

## ŠIRVĖNOS EŽERO HIDROMAZGO STATINIŲ BIM APLINKOS SUKŪRIMAS

**Erikas KĖVIŠAS**, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: [erikas.kevisas25@gmail.com](mailto:erikas.kevisas25@gmail.com)

**Rytis SKOMINAS**, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: [rytis.skominas@vdu.lt](mailto:rytis.skominas@vdu.lt)

### Santrauka

Tyrimas atliktas Biržų r. sav., Biržų m., Astravo g., Širvėnos ežero hidromazgo statinių teritorijoje. Atlikti fotogrametrijos ir 3D lazerinio matavimo technologijų matavimai siekiant sukurti hidromazgo statinių tikslų atvaizdą skaitmeninėje erdvėje ir pagal turimus duomenis atlikti hidromazgo statinių esamos būklės analizę. Analitinė darbo dalis yra atlikta taikant prieinamos internetinės duomenų bazės mokslo autorių šaltinių analizės, statistinės informacijos surinkimo, duomenų bazių sisteminimo, grafinių duomenų interpretavimo ir modeliavimo, apibendrinimo, geodezinių, fotogrametrijos, 3D lazerinio skenavimo technologijos bei CAD duomenų realaus matavimo naudojant specializuotus prietaisus, apdorojimo taikant licenzijuotus programinių įrangų paketus metodus. Sukurtas 6,78 ha apimančios teritorijos aukštos kokybės 5472x3648 rezoliucijos, 1,21 cm/pix skiriamosios gebos ortofotoplanas ir 81 mln. erdvinių taškų turintis taškų debesis LKS-94 ir LAS-07 koordinatės sistemose fotogrametrijos technologija ir nubraižomas Širvėnos ežero užtvankos teritorijos topografinis planas M 1:500. Toliau sukuriama itin tikslus aukštos kokybės 3D taškų debesis, kurį sudaro 339,5 mln. individualūs erdviniai taškai, apdorojant 3D lazerinio skenavimo technologijos turimus duomenis su planinių kontūrženklų koordinatėmis. Pagal turimą 3D taškų debesį sukuriama Širvėnos ežero hidromazgo statinių 3D modelis valstybinėje koordinatės sistemoje LKS-94 ir aukščių sistemoje LAS-07. Lyginant skirtingomis technologijomis sukurtus taškų debesis, kontrolinių erdvinių taškų horizontaliosios padėties skirtumų vidutinė kvadratinė paklaida sudaro 0,0006 m, o vertikaliosios padėties – 0,0721 m. Standartinis nuokrypis XY ašyje yra 0,2489 m, o Z ašyje – 0,2686 m.

**Reikšminiai žodžiai:** hidromazgo statiniai, BIM aplinka, 3D lazerinis skenavimas, BIM modelis, fotogrametrija, geodezija.

### Įvadas

Pastaraisiais metais Lietuvos Respublikos statybos sektoriuje vis daugiau dėmesio skiriama BIM (*Building Information Modeling*) technologijai, kuri suteikia galimybę kurti, valdyti ir analizuoti informaciją apie statybinius projektus efektyviau ir tiksliau. BIM – procesas, kurio metu sukuriama trimačių objektų modelis, apimantis informaciją apie visus statinio elementus. Šis procesas leidžia visiems projektavimo ir statybos dalyviams bendrai dirbti prie vieno projekto ir efektyviai valdyti projekto duomenis. BIM technologija įgalina integruoti skirtingų sričių duomenis į vieną centralizuotą informacijos modelį, kuris atspindi realaus pasaulio objektą. Antžeminiai 3D lazeriniai skeneriai efektyviausi tuomet, kai reikia labai tiksliai matuoti mažas teritorijas ar pavienius objektus. Svarbus aspektas yra tai, kad 3D lazerinio skenavimo atliekami matavimai yra labai efektyvūs matuojant tuos objektus, kuriuos yra sudėtinga, pavojinga ar draudžiama liesti fiziškai, pavyzdžiui, kai atliekami archeologiniai tyrimai ar pavojingi objektai, prie kurių yra pavojinga artintis – įvairūs pastatai, seni tiltai, užtvankos (Žilinskaitė, Šlikas, 2020).

Norint efektyviai projektuoti, statyti ir prižiūrėti, taip pat įvertinti hidromazgo statinius, būtina turėti išsamią ir tikslią informaciją, kuri gali būti prieinama bet kuriuo metu, nevykstant iki objekto. Atliekant 3D lazerinį skenavimą statybų proceso metu gali atsirasti įvairių pakitimų, todėl specialios programinės įrangos, tokios kaip „Revit“, tuos pakitimus atnaujina bendrame BIM modelyje, tokiu atveju įvairūs geometriniai duomenys (tūris, plotis, matmenys) perskaičiuojami (Nguyen ir kt., 2020). Šiame tiriamajame darbe siekiama sukurti hidromazgo statinių BIM aplinką, kurioje būtų integruoti duomenys apie hidromazgo statinius ir atliekama būklės analizė, remiantis 3D lazerinio skenavimo technologija.

**Tyrimo tikslas** – sukurti Širvėnos ežero hidromazgo statinių 3D modelį pritaikant jį BIM aplinkai.

Išsikeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Sukurti aukštos kokybės hidromazgo statinių BIM modelį taikant 3D lazerinio skenavimo technologiją.
2. Palyginti fotogrametrijos ir 3D lazerinio skenavimo technologijomis sukurtus 3D taškų debesis įvertinant jų tikslumą ir koordinatės skirtumus.

### Tyrimo objektas ir metodai

Tyrimo objektu pasirinkti Biržų r. sav., Biržų m., Astravo g. esantys Širvėnos ežero hidromazgo statiniai. Širvėnos ežeras yra užtvanktas žemių užtvanka, kurio unikalus identifikatorius yra 42010540h0003, ties Apaščios upe (hidrostatinio centro koordinatės X=6232282.04; Y= 547176.19). Širvėnos ežero užtvanka pastatyta 1984 m., jos ilgis yra 595 m, o plotis – 10 m. Šis objektas tyrimui yra parinktas dėl to, kad šis hidrostatinys turi didelę svarbą Biržų miesto kraštovaizdžiui, kadangi yra reguliuojamas Širvėnos ežero vandens lygis. Širvėnos ežeras – seniausias žinomas dirbtinis tvenkinys Lietuvoje, susidaręs XVI a. pabaigoje, patvenkus Apaščios ir Agluonos upes ties jų santaka. Darbo teorinė dalis yra atlikta ir aprašyta, remiantis Lietuvos Respublikos galiojančiais teisės aktais, taip pat atsižvelgiant į įvairių Lietuvos

ir užsienio autorių mokslo darbus, jų pateiktą nuomonę ir suformuotas išvadas, naudojant prieinamą internetinę duomenų bazę, taip pat atsižvelgiant į įvairias programinių įrangų, geodezinių, fotogrametrijos bei 3D lazerinio skenavimo technologijų, kurias taiko Lietuvos ir užsienio specialistai, rekomendacijomis, programinių paketų vartotojų vadovais, pateikiant geodezinių matavimų, 3D lazerinio skenavimo technologijos, fotogrametrijos ir BIM teoriją, svarbą bei naudą Lietuvoje ar užsienyje. Analitinė darbo dalis yra atlikta taikant prieinamos internetinės duomenų bazės mokslo autorių šaltinių analizės, statistinės informacijos surinkimo, duomenų bazių sisteminimo, grafinių duomenų interpretavimo ir modeliavimo, apibendrinimo, geodezinių, fotogrametrijos, 3D lazerinio skenavimo technologijos bei CAD duomenų realaus matavimo naudojant specializuotus prietaisus, apdorojimo taikant licenzijuotus programinių įrangų paketus metodais.

## Tyrimo rezultatai ir jų aptarimas

GPNS imtuvai yra specialūs elektroniniai geodeziniai prietaisai, skirti nustatyti matuojamų taškų padėtį Žemės paviršiuje arba erdvėje ir išreikšti ją koordinatėmis. GPNS matavimų rezultatų tikslumą lemia keli veiksniai, tokie kaip dirbtinių žemės palydovų laikrodžių ir parametrų klaidos, signalų sklaidimo interferencija, jonosferos ir troposferos klaidos bei GPNS imtuvų rezultatų apdorojimo klaidos (Skeivalas, 2010). Aerokartografavimas yra vienas iš pažangiausių būdų gauti informaciją apie žemės paviršių ir kitus objektus naudojant aerofotografines nuotraukas. UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) yra aerofotografavimo sistema, kuri automatiškai apdoroja duomenis naudojant specializuotą kompiuterinę įrangą. Dažnai ši technologija taikoma naudojant bepiločius orlaivius (ROAV), kurie skraido su lengvomis skaitmeninėmis fotokameromis ir atlieka aerokartografavimą mažo ploto teritorijose (Ruzgienė ir kt., 2017). 3D lazerinės matavimų sistemos – tai įrenginiai, 3D skeneriai, kurie analizuoja realaus pasaulio objektą ir jo aplinką, siekiant surinkti duomenis apie jo formą ir išvaizdą. Surinkti duomenys skenuojant gali būti naudojami įvairių realiųjų objektų 3D modeliams kurti (Melaika, 2010). Matavimai atliekami Globalinės padėties sistemos (GPS) prietaisais kitais matavimais, jeigu jų tikslumas atitinka šiuos reikalavimus: susiejimą atliekant GPS prietaisais, koordinatės nustatomos pagal matavimų programą, užtikrinančią koordinatinių nustatymo pradinių punktų atžvilgiu vidutinę kvadratinę klaidą, neviršijančią 0,05 m miesto teritorijoje (Dėl Lietuvos Respublikos..., 2002).

GPNS imtuvu „TOPCON HiPer SR“ gautos planinių kontūrženklių koordinatės RTK metodu, reikalingos fotogrametrijai parengti. Nustatytos devynios vidutinės planinių kontūrženklių koordinatės atliekant matavimo faktą po 10 kartų ir išskaičiuojant rezultatų aritmetinį vidurkį.

**1 lentelė.** Vidutinės (tikrosios) planinių kontūrženklių koordinatės fotogrametrijai (sukurta autoriaus, 2024)

**Table 1.** Average (true) coordinates of planned control points for photogrammetry (created by the author, 2024)

Planinio kontūrženklio Nr.	$\bar{x}$ (m)	$\bar{y}$ (m)	$\bar{z}$ (m)
1	6232338,082	547181,396	50,643
2	6232300,791	547173,811	50,729
3	6232301,815	547191,239	50,808
4	6232280,954	547155,681	52,877
5	6232291,806	547232,288	52,44
6	6232298,154	547132,74	52,409
A	6232289,225	547207,959	51,581
B	6232269,11	547191,798	52,958
C	6232310,026	547157,12	51,24

1 lentelėje yra nustatytos 6 vidutinės planinių kontūrženklių koordinatės Nr. 1–Nr. 6 bei 3 vidutinės papildomos planinių kontūrženklių koordinatės A,B,C, kurios reikalingos fotogrametrijos rezultatų tikslumui patikrinti. Koordinatės nustatytos valstybinėje koordinatinių sistemoje LKS-94 ir aukščių sistemoje LAS-07 X, Y, Z ašyse. Atsižvelgiant į esamas vietovės sąlygas hidromazgo teritorijoje planiniai kontūrženkliai išdėstomi visoje teritorijoje, atsižvelgiant į gamtines sąlygas, esamus gamtinius ir antropogeninius objektus taip, kad planiniai kontūrženkliai būtų matomi bepilotės skraidyklės atžvilgiu.

Pagal turimas planinių kontūrženklių koordinates ir bepiločio orlaivio aerofotografines nuotraukas sukurtas aukštos kokybės ortofotoplanas. Ortofotoplano ištrauka pateikta žemiau esančiame paveiksle (žr. 1 pav.).

Sukurta ortofotoplanas ir taškų debesis yra itin aukštos kokybės parengtas produktas valstybinėje koordinatinių sistemoje LKS-94 ir LAS-07 aukščių sistemoje. Ortofotoplanas ir taškų debesis apima visą Širvėnos ežero hidromazgo statinių teritoriją – 6,78 ha, juose yra aiškiai matomi gamtiniai ir antropogeniniai objektai, hidromazgo statinių lokacija, taip pat labai aiškiai išreiškiami objektų spalvinė gama, todėl pagal ortofotoplaną ir taškų debesį efektyviai ir tiksliai nubraižomas Širvėnos ežero užtvankos teritorijos topografinis planas M 1:500. Ortofotoplano ir taškų debesis specifikacijos: 5472x3648 rezoliucija, 1,21 cm/pix skiriamoji geba, 795 bepiločio orlaivio aerofotografinės nuotraukos, 976034 sąryšio taškų, 5270877 erdvinių taškų projekcijų, 1,26 pix atvaizdavimo paklaida. Nustatyta vidutinė kameros padėties paklaida: X ašyje 1,98667 cm; Y ašyje 3,02633 cm; Z ašyje 2,7676 cm; XY ašyje 3,62015 cm; bendra vidutinė kameros padėties paklaida 4,55688 cm. Nustatytos šešių planinių kontūrženklių paklaidos (RMSE): X ašyje 0,723871 cm; Y ašyje 0,561249 cm; Z ašyje 0,988838 cm; XY ašyje 0,915964 cm; bendra RMSE paklaida 1,34788 cm. Reikia paminėti ir tai, kad sukurtas taškų debesis yra sudarytas iš 81 mln. erdvinių taškų, turinčių savo X, Y, Z koordinatę. (1. pav.).



**1 pav.** Kairėje – Ortofotoplano fragmentas, dešinėje – 3D taškų debesis. Fotogrametrija (sukurta autoriaus, 2024)  
**Fig. 1.** On the left - a fragment of an orthophoto plan, on the right - a 3D point cloud. Photogrammetry (created by the author, 2024).

GPNS imtuvu „TOPCON HiPer SR“, robotizuotu tacheometru „TOPCON GT SERIES“ ir prizme nustatytos 12 kontūrženklų koordinatės valstybinėje koordinačių sistemoje LKS-94 ir aukščių sistemoje LAS-07 matuojant kiekvieną kontūrženklį po 6 kartus ir apskaičiuojant aritmetinį vidurkį. Pateikiami kontūrženklų aritmetiniai vidurkiai (tikrosios reikšmės) (žr. 2 lentelę).

**2 lentelė.** 3D lazerinio skenavimo tinklo kontūrženklų tikrosios reikšmės (sukurta autoriaus, 2024)  
**Table 2.** True values of control points for the 3D laser scanning network (created by the author, 2024)

Kontūrženklis Nr.	$\bar{x}$ (m)	$\bar{y}$ (m)	$\bar{z}$ (m)
T-020	6232303,992	547178,303	50,205
T-018	6232297,533	547176,161	50,150
T-018-Nr2	6232294,313	547173,201	50,424
T-020-Nr2	6232298,987	547176,798	50,121
T-020-Nr5	6232285,446	547179,500	53,085
T-018-Nr5	6232283,350	547185,899	53,077
T-020-Nr7	6232290,544	547186,329	50,254
T-018-Nr7	6232299,514	547187,596	50,110
T-020-Nr10	6232305,148	547189,795	50,352
T-018-Nr10	6232308,758	547177,249	50,831
T-020-Nr13	6232276,041	547176,800	53,208
T-018-Nr13	6232278,097	547170,583	53,178

2 lentelėje yra pateikiamos apskaičiuotos 12 tikrosios planinių kontūrženklų koordinatės valstybinėje koordinačių sistemoje LKS-94 ir aukščių sistemoje LAS-07 X, Y (horizontalioje), Z (vertikaloje) ašyse. Kontroliniai taškai išdėstyti taip, kad skenavimo stotyse būtų matoma bent po du kontūrženklus 180 laipsnių kampų.

Toliau apskaičiuojami planinių kontūrženklų ir kontrolinių taškų matavimų nesąryšių statistiniai parametrai fotogrametrijai ir 3D lazeriniam skenavimui, kurių reikšmės pateikiamos 3 lentelėje.

**3 lentelė.** Pateikiami planinių kontūrženklų ir kontrolinių taškų matavimų nesąryšių statistiniai parametrai fotogrametrijai kairėje ir 3D lazeriniam skenavimui dešinėje (sukurta autoriaus, 2024)

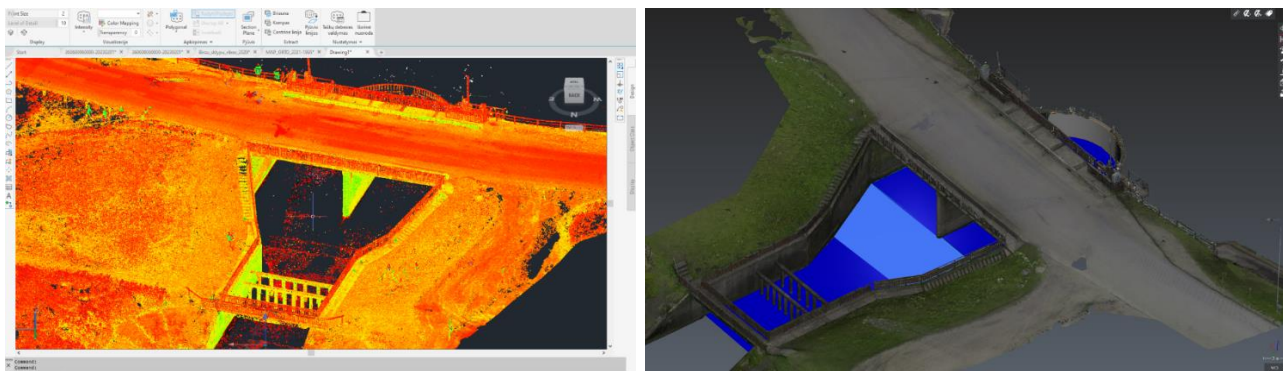
**Table 3.** Statistical parameters of the discrepancies in the measurements of planimetric control points for photogrammetry on the left and 3D laser scanning on the right (created by the author, 2024)

	$X_i$ (m)	$Y_i$ (m)	$Z_i$ (m)		$X_i$ (m)	$Y_i$ (m)	$Z_i$ (m)
MIN	0,000	0,000	0,000	MIN	0,000	0,000	0,000
MAX	0,008	0,008	0,007	MAX	0,019	0,010	0,005
MED	0,002	0,002	0,002	MED	0,000	0,000	0,000
$\sum \Delta$	-0,022000	0,002000	0,002000	$\sum \Delta$	0,011000	0,002000	0,005000
$\sum  \Delta $	0,270000	0,226000	0,216000	$\sum  \Delta $	0,089000	0,090000	0,021000
$\sum \Delta^2$	0,001240	0,000850	0,000728	$\sum \Delta^2$	0,000765	0,000428	0,000047
m	0,000014	0,000009	0,000008	m	0,000011	0,000006	0,000001
S	0,003712	0,003073	0,002844	S	0,0032596	0,0024381	0,0008079

Išanalizavus apskaičiuotus statistinius parametrus fotogrametrijai ir 3D lazeriniam skenavimui, nustatytos planinių kontūrženklų ir kontrolinių taškų koordinatės yra nesąryšių leistinumo ribose – t. y. neviršijant 0,05 m ribinės vidutinės kvadratinės paklaidos X, Y, Z ašyse.

Pagal turimas planinių kontūrženklių koordinatas 3D lazerinio skenavimo duomenys tiksliai apdorojami LKS-94 valstybinėje koordinacių sistemoje ir LAS-07 aukščių sistemoje naudojant Leica „Cyclone REGISTER 360“ programinę įrangą.

Toliau sukuriama itin tikslus aukštos kokybės 3D taškų debesis apdorojant 3D lazerinio skenavimo technologijos turimus duomenis su kontrolinių taškų koordinatėmis (žr. 2 pav.).



**2 pav.** 3D taškų debesis kairėje ir 3D BIM modelis dešinėje (sukurta autoriaus naudojant „GeoMap“ ir „3DR“, 2024)

**Fig. 2.** 3D point cloud on the left and 3D BIM model on the right (created by the author using "GeoMap" and "3DR", 2024)

Sukurtas 3D taškų debesis yra sudarytas iš 26 tarpusavyje susietų lazerinio skenavimo technologijos stočių tinklo, kurį sudaro 59 sąsajos tarpusavyje. Bendrai 3D taškų debesies masivą sudaro 339,5 mln. individualių erdviųjų taškų, turinčių savo X, Y, Z koordinatas LKS-94 valstybinėje koordinacių sistemoje ir LAS-07 aukščių sistemoje, taip pat 248 200 paviršių bei 158 600 trikampių viršūnių. Programinės įrangos „Cyclone REGISTER 360“ apdoroto 3D taškų debesis bendra erdviųjų taškų tarpusavio sąsajos paklaida yra 0,005 m. Turimas taškų debesis gali būti naudojamas hidromazgo statinių braižymui 2D, 3D erdvėse, taip pat atliekant įvairius analizės, projektavimo darbus ir t. t. Reikia paminėti tai, kad šiame tyrime 3D taškų debesis konkrečiai naudojamas sukurti 3D modeliui, taip pat atliekant hidromazgo statinių esamos būklės analizę.

Sukurtas 3D modelis (žr. 2 pav.) yra tikslus hidromazgo statinių ir aplink juos esančios teritorijos atvaizdas skaitmeninėje erdvėje valstybinėje koordinacių sistemoje LKS-94 ir aukščių sistemoje LAS-07, sudarytas iš 3D taškų debesies sujungtų lazerinio skenavimo technologijos gautų erdviųjų taškų, taip atvaizduojant objektų geometriją plokštumomis (*Mesh*). Objektų paviršiai sukurti programinės įrangos „3DR“ automatizuotu būdu, trianguliacijos procesu. Atraminės sienelės dalis bei vandens paviršius modeliuojami rankiniu būdu, kadangi 3D lazerinio skenavimo technologija skaidrių paviršių, tokių kaip vanduo, nefiksuoja. Turimas 3D modelis įkeliamas „Sketchfab“ skaitmeninėje aplinkoje, kurioje 3D modelis gali būti matomas neribotam kiekiui asmenų, su galimybe modelį analizuoti trimatėje erdvėje, taip pat pridėti reikalingą informaciją anotacijomis, kurios matomos realiu laiku visiems asmenims (žr. 3 pav.).



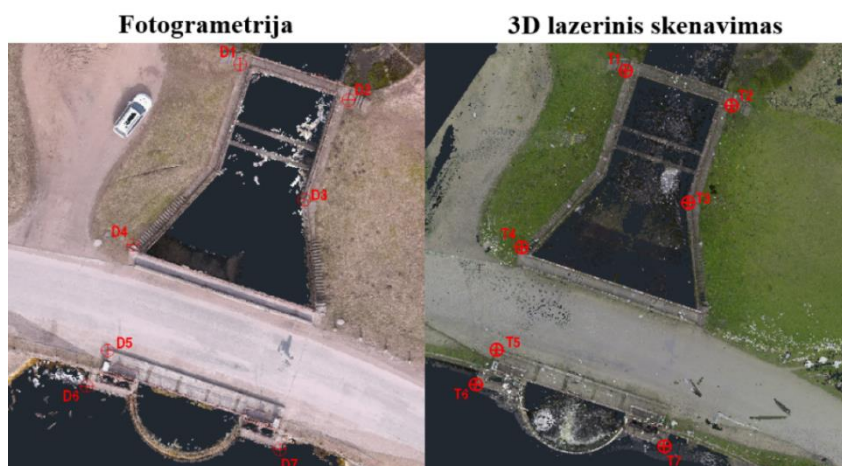
**3 pav.** Hidromazgo statinių 3D modelis „Sketchfab“ aplinkoje (sukurta autoriaus naudojant „Sketchfab“, 2024)

**Fig. 3.** 3D model of hydraulic structures in the "Sketchfab" environment (created by the author using "Sketchfab", 2024)

Reikia paminėti, kad „Sketchfab“ skaitmeninėje aplinkoje 3D modelis gali būti peržiūrimas 3D, 3D+2D bei 2D režimais, taip pat gali būti keičiamos 3D modelio objektų vizualizacijos ir jų savybės, tokios kaip bazinė spalva, metališkumas, šiurkštumas ir kiti aspektai. Gali būti keičiamas vizualizacijos geometrijos režimas, pavyzdžiui, „Wireframe“. Ši vizualizacija pateikia 3D modelio geometrijos tinklą, sudarytą trianguliacijos procesu automatizuotu būdu.

Fotogrametrijos ir 3D lazerinio skenavimo technologijomis sukurtų 3D taškų debesų palyginimui parenkami 7 objektai grafiniu metodu ir nustatomi jų koordinacių aritmetiniai vidurkiai 3D lazerinio skenavimo technologijos bei fotogrametrijos technologijų sukurtuose 3D taškų debesyse, programinės įrangos „GeoMap“ skaitmeninėje erdvėje. Pateikiama 7 objektų erdvinė padėtis skaitmeninėje erdvėje (žr. 4 pav.)





4 pav. 3D taškų debesų objektų koordinacių lokacija grafiniu metodu (sukurta autoriaus, 2024)  
**Fig. 4.** Location of object coordinates in 3D point clouds by graphical method (created by the author, 2024)

Parenkamos stabilių objektų koordinatės „GeoMap“ skaitmeninėje erdvėje fotogrametrijos technologijos sukurtame taškų debesyje D1–D7 ir 3D lazerinio skenavimo technologijos sukurtame taškų debesyje T1–T7 fiksuojant koordinates po 10 kartų X, Y, Z ašyse valstybinėje koordinacių sistemoje LKS-94 ir LAS-07 aukščių sistemoje. Apskaičiuojami turimų koordinacių aritmetiniai vidurkiai (žr. 4 lentelę).

4 lentelė. Kontrolinių taškų aritmetiniai vidurkiai (sukurta autoriaus, 2024)

**Table 4.** Arithmetic means of control points (created by the author, 2024)

Kontrolinio taško Nr.	$\bar{x}$ (m)	$\bar{y}$ (m)	$\bar{z}$ (m)
D1	6232307,79	547178,854	50,32
D2	6232304,314	547189,407	50,282
D3	6232294,612	547185,078	50,415
D4	6232290,211	547168,477	52,826
D5	6232279,988	547166,04	53,536
D6	6232276,55	547163,975	53,224
D7	6232270,427	547182,685	53,173
Kontrolinio taško Nr.	$\bar{x}$ (m)	$\bar{y}$ (m)	$\bar{z}$ (m)
T1	6232307,792	547178,846	50,257
T2	6232304,313	547189,382	50,198
T3	6232294,644	547185,077	51,091
T4	6232290,213	547168,47	52,74
T5	6232279,989	547166,005	53,45
T6	6232276,565	547163,954	53,14
T7	6232270,404	547182,697	53,05

Pagal turimus kontrolinių taškų aritmetinius vidurkius palyginama jų erdvinė padėtis taškų debesyse ir nustatomi skirtumai (žr. 5 lentelę).

5 lentelė. Kontrolinių taškų koordinacių skirtumai lyginant 3D taškų debesis, kurie sukurti fotogrametrijos ir 3D lazerinio skenavimo technologijomis (sukurta autoriaus, 2024)

**Table 5.** Differences in the coordinates of control points comparing 3D point clouds created by photogrammetry and 3D laser scanning technologies (created by the author, 2024)

Kontrolinių taškų Nr.	$\Delta x_i$ (m)	$\Delta^2 x$ (m)	$\Delta y_i$ (m)	$\Delta^2 y$ (m)	$\Delta z_i$ (m)	$\Delta^2 z$ (m)	$ \Delta x_i $ (m)	$ \Delta y_i $ (m)	$ \Delta z_i $ (m)
T1 - D1	0,002	0,000004	-0,008	0,000064	-0,063	0,00397	0,002	0,008	0,063
T2 - D2	-0,001	0,000001	-0,025	0,000625	-0,084	0,00706	0,001	0,025	0,084
T3 - D3	0,032	0,001024	-0,001	0,000001	0,676	0,45698	0,032	0,001	0,676
T4 - D4	0,002	0,000004	-0,007	0,000049	-0,086	0,00740	0,002	0,007	0,086
T5 - D5	0,001	0,000001	-0,035	0,001225	-0,086	0,00740	0,001	0,035	0,086
T6 - D6	0,015	0,000225	-0,021	0,000441	-0,084	0,00706	0,015	0,021	0,084
T7 - D7	-0,023	0,000529	0,012	0,000144	-0,123	0,01513	0,023	0,012	0,123
$\Sigma$	0,028	0,001788	-0,085	0,002549	0,150	0,50498	0,076	0,109	1,202
$\Sigma/n$ (n=7)		0,000255		0,000364		0,07214	0,011	0,016	0,172

Apskaičiuojami minėtų koordinacių skirtumų statistiniai parametrai:  $\pm 0,001$  m – mažiausias kontrolinių taškų koordinacių skirtumas X ašyje (MIN(x)), 0,032 m – didžiausias kontrolinių taškų skirtumas X ašyje (MAX(x)), 0,002 m – kontrolinių taškų skirtumų mediana X ašyje (MED(x)), 0,028 m;  $|0,076|$  m – suminė kontrolinių taškų koordinacių skirtumų reikšmė ir absoliutinė reikšmė X ašyje ( $\sum \Delta x_i$ ;  $\sum |\Delta x_i|$ ), 0,0018 m - suminė kontrolinių taškų koordinacių skirtumų reikšmė, pakelta antruoju laipsniu X ašyje ( $\sum \Delta^2 x$ ), 0,000255 m – kontrolinių taškų koordinacių skirtumų vidutinė kvadratinė paklaida X ašyje (m(x)), 0,016 m – standartinis nuokrypis X ašyje (S(x)), – 0,001 m – mažiausias kontrolinių taškų koordinacių skirtumas Y ašyje (MIN(y)), – 0,035 m – didžiausias kontrolinių taškų skirtumas Y ašyje (MAX(y)), – 0,08 m – kontrolinių taškų skirtumų mediana Y ašyje (MED(y)), – 0,085 m;  $|0,109|$  m – suminė kontrolinių taškų koordinacių skirtumų reikšmė ir absoliutinė reikšmė Y ašyje ( $\sum \Delta y_i$ ;  $\sum |\Delta y_i|$ ), 0,0025 m – suminė kontrolinių taškų koordinacių skirtumų reikšmė, pakelta antruoju laipsniu Y ašyje ( $\sum \Delta^2 y$ ), 0,000364 m – kontrolinių taškų koordinacių skirtumų vidutinė kvadratinė paklaida Y ašyje (m(y)), 0,019 m – standartinis nuokrypis Y ašyje (S(y)), – 0,063 m – mažiausias kontrolinių taškų koordinacių skirtumas Z ašyje (MIN(z)), 0,676 m – didžiausias kontrolinių taškų skirtumas Z ašyje (MAX(z)), – 0,084 m – kontrolinių taškų skirtumų mediana Z ašyje (MED(z)), 0,15 m;  $|1,202|$  m – suminė kontrolinių taškų koordinacių skirtumų reikšmė ir absoliutinė reikšmė Z ašyje ( $\sum \Delta z_i$ ;  $\sum |\Delta z_i|$ ), 0,505 m - suminė kontrolinių taškų koordinacių skirtumų reikšmė, pakelta antruoju laipsniu Z ašyje ( $\sum \Delta^2 z$ ), 0,07 m – kontrolinių taškų koordinacių skirtumų vidutinė kvadratinė paklaida Z ašyje (m(z)), 0,269 m – standartinis nuokrypis Z ašyje (S(z)); horizontaliosios padėties skirtumų vidutinė kvadratinė paklaida (Mxy) sudaro 0,0006 m, o vertikaliosios padėties (Mz) – 0,0721 m; standartinis nuokrypis XY ašyje yra 0,2489 m, o Z ašyje – 0,2686 m. Pastebima, kad horizontaliose ašyse (X ir Y) kontrolinių taškų koordinacių skirtumas yra iki 0,04 m, o vidutinė kvadratinė paklaida neviršija 0,05 m, todėl galima teigti, kad taškų debesų erdviųjų duomenų tikslumas yra leistinumo ribose, tačiau vertikaliosios ašies erdviųjų taškų koordinacių skirtumai yra per dideli, o vidutinė kvadratinė paklaida viršija 0,05 m leistinumo ribą. Fotogrametrijos technologijos taškų debesis yra sukurtas naudojant aerofotografines nuotraukas, kurios fiksuotos bepiločio orlaivio fotokameros 50 m altitudėje. Dėl didelio atstumo nuo fotokameros iki žemės paviršiaus yra gaunamos didelės koordinacių paklaidos vertikalioje ašyje, lyginant su 3D lazerinio skenavimo technologijos sukurtu 3D taškų debesies erdviniais duomenimis. Apibendrinant galima teigti, kad 3D lazerinio skenavimo technologijos sukurtu 3D taškų debesies erdviniai duomenys yra tikslesni ir patikimesni.

## Išvados

1. Atlikus tiriamojo darbo objekto Širvėnos ežero hidromazgo statinių matavimus taikant fotogrametrijos ir 3D lazerinio skenavimo technologijas, sukurtas itin aukštos kokybės 3D taškų debesis LKS-94 Lietuvos Respublikos valstybinėje koordinacių sistemoje ir LAS-07 aukščiu sistemoje, kurį sudaro 339,5 mln. erdviųjų taškų, o apskaičiuotas erdviųjų taškų nesąryšis yra 0,005 m. Pagal 3D taškų debesį sukurtas 3D BIM modelis, kurį sudaro 248 tūkst. paviršių.
2. Lyginant fotogrametrijos ir 3D lazerinio skenavimo technologijomis sukurtų 3D taškų debesų erdvinis duomenis yra nustatyta, kad fotogrametrijos technologija sukurtu 3D taškų debesies erdviųjų taškų kiekis yra 81 mln., apskaičiuotas nesąryšis 0,045 m, o 3D lazerinio skenavimo technologijos – atitinkamai 339,5 mln. ir 0,005 m. Kontrolinių erdviųjų taškų horizontaliosios padėties skirtumų vidutinė kvadratinė paklaida sudaro 0,0006 m, o vertikaliosios padėties – 0,0721 m. Standartinis nuokrypis XY ašyje yra 0,2489 m, o Z ašyje – 0,2686 m. Atsižvelgiant į erdviųjų taškų tankumo ir tikslumo parametrus galima teigti, kad 3D lazerinio skenavimo technologijos sukurtu 3D taškų debesies erdviniai duomenys teikia išsamesnę ir tikslesnę informaciją apie objekto geometrinius parametrus, vietą, vaizdinę medžiagą ir kt.

## Literatūra

1. Žilinskaitė, A., Šlikas, D. 2020. *3D lazerinių skenerių veikimo principas ir jų palyginimas. Civilinė inžinerija ir geodezija*. Prieiga per internetą: <https://vb.vgtu.lt/object/elaba:58584883/58584883.pdf> (žiūrėta 2023 05 21).
2. Ruzgienė, B., Kuklienė, L., Jankauskienė, D., Kuklys, I., Vrubliauskienė, R. 2017. Fotogrametriniai reikalavimai, keliami aerokartografavimui: UAV-fotogrametrija. *Inžinerinės ir edukacinės technologijos*. Mokslinių straipsnių žurnalas. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: [https://www.ktk.lt/uploads/fd53fec3-4d96-483f-8092-a9ef57878338/2017\\_2.pdf#page=21](https://www.ktk.lt/uploads/fd53fec3-4d96-483f-8092-a9ef57878338/2017_2.pdf#page=21) (žiūrėta 2023 05 21).
3. Melaika, S. 2010. Lietuvos žemės ūkio universitetas. Akademija. *3D lazerinių matavimo sistemų ypatumai*. Magistrantūros studijų baigiamasis darbas. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://talpykla.elaba.lt/elaba-fedora/objects/elaba:2084342/datastreams/MAIN/content> (žiūrėta 2023 05 21).
4. Skeivalas, J. 2010. *Elektroniniai geodeziniai prietaisai*. Mokomoji knyga.
5. Thu Anh Nguyen, Phong Thanh Nguyen, Sy Tien Do. 2020. "Application of BIM and 3D Laser Scanning for Quantity Management in Construction Projects", *Advances in Civil Engineering*, vol. 2020, Article ID 8839923, p. 10. <https://doi.org/10.1155/2020/8839923> >
6. Dėl Lietuvos Respublikos nekilnojamojo turto kadastrų nuostatų patvirtinimo: Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2002 m. balandžio 15 d. nutarimas Nr. 534. Valstybės žinios, 2002 04 19, Nr. 41-1539. Nauja redakcija nuo 2023 08 01. Teisės aktų registras, i. k. 1021100NUTA00000534.

## CREATION OF A BIM ENVIRONMENT FOR THE HYDRAULIC STRUCTURES OF ŠIRVĚNA LAKE

### Summary

The study was conducted in Biržai district municipality, Biržai town, Astravo Street, on the territory of the hydraulic structures of Širvėna Lake. Photogrammetry and 3D laser scanning measurements were performed to create an accurate digital representation of the hydraulic structures and to analyze the current condition of the hydraulic structures based on the available data. The analytical part of the work was conducted by applying the analysis of available online scientific sources, collecting statistical information, systematic organization of databases, interpretation and modeling of graphical data, summarizing, and utilizing geodetic, photogrammetric, 3D laser scanning technology, and CAD data from real measurements using specialized instruments. The processing was carried out using licensed software packages and methods. A high-quality orthophoto map covering an area of 6,78 ha with a resolution of 5472x3648 and a pixel density of 1.21 cm/pix, along with a point cloud containing 81 million spatial points in the LKS-94 and LAS-07 coordinate systems, was created using photogrammetry technology. Additionally, a topographic plan of the Širvėna Lake dam area at a scale of 1:500 was drawn. Subsequently, an extremely accurate high-quality 3D point cloud consisting of 339.5 million individual spatial points was created by processing data obtained through 3D laser scanning technology with the coordinates of planimetric contour lines. Based on the available 3D point cloud, a 3D model of the Širvėna Lake hydraulic structures was created in the national coordinate system LKS-94 and the height system LAS-07. When comparing point clouds created using different technologies, the root mean square error of the differences in the horizontal position of control spatial points is 0.0006 m, and for the vertical position, it is 0.0721 m. The standard deviation in the XY axis is 0.2489 m, and in the Z axis, it is 0.2686 m.

**Keywords:** hydraulic structures, BIM environment, 3D laser scanning, BIM model, photogrammetry, geodesy.