

## MODELLING THE UNCERTAINTY OF SLOPE ESTIMATION FROM LIDAR-DERIVED DEM AND ERROR DEPENDENCIES: A CASE STUDY FROM LARGE-SCALED AREA IN CZECH REPUBLIC

Ivan MUDRON<sup>1</sup>, Michal PODHORANYI<sup>2,3</sup>, Juraj CIRBUS<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geoinformatics, Faculty of Mining and Geology, VSB-TU OSTRAVA, 17. Listopadu 15/2172, 70833, Ostrava, Česká Republika, [ivan.mudron@vsb.cz](mailto:ivan.mudron@vsb.cz), [juraj.cirbus@vsb.cz](mailto:juraj.cirbus@vsb.cz)

<sup>2</sup> IT4Innovation Centre of Excellence, VSB-TU OSTRAVA, 17. Listopadu 15/2172, 70833, Ostrava, Česká Republika, [michal.podhoranyi@vsb.cz](mailto:michal.podhoranyi@vsb.cz)

<sup>3</sup> Katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta, Ostravská Univerzita, Chittussiho 10, 71000, Ostrava, Česká Republika

### Abstrakt

Táto práca zhŕňa metódu a výsledky modelovania chýb a analýzu šírenia chýb vo výpočte sklonov z DMR získaných LIDAR-om v skúmanej lokalite okolia sútoku riek Olše a Stonávka. V terénnych analýzach výstupy uvedenej analýzy sú vždy funkciou vstupu. Na generovania pola výškových chýb boli použité dve rozdielne metódy podľa vstupných dát. Modelované chyby v nadmorských výškach následne vstupovali do analýzy šírenia chýb. Hlavným cieľom práce bolo tak ako aj poukázanie na význam kvality vstupných dát vo výpočte sklonov a odhad širenej chyby z nadmorských výšok v sklonoch tak aj identifikácia chýb v DMR a ich dopad. Závislosti chýb boli vyhodnotené hlavne pre lepší odhad chyby v sklonoch. V simuláciách boli použité 4 vstupné DMR s rozlíšením 0,5, 1, 5 a 10 metrov s RMSE chybou do 0,317 metra (10 m DMR). Všetky DMR boli získané z mračna bodov získaných LIDAR metódou zberu dát. Šírenie chýb bolo modelované pomocou stochastickej simulácie Monte Carlo s 250 iteráciami. Článok sa zameriava na šírenie chýb z vysoko presných vstupných dát na malom území. RMSE chyba bola získaná v prvom prípade z dát získaných terénnym prieskumom (RTK GPS) a v druhom prípade z porovnania dvoch kvalitatívne rozdielných DMR. V prvom prípade sa vypočítali chyby vo výškach pomocou náhodného generátora chýb bez autokorelácie chýb. V druhom prípade sa s pomocou semivariogramu namodelovalo autokorelované pole chýb vo výškach. Použitím vhodných štatistík boli odvodené výsledky simulácie a overené stanovené hypotézy. Tak ako sa očakávalo chyby v sklonoch sú vyššie s zvyšujúcou sa chybou v nadmorských výškach. Tiež závislosti chýb od vypočítaných sklonov boli preskúmané, kde sa potvrdila závislosť chýb na sklonoch. Na druhej strane geológia nemala žiaden vplyv na chybu v sklonoch. Chyby namodelované bez autokorelácie nevedú vo väčšine prípadov k štatisticky významnej odchýlke. Vzhľadom však k rozmiestneniu chýb v priestore (vysoká autokorelácia, zamietnutie normálneho rozdelenia pre vysokú špicatosť a extrémne hodnoty) nie je táto metóda vhodná. Napriek tomu dáva dobrú možnosť nahliadnutia do očakávanej chyby v sklonoch a nadmorských výškach.

**Kľúčové slová:** Neistoty, Šírenie chýb, simulácia Monte Carlo, LIDAR-ové DMR, Sklony.

### Abstract

This paper summarizes the approach and results of error modelling and propagation analyses in the Olše and Stonávka confluence area. In terrain analyses the outputs of the aforementioned analysis are always a function of input. Two approaches have been used to model errors of elevation, which were subsequently propagated in slope estimation. The main goal solved in this research is as well as to show the importance of input data in slope estimation and slope error expectation as the DEM error identification and its consequences. Dependencies have been investigated also to achieve better prediction of slope errors. Four different digital elevation model (DEM) resolutions (0.5, 1, 5 and 10 meters) were examined with Root Mean Square Error (RMSE) rating up to 0.317 meters (10 m DEM). They all originate in LIDAR survey. In the analyses was performed a stochastic Monte Carlo simulation with 250 iterations. Article targets the error propagation for large-scaled area using high quality input DEM and Monte Carlo method. The DEM uncertainty (RMSE) was obtained by samplings and ground research (RTK GPS) and from subtraction of two DEMs. According to empirical error distribution it was used semivariogram to model spatially autocorrelated uncertainty in elevation. Second procedure modelled the uncertainty without autocorrelation using random

$N(0, RMSE)$  error generator. Statistical summaries were drawn to investigate the expected hypothesis. As expected; the error in slopes is increased with the vertical error in input DEM. According to similar studies using different DEM input data, high qualitative LIDAR input data decreases the output uncertainty. Errors without spatial autocorrelation do not result to greater variance in resulting slope error. In this case; although the slope error results (comparing random uncorrelated and empirical autocorrelated error fields) did not showed statistical significant difference, the input elevation error pattern has not been normally distributed and therefore the random error generator realization is not suitable interpretation of true state of elevation errors. The normal distribution was rejected because of the high kurtosis and extreme values (outliers). On the other side it can show an important insight into expected elevation and slope error. Geology does not influence the slope error in the study area.

**Keywords: Uncertainty, Error propagation, Monte Carlo simulation, LIDAR-derived DEM, Slope estimation.**