually lies on the road away from their actual positions. For the purposes of data model, every single stop must be identified by a unique CIS JŘ multi-digit

number. This number cannot be assigned to any new stop (e.g. No 24768 for Olomouc, tržnice stop). Every stop is then assigned its position (using X and Y coordinates), its name (consisting of the names of a city, city part and locality) and ID from CIS JŘ.



*Fig.2: Stop and its parts*

Using its ID, the stop is then linked to another entity – a line of boarding edges. Boarding edge is a border part of the platform and is defined as a paved area allowing safe movement of passengers when boarding or leaving a vehicle or waiting for a connection. The length of a boarding edge is routinely the same as the length of a platform, or at least the length of the longest vehicle using a stop is recommended. Most of the stops have two boarding edges (one for each direction), larger transfer hubs can have more than two. Front and end positions of each boarding edge are determined, as are its height, length, type (shoulder exit, paved area etc.), wheelchair accessibility (presence of leading line, signal or warning strip etc.). Photographic

documentation can also be attached.

Next adjoining entity is a stop lane, linked in the data model to the boarding edge and stop by ID. Every stop lane is marked by two points (front and end positions) and also additional attributes are recorded. These include the information about the nature of a given stop lane – whether a bay or turning lane are present or not, and length and depth of a bay. Photographic documentation can be added too.

Every boarding edge must contain at least one signpost, which is defined as a distinct upright marker designating bus, tram, trolleybus or other stop. In the data model, signpost is represented by a point and forms a point layer. Signposts are usually placed at the front part of a boarding edge (at the front edge of a boarding island or sidewalk). Besides X and Y coordinates, additional data about signposts are recorded. These include the information about the type of transport, design (post, console, frame), placement (solitary, shelter-mounted, wall-mounted etc.) and about its owner or administrator.

Among outdoor captured spatial entities also belong other spaces and objects related to boarding edges or stops. These include shelters, concourses, waiting areas, benches, ticket machines etc.

## Data collection and updating

In the course of the data model development, an outline of suitable method for PT network data collection has been compiled. An application for field data collection has been used, allowing us to process all collected data about stops, boarding edges, signposts, stop lanes and all spaces and objects related to boarding edge or stop (Fig. 3). All current code lists and source data (tariff zones, routes, source maps etc.) are uploaded prior to actual field investigation. Since the application works offline, all data must be uploaded prior to the field mapping, and downloaded to a central data warehouse after completion of every mapping. Functions of the application allow to record positions of spatial elements (front and end positions of boarding edge, positions of signposts and spaces and objects related to boarding edges or stops), make photographic documentation including description of particular parts of a given stop and assign descriptive attributes to a stop or to its parts. The application is installed on the tablets and only data for field mapping are automatically updated. After the data are downloaded to a computer, the geodata are overwritten in the central data warehouse.

The application has the functions to register the position of spatial elements (position of the beginning and end of the boarding edge, stop lanes, ID position and position of spaces and objects related to the boarding edges or to the stop in general), take pictures and enter



Fig. 3 Example of an entry window from the application for public transport field data collection

the stop in general. Entering of most of the attributes is dealt with by means of code lists in the form of check boxes where only one option can usually be selected. In the field data collecting application, attribute values may be selected from more than 25 code lists; several other code lists work only to allow moves within the entity tree. Entering from the keyboard is minimised to decrease the risk of non-uniform or incorrect entries in the sense of entering various strings for the same aspect. The key code list is the stop ID code list from CIS JŘ and the derived complete names of all stops comprising the code lists for names of towns, parts of the towns and specific locations which the field worker cannot modify (in other code lists it is possible to add extension of the code list in comments or select the "other" option). Thanks to this measure, editing of a non-existing stop is avoided. Besides the elimination of logic mistakes, entering of incorrect values resulting from misunderstanding

or poor knowledge is dealt with. Help is attached to some attributes or code lists in case the field worker is not sure of the variant of the code list value or they do not understand the sense of the entered attribute. Apart from texts, the help often contains pictures for clearness.

## USER ASPECTS OF APPLICATION

The data will prevailingly be used by the officials who manage the PT network, potentially change the routes or names of the stops, create synoptic maps and provide information reports and notices for general public. So far the KIDSOK staff only worked with a point layer where each record represented a stop with all its compounds in one point. Upon these data, they elaborated synoptic maps for passengers and source materials for internal purposes (negotiations on integrating routes or lines etc.). As a part of the requirement to increase the attraction and competitiveness of public transport, the demand was expressed to form an interactive transport plan and analyse transport services in the area, define attraction districts of stops and many others. That was the moment when KIDSOK staff realised that the existing data are insufficient and the effort and financial means will have to be invested to acquire correct, up-to-date and first of all complete data. The data will be used by the organiser's officials, later also by passengers and carriers' controller systems because the data model contains attributes important for PT organisers (focused on passenger needs and public transport management and control) but

also attributes related to operation. While the passenger is interested in information about wheelchair access, vehicles moving within the network, delays, possible connections between two points and the appearance of the boarding edge (Fig. 4), the carrier needs to know the data on height of the boarding edge, length and depth of the bay, lighting and other technical parameters of the stop or its parts.



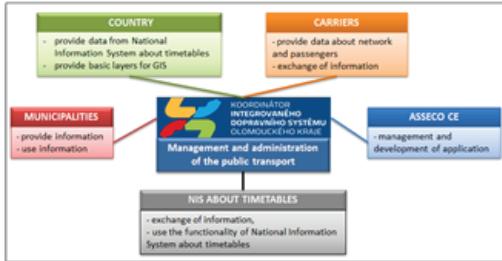
Fig. 4. Picture of the boarding edge *in-situ*

The benefit of the newly established data warehouse of the expertly created data model is the evidence of complete data on PT including all existing attributes, existence of the expertly elaborated code lists pre-venting unprofessional interpretation, great positional and topological accuracy of objects, ensuring complete data collection by means of modern technologies (GPS, tablet, GIS) and easy updating of the data.

## SUSTAINABILITY OF DATA CURRENCY

Within the draft of the data model, elaboration

of mobile application and pilot filling of the data warehouse, concept of PT network data updating was also formulated as it is complicated by great number of registered entities and their attributes. Within the KIDSOK operated area, there are more than 2500 unique stop names and more than 6000 signposts; similar numbers were reached also with boarding edges and other stop elements which need to be registered. Moreover, many attributes and aspects need to be monitored with respect to providing information for the handicapped. This is the most time consuming part of the work on the data warehouse.



*Fig. 5. Organization of the public transport network management*

The newly created stops, parts of stops and any spatial and organisation changes will further be monitored with the participation of several subjects (Fig. 5). At the moment, 20 % of the whole IDSOK net-work have undergone mobile application pilot testing and debugging. Time frame necessary to document one latest, fully equipped stop (including all its parts) is 20 minutes in average. The rest of the network

will be documented in spring 2014; the data warehouse shall be complete by autumn 2014.

Updating of the data from CIS JŘ (code lists of stop names, stop IDs etc.) are contracted with CHAPS Ltd. with the period of one month, other up-to-date information is acquired from the Transport Authority of the Olomouc Region (ensured by the Department of Transport and Road Management of the Olomouc Region) or is consulted directly with carriers. The last source of information about transport network is represented by the towns which are usually owners or administrators of the stops and which often provide primary information. The application elaboration, maintenance and technical support is provided by Asseco.

## References

- [1] Google, Inc. What is GTFS? Google developers: Products [online]. 2012, 12.1.2012 [cit. 2013-03-14]. Available: <https://developers.google.com/transit/gtfs/>.
- [2] EN 28701:2012. Intelligent transport systems - Public transport - Identification of Fixed Objects in Public Transport (IFOPT). Brusel: European Committee for Standardization, 2012. Available: [http://www.dft.gov.uk/naptan/ifopt/ifoptV1.0-36/CENTC278WG3SG6\\_IFOPT\\_20081110\\_36.pdf](http://www.dft.gov.uk/naptan/ifopt/ifoptV1.0-36/CENTC278WG3SG6_IFOPT_20081110_36.pdf).
- [3] CEN/TS 15531:2011. Service Interface for Real Time Information. Brusel: European Committee for Standardization, 2011. Available: <http://www.kizoom.com/standards/siri>.
- [4] PRE/CEN TC 278 WG9. Network Exchange. Brusel: European Committee for Standardization, 2012.
- [5] CHAPS spol.s r.o. Celostátní informační systém o jízdních rádech: Popis systému. CHAPS: Celostátní informační systém o jízdních

řádech [online]. 2013 [cit. 2013-03-16]. Available: <http://www.chaps.cz/cs/products/CIS>.

## Analysing the spatio-temporal pattern of farmland change using landscape metrics

Prof Qiming Zhou, Hong Kong Baptist University, qiming@hkbu.edu.hk

Identifying, monitoring and tracking land cover change on the Earth's surface is a complex process (Lu et al. 2004). Spatio-temporal modelling is an effective approach to simplify and simulate this process. Existing spatio-temporal modelling methods are typically based on either an overlay of multi-temporal land cover maps or temporal trend analysis of spatial pattern indices. Consequently, the knowledge of the spatial dynamics of the change is either fragmental for the former case or invisible for the latter due to the lack of geographical location information.

In the arid zone of China's west, a widely accepted belief is that rapid farmland expansion and the subsequent abandonment or negligent of management would lead to soil salinity and desertification. In order to better understand the spatio-temporal pattern of the farmland change, this paper proposes an integrated approach by combining the methods of pixel-based trajectory analysis (Zhou et al. 2008a) and class-level spatial pattern metrics (Turner et al. 2001).

The generic approach of this study is based on the well-known post-classification comparison

method ((Lillesand et al. 2008)). Multi-temporal remote sensing images are classified into land cover classes individually. By merging land cover classes into two general classes, namely, farmland and non-farmland, the pixel-based change trajectories are established for tracking historical changes (Zhou, et al. 2008a). Given that the process of a farmland change can be separated into slices by time stamp, the spatial dynamics of the change can be naturally visualized through displaying the change segments, which are discriminated by those change trajectories. For quantitative description and identification of farmland development model, the change of spatial patterns is illustrated with landscape metrics (Zhou et al. 2008b).

Multi-temporal remote sensing images were collected, dated back to the beginning of the rapid farmland expansion period in 1990s. Historical change trajectories were established for each pixel and categorized according to change types (i.e. expand or shrink). The spatial dynamics of the farmland change can then be illustrated by mapping those change trajectory classes. For quantifying spatial patterns of farmland change, distribution-related landscape metrics such

as indices of interspersion (IJI), connectivity (COHESION) and isolation (ENN) were employed for analysing farmland development models of river basins; while shape indices, including overall shape (nLSI) and edge shape (FRAC), were applied to appraise, over time, the structural stability of the farmlands (McGarigal et al. 2012). The initial classification of five or six classes

yielded overall accuracies ranging from 87.7% to 97.2% and kappa coefficients ranging from 0.84 to 0.96. After merging into the final two general classes, satisfactory classification accuracies were exhibited, with overall accuracies ranging from 93.8% to 98.1% and kappa coefficients ranging from 0.88 to 0.96.

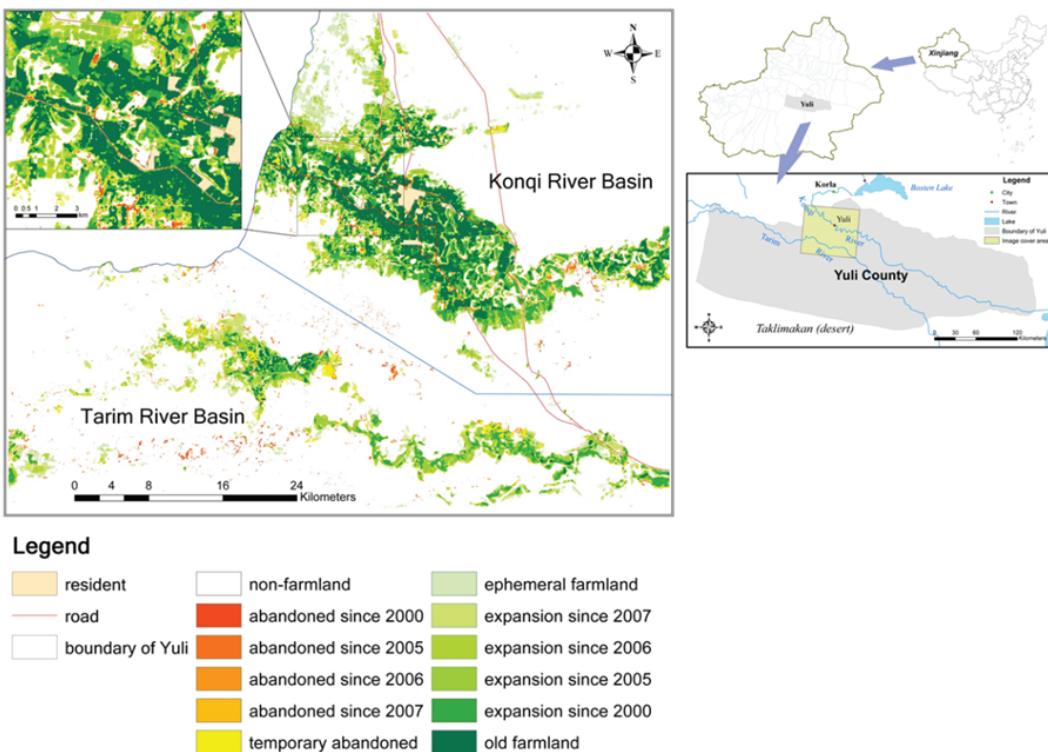


Fig 1. Farmland change trajectories in Yuli County from 1994 to 2008.

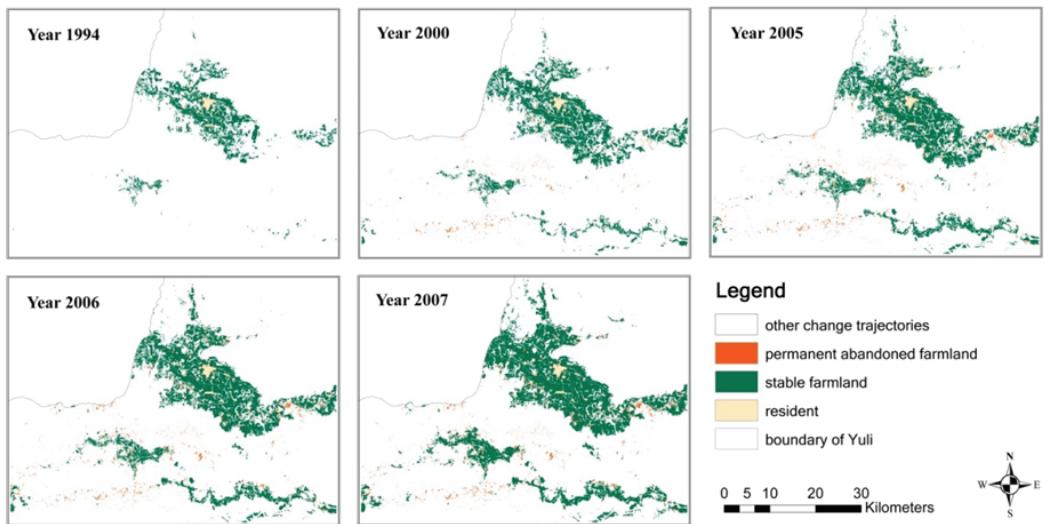
Figure 1 illustrates the spatial dynamics of farmland change in Yuli County in Xinjiang Uygur Autonomous Region of China from 1994 to 2008 with change trajectories of interest highlighted. Figure 2 displays the change of spatial configurations of stable and permanent abandoned farmlands.

From the viewpoint of farmland structural stability, the decreasing nLSI indicates that smaller patches of stable farmland tended to be merged into larger ones and became more aggregated. Meanwhile, the increasing FRAC\_AM shows a more complex edge shape of stable farmland when farmland expansion was accelerating. As for farmland abandonment, the higher nLSI implicates that farmland abandonment occurred with a dispersed distribution. At the same time, the increasing FRAC\_AM expresses a more complex edge shape as the accumulation of permanent abandoned farmlands. Those suggest that farmland abandonment was somewhat a random act since well-organized development plan relying on irrigation system that always makes the shape of farmland be aggregated with regular edge (Figure 3).

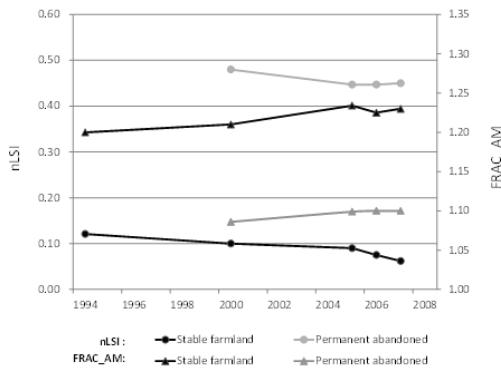
The results indicate that the area of farmland expansion was significantly larger than that of farmland abandonment during the 14-year study period. The rapid development of farmland shows a concentrated pattern for both river basins in the study area and generally follows a layer-based expansion model at multiple directions. At the river basin scale, the proposed

method illustrates its effectiveness in expressing spatial dynamic process of farmland change with farmland development model highlighted.

This study also indicates some issues when applying the proposed method. A set of well-selected metrics is the key to understanding spatial pattern of farmland change in different aspects. Besides, the temporal interval is critical as it determines what kind of change may be detected. Given the arguments that the spatial analysis results might not be uniform at various spatial scales, the further work will be focused on applying the methodology based on sub-catchments of the river basins. In addition, the relationship between spatial pattern and driving forces of farmland change will be further investigated so that the potential mechanism of change dynamics could be revealed.



*Fig 2. Spatial configurations of farmlands in different years.*



*Fig 3. Variations of spatial shape indices of stable farmlands and permanent abandoned farmlands.*

## Acknowledgement

This research is supported by the International Science and Technology Collaboration Project of China (2010DFA92720-24) and Hong Kong Baptist University Faculty Research Grant (FRG1/12-13/070).

## References

- LILLESAND, T.M., KIEFER, R.W., CHIPMAN, J.W. (2008), *Remote Sensing and Image Interpretation*, 6th edn. John Wiley & Sons, New Jersey.
- LU, D., MAUSEL, P., BRONDIZIO, E. AND MORAN, E. (2004),

Change detection techniques, International Journal of Remote Sensing, 25(12), pp. 2365-2407.

MCGARIGAL, K., CUSHMAN, S.A., ENE, E. (2012), FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at the following web site: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.

TURNER, M.G., MEYER, W.B., SKOLE, D.L. (1994), Global land-use/land-cover change: towards an integrated study, AMBIO, 23: 91-95.

ZHOU, Q., LI, B., KURBAN, A. (2008a), Trajectory analysis of land cover change in arid environment of China, International Journal of Remote Sensing, 29(4): 1093-1107.

ZHOU, Q., LI, B., KURBAN, A. (2008b), Spatial pattern analysis of land cover change trajectories in Tarim Basin, northwest China, International Journal of Remote Sensing, 29(19): 5495-55.

Qiming Zhou, Junyi Huang

## Towards a real-time landslide early warning strategy in Hong Kong

Prof Qiming Zhou, Hong Kong Baptist University, qiming@hkbu.edu.hk

Landslide is defined as the mass movement of rock, debris or earth down a slope. Landslide susceptibility analysis provides quantitative or qualitative assessment of the classification, volume (or area), and spatial distribution of landslides which may potentially occur in an area.

Rainfall-induced landslides in natural and man-made slopes during the monsoon season have been quite common and historically caused many fatalities in Hong Kong. Fewer investigations were reported on real- or near real-time risk assessment based on dynamic analyses and simulation of rainfall/runoff processes. Based on a new scale-adaptive digital terrain analysis method for rainfall-runoff process analysis and simulation, the triggering mechanism of landslides will then be investigated and modeled. Using real-time and forecasted rainfall data, a prototype real- or near real-time landslide simulation and early warning system will be developed.

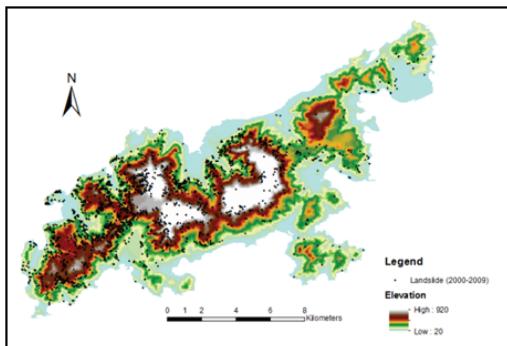
The objectives of this paper is to demonstrate a research framework and attempt for investigating: (1) the relationship between landslide occurrence and pre-conditions of key environmental parameters; (3) the simulation

of landslides using real-time remotely-sensed and weather data by rainfall-runoff process modeling; and (3) the effectiveness of landslide susceptibility assessment and the impact of spatial scale of data and analytical method on the landslide risk analysis outcomes.

### Introduction and Background

An objective procedure is often desired to quantitatively support the landslide studies. According to the literature, many attempts have been made to predict the landslides and to prepare susceptibility maps using different methods (Lee and Pradhan, 2007). Most of these studies were based on the establishment of the relationships between the categories of causative factors and the incidences of landslides in a given region through spatial data analyses (Chauhan, et al. 2010).

On the other hand, Hong Kong has established a warning system for several decades, yet the relevant research from the regional perspective is limited. The existing landslide risk analysis system, operated by the Geotechnical Engineering Office (GEO), is for issuing warnings for the whole territory. The risks on individual slopes or specific regions are not identified.



*Fig. 1: Landslide occurrence record (2000-2009) of Lantau Island, Hong Kong from Enhanced Natural Terrain Landslide Inventory by GEO (ENTLI)*

## Data and Methodology

To evaluate the susceptibility and risk for mitigating the potential loss, it is always necessary to understand the relationships between historical landslide occurrences, environmental parameters and triggering factors, so that future occurrences may be predicted more efficiently and accurately.

The historical landslide locations during 2000-2009 will be acquired from Enhanced Natural Terrain Landslide Inventory (ENTLI), compiled by the interpretation of air photos (Figure 1). With such high quality data available, there is little need for other more, or equally efficient methods for landslide monitoring in Hong Kong (Nichol and Wong, 2005).

The map Normalized Differences Vegetation Index (NDVI) is derived from Landsat TM image acquired at October, 2009. Other causative factors include: DEM and its derivatives (Slope and aspect), lithology, distance to river and distance to fault.

We attempt to take an integrated approach to address two research issues, namely, how the environmental variables collectively influence the occurrence of rainfall-induced landslides by altering the rainfall-runoff process, and how to implement a real-time, regional specific platform that allows early warning of potential disastrous consequence in a timely manner. To create an experiment platform for real-time landslide risk assessment, the integration of scale-adaptive DTA method and the flow-path network model for rainfall-runoff modeling will contribute to uncover the mechanism behind landslide occurrence and surface flow path in a regional scale (Zhou and Chen 2011; Zhou, et al. 2011; Chen and Zhou 2013).

The real-time landslide susceptibility and risk prediction model is also analyzed and compared with other simulation results. It is widely believed that when the change of scale reaches to a certain extent, significant change will occur resulting in uncertainty in the final simulation result.

## Landslide Susceptibility Mapping

For preliminary assessment, frequency ratio

approaches are based on the observed relationships between distribution of landslides and each landslide-related factor, to reveal the correlation between landslide location and the factors in the study area (Lee and Pradhan, 2007).

To calculate the Landslide Susceptibility Index (LSI), each factor's frequency ratio values were summed as Equation (1). The LSI represents the relative hazard of landslide occurrence from historical landslide data. The higher the value, the greater the risk is.

$$LSI = Frelevation + FrNDVI + Frslope + Fraspect + Frfault distance + Frriver distance + Frlithology \quad (1)$$

(LSI: Landslide Susceptibility Index; Fr: Frequency ratio of each causative factors)

## Conclusion and Future Work

Figure 2 illustrates the preliminary result of landslide susceptibility mapping by frequency ratio model. According to the frequency diagram, this model reports a prediction accuracy of 91%. This is in consistent with a previous study by Lee and Pradhan (2007), which indicated a higher accuracy than logistic regression model. However, logistic regression allows one to form a multivariate regression relation between a dependent variable and several independent variables (Lee and Pradhan, 2007). It is also well recognized that the various factors contributing

to landslides in a region are complexly interrelated and the relationships between these factors and the landslides are nonlinear in

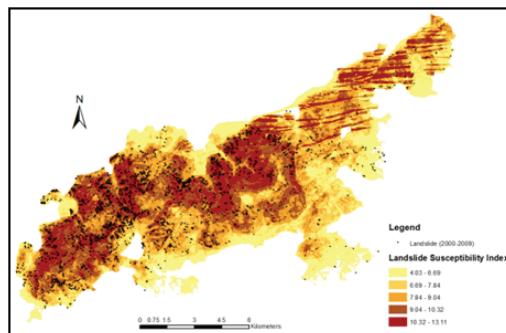


Fig. 2: Landslide susceptibility map based on frequency ratio method

nature, therefore, AI (Artificial Intelligence) techniques such as fuzzy logic, artificial neural networks, and genetic algorithms were used. Other methods, such as artificial neural networks (ANN) or fuzzy weighting are considered to be more rigorous than that in this study. The derivatives of a digital elevation model (DEM) are controlled by the scale factor. Slope, aspect and curvature pattern may subsequently be varied in different ways as scale changes. Therefore, approach incorporating multi-scale DTM runoff analysis is subject to further study (Chen & Zhou, 2013).

The study aims at taking an interdisciplinary approach by integrating the geotechnical statistic

methods and hydrological physical/empirical rainfall-runoff models. To handle the computing intensive models for real-time applications, a cloud-computing enabled experimental platform for monitoring and evaluating the landslide risk will be developed.

## Acknowledgement

This research is supported by the International Science and Technology Collaboration Project of China (2010DFA92720-24) and Hong Kong Baptist University Faculty Research Grant (FRG1/12-13/070).

## References

- CHAUHAN, S., SHARMA, M., ARORA, M.K., GUPTA, N.K. (2010), Landslide Susceptibility Zonation through ratings derived from Artificial Neural Network, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 12, 340-350.
- CHEN, Y. ZHOU, Q. (2013), A scale-adaptive DEM for multi-scale terrain analysis, International Journal of Geographical Information Science, 27(7), 1329-1348.
- LEE, S., PRADHAN, B. (2007), Landslide hazard mapping at Selangor, using frequency ratio and logistic regression models, Landslides, 4, 33-41.
- NICHOL, J., WONG, M.S. (2005), Detection and interpretation of landslides using satellite images, Land Degradation and Development, 16, 243-255.
- ZHOU, Q., CHEN, Y. (2011), Generalization of DEM for terrain analysis using a compound method, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 66, 38-45.
- ZHOU, Q., PILESIÖ, P., CHEN, Y. (2011), Estimating surface

flow paths on a digital elevation model using a triangular facet network, Water Resources Research, 47(7), W07522, doi:10.1029/2010WR009961.

## České příspěvky

Jaroslav Burian, Stanislav Šťastný

## Aktuální stav vývoje extenze Urban Planner

RNDr. Jaroslav Burian, Ph.D. , Mgr. Stanislav Šťastný, Univerzita Palackého v Olomouci,  
jaroslav.burian@gmail.com, stastny.stan@gmail.com

Urban Planner je analytická nadstavba programu ArcGIS for Desktop 10.x, určená pro potřeby územního plánování. Vytvořená extenze slouží jako nástroj pro vyhodnocení územního potenciálu území a k detekci optimálních ploch vhodných pro územní rozvoj. Urban Planner je vyvíjen pod vedením Stanislava Šťastného (Šťastný, 2009, Šťastný 2013) a Jaroslava Buriana (Burian, 2012) ve spolupráci s dalšími odborníky z oblasti územní plánování.

### Metodika

Extenze Urban Planner využívá čtyři hlavní metody, kterými jsou:

*Multikriteriální analýza* - Krajinný potenciál je definován jako „schopnost krajiny poskytovat určité množství možností a předpokladů pro různé využití s cílem uspokojit potřeby lidské společnosti“. Vedle termínu „potenciál“ se v anglosaské literatuře vžil pojem „land suitability“ s ekvivalentním významem i rozšířením. Modelování krajinného potenciálu je analytický proces, který určuje vhodnost územní jednotky pro konkrétní funkci. V praxi existuje řada přístupů. Stanovování krajinného potenciálu je vždy procesem multikritériálního

hodnocení, jehož předmětem jsou relevantní vlastnosti území. Účelovým hodnocením parametrů struktury krajiny lze získat informaci o odstupňované, prostorově diferencované vhodnosti ploch pro konkrétní funkci.

*Metoda podpory rozhodování AHP* - Metoda poskytuje rámec pro přípravu účinných rozhodnutí ve složitých rozhodovacích situacích, pomáhá zjednodušit a zrychlit přirozený proces rozhodování. AHP je metodou rozkladu složité nestrukturované situace na jednodušší komponenty; vytváří tedy hierarchický systém problému. Na každé úrovni hierarchické struktury se použije Saatyho metoda kvantitativního párového porovnání.

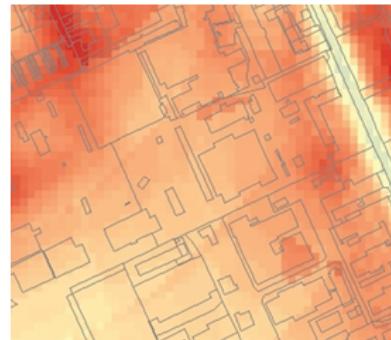
*Princip trvale udržitelného rozvoje* - Spočívá ve vyváženém vztahu podmínek pro příznivé životní prostředí, pro hospodářský rozvoj a pro soudržnost společenství obyvatel území a který uspokojuje potřeby současné generace, aniž by ohrožoval podmínky života generací budoucích. Metoda detekce optimálních ploch vhodných pro územní rozvoj - V praxi existuje několik přístupů. Společným znakem koncepcí je využití integrovaných digitálních dat krajinného potenciálu. V práci byl na základě konzultací s

urbanisty vyvinut postup vlastní.

Metodicky extenze vychází z metodických principů zahraničních produktů What If? a LUCIS (Blíže popsáno např. v Burian, 2008). Zároveň je vloženo více vlastní invence, na základě četných a intenzivních konzultací s odborníky. Hlavním důraz je kladen na použitelnost výstupů v urbanistické praxi s ohledem na česká specifika.

## Výpočet krajinného potenciálu

Základním stavebním kamenem extenze je hodnocení krajinného potenciálu, které se skládá ze 4 úrovní (samotného výsledného krajinného potenciálu, tříd, faktorů, parametrů). Krajinný potenciál je definován jako „schopnost krajiny poskytovat určité množství možností a předpokladů pro různé využití s cílem uspokojit potřeby lidské společnosti“. Vedle termínu „potenciál“ se v anglosaské literatuře vžil pojem „land suitability“ s ekvivalentním významem i rozšířením. Modelování krajinného potenciálu je analytický proces, který určuje vhodnost územní jednotky pro konkrétní funkci. V praxi existuje řada přístupů. Účelovým hodnocením parametrů struktury krajiny lze získat informaci o odstupňované, prostorově diferencované vhodnosti ploch pro konkrétní funkci.



Obr. 1: Ukázka vypočteného krajinného potenciálu

V rámci výběru budoucího využití území bylo zvoleno hodnocení krajinného potenciálu pro 5 následujících kategorií:

### Plochy bydlení

Plochy rodinných a bytových domů s příměsí nerušících obslužných funkcí místního významu popř. s chovatelským a pěstitelským zázemím pro samozásobení s příměsí nerušících obslužných funkcí místního významu a plochy smíšené obytné.

### Plochy rekreace

Plochy staveb pro rodinnou rekrece („chat“ či „rekreačních domků“), u kterých jsou obvykle stanoveny prostorové regulativy omezující zejména výšku stavby a zastavěnou plochu.

### Plochy občanské vybavenosti komerční

Plochy převážně komerční občanské vybavenosti plošně rozsáhlá - administrativní areály,

velkoplošný maloprodaj, rozsáhlá společenská a zábavní centra, výstavní areály, většinou s vysokými nároky na dopravní obsluhu.

### Plochy těžkého průmyslu

Plochy výrobních areálů těžkého průmyslu a energetiky s případným negativním vlivem nad přípustnou mez mimo areál, obvykle je vymezeno ochranné pásmo.

### Plochy lehkého průmyslu a skladování

Plochy výrobních areálů lehkého průmyslu nebo skladové areály bez výrobních činností, negativní vliv nad přípustnou mez nepřekračuje hranice areálu.

### Plochy zemědělské výroby

Plochy pro stavby pro hospodářská zvířata a stavby pro posklizňovou úpravu a skladování produktů rostlinné výroby.

### Třídy

Při výpočtu vybrané kategorie byly stanoveny na základě odlišných vazeb mezi faktory, třídy odpovídají 3 pilířům udržitelného rozvoje: Ekologický, Sociální, Ekonomický. Hodnocení faktorů se provádí pro každou třídu zvlášt a sjednocují se až v další fázi hodnocení – vyhodnocení tzv. „scénáře“ do celkového krajinného potenciálu pro vybranou kategorii.

Graf	Scénář	Ekol	Soc	Ekon	Graf	Scénář	Ekol	Soc	Ekon
	Udržitelný	33%	33%	33%		Priorita ekologického pilíře	60%	20%	20%
	Přijatelný	40%	40%	20%		Priorita sociálního pilíře	20%	60%	20%
	Životaschopný	40%	20%	40%		Priorita ekonomického pilíře	20%	20%	60%
	Spravedlivý	20%	40%	40%		Vlastní	7%	7%	7%

Obr. 2: Ukázka nastavení tříd

### Parametry

Jsou vlastnostmi faktorů. Jsou reprezentovány jevy a jejich ohodnoceními. Pro váhy parametrů bylo zvoleno rozmezí vah 0-10 a stanovili je odborníci metodou subjektivního zhodnocení.

### Faktory

Představují vlastnosti tříd. Faktory lze rozdělit do 3 skupin – pozitivní, negativní a limity. Pozitivní přináší přínos krajinnému potenciálu, negativní naopak krajinný potenciál snižují. Speciální skupinou negativních faktorů jsou limity. Limity využití území jsou závazné podmínky realizovatelnosti záměrů vyplývajících z územního plánování. Určují účel, způsob, ohraničení a podmínky uspořádání a využití území. Stanovují neprekročitelnou hranici nebo rozpětí pro využití a uspořádání území. Jsou pro pořizovatele a projektanty územně plánovací dokumentace závazné a musí je respektovat. Kalibrace vah byla realizována metodou AHP.

## Identifikace optimálních ploch

Druhá část metodiky je určena k identifikaci optimálních ploch vhodných pro zábor, tedy vymezení lokalit určených ke změně využití území. Základní pravidla obecných požadavků na využití území stanovuje vyhláška č. 501/2006 Sb. Rozhodnutí o konkrétním umístění je ponecháno v rukou urbanisty. K tomu mu má dopomoci krajinný potenciál, který předurčuje vhodnost lokalit pro zábor.

### Prostorové jednotky

Výkresy, které jsou součástí grafické části územního plánu, se zpracovávají nad mapovým podkladem v měřítku katastrální mapy. Pro vymezení ploch využití území jsou základním stavebním kamenem parcely katastru nemovitostí. V mnoha případech je tato prostorová jednotka příliš rozsáhlá pro obsazení jednou aktivitou a je zapotřebí ji rozdělit na menší části.

Řešením tohoto problému je ve vymezení menší prostorové jednotky než parcely katastru nemovitostí. Pro tuto potřebu byla stanovena tzv. základní alokační jednotka

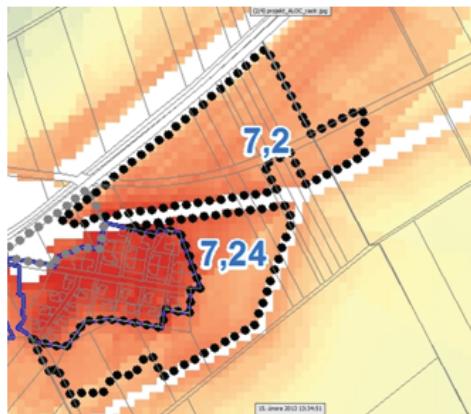
### Alokace

Alokace znamená přiřazení prostorových jednotek dané funkci. Oproti původní metodice se již nezohledňuje tabulka povolených změn využití území. Nemá nyní žádný význam, jelikož

se řeší pouze volný potenciál a v extravilánu udávají možnost změny limity území, konkrétně jejich nastavení v hodnocení krajinného potenciálu. Také se již nepracuje s rozhodovacím pravidlem preference kategorie, každá kategorie se vyhodnocuje zvlášť.

Existují dvě základní podmínky, které alokaci ovlivňují. A sice:

- celková rozloha záboru
- minimální rozloha samostatně alokované plochy
- 



Obr. 3: Ukázka vyhodnocení optimálních ploch

### Extenze

Metodická část byla zpracována do podoby vlastního programového řešení. Byla realizována jako nadstavba GIS softwaru ESRI ArcGIS 10.x. Pro plnou funkcionalitu postačí nejnižší verze licence

ArcView, nicméně je zapotřebí mít společně se softwarem mít nainstalovanou extenzi Spatial Analyst. Extenze vyžaduje mít nainstalován .NET Framework ve verzi 3.5 a vyšší, který je volně stažitelný. Aplikace byla testována na 32 bitovém operačním systému Microsoft Windows 7, předpokládá se ale její plná funkčnost i na starších systémech. Pro správný chod aplikace vyžaduje dostatek místa na disku. Minimální velikost volné paměti je závislá na rozloze zkoumaného území, počtu hodnocených faktorů a nastavení rozlišení rastru. Jako minimum je doporučeno 1 GB paměti RAM a 2 GB volného místa na pevném disku.

Pro sestavení extenze bylo využito programovacího jazyka VB.NET a knihoven ArcObjects. Vývoj nadstavbové aplikace probíhal v prostředí Microsoft Visual Studio 2010 Express Edition. Pro vytvoření registrů, dynamických knihoven, kontroly syntaxe a využití předprogramovaných snippetů byl použit vývojářský nástroj ESRI ArcGIS Desktop Software Development Kit. Extenze je zkompilovaná jako dynamická knihovna DLL (dynamic linking library), kterou používá ArcGIS k načítání potřebných informací k vykonávání procedur. Knihovna obsahuje COM rozhraní pro spolupráci s ArcGIS a je nutné ji zaregistrovat. Tento krok automaticky řeší instalátor vytvořený přímo ve Visual Studiu. Instalační soubor se po spuštění na uživatelském počítači postará o registraci COM rozhraní. Uživateli pak stačí aktivovat extenzi přímo v prostředí ArcGIS.

## Toolbar

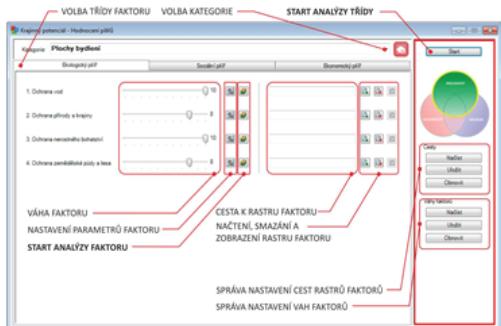
Hlavní komunikační komponentou aplikace je toolbar. Ten je podle funkcionality jednotlivých nástrojů rozdělený na čtyři sekce - komponenty. Analytické úlohy jsou rozděleny do 4 komponent, a sice hodnocení potenciálu, scénář udržitelnosti, základní alokační jednotky a alokaci.



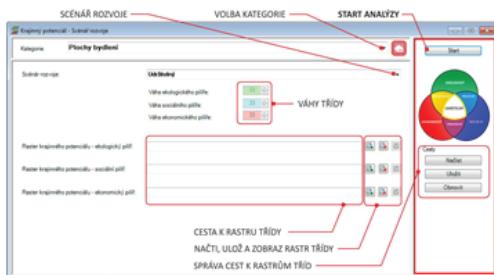
Obr. 4: Toolbar Arc Urban Planner

## Základní nastavení

Základní nastavení slouží k definici základních informací využívaných napříč celou aplikací. Vedle volby řešeného území a adresáře pro výstupy analýz je to volba velikosti pixelu (rozlišení). Platí pravidlo, čím menší velikost pixelu tím exponenciálně časově náročnější výpočet. Ideální rozlišení pro dostatečně přesné výsledky se pohybuje v rozmezí mezi 10 až 20 m. Součástí nastavení je také vymezení územního přesahu analýz. Ty se také odráží v časové náročnosti výpočtu, nicméně doporučuje se zvolit minimálně 2 km přesah, aby nedošlo ke ztrátě informací, které ovlivňují krajinný potenciál i za hranicemi řešeného území.



Obr. 5: Formulář základního nastavení



Obr. 6: Formulář základního nastavení

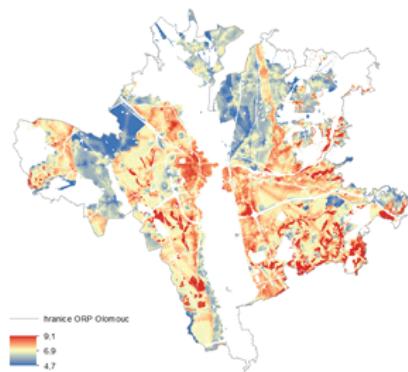
## Výstupy

Extenze vytváří celkem tři typy výstupů:

### Rastr krajinného potenciálu

Pro dostatečnou přesnost bylo zvoleno jako defaultní rozlišení výsledných rastrů 10 metrů. Každý rastr krajinného potenciálu reprezentující

danou kategorii, vznikl kombinací rastrů tříd ve zvoleném scénáři – udržitelný rozvoj, tedy rovnocenné váhy všech tří pilířů.



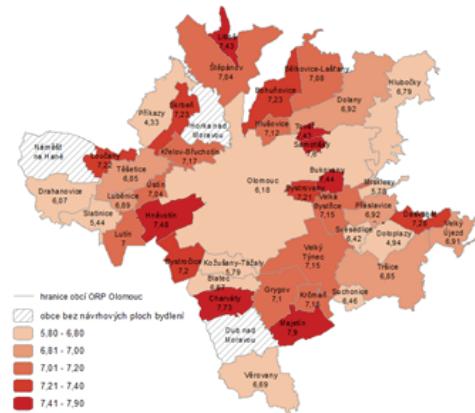
Obr. 7: Výsledný rastr krajinného potenciálu

Pro zhodnocení výstupů bylo provedeno porovnání rozdílnosti rastrů jednotlivých kategorií. Pro tuto potřebu byla vypočítána korelace určující vzájemný vztah mezi dvěma rastry. Hodnota korelačního koeficientu  $-1$  značí zcela nepřímou závislost, hodnota korelačního koeficientu  $+1$  značí zcela přímou závislost. Pokud je korelační koeficient roven  $0$  (nekorelovanost), pak mezi znaky není žádná statisticky zjistitelná lineární závislost. Podrobněji byly výsledky testovány např. Adamcem (2011).

## Hodnocení návrhů územních plánů

### Plochy bydlení:

Druhým výstupem extenze je ohodnocení vhodnosti již navržených ploch územních plánů. Pro celé řešené území je tak možné zhodnotit všechny zastaviteľné plochy odpovídající kategoriím krajinného potenciálu.

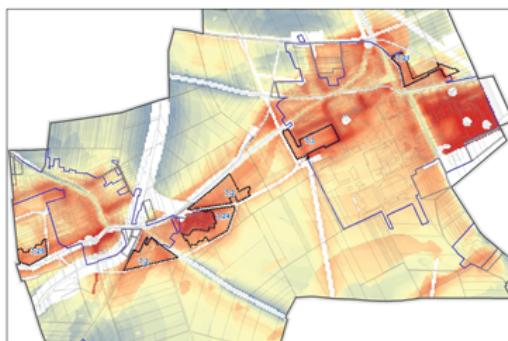


Obr. 8: Hodnocení vhodnosti ploch

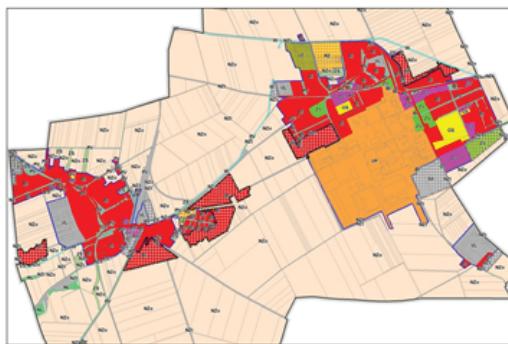
### Návrh rozvojových ploch:

Posledním výstupem extenze jsou návrhy zastaviteľných ploch vypočítané programem a srovnány se současným návrhem územního plánu. Tento postup přináší určité překážky. Pokud stanovujeme nové zastaviteľné plochy, musíme si uvědomit, že po alokaci první plochy ovlivníme krajinný potenciál pro další kategorie.

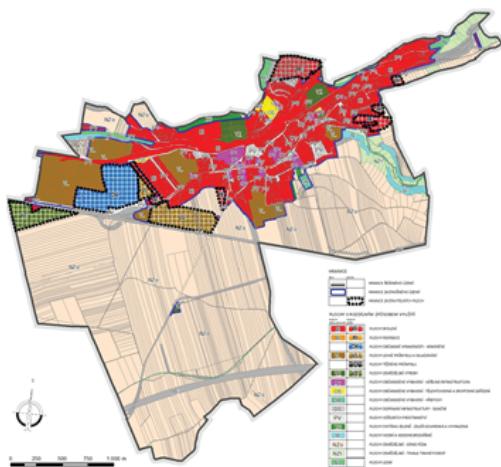
Nelze tedy vypočítat rastry krajinného potenciálu najednou a všechny poté vyhodnotit. Tento proces je zdlouhavý, nicméně nezbytný.



Obr. 9: Potenciál ploch pro bydlení



Obr. 10: Hodnocení vhodnosti ploch



Obr. 11: Návrh rozvojových ploch

ŠŤASTNÝ, S. (2013). Hodnocení optimální využitelnosti území pomocí analytické nadstavby GIS, Rigorózní práce, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.

## References

- ADAMEC, M. (2011). Testování robustnosti extenze Urban Planner pro tvorbu scénářů vývoje olomouckého regionu. Bakalářská práce, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.
- BURIAN, J. (2008). GIS analytical tools for planning and management of urban proceses. Sborník sympozia GIS Ostrava 2008.VŠB-TU Ostrava.
- BURIAN, J. (2012). Implementace geoinformačních technologií do řízení urbanizačních procesů při strategickém plánování rozvoje měst. Disertační práce. Karlova Univerzita, Praha.
- ŠŤASTNÝ, S. (2009). Analytické nadstavby GIS pro územní plánování. Magisterská práce, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.

Jiří Dvorský, Vít Paszto, Lenka Skanderová

## Restrikce měřící škály geodat pomocí genetických algoritmů

Doc. Jiří Dvorský, Ph.D., Univerzita Palackého v Olomouci, jiri.dvorsky@vsb.cz

V současné době existuje mnoho metod pro omezení škály (rozsahu) geodat pro jejich správnou vizualizaci. Náš článek představí metodu založenou na využití genetického algoritmu, který se snaží najít takové rozdělení původních geodat do intervalů, které se z jistého úhlu pohledu jeví jako optimální. Optimálním dělením rozumíme takové dělení, které minimalizuje ztrátu informace při dělení geodat do intervalů. Dále v článku představíme experimentální výsledky a jejich vizualizaci.

### Úvod

Každý výzkum v přírodních vědách obvykle obsahuje měření nějakého jevu. Obzvláště v geovědách existuje mnoho kvantitativních dat, které mají původ v měření, ať už jde například o teplotu vzduchu, množství srážek, vlhkost půdy nebo například intenzita dopravy. Tato primární data jsou pro další zpracování příliš velká nebo jejich přesnost překračuje požadavky další geografické analýzy nebo vizualizace, čímž se jednak zpomaluje proces jejich zpracování a jednak se snižuje naše schopnost porozumět sledovanému jevu. V tomto případě je vhodné redukovat množství dat, a to buď prostředky statistiky, nebo data transformovat do intervalů

hodnot. V dalším zpracování používáme buď přímo takto vzniklé intervaly, nebo pro každý interval zvolíme vhodného reprezentanta, např. v případě vizualizace barvu, a tím umožníme čtenáři mapy daleko větší porozumění zobrazovanému jevu. Transformaci dat do intervalů nazýváme restrikcí škály dat. Nicméně při každé transformaci dat dochází ke ztrátě informace. Otázkou tedy je, kolik informace danou transformací ztratíme? Naším cílem bude pochopitelně zachovat maximální množství informace.

V roce 1948 Claude E. Shannon definoval pojem informační entropie, Shannon (2001, reprint), jako míry informace, jinak řečeno jako množství informace v přenášené zprávě. Za přenášenou zprávu můžeme považovat například data pocházející z měření a samozřejmě také geovizualizaci pomocí mapy. Pro konstrukci map existují v kartografii již dlouho jasná pravidla, jak pracovat s intervaly. Otázkou však je, jestli tato pravidla zachovávají optimální množství informace z primárních dat z měření.

Cílem tohoto článku je tedy využít genetický algoritmus k nalezení takové restrikci škály dat, která by minimalizovala informační ztrátu během

transformace dat. Navrženou metodu budeme testovat na datech popisujících průměrnou teplotu vzduchu v České republice.

## Současný stav řešené problematiky

Restrikce dat z měření na intervalová data je v geovědách poměrně častou úlohou. V pracích Robinson (1995); Kraak & Ormeling (2003); Slocum et al. (2005) můžeme nalézt hned několik metod, jak pro naměřená data vhodně nastavit datové intervaly. Za prvé je jasné, že tyto intervaly musí pokrývat celý rozsah naměřených hodnot. Dále je zřejmé, že musíme najít takové dělení rozsahu dat do intervalů, které bude s těmito daty co nejvíce korespondovat. Geografické informační systémy (GIS) nabízí obvykle několik základních metod. Jako první jmenujme rovnoměrné dělení, kdy jsou data restringována do intervalů stejně délky. Další metodou je dělení na základě kvantilů. Data jsou v tomto případě dělena do intervalů na základě jejich rozdělení četnosti jejich výskytu, což je vhodné zejména pro data s lineární distribucí četnosti. Další metoda využívá pro dělení dat do intervalů střední hodnotu a střední kvadratickou odchytku. Jako poslední jmenujme Jenksou metodu, Jenks (1967), která se snaží dělit data do intervalů tak, aby minimalizovala střední kvadratickou odchytku dat spadajících do určitého intervalu od jeho střední hodnoty, a zároveň se naproti tomu snaží maximalizovat tutéž odchytku od středních hodnot všech ostatních intervalů. Posledně zmínovaný postup zohledňuje charakter geografických dat (resp. jevů) a je jedním z

nejpoužívanějších v geovědních oborech. A samozřejmě je také možné dělení do intervalů provést manuálně.

Nicméně je nutno poznamenat, že výběr metody je vždy věcí kvalifikovaného rozhodnutí a dále, že žádná ze současných metod nebere v úvahu ztrátu informace při restrikci škály dat.

## Genetické algoritmy

Máme-li v praxi řešit problém pomocí matematických metod, obvykle volíme tzv. analytické řešení. Analytické řešení problému spočívá v nalezení řešení rovnice či soustavy rovnic, velice zjednodušeně řečeno v dosazení do vzorce (tu rovnici už někdo sestavil a vyřešil za nás). Existují ale problémy, u kterých není známé analytické řešení problému nebo toto řešení nelze vypočítat v rozumném čase, to jest za časový úsek, kdy nám řešení k něčemu bude. U těchto problémů, ale obvykle umíme naopak lehce ověřit, zda nějaké řešení daného problému, které jsme vygenerovali třeba náhodně, je pro nás vůbec přijatelné a dokonce umíme i říci, jak je toto řešení kvalitní, jinak řečeno mezi různými navrhovanými řešeními vybrat to nejlepší. Problémem tedy zůstává, jak generovat řešení problému. O to se snaží právě genetické algoritmy.

Genetické algoritmy (GA), např. Sivanandam a Deepa (2007), patří do velké rodiny evolučních algoritmů. Konkrétně genetické algoritmy založeny na darwinistických principech –

přirozeném výběru, křížení a mutaci. Na začátku genetického algoritmu je vytvořena nová populace jedinců. Každý jedinec představuje možné řešení našeho problému. Mezi těmito jedinci v průběhu evoluce dochází ke křížení a mutaci. U křížení dva vybraní jedinci předají svou genetickou informaci svému potomkovi, tento potomek ještě podléhá mutaci, tj. dochází zde k jisté malé změně genetické informace. Každý jedinec je ohodnocen tzv. fitness funkcí. Tato funkce pro každého jedince udává jeho zdatnost, čili jak je jím reprezentované řešení kvalitní. Je zřejmé, že výběr rodičovských jedinců pro křížení probíhá na základě jejich zdatnosti a stejně tak i zařazení nově vzniklého jedince do populace probíhá na základě stejného kritéria. Celému procesu můžeme rozumět tak, že se z kvalitních rodičů snažíme vyšlechtit ještě kvalitnější potomstvo. Genetický algoritmus cyklicky vytváří další a další generace dokud nedosáhneme požadovaného počtu generací. Za řešení našeho problému pak považujeme jedince s nejlepší hodnotou fitness funkce.

Genetický algoritmus představuje jakýsi obecný mechanismus, jak hledat kvalitní řešení problému. Pro každý řešený problém je nutné definovat reprezentaci jednice, definovat operace křížení a mutace a definovat fitness funkci. V našem případě je jedinec reprezentován jako posloupnost intervalů, kterými dělíme původní škálu dat. Intervaly jsou dány svými mezemi. Počáteční populace jedinců je generována náhodně. Operátor křížení je definován tak, že pro dva vybrané jedince zvolíme počet intervalů,

které do potomka vložíme z prvního rodiče, zbytek doplníme intervaly z druhého rodiče. Mutace je realizována drobným posunem hranic vybraného intervalu. Fitness funkci definujeme jako rozdíl střední entropie buňky v původním gridu (viz další kapitola) a střední entropie buňky v gridu na nějž byla uplatněna restrikce škály daná zkoumaným jedincem.

## Experimenty

Jako experimentální data jsme v našem článku použili průměrnou roční teplotu vzduchu v České republice za období 1961 až 2001 zaokrouhlenou na celé číslo. Geodata byla tedy představována přirozenými čísly v rozsahu 1 až 10 °C včetně. Experimentální geodata byla ve formátu ESRI gridu o velikosti buňky 100m. Takto vzniklý grid měl 4865 sloupců a 2780 řádků. Tato data jsme pro experiment vybrali vzhledem k jejich jasné interpretaci a vizualizaci na mapě. Experimentální data jsou uvedena v tabulce 1.

teplota [°C]	počet pixelů
1	1968
2	12680
3	50204
4	160566
5	468285
6	1564203

7	3128512
8	2135303
9	382978
10	950

Tab 1: Experimentální data

Výchozí data jsou škálována do celkem N=10 intervalů, kde každý interval reprezentuje jeden teplotní stupeň. Tato data vykazují střední hodnotu entropie  $H_0 = 2,135$  bitů na jednu buňku gridu. Pokles střední hodnoty entropie v důsledku restrikce škály dat, od 2 do 9 intervalů, je uveden v tabulce 2. Z významných parametrů použitého genetického algoritmu uvedeme, že velikost jedince kolísala podle daného N od 2 do 9, počet jedinců v populaci byl nastaven na M=2000 a počet generací byl nastaven na G=1500. Pro menší hodnoty počtu jedinců a počtu generací nedosáhl genetický algoritmus při restrikci na malý počet intervalů uspokojivých výsledků.

N	Nejlepší restrikce	fitness [bity]
2	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] [8, 9, 10]	1,232
3	[1, 2, 3, 4, 5, 6] [7] [8, 9, 10]	0,564
4	[1, 2, 3, 4, 5] [6] [7] [8, 9, 10]	0,309
5	[1, 2, 3, 4, 5] [6] [7] [8] [9, 10]	0,113
6	[1, 2, 3, 4] [5] [6] [7] [8] [9, 10]	0,033

7	[1, 2, 3] [4] [5] [6] [7] [8] [9, 10]	0,009
8	[1, 2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9, 10]	0,002
9	[1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9, 10]	0,001

Tab 2: Nejlepší restrikce škály nalezené pomocí GA pro různé požadované počty intervalů; nejlepší restrikce odpovídá nejlepšímu jedinci v populaci

Navrhovaná metoda restrikce škály byla vizuálně a numericky srovnána s Jenksovou metodou restrikce. Vzhledem k tomu, že data nabývají hodnot od 1 do 10 (stupňů Celsia), můžeme data dělit maximálně do 8 intervalů. Je jasné, že jak se zmenšujícím se počtem intervalů, tak i se zvýšujícím se počtem intervalů klesá počet možných restrikcí. Maximální počet možných restrikcí škály je dosaženo pro 5 intervalů (celkem 126 možností). V experimentech jsme se zaměřili právě na tuto hodnotu a srovnali nejlepší restrikci škály nalezenou pomocí genetického algoritmu a pomocí Jenksovy metody. Z obrázku 1 je dobře patrné, že se výsledky obou metod zásadním způsobem neliší. Restrikce škály nalezená genetickým algoritmem zachovává formálně více informací než Jenksova metoda. Obě metody se liší pouze způsobem dělení dolní části teplotního spektra. Genetický algoritmus zařadil teplotu 5 °C ještě do intervalu nejnižších teplot, zatímco Jenksova metoda teplotu 5 °C sloučuje do jednoho intervalu s teplotou 6 °C. Je tedy zřejmé, že genetický algoritmus považoval informaci v mapě nesenou pixely s teplotou 6 °C již za natolik významnou, že jí vyhradil samostatný interval a

teploty pod tuto mezí za okrajové tj. za ty které je možné sloučit do jednoho intervalu. Stejně se GA zachoval pro nejvyšší dvě teploty, které také sloučil do jednoho intervalu. Tento výsledek je možné interpretovat také tak, že GA preferuje takové restrikce, které zachovávají samostatné intervaly pro nejčastější hodnoty teplot a které nesou nejvíce informace a redukuje extrémní teploty vyskytující se méně často. Naproti tomu Jenksova metoda rozdělila škálu dat rovnoměrněji. Je tedy na tvůrci mapy, zda bude chtít zdůraznit nejčastější položky dat, řekli bychom „střed peletonu“, a potlačit extrémy, nebo zda bude preferovat rovnoměrnější restrikci škály.

## Závěr

V práci jsme ukázali možnost využít genetické algoritmy pro restrikci škály geodat. Byla navržena fitness funkce založená na minimalizaci rozdílu entropie původních dat a dat restringovaných. V závěru příspěvku jsme prezentovali experimentální výsledky a srovnání s klasickými přístupy.

## Zdroje

Jenks, G. F. (1967). The data model concept in statistical mapping. In K. Frenzel, editor, International Yearbook of Cartography. ICA, Rand McNally & Co, USA, 1967, vol. 7, 186 pp.

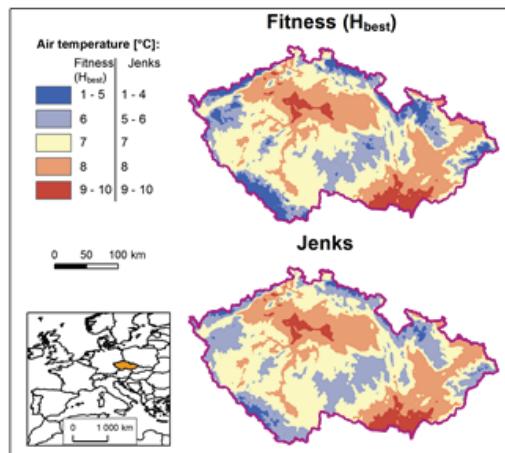
Kraak M., Ormeling. F. (2003). Cartography: Visualization of Geospatial Data. Prentice Hall, 2003. ISBN 9780130888907

Robinson, A. H. (1995). Elements of cartography. Wiley, 1995. ISBN 9780471555797

Shannon, C. E. (2001). A mathematical theory of communication. SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev., 5 (1):3 – 55, Jan. 2001. ISSN 1559-1662.

Sivanandam, S. N., Deepa, S. N. (2007). Introduction to Genetic Algorithms. Springer Publishing Company, Incorporated, 2007. ISBN 354073189X, 9783540731894.

Slocum, T. A., McMaster, R. B., Kessler, F. C., a Howard, H. H. (2005). Thematic Cartography and Geographic Visualization, Second Edition. Prentice Hall, 2005. ISBN 0-13-035123-7.



Obr. 1: Srovnání restrikce škály na 5 intervalů pro nejlepší řešení nalezené GA ( $H_{best}$ ) a pomocí Jenksovy metody

Juraj Furdík

## Urbanisticko krajinárska štúdia Vinice – MČ Bratislava Rača

Ing. arch. Juraj Furdík, CSc., Fakulta architektúry Slovenskej technickej univerzity v Bratislave,  
furdik@fa.stuba.sk

### **Abstrakt**

Záujem o rozvoj urbánnej štruktúry Bratislavu v bezprostrednom kontakte na intravilán mesta vytvára tlak na záber poľnohospodárskej pôdy – historických vinohradov, ktoré z väčšej časti poľnohospodárska veľkovýroba už opustila, a opustené vinohrady sú dlhodobo neudržiavané. V snahe riešiť tento problém objednala Mestská časť Bratislava Rača spracovanie Urbanisticko krajinárskej štúdie Vinice MČ Bratislava Rača, ktorej cieľom je otvoriť širšiu diskusiu nad týmto problémom, začať dôslednejšie analyzovať prírodné a civilizačné vplyvy aj pomocou GIS analýz v tomto území a naznačiť možné riešenia či už formou revitalizácie najhodnotnejších území vinohradov z hľadiska terroir alebo zmenou funkčného využitia cez zariadenia malovýroby a občianskej vybavenosti viažúcej sa na vinohradnícku produkciu až po kvalitné bývanie.

Jiří Hiess

# Konceptualizace specializované edukace graduovaných uživatelů geo-informací v celoživotním vzdělávání se zřetelem na prostorové pláno-

RNDr. Jiří Hiess, Univerzita Palackého v Olomouci, hiess2@centrum.cz

## Abstrakt

IDvě desetiletí postupné výstavby moderní geoinformační infrastruktury ve střední Evropě přinesly nebyvalé možnosti pro praktikující prostorové plánování, v Česku označovaném v užším pojetí pojmem územní plánování. Geoinformační technologie samy o sobě představují pro tento aplikovaný obor pouze donedávna nedosažitelný potenciál. Praxe ukazuje, že plnému využití GIS s SDI brání omezené speciální znalosti cílových skupin uživatelů. Jde o 1) projektanty, tvůrce originální plánovací informace, 2) o politické a řídící pracovníky s kompetencí rozhodovat, 3) o technický a operativní personál firem a úřadů veřejné správy, 4) sem řadíme i koncové uživatele, vesměs podceňované plánovací laiky. Monotematicky zdělaní geoinformatikové se domnívají, že kompetence a znalosti těchto cílových skupin mají kopírovat jejich sylaby a kurikula, že architekti, úředníci, politikové, podnikatelé či občané mají získat znalosti víceméně shodné s profilem geoinformatika. Zkušenost prověřená národními a globálními poskytovateli geoinformací a geoinformačních služeb ukazuje, že efektivního užití vybudované

SDI a kvalifikovaní poptávky po výkonech naší profese dosáhneme spíše a) zjednodušením a maximálním přizpůsobením uživatelského interface (rozhraní), b) permanentní kultivací odborných výrazových prostředků a zlepšením kultury mezioborové komunikace, c) cílevedomou přípravou koordinátorů a d) namíru šitým celoživotním vzděláváním odborných uživatelů. Další rozvoj SDI ve střední Evropě podmiňuje zavedení vzdělávací povinnosti a možností, plus certifikace v duchu národní a evropské politiky kompetenčních rámčů a řízení kvality lidských zdrojů pro společný trh a konkurenčeschopnosti. Zobecňujeme šest let zkušeností lektorů České asociace pro geoinformace s akreditovaným vzděláváním plánovačů paralelně s uplatňováním unijní direktivy INSPIRE a navrhujeme cíle a koncept, jak postupně rozvinout a řídit soustavu oborového vzdělávání aplikované geoinformatiky, jak motivovat a kooperovat nabídku příležitostí, jak měřit a vyhodnocovat efektivitu a dosažené výsledky.

Jakub Miřijovský

## Hodnocení přesnosti výstupů z UAV fotogrammetrie

RNDr. Jakub Miřijovský, Ph.D., Univerzita Palackého v Olomouci, jakub.mirijovsky@upol.cz

UAV fotogrammetrie může být velmi přesným nástrojem pro získávání primárních geodat. Pro zajištění nejvyšší možné přesnosti je třeba dodržovat základní pravidla při snímkování, rozmístování a zaměřování vlícovacích bodů. Předkládaný článek se zabývá vlivem rozmístění a počtu vlícovacích bodů na výslednou přesnost výstupu. Dále dokumentuje a porovnává rozdílnou přesnost v použití fotogrammetrických metod. Diskutována je metoda stereofotogrammetrie a Structure from Motion (SfM). V závěru článku je výstup z UAV fotogrammetrie podroben srovnání s výstupy z leteckého laserového skenování.

### Vlícovací body

Rozmístění a počet vlícovacích bodů měl zásadní vliv na výsledek a přesnost AAT. Jak uvádí Pavelka (2003), při konvenčním leteckém snímkování se v praxi používá 4–5 symetricky rozmístěných bodů. Teoretické minimum pro výpočet správného řešení jsou u digitální fotogrammetrie tři plné body. V praxi se však doporučuje použít větší počet bodů, které poté umožní nejen určení prvků vnější orientace, ale také např. zpřesnění radiální distorze objektivu. Pro pokročilé fotogrammetrické analýzy bylo tedy vhodné použít větší počet vlícovacích bodů. Přebytečné z nich mohly být použity jako

tzv. check points neboli kontrolní body, pomocí kterých byla ověřena reálná přesnost výsledného fotogrammetrického řešení.

Z praxe vyplývá, že jako dostatečný počet pro UAV fotogrammetrii se jeví 10 až 15 vlícovacích bodů, které jsou rozmístěny na daném území. Jaký je ale vhodný způsob rozmístění bodů?

Dle obecně známých pravidel pro fotogrammetrii musí být body rozmístěny rovnoměrně po celé ploše snímku. Je ale mnoho způsobů, jak body rozmístit. Z teorie statistických odhadů a řešitelnosti lineárních rovnic plyne, že v případě lineární závislosti mezi body se zvyšuje chybovost modelu. Jinými slovy se snižuje přesnost výsledného řešení. Přidáním rovnic pro třetí bod, který leží na přímce spojující dva jiné body, nedojde k nárůstu hodnosti matice, a proto tento bod nezvýší řešitelnost soustavy rovnic Anděl (2007). Jinými slovy se tímto postupem nesníží počet stupňů volnosti. Vysvětlení lze nalézt v následujícím příkladě. Pokud bylo nutné vyřešit šest neznámých, pak bylo k úspěšnému vyřešení potřeba šest (lineárně nezávislých) rovnic, aby se celá soustava dala správně vyřešit. Pokud se tedy vzaly dva body, u kterých byly určeny souřadnice X a Y, pak tyto body poskytly čtyři rovnice (dvě za X a dvě za Y). Jestliže se

přidal třetí bod, který však byl lineární kombinací dvou předchozích (leží na přímce spojující tyto body), pak i odpovídající dvojice rovnic byla stále lineární kombinací předchozích rovnic. Hodnota soustavy rovnic (resp. odpovídající matice) se nezvýšila, zůstala rovna čtyřem, a soustava jako celek byla neřešitelná (resp. měla nekonečně řešení). Pokud však byl třetí bod lineárně nezávislý s předchozími (neleží na přímce spojující tyto body), hodnota matice narostla na 6 a soustava měla právě jedno řešení. Konkrétní řešení popisuje Frobeniova věta například v Anděl (2007).

V konkrétním případě, který byl aplikován na rozmístění vlícovacích bodů v terénu, lineární závislost znamená, že body nesmí ležet na přímách. Teoreticky maximální přesnosti lze dosáhnout tehdy, když žádné tři body nebudou ležet na přímce.

Ve studii byl také zkoumán vliv počtu vlícovacích bodů na přesnost výsledků. Bodů pro zajištění přesných výsledků v UAV fotogrammetrii je deset. Zpracování je možné i s menším počtem bodů, ale výsledná přesnost se snižuje, jak ukazuje tabulka č. 1. V tabulce jsou uvedeny parametry letu a vypočítané RMSEZ chyby z vybraných případových studií. Z tabulky je patrná značná závislost mezi počtem vlícovacích bodů a přesností výstupu. Přesnost výsledků logicky ovlivňuje i výška letu. Proto jsou výsledky v tabulce barevně odlišeny podle výšky letu do dvou skupin.

Výška letu (m) / GSD (cm)	Počet vlícovacích bodů	RMSEZ (m)
138 / 2,9	9	0,250
106 / 2,3	17	0,093
97 / 2,1	17	0,085
106 / 2,5	27	0,024
65 / 1,6	6	0,034
54 / 1,2	28	0,022
62 / 1,4	28	0,016

Tab 1: Vliv počtu vlícovacích bodů na přesnost AAT.

#### Přesnost ortogonalizovaných snímků

Jedním z hlavních cílů tvorby 3D modelů terénu nebo povrchu bylo jejich následné použití k ortogonalizaci leteckých snímků. Tím se odstraní zkreslení způsobené nestejnou výškou terénu a centrální projekcí. V této kapitole je provedena analýza přesnosti souřadnic X a Y u ortogonalizovaných snímků pomocí dvou digitálních modelů povrchu. Prvním výstupem je ortogonalizovaný snímek z programu LPS, který byl vytvořen pomocí 3D modelu povrchu z téhož programu. Druhým výstupem je zpracovaný ortogonalizovaný snímek z programu Agisoft PhotoScan, který byl zpracován 3D modelem vytvořeným ve stejnojmenném programu. Oba ortogonalizované snímky byly převzorkovány metodou nejbližšího souseda na hodnotu prostorové rozlišovací schopnosti 1 cm. Porovnání proběhlo nad jednoznačně identifikovatelnými body v terénu a opět byly vypočítány statistické parametry: aritmetický

průměr chyby, směrodatná odchylka chyby a střední souřadnicová chyba X a Y. Ortogonalizovaný snímek vytvořený metodou SfM obsahoval 28 bodů, které vstoupily do hodnocení přesnosti. U výsledného snímku ze stereofotogrammetrie to bylo o tři body méně z důvodu menšího 3D modelu povrchu, a tedy nemožnosti vygenerovat ortogonalizovaný snímek v celé ploše. Výsledky jsou uvedeny v tabulkách 2 a 3.

	Průměrná chyba (m)	Směrodatná odchylka (m)	RMSEX (m)
Stereofotogrammetrie	-0,0135	0,0201	0,0242
SfM	-0,0037	0,0228	0,0231

*Tab 2: Statistické porovnání přesnosti ortogonalizovaných snímků pro souřadnici X.*

	Střední chyba (m)	Směrodatná odchylka (m)	RMSEX (m)
Stereofotogrammetrie	0,0366	0,0207	0,0421
SfM	6,964E-05	0,0329	0,0329

*Tab 3: Statistické porovnání přesnosti ortogonalizovaných snímků pro souřadnici Y.*

Při podrobném zkoumání statistických výpočtů bylo sice možné nalézt rozdíly v jednotlivých metodách jak pro souřadnici X, tak i pro souřadnici Y, nicméně rozdíly byly nepatrné a nebylo možné jim přisuzovat příliš velkou

váhu. Největší rozdíl mezi metodami nastal v případě použití aritmetického průměru, který mohl být do jisté míry zavádějící, protože se v souboru nachází jak záporné, tak i kladné hodnoty. Pro kontrolu byl spočítán pro obě metody aritmetický průměr z absolutních hodnot statistického souboru a pak byly průměrné hodnoty chyby velmi podobné. Z výše uvedeného vyplývá, že i když byl digitální model povrchu vytvořený metodou SfM jednoznačně přesnější, na přesnost ortogonalizace snímku to v tomto případě nemělo významný vliv. Pak bylo možné volit metodu podle jiných kritérií. Například podle náročnosti zpracování nebo podle vizuálního hodnocení.

Právě vizuální hodnocení digitálního modelu povrchu a ortogonalizovaného snímku nemohlo být opomenuto. Přestože z hlediska přesnosti dosahovaly oba dva ortogonalizované snímky podobných výsledků, jak dokazuje obrázek 1, snímek, který byl ortogonalizován digitálním modelem povrchu ze stereofotogrammetrie, je z vizuálního hlediska chybný. Na obrázku je zobrazen výřez snímku, který byl zpracován oběma metodami, a na snímku jsou zobrazeny geodeticky zaměřené body. Zatímco geodeticky zaměřené body jsou na obou snímcích umístěny správně, pravý snímek, který je vytvořen na základě DMP ze stereofotogrammetrie, je z vizuálního hlediska chybný. Chyby ve snímku jsou způsobeny lokálními nepřesnostmi v digitálním modelu povrchu, které se poté projeví i na ortogonalizovaném snímku. Jediným řešením v tomto případě byla manuální úprava digitálního

modelu povrchu před tím, než se provedla ortogonalizace.



Obr. 1: Vizuální rozdíl vybraného detailu v ortogonalizovaných snímcích z metody SfM (nahoře) a stereofotogrammetrie (dole).

## Porovnání s LSS

I v případě vzájemného porovnání 3D modelů vytvořených metodami UAV fotogrammetrie s body laserového skenování byly využity standardní statistické nástroje. Těmi byly průměrná chyba, směrodatná odchylka a střední souřadnicová chyba souřadnice Z. Z dat

laserového skenování vstoupilo do hodnocení celkem 1 364 bodů pro model vytvořený metodou SfM a 1 306 bodů pro model ze stereofotogrammetrie. Před výpočtem byla ověřena absolutní přesnost bodů z laserového skenování podle geodeticky zaměřených bodů. Po vyloučení extrémních hodnot bylo zjištěno, že rozdíl se pohyboval do 5 cm, což může být přisuzováno částečně jak chybě geodetického měření, tak i chybě laserového skenování. Výsledky porovnání dat laserového skenování a modelů z UAV fotogrammetrie jsou zobrazeny v tabulce 4.

	Střední chyba (m)	Směrodatná odchylka (m)	RMSEX (m)
Stereofotogrammetrie	-0,0731	0,1280	0,1474
SfM	-0,0167	0,0499	0,0526

Tab 4: Statistické porovnání přesnosti ortogonalizovaných snímků pro souřadnice Y.

Z tabulky je patrné, že stejně jako v případě porovnání 3D modelů povrchu s geodetickým měřením, i zde byl lépe hodnocen model vytvořený metodou SfM. Střední kvadratická chyba souřadnice Z je téměř třikrát nižší než v případě modelu ze stereofotogrammetrie. Záporná hodnota střední chyby znamená, že stereofotogrammetrická metoda model nadhodnocuje. Od originálního bodu s nižší nadmořskou výškou byla odečtena vyšší

nadmořská výška z 3D modelu. Výsledek je pak záporný a nadmořské výšky bodů jsou vyšší než ve skutečnosti. Tento efekt mohla v menší míře způsobit nízká vegetace, která se na některých částech snímků vyskytovala.

## Závěr

Na přesnost výstupů z UAV fotogrammetrie má nezanedbatelný vliv mnoho faktorů. Jeden ze stěžejních vlivů je rozmístění, počet a přesnost zaměření vlícovacích bodů ve snímaném území. Také metoda zpracování dat je podstatná. Pro UAV fotogrammetrii, ve které nejsou používány profesionální fotogrammetrické komory, je důležité použít metody zpracování, které umožňují zpracovávat více snímků v jednom kroku.

## Zdroje

- ANDĚL, J. (1998). Statistické metody. Matfyzpress, 300 s. ISBN 8085863278.  
PAVELKA, K. (2003). Fotogrammetrie 20, 2.přeprac.vyd. Praha: FSv ČVUT, 193 s.

Vít Pászto

## Chaotický fraktál nebo fraktální chaos...? Aplikace v geovědách

Mgr. Vít Pászto, Univerzita Palackého v Olomouci, vit.paszto@gmail.com

Cílem příspěvku je představit základní pojmy z teorie chaosu a z ní vycházející fraktální geometrie. V příspěvku je uvedeno mnoho citací zahraničních i českých autorů, aby si čtenář mohl v případě zájmu zjistit více informací o této vědní disciplíně. Na čtyřech příkladech ve třech případových studiích provedených na Katedře geoinformatiky v Olomouci pod vedením autora toho příspěvku je demonstrováno použití výpočtu fraktální dimenze jak u jevů či objektů z fyzické geografie, tak i z geografie socioekonomické. V některých případech jsou použity i nástroje statistiky (v poslední případové studii shluková analýza) a všechny výsledky jsou vizualizovány prostřednictvím map a obrázků. U případových studií je samozřejmě provedena interpretace výsledků. Tento příspěvek má za cíl tedy srozumitelně předat principy výpočtu fraktální dimenze s aplikací do geovědních oborů a vzbudit tak zájem čtenáře o tuto relativně mladou problematiku.

### Úvod

Již na konci 19. století vzrůstal v matematice zájem o soběpodobné objekty, které využívaly ke své konstrukci rekurzivních a iteračních vztahů a funkcí. V té době vznikaly útvary jako je Kantorova množina (1872), Peanova křivka (1890),

Hilbertova křivka (1891), Kochova vločka (1904), Sierpinského trojúhelník (1916) a další (Peitgen a kol., 1993). Co však zapříčinilo velký rozruch, byla spojitá funkce, která nemá v žádném bodě derivaci – tzv. Weierstrassova kontinuální křivka z roku 1895 (Hastings a Sugihara, 1994, Zelinka, 2005). Ta vzbudila takové reakce, že byla nazvána „politování hodně zlo“. Tehdy si výše uvedení matematici neuvědomili, že položili základy nového vnímání či nové geometrie přírody. Jimi vytvořené útvary se tehdy považovaly za mimořádné, za negativní příklady a v podstatě za anomálie. Dostaly tak název „matematická monstra“ (Peitgen a kol., 1992 a 1993, Hastings a Sugihara, 1994, Zelinka, 2005).

Později, až v 80. letech 20. století, se těmito objekty začal zabývat Benoit Mandelbrot, který demonstroval, že tyto rané matematické fraktály mají ve skutečnosti mnoho společného s tvary, které lze běžně v přírodě najít. Jeho publikace z roku 1982 *The Fractal Geometry of Nature* obrátila vzhůru nohama význam těchto objektů. Mandelbrot poprvé použil slovo „fraktál“ v roce 1975 a společně s touto publikací to znamenalo vznik fraktální geometrie.

Společně s rychlým rozvojem informatiky a následně geověd, a tedy i geoinformatiky,

posledních let reprezentuje fraktální geometrie velice silný nástroj pro nejrůznější geografické analýzy a studie. A nejen pro ně – nejrozšířenější použití fraktálů a teorie chaosu je v hlavně v ekonomice a evoluční biologii. Pokud živá společenstva jsou určitým způsobem podmíněna prostorem a krajinou, ve které žijí, pak má rozhodně smysl zkoumat i ono prostředí.

V krajinné ekologii je velmi častým pojmem tzv. krajinná matrix (Forman, 1995) – mozaika jednotlivých bodových, liniových a plošných prvků krajiny. Společně s lidským působením a přetvářením do podoby kulturní krajiny je tak povrch Země tvořen nejrůznějšími plochami se svým funkčním využitím (land-use). A právě vzor (pattern) land-use krajiny představuje typickou fraktální strukturu. Zjišťování její fraktální dimenze může přinést nový pohled na souvislosti procesů a jevů v geografickém prostoru.

## **Fraktální geometrie a teorie chaosu**

Jelikož fraktální geometrie úzce souvisí s teorií chaosu, tak zde bude zmíněno několik jejích základních pojmu a konceptů.

### **Teorie chaosu**

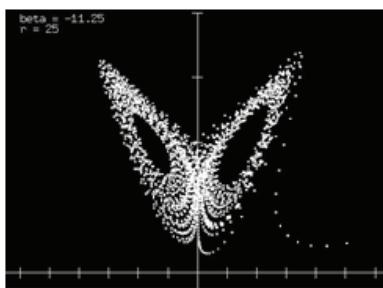
Pro mnoho vědců se stala teorie chaosu jedním z největších úspěchů v přírodních vědách v minulém století. Společně s fraktály se dostává do popředí zájmu po 2. světové válce, kdy začal rozvoj elektronických počítačů. A v podstatě shodou několika okolností přišli vědci na to, že

chování, modelování a předpovídání jevů (např. v případě počasí), je vysoce citlivé na vstupní podmínky. Teorie chaosu tak slouží pro studium otevřených komplexních (složitých) nelineárních dynamických systémů. Komplexnost zde již není chápána jen jako výsledek komplikovaných protkaných procesů (Peitgen a kol., 1993), ale díky aparátu teorie chaosu a fraktální geometrie mohou tyto procesy být velice prosté. Nicméně tento předpoklad jednoduchosti procesů by neměl vést k nabytí dojmu snadného pochopení jejich následků (a celé teorie chaosu).

Výraz chaos se zde nespojuje s jeho hovorovým významem, označujícím nahodilý nepořádek (stochastiku), nýbrž takzvaným deterministickým chaosem. Události v takových systémech jsou sice nepředvídatelné, ale dají se popsat nelineárními rovnicemi a pomocí grafických znázornění rozeznat jako vzorce uspořádání. Nejdůležitějším principem je senzitivní závislost na počátečních podmínkách, neboť ty nejmenší vlivy mohou mít prostřednictvím opakovaných (iterativních) zpětných vazeb (rekurzivita) velké následky.

Tento „motýlí efekt“ („butterfly effect“) – ilustrovaný větou, že „mávnutí motýlho křídla na jednom místě může vyvolat změnu počasí na místě jiném“ – formuloval jako první E. Lorenz na základě modelu počasí. Při grafickém znázornění vývoje jeho stavu ve fázovém prostoru vyšel uspořádaný vzorec, takzvaný Lorenzův atraktor (Obr. 1). Takovéto chaotické atraktory (atraktor – označení pro konečný stav dynamického systému

v průběhu evolučního procesu) jsou na základě svých dimenzí vyjádřených zlomkovými čísly označovány jako fraktální. Fraktály jsou často tvořeny opakováním téže figury v nejrůznějších měřítcích (soběpodobnost, stupnicová invariance) – jako např. Mandelbrotovy množiny, Kochovy vložky, aj. Přechody od uspořádanosti k chaosu a zpět tak lze znázornit jako matematicky definovatelný útvar. Jednotlivé atraktory se dělí podle jejich charakteru, a to na bodové (např. hvězdy), liniové/cyklické (např. kruh, Lorenzův atraktor, aj.) a na podivné či nekonečné – fraktály.



Obr. 1: Ukázka různé podoby Lorenzova atraktoru, jež se podobá motýlim křídlym (<http://physics.ucsc.edu/~drip/images/lorenz1.jpg>).

## Fraktální geometrie

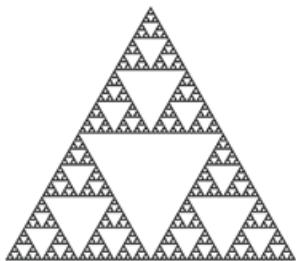
Klasická euklidovská geometrie se vryla do myslí a způsobu uvažování lidí díky své relativní jednoduchosti a použití v matematice a dalších vědách (včetně umění). Motivování základní touhou nalézat jednoduchost a řád v přírodě používají lidé euklidovských principů pro

popisování struktur přírodních forem, které jsou ve své podstatě komplexní a nepravidelné, pomocí různých euklidovských approximací tvarů. A přitom – těžko je planeta hladkou koulí či elipsoidem, hory nejsou kužely, listy jilmu nejsou elipsy a blesk se jen těžko šíří po přímce. Jinými slovy, lidé se snaží dosáhnout jednoduchosti ve znázornění přírodních úkazů bez povšimnutí komplexnosti a unikátnosti přírodních forem a určují jejich podstatu pomocí skupiny tvarů, které lze sestrojit pravítkem, úhloměrem či křívkem.

Ať už je ve své podstatě příroda komplexní (náhodná a nepravidelná), anebo je ve své podstatě jednoduchá (euklidovská a uspořádaná), tak je toto dělení v určitém smyslu uměle dvojznačné (Hastings a Sugihara, 1994). Oba přístupy totiž zachycují podstatnou část přírodních jevů a procesů. Jak je uvedeno v (Hastings a Sugihara, 1994), tak fraktály mohou být jakýmsi mostem mezi těmito dvěma přístupy. Navíc sám Mandelbrot (1989) uvádí, že fraktály poskytují nový pracovní prostor mezi přísným euklidovským geometrickým řádem a geometrickým chaosem fragmentace a „hrubostí“.

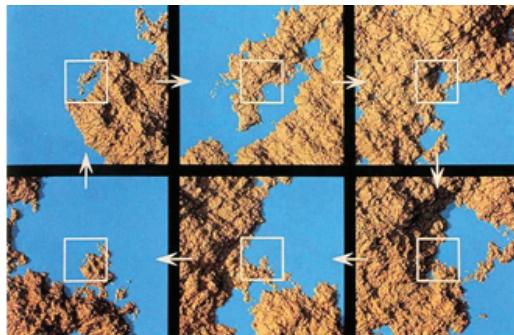
Klíčovou vlastností fraktální geometrie je tzv. soběpodobnost. Soběpodobnost znamená, že daný objekt může být rozložen na malé kopie sebe sama. A tak soběpodobnost je vlastnost, při které je struktura popisovaného objektu jako celku obsažena v jeho jednotlivých částech (Peitgen a kol. 1993). To vše jinými slovy znamená, že pokud je zvětšena libovolná část

toho fraktálního objektu, tak se tento výřez bude podobat původnímu objektu, resp. objektu v původním, iniciačním měřítku (Obr. 2).



Obr. 2: Sierpinského trojúhelník  
(<http://eldar.mathstat.uoguelph.ca/dashlock/ftax/GSF.html>).

Podle článků v (Peitgen a kol., 1992 a 1993, Hastings a Sugihara, 1994, Zelinka, 2005) lze takto matematicky postupovat ve zvětšování v podstatě donekonečna. Jak je z obrázku 3 vidět, nelze rozeznat původní měřítko, protože se k němu vždy dojde v jiném kroku. Tomuto principu se říká anglicky scale-invariance, neboli invariantnost měřítka (nezávislost měřítka či zvětšení). Avšak v reálném světě v dalších krocích postupně není už co zvětšovat, protože zde existují fyzikální hranice (např. cevní systém člověka, kořenový systém stromů, aj.). V reálném světě jsou tak stupně přibližování omezené. V matematickém ne, pokud zde není hranice vytvořena uměle.

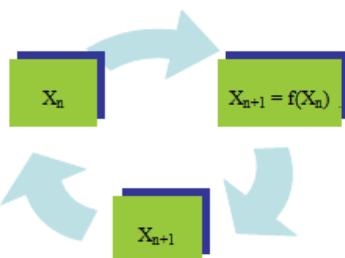


Obr. 3: Ukázka fraktálního pobřeží, které se opakuje po šesti zvětšeních. Zde je jasné demonstrován příklad invariantnosti měřítka (scale-invariance) (Peitgen a kol., 1993).

Princip soběpodobnosti je však dodržen pouze u čistě matematických fraktálů, tzn. fraktálů, které v praxi mají menší význam. Daleko širší použití je u fraktálů soběpříbuzných (soběaffinních, anglicky self-affine). To jsou objekty, jejichž charakteristickým znakem je to, že jakýkoliv výsledek je „pouze“ podobnou kopíí původního tělesa. Konstrukce takovýchto fraktálů se pak uskutečňuje pomocí affinních transformací, které transformují počáteční objekt pomocí operací jako je rotace, posuv a zmenšování. Výsledné fraktály věrněji popisují reálné objekty kolem nás (oblaka, lesy, listy, land-use, klasifikované letecké snímky, horské masivy, apod.).

Samotné fraktální struktury ve své komplexní podobě pak vznikají opakováním (iterací) nejrůznějších transformací, tedy i affinich. A právě na matematickém předpisu těchto

transformací závisí podoba a charakter fraktálu. Jak uvádí Zelinka (2005), tak pokud budou všechny transformace použity rovnoměrně, pak se získá soběpodobný fraktál. Pokud do jejich použití zasáhne další faktor (např. uživatelsky nastavená pravděpodobnost pro každou transformaci), pak je výsledný fraktál soběpříbuzný. Algoritmus, který je použit pro affiní transformace se nazývá iterační funkční systém (ISF). Schéma iteračního procesu je znázorněno na obrázku 4.



Obr. 4: Diagram iteračního procesu, ve kterém výsledek jedné iterace je vstupem do iterace další (upraveno podle Kaandropa, 1994, Peitgen a kol., 1992 a 1993).

Téměř vždy je vhodné znát tento iterační aparát, k čemuž slouží charakteristiky jako mocninový zákon (anglicky power law) a související fraktální dimenze. Mocninový zákon udává vztah mezi dvěma kvantitami. To znamená, že pokud počet nebo četnost objektů či událostí se mění podle hodnoty určitého atributu objektu (např. jeho velikosti), tak sedáří, že sleduje jakýsi mocninový zákon. Ten je zpravidla charakterizován krajně asymetrickým statistickým rozdělením s

výraznou jednostrannou šíkmostí, tzn. mnoho měření s nízkými hodnotami a málo s hodnotami vysokými (Obr. 5) (Novotný, 2010).

A právě struktury (jak přírodní tak i člověkem vytvořené) s tímto statistickým rozdělením jsou v reálném světě velmi četné. Jako příklad lze uvést sídelní strukturu, četnost zemětřesení, výskyt válečných konfliktů, apod. Demonstrovat to lze na příkladu sídelní struktury – je mnoho malých sídel, ale pouze několik málo velkých sídel obsáhnou velkou část populace. Mocninový zákon (jak už název napovídá) souvisí mocninným exponentem, který určuje jeho podobu. Někdy je mocninný exponent ztotožňován s fraktální dimenzí. Avšak ta se musí z mocninného exponentu odvodit a vypočítat.



Obr. 5: Ukázka grafu mocninového zákona. Vlevo vysoké hodnoty odpovídají pouze nízkému počtu objektů ([http://en.wikipedia.org/wiki/File:Long\\_tail.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Long_tail.svg)).

Jednou z nejběžnějších metod získání fraktální dimenze je znázornění závislosti zkoumaných veličin (objektů, jevů či událostí) v logaritmických souřadnicích, neboli pomocí log-log grafu (Peitgen a kol., 1992 a 1993, Zelinka,

2005). Jak uvádí Zelinka (2005), tak pokud v logaritmických souřadnicích vyjde lineární závislost porovnávaných veličin, pak lze říci, že daný objekt má fraktální dimenzi. Jak autor dále zmíňuje (a jak uvádí i Peitgen a kol., 1992 a 1993), tak v podstatě každá dimenze je fraktální, protože i klasická celočíselná dimenze (1D, 2D, 3D) je v podstatě pouze limitní případ fraktální dimenze. Samotný výpočet dimenze z log-log grafu spočívá v určení směrnice přímky lineární regrese (anglicky slope). Podle odvození rovnice mocninových zákonů v (Hastings a Sugihara, 1994, Kaandrop, 1994, Peitgen a kol., 1992 a 1993, či Zelinka, 2005) lze určit fraktální dimenzi ze vztahu:

$$D_s = d + 1 \quad [1]$$

kde  $D_s$  je fraktální dimenze příslušného objektu a  $d$  je směrnice regresní přímky. Jak uvádí Zelinka (2005), tak mocninový zákon vyjadřuje, jak závisí získaná informace na zvoleném měřítku.

Na místě je nyní stručně uvést rozdíl mezi klasickou euklidovskou dimenzí a dimenzí fraktální. Jak již bylo zmíněno, tak klasický euklidovská geometrie popisuje objekty pomocí geometricky hladkých útvarů (přímka, čtverec, kruh, koule, aj.), jejichž dimenze je všeobecně známá a celočíselná, což odpovídá počtu parametrů nutných k určení polohy v daném útvaru (tedy 1D, 2D, 3D). Například objekt definován pouze svou délkou má dimenzi 1, u plošných objektů je dimenze rovna 2, u trojrozměrných objektů je dimenze 3. Jenže v reálném světě se jen zřídka vyskytuje

takovéto pravidelné objekty a je nutné hledat struktury, které je popisují věrohodněji. A těmi jsou fraktály, které však narozdíl od geometricky hladkých útvarů mají dimenzi neceločíselnou. Nejlépe to vystihuje příklad měření délky pobřeží. Tato slavná studie byla diskutována Mandelbrotom (1967), kdy na příkladu pobřeží Velké Británie byl demonstrován princip fraktální dimenze a měřítková invariance (Obr. 7). Vše spočívá v měření délky pobřeží v různých měřítcích. Pokud je pobřeží měřeno na mapě ve školním atlase pravítkem, tak výsledná délka pobřeží bude menší než stejně měření na velkoformátové mapě. A to z důvodu lepšího zachycení detailů pobřeží na větší mapě (kartografická generalizace ted' není brána v úvahu). Pokud takto budeme měřit délku pobřeží v podrobnějším měřítku se zachycením vyššího množství detailů, tak bude délka pobřeží růst. A tento růst je podmíněn dalším mocninovým zákonem:

$$\log(u) = d \log(1/s) + b \quad [2]$$

kde  $u$  je v případě měření délky pobřeží naměřená délka,  $s$  je velikost měřítka v km a parametr  $d$  je směrnice přímky (slope). Vztah [2] v podstatě znamená, že čím větší měřítko (a tím pádem menší, ale přesnější kroky měření), tím větší výsledná délka pobřeží. Teoreticky lze takto postupovat donekonečna, takže by pobřeží Velké Británie bylo nekonečně dlouhé. Může využít otázka: Jaktože ostrov s konečnou plochou má nekonečnou délku svého ohraničení – pobřeží? Odpověď je jednoduchá. Vysvětluje

to lépe představitelný příklad spirály. Ta zaujímá také konečnou plochu, avšak samotná linie spirály opět míří donekonečna do svého středu (při trvalém přibližování, resp. změně měřítka). Obecně jsou mocninové zákony ve tvaru:

$$y = ax^b \quad [3]$$

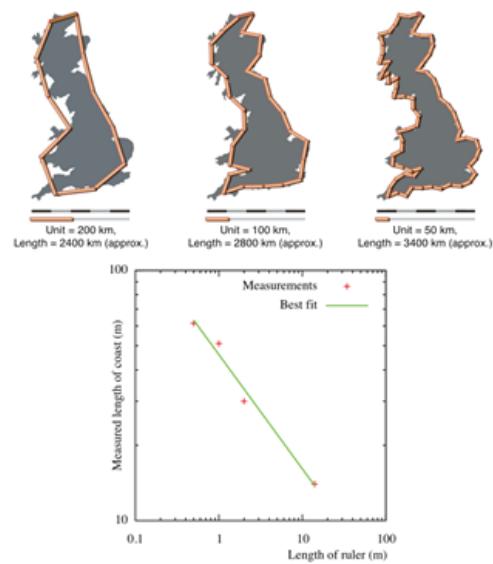
kde  $y$  je závislá proměnná,  $x$  je nezávislá proměnná,  $a$  je konstanta a  $b$  je mocninný exponent, který určuje „sílu“ mocninového zákona. Jednoduše si lze mocninový zákon představit i v euklidovské geometrii – jako např. při rovnici obsahu čtverce ( $A = s^2$ ) či objemu krychle ( $V = s^3$ ) s mocninným exponentem 2 pro čtverec, resp. 3 pro krychli. U fraktálních objektů jsou mocninné exponenty složitější a zahrnující v sobě fraktální dimenzi. Například mocninný exponent nejjednoduššího fraktálního útvaru, Cantorovy množiny (Obr. 6), má podobu  $\log 2 / \log 3$  (Hastings a Sugihara, 1994).



Obr. 6: Cantorova množina po sedmi iteracích  
([http://en.wikipedia.org/wiki/File:Cantor\\_set\\_in\\_seven\\_iterations.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Cantor_set_in_seven_iterations.svg)).

Je důležité také zmínit, že fraktální dimenze udává, jak moc je daný objekt odlišný od „své“ nejbližší euklidovské celočíselné dimenze (často je nazývána topologickou) a kolik zabírá prostoru

navíc. Pokud tedy linie poběží Velké Británie vychází z přímky (která je 1D), pak fraktální poběžní linie uváděná jako okolo 1,36 znamená, že poběžní linie „zabírá“ více prostoru než běžná přímka. Analogicky pro plošné objekty, kdy se fraktální dimenze pohybují mezi 2 a 3 (např. povrch mozku má fraktální dimenzi 2,76). Na základě fraktální dimenze lze hodnotit „křivost“ a složitost jednotlivých objektů a následně je mezi sebou porovnat. Pomocí fraktální dimenze tak je možné identifikovat příčiny současného stavu objektů – např. při hodnocení stáří či charakteru městského prostoru.



Obr. 7: Princip měření délky poběží a log-log graf (graf regresní závislosti) pro určení směrnice přímky

(<http://geocurrents.info/geonotes/the-paradoxical-coastline-contest-and-canadas-commanding-position>).  
<http://garethrees.org/2009/08/19/coast/>).

Toto jsou jen základní principy a pojmy využitelné v nejrůznějších vědeckých oborech. Více detailní popis dané problematiky nabízí mnoho publikací, jejichž výčet nemůže být zdaleka kompletní. Nicméně ze zahraničních zdrojů lze využít například publikace od autorů: Mandelbrot (1967, 1975a, 1989), Hastings a Sugihara (1994), Batty a Longley (1994), Peitgen a Jürgens (1992, 1993), Lam a De Cola (1993) či Dauphiné (2012). Z česky psaných publikací je možno čerpat u autorů: Zelinka (2005), Zelinka a kol. (2006), Tišnovský (2000), Novotný (2010), Hotař (2006) či Veselý (2006).

V uvedených publikacích lze také nalézt příklady aplikací i do geovědních oborů. V následujícím textu budou tedy uvedeny pouze ty výsledky, na kterých se autor příspěvku aktivně podílel.

## Aplikace v geovědách

Tato kapitola demonstруje použití základních principů fraktální geometrie v oblasti geověd (zejm. v geoinformatice) a jsou výsledkem prací afilovaných Katedře geoinformatiky v Olomouci.

### Fraktální analýza land-cover a silniční sítě ORP Olomouc.

Případová studie se zabývá analýzou land-cover z roku 2000 na území ORP Olomouc pomocí

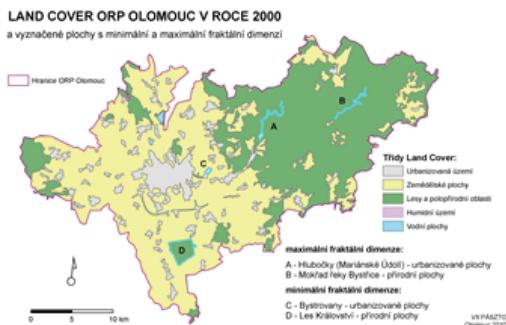
fraktální geometrie. Jak již bylo mnohokrát zmíněno, tak veškeré plochy mají svojí dimenzi. Ať už klasickou celočíselnou (v tomto případě speciálně 1D, např. čtverec) nebo fraktální vyjádřenou racionálními čísly (při této studii mezi 1D a 2D). Pokud jsou tedy plochy víceméně pravidelné a jednoduché, potom bude hodnota fraktální dimenze nízká, tedy blízko hodnoty 1. Naopak, při vysoké nepravidelnosti a složitosti plochy se bude hodnota blížit k 2. Jelikož se jedná o demonstraci použití fraktální geometrie, nebudou zde vyvozovány podrobné geografické a ekonomické příčiny daného stavu land-cover. Výpočet fraktální dimenze ploch byl proveden po jednoduchém odvození podle vztahu

$$D = 2 \times \log P / \log A \quad [4]$$

kde D je fraktální dimenze, P je obvod plochy a A je obsah plochy. Vztah [4] byl použit vzhledem k jeho nenáročnosti na výpočet v GIS software (postačil Field Calculator v ArcGIS for Desktop 9.x).

Na obrázku 8 je znázorněna podoba land-cover ORP Olomouc, jež nese znaky fraktální krajiny. Na obrázku je také uvedeno, které plochy mají nejnižší a nejvyšší fraktální dimenzi. Z urbanizovaných ploch jen to obec Hlubočky (Mariánské Údolí) s nejvyšší fraktální dimenzí (D = 1,393), naopak část obce Bystrovany vykazuje nejnižší fraktální dimenzi (D = 1,220). Jelikož v prvním případě leží obec v hlubokém údolí řeky Bystrice, tak urbanizace sledovala průběh klikatého údolí. Zvýrazněná část Bystrovan je

zemědělský areál s přilehlou zástavbou ve tvaru čtverce, proto zde fraktální dimenze dosahuje nejnižších hodnot z urbanizovaných ploch.



Obr. 8: Land-cover ORP Olomouc v roce 2000 a vyznačení plochy s minimální a maximální fraktální dimenzí (vlastní tvorba, zdroj dat: CLC 2000, ArcCR 2.0).

Z přírodních ploch pak mají nejvyšší fraktální dimensi mokřady řeky Bystrice v těsné blízkosti vojenského prostoru Libavá. Tato téměř člověkem nedotknutá krajina má přirozeně složitý průběh a strukturu, a tak má fraktální dimenzi nejvyšší (a to i celkově ze všech ploch, D = 1,396). Na druhém konci má z přírodních ploch nejnižší fraktální dimenzi (celkem i ze všech jednotlivých ploch) les zvaný Les Království u obce Grygov (D = 1,193). Ačkoliv se jedná o přírodní plochu, byl tento les zcela nově vysazen člověkem, a to ve tvaru čtverce. Proto nejnižší fraktální dimenze.

Nakonec bylo provedeno spojení všech pěti typů ploch land-cover na území ORP Olomouc

a vypočtena jim souhrnně fraktální dimenze. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 1.

Třída land cover	Fraktální dimenze
1. Urbanizovaná území	1,438574
2. Zemědělské plochy	1,385772
3. Lesy a polopřírodní oblasti	1,350355
4. Humidní území	1,395799
5. Vodní plochy	1,263722

Tab. 1: Souhrnná fraktální dimenze jednotlivých ploch land-cover na území ORP Olomouc.

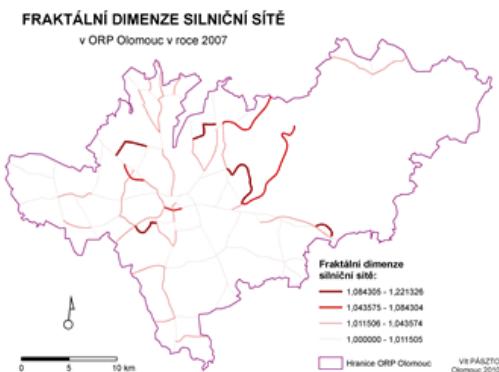
Je tedy zřejmé, že nejvyšší fraktální dimenzi mají v souhrnu urbanizované plochy, poté zmínované humidní plochy (např. mokřady), zemědělské plochy, lesy a polopřírodní plochy a nakonec vodní plochy.

Pro demonstraci výpočtu fraktální dimenze křivek posloužila silniční síť území ORP Olomouc. Opět příklad slouží jako ukázka možnosti analýzy a vizualizace dat. Výpočet fraktální dimenze byl proveden podle vztahu:

$$D = \log(n) / (\log(n) + \log(d/L)) \quad [5]$$

kde n je počet dílů linie, d je vzdálenost mezi počátečním a koncovým bodem linie a L je celková délka linie. Jelikož se výpočet provádí v GIS nad polyliniemi, tak fraktální dimenze závisí i na počtu lomových bodů linie. Proto mohou

být některé výsledky zkreslené a je nutné je alespoň vizuálně zkontrolovat a odstranit hrubé chyby. V tomto případě posloužila pro výpočet fraktální dimenze extenze Hawth's Analysis Tools pro ArcGIS for Desktop 9.x. Tato extenze, mimo jiných analýz zejména zaměřených na ekologii, obsahuje také nástroj pro automatizovaný výpočet fraktální dimenze křivek přesně podle vztahu [5], který je v podstatě modifikací základního vztahu tzv. divider metody pro výpočet fraktální dimenze. Extenze automaticky vytvoří a vyplní pole udávající počet segmentů polylinie a pole, které udává konkrétní hodnotu fraktální dimenze, která se pohybuje mezi 1 a 2. Obecně by větší počet uzlů měl znamenat i celkovou větší délku linie, a tak vyšší fraktální dimenze, jelikož přímá vzdálenost mezi uzly se nemění.



Obr. 9: Fraktální dimenze silniční sítě v ORP Olomouc v roce 2007 (vlastní tvorba, zdroj dat: CLC 2000, ArcCR 2.0).

Z obrázku 9 je opět patrné, že přímé linie silniční sítě mají nízkou fraktální dimenzi a že linie, které jsou zakřivené, mají fraktální dimenzi vyšší. Silnice, které mají vyšší fraktální dimenzi, se vyskytují hlavně na severu území, kde má na jejich podobu vliv terén, protože zde již zasahuje Nízký Jeseník.

#### Fraktální analýza tzv. urban footprint a uliční síťě města Havířova a Zlína

Tato případová studie byla psána v rámci bakalářské práce Daniely Čepové pod vedením autora příspěvku. Práce se zaměřovala na testování softwarových možností výpočtu fraktální dimenze pro geografické jevy.

Batty a Longley (1994) tvrdí, že hranice nebo okraj města jsou velmi důležitým ukazatelem při studiu sídel, charakterizují jeho tvar i velikost. Pro toto studii bylo vybráno statutární město Zlín (Obr. 11), které má charakteristický protáhlý tvar, protože je situováno mezi strmými svahy úzkého údolí Dřevnice. Dále bylo vybráno město Havířov (Obr. 10), které se naopak rozprostírá v mírně zvlněné pahorkatině. Město bylo projektováno v rámci sídelní přestavby jádra ostravské průmyslové oblasti, prakticky vzniklo tzv. „na zelené louce“. Havířov je nejmladším městem v České republice.

V této práci byla použita jako hranice města pouze hranice komplexní zástavby. Zastavěné plochy, které zcela nenavazují na centrální část města, byly vyčleněny. Tento přístup byl zvolen s

cílem vystihnout charakteristický tvar města. Na leteckém snímku byly identifikovány jako město tyto plochy:

- Veškeré zastavěné plochy – plochy obytné i průmyslové
- Všechny plochy, které sice nejsou zastavěné, ale jsou zcela obklopeny zastavěným územím – parky, parkoviště apod.
- Zahrádkářské a rekreační objekty
- Plochy, které nejsou nikdy zastavěny, ale jsou od volné krajiny nějak odděleny (např. plotem) – zahrady, sady apod.

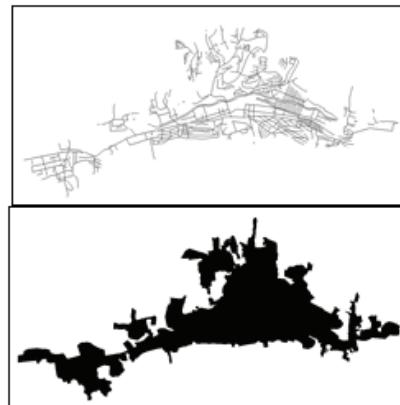
V oblastech, kde nebyla hranice zcela jednoznačná, byl její průběh pouze odhadnut. Zájmové území bylo ohraničeno hranicí obcí Havířov a Zlín.



Obr. 10: Uliční síť Havířova (vlevo) a zastavěné plochy (vpravo).

Uliční síť byla také vytvořena na základě leteckého snímku z WMS služby Národního geoportálu INSPIRE, konkrétně služby CENIA/cenia\_adresy\_ulice čísla domů a názvy ulic. Jako uliční síť byly

zvolené popsané ulice v zastavěných oblastech a přilehlé komunikace.



Obr. 11: Uliční síť Zlína (nahoře) a zastavěné plochy (dole).

Tabulka 2 ukazuje výsledky fraktální dimenze jednotlivých měst, které, jak je patrné, se od sebe relativně liší. Při výpočtech byla volena přednostně metoda Box counting, přičemž i při použití stejné metody se výsledky odlišují podle použitého softwaru. Rozdílné výsledky mohou být způsobeny nastavením parametrů zvolené metody, dále také odlišnými algoritmy, které jsou v programech pro výpočet fraktální dimenze implementovány. Vliv na rozdíly mezi výsledky může mít i formát vstupních dat, protože ne všechny softwary pracují s přednostně voleným formátem BMP. Některé programy vyžadují úpravu vstupních dat, která může být provedena i automaticky (např. převod na binární soubor).

Fraktální dimenze hranice města a uliční sítě				
software	hranice měst		uliční síť	
	Havířov	Zlín	Havířov	Zlín
FRACTALYSE	1,146	1,183	1,338	1,343
Fractal Analysis System	1,076	1,173	1,304	1,375
FracTop	1,093	1,231	1,386	1,449
ImageJ	1,067	1,194	1,340	1,432
FragStats	1,167	1,261	1,285	1,354
FracLac	1,129	1,268	1,437	1,499
Harfa	1,211	1,325	1,369	1,406
Průměr	<b>1,127</b>	<b>1,234</b>	<b>1,351</b>	<b>1,408</b>
Směrodatná odchylka	<b>0,048</b>	<b>0,051</b>	<b>0,048</b>	<b>0,052</b>

Tab. 2: Hodnoty fraktální dimenze hranice měst a uliční sítě.

Výsledky případové studie poukazují na to, že vyšší fraktální dimenze má jak hranice komplexní zástavby Zlína, tak i jeho uliční síť. Je možné říci, že přírodní podmínky, které limitují zástavbu v případě Zlína, mají podíl na vyšších hodnotách fraktální dimenze, protože hranice města je složitější a více chaotická, to samé platí i u uliční sítě. Oproti tomu Havířov, který byl záměrně vytvořen v oblasti s vhodnými přírodními podmínkami (prakticky vznikl na rovině), má méně členitou hranici a uliční síť je více

pravidelná.

Podle Reynosa (2005) je výpočet fraktální dimenze vhodným nástrojem pro studování prostorového uspořádání urbánních a jiných geografických jevů. Samotná hodnota fraktální dimenze není ale dostačující pro popis studovaného jevu. Z výsledků je evidentní, že každý software vypočítal jinou hodnotu fraktální dimenze pro stejný jev. Výsledky tedy musíme posuzovat v kontextu s jinými informacemi o daném jevu

### Fraktální analýza říčních sítí za využití vícerozměrné statistiky

V poslední případové studii představené v tomto článku se analyzovaly vybrané základní typy říční sítě pomocí fraktální dimenze a následné clusterové analýzy. Bylo testováno, zda-li vybrané řeky znova spojí v jednotlivé skupiny typů říční sítě, a to pouze na základě vypočtené fraktální dimenze. Vycházelo se z předchozího výzkumu Tučka a kol. (2011), kde byly podobně klasifikovány listy stromů do jednotlivých taxonů s poměrně vysokou úspěšností.

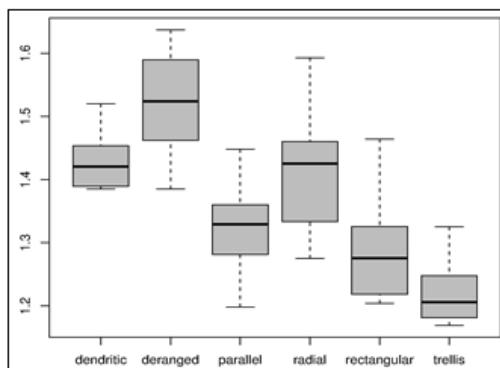
Data jednotlivých typů říční sítě byla získána z volně dostupné databáze řek DIVA-GIS (<http://www.diva-gis.org/Data>). Z každého vybraného typu říční sítě (Tab. 3) bylo vybráno deset vzorků, které byly následně analyzovány.

Typ říční sítě	Popis	Příklad
Dendritická (dendritic)	Nejčastější typ, údolí tvaru V, rozvětvené	Mississippi, dolní tok Moravy
Paralelní (parallel)	Vysoký sklon povodí, úzké povodí	Řeky JV od pohoří Aberdare v Keni
Mřížovitá (trellis)	Omezeno pohořím, krátké vedlejší toky	Řeky v Apalaškém pohoří v USA
Pravoúhlá (rectangular)	Pravoúhlá síť, dánou rozdílnou odolností podloží, kerná pohoří	Řeky v západním Iránu
Radiální (radial)	Typické pro krátery, sopky, odstředivý/dostředivý směr	Ostrovy Kauai, sopečné oblasti
Asymetrická (deranged)	Není zřejmý vzor povodí (časté jezerní plochy)	Řeky v Kanadském štítu, Finsko

Tab. 3: Analyzované typy říční sítě s popisem a příkladem (dle Knightona, 1998, a Rittera, 2006).

Podle Zernitze (1932) je vývoj říční sítě ovlivněn, mimo jiné, zejména topografií, geologickými poměry a předcházejícími i současnými geomorfologickými procesy. Vybrané typy říčních sítí tak reprezentují typickou část zemského reliéfu s charakteristickými rysy výše uvedenými.

Pro každé takto vybrané území byla vypočítána fraktální dimenze (metoda Box counting) jednotlivých říčních sítí, jejichž výsledky jsou uvedeny na obrázku 12 v podobě boxplotů. Tlustá černá linie představuje medián, samotný šedý obdélník pak tzv. mezikvartilové rozpětí (rozsah mezi 1. a 3. kvartilem) a čárkovaná linie je nazývána jako vousky a představuje maximální a minimální hodnotu uvnitř 1,5 násobku mezikvartilového rozpětí. Již odsud lze identifikovat některé rozdílné skupiny povodí (např. asymetrická a mřížovitá) a naopak (např. dendritická a radiální).



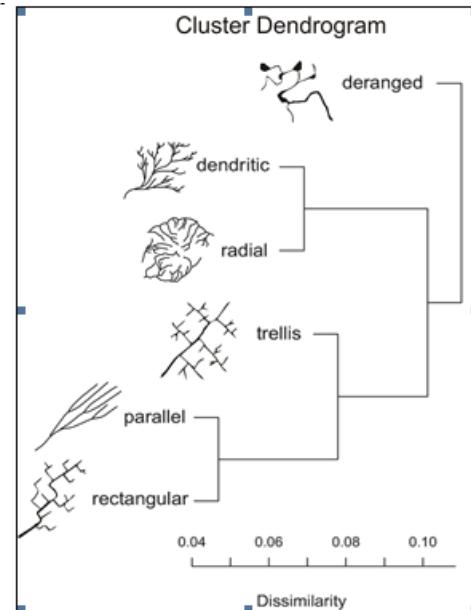
Obr. 12: Grafický přehled hodnot fraktální dimenze vybraných typů říčních sítí.

Následovala analýza rozptylu (ANOVA – ANalysis Of VAriance), která ověřovala, zda-li se průměrná hodnota fraktální dimenze mezi jednotlivými říčními sítěmi signifikantně liší. Bohužel, Bartlettův test nepotvrdil tento předpoklad. I přesto bylo přistoupeno ke klasifikaci pomocí hierarchické clusterové analýzy, jejíž výsledky však byly velice uspokojivé a jsou znázorněny na obrázku 13.

Podle výsledků shlukové analýzy jsou si nejvíce podobné paralelní a pravoúhlá říční síť, jež sdílí podobné geometrické charakteristiky (relativně pravidelný vzor). Navíc společně s mřížovitou říční sítí pak právě tyto typy říční sítě mají nejnižší hodnoty jejich fraktální dimenze.

Radiální a dendritický typ říční sítě mají více nepravidelný tvar, a proto je i jejich fraktální dimenze vyšší a tvoří dvoučlennou skupinu. Nicméně nejvíce nepravidelný tvar říční sítě představuje asymetrický typ, jenž typicky obsahuje jak meandrující úseky, tak i jezerní plochy i jakési fluviální laloky. U asymetrického typu říční sítě je velmi obtížné najít nějaký vzor uspořádání toků, proto je fraktální dimenze u tohoto typu říční sítě nejvyšší. Shluková analýza také ukazuje, že tento typ říční sítě je nejvíce odlišný od všech ostatních.

Tato případová studia ukazuje, že pouze pomocí fraktální dimenze lze klasifikovat různé prostorové struktury, v tomto případě říční sítě, s poměrně uspokojivými výsledky.



Obr. 13: (Ne)podobnost jednotlivých typů říční sítě na základě hodnot jejich fraktální dimenze.

## Závěr

Příspěvek představuje základní koncepty teorie chaosu a fraktální geometrie a na případových studiích je ukázána aplikace poznatků fraktální geometrie v geovědách. Na čtyřech příkladech ve třech případových studiích je názorně ukázáno, že výpočet fraktální dimenze může sloužit jako vhodný ukazatel složitosti různých fyzicko-geografických i socioekonomických jevů či tvarů. Samozřejmě je nutné vždy přihlédnout k

celkovému geografickému kontextu a je zapotřebí orientovat se v problematice fraktálů tak, aby nedošlo k nesprávné interpretaci výsledků. Na příkladech je také ukázáno elementární použití výpočtu fraktální dimenze a pro složitější úlohy je nutné obecné výpočetní vztahy upravit dle účelu, což se mnohokrát projeví v komplikovanosti matematických formulí. Nicméně jako první vzhled do možností fraktální geometrie jsou představené studie její vhodnou demonstrací.

## Zdroje

- BATTY M., LONGLEY P., (1994): Fractal Cities: A Geometry of Form and Function, Academic Press Ltd., London, San Diego, 1994, 394 s.
- DAUPHINÉ, A. (2012): Fractal Geography, Wiley-ISTE; 1st edition, London, ISBN: 978-1-84821-328-9, 241 s.
- FORMAN, R. T. T. (1995): Land Mosaics: the ecology of landscape and region. CUP, Cambridge.
- HASTINGS, H. M., SUGIHARA, G. (1994): Fractals: A User's Guide for the Natural Sciences. Oxford : Oxford University Press. 235 s.
- HOTAŘ, V. (2006): Fraktální geometrie [online]. 21.11.2011 [cit. 2013-03-10]. Dostupné z: <http://www.ksr.tul.cz/fraktaly/index.html>.
- KAANDORP, J. A. (1994): Fractal Modelling : Growth and Form in Biology. Berlin : Springer. 208 s.
- KNIGHTON, D. (1998): Fluvial forms and processes: a new perspective. Oxford University Press, Inc., New York.
- LAM, N. S. N., DE COLA, L. (eds.) (1993): Fractals in Geography. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. 308 s.
- MANDELBROT, B. B. (1975a): Earth's relief, shape and fractal dimension of coastlines, and number area for islands. PNAS, 72, č. 10, s. 3825–3838. s. 390-401.
- MANDELBROT B. B. (1989): Fractal geometry: What is it and what does it do? In: Fleischmann, M., Tildesley, D. J. a Ball, R. C., 1989, str. 3-16.
- MANDELBROT B. B. (1967): How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension, Science 155 (1967), str. 636-638.
- NOVOTNÝ, J. (2010): Korčákův zákon aneb zajímavá historie přírodní duality statistického rozložení. Informace ČGS, 29, č. 1, s. 1–10.
- PEITGEN, H. O., JÜRGENS, H., SAUPE, D. (1992): Chaos and Fractals : New Frontiers of Science. New York : Springer. 984 s.
- PEITGEN, H. O., JÜRGENS, H., SAUPE, D. (1993): Fractals for the Classroom : Introduction to Fractals and Chaos. New York : Springer. 452 s.
- REYNOSO, C. (2005): The impact of chaos and complexity theories on spatial analysis - problems and perspectives. 24th Research Symposium: Reading Historical Spatial Information from around the World: Studies of Culture and Civilization Based on GIS Data, Kyoto Japan, 7-11 February.
- RITTER, M. E. (2006): The Physical Environment: an Introduction to Physical Geography. Dostupný z: [http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/geog101/textbook/title\\_page.html](http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/geog101/textbook/title_page.html)
- TIŠNOVSKÝ, P. (2000): Fraktály [http://www.fit.vutbr.cz/%7Etisnovpa/fract/clanky/1.htm#tth\\_sEc1](http://www.fit.vutbr.cz/%7Etisnovpa/fract/clanky/1.htm#tth_sEc1). Brno: Vysoké učení technické v Brně.
- TUČEK, P., JANOŠKA, Z., MAREK, L., PÁSZTO, V., DANČÁK, M. (2011): Fractal perspectives of GIScience based on the leaf shape analysis. GeoComputation 2011 Conference, London, 2011, poster.
- VESELÝ, J. (2006): Úvod do teorie chaosu v dopravě a

dopravní telematice, ČVUT, Nakladatelství ČVUT, ISBN:  
80-01-03448-8, 120 s.

ZELINKA, I. (2005): Aplikovaná informatika : aneb úvod  
do fraktální geometrie, buněčných automatů,.... 2.  
vyd. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. 182 s.

ZELINKA, I. VČELAŘ, F. ČANDLÍK, M. (2006): Fraktální  
geometrie principy a aplikace. Praha: BEN – technická  
literatura. 160 s., ISBN 80-7300-191-8.

ZERNITZ, E. R. (1932): Drainage patterns and their  
significance, J. Geol., 40, 498-521.

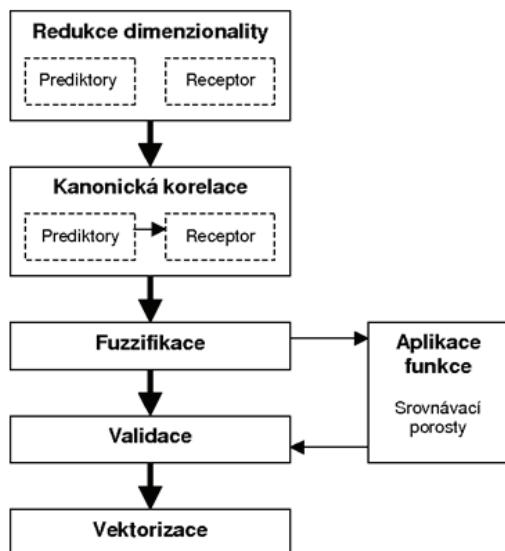
## Zóny ohrožení lesů v České republice

Ing. Pavel Samec, Univerzita Palackého v Olomouci, samec.pavel@uhul.cz

Zóny ohrožení lesů (ZOL) jsou intervaly růstových podmínek lesních společenstev zohledňující vazby kyselé depozice s ostatními složkami přírodního prostředí. Byly navrženy jako součást národních monitoringů lesů, které poskytují podklady pro usměrňování trvale udržitelného lesnictví. Zóny ohrožení lesů ukazují míru rizikovosti růstových podmínek pro přirozené nebo přírodě blízké lesy. Ukazují vazbu mezi synergii růstových podmínek a biomasanou lesů.

Lesy jsou nedílnou součástí evropské krajiny a jsou nenahraditelným národním bohatstvím jednotlivých států i celé EU. Přibližně od období průmyslové revoluce dochází u evropských lesů ke střídání snah o snižování a zvyšování strukturní a druhové bohatosti. Nedílnou součástí trvale udržitelného lesnictví je vhodná klasifikace růstových podmínek lesních porostů (Barbati et al. 2007). K této klasifikaci jsme využili principů environmentálního modelování. Environmentální modelování ZOL zahrnovalo redukci dimenzionality, testy těsnosti závislosti vybraných vlastností růstového prostředí a biomasy lesů, fuzzifikaci vybraných vlastností růstového prostředí lesů a validaci výsledků (obr. 1). Redukce dimenzionality sestávala z kombinace výsledků faktorové a shlukové

analýzy, pomocí nichž byly vybírány vzájemně významné korelující vlastnosti růstového prostředí (prediktorů) a biomasy lesů (receptora) (Beare et al. 1995).

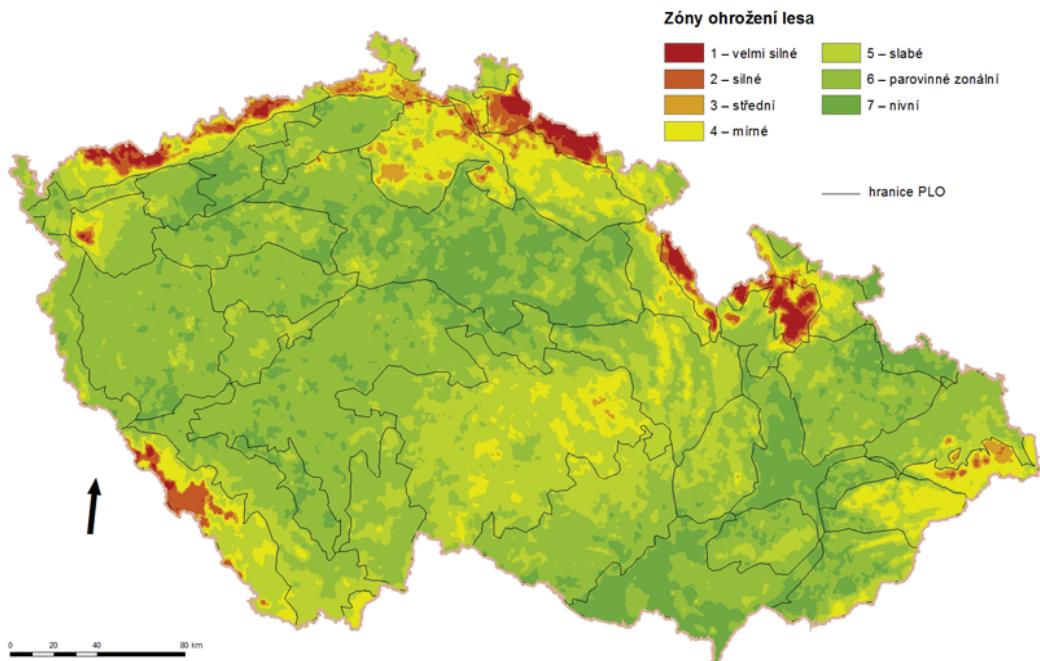


Obr. 1: Schéma konstrukce modelu zón ohrožení

Testy těsnosti závislosti vybraných vlastností sestávaly z kanonické korelační analýzy

Zóny ohrožení lesů			Rozloha (km <sup>2</sup> )	Zastoupení (%)	Lesnatost (%)
Symbol	Sdružené ZOL	Symbol	Základní ZOL		
V	Vysoké ohrožení	1	Velmi silné ohrožení	902	1,14
		2	Silné ohrožení	1 458	1,87
S	Střední ohrožení	3	Střední ohrožení	1 726	2,19
		4	Mírné ohrožení	6 955	8,81
N	Nízké ohrožení	5	Slabé ohrožení	18 672	23,66
		6	Parovinná zonální stanoviště	38 392	48,65
		7	Nivní stanoviště	10 790	13,67

Tab. 1: Rozlohy a lesnatost základních a sdružených zón ohrožení lesů (ZOL) na území ČR



Obr. 2. Vektorový model zón ohrožení lesů zastoupených v přírodních lesních oblastech (PLO) ČR.

selektovaných vlastností, zda statisticky významně odrážejí vazbu mezi prediktory a receptorem (Meloun et al. 2005). Modelování ZOL bylo provedeno fuzzifikací 2. typu (Robinson 2007). Model ZOL byl validován prostřednictvím testů míry shod diferenciace růstových podmínek s bodovými poli terénních šetření (Westling et al. 2005).

V modelu se nejvýznamněji uplatnily teplotní průběh zim, výskyt pozdních mrazů, letní příšušky, depozice dusíku, nízká bazická saturace půd i nízký celkový obsah hořčíku v půdách, které se společně podílejí na predispozicích lesů vůči chřadnutí. Zejména stálá přítomnost kyselé depozice lesů způsobuje, že jejich ekologie je stále negativně ovlivňována, a lesy tak i na přirozené disturbance reagují citlivěji než v přirozených podmínkách. Na území ČR bylo vymezeno sedm základních ZOL, které mohou být sdruženy do tří zón vysokého, středního a nízkého ohrožení lesů s ohledem na převažující rozsahy nadmořských výšek výskytu (tab. 1). Zóny vysokého ohrožení se nacházejí v hlavních pohořích ČR se značným střídáním gradientů ekologických podmínek, včetně fenoménů vysokohorských lesů a horní hranice lesa a včetně významné soustředěnosti lesnatosti. Zahrnuly 7,77 % lesů. Zóny středního ohrožení zahrnuly 20,14 % lesů v předhořích hlavních pohoří a na vrchovinách. Zóny nízkého ohrožení zahrnuly 72,09 % lesů od nížin po pahorkatiny a nižší vrchoviny (obr. 2).

Poškození lesů	Zastoupení (%)
Chronické chřadnutí	5,02
Akutní chřadnutí	12,35
Teoretické chronické chřadnutí	28,19
Teoretické akutní chřadnutí	51,52
Citlivý stav	0,02
Vyrovnáný stav	1,15
Optimální stav	1,77

Rozrůzněnost stavu receptora v různých ZOL naznačila výskyty oblastí chronického a akutního chřadnutí lesů. K chronickému chřadnutí může docházet tam, kde se současně nachází růstově nepříznivá stanoviště a nevhodná struktura lesů. K akutnímu chřadnutí může docházet tam, kde na poměrně příznivých stanovištích se vyskytuje nevhodná struktura lesů. Ve srovnávacích územích terénních šetření bylo chronické chřadnutí lesů zjištěno u 5,02 % lesních půd. Akutní chřadnutí lesů bylo zjištěno u 28,19 % lesních půd a teoreticky hrozí až u 51,52 %. Celkem bylo akutním chřadnutím lesů průkazně nebo potenciálně dotčeno 79,71 % rozlohy lesních půd (tab. 2). Různá dřevinná skladba ve srovnávacích porostech ovlivnila rozdíly v NDVI a MDMI, hektarové zásobě dříví i chemismu humusu. Rozdíly v chemismu humusu byly největší v porostech v pahorkatinných

polohách i ve Vnějších Západních Karpatech; v pohořích Českého masivu byly naopak většinou nevýznamné. Rozdíly ve vlastnostech půdních minerálních horizontů podle různé druhové skladby šetřených porostů byly největší mezi pahorkatinnými lesy. Od středních poloh vyznávaly. V lužních a přirozených borových stanovištích nebyly zjištěny výraznější rozdíly v půdních vlastnostech s ohledem k druhové skladbě lesů. Příčiny tohoto jevu souvisejí s tím, že v luzích je permanentně vysoká biologická aktivita půd a vysoká úživnost bez ohledu na dřevinnou skladbu, zatímco na přirozených borových stanovištích je půdní biologická aktivita nízká a nízká úživnost. Pěstování borových porostů na živných stanovištích významně snižuje půdní biologickou aktivitu. Prostřednictvím souběžných vztahů mezi NDVI, Bc/AI a půdní bazickou saturací byly pro srovnávané listnaté a jehličnaté porostní typy zjištěny specifické vazby odrazu stanovištních podmínek ve stavu receptora.

Úživnost lesních půd se potenciálně odráží v hustotě zápoje lesních porostů na neextrémních stanovištích. Tento vztah nemusí platit v podmínkách, kde míra exponovanosti stanovišť přirozeně nedovoluje přirozený vznik zapojených lesních porostů. Vlastnosti nadložního humusu mohou indikovat zdravotní stav ekosystému, biomasa dřevin obecně indikuje produkční podmínky. V růstových podmínkách lesů neustále dochází k různě významným změnám, které posléze mohou předznamenat i změny v odezvě receptora (Dobbertin 2005). Byly zachyceny

pozvolné změny některých vlastností ekotopu. Postupně vyznával vliv depozice síry a od roku 2004 byl nahrazen depozicí dusíku. Průměrně vzrostly hodnoty bazické saturace lesních půd, což v souvislosti s poklesy imisní zátěže odrazilo pokles intenzity acidifikace ekosystémů (Purdon et al. 2004). Rychlosť acidifikace prostředí neklesla stejnomořně; nejvíce ohroženými ekosystémy stále zůstaly vysokohorské lesy. Delší zmírňování acidifikace lesních ekosystémů bude zřejmě značně závislé na pokračujícím snižování rizik akutního chladnutí lesů (Samec et al. 2012).

## Zdroje

- BARBATI A., CORONA P., MARCHETTI M. (2007): European forest types. Categories and types for sustainable forest management reporting and policy. European Environment Agency, Copenhagen – Luxembourg.
- BEARE M. H., COLEMAN D.C., CROSSLEY D.A.jr., HENDRIX P.F., ODUM E.P. (1995): A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. *Plant and Soil* 170: 5–22.
- DOBBERTIN M. (2005): Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. *European Journal of Forest Research* 124: 319–333.
- MELOUN M., MILITKÝ J., HILL M. (2005): Počítacová analýza vícerozměrných dat v příkladech. Academia, Praha.
- PURDON M., CIENCIALA E., METELKA V., BERANOVÁ J., HUNOVÁ I., ČERNÝ M. (2004): Regional variation in forest health under long-term air pollution mitigated

by lithological conditions. *Forest Ecology and Management* 195: 355–371.

ROBINSON V.B. (2007): Issues and challenges of incorporating fuzzy sets in ecological modeling. In: MORRIS A., KOKHAN S. (eds.), *Geographic Uncertainty in Environmental Security*. Springer Verlag, Heidelberg: 33–52.

SAMEC P., RYCHTECKÁ P., HORÁČEK M., TUREK K., VLČKOVÁ V. (2012): Geoinformační model rizikových růstových podmínek pro smrkové porosty v Podbeskydském a Beskydském bioregionu (Česká republika). *Acta Musei Beskidensis* 4: 1–22.

WESTLING O., FAGERLI H., HELLSTEN S., KNULST J. C., SIMPSON D. (2005): Comparison of modelled and monitored deposition fluxes of sulphur and nitrogen to ICP – forest sites in Europe. *Biogeosciences Discussions* 2: 933–975.

Vít Voženílek

## Sociální data jako zdroj pro studium percepce prostoru

Prof. RNDr. Vít Voženílek, CSc., Univerzita Palackého v Olomouci, vit.vozenilek@upol.cz

S nástupem Web 2.0 se stále více uživatelů internetu začalo orientovat na online služby sociálních sítí (Facebook, Twitter, Foursquare, Flickr aj.). Řada informací na těchto sociálních sítích má geografický charakter, například díky údajům o zeměpisné délce a šířce, což otevírá možnosti pro geografický výzkum a kartografické aplikace. Analýzám údajů ze sociálních médií se věnovalo několik studií, např. MCGLOHON et al. 2011, ANAGNOSTOPOULOS et al. 2008, LAPPAS et al. 2011, SAKAKI et al. 2011, DE CHOUDHURYHO et al. 2010, JANKOWSKI et al. 2010, ZHENG et al. 2011 aj.

Tradičně se pro podobný výzkum využívají empirické experimenty v laboratořích nebo v terénu (MACEACHREN 1991). Ty jsou však velmi drahé a časově náročné. Předložený příspěvek ilustruje na třech případových studiích využití dat sociálních sítí pro studium vnímání prostoru, zejména městského prostředí.

### Modelování hranice vnímání města

Při nahrávání fotografie na Flickr k nim uživatelé přidávají název, slovní popisy, tagy a klíčová slova. Tyto výrazy pomáhají popsát, organizovat, vyhledávat a sdílet fotografie. Mnoho fotografií

obsahuje pojmy jako „centra“, „centrální“ a „vnitřní město“ v názvu nebo popisech. Geografické umístění fotografií (tj. místo, kde byly pořízeny) představuje vazbu na vnímání prostoru, tedy kde se nachází centrum města. Autoři pečlivě hledali v popisech fotografií Vídne pořízených od ledna 2007 do ledna 2011 pojmy používané pro popis centra města v němčině a angličtině, konkrétně „city center“, „city centre“, „downtown“, „inner city“, „stadtzentrum“, „innenstadt“, „stadtmitte“, „stadtinneres“ a „stadt kern“. Bylo-li u fotografie pořízené uvnitř administrativního území města Vídne použito v názvu nebo popisu některé z těchto slov, byla tato fotografie přiřazena k centru města. Cílem nebylo vymezit hranici centra pro jednotlivce (nebyl k dispozici dostatek fotografií pro každého jednotlivce). Zjištováno bylo „kolektivní“ vnímání centra města pro skupinu místních obyvatel a turistů.

Protože u fotografií chyběly informace identifikující uživatele jako místního obyvatele nebo turistu, bylo k tomuto odlišení požito heuristické pravidlo De Choudhuryho et al. (2010) založené na předpokladu, že většina turistů pořizuje fotografie v krátkém časovém období (několik dní), místní obyvatelé fotí město

po mnohem delší dobu. Proto se turisté a místní obyvatelé odlišili podle dat pořízení jejich první a poslední fotografie (zvoleno 21 dnů).

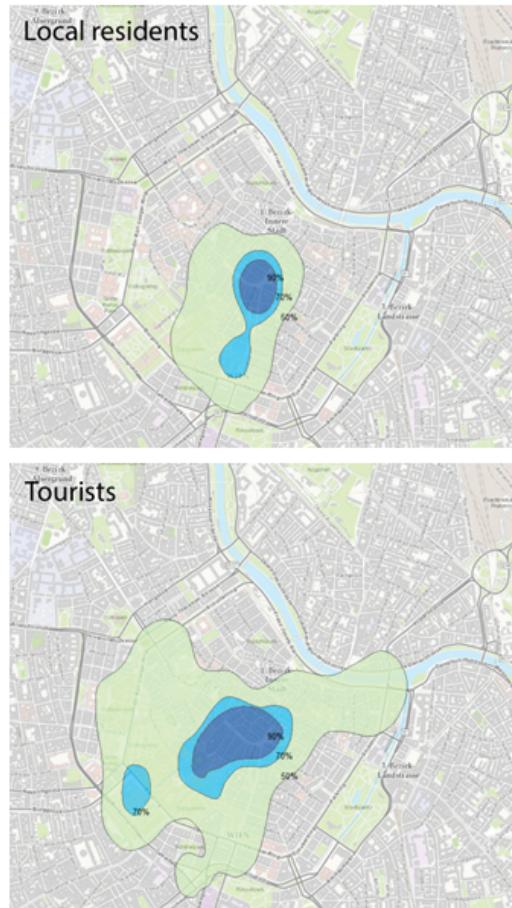
Pomocí odhadu kernel density byly odvozeny hranice vnímání centra Vídně pro místní obyvatele i pro turisty.

Obrázek 1 ukazuje, že místní obyvatelé i turisté vnímají jako centrum Vídně prostor „kolem katedrály sv. Štěpána“, nicméně místní obyvatelé se ve vymezení více shodují než turisté (izolinie blízko u sebe). Je však důležité si uvědomit, že tato studie používá velmi jednoduchou analýzu dat. Aby bylo možné vyvodit relevantnější závěry, musí se vylepšit způsob rozlišování místních obyvatel a turistů, a schopnost analyzovat uživatelské profily pro studium zaujetosti těchto údajů.

### Modelování pocitů osob k prostředí

Lidé pocitově vnímají a hodnotí okolní prostředí. Některá místa vnímají jako nebezpečná, jiná jako atraktivní. Tyto pocity ovlivňují prostorové znalosti o prostředí a ovlivňují každodenní chování a rozhodování osob v prostoru, např. výběr míst, kde se pohybují. Avšak ne všechny pocity na různá prostředí jsou nutně způsobeny těmito prostředími. Autoři rozšířili stávající výzkum o potenciál dat ze sociálních sítí, konkrétně fotografií na Flickr.

Opět byly použity informace v názvu, popisu a umístění fotografií uložených na Flickr, které byly pořízeny od ledna 2007 do ledna 2011. Vyhledávaná byla podstatná jména



Obr. 1: Vnímání hranice centra Vídně místními obyvateli (nahore) a turisty (dole): izolinie 50 %, 70 % a 90 % shody odpovědí.

popisující prostředí, např. letiště, muzeum, atd. Počítačovým zpracováním přirozeného jazyka s využitím textových knihoven a analýzou textu byl určen postoj autora k prostředí.

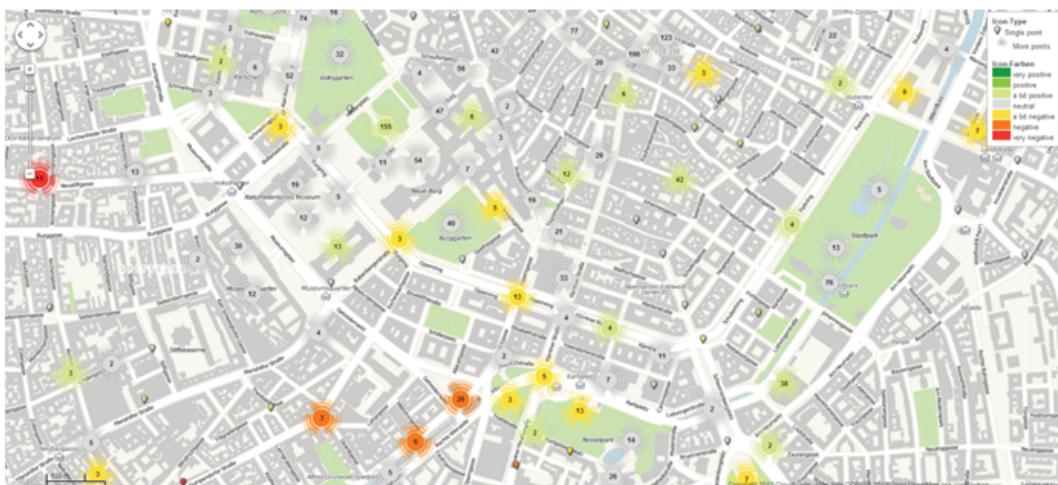
Obrázek 2 ukazuje výsledky modelování, kdy je skupina blízkých fotografií vyjádřena znakem v barvě (barva je průměrem barev příslušných fotografií) označující vztah autora k fotografovanému prostředí ve stupnici od nepříjemného k příjemnému pocitu.

Výsledky studie ukazují, že různá místa v centru Vídni jsou spojena s různými pocity lidí. Některá místa (např. parky) jsou vnímána jako příjemná, zatímco jiná (např. silnice s intenzivní dopravou)

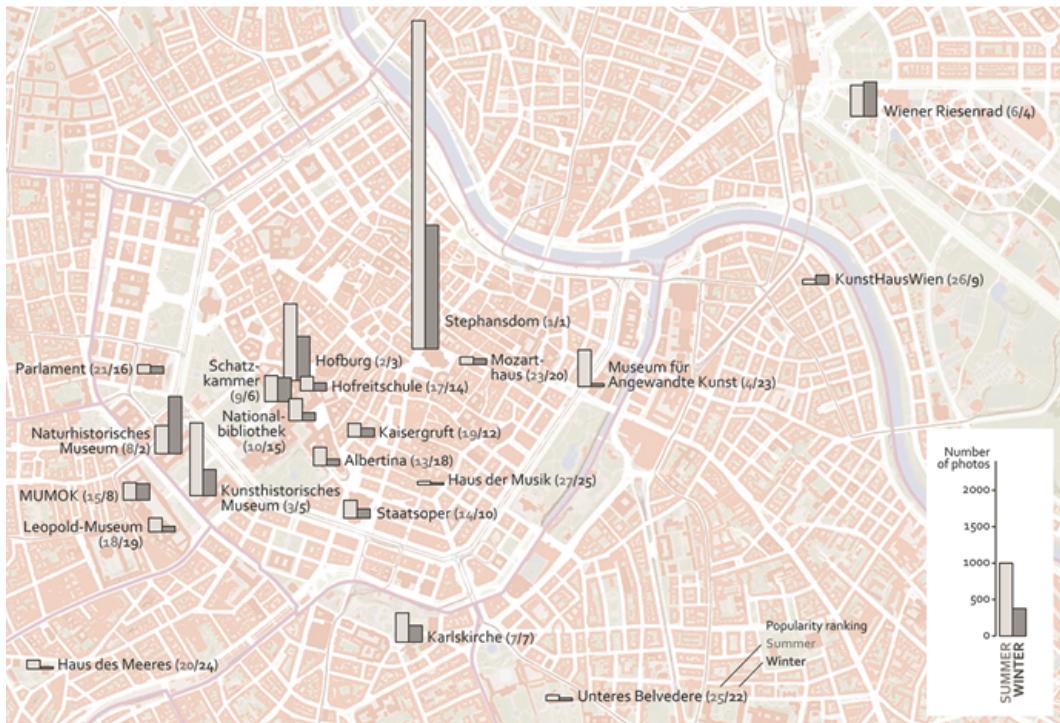
jsou vnímána jako spíše negativní (nepříjemná). Proto by mohlo být zajímavé vyšetřit korelací pocitů lidí a environmentálních charakteristik různých prostředí. Je také důležité si uvědomit, že tato případová studie analyzuje pouze anglická slova v popisech fotografií.

## Hodnocení oblíbenosti památek

Poznatky získané z návštěvy nového prostoru (objektu, památky) mohou být považovány za první osobní znalosti (nebo první obrazy v mysli jedince) z nového prostředí a mohou sloužit jako východiska pro budování dalších prostorových znalostí (MACEACHREN 1991).



Obr. 2: Pocitové vztahy osob k prostředí. Barvy znaků označují vztah k prostředí ve stupnici zelená – příjemný, šedá – neutrál a žlutá/červená – nepříjemný.



Obr. 3: Popularita vídeňských památek v létě a v zimě. Čísla za názvem památky značí pořadí v žebříčku v létě a v zimě.

Tato studie využívá data ze sociálních sítí k identifikaci památek, které lidé navštívili při cestě do Vídně, a porovnává jejich oblíbenost v létě a v zimě. Pomocí seznamu atrakcí vídeňského Wiener Tourismusverband a analýzy fotografií z Flickr pořízených do 100 metrů od památky byly jednotlivé památky seřazeny do žebříčku podle oblíbenosti. Období od května do října bylo vnímáno jako letní sezóna, zbytek roku jako

zimní sezóna.

Výsledky potvrzují, že popularita vídeňských památek je v létě a v zimě odlišná. Je důležité si uvědomit, že tyto výsledky jsou výsledkem analýz fotografií pořízených ve Vídni od ledna 2007 do ledna 2011. V jiném časovém období se mohou výsledky lišit.

## Závěr

Uvedené případové studie rakouských geoinformatiků potvrzují, že data ze sociálních sítí jsou významným zdrojem prostorových informací pro studium vnímání lidí a jejich znalostí o prostředí. Výsledky studií ukázaly, že ve srovnání s konvenčními metodami, zejména empirickými experimenty a dotazníky pracující s malou skupinou respondentů, jsou analýzy dat ze sociálních sítí rovnocennou výzkumnou alternativou. Je však nezbytné do výše uvedených přístupů nadále implementovat další zpřesňující metody.

## References

- ANAGNOSTOPOULOS A., KUMAR R., MAHDIAN, M. (2008), Influence and correlation in social networks. In: Proc. of the 14th ACM SIGKDD, New York, USA: ACM Press.
- DE CHOUDHURY M., FELDMAN M., AMER-YAHIA S., GOLBANDI N., LEMPEL R., YU C. (2010), Automatic construction of travel itineraries using social breadcrumbs. In: Proc. of HyperText 2010, New York, USA: ACM Press.
- JANKOWSKI P., ANDRIENKO N., ANDRIENKO G., KISILEVICH S. (2010), Discovering Landmark Preferences and Movement Patterns from Photo Postings. In: Transactions in GIS, 14 (6), pp. 833–852.
- MACEACHREN A.M. (1991), The role of maps in spatial knowledge acquisition. In: Cartographic Journal, The, 28 (2), pp. 152–162.
- MCGLOHON M., AKOGLU L., FALOUTSOS C. (2011), Statistical Properties of Social Networks. In: AGGARWAL, C.C. (eds.), Social Network Data Analytics, pp. 17-42. Springer.
- SAKAKI T., OKAZAKI M., MATSUO Y. (2010), Earthquake shakes Twitter users: real-time event detection by social sensors. In: Proc. of WWW 2010. New York, USA: ACM Press.
- ZHENG Y.T., LI Y., ZHA Z.J., CHUA T.S. (2011), Mining Travel Patterns from GPS-Tagged Photos. In: LEE K.T. et al. (eds.), Advances in Multimedia Modeling, pp. 262–272. Berlin / Heidelberg, Springer.

Lenka Zajíčková

## Fuzzy logika pro řízení světelné signalizace křižovatky

Mgr. Lenka Zajíčková, Univerzita Palackého v Olomouci, zajickova.l@email.cz

Současná silniční síť není schopná se vyrovnat se zvýšenými nároky na mobilitu, především města se potýkají s dopravními kongescemi. Jednou nutných podmínek pro zlepšení této situace je implementace inteligentních systémů do řízení dopravy. Pouze tak je možné zajistit flexibilitu a fungování dopravy v případě variability dopravních podmínek. Umělá inteligence dnes hraje významnou roli ve všech moderních řídicích systémech. Mezi nejrozšířenější techniky umělé inteligence patří fuzzy logika využívaná pro samotné řízení, evoluční algoritmy (většinou genetického charakteru) jako optimalizační nástroj a neuronové sítě pro prediktivní modelování. Cílem příspěvku je představit princip a přínos implementace fuzzy logiky při řízení křižovatky se světelným signalizačním zařízením.

### Světelné signalizační zařízení

Ještě na počátku 20. století dopravu řídili policisté uprostřed křižovatky. První světelné zařízení signalizující možnost pohybu v křižovatce, které ovládal policista, se v Evropě objevilo v roce 1924 [1].



Obr. 1: První světelné zařízení v Evropě [1]

Později docházelo k vývoji a implementaci systémů, které by řídily dopravu pomocí světelných signálů automaticky. Světelné signalizační zařízení (dále jen SSZ) je odborný název pro soustavu zařízení určených k řízení provozu na pozemních komunikacích pomocí světelných signálů [2]. Z pohledu řízení křižovatky je nejdůležitější částí řídící zařízení tzv. rádič, který bývá umístěn ve skřínce v blízkosti křižovatky [3]. Řízení světelných křižovatek je založeno na střídání signálních fází, které řídí automaticky tzv. signální plán [4]. Ten je pro každou křižovatku sestavován podle jejich charakteristik tzv. „na míru“ v souladu s technickými předpisy. U starších SSZ se používaly

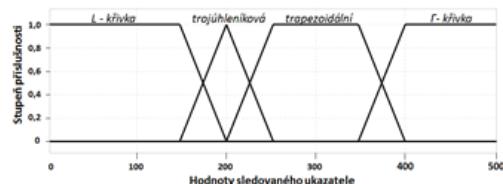
pevné signální plány, jejichž cykly mají pevné uspořádání a mění se maximálně několikrát za den. Tato technologie umožňuje vytváření tzv. zelených vln (návaznosti cyklů na sousedních křižovatkách). U moderních SSZ se však používá dynamické řízení, které délku nebo zařazení jednotlivých fází přizpůsobuje aktuálnímu stavu provozu na základě pasivní nebo aktivní detekce účastníků a hustoty provozu [5]. Pasivní detekce probíhá na základě různých tlakových, optických nebo bezkontaktních čidel a tlačítek pro chodce a cyklisty. Aktivní detekce se používá především pro preferenci vozidel veřejné dopravy, při níž počítač vozidla složitěji komunikuje s počítačem SSZ.

Aktuálně se pro řízení křižovatky se SSZ vytváří řada systémů založených na fuzzy logice (mnohdy se kombinuje s genetickými algoritmy a neuronovými sítěmi), které díky expertním zkušenostem a možnostem reagovat na změnu provozu vykazují mnohem lepší výsledky než konvenční metody dynamického řízení SSZ.

## Fuzzy logika

Fuzzy logika, jako jeden z podoborů matematické logiky, vychází z teorie množin. Zatímco u klasické logiky se využívá pojmu pravda/nepravda (stav 0 nebo 1), fuzzy logika výroky vyhodnocuje s mírou pravděpodobnosti, což znamená, že pracuje s nekonečně mnoha hodnotami v intervalu <0,1>. Množina řídící se pravidly fuzzy logiky se pak nazývá fuzzy množina. Příslušnost k množinám se přiřazuje na základě funkce příslušnosti,

přičemž platí, že čím vyšší stupeň příslušnosti, tím vyšší pravděpodobnost, že prvek do vybrané fuzzy množiny patří [6]. Funkcí příslušnosti existuje několik typů, liší se tvarem podle funkcí, ze kterých byly odvozeny – lineární (konstantní, trojúhelníková, trapezoidální atd.), kvadratická, gaussovská a další (viz Obr. 1).



Obr. 1: Typy základních funkcí příslušnosti

Každou fuzzy množinu lze popsat pomocí jádra,  $\alpha$ -řezu a nosiče. Jádro vymezuje část množiny se stupněm příslušnosti jedna,  $\alpha$ -řez vymezuje prvky fuzzy množiny, které mají stupeň příslušnosti větší nebo roven  $\alpha$ . Nosič fuzzy množiny definuje prvky, které mají stupeň příslušnosti větší než 0 (viz Obr. 2).



Obr. 2: Popis fuzzy množiny

Myšlenku, že fuzzy logika může být nástrojem pro matematický popis vágních a nepřesných dějů, poprvé teoreticky prezentoval v roce 1965 L. A. Zadeh [7]. První aplikace fuzzy logiky se objevila v roce 1970, kdy E. H. Mamdani navrhl kontrolní systém pro turbínky [8]. Od té doby se fuzzy logika objevila například v regulačních systémech řízení domácích spotřebičů (praček, vysavačů, atd.), stavebních pozemních strojů (rypadla, lesní stroje, atd.), v automobilovém průmyslu, pro automatizované řízení podzemní dráhy v Japonsku, řízení rychlovýtažů v mrakodrapech a mnohé další [9]. Jednou z oblastí využití je také od roku 1977 řízení křižovatky se SSZ [10].

## Řídící systém SSZ s fuzzy logikou

Při řízení křižovatky se SSZ je u fuzzy logiky nejdůležitější jednoduchost převodu slovního popisu přesně nepopsatelného děje v matematický popis. Původně křižovatku řídil policista, který odhadoval délku kolony vozidel ve smyslu velmi dlouhá, středně dlouhá, dlouhá atd. Fuzzy logika nabízí jazyk s vlastní syntaxí a sémantikou, který umožňuje bezprostřední použití kvalitativně formulovaných zkušeností a znalostí o řešeném problému. Pro tvorbu řídícího vstupu je však nutná odborná znalost a zkušenost s návrhem světelné signalizace pro úrovňovou křižovatku.

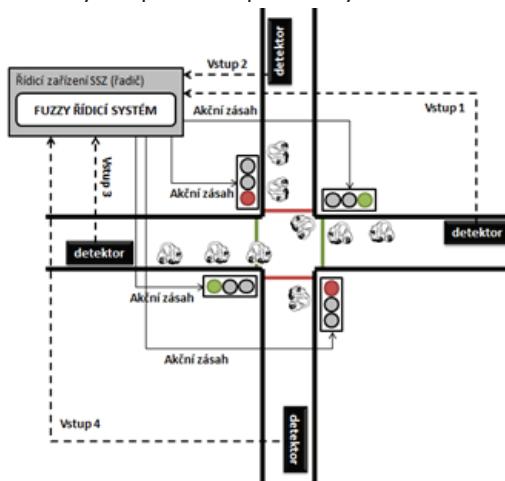
Celý proces využití fuzzy pro řízení křižovatky je založený na 3 obecných na sebe navazujících procesech práce s fuzzy logikou [9]. Jedná se o proces fuzzifikace, aplikace fuzzy inferenčního

systému a o proces defuzzifikace (viz Obr. 3).



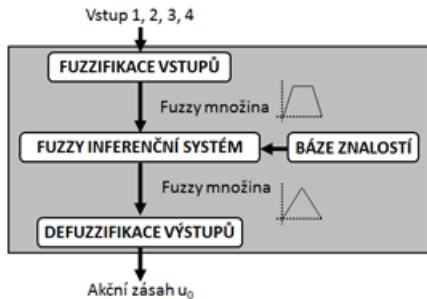
Obr. 3: Proces využití fuzzy logiky při práci s proměnnými

Před samotnou prací s fuzzy logikou je třeba definovat vstupní charakteristiky z jednotlivých detektorů (viz Obr. 4), kterými může být celá řada inženýrských hodnot, jakými jsou: intenzita, rychlosť vozidel, obsazenost detektorů, časový odstup vozidel nebo délka kolon. Nejčastěji do fuzzy řízení křižovatek se SSZ vstupuje počet přijíždějících vozidel, délka kolony a čas. Aby byla fuzzifikace smysluplná, musí do ní vstupovat hodnoty alespoň dvou proměnných.



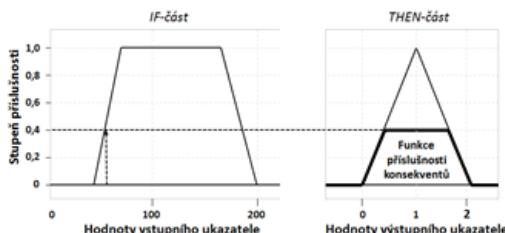
Obr. 4: Schematické znázornění řídícího systému SSZ s aplikací fuzzy logiky

Vstupy z jednotlivých detektorů (viz Obr. 4) pak vstupují do fuzzy řídícího systému, jehož detail je zobrazen na Obr. 5.



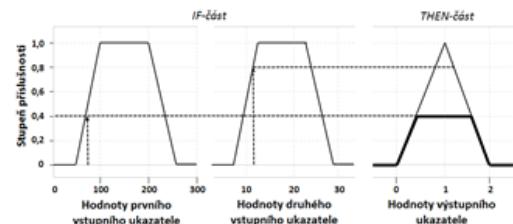
Obr. 5: Detail fuzzy řídícího systému

Ve fuzzy systému řízení dochází v prvním kroku k procesu fuzzifikace vstupů, kdy se kódují vstupní naměřené hodnoty (např. délky kolon v metrech) do jazykových termínů fuzzy čísel na základě funkce příslušnosti (viz Obr. 6). Podle jejího tvaru jsou čísla začleněna do fuzzy množiny v rozmezí hodnot <0,1> [11]. Tento proces je zopakován pro všechny proměnné sledovaného jevu.



Obr. 6: Grafické znázornění procesu fuzzifikace

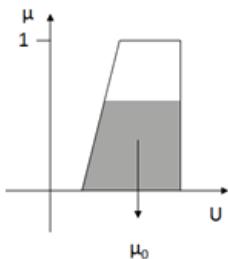
Ve druhém kroku se využije báze pravidel fuzzy inferenčního systému, která obsahuje všechna pravidla fuzzy množiny IF-THEN. V bázi pravidel jsou umístěny informace o fuzzy množinách všech proměnných v systému (jejich tvaru a poloze v univerzu). Tímto způsobem se systém snaží nahradit expertní myšlení či zkušenosti s danou problematikou (řízení dopravy policistou). Bázi pravidel obvykle tvoří pravidla jako např.: IF délka kolony je velmi krátká a počet přijíždějících vozidel je malý THEN zkrát délku trvání cyklu na středně dlouhou v poměru 3:1 ve prospěch červeného signálního světla. Na základě báze pravidel se tedy nakonec provede přibližná dedukce, jejímž výsledkem je výstupní fuzzy množina (viz Obr. 7) [12].



Obr. 7: Průnik dvou vstupních ukazatelů  
a vytvoření výstupní množiny

Ve třetím kroku je výstupním slovním proměnným přiřazena jedna ostrá hodnota cílové veličiny řízení, provede se tedy proces defuzzifikace [9]. Funkce příslušnosti výstupní množiny je nejčastěji dáná sjednocením oříznutých funkcí příslušnosti vstupních fuzzy množin. Nejpoužívanější metodou pro určení ostré hodnoty je metoda

středu plochy COA (COG), která ostrou hodnotu akční veličiny  $u_0$  vypočítá jako souřadnici těžiště plochy (viz Obr. 8) [13].



Obr. 8: Grafické znázornění určení akční veličiny  $u_0$

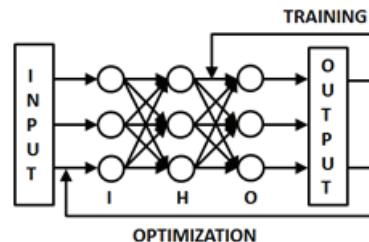
## Vývoj řídicích systémů SSZ s fuzzy logikou

První využití fuzzy logiky v systému řízení SSZ publikovali v roce 1977 Pappis a Mamdani [10]. Jednalo se o teoretický model aplikace fuzzy řídicí logiky na izolované křížovatce dvou jednosměrně křížujících se komunikací se SSZ. Do systému řízení vstupoval počet přijíždějících vozidel, délka kolony a čas. Hned toto první využití fuzzy logiky přineslo snížení časového zdržení vozidel o 10-21 % oproti konvenčnímu dynamickému řízení.

Další významnější posun proběhl až v 90. letech 20. století, kdy bylo možné v simulaci systému měnit geometrii křížovatky ve smyslu počtu řadících pruhů, intenzitu vozidel a lokaci detektorů. Autoři navíc systém prezentovali jako grafickou simulaci (X window system). Tehdy se jednalo o jednu z prvních grafických mikroskopických simulací v takové podobě, jak

jsou chápány dnes [14].

Dalším významným posunem byl vývoj dynamického systému řízení pro SSZ s aplikováním fuzzy logiky a Petriho sítí [15]. V roce 1995 se pak poprvé objevil článek kombinující fuzzy logiku a neuronové sítě [16]. Do třívrstvé neuronové sítě vstupovala dopravní data (intenzita, zdržení, fázové schéma) a výstupem byla optimální funkce příslušnosti (schéma neuronové sítě viz Obr. 9).



Obr. 9 Schéma neuronové sítě [16]

Následovala řada prací (např. [17]) které prezentovaly grafické rozhraní vytvořené v programovacím jazyce Visual Basic. Jednalo se o mikrosimulační software, který umožňoval flexibilně testovat různé varianty směrování vozidel a zatížení křížovatky.

V roce 1998 se v simulacích začalo počítat i s chodci. Cílem bylo navrhnut fuzzy systém řízení tak, aby se našel kompromis mezi minimalizací časových ztrát pěšich a vozidel [18]. Pro modelování a vyhodnocení vyuvinuli na Helsinské Univerzitě vlastní mikrosimulační software

HUTSIM, který je dnes známý po celém světě. V roce 1998 autoři Heung a Ho poprvé navrhli hierarchický systém řízení obsahující fuzzy logiku a genetický algoritmus sloužící pro generování fuzzy pravidel [19]. V hierarchickém systému řízení za pomoci genetického algoritmu dochází ke snížení počtu používaných pravidel a tedy i ke snížení „složitosti“ celého systému.

V roce 1999 byl prezentován nový řídící algoritmus FUSICO (Fuzzy Signal Control), který byl příkladem vícefázového fuzzy řízení [20]. V první fázi se na základě vyhodnocení intenzity a obsazenosti detektoru rozhodovalo o stupni zatížení křižovatky (nulový, normální, vysoký), ve druhé fázi se rozhodovalo o výběru fází a jejich pořadí a poslední fáze rozhodovala o ukončení nebo prodloužení signálu „volno“ vybrané fáze. Tento systém byl poté úspěšně využit i pro testování koordinace několika za sebou jdoucích křižovatek [21]. Dokázali tak, že pomocí fuzzy logiky je možné řídit i celý systém v oblasti. Výsledky byly prakticky ověřeny na křižovatkách se SSZ ve Finském městě Oulunkylä.

S rozvojem zohledňování vozidel veřejné dopravy při řízení křižovatek se SSZ byla i báze pravidel fuzzy řízení rozšírována o bázi pravidel pro preferenci veřejné dopravy [22, 23].

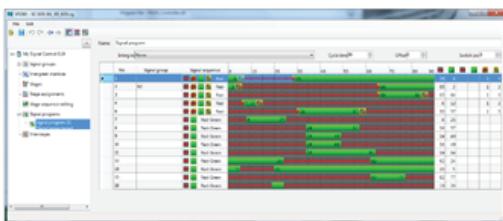
V roce 2002 byl rozšířen počet vstupních proměnných o vstupní proměnné zohledňující geometrii křižovatky a polohu vozidla určenou dle vzdálenosti od stop čáry křižovatky [24].

Další publikace již nepřichází se zcela novou myšlenkou, snaží se pouze rozvíjet již stávající studie, přidávat počet stupňů řízení nebo vytvářet např. hierarchické fuzzy řídicí systémy. Společná myšlenka, která se vyskytuje téměř ve všech publikacích po roce 2002 je kombinovat fuzzy logiku pro samotné řízení s evolučními algoritmy zajišťující optimalizaci a pro predikční modelování využívat neuronové sítě.

## Software pro tvorbu dopravních simulací

Dnes již existuje celá řada softwarů, které se specializují na vytváření dopravních simulací, mnohé využívají také fuzzy logiku. V ČR jsou využívané především softwary GETRAM [25], který se skládá z programu pro mikroskopickou simulaci (AIMSUN) a grafického editoru komunikační sítě (TEDI). Oficiálním distributorem je společnost DHV CR stejně jako v případě programu QUESTOR [26], což je multimodální model pro dopravní prognózy. Dalším využívaným softwarem pro dopravní modelování a plánování je OmniTRANS [27], jehož distributorem je společnost PBA International Prague. Celosvětově nejúspěšnějším softwarem pro analýzy a dopravní a strategické plánování je však softwarový balík PTV VISION [28], který je používán ve více než 90 zemích světa. V ČR jej distribuuje firma AF-CITYPLAN. Kromě jiných úloh je tento software vhodný právě pro mikroskopické simulace na signalizovaných tazích, dokáže totiž posoudit propustnost a koordinovat křižovatky se SSZ včetně zařazení preference veřejné dopravy. V softwaru je

zabudován přídavný modul VISSIG, který je schopen převzít z existujícího signálního plánu konkrétní křižovatky signální plán, fázové schéma a mezičasy a zapsat je do aplikace.



Obr. 10: Práce se signálním plánem v modulu VISSIG [29]

Výsledky je možné sledovat nejen tabulkově, ale také graficky přímo v pracovním prostoru modelu.



Obr. 11: Vizualizace výsledků simulace v pracovním prostoru z modelování dopravního proudu [29]

## Závěr

Jedním z hlavních důvodů proč se zabývat

řízením křižovatkového uzlu je skutečnost, že křižovatka je základním spojovacím elementem a zároveň nejslabším článkem dopravní sítě a její kapacita (propustnost) ve své podstatě určuje kapacitu celé sítě. Řízením křižovatkového uzlu lze dosáhnout snížení kongescí, zvýšení bezpečnosti, zvýšení kapacity a celkového snížení dopadů na životní prostředí a na obyvatele žijící v přilehlém okolí (hluk, vibrace).

## References

- [1] The twenties: Fast days, long nights. Potsdamer Platz: history [online]. 2009 [cit. 2013-10-12]. Dostupné z: <http://potsdamerplatz.de/en/history/the-twenties/>
- [2] ČSN 50556 Systémy silniční dopravní signalizace.
- [3] ČSN EN 12675 Řízení dopravy na pozemních komunikacích-Radiče světelných signalizačních zařízení - Funkčně bezpečnostní požadavky.
- [4] Technické podmínky TP 81 Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích. 1. vydání schváleno Ministerstvem dopravy a spojů 7. 5. 1996 pod č. j. 17 631/96-230, 2. vydání schváleno Ministerstvem dopravy k 15. 4. 2006 pod č. j. 243/2006-120-STSP/2.
- [5] Řízení dopravy světelnou signalizací. In: Ústav dopravního inženýrství hlavního města Prahy: Ročenka dopravy [online]. 1998 [cit. 2013-10-12]. Dostupné z: [www.tsk-praha.cz/rocenka/rocenka98/r04.htm](http://www.tsk-praha.cz/rocenka/rocenka98/r04.htm)
- [6] NOVÁK, V. (1990). Fuzzy množiny a jejich aplikace. 2. upravené vydání. Praha: SNTL. 296s. ISBN 80-03-00325-3.
- [7] Zadeh LA. (1965). Fuzzy Sets. Information and Control . University of California, pp. 338-353.

- [8] MAMDANI, E. (1977). Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning Using Linguistic Synthesis. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 26, pp. 1182–1191.
- [9] Novák, V. (2000). Základy fuzzy modelování. Ostrava: BEN.
- [10] Pappis C. and Mamdani E. 1977. A fuzzy logic controller for a traffic junction. *EEE transactions on systems, man and cybernetics*, Vol. No. 10, pp. 707-717.
- [11] TALAŠOVÁ, J. (2003). Fuzzy metody vícekriteriálního hodnocení a rozhodování. Olomouc: Vydavatelství Univerzity Palackého. 179 s. ISBN 80-244-0614-4.
- [12] FARUZEL, P. (2007). Webový průvodce světem expertních systém [online]. [cit. 2012-03-23]. Dostupné z: <http://faruzel.borec.cz/320.html>.
- [13] MODRLÁK O. (2002). Fuzzy řízení a regulace. Studijní materiály. Liberec. Dostupné z: <http://www.kirp.chtf.stuba.sk/~bakosova/wwwRTP/tar2fuz.pdf>.
- [14] Bisset, R and Kelsey, L. (1992). Simulation of traffic flow and control using conventional, fuzzy, and adaptive methods. Conference: European simulation multiconference, York (United Kingdom).
- [15] Kim S. (1994). Applications of Petri Networks and Fuzzy Logic to Advanced Traffic Management Systems. New York : Ph.D. thesis, Polytechnic University.
- [16] Sayers T., Anderson J. and Bell M. (1998). Traffic Control System Optimisation: A Multiobjective Approach. Mathematics in Transport Planning and Control. Proceedings of the 3rd IMA International Conference on Mathematics in Transport Planning and Control. Pergamon, Elsevier Science, UK, pp. pp. 37-46.
- [17] Khiang, T. K., Khalid, M. and Yusof, R. (1996). INTELLIGENT TRAFFIC LIGHTS CONTROL BY FUZZY LOGIC. *Malaysian Journal of Computer Science*, 9 [2]. pp. 29–35.
- [18] Niittymäki, J and Kikuchi, S (1998). Application of fuzzy logic to the control of a pedestrian crossing signal. s.l.: J. Transp. Res. Bd. pp. 30-38.
- [19] Heung, T.H. and Ho, T.K. (1998). Hierarchical fuzzy logic traffic control at a road junction using genetic algorithms. Anchorage, AK : s.n., 1998. *Fuzzy Systems Proceedings. IEEE World Congress on Computational Intelligence.*, (Volume:2). pp. 1170 - 1175. 0-7803-4863-X.
- [20] Niittymäki, J. and Pursula, M. (2000). Signal control using fuzzy logic. *Fuzzy Sets and Systems, International Journal of Soft Computing*, Vol. 116, No 1, pp. 11-22.
- [21] Niittymäki, J. and Nevala, R. (2001). Fuzzy Adaptive Traffic Signal Control - Principles and Results. Vancouver : s.n. *IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference, Joint 9th*. Vol. 5, pp. 2870-2875.
- [22] Niittymäki, J. and Kononen, V. (2000). Traffic Signal Controller Based on Fuzzy Logic. Nashville : s.n., 2000. *Conference Proceedings, IEEE International Conference on Systems, Man & Cybernetics*. pp. 3578 -3581.
- [23] Niittymäki, J. and Mäenpää, M. (2001). The role of fuzzy logic public transport priority in traffic signal control. *Traffic Engineering and Control, International Journal of Traffic Management and Transportation Planning*. Vol. 42, pp. 22-26.
- [24] Kuo, K.Y. and Lin, J. (2002). Application of fuzzy set theory to the change intervals at a signalized intersection. AMSTERDAM : Fuzzy Sets and Systems, Volume 129, Issue 3. pp. 387 - 403. 0165-0114.
- [25] DHV CR (2013). GETRAM. DHV CR: Produkty a

- služby [online]. 2013 [cit. 2013-10-12]. Dostupné z: [www.dhv.cz/article.asp?id=125](http://www.dhv.cz/article.asp?id=125).
- [26] DHV CR (2013). QUESTOR. DHV CR: Produkty a služby [online]. 2013 [cit. 2013-10-12]. Dostupné z: [www.dhv.cz/article.asp?id=99](http://www.dhv.cz/article.asp?id=99).
- [27] OmniTRANS (2009). PBA International [online]. [cit. 2013-10-12]. Dostupné z: <http://www.pbaprague.cz/cz/omnitrans.php>.
- [28] AF-CITYPLAN (2013) PTV VISION. AF-CITYPLAN: Distribuce software [online]. [cit. 2013-10-12]. Dostupné z: <http://www.af-cityplan.cz/distribuce-software.html>.
- [29] KOUKOL, M. (2013) PTV VISSIM možnosti a využití. Dostupné z: <http://k612.fd.cvut.cz/ruzne/seminare/koukol-mikrosimulace.pdf>.



Authors: Mircea Ardelean, Jaroslav Burian, Jan Caha, Jiří Dvorský, Juraj Furdík, Francis Harvey, Jiří Hiess, Lukáš Marek, Jakub Miříjovský, Mukesh Singh Boori, Maik Netzband, Justyna Pastwa, Vít Pászto, Pavel Samec, Vít Voženílek, Lenka Zajíčková, Qiming Zhou

Editors: Jaroslav Burian

Technical editor: Martin Mikloš

Cover and book design: Stanislav Popelka, Martin Mikloš

Responsible editor: Jana Kreiselová

Published by: Palacký University in Olomouc, Křížkovského 8, 771 47 Olomouc

Print: Palacký University Publishing House

1<sup>st</sup> edition

ISBN 978-80-244-3879-5

This publication was released as a part of the project CZ.1.07/2.3.00/20.0170 (Building of Research Team in the Field of Environmental Modeling and the Use of Geoinformation Systems with the Consequence in Participation in International Networks and Programs) supported by Operational Program Education for Competitiveness - European Social Fund.



european  
social fund in the  
czech republic



EUROPEAN UNION



MINISTRY OF EDUCATION,  
YOUTH AND SPORTS



INVESTMENTS IN EDUCATION DEVELOPMENT