

UDK 528.422

## SKAITMENINIŲ RELJEFO MODELIŲ TIKSLUMO SĄSAJŲ SU MODELIAVIMO PARAMETRAIS IR RELJEFO MORFOMETRINĖMIS SAVYBĖMIS REGRESINĖ ANALIZĖ

Aušra Kumetaitienė, Algimantas Zakarevičius

*Geodezijos ir kadastro katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,  
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva,  
el. paštas: a.kumetaitiene@ivpk.lt, algimantas.zakarevicius@ap.vtu.lt*

*Įteikta 2006 02 09, priimta 2006 06 09*

**Santrauka.** Nagrinėjami regresiniai modeliai, apibūdinantys sąsajas tarp reljefo modelių tikslumo, modeliavimo parametru ir reljefo morfometrinių savybių. Taikant statistinės analizės metodus nustatyta, kad modelio tikslumas didėja, mažinant lastelę ir atstumą tarp taškų. Atstumų tarp taškų įtaka tikslumui apie 10–15 % didesnė negu lastelės didumas. Ląstelės didumas ir atstumas tarp taškų mažesnės įtakos turi esant mažam reljefo kintamumui ir didesnės, kai reljefo kintamumas didelis. Sudaryti regresiniai modeliai, apibūdinantys skirtingais metodais gautų reljefo modelių tikslumo priklausomybę nuo modeliavimo parametru ir reljefo morfometrinių rodiklių. Regresijos rezultatai faktinius tikslumo rodiklius atitinka 81–83 %. Didžiausia regresijos rezultatų ir faktinių tikslumo rodiklių neatitikimo sklaida būdinga sudėtingiems morfometrinių reljefo savybių arealams. Todėl, norint gauti įvairių reljefo morfometrinių rodiklių zonų vienodesnį reljefo modelio tikslumą, būtina mažinti teritorijų, kurių morfometrinių rodiklių indeksai didesni, lasteles ir atstumus tarp aukščių taškų. Šią išvadą patvirtina ir regresinio modelio dispersinės analizės rezultatai.

**Prasminiai žodžiai:** skaitmeninis reljefo modelis, modeliavimo parametrai, reljefo morfometrines savybės, statistinė analizė.

### 1. Įvadas

Sprendžiant geostatistinius uždavinius, tenka naudotis regionuotais duomenimis, kurių stochastinės savybės yra teritorijos geomorfologinių rodiklių funkcijos. Šias savybes lemia paviršiaus morfometriniai ypatumai. Reljefo paviršiui modeliuoti taikomi kriginio, splaino, svorinis [1, 2] metodai teoriškai pagrįsti atsitiktinių dydžių statistine analize. Kadangi geostatistinių matavimų duomenų savybes lemia teritorijos geomorfologiniai ypatumai, ne visur vienodai tinka vieni ar kiti modeliavimo metodai bei modeliavimo algoritmu parametrai. Dėl didelės žemės paviršiaus reljefo savybių įvairovės kokybišką reljefo modelį galima sudaryti tik diferencijuotai taikant tam tikrus modeliavimo metodus bei tų metodų parametrus, įvertinus regioninius geostatistinių duomenų ypatumus. Norint iširti standartinių nuokrypių pasiskirstymo skaitmeninio reljefo modelio (toliau – SRM) paviršiuje dėsningumus, galima taikyti regresinę analizę [3], nustatant skaitmeninių reljefo modelių tikslumo sąsajas su modeliavimo parametrais ir reljefo morfometrines savybėmis.

Šio darbo tikslas – remiantis regresine analize nustatyti SRM tikslumo priklausomybę nuo modeliavimo parametru ir reljefo morfometrinių savybių. Pradiniai duomenys regresinei analizei atlikti – standartinių nuokrypių įverčiai, gauti pagal SRM, sudarytus kriginio, splaino ir svoriniu metodais, ir eksperimentinės teritorijos paviršiaus morfometrines charakteristikos [4, 5].

### 2. Tyrimo metodika

Regresinių modelių lygčių koeficientų įverčiai gaunami, taikant apskaičiuotus standartinių nuokrypių įverčius ir reljefą apibūdinančias morfometrines charakteristikas, reljefo modeliavimo parametru skaitines reikšmes. Paprasčiausias yra linijinis regresinis modelis [6]:

$$\sigma = \beta X + \varepsilon, \quad (1)$$

čia  $\sigma$  – išmatuotų standartinių nuokrypių įverčių skaitinė reikšmė;  $X$  – teritorijos morfometrinių charakteristikų, modeliavimo parametru skaitinių reikšmių vektorius;  $\beta$  – regresinio modelio lygties koeficientų matrica;  $\varepsilon$  – atsitiktinių paklaidų vektorius.

Standartiniai nuokrypiai ir reljefo morfometrines charakteristikos turi būti nustatytos tuose pačiuose taškuose.

Regresinio modelio koeficientai apskaičiuojami mažiausiųjų kvadratų metodu:

$$a = (X^T X)^{-1} X^T \sigma. \quad (2)$$

Empiriškai nustatytas regresijos modelis bus:

$$\bar{\sigma} = aX. \quad (3)$$

Regresinio modelio ir matavimo rezultatų atitiktis gali būti tikrinama, taikant determinacijos koeficientą  $R^2$  ir Fišerio  $F$  statistiką. Determinacijos koeficiento

$$R^2 = \frac{a^T X^T \sigma - n\bar{\sigma}^2}{\sigma^T X - n\bar{\sigma}^2} \quad (4)$$

kitimo ribos –  $0 \leq R^2 \leq 1$ , jis rodo regresinio modelio efektyvumą. Kuo determinacijos koeficientas artesnis vienetui, tuo regresinis modelis geriau atitinka matavimo rezultatus. Determinacijos koeficientą padauginus iš 100, gaunamas procentais išreikštas rodiklis, rodantis, kokią išmatuotų dydžių dalį įvertina regresijos modelis.

Determinacijos koeficiento taikymas modelio atitikimui nustatyti yra patogus ir aiškus būdas. Didžiausias jo trūkumas yra tai, kad neįvertinama išvadų apie atitikimą tikimybė. Šį trūkumą ištaiso ir determinacijos koeficientą papildo dispersinės analizės pagrindu gauta Fišerio statistika:

$$F = \frac{(a^T X^T \sigma - n\bar{\sigma}^2)(n-m-2)}{(\sigma^T \sigma - a^T X^T \sigma)(m-1)}, \quad (5)$$

čia  $n$  – matavimų (diskrečiųjų taškų) skaičius;  $m$  – regresinio modelio parametrų skaičius.

Statistika  $F$  turi ir  $k_2 = n - m - 2$  laisvės laipsnius.

Jeigu  $F > F_{q(k_1, k_2)}$ , tai su tikimybe  $p = 1 - q$  galima teigti, kad regresinis modelis atitinka išmatuotuosius dydžius. Pagal šiuos duomenis įvertinant regresinio modelio lygties koeficientus, gaunamas regresinis modelis:

$$\sigma = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n, \quad (6)$$

čia  $a_0, a_1, \dots, a_n$  – regresijos lygties koeficientai;  $X_1, X_2, X_n$  – nepriklausomieji kintamieji.

### 3. Tyrimų objektas

#### Modeliavimo teritorijos pasirinkimas

Skaitmeniniam reljefo modeliui sudaryti ir jo tikslumui įvertinti buvo parinkta nevienodo reljefo Šeškinės ozo Vilniuje teritorija. Taškų aukščiai išmatuoti stereofotogrametriniu prietaisu A8. Matavimai atlikti 121,86 km<sup>2</sup> plote. Stereofotogrametrinių matavimų privalumas – galimybė išdėstyti taškus pagal poreikį bei šių matavimų tikslumas (vidutinė kvadratinė paklaida – 0,14 m) [7]. Atsižvelgiant į reljefo situaciją, pradiniai taškai išdėstyti taip, kad būtų akivaizdžios svarbiausios reljefo savybės. Stereofotogrametriškai išmatuoti taškai, atsižvelgiant į jų geografinę padėtį, padalyti į du masyvus. Kiekvienam masyvui skirta po 2844 taškus. Taškai išdėstyti taip, kad teiktų būdingų reljefo vietų charakteristiką. Pirmasis masyvas buvo panaudotas skaitmeniniam reljefo modeliui sudaryti, antrasis – šio modelio tikslumui įvertinti.

Skaitmeninių reljefo modelių tikslumo analizė atlikta, skaičiuojant standartinio nuokrypio įvertį  $\sigma$  pagal formulę:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (H_i - \bar{H})^2} = \sqrt{\frac{(H_1 - \bar{H})^2 + (H_2 - \bar{H})^2 + \dots + (H_n - \bar{H})^2}{n-1}}, \quad (7)$$

čia  $n$  – aukščių taškų skaičius;  $H_i$  – taško aukštis, apskaičiuotas taikant atitinkamo tipo variogramą;  $\bar{H}$  – stereofotogrametriškai išmatuotas taško aukštis.

#### Laštelės dydžio ir atstumo tarp gretimų taškų įvertinimas

Modeliuojant reljefą, svarbu parinkti optimalius SRM laštelės matmenis. Nuo laštelės matmenų priklauso reljefo modeliavimo ir duomenų apdorojimo sparta. Laštelės matmenis galima pasirinkti atsižvelgiant į poreikį, kam bus naudojamas reljefo modelis. Norint rasti SRM tikslumo priklausomybę nuo laštelės matmenų ir atstumo tarp pradinių duomenų taškų, šių taškų aibė buvo palaipsniui skaidoma į poaibius, taip didinant atstumus tarp pradinių duomenų taškų. Suskaidyti pradinių duomenų poaibiai buvo naudojami sudarant SRM, pasirinkus skirtingus laštelės matmenis.

Sudarant skaitmeninį reljefo modelį krigingo, splaino ir svoriniu metodais iš taškų, tarp kurių vidutinis atstumas didintas nuo 7,7 m iki 26,6 m, laštelės matmenys pasirinkti nuo 1×1 m iki 35×35 m. Vidutinis atstumas tarp taškų skaičiuotas iš 4845 tyrimui naudotų taškų. Tyrimo metu gautų reljefo modelių tikslumas buvo vertinamas, atsižvelgiant į fotogrametriškai išmatuotus taškų aukščius. Apskaičiuoti standartinių nuokrypių įverčiai palyginti tarpusavyje.

#### Paviršiaus morfometrinių savybių nustatymas

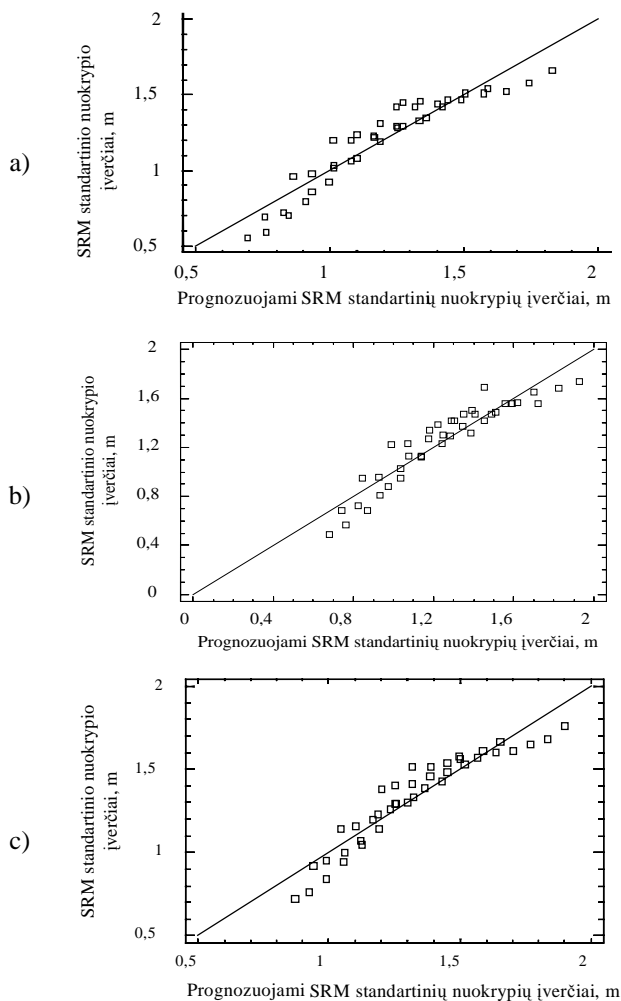
Skaitmeninis reljefo modelis buvo suskirstytas į tam tikras zonas, skaičiuojant pagrindines reljefo charakteristikas – šlaitų nuolydžius ir reljefo kintamumą (1 lentelė). Pagrindinių reljefo charakteristikų nustatymo rezultatams supaprastinti ir apibendrinti nagrinėjamas reljefas sudalytas į morfometrines zonas: zonos žymuo – dviejų skaitmenų kodas, kurio pirmasis skaitmuo (1–4) rodo šlaitų nuolydį, antrasis (1–5) – reljefo kintamumą (1 lentelė) [5]. Šis skirstymas atliktas, taikant *ESRI ArcGIS* programos modulį *Spatial Analyst*.

**1 lentelė.** Reljefo nuolydžio ir kintamumo klasifikavimas  
**Table 1.** Relief slope and variability classification

Šlaito nuolydžio kodas	Šlaito nuolydis	Reljefo kintamumo kodas	Reljefo kintamumas
1	0°–2°	1	1–5
2	2°–8°	2	5–10
3	8°–16°	3	10–15
4	16°–60°	4	15–20
		5	20–25

#### 4. Skaitmeninio reljefo modelio kokybės regresinė analizė, įvertinant ląstelės matmenis ir atstumą tarp taškų

Priklausomybei tarp skaitmeninio reljefo modelio standartinio nuokrypio skaitinės reikšmės ir ląstelės matmenų bei atstumo tarp pradinių duomenų aukščių taškų įvertinti sudarytos kriginio, splaino ir svoriniu metodais gautų SRM regresijos lygtys-modeliai (1 lentelė) [8]. Kadangi vertinant nebuvo išskirtos morfometrines zonas, regresijos lygtyse yra vienas priklausomasis (standartinio nuokrypio įvertis  $\sigma$ ) ir du nepriklausomieji kintamieji:  $X_1$  – ląstelės matmenys,  $X_2$  – atstumas tarp taškų.



**1 pav.** Regresijos rezultatų, įvertinant ląstelės matmenis ir atstumus tarp aukščių taškų, skaičiavimas: a) kriginio metodas; b) splaino metodas; c) svorinis metodas  
**Fig 1.** Calculation of regression results, evaluating by cell and distance between the high points: a) kriging method; b) spline method; c) IDW method

Kriginio metodu sudaryto SRM regresinis modelis (1 a lentelė):

$$\sigma = 0,450 + 0,017 \cdot X_1 + 0,029 \cdot X_2, \quad (8)$$

čia  $X_1$  – ląstelės matmenys,  $X_2$  – atstumas tarp taškų.

Kadangi  $F > F_{q(k_1, k_2)}$ , tai su tikimybe  $p = 0,99$  galima teigti, kad regresinis modelis atitinka matavimo rezultatus ir juo aprašoma iki 89 % visų reikšmių (1 a lentelė). Likusios 11 % reikšmių yra ta išmatuotų dydžių dalis, kurių neatspindi regresinis modelis, t. y. kurioms negalioja regresinio modelio prognozuojamų standartinių nuokrypių priklausomybė nuo SRM ląstelės matmenų ir atstumo tarp pradinių duomenų taškų.

Su tikimybe  $p = 0,99$  galima teigti, kad kriginio metodu sudaromo SRM tikslumas teoriškai priklauso nuo ląstelės matmenų ir atstumų tarp aukščių taškų. Tai patvirtina ir 1a paveikslas duomenys.

Splaino metodu sudaryto SRM regresinis modelis (1 b lentelė):

$$\sigma = 0,440 + 0,021 \cdot X_1 + 0,028 \cdot X_2. \quad (9)$$

Su tikimybe  $p = 0,99$  galima teigti, kad regresinis modelis atitinka matavimo rezultatus ir juo aprašoma iki 87,5 % visų reikšmių (1 b lentelė). Likusios 12,5 % reikšmių yra ta išmatuotųjų dydžių dalis, kurių neatspindi regresinis modelis, t. y. kurioms negalioja regresinio modelio prognozuojama standartinių nuokrypių priklausomybė nuo SRM ląstelės matmenų ir atstumo tarp pradinių duomenų taškų.

Kaip matyti iš 1 b pav., sudarant SRM splaino metodu, egzistuoja tiesinė priklausomybė tarp ląstelės matmenų, atstumo tarp taškų ir standartinio nuokrypio įverčio.

Svoriniu metodu sudaryto SRM regresinis modelis (1 c lentelė):

$$\sigma = 0,622 + 0,013 \cdot X_1 + 0,031 \cdot X_2. \quad (10)$$

Su tikimybe  $p = 0,99$  galima teigti, kad regresinis modelis atitinka matavimo rezultatus ir juo aprašoma iki 89 % visų reikšmių. Kitos 11 % reikšmių yra ta išmatuotųjų dydžių dalis, kurių regresinis modelis neatspindi, t. y. kurioms negalioja regresinio modelio prognozuojamų standartinių nuokrypių priklausomybė nuo SRM ląstelės matmenų ir atstumo tarp pradinių duomenų taškų.

Tai gerai atspindi regresijos rezultatų sklaidos grafinis vaizdas (1 c pav.).

Įvertinus kriginio, splaino ir svoriniu metodais sudarytų SRM statistinius skaičiavimus, galima teigti, kad kriginio metodas yra tiksliausias ir tinkamiausias SRM sudaryti.

#### 5. Ląstelės dydžio, atstumo tarp gretimų taškų bei morfometrinių reljefo savybių įtaka standartinio nuokrypio įverčio reikšmei

Vertinant priklausomybę tarp standartinio nuokrypio skaitinės reikšmės bei ląstelės dydžio, atstumo tarp pradinių duomenų aukščių taškų ir SRM morfometrinių charakteristikų skaitinių reikšmių, skaidant teritoriją į morfometrines zonas sudarytos kriginio, splaino ir

svoriniu metodais gautų SRM regresijos lygtys [8]. Šiuo atveju regresijos lygtyse yra vienas priklausomasis parametras (standartinio nuokrypio įvertis) ir keturi nepriklausomieji parametrai:  $X_1$  – ląstelės dydis,  $X_2$  – atstumas tarp taškų,  $X_3$  – šlaito nuolydis ir  $X_4$  – reljefo kintamumas (2 lentelė).

Krigingo metodu sudaryto SRM regresinis modelis (3 a lentelė):

$$\sigma = -0,30 + 0,02 \cdot X_1 + 0,02 \cdot X_2 + 0,09 \cdot X_3 + 0,03 \cdot X_4, \quad (11)$$

čia  $\sigma$  – standartinio nuokrypio įvertis;  $X_1$  – SRM ląstelės matmenys;  $X_2$  – atstumas tarp pradinių duomenų taškų;  $X_3$  – reljefo nuolydžio vidutinė skaitinė reikšmė;  $X_4$  – reljefo kintamumo vidutinė skaitinė reikšmė.

Su tikimybe  $p = 0,99$  galima teigti, kad regresinis modelis atitinka matavimo rezultatus ir juo aprašoma iki 83 % visų reikšmių. Kitos 17 % reikšmių yra ta išmatuotų dydžių dalis, kurių regresinis modelis neapima, t. y. kurioms negalioja regresiniu modeliu prognozuojamų standartinių nuokrypių priklausomybė nuo SRM ląstelės matmenų ir atstumo tarp pradinių duomenų taškų.

**2 lentelė.** Regresijos lygčių dispersinė analizė  
**Table 2.** Disperse analysis of regression equation

	Lygties koeficientas	Koeficiento reikšmė	Standartinis nuokrypis	Stjudento $T$ statistika	$F$ statistika	Patikimumo lygmuo	Determinacijos koeficientas, %
a)	$a_0$	0,450	0,047	9,5	144,42	$q < 0,001$	88
	$a_1$	0,017	0,001	11,8			
	$a_2$	0,029	0,002	12,2			
b)	$a_0$	0,440	0,055	8,0	129,61	$q < 0,001$	87
	$a_1$	0,021	0,002	12,5			
	$a_2$	0,028	0,003	10,2			
c)	$a_0$	0,622	0,043	14,4	149,42	$q < 0,001$	88
	$a_1$	0,013	0,001	10,1			
	$a_2$	0,031	0,002	14,0			

**Pastaba.** Regresijos lygties parametrai įverčiai: a) krigingo metodo; b) splaino metodo; c) svorinio metodo  
Estimate parameters of regression equation: a) kriging method; b) spline method; c) IDW method

**3 lentelė.** Regresijos lygčių dispersinė analizė  
**Table 3.** Disperse analysis of regression equation

	Lygties koeficientas	Koeficiento reikšmė	Standartinis nuokrypis	Stjudento $T$ statistika	$F$ statistika	Patikimumo lygmuo	Determinacijos koeficientas, %
a)	$a_0$	-0,30	0,23	-1,27	196,17	$q < 0,001$	83
	$a_1$	0,02	0,01	4,43			
	$a_2$	0,02	0,01	1,98			
	$a_3$	0,09	0,00	23,11			
	$a_4$	0,03	0,01	2,26			
b)	$a_0$	-0,62	0,34	-1,81	167,60	$q < 0,001$	81
	$a_1$	0,03	0,01	4,17			
	$a_2$	0,03	0,02	1,97			
	$a_3$	0,12	0,01	20,87			
	$a_4$	0,05	0,02	2,92			
c)	$a_0$	-0,86	0,42	-2,07	172,02	$q < 0,001$	81
	$a_1$	0,03	0,01	4,19			
	$a_2$	0,04	0,02	2,22			
	$a_3$	0,14	0,01	21,15			
	$a_4$	0,06	0,02	2,93			

**Pastaba.** Regresijos lygties parametrai įverčiai: a) krigingo metodo; b) splaino metodo; c) svorinio metodo  
Estimate parameters of regression equation: a) kriging method; b) spline method; c) IDW method

Atlikus kriginio metodu sudaryto SRM, suskaidyto į zonas, daugialypės regresijos rezultatų sklaidos grafinę analizę (2 a pav.), matyti, kad dauguma standartinių nuokrypių įverčių išsidėstę pagal tiesinę priklausomybę, tačiau dalis duomenų nėra tiesiškai priklausomi. Nustatyta, kad didžiausias nuokrypis nuo tiesinės regresijos yra 44 ir 45 zonose. Galima daryti išvadą, kad duomenų nukrypimą nuo tiesinės priklausomybės lemia didelis šlaito nuolydis (>20°) ir reljefo kintamumas (15–25).

Splaino metodu sudaryto SRM regresinis modelis (3b lentelė):

$$\sigma = -0,62 + 0,03 \cdot X_1 + 0,03 \cdot X_2 + 0,12 \cdot X_3 + 0,05 \cdot X_4. \quad (12)$$

Su tikimybe  $p = 0,95$  galima teigti, kad regresinis modelis atitinka matavimo rezultatus ir juo aprašoma iki 81 % visų reikšmių. Kitos 19 % reikšmių yra ta išmatuotų dydžių dalis, kurių regresinis modelis neapima, t. y. kurioms negalioja taikant regresinį modelį prognozuojamų standartinių nuokrypių priklausomybė nuo SRM ląstelės matmenų ir atstumo tarp pradinių duomenų taškų.

Atlikus splaino metodu sudaryto SRM, suskaidyto į zonas, daugialypės regresijos rezultatų sklaidos grafinę analizę (2 b pav.), matyti, kad didžioji dalis standartinių nuokrypių įverčių išsidėstę pagal tiesinę priklausomybę.

Su tikimybe  $p = 0,99$  galima teigti, kad regresinis modelis atitinka matavimo rezultatus ir juo aprašoma iki 82 % visų reikšmių. Kitos 18 % reikšmių yra ta išmatuotų dydžių dalis, kurių regresinis modelis neapima, t. y. kurioms negalioja regresijos lygtimi prognozuojamų standartinių nuokrypių tiesioginė priklausomybė nuo SRM ląstelės matmenų ir atstumo tarp pradinių duomenų taškų bei teritorijos morfometrinių rodiklių.

Ir šiuo atveju didžiausia nuokrypio nuo tiesinės regresijos priklausomybė yra labai skirtingo reljefo teritorijos.

Svoriniu metodu sudaryto SRM regresinis modelis (3 c lentelė):

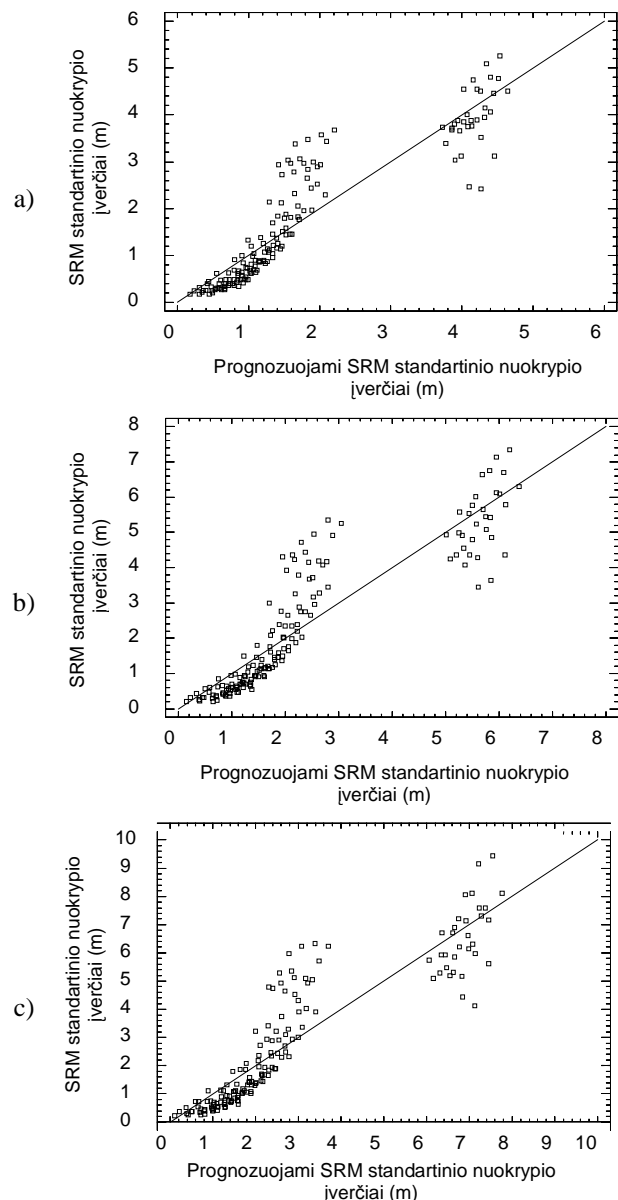
$$\sigma = -0,86 + 0,03 \cdot X_1 + 0,04 \cdot X_2 + 0,14 \cdot X_3 + 0,06 \cdot X_4. \quad (13)$$

Svoriniu metodu sudaryto SRM, suskaidyto į zonas, daugialypės regresijos rezultatų sklaida parodyta 2 c paveiksle. Didžiausias nuokrypis nuo tiesinės regresijos yra 44 ir 45 zonose. Šiose zonose sudėtingas reljefas (didelis reljefo nevienodumas ir nuolydžiai).

Įvertinę kriginio, splaino ir svorinio metodais sudarytų SRM, suskaidytų į zonas, regresinės analizės rezultatus, matome, kad tiksliausias yra kriginio metodu sudarytas SRM. Didžiausios paklaidos yra svorinio metodo. Tačiau visuose methoduose didžiausių nuokrypių nuo regresijos lygtimis aprašytų tikslumo rodiklių yra ten, kur didžiausi vietovės nuolydžiai.

## 6. Išvados

1. Sudarytos regresijos lygtys, apibūdinančios skirtingais metodais gautų reljefo modelių tikslumo



**2 pav.** Regresijos rezultatų sklaida, vertinant ląstelės matmenis, atstumus tarp aukščių taškų ir morfometrinius rodiklius: a) kriginio metodas; b) splaino metodas; c) svorinis metodas

**Fig 2.** Dispersion of regression results, evaluating by cell, distance between the high points and morphometric index: a) kriging method; b) spline method; c) IDW method

tiesinę priklausomybę nuo modeliavimo parametų ir reljefo morfometrinių rodiklių.

2. Skaitmeninių reljefo modelių tikslumas su tikimybe  $p = 0,99$  tiesiškai priklauso nuo modeliavimo metu taikyto ląstelės dydžio ir atstumo tarp aukščių taškų. Faktinis tikslumo rezultatų ir regresijos lygtimis prognozuotų rezultatų tikslumas atitinka 87–89 %.

3. Ištyrus skaitmeninio reljefo modelių tikslumo priklausomybę ne tik nuo reljefui modeliuoti taikyto ląstelės dydžio, bet ir nuo reljefo morfometrinių charakteristikų, nustatyta, kad tiesinės priklausomybės hipotezė patvirtinama su tikimybe  $p = 0,99$ . Regresijos bei faktinių tikslumo rodiklių atitikimas – 81–83 %.

4. Didžiausia regresijos rezultatų ir faktinių tikslumo rodiklių neatitikimo sklaida yra sudėtingų morfometrinių reljefo savybių arealuose, kur šlaitų nuolydžiai didesni nei 16° (šlaito nuolydžio kodas didesnis nei 3) bei reljefo kintamumo rodiklių skaitinės reikšmės didesnės nei 15 (reljefo kintamumo kodas didesnis nei 3).

5. Teritorijų, kurių nuolydžio arba reljefo kintamumo kodai didesni nei 3, sudaromų skaitmeninių reljefo modelių tikslumas, taikant tuos pačius modeliavimo parametrus, yra iki 2–3 kartų mažesnis nei kitų teritorijų.

6. Norint gauti įvairių reljefo morfometrinių rodiklių zonų vienodesnį reljefo modelio tikslumą, reikia teritorijų, kurių didesni morfometrinių rodiklių indeksai, mažinti laštelių dydžius ir atstumus tarp aukščių taškų.

7. Rekomenduojama laštelių dydžius ir atstumus tarp aukščių taškų keisti atvirkščiai proporcingai morfometrinių rodiklių indeksams.

## Literatūra

1. Cattle, J. A.; McBratney, A. B. and Minasny, B. Kriging method evaluation for assessing the spatial distribution of urban soil lead contamination. *Journal of Environmental Quality*, No 31, 2002, p. 1576–1588.
2. Du, C. J. An Interpolation method for grid-based terrain modeling. *Computer Journal*, Vol 39, No 10, 1996, p. 837–843.
3. Zakarevičius, A. Investigation of the recent geodynamic processes in the territory of Lithuania (Dabartinių geodinaminių procesų Lietuvos teritorijoje tyrimas). Vilnius: Technika, 2003. 195 p. (in Lithuanian).
4. Kumetaitienė, A. Accuracy analysis of DTM generated using different initial data. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, Vol XXXI, No 3. Vilnius: Technika, 2005, p. 110–114 (in Lithuanian).
5. Kumetaitienė, A. Application of elevation morphometric classification for checking the accuracy of digital surface model. In: International symposium “Modern technologies, education and professional practice in geodesy and related fields”, Nov 3–4, Sofia, Bulgaria, 2005, p. 111–121.
6. Čekanavičius, V.; Murauskas, G. Statistics and its applications (Statistika ir jos taikymai). Vol II. Vilnius: TEV, 2002. 272 p. (in Lithuanian).
7. Chang, K. and Tsai, B. The effect of DEM resolution on slope and aspect mapping. *Cartography and Geographic Information Systems*, Vol 18, No 1, 1991, p. 69–77.
8. Rees, W. G. The accuracy of digital elevation models interpolated to higher resolutions. *International Journal of Remote Sensing*, Vol 21, No 1, 2000, p. 7–20.

---

**Aušra KUMETAITIENĖ.** Assistant. Vilnius Gediminas Technical University. Dept of Geodesy and Cadastre. Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania.

(Ph +370 5 274 4703), e-mail: a.kumetaitiene@ivpk.lt.

Chief specialist. Information society development committee under the Government of the Republic of Lithuania. Electronic Services and Innovations Division. Gedimino pr. 56, LT-01110 Vilnius, Lithuania (Ph +370 5 266 5187, Fax +370 5 266 5180), e-mail: a.kumetaitiene@ivpk.lt.

A graduate of Vilnius Gediminas Technical University (BSc 1998; MSc 2000). Courses in Norway (1997).

Research interests: digital elevation modelling, digital photogrammetry, GIS and multiparameter decision analysis.

---

**Algimantas ZAKAREVIČIUS.** Doctor Habil, Professor. Dept of Geodesy and Cadastre, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania.

(Ph +370 5 274 4701), e-mail: Algimantas.Zakarevicius@ap.vtu.lt.

A graduate of Kaunas Polytechnic Institute (now Kaunas University of Technology), geodetic engineer, 1965. Doctor's degree at Vilnius University, 1973. Dr Habil degree at VGTU, 2000. Member of the Geodetic Commission of Estonia, Latvia and Lithuania. Research training at Geodetic Institute of Norwegian Mapping Authority, 1994. Author of over 130 publications and 3 monographs.

Research interests: investigations of the recent geodynamic processes, formation of geodetic networks.