

SKAITMENINIO RELJEFO MODELIO TIKSLUMO PRIKLAUSOMYBĖ NUO LĄSTELĖS MATMENŲ IR ATSTUMO TARP MODELIAVIMUI NAUDOJAMŲ PRADINIŲ DUOMENŲ TAŠKŲ

Aušra Kumetaitytė

*Geodezijos ir kadastro katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lietuva, el. paštas: a.kumetaityte@ivpk.lt*

[teikta 2005 11 08, priimta 2005 12 14]

Santrauka. Straipsnyje analizuojamas pradinių duomenų tikslumas, padėtis ir tankis, turintys tiesioginės įtakos modeliujamo skaitmeninio reljefo modelio tikslumui. Svarbu gauti kokybiškus aukščių duomenis, kurie atitiktų reljefo modeliui keliamus reikalavimus. Modeliuojant reljefą, svarbu parinkti optimalius skaitmeninio reljefo modelio ląstelės matmenis. Skaitmeninio reljefo modelio tikslumo priklausomybei nuo ląstelės matmenų ir atstumo tarp pradinių duomenų taškų nustatyti atliktas tyrimas, kurio metu taškų aibė palaipsniui suskaidyta į poaibius, taip didinant atstumus tarp pradinių duomenų taškų. Suskaidyti pradinių duomenų poaibiai buvo panaudoti sudarant skaitmeninį reljefo modelį, pasirinkus skirtingus ląstelių matmenis. Įvertinus įvairiais modeliavimo metodais gautus reljefo modelius, nustatyta, kad tiksliausias kriginio metodu sudarytas skaitmeninis reljefo modelis. Mažiau tinka reljefui modeliuoti splainų ir svorinis metodai. Ištyrus ląstelės matmenų ir atstumo tarp taškų įtaką skaitmeninio reljefo modelio tikslumui, nustatyta, kad šie parametrai mažesnės įtakos turi esant mažam reljefo kintamumui ir didesnės, kai reljefas labai kintamas.

Prasminiai žodžiai: skaitmeninis reljefo modelis, ląstelės matmenys, atstumas tarp pradinių duomenų taškų.

1. Įvadas

Norint gauti tikslų skaitmeninį reljefo modelį (SRM), svarbu pasirinkti reikiamo tankumo ir išsidėstymo pradinius duomenis. Modeliuojant paviršių taip pat svarbu parinkti optimalius SRM ląstelės matmenis. Ląstelės matmenis galima pasirinkti atsižvelgiant į poreikį, kam bus naudojamas reljefo modelis. Norint rasti SRM tikslumo priklausomybę nuo ląstelės matmenų ir atstumo tarp pradinių duomenų taškų, atliktas tyrimas, kurio metu taškų aibė palaipsniui suskaidyta į poaibius, taip didinant atstumus tarp pradinių duomenų taškų. Suskaidyti pradinių duomenų poaibiai buvo naudojami sudarant SRM, pasirinkus skirtingus ląstelių matmenis (1 pav.). Skaitmeniniai reljefo modeliai sudaryti kriginio, splainų ir svoriniu metodais [1–4].

2. Tyrimo metodika

Šio darbo tikslas – remiantis Lietuvos teritorijos reljefo sąlygomis atliktais eksperimentiniais tyrimais, nustatyti SRM tikslumo priklausomybes nuo ląstelės matmenų, atstumo tarp taškų, reljefo morfometrinių savybių ir reljefui modeliuoti taikomų metodų. Pradiniai duomenys SRM sudaryti stereofotogrametriniu metodu išmatavus taškų aukščius. Stereofotogrametrinio metodo privalumas – galimybė išdėstyti taškus pagal poreikį bei matavimo tikslumas. Atsižvelgiant į reljefo situaciją, pradinių taškų išdėstymas pasirinktas taip, kad būtų atspindėtos svarbiausios reljefo savybės – šlaito nuolydžiai ir reljefo kintamumas [5]. Taip pat stereodigitalizuojant rankiniu būdu, išvengta augalijos ir

antropogeninių objektų patekimo į matuojamų duomenų aibę.

Taškų aukščiai išmatuoti stereofotogrametriniu prietaisu A8 [6]. Matavimai atlikti Vilniuje 121,86 km² plote Šeškinės ozo teritorijoje. Taškų aukščių matavimo stereomodelyje apriorinė paklaida apskaičiuota pagal prof. Øystein Andersen (1982) siūlomą formulę:

$$m_{\Delta H} = M_B \frac{f}{b} m_{px}, \quad (1)$$

čia M_B – aeronuotraukos mastelio vardiklis (6000); f – aerokameros židinio nuotolis; b – fotografavimo bazė ($b = 92$ mm); m_{px} – horizontaliojo paralakso matavimo prietaisu gauta vidutinė kvadratinė paklaida ($m_{px} \approx 0,012$ mm) $m_{\Delta H} = 0,12$ m.

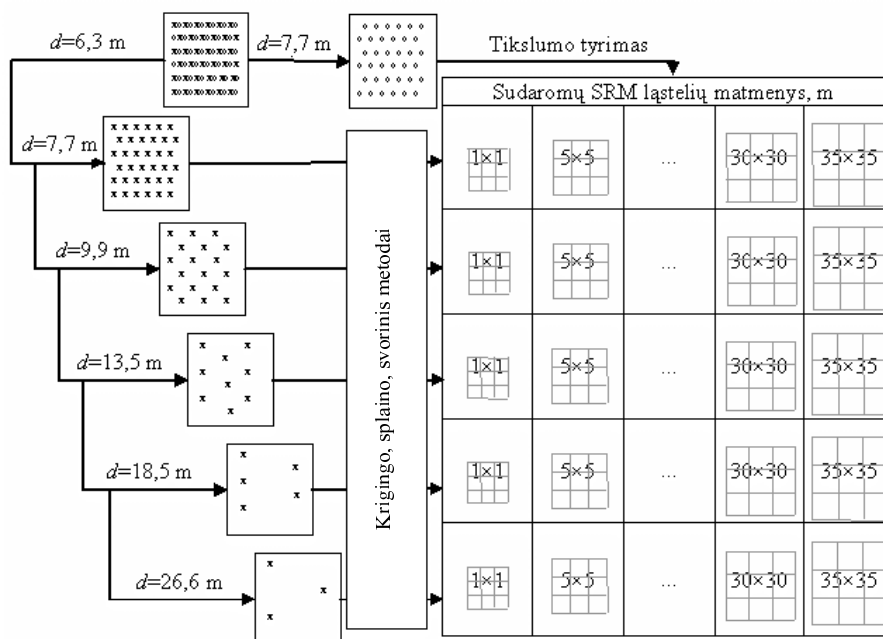
Taškų aukščių tikslumas tirtas: 1) kartojant stereodigitalizavimą; 2) palyginant taškų aukščius su geodezinėmis tų pačių taškų, identifikuotų 1:500 mastelio miesto planuose, aukščiais.

Stereofotogrametriniu metodu išmatuotų taškų aukščių vidutinė kvadratinė paklaida $m_{\Delta h}$ apskaičiuota pagal formulę:

$$m_{\Delta H} = \sqrt{\frac{\sum \Delta H^2}{n-1}}, \quad (2)$$

čia ΔH – taškų aukščių nuokrypiai; n – išmatuotų taškų skaičius.

Taškai parinkti vizualiai vaizduoklyje. Taškų aukščių nuokrypiai skaičiuoti iš stereofotogrametriškai išmatuotų taškų aukščių atimant geodezinius taškų aukščius, nustatytus miesto planuose arba niveliuojant.



1 pav. SRM tikslumo priklausomybės nuo ląstelės matmenų ir atstumo tarp taškų tyrimo schema
Fig 1. The research scheme of DTM accuracy dependence on the dimensions of cell and distance between points

Vidutinė kvadratinė paklaida gauta 0,14 m, todėl šiuo metodu išmatuoti taškų aukščiai buvo naudojami didelio tikslumo SRM sudaryti. SRM sudaryti panaudota 4845 taškų. Turint daug pradinių taškų, ypač svarbu parinkti tinkamus modeliavimo parametrus. Tik tuomet galima tikėtis geriausio rezultato.

Reljefo modelių tikslumas vertinamas naudojant fotogrametriškai išmatuotus taškų aukščius. Skaitmeninių reljefo modelių tikslumo analizė atlikta, skaičiuojant taškų aukščių standartinio nuokrypio įvertį σ pagal formulę:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (H_i - \bar{H})^2} = \sqrt{\frac{(H_1 - \bar{H})^2 + (H_2 - \bar{H})^2 + \dots + (H_n - \bar{H})^2}{n-1}}, \quad (3)$$

čia n – taškų aukščių skaičius; H_i – pasirinktu modeliavimo metodu išmatuotas taško aukštis; $\bar{H}$ – stereo-fotogrametriškai išmatuotas taško aukštis.

Reljefui modeliuoti taikyti krigingo, splainų ir svorinis metodai [2–4]. Skaičiavimai atlikti naudojant *ESRI ArcGIS* programinę įrangą.

Apskaičiuoti taškų aukščių standartinių nuokrypių įverčiai palyginti tarpusavyje.

3. Skirtingais modeliavimo metodais sudaryto SRM tikslumo rezultatų įvertinimas

Skaitmeniniai reljefo modeliai sudaryti iš taškų, tarp kurių vidutinis atstumas – nuo 7,7 m iki 26,6 m, ląstelės matmenys imti nuo 1×1 m iki 35×35 m.

Palyginimo rezultatai parodė, kad SRM tikslumas priklauso nuo vidutinio atstumo tarp taškų bei ląstelės matmenų (1–3 lentelės). Iš gautų rezultatų matyti, kad

egzistuoja tiesinė priklausomybė tarp atstumo bei ląstelės matmenų santykio ir SRM tikslumo.

1 lentelė. SRM, sudaryto krigingo metodu, tikslumas

Table 1. Accuracy analysis of DEM created by kriging method

Ląstelės matmenys (m)	Vidutinis atstumas tarp taškų				
	7,7 m	9,9 m	13,5 m	18,5 m	26,6 m
	Taškų aukščių standartinio nuokrypio įvertis σ (m)				
1×1	0,55	0,69	0,96	1,20	1,42
5×5	0,59	0,72	0,97	1,20	1,42
10×10	0,70	0,79	1,01	1,23	1,44
15×15	0,85	0,92	1,08	1,29	1,47
20×20	1,03	1,06	1,19	1,33	1,51
25×25	1,24	1,22	1,29	1,42	1,52
30×30	1,31	1,28	1,35	1,51	1,58
35×35	1,45	1,46	1,47	1,54	1,66

2 lentelė. SRM, sudaryto splainų metodu, tikslumas

Table 2. Accuracy analysis of DEM created by spline method

Ląstelės matmenys (m)	Vidutinis atstumas tarp taškų				
	7,7 m	9,9 m	13,5 m	18,5 m	26,6 m
	Taškų aukščių standartinio nuokrypio įvertis σ (m)				
1×1	0,49	0,68	0,95	1,22	1,39
5×5	0,57	0,72	0,96	1,23	1,42
10×10	0,68	0,81	1,03	1,27	1,47
15×15	0,88	0,95	1,13	1,29	1,49
20×20	1,13	1,12	1,23	1,32	1,57
25×25	1,34	1,30	1,37	1,47	1,56
30×30	1,42	1,47	1,42	1,56	1,68
35×35	1,50	1,69	1,56	1,65	1,74

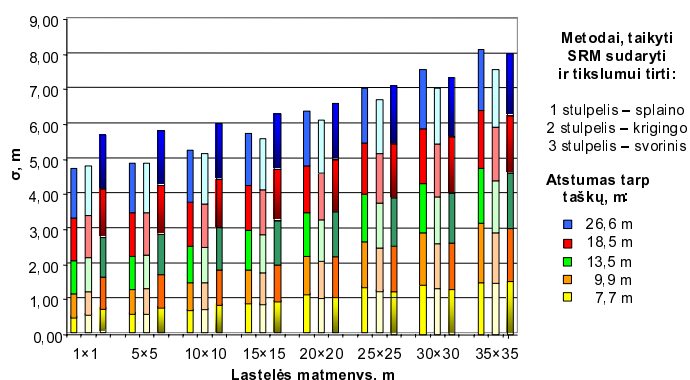
Šis eksperimentas atliktas pasirinkus Šeškinės ozo teritoriją, neišskiriant tam tikrų morfometrinių zonų.

Norint atlikti grafinį skirtingais metodais sudarytų SRM palyginimą, sudarytas grafikas (2 pav.), kuriame į tris grafas surikiuoti splainų, kriginio bei svoriniu metodais gautų SRM standartinių nuokrypių įverčiai, kurių reikšmės priklauso nuo atstumo tarp gretimų taškų ir ląstelės matmenų.

3 lentelė. Skaitmeninio reljefo modelio, sudaryto svoriniu metodu, tikslumas

Table 3. Accuracy analysis of DEM created by IDW method

Ląstelės matmenys (m)	Vidutinis atstumas tarp taškų				
	7,7 m	9,9 m	13,5 m	18,5 m	26,6 m
	Taškų aukščių standartinio nuokrypio įvertis σ (m)				
1×1	0,72	0,92	1,14	1,38	1,54
5×5	0,76	0,95	1,16	1,40	1,56
10×10	0,84	1,00	1,20	1,41	1,57
15×15	0,94	1,05	1,26	1,46	1,60
20×20	1,07	1,14	1,30	1,48	1,61
25×25	1,23	1,29	1,39	1,53	1,65
30×30	1,29	1,33	1,43	1,61	1,68
35×35	1,51	1,51	1,58	1,66	1,76



2 pav. Modeliavimo parametų įtaka skaitmeninio reljefo modelio, sudaryto skirtingais metodais, tikslumui

Fig 2. Influence of modelling parameters on the accuracy of DTM, using different methods

Kaip matyti iš 2 pav., dauguma stulpelių grupių tiksliausiai gauta kriginio metodu.

4. Ląstelės matmenų ir atstumo tarp pradinių taškų įtaka reljefo modelio skirtingų morfometrinių zonų tikslumui

Atliktas tam tikras tyrimas, analizuojant, kokios įtakos ląstelės matmenys ir atstumas tarp pradinių duomenų taškų turi skaitmeninio reljefo modelio tikslumui, atsižvelgiant į skirtingas paviršiaus morfometrines savybes [7–10]. Tam skaitmeninis reljefo modelis suskirstytas į zonas pagal šlaito nuolydį ir reljefo kintamumą (4 lentelė). Pirmasis skaitmuo (1–4) rodo šlaitų nuolydį, antrasis (1–5) – reljefo kintamumą [11].

Norint išvengti perteklinės informacijos ir optimizuoti tyrimus, dalis morfometrinių zonų, kurių charakteristikos panašios, buvo praleista.

4 lentelė. Reljefo nuolydžio ir kintamumo klasifikavimas
Table 4. 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

Sudalijus nagrinėjamą reljefą į morfometrines zonas, kai kuriose iš jų išsidėstė nedidelis taškų skaičius, todėl norint išvengti nepatikimų rezultatų, tyrimams pasirinktos zonos, į kurias pateko pakankamai taškų – t. y. 12–14, 23–25, 33, 34, 44 ir 45 zonos (5 lentelė).

5 lentelė. Skirtingų zonų tikslumui įvertinti naudotų taškų skaičius

Table 5. Summary of number of points used for evaluation accuracy in different zones

Zonos Nr.	Taškų sk.	Zonos Nr.	Taškų sk.	Zonos Nr.	Taškų sk.
12	91	24	895	44	63
13	267	25	461	45	53
14	164	33	29		
23	440	34	38		

Reljefo modelio tikslumas tirtas, naudojant charakteringąsias ląstelių matmenų ir atstumų tarp pradinių duomenų taškų aukščių reikšmes. Taip apdorotų duomenų sumažinta, neprarandant svarbios informacijos apie reljefo modelio tikslumo priklausomybę nuo ląstelės matmenų ir atstumo tarp pradinių duomenų taškų.

Pradiniai duomenys pagal skirtingus atstumus tarp taškų suskirstyti į kelias dalis. Šie taškiniai duomenys taip pat padalyti į zonas, kiekvienai taškų grupei priskiriant visus vienai zonai priklausančius taškus.

Eksperimentiniai SRM suskirstyti į grupes pagal ląstelių matmenis ir atstumus tarp gretimų taškų. SRM reikšmės įrašytos į kontrolinių taškų atributinius duomenis. Gautos aukščių reikšmės palygintos su stereofotogrametriškai išmatuotomis identišku taškų aukščių reikšmėmis [6].

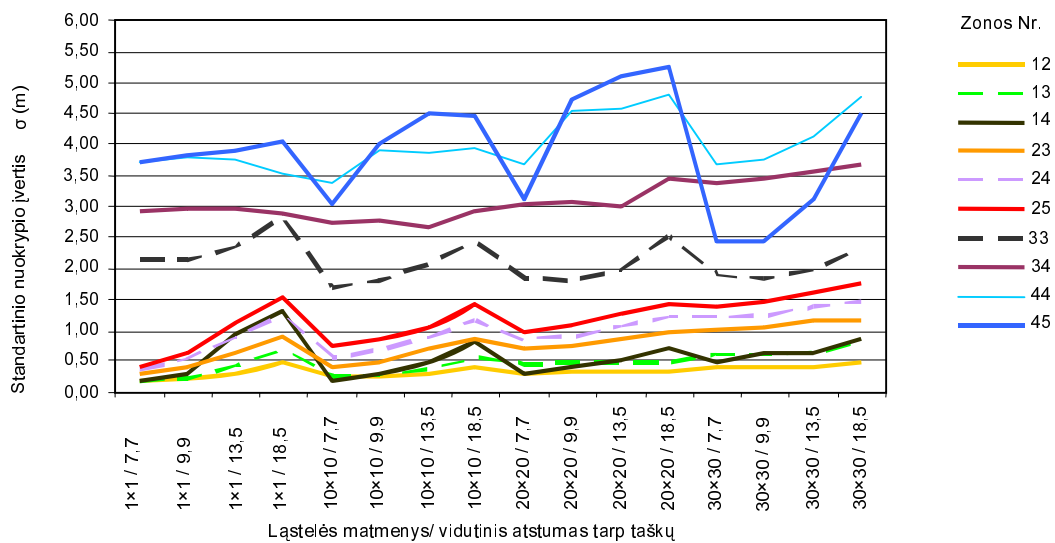
Atlikus rezultatų analizę paaiškėjo, kad SRM tikslumas labiausiai priklauso nuo vidutinio atstumo tarp gretimų stereofotogrametriškai išmatuotų taškų (3–5 pav.). Tai rodo, kad tiksliam reljefo modeliui sudaryti svarbu turėti ne tik tikslus pradinius duomenis, bet ir taškų išsidėstymą, atitinkantį būdingas reljefo pokyčių vietas.

Skirtingų zonų SRM tikslumui įtakos turi ir taškų skaičius. Skaiciavimų eigoje reljefą išskaidžius į zonas paaiškėjo, kad taškų skaičius zonose pasiskirstęs nevienodai (5 lentelė). Mažiausias taškų skaičius pateko į 33 ir 34 zonas (29 ir 38 taškai), tačiau tiek taškų pakanka, nes šios zonos yra vidutinio raižytumo ir gauti duomenys logiškai įsikomponuoja į bendrą rezultatų suvestinę.

Atlikus grafinį gautų rezultatų palyginimą (3–5 pav.), nustatyta, kad ląstelės matmenys standartinio nuokrypio įverčiams neturi įtakos, kai reljefo raižytumas yra nedidelis (12–25 zonos). Didėjant reljefo raižytumui,

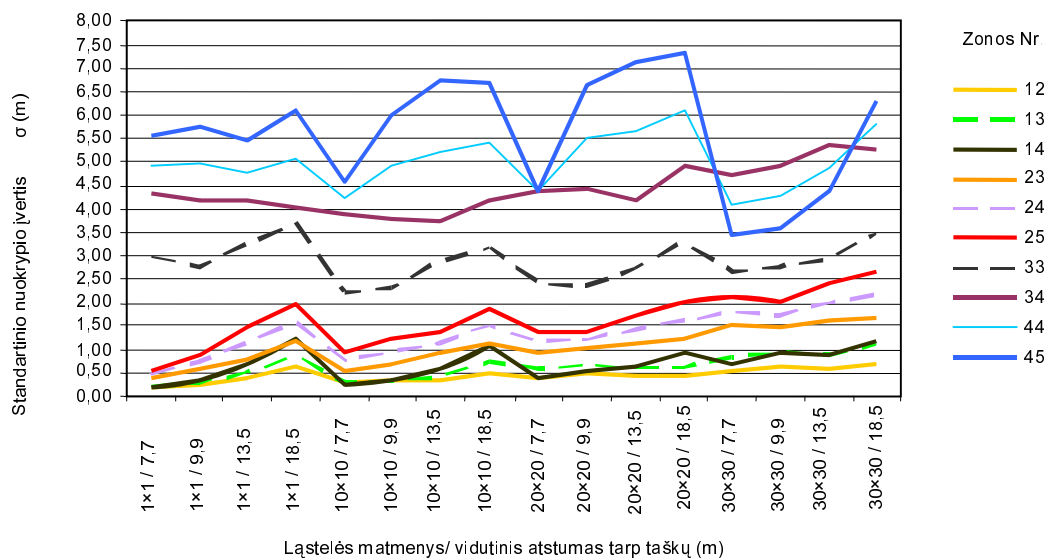
didėja ir ląstelės matmenų įtaka skaitmeninio reljefo modelio tikslumui.

Įvertinus kriginio, splainų ir svoriniu metodais sudarytų SRM, suskaidytų į zonas, duomenis, gauta, kad tiksliausias yra kriginio metodu sudarytas SRM. Mažiausiai tinkamas tokiam reljefui modeliui yra svorinis metodas. Tačiau SRM sudarant visais metodais pasireiškiančios anomalijos didelio raižytumo reljefo zonose rodo, kad reikia tam tikrų tikslingų sprendimų, norint įvertinti sudėtingo reljefo teritorijas.



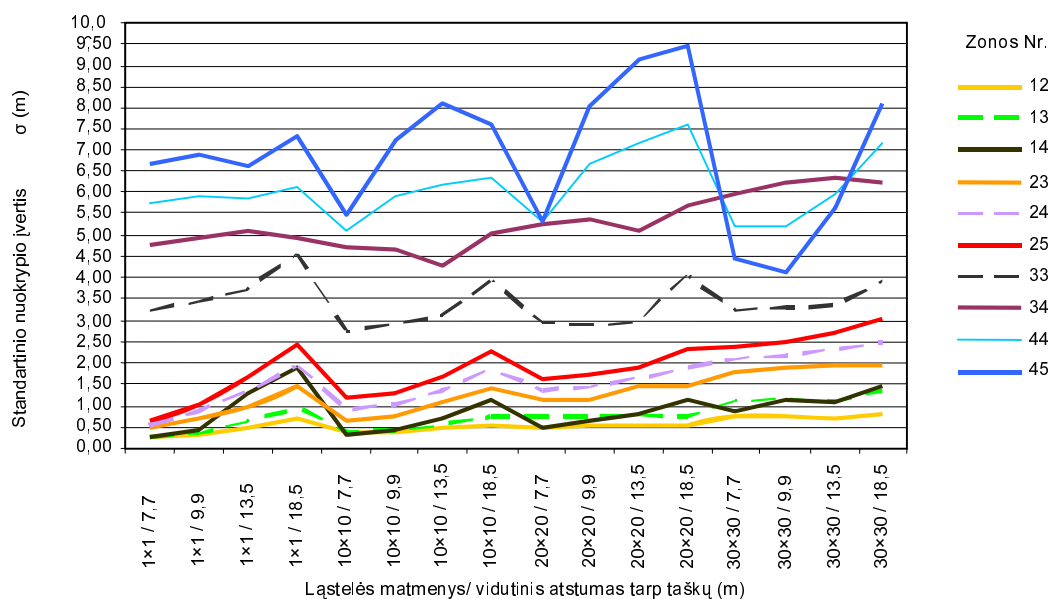
3 pav. Kriginio metodu sudaryto skaitmeninio reljefo modelio skirtingų zonų tikslumas

Fig 3. Accuracy analysis of DEM created by kriging method



4 pav. Splainų metodu sudaryto skaitmeninio reljefo modelio skirtingų zonų tikslumas

Fig 4. Accuracy analysis of DEM created by spline method



5 pav. Svoriniu metodu sudaryto skaitmeninio reljefo modelio skirtingų zonų tikslumas
Fig 5. Accuracy analysis of DEM made by IDW method

5. Išvados

1. Ištirta reljefo modelio tikslumo priklausomybė nuo modeliavimo parametrų, ląstelės matmenų ir atstumo tarp pradinių duomenų taškų.

2. Ląstelės matmenys ir atstumas tarp taškų mažesnės įtakos turi esant mažam reljefo kintamumui ir didesnės, kai reljefo kintamumas didelis.

3. Ištirta modeliavimo metodų įtaka reljefo modelio tikslumui. Skaitmeniniai reljefo modeliai sudaryti krigingo, splainų ir svoriniu metodais iš taškų, tarp kurių vidutinis atstumas – nuo 7,7 m iki 26,6 m, ląstelės matmenys imti nuo 1×1 m iki 35×35 m.

4. Tiksliausi rezultatai gauti, modeliuojant reljefą krigingo metodu. Krigingo metodu sudarytų reljefo modelių vidutinis tikslumas didelio reljefo kintamumo zonose (44, 45) apie 1,5 karto didesnis negu modeliuojant splainų ir apie 2 kartus didesnis negu modeliuojant svoriniu metodais. Mažo reljefo kintamumo zonų tikslumai skiriasi nežymiai.

Literatūra

1. Doucette, P.; Beard, K. Exploring the capability of some GIS surface interpolators for DEM gap fill. *Photogrammetric Engineering, Remote Sensing*, Vol 66, No 7, 2000, p. 881–888.
2. 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.
3. Du, C. J. An Interpolation Method for Grid-Based Terrain Modeling. *Computer Journal*, Vol 39, No 10, 1996, p. 837–843.
4. 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.
5. Žalnierukas, A.; Kumetaitenė, A.; Stankevičius, Ž. The Accuracy of the Digital Map Compiled by

Stereophotogrammetric Method. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, Vol XXV, No 2, Vilnius: Technika, 1999, p. 60–68 (in Lithuanian).

6. Žalnierukas, A.; Kumetaitenė, A. The Accuracy of Point Elevations of Topographical Database Created by Stereophotogrammetric Approach. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, Vol XXV, No 3. Vilnius: Technika, 1999, p. 113–117 (in Lithuanian).
7. Pike, R. J. The geometric signature—quantifying landslide-terrain types from digital elevation models. *Mathematical Geology*, No 20, 1988, p. 491–511.
8. Zevenbergen, L. W.; Thorne, C. R. Quantitative Analysis of Land Surface Topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, No 12, 1987, p. 47–56.
9. Skidmore, A. K. A comparison of techniques for calculating gradient and aspect from a gridded digital elevation model. *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol 3, No 4, 1989, p. 323–334.
10. 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.
11. Kumetaitenė, A. Application of elevation geomorphologic classification for checking the accuracy of digital elevation model. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, Vol XXXI, No 2. Vilnius: Technika, 2005, p. 69–75.

Aušra KUMETAITIENĖ. Assistant. Vilnius Gediminas Technical University. Dept of Geodesy and Cadastre. Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lithuania (Ph +370 5 2744703, Fax 370 5 2744731).

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 2665187, Fax 370 5 2665180), 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.