

## Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-15-0054****Fyzikálne založená segmentácia georeliéfu a jej geovedné aplikácie**Zodpovedný riešiteľ **prof. RNDr. Jozef Minár, CSc.**Príjemca **Univerzita Komenského v Bratislave - Prírodovedecká fakulta**

### Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Riešiteľská organizácia a koordinátor projektu:

Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej geografie a geokológie

Spoluriešiteľská organizácia:

Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach, Prírodovedecká fakulta, Ústav geografie

### Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Ústav struktúry a mechaniky hornin AV ČR, Praha (Česko)

Ostravská univerzita v Ostravě, Prírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geokologie (Česko)

Durham University (Spojené kráľovstvo)

West University of Timișoara, Faculty of Chemistry, Biology, Geography, Department of Geography, Timișoara (Rumunsko)

Technische Universität Berlin, Institute of Ecology, RG Ecohydrology and Landscape Evaluation (Nemecko)

Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement (CEREGE), Aix-en-Provence (Francúzsko)

University of Colorado, Boulder (USA)

Technische Universität Wien, Department of Geodesy and Geoinformation (Rakúsko)

Hochschule Luzern (Švajčiarsko)

North Carolina State University, Centre for Geospatial Analytics, Raleigh (USA)

### Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

- - -

### Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

MINÁR, Jozef, EVANS, Ian S. &amp; JENČO, Marián. 2020. A comprehensive system of definitions of land surface (topographic) curvatures, with implications for their application in geoscience modeling and prediction. In: Earth-Science Reviews. Vol. 211, Art. No. 103414.

-----

PÁNEK, Tomáš, MINÁR, Jozef, VITOVÍČ, Ladislav &amp; BŘEŽNÝ, Michal. 2020. Post-LGM faulting in Central Europe: LiDAR detection of the &gt;50km-long Sub-Tatra fault, Western Carpathians. In: Geomorphology. Vol. 364, Art. No. 107248.

-----  
BANDURA, Peter, MINÁR, Jozef & BIELIK, Miroslav. 2020. Physically-based segmentation of the Alps and the Western Carpathians: comparison and interpretation. In: Geomorphometry 2020: Conference Proceedings (Perugia, Italy). Eds. M. Alvioli, I. Marchesini, L. Melelli & P. Guth. Roma: CNR Edizioni. S. 267-270.

-----  
RUSNÁK, Miloš, KAŇUK, Ján, KIDOVÁ, Anna, ŠAŠAK, Ján, LEHOTSKÝ, Milan, PÖPPL, Ronald & ŠUPINSKÝ, Jozef. 2020. Channel and cut-bluff failure connectivity in a river system: Case study of the braided-wandering Belá River, Western Carpathians, Slovakia. In: Science of The Total Environment. Vol. 733, Art. No. 139409.

-----  
FECISKANIN, Richard & MINÁR, Jozef. 2020. An optimization of triangular network and its use in DEM generalization for the land surface segmentation. In: Geomorphometry 2020: Conference Proceedings (Perugia, Italy). Eds. M. Alvioli, I. Marchesini, L. Melelli & P. Guth. Roma: CNR Edizioni. S. 5-8.

-----  
ŠAŠAK, Ján, GALLAY, Michal, KAŇUK, Ján, HOFIERKA, Jaroslav & MINÁR, Jozef. 2019. Combined use of terrestrial laser scanning and UAV photogrammetry in mapping alpine terrain. In: Remote Sensing. Vol. 11, Art. No. 2154.

-----  
DRĂGUȚ, Lucian, BELGIU, Mariana, POPESCU, George & BANDURA, Peter. 2019. Sensitivity of multiresolution segmentation to spatial extent. In: International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. Vol. 81, s. 146-153.

-----  
DRUGA, Michal & MINÁR, Jozef. 2018. Exposure to human influence – a geographical field approximating intensity of human influence on landscape structure. In: Journal of Maps. 2018, Vol. 14, No. 2, s. 486-493.

-----  
HORÁČEK, Matěj, SAMEC, Pavel & MINÁR, Jozef. 2018. The mapping of soil taxonomic units via fuzzy clustering – A case study from the Outer Carpathians, Czechia. In: Geoderma. Vol. 326, s. 111-122.

-----  
MINÁR, Jozef, BANDURA, Peter, HOLEC, Juraj, POPOV, Anton, GALLAY, Michal, HOFIERKA, Jaroslav, KAŇUK, Ján, DRĂGUȚ, Lucian & EVANS, Ian S. 2018. Physically-based land surface segmentation: Theoretical background and outline of interpretations. In: PeerJ Preprints. 6:e27075v1.

-----  
BANDURA, Peter, MINÁR, Jozef, DRĂGUȚ, Lucian & HARCINÍKOVÁ, Tatiana. 2017. Evaluation of object-based image analysis for morphostructural subdivision of the Western Carpathians. In: Zeitschrift für Geomorphologie, Supplement. Vol. 61, Nr. 2, s. 121-135.

### **Uplatnenie výsledkov projektu**

Segmentácia georeliéfu je významnou súčasťou mnohých štúdií základného aj aplikovaného geovedného výskumu, najčastejšie sa však pritom využívajú expertne založené výrazne subjektívne postupy uplatňované pri tvorbe väčšiny geomorfologických máp. Výsledky nami vyvinutých metód fyzikálne založenej segmentácie sú na jednej strane výrazne kompatibilné s výsledkami tradičných postupov, na strane druhej výrazne zvyšujú mieru objektívnosti (vedeckosti) výsledných geomorfologických máp. Viacmierkovú fyzikálne založenú segmentáciu georeliéfu možno zároveň chápať ako analytický nástroj geomorfologickej analýzy umožňujúci definovať a vyhodnocovať viacero variantov členenia georeliéfu z hľadiska rôznych účelových vlastností. Segmentačné procedúry, ale aj ďalšie originálne vyvinuté postupy geomorfometrickej analýzy majú široké využitie napríklad pri hodnotení prírodných hrozieb a rizík, rôznych prírodných potenciálov, analýze povrchových krajinných procesov a podobne. Výsledky našej analýzy a syntézy definícií a používania rôznych krivostí georeliéfu boli okamžite po publikovaní použité v aktualizácii geomorfometrického modulu v ArcGIS – najpoužívanejšom geografickom informačnom systéme vo svete.

### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku**

**(max. 20 riadkov)**

Všetky hlavné, ako aj čiastkové ciele projektu boli v zásadných rysoch naplnené. S použitím objektovo založenej analýzy obrazu (OBIA) boli vyvinuté originálne metódy fyzikálne založenej elementárnej a morfoštruktúrnej segmentácie georeliéfu. Pre oba typy segmentácie sme analyzovali a definovali hierarchické systémy vstupných geomorfometrických charakteristík, pričom veľmi významným špecifickým výstupom tejto analýzy bolo utvorenie nového komplexného systému definícií a interpretácií krivostí georeliéfu. Na základe definície a analýzy potenciálnej gravitačnej energie na svahu, ktorá je k dispozícii pre tok materiálu po ňom, sme ako významný teoretický konštrukt definovali index ISED (index nerovnováhy svahovej energie), ktorý môže byť použitý napr. pre identifikáciu nerovnovážnych foriem reliéfu, ako sú ľadovcové morény alebo dôsledky orbovej erózie. Vysoko presné digitálne modely reliéfu (DMR), ktoré sme utvorili pre vybrané územia, nám umožnili testovať metódy elementárnej segmentácie a analyzovať vzťahy medzi georeliéfom a pôdami. Použili sme pri tom originálny metodický postup kombinujúci pozemné laserové skenovanie (TLS) a blízku fotogrametriu z dronov (UAV). Vyvinuli sme novú metódu generalizácie DMR založenú na optimalizácii trojuholníkových sietí a testovali rôzne metódy hľadania optimálnej úrovne generalizácie pre potreby segmentácie georeliéfu. Našli sme spôsob ohodnotenia fuzzy charakteru výsledných objektov fyzikálne založenej elementárnej segmentácie (ich afinity k teoreticky ideálnym typom elementárnych foriem), ktorý môže byť významnou súčasťou geomorfologickej analýzy vedúcej k tvorbe výsledných detailných geomorfologických máp. Morfoštruktúrna fyzikálne založená segmentácia umožňuje tiež utvárať špecifické analytické a interpretačné nástroje ako je napr. nami definovaný a testovaný index topografickej rovnováhy (steady state) ISS. Schopnosť ISS rozlíšiť rôzne vývojové štádiá georeliéfu sme dokumentovali na príklade Západných Karpát a Álp. Pri analýze vzťahov medzi georeliéfom a pôdami sme vyvinuli novú metódu mapovania pôdnych taxonomických jednotiek pomocou fuzzy zhukovania a definovali nové geomorfometrické charakteristiky schopné identifikovať efekt orbovej erózie. Definovali sme aj novú riadiacu silu zmien krajiny pokrývky (vystavenie vplyvom ľudských aktivít), ktorú sme s úspechom testovali na území Slovenska. Naše teoreticko-metodické inovácie boli tiež úspešne využité pre modelovanie dlhodobého vývoja reliéfu a pomohli definovať systém neotektonických blokov Podtatranskej kotliny ako aj odhaliť prejavy zlomovej aktivity na úpätí Tatier po poslednom glaciálnom maxime. Príkladom vyhodnotenia geomorfologickej bilancie materiálu v rámci projektu sú výsledky časových sérií terestrického laserového skenovania nárazového brehu divočiakej rieky Belá, využité pre odhad objemových zmien na tomto brehu. Príkladom významného vedľajšieho efektu riešenia projektu je metodická štúdia všeobecne hodnotiacia citlivosť viacmierkovej segmentácie pomocou OBIA na priestorový rozsah spracovávaného územia.

**Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)**

All main, as well as partial objectives of the project were basically fulfilled. Original methods of physically-based elementary and morphostructural segmentation of land surface were developed, using OBIA (Object-Based Image Analysis). For both cases, a hierarchical system of input geomorphometric variables was analyzed and defined. A new comprehensive system of definition and interpretation of land surface curvatures is an important specific output related to it. An index of slope energy disequilibrium (ISED) is an important theoretical construct resulting from the definition and analysis of potential gravity energy of mass flows on the slope and can be used for the identification of non-equilibrium landforms as glacial moraines or effect of tillage erosion. A creation of high-resolution digital elevation models (DEMs) of selected study areas enables to test the method of elementary segmentation and relationships between soils and topography. A novel methodological approach based on the combined use of terrestrial laser scanning (TLS) and close-range photogrammetry from an unmanned aerial vehicle (UAV) was developed. A new method of DEM generalization based on optimization of triangular network and set of methods looking for optimal generalization level for the land surface segmentation was developed and tested. A developed method for the determination of a fuzzy character of resultant objects of physically-based elementary segmentation (their affinity to the ideal theoretical types of elementary forms) is a tool for geomorphological analysis and construction of consequent detailed geomorphological maps. The morphostructural physically-based segmentation

offers specific analytical and interpretational tools as e.g. index of (topographic) steady state (ISS) that was developed and tested. ISS can distinguish various development stages of georelief as documented on the example of the Western Carpathians and Alps. Analyzing relations between landforms and soils, a new method of mapping of soil taxonomic units via fuzzy clustering was developed and new geomorphometric variables identifying the effect of tillage erosion were defined. A new driving force of land cover changes (exposure to human influence) was defined and successfully tested (in Slovakia) too. Our theoretical and methodological innovations were used also for modelling of long-term development of landscape and help to reveal e.g. a system of neotectonic blocks of the Podtatranská kotlina basin and a post-Last Glacial Maximum faulting on the Tatra Mts. foothill. An example of evaluation of the geomorphological mass balance in the project are results of terrestrial laser scanning time-series of cut-bluff slope surface of the braided-wandering Belá River, used to estimate volume changes of the scarp. A general evaluation of the sensitivity of multiresolution segmentation in OBIA to the spatial extent of analyzed territory is an example of the important side effect of the project solution.