



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA

Mažena Voitechovič

**ERDVINIŲ MODELIŲ KŪRIMO PAGAL FOTOGRAFINIŲ VAIZDŲ
DUOMENIS ANALIZĖ**
ANALYSIS OF SPATIAL MODELS CREATION USING IMAGERY DATA

Baigiamasis magistro darbas

Geodezijos ir kartografijos studijų programa, valstybinis kodas 621H14003

Geografinės informacinės sistemos specializacija

Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2015

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Vladislovas Česlovas Aksamitauskas
(Vardas, pavardė)

(Data)

Mažena Voitechovič

**ERDVINIŲ MODELIŲ KŪRIMO PAGAL FOTOGRAFINIŲ VAIZDŲ
DUOMENIS ANALIZĖ**

ANALYSIS OF SPATIAL MODELS CREATION USING IMAGERY DATA

Baigiamasis magistro darbas

Geodezijos ir kartografijos studijų programa, valstybinis kodas 621H14003

Geografinės informacinės sistemos specializacija

Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

doc. dr. Birutė Ruzgienė
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

lek. Regina Žukienė
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2015

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA

Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Geodezijos ir kartografijos studijų programa, valstybinis kodas 621H14003

Geografinės informacinės sistemos specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Vladislovas Česlovas Aksamitauskas
(Vardas, pavardė)

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

Nr.

Vilnius

Studentui (ei) Maženai Voitechovič
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Erdvinių modelių kūrimo pagal fotografinių vaizdų duomenis analizė

patvirtinta 2013 m. lapkričio 21 d. dekanų potvarkiu Nr. 414ap.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 201...m. d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Sukurti žemės paviršiaus erdvinis modelius taikant fotogrametrinius metodus. Apdoroti įvairių šaltinių fotografinius vaizdus skirtingomis fotogrametrinėmis programinėmis sistemomis. Atlikus fotogrametrinius matavimus išanalizuoti rezultatus ir įvertinti paviršių modeliavimo efektyvumą.

Vadovas

(Paraša)

doc. dr. Birutė Ruzgienė
(Moksl. laipsnis/pedag.vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau:

(Parašas)

Mažena Voitechovič
(Vardas, pavardė)

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Geodezijos ir kadastro katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data-....-....

Geodezijos ir kartografijos studijų programos magistro baigiamasis darbas

Pavadinimas **Erdvinių modelių kūrimo pagal fotografinių vaizdų duomenis analizė**

Autorius **Mažena Voitechovič**

Vadovas **doc. dr. Birutė Ruzgienė**

Kalba

☒ X

lietuvių

☐

užsienio

Anotacija

Geoduomenims gauti plačiai taikomos šiuolaikinės fotogrametrinio kartografavimo bei nuotolinių tyrimų technologijos. Todėl tinkamos vaizdų apdorojimo programinės įrangos vietovėms kartografuoti, erdviniams duomenų modeliams kurti ir kt. parinkimas tampa labai svarbiu uždaviniu. Naujų metodų, technologijų ir profesionalių plačiai žinomų fotogrametrinių programinių sistemų taikymas padidina vietovės kartografavimo galimybes bei efektyvumą.

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamas aerofotografinių ir kosminių vaizdų apdorojimas skirtingomis skaitmeninėmis fotogrametrinėmis sistemomis. Taikant skaitmeninės fotogrametrijos metodus, apdorotos Vilniaus miesto teritorijos aerofotonuotraukos ir Australijos miesto Hobart teritorijos kosminės nuotraukos skaitmeninėmis fotogrametrinėmis programinėmis sistemomis *LISA* (Hanoverio universitetas, Vokietija), *DDPS* (Liege universitetas, Belgija ir Varšuvos geodezijos ir kartografijos institutas, Lenkija) ir *ERDAS Imagine* programa *LPS* (ERDAS, Inc., Atlanta, Džordžijos valstija. Atlikta aerofotografinių vaizdų orientavimo, reljefo modelio ir ortofotografinės nuotraukos generavimo procesų analizė bei išnagrinėtas fotogrametrinių matavimų tikslumas.

Baigiamajame darbe pateikiama fotogrametrinių matavimų aerofotografinėje ir kosminėje medžiagoje bei matavimų vietovėje ir stereoskopinių matavimų gautų rezultatų palyginamoji tikslumo analizė.

Remiantis teoriniais ir praktiniais geografinių duomenų gavimo fotogrametrinėmis sistemomis aspektais, pateikiamos baigiamojo darbo išvados

Darbą sudaro: įvadas, keturi skyriai, išvados, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 67 p. teksto be priedų, 43 iliustr., 10 lent., 20 bibliografiniai šaltiniai.

Pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: aerofotonuotraukos, kosminiai vaizdai, fotografinių vaizdų apdorojimas, orientavimo procedūros, ortofotografinė nuotrauka, fotogrametrinės programinės sistemos

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Department of Geodesy and Cadastre

ISBN ISSN
Copies No.
Date-....-....

Master Degree Studies **Geodesy and Cartography** study programme bachelor (master) thesis.

Title: **Analysis of Spatial Models Creation Using Imagery Data**

Author **Mažena Voitechovič**

Academic supervisor **Assoc Prof Dr Birutė Ruzgienė**

Thesis language

☒ Lithuanian

☐ Foreign (English)

Annotation

Modern photogrammetric mapping cartography and remote sensing technologies are widely used for a geodata acquisition. Therefore, very important task is - to choose appropriate software for areas mapping, for creating spatial models and etc. The use of new methods, technologies and widely known professional photogrammetric software improves abilities and efficiency of areas mapping.

In this final work is studied the processing of aerial photos and satellite imageries using different digital photogrammetric systems. The aerial photography of Vilnius city and satellite imageries of Hobart city (Australia) are processed using such digital software: Lisa software (University of Hanover, Germany), DDPS (University of Liege in Belgium and Warsaw Geodesy and Cartography Institute) and ERDAS Imagine of module LPS (Erdas, INC., Atlanta, Georgia). There is analyzed the process of images orientation, generation of relief model and orthophotos, as well as the accuracy of photogrammetric measurements are evaluated.

In this work is presented the comparative accuracy analysis of photogrammetric measurements results using aerial photos and satellite imageries, as well applying stereoscopic approach and geodetic measurements results.

Conclusions and recommendations are submitted referencing to aspects on theoretical and practical geodata acquisition by photogrammetric systems.

Structure: introduction, four chapters, conclusions and list of literature.

Thesis consist of: 67 p. text without appendixes, 43 pictures, 10 tables, 20 bibliographical entries.

Appendixes included.

Keywords: aerial photography, satellite imageries, processing of images, orientation procedures orthophoto, digital photogrammetric software

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų
sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo
organizavimo tvarkos aprašo 2011–2012 m. m.
1 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Mažena Voitechovič, 20092262

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Geodezija ir kartografija, GISmf-13

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2015 m. _____ d.
(Data)

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Erdvinių modelių kūrimo pagal fotografinių vaizdų duomenis analizė“ patvirtintas 2013 m. lapkričio 21 d. dekanų potvarkiu Nr. 414ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe (projekte) pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: Regina Žukienė. Mano darbo vadovas doc. dr. Birutė Ruzgienė.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą (projektą) nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).

(Parašas)

Mažena Voitechovič

(Vardas ir pavardė)

Turinys

Paveikslų sąrašas	8
Lentelių sąrašas.....	9
Įvadas.....	10
1. Literatūros šaltinių analizė.....	12
2. Fotografiniai vaizdai, jų gavimas ir apdorojimas	16
2.1. Aerofotonuotauka ir aerofotografavimo techninės priemonės	16
2.2. Kosminės nuotraukos ir palydovinių sistemų charakteristikos.....	20
2.3. Fotografinių vaizdų orientavimas ir ortofotografinio žemėlapių sudarymas.....	24
3. Kosminių ir aerofotografinių vaizdų apdorojimas.....	32
3.1. Erdvinių duomenų kūrimas naudojant palydovinės sistemos <i>Cartosat-1</i> fotografinius vaizdus.....	32
3.2. Ikonos palydovinės sistemos kosminių nuotraukų apdorojimas.....	40
3.3. Erdvinis modeliavimas naudojant aerofotonuotaukas	45
3.4. Fotogrametrinių matavimų rezultatai.....	53
4. Fotogrametrinių matavimų rezultatų analizė ir įvertinimas	58
4.1. Kosminių nuotraukų ortofotografinio vaizdo tikslumo įvertinimas	58
4.2. 3D modelių, sukurtų naudojant aerofotonuotaukas analizė.....	62
Išvados	65
Literatūra.....	66
Priedai	68

Paveikslų sąrašas

- 2.1 pav. Žemės paviršiaus aerofotografavimas
- 2.2 pav. Stereomodelio geometrijos elementai
- 2.3 pav. Skaitmeninė aerofotokamera *UltraCam X*
- 2.4 pav. Skaitmeninė aerofotokamera *DMC II*
- 2.5 pav. Fotokameros geometrija
- 2.6 pav. Ortofotografinio vaizdo ir aerofotonuotraukos geometriniai principai
- 3.1 pav. *Cartosat-1* kosminės nuotraukos – kairioji (201) ir dešinioji (202)
- 3.2 pav. Jutiklio parametrų nustatymas
- 3.3 pav. Jutiklio parametrai – *SENSOR 1.CMR* failas
- 3.4 pav. Įvestos atraminių taškų koordinatės
- 3.5 pav. Kairiosios kosminės nuotraukos (Nr. 201) absoliutaus orientavimo rezultatai
- 3.6 pav. Dešinėsios kosminės nuotraukos (Nr. 202) absoliutaus orientavimo rezultatai
- 3.7 pav. Taškinių objektų koordinatės – fragmentas
- 3.8 pav. Stereoskopiškai išmatuoto linijinio objekto fragmentas
- 3.9 pav. Linijinių objektų koordinatės – fragmentas
- 3.10 pav. Sukurtas DTM modelis
- 3.11 pav. Palydovinės nuotraukos ortofotografinio vaizdo su horizontalėmis fragmentas
- 3.12 pav. Vektorizuoti objektai – fragmentas
- 3.13 pav. Išmatuotų objektų kerčių 2D koordinatės
- 3.14 pav. Išmatuotų objektų kerčių 3D koordinatės
- 3.15 pav. Kosminių vaizdų dengimo teritorija – Australijos miesto Hobarto teritorijos dalis
- 3.16 pav. Atraminių taškų koordinatės
- 3.17 pav. Kairiosios kosminės nuotraukos absoliučiojo orientavimo *FFSAT* programa rezultatai
- 3.18 pav. Dešinėsios kosminės nuotraukos absoliučiojo orientavimo *FFSAT* programa rezultatai
- 3.19 pav. Absoliučiojo orientavimo *LPS* programa rezultatai
- 3.20 pav. Ortofotografinė nuotrauka, sugeneruota *FFSAT* programa
- 3.21 pav. Ortofotografinė nuotrauka, sugeneruota *LPS* programa
- 3.22 pav. Aerofotonuotraukų (230/231) dengimo teritorija – Vilniaus miesto šiaurės-rytinė dalis
- 3.23 pav. Darbo su *DDPS* (kairėje) ir *LPS* (dešinėje) programinėmis įrangomis technologinės schemas
- 3.24 pav. Kairiosios aerofotonuotraukos vidinio orientavimo rezultatai *DDPS* programa
- 3.25 pav. Dešinėsios aerofotonuotraukos vidinio orientavimo rezultatai *DDPS* programa

- 3.26 pav. Vidinio orientavimo duomenys *LPS* programa
- 3.27 pav. Absoliučiojo orientavimo rezultatai (*DDPS* programinė sistema)
- 3.28 pav. Absoliučiojo orientavimo rezultatai (*LPS* programine sistema)
- 3.29 pav. Orotofotografinė nuotrauka, sugeneruota *DDPS* programa
- 3.30 pav. Orotofotografinė nuotrauka, sugeneruota *LPS* programa
- 3.31 pav. Matavimo fotogrametrine sistema *DDPS* procesas
- 3.32 pav. Matavimo fotogrametrine sistema *LPS* procesas
- 4.1 pav. *FFSAT* ir *LPS* programomis išmatuotų koordinačių nuokrypių ΔX pasiskirstymas
- 4.2 pav. *FFSAT* ir *LPS* programomis išmatuotų koordinačių nuokrypių ΔY pasiskirstymas
- 4.3 pav. *DDPS* ir *LPS* programomis išmatuotų koordinačių nuokrypių ΔX pasiskirstymas
- 4.4 pav. *DDPS* ir *LPS* programomis išmatuotų koordinačių nuokrypių ΔY pasiskirstymas
- 4.5 pav. *DDPS* ir *LPS* programomis išmatuotų koordinačių nuokrypių ΔZ pasiskirstymas

Lentelių sąrašas

- 2.1 lentelė. *Landsat-7* charakteristikos
- 2.2 lentelė. *Ikonos* charakteristikos
- 3.1 lentelė. Taškų koordinatės nustatytos ortofotografinėse nuotraukose sugeneruotose fotogrametrinėmis sistemomis *FFSAT* ir *LPS*
- 3.2 lentelė. Taškų koordinatės nustatytos fotogrametrinėmis sistemomis *DDPS* ir *LPS*
- 4.1 lentelė. *FFSAT* ir *LPS* programomis išmatuotų taškų koordinačių skirtumai
- 4.2 lentelė. *FFSAT* ir *LPS* programomis gautų planimetrinių koordinačių ir taškų aukščių vidutinės kvadratinės paklaidos
- 4.3 lentelė. *FFSAT* ir *LPS* programomis gautų planimetrinių koordinačių ir taškų aukščių standartiniai nuokrypiai
- 4.4 lentelė. *DDPS* ir *LPS* programomis išmatuotų taškų koordinačių skirtumai.
- 4.5 lentelė. *DDPS* ir *LPS* programomis gautų planimetrinių koordinačių ir taškų aukščių vidutinės kvadratinės paklaidos
- 4.6 lentelė. *DDPS* ir *LPS* programomis gautų planimetrinių koordinačių ir taškų aukščių standartiniai nuokrypiai

Įvadas

Šiuolaikinės vaizdų apdorojimo skaitmeninės fotogrametrinės technologijos spartina geoduomenų gamybą, produktyvumą, mažina savikainą ir kt. Šiuo metu skaitmeniniai trimačiai paviršiaus modeliai ir fotogrametrinių matavimų rezultatai (ortofotografinės nuotraukos) vis plačiau naudojami įvairiose srityse.

Darbe nagrinėjami aerofotografiniai ir kosminiai vaizdai. Aerofotografinis vaizdas – tai unikalus žemės paviršiaus fotografinis vaizdas. Kosminis vaizdas – tai iš kosminio palydovo nufotografuotas, persiųstas ir fotogrametriškai apdorotas vaizdas. Remiantis šiais vaizdais sudaromi planai bei žemėlapiai ir gaunama išsami informacija apie kartografuojamus objektus.

Tiek vieni, tiek kiti vaizdai turi savo privalumų ir trūkumų. Kosminių vaizdų kaina didinant teritoriją proporcingai didėja, tuo tarpu aerofotografiniuose vaizduose kaina didėja ne taip sparčiai. Šiuo metu kosminių vaizdų aukščiausia skiriamoji geba, kurią galima pasiekti – tai 0.50 m, o aerofotografinius vaizdus įmanoma gauti su kelių centimetrų skiriamąja geba, priklausomai nuo skridimo aukščio. Kosminės nuotraukos yra patogios tuo, kad vienas kosminis vaizdas apima gana didelę teritoriją, tuo tarpu turint aerofotonuotraukas reikia atlikti atskirų vaizdų sujungimą, siekiant gauti didesnės teritorijos vaizdą.

Fotografiniai vaizdai gaunami iš įvairiausių orlaivių. Kosminėje erdvėje naudojamos palydovinės sistemos: *LANDSAT* (JAV), *SPOT* (Prancūzija), *KOSMOS* (Rusija), *IKONOS* (JAV), *Quick Bird* (Kalifornija), *Cartosat-1* (India) ir kitos.

Fotografinių vaizdų apdorojimas vykdomas tik skaitmeniniais principais, naudojant fotogrametrines programines įrangas. Tokia technologija leidžia automatizuoti taškų matavimus aerofotonuotraukose ir kosminėse nuotraukose bei spręsti įvairius uždavinius, fiziškai nekontaktuojant su matuojamu objektu.

Temos aktualumas. Tam, kad fotografiniuose vaizduose galima būtų atlikti matavimus, nustatyti tikslią vaizdo objektų padėtį, gauti informaciją geografinėms informacinėms sistemoms ir kt. būtina atlikti vaizdų apdorojimą, ortofototransformavimą. Tai vaizdo geometrinės korekcijos procesas, kurio metu koreguojami vaizdo netikslumai dėl kameros geometrijos, jutiklio klaidų. Atlikus apdorojimą, vaizdai tampa geometriškai tikslūs, mastelis visame vaizde suvienodinamas. Fotografinių vaizdų apdorojimui sukurta daug įvairiausių programinių įrangų – tiek mokomųjų, tiek profesionalių. Skirtingų programų panaudojimas, apdorojant fotografinius vaizdus, veikia sukurtų erdvinių modelių tikslumą bei atliekamų fotogrametrinių procesų efektyvumą.

Mokslinis naujumas. Nuolat tobulėjant kosminių bei aerofotografinių nuotraukų gavybos technologijoms išsiplečia taikomumas bei sumažėja sukurtos geodezinės produkcijos kaina. Efektyvus programinės įrangos taikymas skaitmeniniams fotografiniams vaizdams apdoroti tampa vis aktualesnis.

Tyrimo tikslas. Išanalizuoti žemės paviršiaus modelių kūrimo technologiją, taikant skirtingas fotogrametrines programines įrangas bei įvairių šaltinių fotografinius vaizdus – aerofotonuotraukas ir kosmines nuotraukas tiek edukaciniu, tiek praktiniu požiūriu. Apdorojus fotografinius vaizdus ir atlikus fotogrametrinius matavimus, įvertinti skirtingų programinių įrangų taikymo efektyvumą žemės paviršiaus modeliams kurti.

Darbo uždaviniai: išnagrinėti kosminių nuotraukų ir aerofotonuotraukų apdorojimo etapus, apdoroti kosmines nuotraukas bei aerofotonuotraukas ir juose atlikti fotogrametrinius matavimus, įvertinti sukurtų ortofotografinių vaizdų tikslumą.

Baigiamąjį magistro darbą sudaro įvadas, keturi tiriamojo darbo teoriniai ir praktiniai skyriai, išvados, literatūros sąrašas ir priedai. Darbo apimtis 67 psl., 43 paveikslai, 10 lentelių, bibliografinį aprašą sudaro 20 šaltinių.

1. Literatūros šaltinių analizė

„Kosminių nuotraukų iš *Google Earth*, taikomų miestams kartografuoti stambiuoju masteliu, rektifikavimas“, autoriai Birutė Ruzgienė, Qian Yi Xiang, Silvija Gečytė.

Šiame straipsnyje nagrinėjamas didelės skiriamosios gebos skaitmeninių nuotraukų ir kosminių nuotraukų rektifikavimas miestams kartografuoti stambiuoju masteliu. Tai atliekant pasirinkti tikslūs ir aiškiai matomi kontroliniai taškai. Skaitmeninės kosminės nuotraukos, gautos taikant plačiai žinomą programinį paketą *Google Earth*. Jų panaudojimas leidžia kartografuoti miestus dideliu tikslumu. Siūloma nuotraukas rektifikuoti *Penkių kontrolinių taškų* metodu pagal prof. Ruan Wei (Tong Ji universitetas, Šanchajus) algoritmą. Pasitelkus šį metodą sudaromi 1:1000 ir 1:500 mastelio ortofotografiniai žemėlapiai. Rektifikavimo duomenys lyginami su skaitmeninių nuotraukų apdorojimo rezultatais, gautais skaitmeninės fotogrametrijos metodu. Nuotraukų rektifikavimas *Penkių kontrolinių taškų* metodu atitinka kartografavimo stambiuoju masteliu reikalavimus, sumažėja laiko sąnaudos.

„*WorldView-2 is revolutionizing imagery, information and insight*“, autoriai *DigitalGlobe* kompanijos specialistai.

Nagrinėjami *WorldView* dirbtiniai žemės palydovai, kuriuose įgyvendinta girostabilizacijos technologija (angl. *Control Moment Gyros*, sutrumpintai – CMG). Aprašomas kosminių fotonuotraukų panaudojimas žemėlapiams sudaryti. Žemėlapiai vaizduoja įvairius teminius geo-erdvinius sluoksnius, o kosminės fotonuotraukos yra neatsiejama skaitmeninių žemėlapių naujų technologijų dalis. *DigitalGlobe* kompanijos sukurta *WorldView-2* duomenų panaudojimo sistema leidžia automatiškai analizuoti įvairius informacinius parametrus. Papildomi duomenų *WorldView-2* spektriniai kanalai leidžia sutrumpinti kosminių fotonuotraukų rankinio apdorojimo laiką ir užtikrina visiškai automatizuotas, informacinių produktų sudarymo galimybes. Pateikiami *WorldView-2* palydovo gautų kosminių fotonuotraukų dešifravimo rezultatai. Kosminių fotonuotraukų dešifravimo parametrų pagerinimas, tiksli gautų rezultatų analizė žymiai padidina gautos informacijos patikimumą.

„*Новейшие и перспективные спутники дистанционного зондирования Земли*“, autoriai Б. А. Дворкин, С. А. Дудкин.

Pateikiamos įdomiausios Žemės distancinio zondavimo aukštos ir itin aukštos skiriamosios gebos palydovų, kurie buvo paleisti į orbitą pastaruosius dvejus metus ir kurie planuojami paleisti trijų – keturių metų bėgyje, charakteristikos. Nagrinėjamos įvairiausių šalių distancinio zondavimo sistemos bei jų techninės charakteristikos.

„Оценка точности высот SRTM для целей ортотрансформирования космических снимков высокого разрешения“ autorius *И.В. Оньков*.

Pateiktame straipsnyje atliktas tam tikros teritorijos (Perm, Rusija), padengtos dvejomis WorldView-2 fotonuotraukomis su nedideliais kampiniais posvyriais į Nadyrą (mažiau nei 1,4°), žemės paviršiaus modelio aukščių tikslumo tyrimas. Darbas atliktas, siekiant įvertinti ar įmanomas pagal tokias fotonuotraukas sukurti aukšto tikslumo stambaus mastelio (1:2000 – 1:5000) ortofotografinius planus. Taip pat nagrinėjamas reljefo charakteristikų ir atspindinčių paviršių poveikis aukščių modelio tikslumui. Prieita išvados, kad duomenis galima nagrinėti kaip skaitmeninį Žemės reljefo modelį (angl. *Digital Elevation Model*, sutrumpintai – DEM) ir atlikinėti koreguojantį tikslumo vertinimą, bet tik neužstatytose, atvirose teritorijose ir su sąlyga, kad sniego storis fotografuojant būtų itin mažas.

„Практическое применение методов ключевых точек на примере сопоставления снимков со спутника Канопус-В“, autoriai *Б. В. Райченко, В. В. Некрасов*.

Straipsnyje nagrinėjama kosminio fotografavimo duomenų sugretinimo užduotis. Vienas iš standartinių šios problemos sprendimo būdų yra suradimas lokalinių charakterinių ypatybių (kontrolinių taškų) ir jų sugretinimas su identiškais taškais, esančiais fotonuotraukose, gautose iš kitų palydovų. Esantys metodai reikalauja rankinio apdorojimo ir operatoriaus aptiktų taškų koregavimo. Klaidos atsiranda dėl įvairių jutiklio tipų, fotografavimo sąlygų ir nepastovių gamtinių ypatybių (paviršiai su pastoviai besikeičiančiu atspindžio koeficientu, žmogaus paveiktos ir natūraliai besikeičiančios teritorijos, gruntinių kelių susikirtimas ir kt.). Siūlomi metodai ir algoritmai leidžia vaizduose pritaikyti algoritmus, kurie identifikuoja pagrindinius taškus ir maksimaliai panaudoja turimus duomenis, kurie vėliau yra naudojami statistinių sugretinimo modelių patikrinimui. Tai leidžia visiškai automatizuoti iškeltą uždavinį.

„Wielosensowowa triangulacja satelitarna“, autorius *I. Ewiak*.

Kuriant skaitmeninį reljefo modelį, kai naudojami aerofotografavimo duomenys, siekiama pašalinti taškus, kurie yra susiję su atspindžiu nuo žemės paviršiaus objektų – pastatų, statinių ir augmenijos. Reikalingas žymiai tikslesnis skaitmeninis reljefo modelis, ši problema ir yra iškelta straipsnyje. Tyrimo tikslas sukurti metodus, kurie leistų integruoti aukštos skiriamosios gebos kosminius duomenis, ieškant nenutrūkstamų teritorijų ir aktualių ortofotografinių palydovinių vaizdų, kaip medžiagos planavimo užduotims spręsti. Tikslas įgyvendinimas siejasi su palydovinės aerotrianguliacijos technologijų vystymosi. Palydovinė aerotrianguliacija remiasi daugiaspektrinių vaizdų panaudojimu, rengiant techninius vadovaujančius principus ateities naudotojams.

„*Rational polynomial modelling for Cartosat-1 data*“, autoriai S. Devakanth Naidu, T. P. Srinivasan, B. Gopala Krishna, P. K. Srivastava.

Cartosat-1, tai pirmas palydovas su stereo galimybe išilgai linijos, paleistas 2005 metų gegužės mėnesį, kurio dėka gaunami aukšto tikslumo žemės paviršiaus fotografiniai vaizdai. Vienas iš svarbesnių realizuotų *Cartosat-1* produktų, tai Stereo Orthokit. Jis atlieka reikiamą geometrinį apdorojimą apjungiant ir skaitmeninį reljefo modelį. Šio produkto privalumai tai, kad žymiai palengvinamas skaitmeninio reljefo modelio generavimas teisingai panaudojant epipoliarinę geometriją. Šis straipsnis pateikia technines detales RPC (angl. *Rational Polynomial Camera*) generacijos proceso ir produkto Orthokit patikimumo geometrinį įvertinimą. Taip pat nagrinėjamos problemos pastebimos RPC pradinės apdorojimo stadijos metu ir metodai toms problemoms spręsti. Atliktas tyrimas parodo, kad *Cartosat-1* Orthokit produkcija tenkina tikslumo reikalavimus įvairiems fotogrametriniams uždaviniams spręsti.

„*Основные тенденции развития ЦФС*“ autorius A. Ю. Сечин.

Straipsnyje pateikiamas aerofotografavimo, kosminių sistemų, kompiuterinės technikos bei apdorojimo algoritmų tobulinimas ir gerinimas. Analizuojamas fotonuotraukos fotogrametrinis apdorojimas, kuriam papildomai reikalingi skaitmeninės fotogrametrinės stoties duomenys – pasikeičia atraminių taškų paieškos ir sugretinimo būdai. Dėka, kamerų fotografuojančių ne tik į Nadyrą, bet ir kampu į Nadyrą, kurios labiausiai įtakoja skaitmeninių fotografinių stočių tobulinimą, naudojant fotografinius jutiklius, gaunami trimačiai vietovių modeliai ir pastatų sienų tekstūra. Prieita išvados, kad algoritmų apdorojimo procesai, vaizdų nagrinėjimas, pastatų, kelių, tiltų vektorizavimas, 3D modeliavimas, bus vis labiau automatizuojami.

„*Оценка возможности создания цифровых топографических карт и планов*“, autorius E. A. Кобзева.

Darbe pateikiamas skaitmeninių topografinių žemėlapių bei planų sudarymas pagal kosmines fotonuotraukas galimybių įvertinimas. Ši analizė apjungia sekančius tyrimus: dešifravimo savybių analizė, tai yra atpažinimo laipsnis nuotraukose tų vietovės objektų, kuriuos būtina atvaizduoti tam tikro mastelio skaitmeniniuose topografiniuose žemėlapiuose bei planuose; objektų metrinio atvaizdavimo tikslumo analizė, kapitalinių statinių pavyzdžiu; horizontalių išbraižymas pagal kosminę nuotrauką. Pateikiamos įvairių tipų objektų dešifravimo savybių charakteristikos. Straipsnio tyrimo metodika: pagal fotoplanus ir stereoporas atliktas kapitalinių pastatų išbraižymas taip, kaip tai būtų atliekama kuriant skaitmeninius topografinius planus, pasitelkus ortogonalius šablonus atsižvelgiant į perspektyvinius iškreipimus, tačiau maksimaliai atvaizduojant architektūrines detales.

„*Skaitmeninio reljefo modelio kūrimo metodai ir tikslumo tyrimas, taikant skaitmeninės fotogrametrijos technologiją*“ autorė Birutė Ruzgienė.

Straipsnyje aprašomi skaitmeninės fotogrametrijos metodai, taikomi ortofotografiniams žemėlapiams sudaryti. Nagrinėjamas aerofotonuotraukų orientavimas, ir skaitmeninio Žemės paviršiaus reljefo modelio (*DEM*) formavimas. Atliekamas aerofotonuotraukų geometrinis apdorojimas skaitmeniniu ortofotografiniu transformavimo būdu – pašalinami geometriniai iškraipymai, atsiradę dėl fotokameros posvyrio, dėl centrinės projekcijos ir reljefo įtakos. Siekiant skaitmeninį Žemės paviršiaus reljefo modelį sukurti tokio tikslumo, kad būtų užtikrinta gera geometrinė skaitmeninių fotografinių vaizdų transformavimo kokybė analizuojami konkrečios vietovės reljefo ypatumai. Geriausias rezultatas gaunamas, kai reljefas modeliuojamas kuo tankesnio adaptiviojo interpoliavimo būdu sukurtame *TIN*. Skaitmeninės fotogrametrijos procesai eksperimentiškai analizuoti Aerogeodezijos institute (Kaunas) aerofotonuotraukas apdorojus skaitmenine fotogrametrine darbo stotimi *PHOTOMOD*. Šia programine sistema atlikus aerofotografinių vaizdų vidinį, reliatyvųjį bei absoliutųjį orientavimą generuotas reljefo modelis (*DEM*) bei ortofotografinė nuotrauka. Atlikta palyginamoji skaitmeninių reljefo modelių, taikant skirtingus reljefo interpoliavimo metodus, analizė.

Fotogrametriniai metodai plačiai taikomi sudarant topografinius žemėlapius, atliekant žemėtvarkos ir miškotvarkos darbus, kartografuojant architektūrinius paminklus ir kt. Tai pat ir ateityje aerofotografavimo darbai, kurių rezultatais remiamasi konstruojant aerofotografinės nuotraukas, ortofotografinius žemėlapius, nenutrūks, o gausės. Visi objektai, matomi aerofotografinėse nuotraukose, iki šiol yra kartografuojami klasikiniiais fotogrametriniais metodais, tačiau tai užima daug laiko bei reikalingi aukštos kvalifikacijos operatoriai. Dabar yra sukurta automatinių arba pusautomatių sistemų objektų trimačiams modeliams iš fotonuotraukų kurti. Kadangi erdvinių statinių, ypač miestų teritorijose, modelių kūrimo poreikis ateityje didės, sprendžiama, kuris metodas objektų erdvinei padėčiai nustatyti yra efektyvesnis, atsižvelgiant į ekonomines sąlygas, laiko sąnaudas bei tikslumo reikalavimus (Ruzgienė 2008).

Pastaraisiais dešimtmečiais sparčiai tobulėjant kompiuterinei technikai, sukūrus naujus skaičiavimo algoritmus bei atsiradus šiuolaikinėms fotonuotraukų gavybos technologijoms fotogrametrijos mokslas nuo analoginės bei analitinės fotogrametrijos perėjo prie kito etapo – skaitmeninės fotogrametrijos. Skaitmeninės fotogrametrijos procedūros bei aerofotonuotraukų apdorojimo uždaviniai įsisavinami skaitmeninėmis fotogrametrinėmis programinėmis sistemomis *DDPS* (angl. *Didactic Digital Photogrammetric Software*) sukurta Liege (Belgija) universitete bei Varšuvos (Lenkija) Geodezijos ir kartografijos institute ir *LISA* – Hanoverio (Berlynas, Vokietija) universitete. Skaitmeninėmis

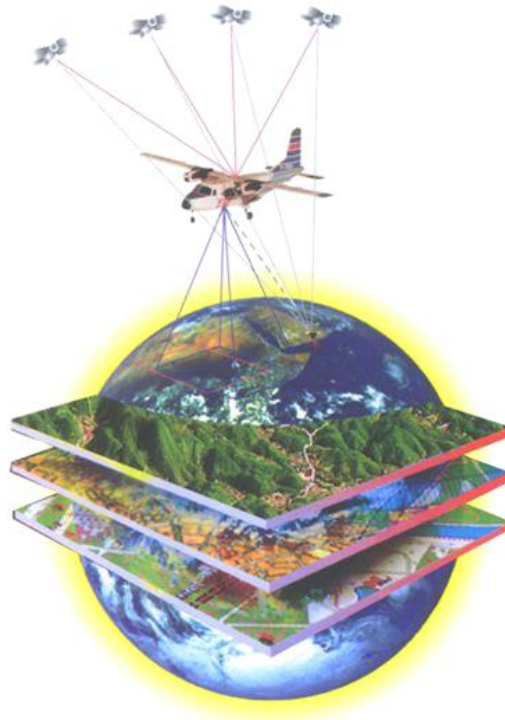
fotogrametrinėmis programinėmis sistemomis – fotogrametrinėmis darbo stotimis (*DDPS* ir *LISA*) atliekamos fotogrametrinės procedūros, ir taip sukuriama trimačiai skaitmeniniai vietovės paviršiaus modeliai. Siekiant didžiausio geoduomenų generavimo iš aerofotonuotraukų produktyvumo ir efektyvumo, ištiriamas fotogrametrinių programinių sistemų funkcionalumas, galimybės, privalumai ir trūkumai bei parenkama optimali technologija (Ruzgienė 2007).

2. Fotografiniai vaizdai, jų gavimas ir apdorojimas

2.1. Aerofotonuotrauka ir aerofotografavimo techninės priemonės

Pastaruoju metu aerofotonuotrauka naudojama vis plačiau. Tai yra efektyvus ir patikimas kartografinės, gamtos išteklių kiekybinės ir kokybinės informacijos šaltinis.

Aerofotonuotrauka – Žemės paviršiaus fotonuotrauka žemėlapiams gaminti, daroma specialia fotokamera iš orlaivio arba dirbtinio Žemės palydovo (2.1 pav.).



2.1 pav. Žemės paviršiaus aerofotografavimas

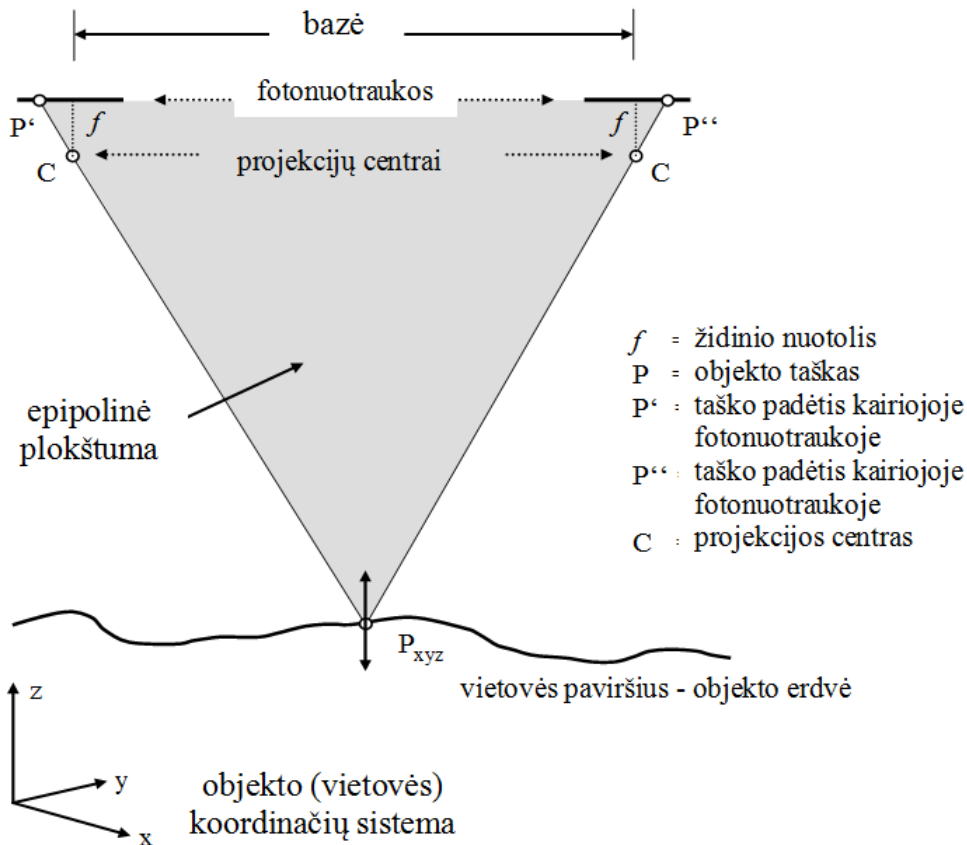
Aerofotografavimui naudojamas tik specialus lėktuvas, kuris atitinka aerofotonuotakai keliamus reikalavimus. Lėktuve turi būti įrengta giroskopinė stabilizavimo sistema optinės ašies posvyriui sumažinti, GPS aerofotonuotraukų projekcijos centrų koordinatėms nustatyti ir speciali įranga fotografiniam procesui valdyti, ekspozicijų intervalams reguliuoti, skrydžio aukščiui matuoti ir kiti įrenginiai.

Tobulėjant technologijoms bei techninėms priemonėms, vietai aerofotografuoti (skenuoti) vis dažniau pasirenkama skaitmeninės aerofotokameros. Skaitmeninės aerofotografavimo sistemos parinkimas dažniausiai priklauso ne nuo jos techninių galimybių, o nuo aerofotonuotraukos paskirties ir fotogrametrinio kartografavimo technologijos.

Svarbiausias skaitmeninių fotokamerų privalumas yra tai, kad skaitmeninė aerofotonuotraukos informacija gaunama greitai ir naudojama tiesiogiai, papildomai neapdorojant (nereikalingi fotomechaniniai procesai ir aerofotonegatyvų skenavimas, dėl kurių nenukenčia fotografinių vaizdų tikslumas). Skaitmeninės fotokameros registruoja platesnį elektromagnetinių bangų diapazoną, todėl fotografiniuose vaizduose aiškiau matyti detales šešėliuose arba ryškiai apšviestose vietose, vaizdai yra kontrastiškesni bei spalvingesni.

Prieš atliekant reikalingos teritorijos aerofotografavimą sudaromas skridimų planas: teritorija suskirstoma į maršrutus ir apskaičiuojamas kiekvienam maršrutui reikalingų ekspozicijų skaičius. Kiekvienas maršrutas yra kruopščiai suplanuojamas, žemės paviršiuje sužymimi kontūrženkliai ir nustatomos jų tikslios koordinatės. Maršrutai ir eksponavimo taškai parenkami taip, kad išilgai lėktuvo skridimo krypties vaizdai dengtų vienas kitą ne mažiau kaip 60 %, statmenai lėktuvo skridimo kryptčiai – apie 20 – 30 %. Tai yra būtina sąlyga stereomodeliams gauti tolesnių fotogrametrinių skaičiavimų metu.

2.2 pav. pateikti stereomodelio geometrijos elementai.



2.2 pav. Stereomodelio geometrijos elementai

Aerofotonuotauka daroma esant geram orui, kai nėra debesų, arba ūkanotą dieną, kai debesys ištiesi dengia dangų, bet yra gana aukštai. Geriausiai fotografuoti anksti pavasarį, kol dar nesužaliavusi augmenija.

Aerofotonuotaukų naudojimas fotogrametrijoje reikalauja specialios techninės įrangos ir programinio aprūpinimo. Skaitmeninėje fotogrametrijoje naudojamos šios techninės priemonės:

- skaitmeninė metriška kamera;
- fotogrametrinis skeneris;
- fotogrametrinė skaitmeninė darbinė stotis (Ruzgienė 2008).

Skaitmeninė kamera, davikliais erdvinius objektus registruoja dvimačiame (plokščiame) kameros lauke. Skaitmeninių fotokamerų panaudojimas, palyginant su metriškomis fotokameromis, teikia šiuos privalumus:

- leidžia pasiekti didesnę radiometrinę skiriamąją gebą;
- gauti spalvotus vaizdus;
- sumažinti skaitmeninės nuotraukos gavimo išlaidas (palyginus su paprasta fotonuotauka);
- sumažinti nuotraukos (negatyvinio filmo ar diapozityvo) skenavimo laiką;
- greitai gauti skaitmeninį vaizdą (be skenavimo).

Skaitmeninių fotokamerų davikliais yra CCD tipo matricos (Charge Coupled Device). Jų matmenys yra maži, eksploatacija stabili ir patikima. Skaitmenines metriškas kameras su tokiais davikliais vadina CCD matricomis.

2000 metais įvykusiame ISPRS XIX Kongrese Amsterdame, pilno formato skaitmenines fotokameras pateikė vien įmonės Zeiss/Intergraph Imaging, (Vokietija/JAV) ir Leica Helava Systems (JAV), o jau 2004 metais įvykusiame ISPRS XX Kongrese Stambule, su sava produkcija prisidėjo įmonės Vexcel Imaging (Austrija/JAV), Rolley Fototechnic (Vokietija), Wehrli and Associates (JAV) ir HPP “Geosistema“ (Ukraina). Šiuo metu daugiau negu 20 įmonių iš įvairių šalių siūlo savo skaitmenines fotokameras.

Aerofotokamera – tai gana sudėtingas įrenginys, nuo kurio savybių priklauso ir gaunamų duomenų kokybė. Visos šiuolaikinės aerofotokameros yra automatinės arba skaitmeninės. Aerofotokameros kokybė paprastai apibūdinama jos fotoobjektyvo kokybe, nuo kurios priklauso aerofotonuotaukų geometrinės, radiometrinės ir vaizdinės savybės. Skaitmeninių aerofotokamerų skaitmeninis jutiklis užtikrina aukštą skiriamąją gebą.

Skaitmeniniam vaizdui gauti šiuo metu plačiausiai paplitusios dvi didelio formato skaitmeninės aerofotokameros, tai *Ultracam X* įmonės *Microsoft-Vexcel* ir *DMC II* įmonės *ZI*.

UltraCam X (2.3 pav.) didelio formato skaitmeninė fotokamera rinkoje atsiradusi 2006 metais, nuolat tobulinama tačiau pagrindinė dizaino koncepcija nepasikeitė. Fotokameros stuktūra susideda iš

dviejų kanalų, panchromatinio ir daugiaspektrinio. Panchromatinį kanalą sudaro keturių kūgių rinkinys išsidėstęs vienoje linijoje, centre. Panchromatinis kanalas skirtas įprastiniam fotografavimui pagal tam tikrą schemą, nes vienas kadras suformuojamas iš 9 dalių. Daugiaspektrinis kanalas, tai kitų keturių kūgių rinkinys skirtas specializuotam fotografavimui įvairiuose spektro diapazonuose, kad pvz. nustatyti miškų rūšį ar žemės drėgnumą (Schneider 2008).



2.3 pav. Skaitmeninė aerofotokamera *UltraCam X*

DMC II skaitmeninė fotokamera (2.4 pav.), kurioje gerai išvystyta didelio dydžio CCD – matricos, jų dydis maždaug 90 mm x 84 mm. Fotokameros struktūrą sudaro penkių kūgių rinkinys, keturios multispektrinės kameros skirtos RGB ir NIR ir viena PAN kamera. *DMC II* skaitmeninė fotokamera yra labai tiksli, planimetrinis tikslumas siekia 0.5 pikselio, o vertikalus tikslumas 0.7 pikselio (Neumann 2011).



2.4 pav. Skaitmeninė aerofotokamera *DMC II*

Fotogrametriniai skeneriai skiriami fotografinio vaizdo (nuotraukos, negatyvo, diapozityvo) transformavimui į skaitmeninį vaizdą. Esminis kiekvieno skenerio konstrukcinis elementas yra CCD matrica. Daviklis yra precizinė judri CCD matrica, judanti, pavyzdžiui 23x23 cm ploto nuotraukos lauku. Dažniausia fotogrametriniuose skeneriuose preciziškai perslenkamas filmas. Šiuo atveju prieš CCD matricą nuosekliai fiksuojamas kiekvienas filmo kadras. Skeneriu galima skenuoti atskiras nuotraukas ir filmus, nereikia daryti diapozityvų kopijų arba karpyti filmą atskirais kadrtais.

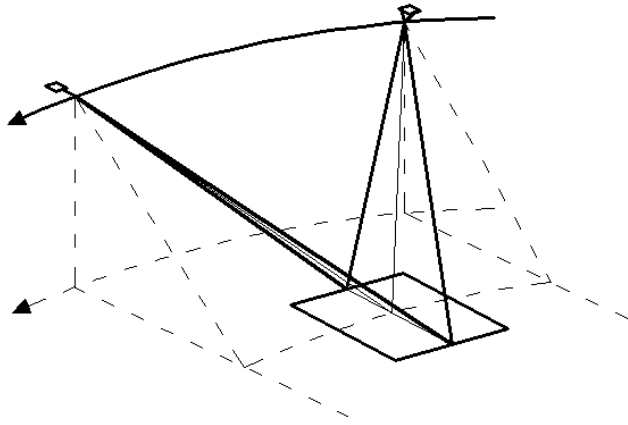
2.2. Kosminės nuotraukos ir palydovinių sistemų charakteristikos

Neseniai fotogrametrijoje atsirado nauja kryptis – tai kosminiai vaizdai. Kosminiai vaizdai – tai iš kosminio palydovo nufotografuoti ir fotogrametriškai apdoroti vaizdai. Nuotraukų gautų iš palydovų apdorojimas gali būti panašus į antžeminių nuotraukų apdorojimą. Taip pat galima panaudoti vaizdus gautus stereo-mikroskopų pagalba. Atsiradus galimybėms apdoroti įvairaus mastelio bei tikslumo stereo poras ir pradėta naudoti kosminius vaizdus.

Vienas iš reikšmingų skirtumų antžeminių ir kosminių vaizdų apdorojime – tai naudojamos fotokameros geometrinės savybės. Antžeminėje fotogrametrijoje naudojami vaizdai gauti fotokameromis centrinės-perspektyvinės projekcijos principu. Kiekvienam vaizdai yra vienas projekcijos centras, taškas kuriame susikerta visi projekcijos spinduliai. Centrinė perspektyvinė projekcija sąlygoja radialiai-simetriškus poslinkius. Fotografiniuose vaizduose išmatuojamos objektų trimatės koordinatės ir atvaizduojamas reljefas.

Skaitmeninės fotokameros, kurios yra naudojamos palydovuose įprastai turi visiškai kitokią geometriją. Priešingai nei centrinės-perspektyvinės projekcijos kameroje, jose yra tik linijinis jutiklis, kuris nukreiptas žemyn ir linija po linijos skenuoja Žemės paviršių. To rezultate gaunama centrinė perspektyva tik vienoje eilutėje (priešinga skridimo kryptimi), o lygiagreti projekcija iš eilutės į eilutę (skrydžio kryptimi).

Šiuolaikinės palydovinės kameros turi daugiau nei vieną linijinį jutiklį. Vienas gali būti nukreiptas žemyn, kitas atgal, o dar kitas į priekį (2.5 pav.). Tokiu būdu stereo vaizdai sudaromi panaudojant vieną nuotrauką iš skenuotos linijos atgal, po kelių minučių gautą kitą nuotrauką iš pirmyn skenuotos linijos.



2.5 pav. Fotokameros geometrija

Dėl skirtingų antžeminių ir kosminių kamerų geometrijos savybių vaizdo koordinačių skaičiavimas iš objektų koordinačių, panaudojant kolinearumo lygtis yra netinkamas kosminių nuotraukų apdorojimui. Tuo tikslu naudojami polinominiai koeficientai (angl. *Rational Polynomial Coefficients*, sutrumpintai – RPC).

$$x' = \frac{P_1(x, y, z)}{P_2(x, y, z)} \quad (2.1)$$

$$y' = \frac{P_3(x, y, z)}{P_4(x, y, z)} \quad (2.2)$$

$$\text{čia, } P_n(x, y, z) = a_1 + a_2y + a_3x + a_4z + a_5yx + a_6yz + a_7xz + a_8y^2 + a_9x^2 + a_{10}z^2 + a_{11}xyz + \\ + a_{12}y^3 + a_{13}yx^2 + a_{14}yz^2 + a_{15}y^2x + a_{16}x^3 + a_{17}xz^2 + a_{18}y^2z + a_{19}x^2z + a_{20}z^3$$

Čia naudojama iš viso 80 koeficientai a_n , po 20 kiekvienam polinomui $P_1, \dots, P_4$. Koeficientai naudojami kartu su vaizdo duomenimis ir pateikia priartintą išorinį (absoliutųjį) orientavimą. Siekiant pagerinti išorinio orientavimo rezultatus naudojami atramos taškai. Matuojamų atramos taškų skaičius priklauso nuo naudojamo palydovo.

Atlikus orientavimą kiekvienam vaizdai gali būti pritaikyti tradicinės fotogrametrijos metodai: objektų koordinačių matavimas, vaizdų sugretinimas siekiant sukurti skaitmeninį paviršiaus modelį (angl. *Digital Terrain Model*, sutrumpintai – DTM), ortofotografinės nuotraukos kūrimas ir kt.

Skaitmeninių vaizdų kokybei pagerinti bei vaizdinei informacijai automatiniam apdorojimui tinkama forma pateikti taikomi vaizdų apdorojimo metodai. Šiais metodais keičiamos kosminių

nuotraukų charakteristikos, o kompiuterinės regos (matymo) principais fotografiniuose vaizduose atpažįstami taškai.

Skaitmeninių vaizdų apdorojimo procesai:

- gavyba – tai aukštos kokybės fotografinio vaizdo sukūrimas,
- išsaugojimas ir suglaudimas – labai didelės apimties skaitmeninių vaizdų pertvarkymas, sumažinant jų užimamos kompiuterinės atminties talpą,
- radiometrinių savybių gerinimas – fotografinių vaizdų spalvinės sklaidos vienodinimas,
- glodinimas – atsitiktinių vaizdo „šiukšlių“ ar „triukšmų“ šalinimas, vaizdų kraštų išryškinimas,
- segmentavimas – vaizdų išskaidymas, apibrėžiant segmentų ribas,
- vizualizavimas – vaizdų pateikimas (Ruzgienė 2008).

Atliekant kosminių nuotraukų apdorojimą, dažnai tenka analizuoti fotografinių vaizdų turinį. Vizualinis vaizdų interpretavimas – tai vienas iš būdų gauti informaciją iš nuotolinių tyrimų duomenų.

Didelis kosminių vaizdų privalumas yra tai, kad jie nesunkiai gali būti apdorojami naudojant nesudėtingą kompiuterinę ir programinę įrangą. Tai leidžia spręsti įvairius globalinius uždavinius.

Atliekant stereoskopinius matavimus atskleidžiamos kosminiame vaizde esančios vietovės reljefo savybės, identifikuojami vietovės objektai, gaunami jų vektoriniai duomenys bei planinės ir aukščių koordinatės.

Taip pat kompiuterinėmis programomis atliekamas greitų pasikeitimų operacinis stebėjimas.

Palydovai. Atliekant nuotolinius tyrimus, kosminėje erdvėje, jutikliai įmontuojami palydovuose. Palydovai skrieja skirtingomis orbitomis pagal stebėjimų paskirtį: meteorologijai, Žemės paviršiaus kartografavimui, miestų teritorijų kartografavimui ir kt. RS tyrimų/orbitų charakteristikos:

- altitudė – aukštis nuo palydovo iki vidutinės Žemės paviršiaus plokštumos (600-800 km (poliarinė orbita) arba 36000 km (geostacionarinė orbita)).
- polinkio kampas – kampas tarp orbitos ir pusiaujo. Jei polinkis 60 laipsnių, tai palydovas skrieja tarp Š ir P platumos 60 laipsnių (neskenuojama virš 60 laipsnių platumos)

Žemės paviršius fotografuojamas iš nuolat veikiančių Žemės palydovinių sistemų: *LANDSAT* (JAV), *SPOT* (Prancūzija), *KOSMOS* (Rusija), *IKONOS* (JAV), *Quick Bird* (Kalifornija), *Envisat*, *ERS* (Europos Kosmoso agentūra), *IRS* ir *Cartosat-1* (Indija), *RADARSAT* (Kanada) ir kt.

Palydovuose yra įmontuoti daugiaspektriniai skeneriai, kuriais matuojamas kelių skirtingų spektro juostų intensyvumas. Pateikiami keli tokių skenerių pavyzdžiai:

Landsat-7 paleistas 1999 metais. Jutiklis – Teminis Kartografas (angl. *Thematic Mapper*, sutrumpintai – TM) (2.1 lentelė). Šis daugiaspektrinis prietaisas taikomas žemės paviršiaus, žemės naudojimo, dirvožemio, geologinis, jūrų paviršiaus temperatūros kartografavimui.

2.1 lentelė. *Landsat-7* charakteristikos

Palydovinė sistema	<i>Landsat-7</i>
Orbita	705 km, 98,2°, sinchroniškai saulei
Jutiklis	ETM+(Enhanced Thematic Mapper)
Juostos plotis	185 km (FOV = 15°)
Pastebimas nuokrypis	Ne
Apsisukimo laikas	16 dienų
Spektrinė juosta (nm)	0,45 – 0,52 (1), 0,52 – 0,60 (2), 0,63 – 0,69 (3), 0,76 – 0,90 (4), 1,55 – 1,75 (5), 10,4 – 12,50 (6), 2,08 – 2,34 (7), 0,50 – 0,90 (PAN)
Skiriamoji geba	15 m. (PAN), 30 m (juostos 1 – 5,7), 60 m. (6 juosta)
Duomenų archyvas	Earthexplorer.usgv. gov

Ikonos paleistas 2000 metais, tai pirmas komercinis didžiausia erdvinę skiriamąją ir radiometrinę (11-bit) gebą turintis palydovas (2.2 lentelė). Šiais skeneriais gauti vaizdai naudojami miestų kartografavimui (anksčiau iš kosminės erdvės gautų duomenų taikyti šiam tikslui nebuvo galima), smulkaus ir vidutinio mastelio topografiniams žemėlapiams sudaryti bei esamiems žemėlapiams atnaujinti. Reguliarus laukų situacijos atnaujinimas padeda žemdirbiams optimizuoti trąšų ir herbicidų panaudojimą.

2.2 lentelė. *Ikonos* charakteristikos

Palydovinė sistema	<i>IKONOS</i>
Orbita	680 km, 98,2°, sinchroniškai saulei, cikliškumas - 14 dienų
Jutiklis	OSA (Optical Sensor Assembly) (Optinių Jutiklių rinkinys)
Juostos plotis	11 km (12mm CCD elementai)
Pastebimas nuokrypis	Taip, $\pm 50^\circ$
Kartotinumų trukmė	1 – 3 dienos
Spektrinė juosta (nm)	0,45 – 0,52 (1), 0,52 – 0,60 (2), 0,63 – 0,69 (3), 0,76 – 0,90 (4), 0,45 – 0,90 (PAN)
Skiriamoji geba	1 m (PAN), 4 m (juostos 1 - 4)
Duomenų archyvas	www.spaceimaging.com

EO-1, tai naujausios technologijos daugiaspektrinis skeneris, kuris yra toje pat orbitoje kaip ir *Landsat-7* ir gaunami žemės paviršiaus vaizdai beveik tuo pačiu metu kaip ir *LANDSAT*, taip galima atlikti informacijos kontrolę.

2.3. Fotografinių vaizdų orientavimas ir ortofotografinio žemėlapių sudarymas

Fotogrametrinės skaitmeninės darbinės stotys yra nauja fotogrametrinė priemonė, skiriama išvesti metrišką ir semantinę informaciją ir formuoti nufotografuoto objekto skaitmeninį vaizdą. Stočių darbas pagrįstas analitiniais fotogrametriniais algoritmais. Skirtingai nuo analitinių sistemų, fotogrametrinės skaitmeninės darbinės stotys neturi optinių ir mechaninių elementų, kadangi visi veiksmai atliekami skaitmeninių vaizdų kompiuterinio apdorojimo būdu.

Skaitmeninė fotogrametrinė stotis susideda iš procesoriaus ir periferinės įrangos:

- didelės skiriamosios gebos monitoriaus;
- stereoskopinio vaizdo įrangos;
- Įvairaus tipo matavimo įrangos (trek – bol, roller, specialioji pelė, rankiniu būdu valdomi ratai, pedalai).

Naudojami šie skaitmeninio vaizdo pateikimo fotogrametrinės skaitmeninės darbinės stoties monitoriuje būdai:

1. Padalintame į dvi dalis monitoriaus ekrane rodomi du identiški vaizdo atvaizdai, kurie stebimi stereoskopu.
2. Dviejų sutaptintų atvaizdų parodymas visame monitoriaus ekrane ir jų stereoskopinis stebėjimas anaglifiniais akiniais.
3. Dviejų atvaizdų vienalaikis parodymas visame monitoriaus ekrane 100 Hc dažniu ir jų stereoskopinis stebėjimas specialiais akiniais, kurie šviesą ir praleidžia ir blokuoja. Darbo sinchronizavimui tarp tų akinių ir ekrano būtinas ryšys. Darbo su tokiais akiniais mechaninė versija pakeista akiniais su skystų kristalų užraktu.
4. Dviejų vaizdų vienalaikis generavimas ir jų sinchronizuotas parodymas poliarizuotame ekrane. Norint gauti stereoefektą, operatorius turi žiūrėti į ekraną per poliarizacinius akinius.

Pirmąsias fotogrametrines skaitmenines darbinės stotis sukūrė ir pagamino įmonė: Leica Helava Systems, Zeiss /Intergraph Imaging ir Supresoft. Šiuo metu įvairiomis įmonėmis sukurtų tokių stočių skaičius siekia kelias dešimtis.

Vidinis orientavimas. Pirmasis fotografinių vaizdų apdorojimo etapas yra vidinis orientavimas. Vidinio orientavimo tikslas – atkurti projektuojamųjų spindulių geometriją kiekvienos ekspozicijos

momentu. Šiam tikslui reikia surasti fotokameros parametrų – pagrindinio atstumo ir pagrindinio taško padėtis fotogrametrinės įrangos koordinačių sistemoje.

Skaitmeninėje fotogrametrijoje vidiniu orientavimu skaitmeninio fotografinio vaizdo kiekvieno pikselio koordinatės transformuojamos į fotonuotraukos koordinačių sistemą. Randama fotokameros, fotografinio vaizdo ir skaitmeninio vaizdo koordinačių sistemų sąsaja.

Fotografiniai vaizdai transformuojami pagal vidinio orientavimo parametrus: fotokameros židinio nuotolį, pagrindinio taško koordinates, fotonuotraukos koordinatinių žymių koordinates, radialinę (simetrinę) bei tangentinę (asimetrinę) lęšių distorsijas.

Visi fotokamerą charakterizuojantys parametrai yra nustatomi fotokamerų kalibravimo laboratorijoje ir pateikiami fotokameros kalibravimo sertifikate.

Pradedant vidinį orientavimą, pirmiausiai nustatomos aerofotonuotraukų x ir y ašių kryptys. Pagal nurodytas koordinačių ašių kryptis automatiškai skaičiuojami skaitmeninio fotografinio vaizdo transformavimo į fotografinio vaizdo koordinačių sistemą parametrai.

Fotografinio vaizdo koordinatėms transformuoti į skaitmeninio vaizdo koordinačių sistemą matuojamos kiekvienos (kairiosios ir dešinėsios) fotonuotraukos aštuonios koordinatinės žymės. Tai fotokameros vidiniame rėmelyje ties fotoplokšte įbrėžti ženklai, kurie gerai matomi fotonuotraukose (Linder 2003, Ruzgienė 2008).

Sąsaja tarp skaitmeninio vaizdo (pikselių) koordinačių sistemos x, y ir fotonuotraukos koordinačių sistemos x', y' randama išmatavus mažiausiai keturių koordinatinių žymių koordinates, taikant afininio transformavimo metodo formules (Luhmann ir kt. 2006):

$$\begin{aligned}x' &= a_0x + a_1y + a_2 \\ y' &= b_0x + b_1y + b_2\end{aligned}\tag{2.3}$$

čia, x', y' – fotonuotraukos koordinatės, x, y – pikselių koordinatės, $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ – šeši nežinomieji transformavimo koeficientai (parametrai).

Išmatavus daugiau nei trijų koordinatinių žymių koordinates, nežinomiesiems apskaičiuoti taikomas mažiausiųjų kvadratų išlyginimo metodas.

$$v = A \cdot p\tag{2.4}$$

čia, v – išlygintų fotonuotraukos koordinatinių žymių koordinačių vektorius; A – koeficientų, skaitmeninio vaizdo (pikselių) koordinačių sistemoje, matrica; p – nežinomųjų vektorius;

$= x + n$, x – neišlygintų koordinačių reikšmių vektorius; n – liekamųjų paklaidų vektorius.

Mažiausiųjų kvadratų išlyginimo sąlyga yra: $n^T n = \min$.

Vektorius p ir šeši nežinomieji (transformavimo koeficientai) randami išsprendus lygtis:

$$p = (A^T A)^{-1} A^T x\tag{2.5}$$

Apskaičiavus afininio transformavimo parametrus, kiekvienas skaitmeninio fotografinio vaizdo taškas gali būti transformuojamas į fotonuotraukos koordinačių sistemą. Ir atvirkščiai, kiekvienas fotonuotraukos taškas transformuojamas į pikselių koordinates, o koordinačių transformavimo parametrai apskaičiuojami tokiu pat būdu.

Atliekant vidinį orientavimą, koordinatinės žymės matuojamos tik tuomet, kai fotonuotraukos gautos, fotografuojant tradicine metrine fotokamera. Skaitmeninėse fotokameros, kurių vienas iš pagrindinių elementų yra CCD jutiklis, koordinatinės žymės nereikalingos, nes kiekvienas CCD elementas atitinka tą patį fotografinio vaizdo elementą kiekvienu fotografavimo momentu. Šiuo atveju, fotografinių vaizdų vidinis orientavimas atliekamas tiesiogiai tik vieną kartą, t. y. vidinio orientavimo kiekvienai fotonuotraukai atlikti nereikia.

Išorinis orientavimas. Išorinio orientavimo tikslas – surasti sąsają tarp fotonuotraukos ir vietovės koordinačių sistemų. Koordinačių sistemų sąsaja išreiškiama fotonuotraukos padėtimi erdvėje ir kampiniais posūkiais apie x , y ir z ašis kiekvienos ekspozicijos momentu, t. y. nustatomi septyni išorinio orientavimo parametrai:

- ✓ trys posūkių apie ašis kampai ω , φ ir κ ;
- ✓ projekcijos taško koordinatės vietovės koordinačių sistemoje X_0 , Y_0 ir Z_0 ;
- ✓ mastelio koeficientas λ .

Šie parametrai apskaičiuojami remiantis atraminiais taškais, kurių koordinatės yra žinomos vietovės koordinačių sistemoje. Septyniems išorinio orientavimo parametrų apskaičiuoti (septynioms lygtims sudaryti) reikia mažiausiai dviejų atraminių taškų su žinomomis X , Y ir Z koordinatėmis ir vieno taško, kurio žinoma Z koordinatė – tai teorinis atvejis. Siekiant įvertinti išorinio orientavimo tikslumą, reikia daugiau kaip septynių atraminių taškų, kurie būtų išsidėstę visame fotografinio vaizdo plote (Ruzgienė 2008).

Fotografinių vaizdų išorinis orientavimas gali būti atliekamas dviem etapais:

- 1) reliatyvusis orientavimas;
- 2) absoliutusias orientavimas.

Pirmuoju išorinio orientavimo etapu – fotonuotraukų reliatyviuoju orientavimu, nustatant fotografinių vaizdų sanklodos srityje pavienių taškų koordinates, sukuriamas stereoskopinis modelis sąlyginėje koordinačių sistemoje xyz . Antruoju etapu – fotonuotraukų absoliučiuoju orientavimu modelio koordinatės transformuojamos į vietovės koordinačių sistemą XYZ .

Reliatyviojo orientavimo tikslas – rasti tokią dviejų fotografinių vaizdų padėtį, kurioje kiekvienas aerofotonuotraukų sanklodos taškas atitiktų sąlygą – spindulys, einantis per kairiosios fotonuotraukos tašką ir projekcijos centrą, ir spindulys, einantis per dešinėsios fotonuotraukos tašką ir projekcijos centrą,

turi susikirsti viename taške. Tokia sąlyga bus išlaikyta, jeigu dviejų identiškų taškų vertikalusis (skersinis) paralaksas $p_y = 0$.

Vokiečių mokslininkas Otto von Gruber sukūrė aerofotonuotrukų reliatyviojo orientavimo metodą, kai stereomodelyje matuojami standartiškai parinktose vietose bendrieji fotonuotrukų taškai, turintys skirtingus projekcijos centrus – homologiniai taškai. Reliatyviajam orientavimui atlikti aerofotonuotrukose parenkami ne mažiau kaip penki, gerai matomi dešiniajame ir kairiajame vaizduose, vadinamieji *Gruberio*, taškai. Jei išmatuojama daugiau nei penki taškai, tai uždavinys sprendžiamas mažiausiųjų kvadratų išlyginimo būdu.

Išmatavus homologinių taškų koordinates ir apskaičiavus aerofotonuotrukų reliatyvaus orientavimo elementus, dvi fotonuotrukos jungiamos į stereoskopinio modelio koordinačių sistemą, kurios pradžios taškas yra kairiosios fotonuotrukos pagrindinis taškas (Linder 2003, Ruzgienė 2008).

Skaičiuojamos erdvinės fotografinio vaizdo koordinatės:

$$\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} = dR \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ -c \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

čia, $dR \begin{pmatrix} 1 & -d\kappa_i & d\varphi_i \\ d\kappa_i & 1 & -d\omega_i \\ -d\varphi_i & d\omega_i & 1 \end{pmatrix}$, $x'_1 = -c \frac{x_i}{z_i}$, $y'_1 = -c \frac{y_i}{z_i}$.

Kai p_y paralakso reikšmės pakankamai mažos, fotonuotrukos koordinatės x'_1, y'_1 ir x'_2, y'_2 yra transformuotos į naujas koordinates x'_{n1}, y'_{n1} ir x'_{n2}, y'_{n2} . Šios koordinatės perskaičiuojamos į modelio koordinates pagal formules:

$$\begin{aligned} Z_m &= -\frac{cB}{x'_{n1} - x'_{n2}} \\ X_m &= -Z_m \frac{x'_{n1}}{c} \\ Y_m &= Z_m \frac{y'_{n1}}{c} = -Z_m \frac{y'_{n2}}{c} \end{aligned} \quad (2.7)$$

čia, B – fotografavimo bazė (linija, jungianti projekcijos centrus).

Atlikus reliatyvųjį orientavimą, gaunama trimatė informacija, tačiau modelis nėra masteliu, koordinačių ašių pradžia nenustatyta ir ašių sistema nėra orientuota vietovės koordinačių sistemos atžvilgiu. Stereoskopinio modelio koordinatėms transformuoti į vietovės koordinačių sistemą atliekamas *absoliutusias orientavimas*.

Sąsaja tarp modelio koordinačių X_m, Y_m, Z_m ir atraminių taškų koordinačių X, Y, Z išreiškiama lygtimis:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} + \lambda R \begin{pmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{pmatrix} \quad (2.8)$$

čia, X_0, Y_0, Z_0 – projekcijos centro koordinatės, λ – mastelio koeficientas, R – modelio koordinačių sistemos $(XYZ)_m$ posūkio, XYZ koordinačių sistemos atžvilgiu, matrica:

$$R = \begin{pmatrix} \cos \varphi \cos \kappa & -\cos \varphi \sin \kappa & \sin \varphi \\ \cos \omega \sin \kappa + \sin \omega \sin \varphi \cos \kappa & \cos \omega \cos \kappa - \sin \omega \sin \varphi \sin \kappa & -\sin \omega \cos \varphi \\ \sin \omega \sin \kappa - \cos \omega \sin \varphi \cos \kappa & \sin \omega \cos \kappa + \cos \omega \sin \varphi \sin \kappa & \cos \omega \cos \varphi \end{pmatrix}$$

Koordinačių transformavimas atliekamas pagal atraminius taškus, kurių koordinatės vietovės koordinačių sistemoje nustatytos geodeziniais matavimais arba atlikus atramos tinkle sutankinimą – aerotrianguliaciją. Kai kurie atraminiai taškai gali būti neįtraukiami į absoliutinio orientavimo parametrų skaičiavimą. Pagal juos atliekama koordinačių transformavimo kontrolė.

Mažiausiai septinių lygčių reikia septyniems išorinio orientavimo parametrams $X_0, Y_0, Z_0, \lambda, \omega, \varphi$ ir κ nustatyti. Tam reikia turėti pakankamą kiekį atraminių taškų. Žinant vieno atraminio taško koordinates X, Y ir Z , galima sudaryti tris lygtis (Ruzgienė 2008).

Nežinomieji apskaičiuojami, taikant mažiausiųjų kvadratų išlyginimo metodą, o pirmajam priartėjimui priimamos reikšmės:

$$\Omega = 0, \Phi = 0, \lambda = \left(\frac{dX_m^2 + dY_m^2}{dX^2 + dY^2} \right)^{-1/2}$$

$$X_0 = X - \lambda(X \cos \kappa + Y \sin \kappa) \quad (2.9)$$

$$Y_0 = Y - \lambda(X \sin \kappa + Y \cos \kappa)$$

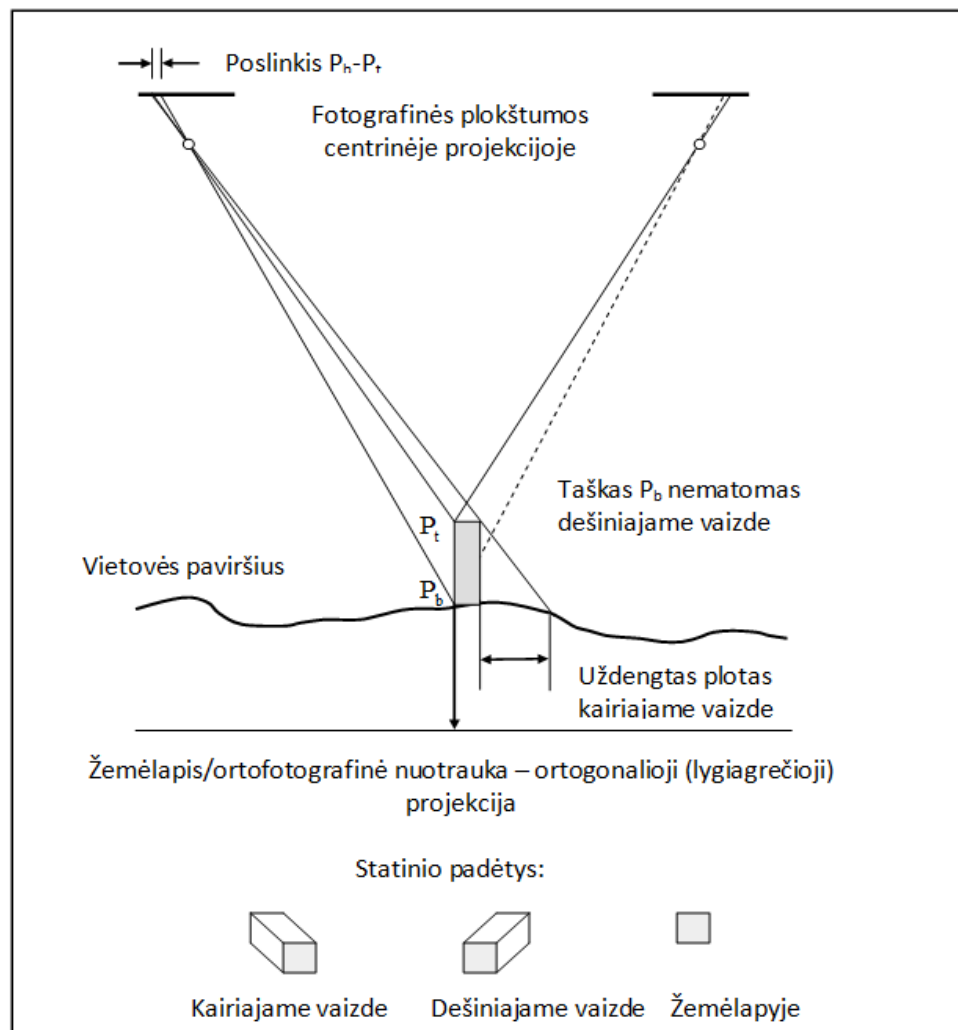
$$Z_0 = X - \lambda Z$$

Kiekvienai stereoporai reikalingi ne mažiau kaip trys atramos taškai su žinomomis X, Y, Z koordinatėmis. Reikia, kad šie taškai aerofotonuotrauose būtų išsidėstę ne vienoje tiesėje.

Ortofotografinio žemėlapis sudarymas. Skaitmeninis ortofotografinis žemėlapis yra vietovės, buvusios aerofotografavimo metu, fotografinis (rastrinis) vaizdas, iš centrinės aerofotonuotraukų projekcijos transformuotas į ortogonaliją projekciją, pašalinus objektų fotografiniuose vaizduose iškraipymus dėl fotokameros posvyrio, vietovės reljefo įtakos, Žemės kreivumo bei atmosferos refrakcijos.

Atliekant aerofotonuotraukų transformavimą (ortofotografinį rektifikavimą) pašalinami geometriniai iškraipymai ir sukuriamas ortofotografinis vaizdas. Aerofotonuotraukos centrinė projekcija transformuojama, taikant ortogonalųjį projektavimo principą, kai projektuojamieji spinduliai yra lygiagretūs. Dėl fotografinio vaizdo perspektyvinės projekcijos, atsiranda uždengti plotai, kurie neturi vaizdo duomenų. Tokie tarpai gali būti uždengiami, įkeliant kitų fotografinių vaizdų segmentus

(Ruzgienė 2008). Ortofotografinio vaizdo ir aerofotonuotraukos geometrijos principinė schema pateikta 2.6 pav.



2.6 pav. Ortofotografinio vaizdo ir aerofotonuotraukos geometriniai principai

Ortofotografiniam žemėlapiui generuoti kuriamas skaitmeninis Žemės paviršiaus modelis (angl. *Digital Surface model – DSM*). Tai vietovės paviršiaus skaitmeninis modelis ir jame esančių objektų (statinių, augmenijos ir kt.) trimačių koordinatų X , Y ir Z visuma.

Vietovės paviršiaus modelis (angl. *Digital Terrain Model – DTM*) teikia neuždengto („tuščio“) paviršiaus (be statinių, augmenijos ir kt.) duomenis. Skaitmeninis reljefo modelis (angl. *Digital Elevation Model – DEM*) – tai failas ar duomenų bazė, kurioje yra referencinio paviršiaus taškų aukščių, interpoliuojamų remiantis atramos taškais, rinkinys. Kuo daugiau aukščių taškų (tankesnis aukščių taškų tinklas), tuo aukščių interpoliavimo rezultatai patikimesi (Linder 2003).

Paviršiaus modelio detalumą ir tikslumą charakterizuoja vaizdo elemento (modelio generavimo žingsnis) matmenys vietovėje ir fotografiniame vaizde.

Atlikus aerofotonuotraukų orientavimą ir sukūrus skaitmeninį reljefo modelį, generuojama ortofotografinė nuotrauka, kuri atitinka geometrinius sudaromojo žemėlapių reikalavimus. Ortofotografinio vaizdo generavimo uždavinys – prvesti spindulį per kiekvieną fotografinio vaizdo elementą, projekcijos centrą, reljefo modelio elementą ir stačiu kampu projektuoti į horizontaliąją plokštumą. Spindulio susikirtimas su projektuojamąja plokštuma – tai gautoji padėtis ortogonalioje projekcijoje.

Skaitmeninių ortofotografinių žemėlapių sudarymas apima šiuos pagrindinius procesus: analoginių aerofotonuotraukų skenavimas, atraminio fotogrametrinio tinklo sudarymas – aerotrianguliacija, aerofotonuotraukų vidinis ir išorinis orientavimas, skaitmeninio vietovės modelio generavimas ir redagavimas, ortofotografinio žemėlapių generavimas.

Ortofotografinių žemėlapių geometrinių tikslumas (aiškių kontūrinių taškų vidutinės absoliučiosios padėties paklaidos) priklauso nuo:

1. *Lėktuvo skrydžio aukščio.* Aerofotografuojamų objektų (ypač aukštų) padėties fotonuotraukoje tikslumui didelės įtakos turi skrydžio aukštis. Aukščių paklaida σ_h apskaičiuojama:

$$\sigma_h = \sigma_p \frac{H}{c} \frac{H}{B} \quad (2.10)$$

čia σ_p – išilginio paralakso matavimo paklaida (apie 7 μm); B – aerofotografavimo bazė.

Jei fotografuota iš ~1000 m aukščio, fotokameros židinio nuotolis 153,604 mm, fotografavimo bazė ~545 m, tai $\sigma_h = \sim 0,10$ m.

2. *Aerofotonuotraukų skenavimo ar fotografinio vaizdo skiriamosios gebos.* Skenuojant aerofotonuotraukus labai svarbu teisingai parinkti skenavimo intervalą (vaizdo elemento – pikselio dydį). Kuo mažesnis pikselis, tuo daugiau informacijos talpina skaitmeninis vaizdas. Aerofotonuotraukus skenuojant labai mažu intervalu (pvz., 7 μm), gaunamos labai didelės apimties duomenų rinkmenos, ir tuomet kyla duomenų valdymo problemų. Kai skenavimo intervalas parenkamas didesnis (pvz., 85 ar 170 μm), prarandama dalis informacijos, ir matavimų rezultatai mažiau tikslūs. Aerofotonuotraukų skenavimo intervalas parenkamas, atsižvelgiant į keliamus skaitmeninių žemėlapių ar vietovės modelių sudarymo tikslumo reikalavimus. Skaitmeninėje fotogrametrijoje aerofotonuotraukoms skenuoti naudojamų skenerių geometrinių skenavimo tikslumas turi būti apie 50 μm . Todėl aerofotonuotraukos, kurių skenavimo geometrinė skiriamoji geba buvo 600 dpi (42 μm) atitinka skaitmeninės fotogrametrijos tikslumo reikalavimus.

Eksperimentui naudoti aerofotonuotraukų pozityvai nuskenuoti 14 μm skiriamąja geba (vaizdo elemento didumas) fotogrametriniu skeneriu *Vexell Ultra Scan* ir pateiktos *TIF* formatu.

3. *Atramos taškų koordinatinių nustatymo ir aerotrianguliacijos tinklo sudarymo.* Atramos taškų (kontūrženklių) koordinatės nustatomos geodeziniais metodais, elektroniniais toliamačiais, o dažniausiai

– GPS. Koordinuojant kontūrženklus GPS metodu, remiamasi valstybinio II – III klasių GPS tinklo punktais. Trečiosios GPS klasės punktų koordinatų paklaidos siekia 20 mm, o elipsoidinių aukščių – 35 mm, todėl didesniame tikslume gauti kaip referencinės stotys naudojami GPS II klasės tinklo punktai.

Išoriniam aerofotonuotraukų orientavimui atramos taškų koordinatės nustatytos 6 cm tikslumu su GPS.

Aerotrianguliacijos metodu atliekamas fotogrametrinio pagrindo sutankinimas. Aerotrianguliacijos tinklas sudaromas analitiniu arba skaitmeniniu (automatiniu) būdu. Kartais vienu metu taikomi abu šie metodai, ir sukurama vientisa fotogrametrinio sutankinimo sistema.

4. Aerofotonuotraukų orientavimo.

5. *Vietovės reljefo modelio tikslumo.* Skaitmeninis vietovės modelis – tai tolydinė funkcija $Z(X, Y)$. Reljefo lūžio linijos dažniausiai nustatomi pusiau automatiniu būdu. Sukurtas paviršiaus modelis turi atitikti realiai situacijai reikiamu tikslumu. Kiekvienam taškui su žinomomis X ir Y koordinatėmis nustatomi aukščiai Z . Skaitmeninis reljefo modelis gali būti rastrinis modelis, susidedantis iš skaitmeninio vaizdo elementų matricos su aukščių reikšmėmis.

Skaitmeninio reljefo modelio tinklo tankumas priklauso nuo vietovės reljefo. Generuojant vidutinio mastelio ortofotografinę nuotrauką, skaitmeninio vietovės modelio tinklo intervalas apie 10 – 50 m. Jei vietovės reljefas nėra raižytas, užtenka nustatyti taškų aukščius kas 5 – 10 m.

6. *Ortofotografinio žemėlapių generavimo žingsnis.* Prieš generuojant ortofotografinę nuotrauką, nustatomas generavimo intervalas – pikselio dydžio p atitikmuo vietovėje: $p = k \cdot m_{orto}$, čia k – empirinis koeficientas $k = 8,5 \cdot 10^{-5}$ m. Pavyzdžiui, jei sudaromojo ortofotografinio žemėlapių mastelis 1: M = 1:10 000, tai pikselio dydžio atitikmuo vietovėje – 0,85 m, jei $m_{orto} = 2000$, tai $p = 0,17$ m.

Skaitmeninio ortofotografinio žemėlapių generavimo tikslumas apibūdinamas vienu arba dviem vaizdo elemento (pikselio) dydžiais. Pavyzdžiui, jei pikselio dydis 0,10 m, tai sudaromojo ortofotografinio žemėlapių mastelio 1:1000 tikslumas bus 0,20 m. Ortofotografinio žemėlapių, sudaryto 1:1000 bei 1:2000 masteliais, vidutinis geometrinis tikslumas gali būti ne didesnis atitinkamai kaip 0,4 m ir 0,8 m.

Geometriškai transformuotos skaitmeninės aerofotonuotraukos bei ortofotografiniai žemėlapiai naudojami daugelyje sričių: krašto kartografavimui, miškotvarkoje, žemės kadastro žemėlapiams sudaryti, žemės valdų riboms koordinuoti ir kt. Be to, ortofotografinių žemėlapių skaitmeniniai duomenys integruojami į geografinių informacinių sistemų duomenų bazes, kadastro informacines sistemas ir kt.

Ortofotografinių žemėlapių privalumai:

- ✓ didelės vizualinio interpretavimo (dešifravimo) galimybės;
- ✓ žemėlapis labai informatyvus;
- ✓ spartus žemėlapių sudarymo būdas;

- ✓ galimybė rastrinius duomenis jungti su vektoriniais;
- ✓ geometrinis tikslumas atitinka keliamus reikalavimus;
- ✓ žemėlapiai lengvai atnaujinami.

Pagrindiniai ortofotografinių žemėlapių trūkumai:

- ✓ kai kurios informacijos stoka, palyginti su tradiciniais geodeziniais ar kartografiniais metodais sudarytu vietovės žemėlapiu;
- ✓ brangiai kainuoja užstatytų teritorijų kartografavimas;
- ✓ kai kuriuos objektus neįmanoma klasifikuoti pagal GIS poreikius;
- ✓ kai kurie žemės paviršiaus objektai nematomi, juos gali dengti miškų ar aukštų statinių šešėliai;
- ✓ stambiojo mastelio užstatytų teritorijų ortofotografinėje nuotraukoje gaunami nuo fotografavimo centro į pakraščius didėjantys pastatų, medžių ar tiltų radialiniai perspektyviniai iškraipymai (Ruzgienė 2008).

3. Kosminių ir aerofotografinių vaizdų apdorojimas

3.1. Erdvinių duomenų kūrimas naudojant palydovinės sistemos *Cartosat-1* fotografinius vaizdus

Fotografinių vaizdų apdorojimas atliktas, naudojant *Cartosat-1* palydovo kosmines nuotraukas. *Cartosat-1*, tai pirmasis Indijos Žemės nuotolinio tyrimo palydovas paleistas 2005 metais, turintis galimybes gauti aukštos skiriamosios gebos stereoporas. Palydovas aprūpintas dviem panchromatiniais skeneriais (PAN FORE ir PAN-AFT), leidžiančiais išgauti didelio tikslumo metrinės charakteristikas: skiriamoji geba apie 2.5 metro (panchromatinė), vidutinė kvadratinė aukščių (z) paklaida (ang. *Root Mean Square*, sutrumpintai – RMS) gali siekti 2 metrus, radiometrinė raiška – 10 bitų vienam pikseliui. Remiantis iš palydovo gautais duomenimis, galima gauti skaitmeninį reljefo modelį (DEM) su 5 metrų aukščio tikslumu.

Kosminių nuotraukų fotogrametriniam apdorojimui ir ortofotografinės nuotraukos generavimui naudota skaitmeninė fotogrametrinė programinė sistema *LISA*.

Skaitmeninė programinė įranga *LISA* taikoma skaitmeniniams vietovės reljefo modeliams kurti, kokybei tirti ir tikslumui įvertinti, taip pat sprendžiami vietovės paviršiaus modeliavimo uždaviniai 3D erdvėje (Ruzgienė 2007; Linder 2003).

Skaitmeninės fotogrametrinės programos *LISA* paketą sudaro 3 moduliai:

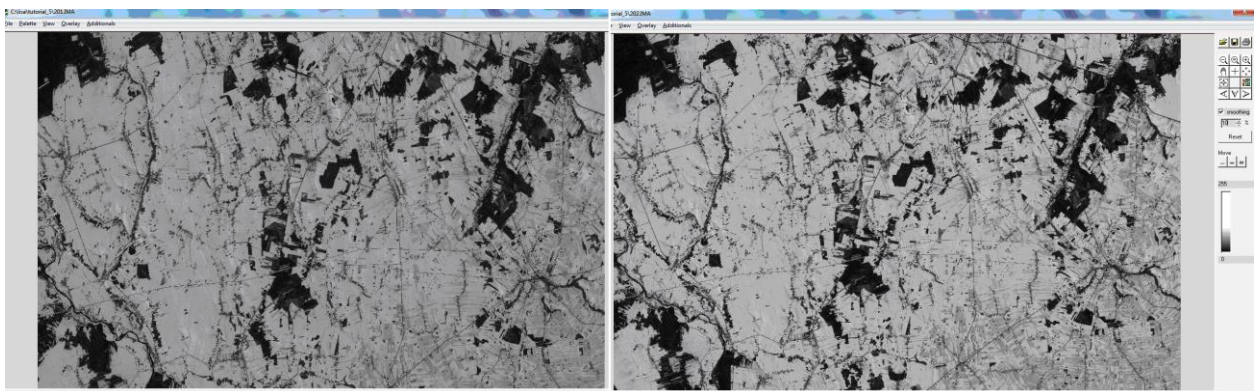
- *LISA BASIC* – tai rastrinė GIS programa su funkcijomis fotografiniams vaizdams apdoroti;
- *LISA FOTO* – skaitmeninė fotogrametrinė fotografinių vaizdų apdorojimo sistema;

- *LISA FFSAT* – skaitmeninė fotogrametrinė kosminių vaizdų (*Cartosat 1*, *QuickBird*, *OrbView-3*, *Ikonos*, *GeoEye*) apdorojimo sistema;
- *BLUH* – tai aerotrianguliacijos tinklų kūrimo programa.

Skaitmeninės fotogrametrinės programinės sistemos *LISA* funkcijos:

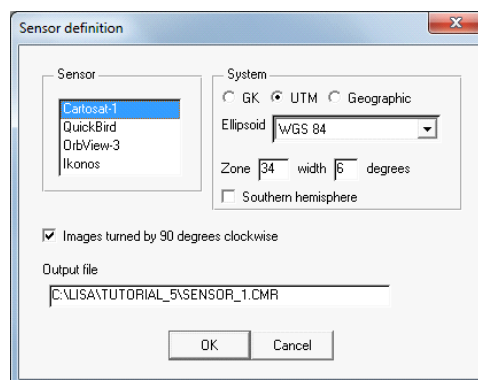
- Aerofotonuotaukų ir kosminių nuotraukų stereoporos vidinis ir absoliutusias orientavimas;
- stereoskopinio modelio kūrimas;
- reljefo modelio sudarymas stereoskopiniais matavimais;
- skaitmeninio vietovės modelio kūrimas automatinių vaizdų sugretinimo būdu;
- ortofotografinės nuotraukos generavimas;
- vietovės reljefo horizontalėmis atvaizdavimas ortofotografinėje nuotraukoje;
- vietovės objektų 2D ir 3D vektorizavimas.

Fotogrametriškai apdorotos dvi tarpusavyje persidengiančios *Indian Cartosat-1* palydovo kosminės nuotraukos (Nr. 201 ir Nr. 202) (3.1 pav.). Naudojami šio palydovo duomenys, atramos taškų koordinatinių katalogai ir abrisai.



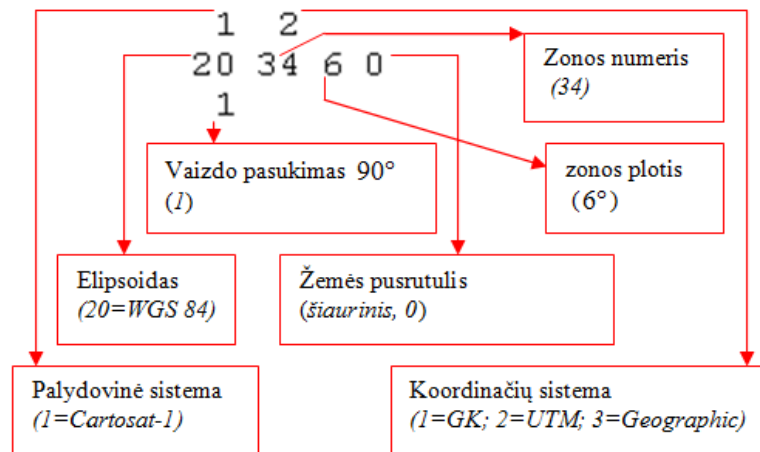
3.1 pav. *Cartosat-1* kosminės nuotraukos – kairioji (201) ir dešinioji (202)

Prieš pradėdant kosminių nuotraukų apdorojimą programoje atlikti šie paruošiamieji darbai: nustatomi projekto parametrai, įvedami palydovinės sistemos (*Cartosat-1*) jutiklio duomenys, nurodoma koordinatinių sistema (UTM), elipsoidas (WGS-84), zonos numeris (34), zonos plotis (6°) (3.2 pav.).



3.2 pav. Jutiklio parametrų nustatymas

Nustačius jutiklio parametrus, sukuriamas parametrų failas, kurio turinio aiškinamoji schema pateikta 3.3 paveiksle. Šiame faile aprašoma palydovinės sistemos, koordinatinių sistemos, elipsoido ir kiti parametrai.



3.3 pav. Jutiklio parametrai – *SENSOR 1.CMR* failas

Toliau siekiant surasti ryšį tarp vaizdo ir vietovės koordinatinių sistemų atliekamas absoliutusias orientavimas. Kosminėse nuotraukose paėiliui, iš karto kairiojoje vėliau dešiniojoje, atliekami atramos taškų matavimai. Kiekviename fotografiniame vaizde minimalus atramos taškų skaičius yra 3. Jie turi būti išdėstyti ne vienoje linijoje. Kuo atramos taškų daugiau, tuo absoliučiojo orientavimo tikslumas geresnis. Mažiausias atramos taškų skaičius – 5 – 6.

Kosminių nuotraukų orientavimui naudoti 36 kontroliniai taškai, kurių koordinatės yra žinomos (3.4 pav.).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	448301.820	455298.370	460127.160	464147.980	466811.010	472986.940	448664.620	451384.130	457194.820	463566.510	464545.470	470534.440	446735.210	456042.360	460284.130	464805.350	470909.490	444449.700	451215.580	454597.760	458836.410	463198.650	469206.590	444303.260	449046.650	452058.910	458206.870	462294.380	467598.190	441537.370	448629.000	451914.320	456998.990	461876.050	464129.020
	5745066.400	5743560.910	5740258.550	5738939.120	5741226.500	5738445.720	5738701.530	5739462.830	5737269.310	5738103.000	5733351.860	5735078.410	5734353.320	5732889.980	5730408.020	5729191.580	5728034.530	5732358.480	5729810.290	5728972.800	5725418.560	5725596.350	5723221.580	5725097.800	5724779.930	5723201.470	5720325.800	5719944.710	5721174.060	5718476.830	5718137.490	5715486.650	5717023.120	5714487.100	5712054.470
	144.910	148.080	181.900	163.550	175.270	173.720	138.470	162.630	177.290	165.790	171.270	195.860	142.860	155.620	169.650	162.000	166.010	144.660	161.340	156.710	167.850	157.330	156.240	172.770	163.820	165.100	171.130	145.080	167.210	183.880	178.820	170.120	146.020	149.800	156.200
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

3.4 pav. Įvestos atraminių taškų koordinatės

Kosminių vaizdų absoliutaus orientavimo rezultatai pateikti 3.5 ir 3.6 pav.

31	894.08	3672.09	0.00	0.00 M
32	233.02	5379.56	-0.02	0.01 M
33	1351.19	7355.56	-0.02	0.01 M
34	901.61	9724.96	-0.05	0.02 M
35	215.14	10968.70	-0.06	0.03 M

Standard deviation [pxl] 0.11 0.05

3.5 pav. Kairiosios kosminės nuotraukos (Nr. 201) absoliutaus orientavimo rezultatai

31	835.92	3797.79	0.02	-0.02 M
32	159.33	5318.14	0.08	-0.06 M
33	1266.02	7077.57	0.13	-0.10 M
34	793.26	9187.48	0.20	-0.15 M
35	93.18	10295.08	0.24	-0.18 M

Standard deviation [pxl] 0.39 0.29

3.6 pav. Dešinėsios kosminės nuotraukos (Nr. 202) absoliutaus orientavimo rezultatai

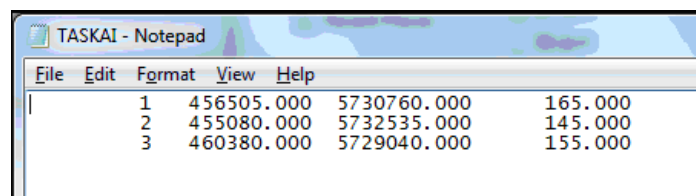
Apskaičiuotos liekamosios paklaidos ir standartinio nuokrypio reikšmės. Kadangi *Cartosat-1* palydovinių vaizdų skiriamoji geba 2,5 m, todėl absoliutaus orientavimo tikslumas – 1,2 m, t. y. 0,5 skiriamosios gebos. Liekamosios paklaidos 201-am ir 202-am vaizdai atitinkamai yra 0,11 ir 0,39.

Atliktas palydovinių vaizdų absoliutusias orientavimas atitinka tikslumo reikalavimus – max. standartinio nuokrypio reikšmė 0,11 ir 0,39 px., t. y. $0,11 * 2,5 = 0,28\text{m}$ ir $0,39 * 2,5 = 0,98\text{m}$.

Sudarius palydovinių vaizdų stereomodelį buvo stebėtas stereoskopinis vaizdas, matuotos 3D koordinatės ir vektorizuoti objektai.

Stereoskopiniam stebėjimui naudotas anaglifinis metodas: jo metu palydovinis vaizdas pateikiamas dviem spalviniais sluoksniais, vienas pagrindine spalva – dažniausiai raudona, kitas žalia arba mėlyna. Vaizdai stebėti naudoti akiniai, kurių kairysis stiklas raudonos spalvos, o dešinysis – mėlynos. Jie veikia kaip filtrai, t. y. kairiąja akimi matomas tik kairysis vaizdas, o dešiniąja tik dešinysis.

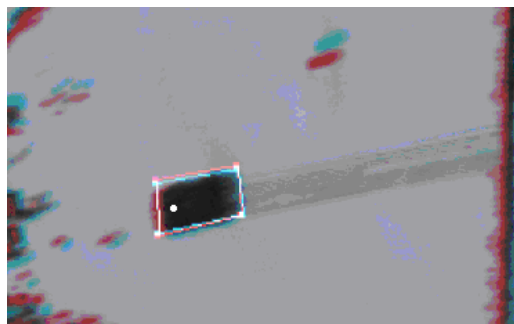
Atliekami stereoskopiniai pavienių objektų matavimai. Prieš pradedant matuoti užsidedami specialūs akiniai ir pasirenkamas objektas. Matavimo žymė stumiami iki matuojamojo objekto ir nuleidžiama sukančiant pelės ratuką ant žemės paviršiaus. Nenuleidus žymės ant matuojamojo objekto išmatuotos koordinatės bus klaidingos. Išmatuotų taškų koordinatčių fragmentas matomos 3.7 paveiksle.



	1	456505.000	5730760.000	165.000
	2	455080.000	5732535.000	145.000
	3	460380.000	5729040.000	155.000

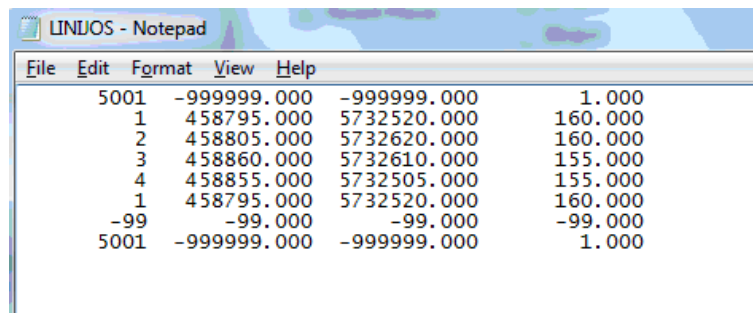
3.7 pav. Taškinių objektų koordinatės – fragmentas

Registruojant linijinį objektą, jis pažymimas taškais, o pasirenkant paskutinį tašką spaudžiamas  *close* mygtukas. Tokiu būdu registruojami linijiniai objektai. 3.8 paveiksle pateiktas stereoskopiškai išmatuoto linijinio objekto fragmentas.



3.8 pav. Stereoskopiškai išmatuoto linijinio objekto fragmentas

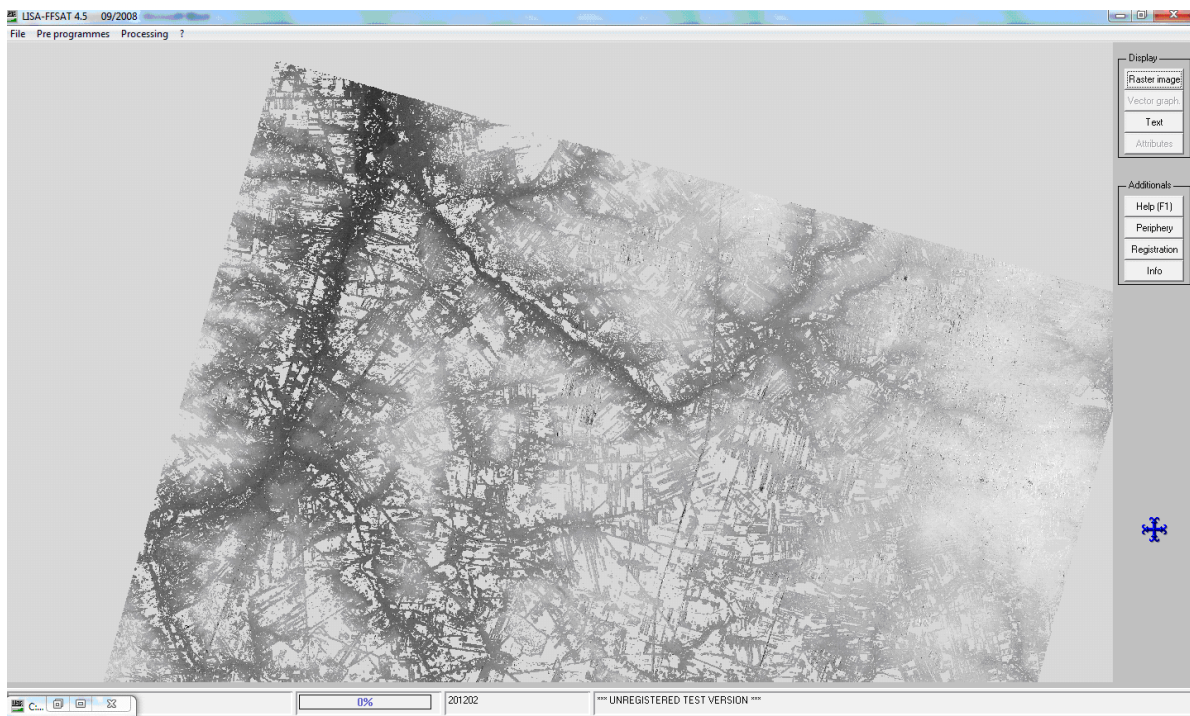
Išmatuoto linijinio objekto koordinatės matomos 3.9 paveiksle.



File	Edit	Format	View	Help
5001	-999999.000	-999999.000	1.000	
1	458795.000	5732520.000	160.000	
2	458805.000	5732620.000	160.000	
3	458860.000	5732610.000	155.000	
4	458855.000	5732505.000	155.000	
1	458795.000	5732520.000	160.000	
-99	-99.000	-99.000	-99.000	
5001	-999999.000	-999999.000	1.000	

3.9 pav. Linijinių objektų koordinatės – fragmentas

DTM – tai vietovės pateikimas skaitmenimis, išreiškiamas dideliu X, Y, Z koordinačių kiekiu. Skaitmeninis vietovės modelis *DTM* arba dar vadinamas *DEM* – nustatomos vietovės žemės paviršiaus Z reikšmės. Toks modelis reikalingas ortofotografiniam žemėlapiui generuoti. 3.10 pav. pateiktas sukurtas vietovės paviršiaus modelis.

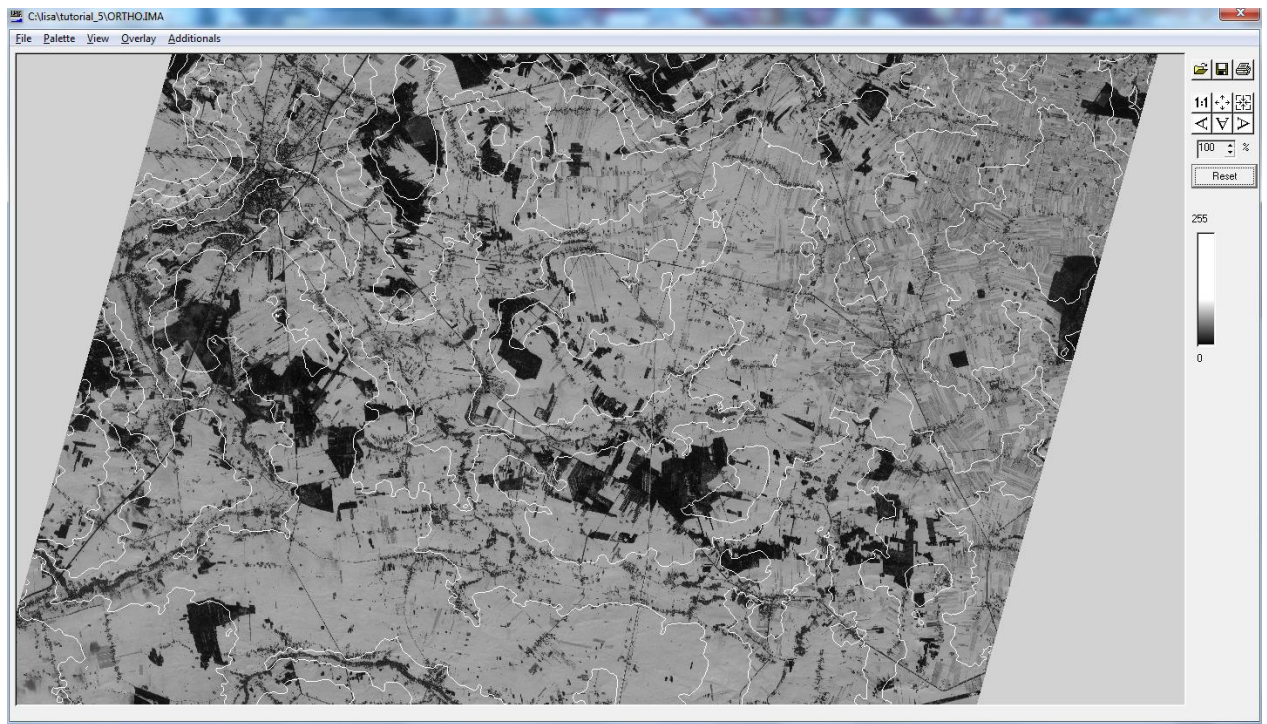


3.10 pav. Sukurtas DTM modelis

Toliau generuojamas ortofotografinis vaizdas, naudojant sukurtąjį DTM modelį.

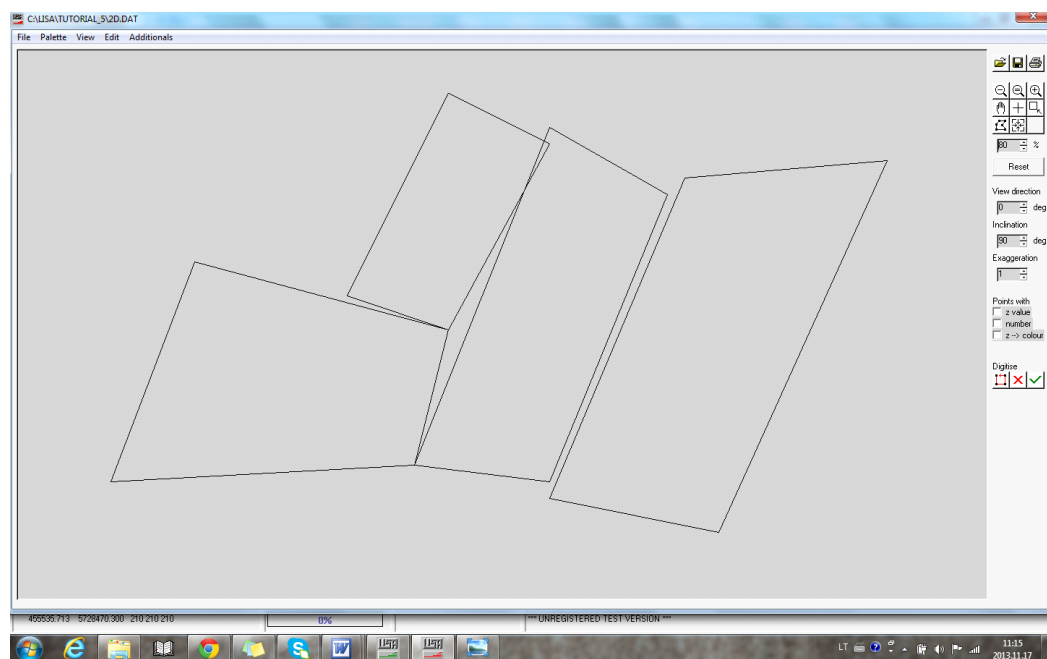
Vietovės reljefo vaizdavimui horizontalėmis naudojamas *LISA BASIC* modulis, kuriame atliekamas DTM modelio filtravimas.

Sugeneruotos horizontalės sujungtos su ortofotografiniu vaizdu. Ortofotografinis vaizdas su horizontalėmis pateiktas 3.11 pav. Horizontalių laiptas $h = 10$ m.



3.11 pav. Palydovinės nuotraukos ortofotografinio vaizdo su horizontalėmis fragmentas

Vietovės objektų 2D ir 3D vektorizavimas ortofotografinėje nuotraukoje. *LISA BASIC* programa atvėrus ortofotografinį vaizdą atliktas objektų vektorizavimas (3.12 pav.). Išmatuotų taškų koordinatinių reikšmės pateiktos 3.13 pav.



3.12 pav. Vektorizuoti objektai – fragmentas

Object ID	X Coordinate	Y Coordinate	Z Coordinate
5001	-999999.000	-999999.000	1.000
1	455162.500	5728612.500	1.000
2	455462.500	5728637.500	1.000
3	455212.500	5728087.500	1.000
4	454962.500	5728137.500	1.000
5	455162.500	5728612.500	1.000
-99	-99.000	-99.000	-99.000
5001	-999999.000	-999999.000	1.000
1	455137.500	5728587.500	1.000
2	454962.500	5728687.500	1.000
3	454762.500	5728187.500	1.000
4	454962.500	5728162.500	1.000
5	455137.500	5728587.500	1.000
-99	-99.000	-99.000	-99.000
5001	-999999.000	-999999.000	1.000
1	454962.500	5728662.500	1.000
2	454812.500	5728737.500	1.000
3	454662.500	5728437.500	1.000
4	454812.500	5728387.500	1.000
5	454962.500	5728662.500	1.000
-99	-99.000	-99.000	-99.000
5001	-999999.000	-999999.000	1.000
1	454762.500	5728187.500	1.000
2	454312.500	5728162.500	1.000
3	454437.500	5728487.500	1.000
4	454812.500	5728387.500	1.000
5	454762.500	5728187.500	1.000
-99	-99.000	-99.000	-99.000

3.13 pav. Išmatuotų objektų kerčių 2D koordinatės

Vektorizuotų objektų taškai turi tik dvi koordinates x ir y, norint rasti taškų aukščius atliekamas transformavimas naudojant sukurtą DTM modelį. Išmatuotų objektų kerčių 3D koordinatės pateiktos 3.14 paveiksle.

Object ID	X Coordinate	Y Coordinate	Z Coordinate
5001	-999999.000	-999999.000	1.000
1	455162.500	5728612.500	164.077
2	455462.500	5728637.500	164.292
3	455212.500	5728087.500	148.712
4	454962.500	5728137.500	149.531
5	455162.500	5728612.500	164.077
-99	-99.000	-99.000	-99.000
5001	-999999.000	-999999.000	1.000
1	455137.500	5728587.500	164.886
2	454962.500	5728687.500	161.177
3	454762.500	5728187.500	149.165
4	454962.500	5728162.500	151.398
5	455137.500	5728587.500	164.886
-99	-99.000	-99.000	-99.000
5001	-999999.000	-999999.000	1.000
1	454962.500	5728662.500	161.164
2	454812.500	5728737.500	158.740
3	454662.500	5728437.500	157.172
4	454812.500	5728387.500	159.586
5	454962.500	5728662.500	161.164
-99	-99.000	-99.000	-99.000
5001	-999999.000	-999999.000	1.000
1	454762.500	5728187.500	149.165
2	454312.500	5728162.500	148.756
3	454437.500	5728487.500	152.036
4	454812.500	5728387.500	159.586
5	454762.500	5728187.500	149.165
-99	-99.000	-99.000	-99.000

3.14 pav. Išmatuotų objektų kerčių 3D koordinatės

Pagal *Cartosat-1* kosminių nuotraukų, kurių skiriamoji geba 2,5 m, skaitmeninę informaciją, galima sudaryti smulkiųjų mastelių (1:25 000 – 1:50 000) topografinius, teminius bei ortofotografinius žemėlapius.

Atlikus palydovinių vaizdų absoliutųjį orientavimą, apskaičiuotos liekamosios paklaidos ir standartinio nuokrypio reikšmės. Gauti absoliutaus orientavimo rezultatai atitinka tikslumo reikalavimus.

Kosminiuose vaizduose atlikti stereoskopiniai matavimai žemės naudmenų kontūrams, gautos taškų 3D koordinatės.

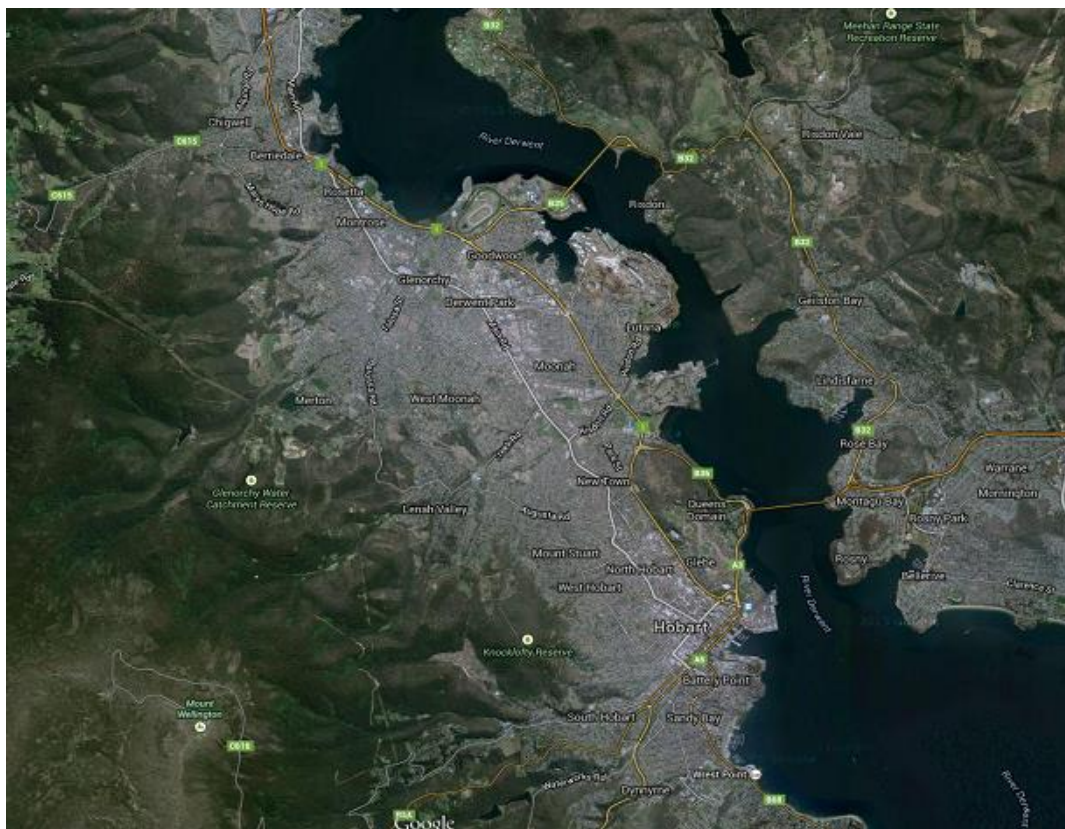
Sukurtas DTM modelis, kuriuo naudojantis, generavimo būdu gautas ortofotografinis vaizdas. Atlikus DTM filtravimą buvo gautos modelio horizontalės, jų laiptas – 10 metrų.

Ortofotografiniame žemėlapyje atliktas kelių objektų vektorizavimas, nustatytos 2D koordinatės. Atlikus gautų rezultatų generavimą DTM modeliu, automatiškai gautos išmatuotų taškų aukščių koordinatės.

3.2. Ikonos palydovinės sistemos kosminių nuotraukų apdorojimas

Kosminių vaizdų, kaip ir aerofotonuotraukų, naudojimas leidžia gauti įvairiausią informaciją apie objektus. Vaizdai gauti iš palydovų, lyginant su kitais informacijos apie objektus gavimo metodais išsiskiria darbo našumu, vieno kosminio vaizdo apimamas plotas gali siekti kelis dešimtis km².

Eksperimentiniam tyrimui atlikti ir ortofotografinėi nuotraukai sudaryti naudojamos Australijos miesto Hobarto teritorijos dalies (3.15 pav.) kosminių fotonuotraukų stereopora, gauta iš Ikonos palydovinės sistemos, atramos taškų koordinačių katalogas, taškų išdėstymo schemos ir abrisai. Taip pat pridedami metaduomenų ir RPC failai. RPC failas apibrėžia polinomo koeficientus. Tai neparametrinis 3D modelis, kuris neturi paprastos fizinės ar geometrinės interpretacijos. Šie koeficientai fizinių RPC failų formoje, kartu su išmatuotais fotogrametriniais taškais leidžia nustatyti matematinę ryšį, kuris atsiranda tarp vaizdo ir fizinio paviršiaus modelio.



3.15 pav. Kosminių vaizdų dengimo teritorija – Australijos miesto Hobarto teritorijos dalis
(Google maps 2015)

Kosminių nuotraukų fotogrametriniam apdorojimui ir ortofotografinės nuotraukos generavimui naudojamos dvi fotogrametrinės programinės sistemos:

- *LISA FFSAT*;
- *ERDAS* modulis *LPS*.

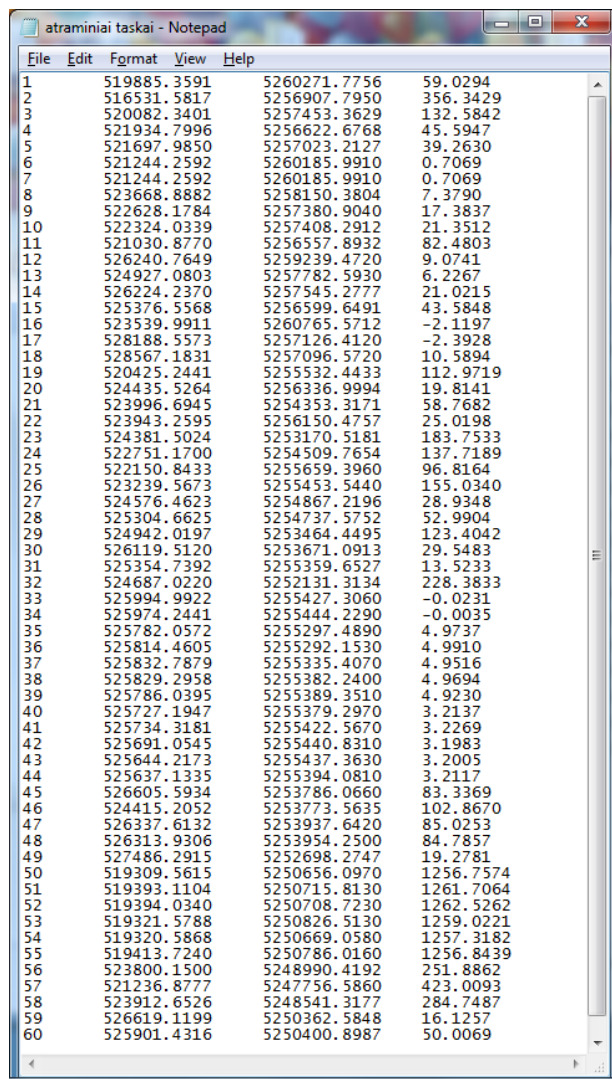
***ERDAS* skaitmeninės programinės sistemos modulis *LPS*.** Tai skaitmeninė fotogrametrinė programinė sistema, kuri leidžia iš nuotolinių tyrimų medžiagos išgauti duomenis, reikalingus kartografavimui, GIS analizei, 3D vizualizavimui ir kt. *LPS* leidžia dirbti su vaizdais gautais įvairiais jutikliais, naudojamais tiek antžeminiame, tiek nuotoliniame fotografavime. *LPS* – tai universalus fotogrametrinis produktas, kuris išsiskiria tokiomis funkcijomis:

- vidiniu automatinio vaizdų orientavimu;
- taškų matavimu automatiniame režime;
- automatinio reljefo išskyrimu;
- kelių vaizdų apdorojimu vienu metu.

Visos šios funkcijos sumažina laiko sąnaudas ir leidžia vartotojams, remiantis jų patirtimi, greičiau ir kokybiškiau atlikti vaizdų apdorojimą (ESTI MAP 2009).

Prieš pradėdant kosminių nuotraukų apdorojimą tiek vienoje, tiek kitoje programoje atliekami paruošiamieji darbai: nustatomi projekto parametrai, įvedami palydovinės sistemos (Ikonos) jutiklio duomenys, nurodoma koordinacių sistema (UTM), elipsoidas (WGS-84), zonos numeris (55), zonos plotis (6°).

Toliau siekiant surasti ryšį tarp vaizdo ir vietovės koordinacių sistemų atliekamas absoliutusias orientavimas. Kosminėse nuotraukose paeiliui, iš karto kairiojoje, vėliau dešiniojoje, atliekami atramos taškų matavimai. Nagrinėjamoji teritorija yra didelė ir siekiant gauti tikslesnius rezultatus orientavimui naudojama 60 atraminių taškų (3.16 pav.).



File	Edit	Format	View	Help
1	519885.3591	5260271.7756	59.0294	
2	516531.5817	5256907.7950	356.3429	
3	520082.3401	5257453.3629	132.5842	
4	521934.7996	5256622.6768	45.5947	
5	521697.9850	5257023.2127	39.2630	
6	521244.2592	5260185.9910	0.7069	
7	521244.2592	5260185.9910	0.7069	
8	523668.8882	5258150.3804	7.3790	
9	522628.1784	5257380.9040	17.3837	
10	522324.0339	5257408.2912	21.3512	
11	521030.8770	5256557.8932	82.4803	
12	526240.7649	5259239.4720	9.0741	
13	524927.0803	5257782.5930	6.2267	
14	526224.2370	5257545.2777	21.0215	
15	525376.5568	5256599.6491	43.5848	
16	523539.9911	5260765.5712	-2.1197	
17	528188.5573	5257126.4120	-2.3928	
18	528567.1831	5257096.5720	10.5894	
19	520425.2441	5255532.4433	112.9719	
20	524435.5264	5256336.9994	19.8141	
21	523996.6945	5254353.3171	58.7682	
22	523943.2595	5256150.4757	25.0198	
23	524381.5024	5253170.5181	183.7533	
24	522751.1700	5254509.7654	137.7189	
25	522150.8433	5255659.3960	96.8164	
26	523239.5673	5255453.5440	155.0340	
27	524576.4623	5254867.2196	28.9348	
28	525304.6625	5254737.5752	52.9904	
29	524942.0197	5253464.4495	123.4042	
30	526119.5120	5253671.0913	29.5483	
31	525354.7392	5253559.6527	13.5233	
32	524687.0220	5252131.3134	228.3833	
33	525994.9922	5255427.3060	-0.0231	
34	525974.2441	5255444.2290	-0.0035	
35	525782.0572	5255297.4890	4.9737	
36	525814.4605	5255292.1530	4.9910	
37	525832.7879	5255335.4070	4.9516	
38	525829.2958	5255382.2400	4.9694	
39	525786.0395	5255389.3510	4.9230	
40	525727.1947	5255379.2970	3.2137	
41	525734.3181	5255422.5670	3.2269	
42	525691.0545	5255440.8310	3.1983	
43	525644.2173	5255437.3630	3.2005	
44	525637.1335	5255394.0810	3.2117	
45	526605.5934	5253786.0660	83.3369	
46	524415.2052	5253773.5635	102.8670	
47	526337.6132	5253937.6420	85.0253	
48	526313.9306	5253954.2500	84.7857	
49	527486.2915	5252698.2747	19.2781	
50	519309.5615	5250656.0970	1256.7574	
51	519393.1104	5250715.8130	1261.7064	
52	519394.0340	5250708.7230	1262.5262	
53	519321.5788	5250826.5130	1259.0221	
54	519320.5868	5250669.0580	1257.3182	
55	519413.7240	5250786.0160	1256.8439	
56	523800.1500	5248990.4192	251.8862	
57	521236.8777	5247756.5860	423.0093	
58	523912.6526	5248541.3177	284.7487	
59	526619.1199	5250362.5848	16.1257	
60	525901.4316	5250400.8987	50.0069	

3.16 pav. Atraminių taškų koordinatės

Absoliutusias orientavimas *FFSAT* programinėje sistemoje atliekamas kiekvienai kosminei nuotraukai atskirai, iš karto kairiajai, vėliau dešiniajai, o *LPS* programinėje sistemoje orientavimas atliekamas abejose nuotraukose iš karto. *LPS* programinėje sistemoje išmatavus atraminius taškus

atliekama trianguliacija, apskaičiuojami kiekvieno taško skirtumai ir vidutinė kvadratinė paklaida (*Total image RMSE*).

Kosminių vaizdų absoliutaus orientavimo rezultatai pateikti 3.17- 3.19 pav.

7	11920.81	12015.38	-0.86	-0.51 M
8	11983.63	12369.57	-0.59	-1.76 M
9	10761.61	9833.48	-1.22	1.21 M
10	9728.96	9988.09	0.55	0.18 M
11	9182.67	11868.86	-0.59	0.66 M
12	8309.95	11732.55	-0.09	-0.11 M

0.40 0.48

3.17 pav. Kairiosios kosminės nuotraukos absoliučiojo orientavimo *FFSAT* programa rezultatai

1	2502.46	1118.12	-0.44	0.34 M
2	4578.90	4141.34	-0.12	-0.27 M
3	10978.06	662.51	-0.46	0.35 M
4	8917.06	4086.25	1.10	-0.93 M
5	5476.12	4064.84	0.42	0.13 M
6	10760.74	9833.85	-0.50	0.38 M

0.49 0.47

3.18 pav. Dešinėsios kosminės nuotraukos absoliučiojo orientavimo *FFSAT* programa rezultatai

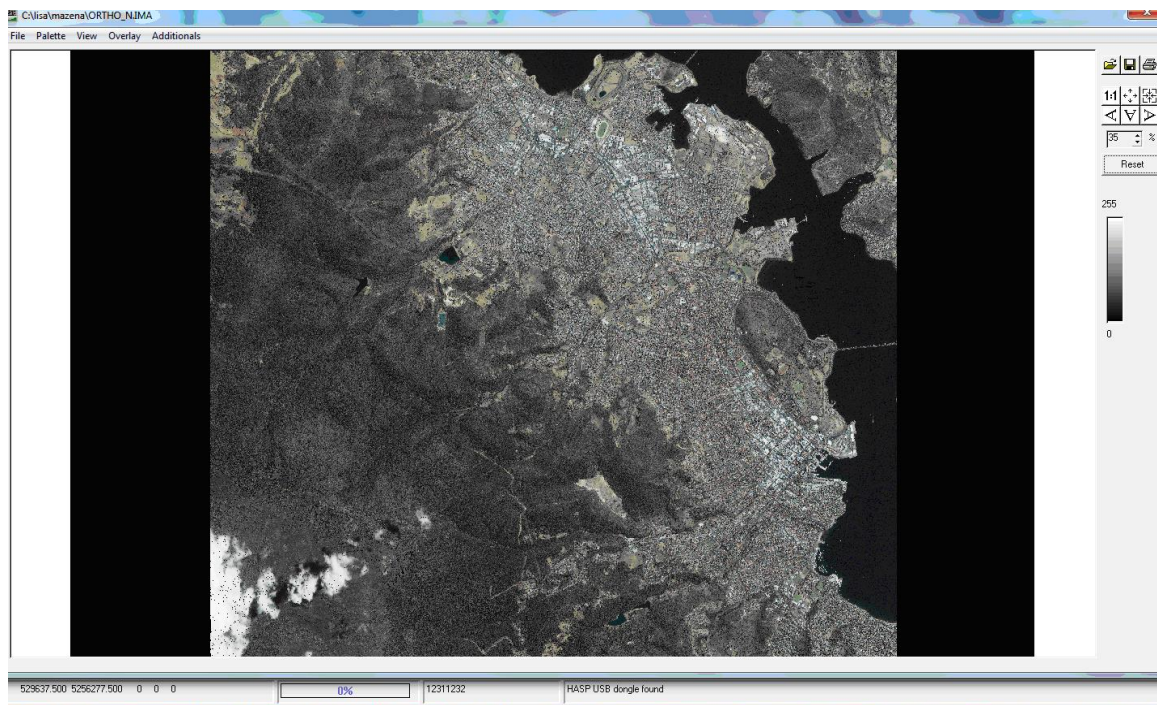
Refinement Summary			
Total Image RMSE:		0.2022127 pixels	
Control Point RMSE:		Check Point RMSE:	
Ground X:	0.7771606 (103)	Ground X:	0.0000000 (0)
Ground Y:	0.1481934 (103)	Ground Y:	0.0000000 (0)
Ground Z:	0.3483887 (103)	Ground Z:	0.0000000 (0)
Image X:	0.6954948 (206)	Image X:	0.0000000 (0)
Image Y:	0.6986771 (206)	Image Y:	0.0000000 (0)

3.19 pav. Absoliučiojo orientavimo *LPS* programa rezultatai

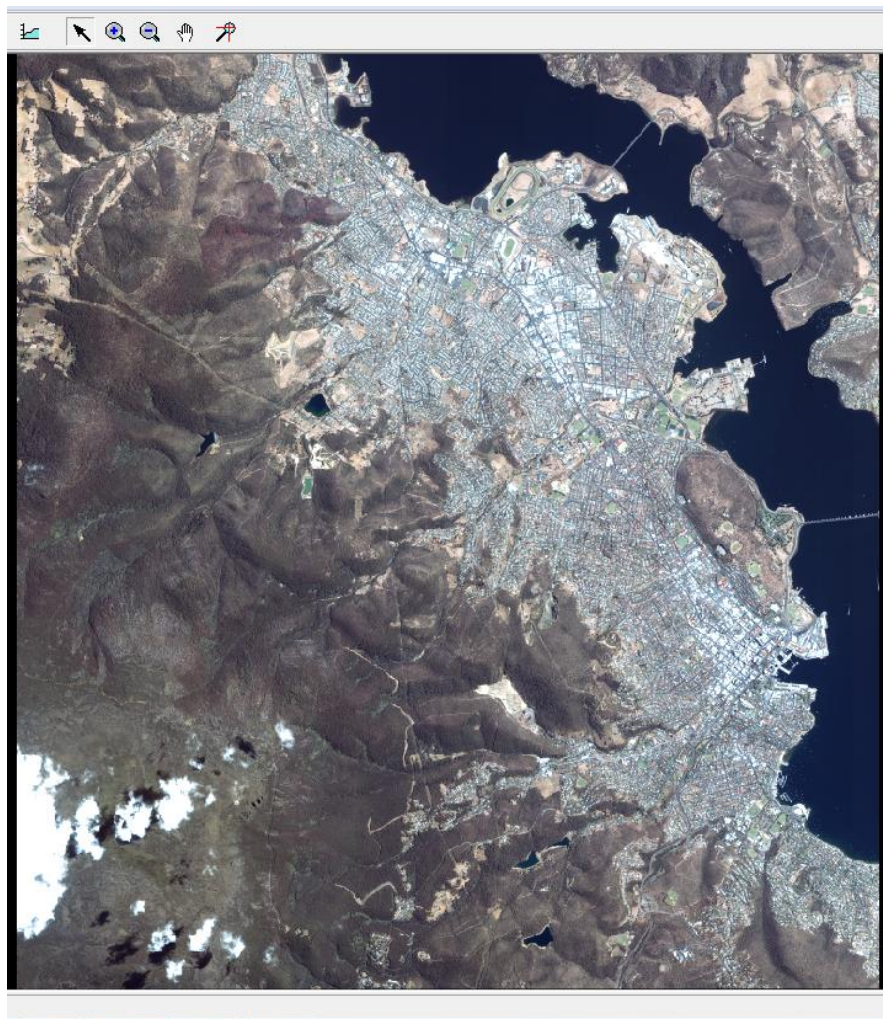
Apskaičiuotos liekamosios paklaidos ir standartinio nuokrypio reikšmės. Kadangi Ikonos palydovinių vaizdų skiriamoji geba 1 m, todėl absoliutaus orientavimo tikslumas – 0,5 m, t. y. 0,5 skiriamosios gebos. Liekamosios paklaidos *FFSAT* 1-am ir 2-am vaizdai atitinkamai yra 0,49 ir 0,48. Atliktas palydovinių vaizdų absoliutusias orientavimas atitinka tikslumo reikalavimus – max. standartinio nuokrypio reikšmė 0,49 ir 0,48 px., t. y. $0,49 * 1 = 0,49\text{m}$ ir $0,48 * 1 = 0,48\text{m}$.

LPS programinėje vidutinė kvadratinė vaizdo paklaida (*Total image RMSE*) siekia 0,2022127 pikselio, taškai išmatuoti tiksliai.

Toliau kuriamas vietovės paviršiaus modelis, DTM ir generuojama ortofotografinė nuotrauka. Sugeneruotos abiejų fotogrametrinių programinių sistemų ortofotografinės nuotraukos pateikiamos 3.20 pav. ir 3.21 pav.



3.20 pav. Ortofotografinė nuotrauka, sugeneruota *FFSAT* programa



3.21 pav. Ortofotografinė nuotrauka, sugeneruota *LPS* programa

3.3. Erdvinis modeliavimas naudojant aerofotonuotraukas

Skaitmeninės fotogrametrijos metodų taikymo viena iš sričių – ortofotografinių žemėlapių sudarymas. Tam tikslui aerofotonuotraukos orientuojamos ir formuojamas skaitmeninis Žemės paviršiaus reljefo modelis, skaitmeniniu ortofotografiniu transformavimo būdu atliekamas aerofotonuotraukų geometrinis apdorojimas – pašalinami geometriniai iškraipymai, atsiradę dėl fotokameros posvyrio, dėl centrinės projekcijos ir reljefo įtakos. Vienas iš svarbiausių uždavinių – sukurti skaitmeninį Žemės paviršiaus reljefo modelį tokio tikslumo, kad būtų užtikrinta gera geometrinė skaitmeninių fotografinių vaizdų transformavimo kokybė (Ruzgienė 2010).

Eksperimentiniam tyrimui atlikti ir ortofotografinėi nuotraukai sudaryti naudojama Vilniaus miesto teritorijos aerofotografavimo medžiaga (3.2.1 pav.), atramos taškų koordinačių katalogas (C priedas), jų išdėstymo schema ir abrisai (D priedas) bei dvi programinės įrangos:

- *DDPH SOFTWARE*;
- *ERDAS* modulis *LPS*.

Skaitmeninė programinė sistema DDPS. Skaitmeninė fotogrametrinė programinė sistema *DDPS* (angl. *Didactic Digital Photogrammetric Software*) sudaryta Liege (Belgija) universiteto Geomatavimų fakulteto *SURFACES* laboratorijoje bei Varšuvos (Lenkija) Geodezijos ir kartografijos instituto Fotogrametrijos skyriuje (Ruzgienė 2007).

Skaitmeninė fotogrametrinė programa apdoroja 24 bitų/pikseliui (pilkosios spalvos sodrumo) skaitmeninius vaizdus. Fotonuotraukų formatas – *BMP*.

Skaitmeninės fotogrametrinės programinės sistemos *DDPS* uždaviniai:

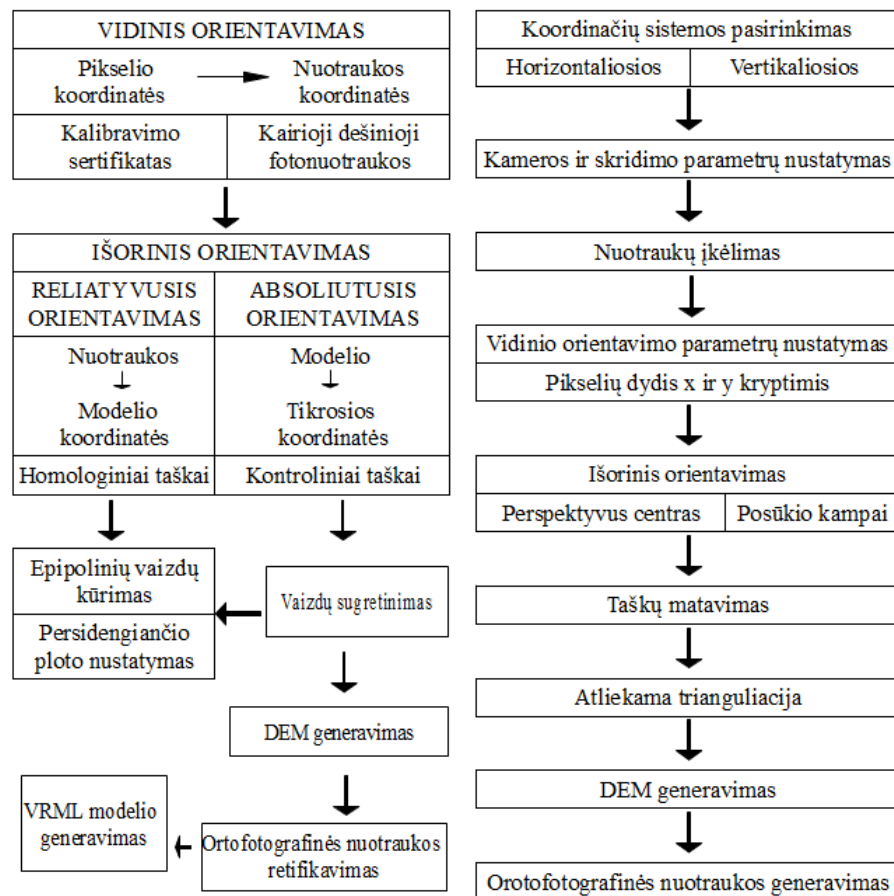
- aerofotonuotraukų stereoporos vidinis orientavimas;
- aerofotonuotraukų stereoporos reliatyvusis orientavimas;
- aerofotonuotraukų stereoporos absoliutusias orientavimas;
- reljefo modelio sudarymas;
- skaitmeninio vietovės modelio kūrimas;
- ortofotografinės nuotraukos generavimas.

Fotografinė medžiaga. Aerofotografavimas atliktas iš ~1000 m aukščio aerofotokamera RMK TOP, objektyvo židinio nuotolis 153,604 mm. Aerofotonuotraukų vidutinis mastelis 1:6000. Eksperimentiniams tyrimui atlikti naudojamos skrydžio maršruto dvi tarpusavyje persidengiančios Vilniaus miesto Žirmūnų rajono aerofotonuotraukos (stereopora) (aerofotonuotraukų numeriai bloke 230/231) (3.22 pav.).



3.22 pav. Aerofotonuotraukų (230/231) dengimo teritorija – Vilniaus miesto šiaurės-rytinė dalis (Maps.lt 2015)

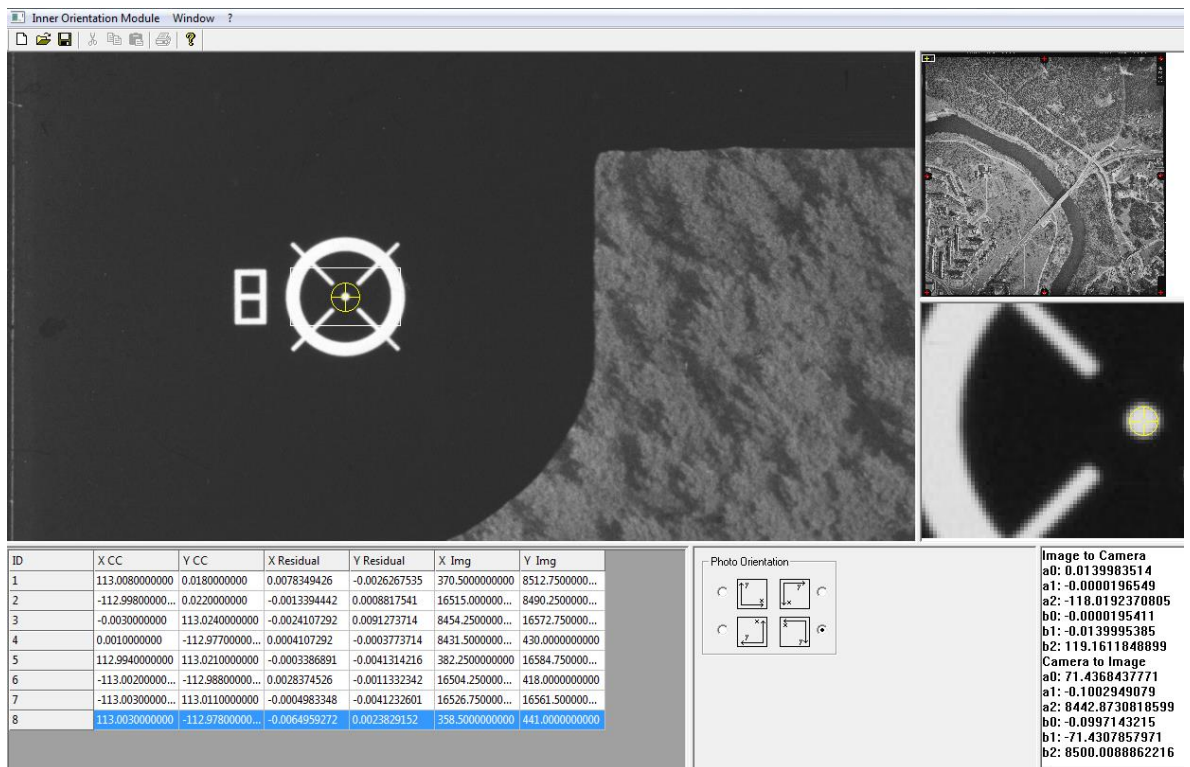
Eksperimentinio tyrimo metu fotogrametriniai matavimai ir ortofotografinės nuotraukos generavimo procedūros atliekamos skaitmeninėmis fotogrametrinėmis programinėmis sistemomis *DDPH SOFTWARE* ir *ERDAS* programa *LPS*. Darbo su šiomis programinėmis sistemomis technologinės schemas pateiktos 3.23 pav.



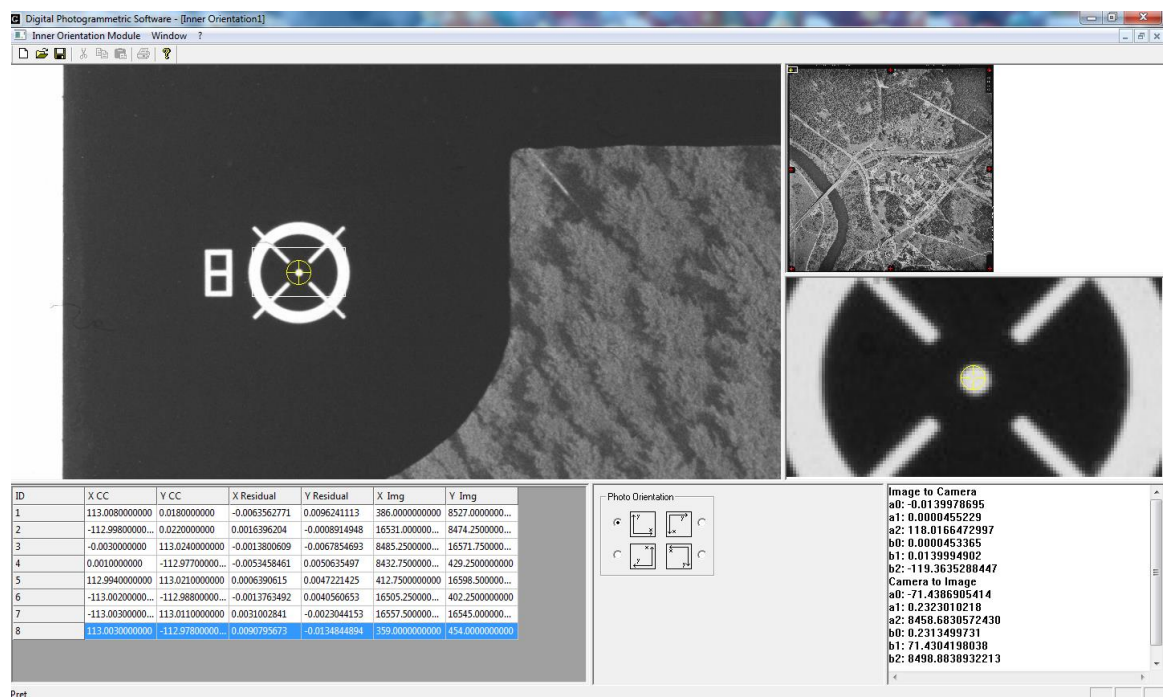
3.23 pav. Darbo su *DDPS* (kairėje) ir *LPS* (dešinėje) programinėmis įrangomis technologinės schemas

Pirmasis fotografinių vaizdų apdorojimo etapas yra vidinis orientavimas. Darbas pradedamas nuo projekto sukūrimo. Įkeliamos kairioji ir dešinioji aerofotonuotraukos, įvedami fotokameros kalibravimo duomenys. Toliau kiekvienai aerofotonuotraukai atliekamas vidinis orientavimas. Taip surandamas ryšys tarp aerofotonuotraukos koordinatinių sistemos ir skaitmeninio vaizdo koordinatinių sistemos. Taikomas afininis koordinatinių transformavimo metodas.

Kairiosios ir dešinėsios aerofotonuotraukų stereoporos (numeriai bloke 230/231) vidinio orientavimo fotogrametrine programine sistema *DDPS* rezultatai pateikiami 3.24 pav. ir 3.25 pav.

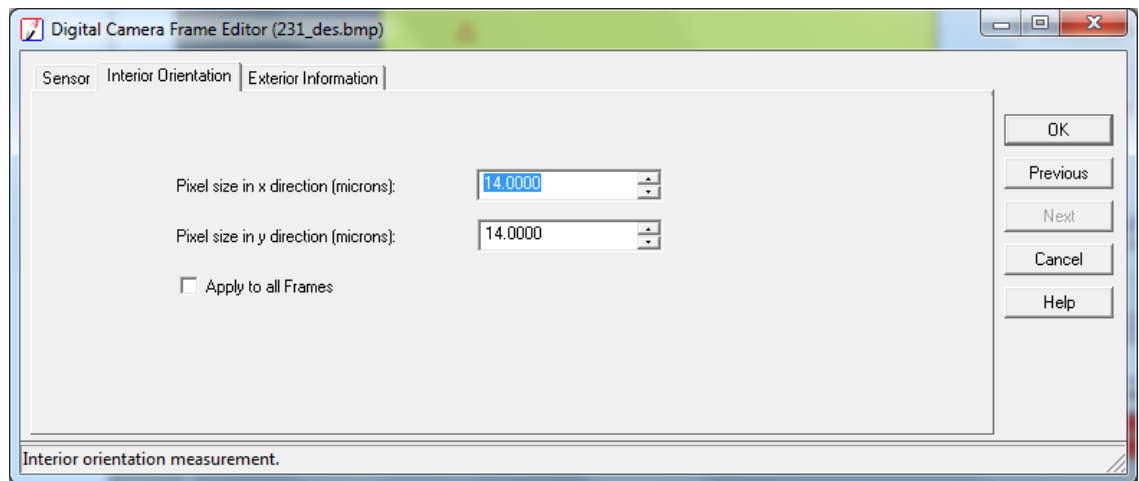


3.24 pav. Kairiosios aerofotonuotrukos vidinio orientavimo rezultatai DDPS programa



3.25 pav. Dešiniosios aerofotonuotrukos vidinio orientavimo rezultatai DDPS programa

LPS programinėje sistemoje vidinis orientavimas nėra atliekamas, tiesiog surašomi parametrai, tai pikselio dydis x ir y kryptimis (3.26 pav.)



3.26 pav. Vidinio orientavimo duomenys *LPS* programa

DDPS programinėje sistemoje koordinatinės žymės matuojamos $10\ \mu\text{m}$ ($0,01\ \text{mm}$) tikslumu. Jei kurios nors koordinatinės žymės matavimo tikslumas netenkina reikalaujamo, t. y. gautoji paklaida didesnė nei $0,01\ \text{mm}$, tai tos koordinatinės žymės matavimas kartojamas (Linder 2003).

Vidinio orientavimo koordinatinių žymių standartinio nuokrypio vidutinės kvadratinės paklaidos gautos fotogrametrine programine sistema *DDPS* – kairiosios aerofotonuotraukos (nr. bloke 231) $m_x = 0,004\ \text{mm}$ ir $m_y = 0,004\ \text{mm}$, o dešinėsios aerofotonuotraukos (nr. bloke 230) $m_x = 0,005\ \text{mm}$ ir $m_y = 0,007\ \text{mm}$.

Įvertinus gautus fotografinių vaizdų 230/231 vidinio orientavimo rezultatus, gautus fotogrametrine programine sistema *DDPS*, galima daryti išvadą, kad atlikti koordinatinių žymių matavimai neviršija ribinių standartinio nuokrypio vidutinių kvadratinių paklaidų ir atitinka keliamus $0,01\ \text{mm}$ tikslumo reikalavimus.

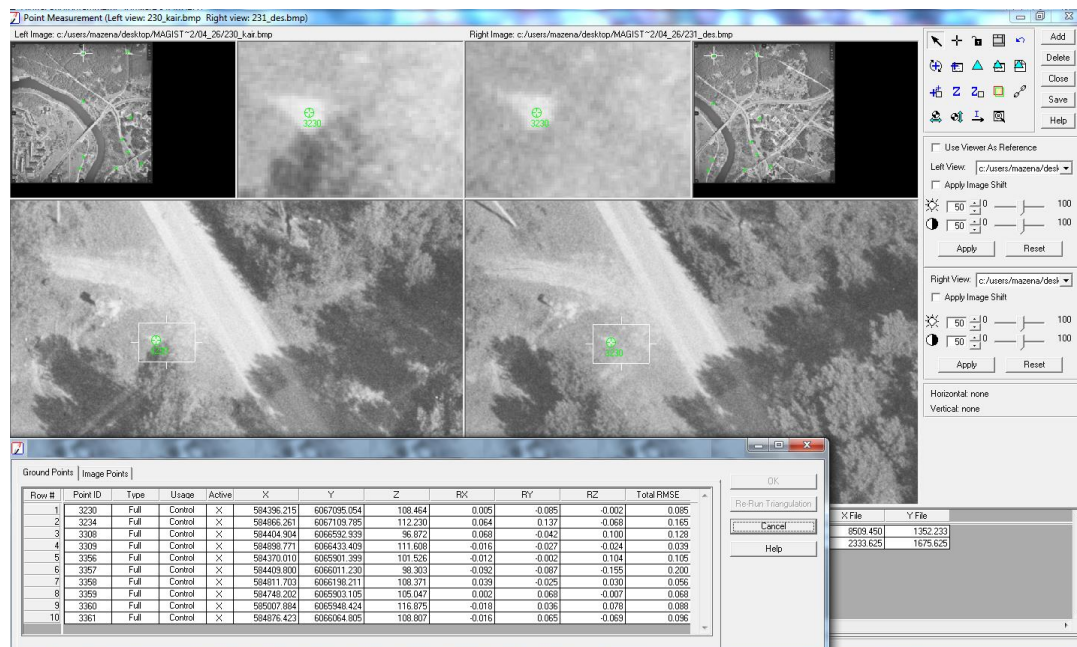
Toliau aerofotonuotraukos transformuojamos į geodezinę koordinačių sistemą, atliekamas absoliutusias orientavimas. Įvedamos atramos taškų koordinatės ir atliekami matavimai abeiose aerofotonuotrukose. Absoliučiajam aerofotonuotraukų orientavimui atlikti su fotogrametrine programine sistema *DDPS* ir *LPS* naudojama 10 atramos taškų. Taip gaunami patikimesni bei tikslesni absoliučiojo orientavimo rezultatai.

Aerofotonuotraukų 230/231 absoliučiojo orientavimo tikslumo skaičiavimo rezultatai su fotogrametrine programine sistema *DDPS* pateikiami 3.27 pav.



3.27 pav. Absoliučiojo orientavimo rezultatai (DDPS programinė sistema)

LPS programoje, skirtingai nei DDPS, išoriniai orientavimo parametrai įvedami ir nustatomas statusas *initial*, kad matuojant kontrolinius taškus šie įvesti duomenys būtų patikslinti. Aerofotonuotraukų 230/231 absoliučiojo orientavimo tikslumo skaičiavimo rezultatai su fotogrametrine programine sistema DDPS pateikiami 3.28 pav.



3.28 pav. Absoliučiojo orientavimo rezultatai (LPS programinė sistema)

Gaunami absoliučiojo orientavimo rezultatai yra fotografinių vaizdų išorinio orientavimo parametrai (3.27 pav. – 3.28 pav.), t. y. atramos taškų koordinatės kairiojoje ir dešiniojoje

aerofotonuotraukoje skaitmeninio vaizdo koordinačių sistemoje – X_l, Y_l, X_r, Y_r ; absoliučiojo orientavimo parametrai – modelio posūkio/posvyrio kampai – *RO Final Parameters-Rad*; projekcijos centro koordinatė – X_0, Y_0, Z_0 ; fotografinio vaizdo transformavimo liekamosios paklaidos ir standartiniai nuokrypiai.

Atramos taškų matavimo tikslumas – 10 cm. Jei paklaidų reikšmės gaunamos didesnės, tai atliekamas matavimo rezultatų koregavimas, t. y. tikslinama taško padėtis kairiajame ir dešiniajame fotografiniame vaizde (Linder 2003).

Aerofotonuotraukų (nr. bloke 230/231) išorinio orientavimo atramos taškų standartinio nuokrypio vidutinės kvadratinės paklaidos gautos su fotogrametrine programine sistema *DDPS* yra $m_x = 0,036$ mm, $m_y = 0,081$ mm ir $m_z = 0,091$ mm

Gautosios išorinio orientavimo atramos taškų standartinio nuokrypio vidutinės kvadratinės paklaidos fotogrametrine programine sistema *LPS* yra $m_x = 0,044$ mm, $m_y = 0,068$ mm ir $m_z = 0,078$ mm

Įvertinus gautus fotografinių vaizdų 230/231 išorinio orientavimo rezultatus su fotogrametrinėmis sistemomis *DDPS* ir *LPS*, galima daryti išvadą, kad atramos taškų x koordinatės tiksliau yra išmatuotos su fotogrametrine programine sistema *DDPS*, o y ir z koordinatės tiksliau su fotogrametrine programine sistema *LPS*. Gautosios atramos taškų standartinio nuokrypio vidutinės kvadratinės paklaidos atitinka reikalaujamą 10 cm tikslumą.

Apskaičiavus absoliučiojo orientavimo parametrus, galima nustatyti bet kurio taško fotonuotraukų stereoporoje koordinatės vietovės koordinačių sistemoje. Šiam tikslui reikia identifikuoti (išmatuoti) homologinius taškus, šių taškų koordinatės apskaičiuojamos automatiškai.

Toliau *DDPS* programinėje sistemoje atliekamas automatinis aerofotonuotraukų sugretinimas, kuris reikalingas vietovės modeliui sukurti, identifikuojami homologiniai taškai ir išmatuojamos jų koordinatės aerofotonuotraukos koordinačių sistemoje. Netaisyklingai identifikuoti taškai pašalinami. Toliau generuojame skaitmeninį reljefo modelį (DEM) naudojant sugretinimo duomenis. Atlikus visus minėtus veiksmus generuojama ortofotografinė nuotrauka, tam naudojami epipoliniai vaizdai, kameros kalibravimo sertifikato duomenys, absoliučiojo orientavimo elementai.

LPS programinėje sistemoje atlikus atraminių taškų matavimus kuriamas DTM modelis. DTM modeliui skurti nustatome ląstelių dydį, strategijos pavadinimą, kurį pasirenkame pagal nagrinėjamos teritorijos tipą, bei nustatomi kiti parametrai. Nustačius visus parametrus sukuriamas DTM modelis. Ortofotografinė nuotrauka generuojama pagal turimą DTM modelį. Dauguma parametrų ortofotografinės nuotraukos generavimui nustatomi automatiškai pasirinkus DTM modelį, tačiau juos galima koreguoti.

Sugeneruotos ortofotografinės nuotraukos *DDPS* ir *LPS* programinėmis sistemomis pateiktos 3.29 pav. ir 3.30 pav.



3.29 pav. Orotofotografinė nuotrauka, sugeneruota *DDPS* programa



3.30 pav. Ortofotografinė nuotrauka, sugeneruota *LPS* programa

3.4. Fotogrametrinių matavimų rezultatai

Vykdam tyrimus su kosminiais vaizdais objektų matavimai atliekami sugeneruotose ortofotografinėse nuotraukose. Ortofotografinėse nuotraukose matuojamos pasirinktų objektų X ir Y koordinatės.

FFSAT fotogrametrine programine įranga sugeneruotoje ortofotografinėje nuotraukoje matavimai atliekami *LISA BASIC* programos modulyje. *LISA BASIC* programos modulyje galima pasirinkti kokio tipo objektai bus matuojami, taškiniai, linijiniai ar plotiniai. Nagrinėjamų atvejų matuojami taškiniai objektai.

LPS fotogrametrine programine įranga sugeneruotoje ortofotografinėje nuotraukoje matavimai atliekami *Viewer* programos modulyje. Kaip ir *LISA BASIC* programos modulyje čia galima pasirinkti kokio tipo objektai bus matuojami.

Tyrimui atlikti abiejuose ortofotografinėse nuotraukose buvo išmatuota 60 taškinių objektų X ir Y koordinatės. Išmatuotos koordinatės pateiktos 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. Taškų koordinatės nustatytos ortofotografinėse nuotraukose sugeneruotose fotogrametrinėmis sistemomis *FFSAT* ir *LPS*

<i>FFSAT</i>			<i>LPS</i>	
Eil. Nr.	X	Y	X	Y
1	5259760,17	519654,50	5259760,13	519652,99
2	5259595,50	518943,50	5259597,52	518943,66
3	5256847,80	516540,93	5256847,64	516541,10
4	5258410,79	517315,33	5258410,68	517317,20
5	5260564,35	517049,96	5260566,47	517049,56
6	5256840,02	522042,71	5256838,28	522043,08
7	5257346,70	521824,54	5257348,42	521824,88
8	5258694,08	523038,67	5258694,03	523036,88
9	5256485,97	523202,75	5256484,20	523204,68
10	5258095,30	524075,95	5258097,46	524076,30
11	5260013,58	527444,32	5260011,75	527446,20
12	5257748,52	524933,31	5257748,26	524933,23
13	5257432,89	526290,46	5257432,47	526290,53
14	5259241,06	528312,87	5259238,89	528312,77
15	5260571,49	524302,19	5260571,34	524300,44
16	5257093,22	528545,72	5257091,10	528545,96
17	5255002,10	520371,39	5255002,08	520371,31
18	5255511,85	520409,53	5255511,58	520409,49
19	5254610,35	524525,04	5254609,90	524524,74
20	5253834,20	524089,29	5253832,13	524089,18
21	5255978,00	524041,34	5255978,22	524041,30
22	5254439,80	522578,07	5254438,13	522576,26
23	5256332,94	523840,63	5256334,68	523839,15
24	5254839,32	524720,65	5254837,60	524722,30
25	5254579,68	524672,36	5254579,85	524672,06
26	5253727,27	524553,97	5253726,84	524553,71
27	5252874,94	525461,62	5252873,34	525461,69
28	5255800,96	528462,58	5255800,96	528460,93
29	5255426,53	525992,31	5255426,62	525994,37
30	5255447,00	525976,95	5255446,64	525976,69
31	5255300,14	525772,32	5255300,26	525771,89
32	5255291,39	525826,21	5255289,52	525826,10
33	5255379,34	525841,25	5255381,29	525840,98

3.1 lentelės tęsinys

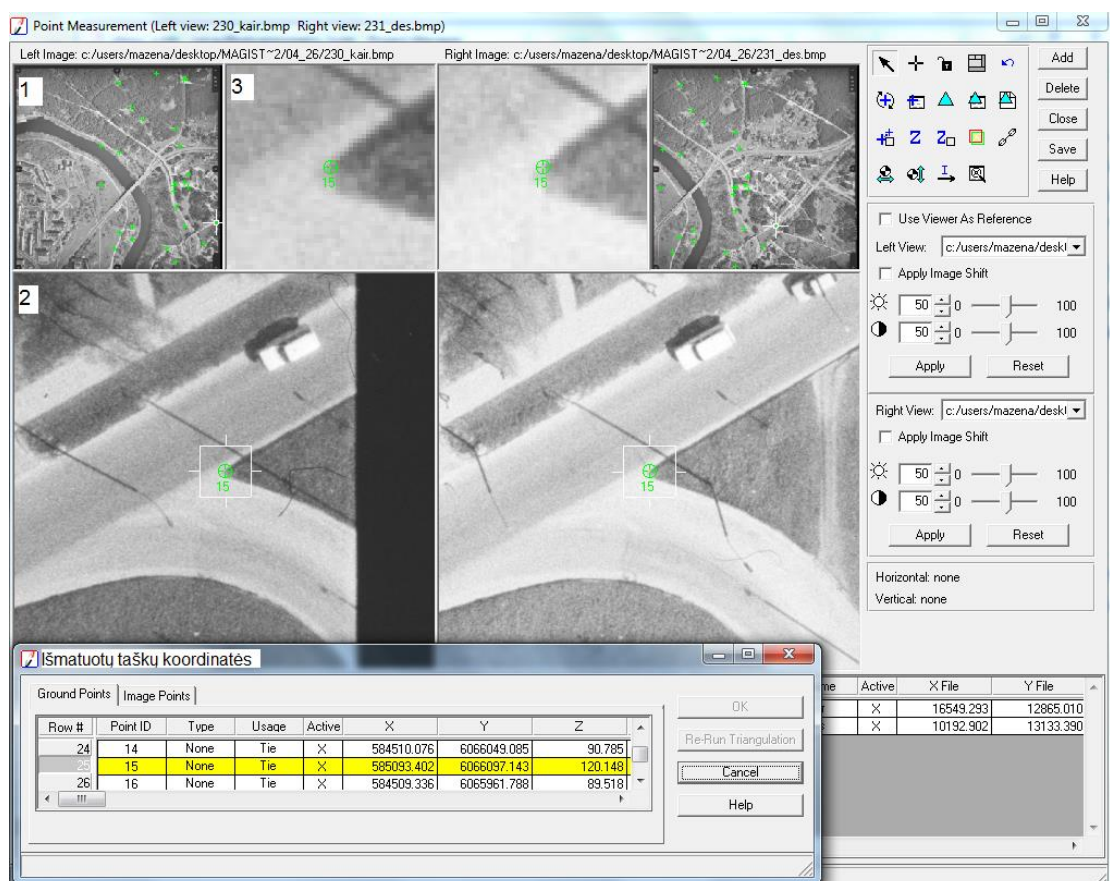
34	5255386,77	525798,07	5255388,32	525797,70
35	5255345,26	525779,46	5255343,39	525777,68
36	5255390,98	525730,01	5255391,01	525729,81
37	5255432,30	525737,07	5255434,23	525736,85
38	5255449,24	525646,98	5255449,07	525645,45
39	5255405,89	525639,82	5255404,11	525639,87
40	5255385,63	525683,09	5255385,84	525681,31
41	5252976,89	525749,67	5252976,82	525751,43
42	5253935,39	526336,23	5253935,49	526334,43
43	5253950,02	526312,56	5253952,00	526310,77
44	5248556,83	520304,06	5248556,71	520303,98
45	5250748,93	519317,52	5250748,98	519317,43
46	5250712,81	519398,27	5250712,85	519396,49
47	5250713,15	519390,97	5250712,94	519391,13
48	5250745,78	519403,84	5250745,98	519403,36
49	5250246,75	522733,97	5250246,53	522733,78
50	5249001,28	523829,02	5249001,23	523827,18
51	5247764,31	521229,90	5247764,31	521231,69
52	5248346,56	521562,84	5248344,78	521562,75
53	5249282,29	522713,17	5249280,60	522713,03
54	5250259,42	526645,58	5250261,04	526643,90
55	5250497,50	525573,11	5250499,23	525572,81
56	5249371,03	524986,28	5249369,27	524984,28
57	5248333,58	528436,65	5248333,61	528434,66
58	5251066,23	525298,31	5251066,11	525300,10
59	5248151,72	525599,55	5248149,82	525597,76
60	5249054,44	524711,02	5249056,19	524709,13

Atliekant taškų matavimus (paiešką) aerofotografiniuose vaizduose tiek su skaitmenine fotogrametrine sistema *DDPS* tiek su *LPS* taškų matavimas vyksta panašiai. Pirmiausia matavimo žyme apytikriai ieškoma taško padėtis 1-ame vaizde. Ties pasirinktuoju tašku atsiranda centruotas stačiakampis ir dalis fotonuotraukos matoma 2-ame vaizde. Tokie pat veiksmai atliekami 2-ajame vaizde ir taip nustatoma tiksli taško padėtis. Matavimai gali būti atliekami visuose trijuose vaizduose, tačiau tiksliausiai išmatuojama 3-ame vaizde. Matavimo žymės centras tiksliai sutapdinamas su matuojamuoju tašku ir, paspaudus kairįjį pelės mygtuką, registruojamos koordinatės (3.31 pav. ir 3.32 pav.).

Vaizdų valdymas kompiuterio ekrane atliekamas statiniu (fiksuoju) būdu, t. y. judanti matavimo žymė.



3.31 pav. Matavimo fotogrametrine sistema *DDPS* procesas



3.32 pav. Matavimo fotogrametrine sistema *LPS* procesas

Eksperimentinei analizei apdorotose aerofotonuotaukose atlikti buvo išmatuotą 30 taškų koordinatės su skaitmeninėmis fotogrametrinėmis sistemomis *DDPS* ir *LPS*. Išmatuotų taškų koordinatės pateiktos 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė. Taškų koordinatės nustatytos fotogrametrinėmis sistemomis *DDPS* ir *LPS*

Koordinatės išmatuotos su <i>DDPS</i>				Koordinatės išmatuotos su <i>LPS</i>		
Eil. Nr.	X	Y	Z	X	Y	Z
1	6067160,03	584667,40	107,48	6067158,77	584667,23	108,90
2	6067117,31	584883,94	110,82	6067117,36	584883,87	112,84
3	6066910,67	584492,36	108,29	6066909,67	584492,31	107,64
4	6066829,35	584573,85	105,57	6066829,27	584574,16	107,05
5	6066632,17	584274,47	95,61	6066630,90	584275,39	95,72
6	6066633,55	584839,90	110,16	6066634,72	584839,84	108,72
7	6066352,38	584274,13	100,96	6066351,22	584274,56	102,38
8	6066368,00	584813,42	112,03	6066369,08	584811,74	110,60
9	6066354,55	584798,89	106,19	6066354,69	584800,30	107,60
10	6066379,92	584877,10	114,79	6066379,52	584876,30	113,21
11	6066344,70	584898,35	110,69	6066344,39	584899,87	111,59
12	6066310,18	584794,95	107,65	6066311,26	584795,07	107,65
13	6065812,07	584814,95	107,79	6065812,43	584815,01	108,84
14	6066049,47	584509,80	92,30	6066049,09	584510,08	90,79
15	6066096,97	585093,22	119,95	6066097,14	585093,40	120,15
16	6065963,15	584509,46	90,08	6065961,79	584509,34	89,52
17	6066755,72	584803,34	107,48	6066756,85	584803,32	107,78
18	6065949,06	584851,65	109,17	6065948,81	584851,68	108,80
19	6066251,50	584443,70	99,56	6066252,95	584444,34	98,14
20	6067106,22	584869,49	113,01	6067107,73	584869,88	114,02
21	6066519,90	584689,52	102,70	6066519,67	584689,41	102,99
22	6066419,21	584898,21	112,94	6066419,32	584898,18	113,04
23	6066663,93	584978,55	110,99	6066663,89	584978,97	110,82
24	6066877,91	584460,19	106,38	6066877,97	584460,38	106,15
25	6065972,39	585018,91	118,50	6065972,20	585018,99	118,09
26	6066554,93	584599,66	105,86	6066554,76	584599,63	106,01
27	6066233,57	584451,03	96,57	6066233,64	584450,99	96,69
28	6066027,07	584544,83	88,98	6066027,10	584545,30	89,71
29	6066930,44	584791,76	109,23	6066930,71	584791,76	109,50
30	6067097,84	584889,51	112,98	6067097,24	584889,36	113,79

4. Fotogrametrinių matavimų rezultatų analizė ir įvertinimas

4.1. Kosminių nuotraukų ortofotografinio vaizdo tikslumo įvertinimas

Pasirinktos (eksperimentinės) teritorijos kosminiuose vaizduose išmatuotų taškų skirtingomis fotogrametrinėmis sistemomis *FFSAT* ir *LPS* koordinatinių tikslumas analizuojamas lyginant su vietovėje išmatuotomis taškų koordinatėmis (A priedas), kurios priimtos kaip tikrosios.

Matavimų rezultatų įvertinimui pirmiausia skaičiuojami išmatuotų fotogrametrinėmis sistemomis *FFSAT* ir *LPS* taškų koordinatinių nuokrypiai nuo tikrųjų koordinatinių, išmatuotų vietovėje. Taškų koordinatinių nuokrypiai pavaizduoti 4.1 lentelėje.

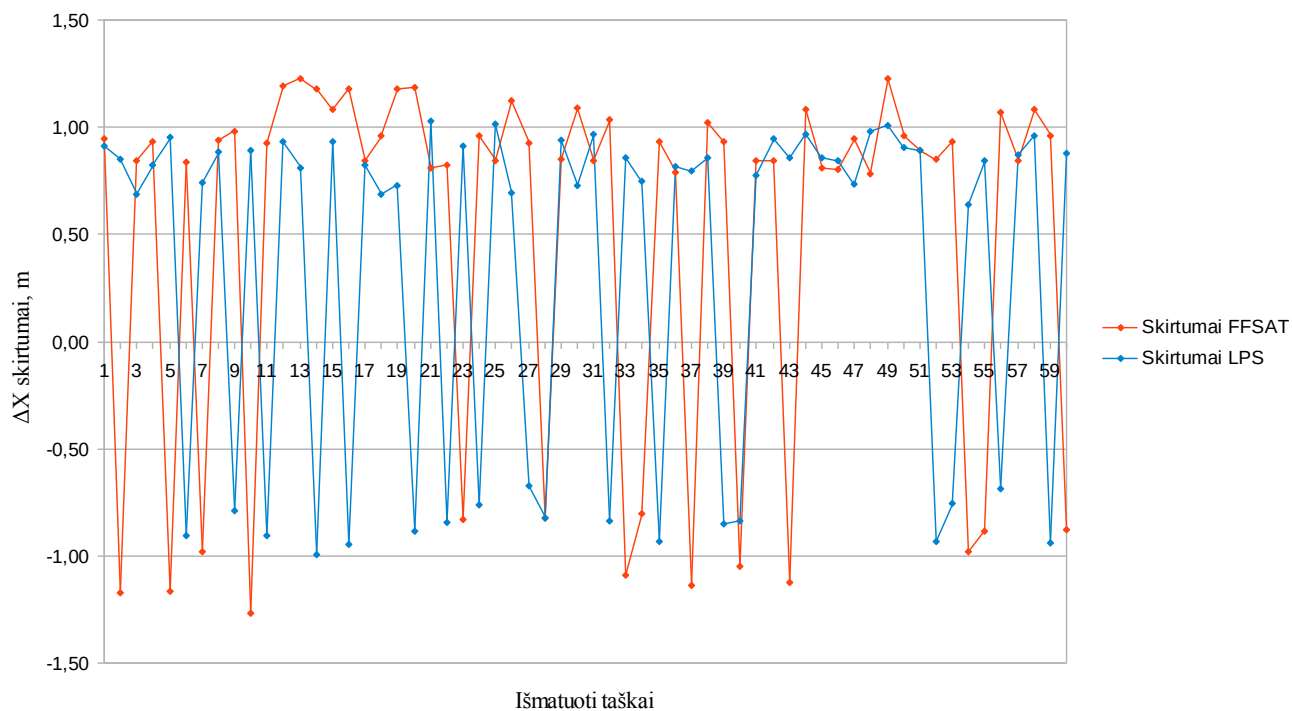
4.1 lentelė. *FFSAT* ir *LPS* programomis išmatuotų taškų koordinatinių skirtumai

Skirtumai (<i>FFSAT</i> -GPS)			Skirtumai (<i>LPS</i> -GPS)	
Eil. Nr.	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY
1	0,95	0,94	0,91	-0,57
2	-1,17	-1,01	0,85	-0,85
3	0,85	-1,13	0,69	-0,96
4	0,93	-1,09	0,82	0,78
5	-1,16	1,02	0,96	0,62
6	0,84	-1,11	-0,90	-0,74
7	-0,98	-1,02	0,74	-0,68
8	0,94	1,04	0,89	-0,75
9	0,98	-1,00	-0,79	0,93
10	-1,27	-1,04	0,89	-0,69
11	0,92	-1,16	-0,91	0,72
12	1,19	-0,85	0,93	-0,93
13	1,23	0,85	0,81	0,92
14	1,18	0,95	-0,99	0,85
15	1,08	0,86	0,93	-0,89
16	1,18	-1,15	-0,94	-0,91
17	0,84	0,93	0,82	0,85
18	0,96	0,79	0,69	0,75
19	1,18	0,99	0,73	0,69
20	1,18	0,84	-0,89	0,73
21	0,81	0,86	1,03	0,82
22	0,82	0,89	-0,85	-0,92
23	-0,83	0,92	0,91	-0,56
24	0,96	-0,90	-0,76	0,75
25	0,84	1,12	1,01	0,82
26	1,12	1,18	0,69	0,92
27	0,93	0,85	-0,67	0,92
28	-0,82	0,98	-0,82	-0,67
29	0,85	-1,15	0,94	0,91

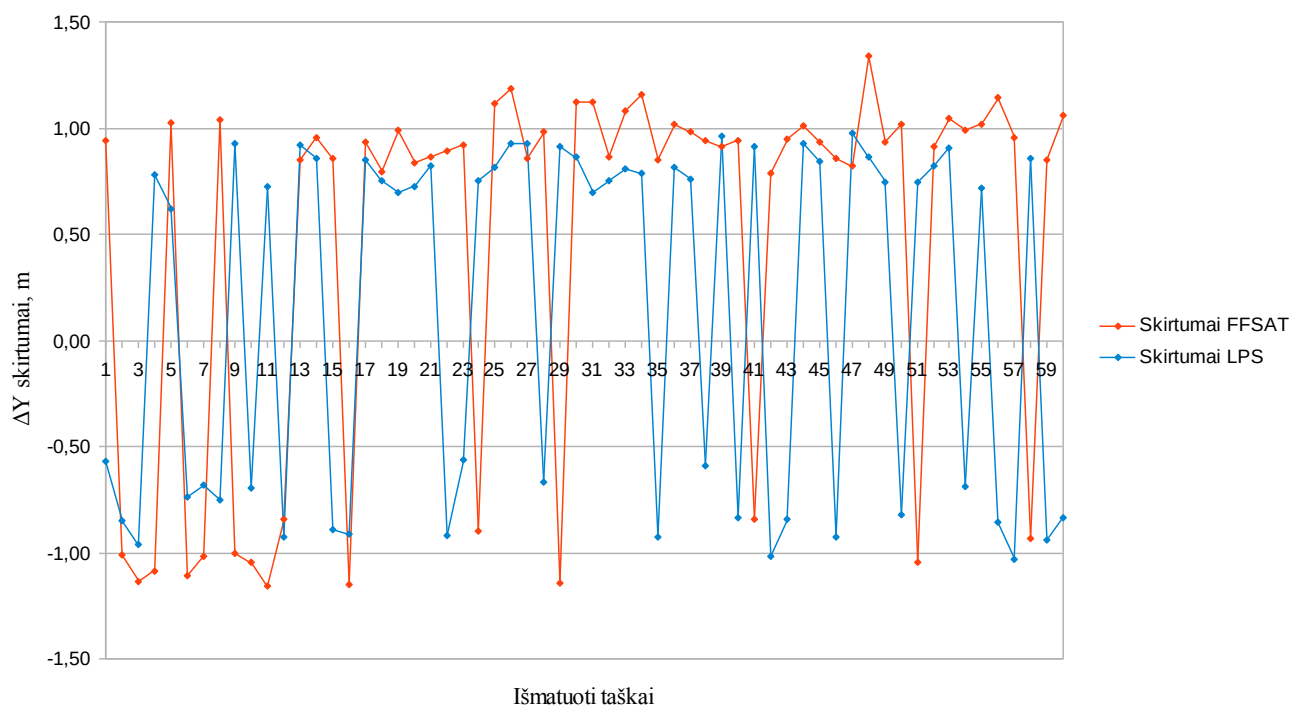
4.1 lentelės tęsinys

30	1,09	1,12	0,73	0,86
31	0,84	1,12	0,96	0,69
32	1,03	0,86	-0,84	0,75
33	-1,09	1,08	0,86	0,81
34	-0,80	1,16	0,75	0,79
35	0,93	0,85	-0,94	-0,93
36	0,79	1,02	0,82	0,82
37	-1,14	0,98	0,79	0,76
38	1,03	0,94	0,86	-0,59
39	0,93	0,91	-0,85	0,96
40	-1,05	0,94	-0,84	-0,84
41	0,85	-0,84	0,78	0,92
42	0,84	0,78	0,95	-1,02
43	-1,13	0,94	0,86	-0,85
44	1,09	1,01	0,97	0,93
45	0,81	0,93	0,86	0,84
46	0,80	0,86	0,84	-0,92
47	0,95	0,82	0,74	0,98
48	0,78	1,34	0,98	0,86
49	1,23	0,94	1,01	0,75
50	0,96	1,02	0,91	-0,82
51	0,89	-1,04	0,89	0,74
52	0,85	0,91	-0,93	0,82
53	0,93	1,05	-0,76	0,91
54	-0,98	0,99	0,64	-0,69
55	-0,89	1,01	0,84	0,71
56	1,07	1,15	-0,69	-0,85
57	0,84	0,96	0,87	-1,03
58	1,08	-0,93	0,96	0,86
59	0,96	0,85	-0,94	-0,94
60	-0,88	1,06	0,87	-0,83

Visų išmatuotų taškų koordinatų nuokrypių ΔX , ΔY ir ΔZ pasiskirstymai vaizduojami grafiškai 4.1 pav. – 4.2 pav. Iš grafikų matyti, kad fotogrametrine sistema *LPS* išmatuotų koordinatų nuokrypiai yra mažesni, artimesni tikrosioms reikšmėms, nei fotogrametrine sistema *FFSAT* išmatuotų koordinatų nuokrypiai.



4.1 pav. FFSAT ir LPS programomis išmatuotų koordinačių nuokrypių ΔX pasiskirstymas



4.2 pav. FFSAT ir LPS programomis išmatuotų koordinačių nuokrypių ΔY pasiskirstymas

Taškų koordinatinių vidutinė kvadratinė paklaida (RMS) ir standartinis nuokrypis StD (σ_z) apskaičiuojami pagal 4.1 – 4.2 formules, tokiu būdu mažinama sisteminių paklaidų įtaka (Žalnierukas ir kt., 2009).

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2 X}{N}}; \quad RMS = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2 XY}{N}} \quad (4.1)$$

$$StD(\sigma) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (\Delta X_i - \Delta \bar{X})^2}; \quad StD(\sigma) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (\Delta XY_i - \Delta \bar{XY})^2} \quad (4.2)$$

čia, $\Delta X = X_{\text{vaizdo}} - X_{\text{tikrosios}}$, $\Delta XY = \sqrt{\Delta^2 X + \Delta^2 Y}$, $\Delta \bar{X}$ – vidutinis nuokrypis, N – išmatuotų taškų koordinatės

4.2 ir 4.3 lentelėse pateikiami planimetrinių koordinatinių ir taškų aukščių vidutinės kvadratinės paklaidos ir standartiniai nuokrypiai.

4.2 lentelė. *FFSAT* ir *LPS* programomis gautų planimetrinių koordinatinių ir taškų aukščių vidutinės kvadratinės paklaidos

Matavimų technologijos	Taškų skaičius	Vidutinės kvadratinės paklaidos, m		
		Planimetrinių koordinatinių (x, y)		
		RMS(X)	RMS(Y)	RMS(XY)
<i>FFSAT</i>	60	0,98	0,99	1,40
<i>LPS</i>		0,86	0,83	1,19

4.3 lentelė. *FFSAT* ir *LPS* programomis gautų planimetrinių koordinatinių ir taškų aukščių standartiniai nuokrypiai

Matavimų technologijos	Taškų skaičius	Standartiniai nuokrypiai, m		
		Planimetrinių koordinatinių (x, y)		
		StD(σ)(X)	StD(σ)(Y)	StD(σ)(XY)
<i>FFSAT</i>	60	0,85	0,87	0,12
<i>LPS</i>		0,79	0,82	0,10

4.2. 3D modelių, sukurtų naudojant aerofotonuotraukas analizė

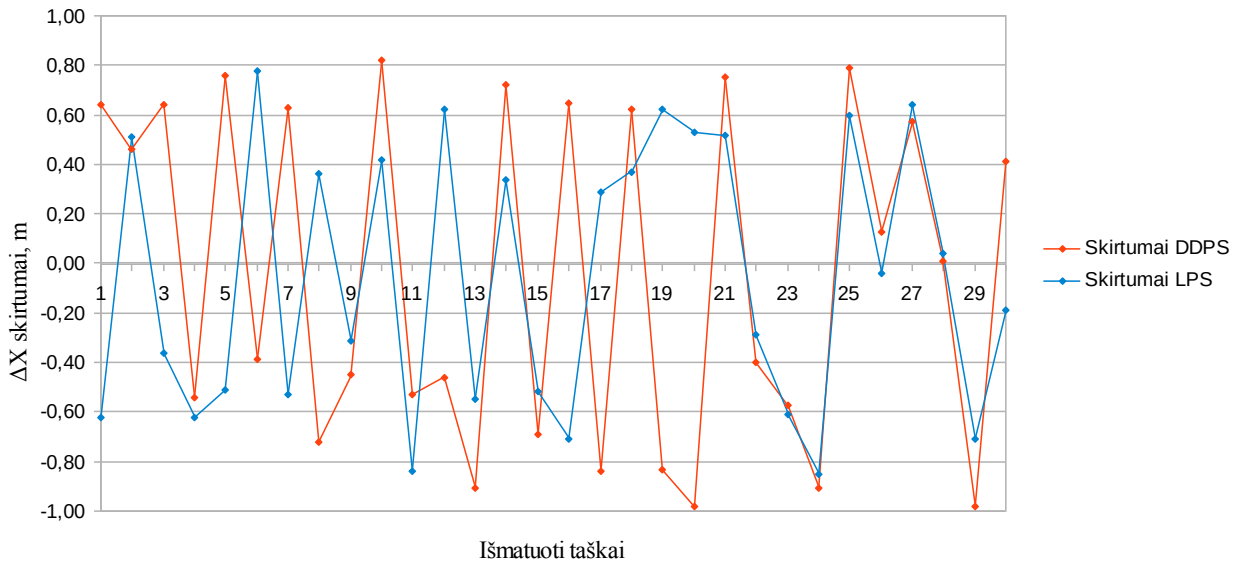
Pasirinktos (eksperimentinės) teritorijos aerofotonuotrukose išmatuotų taškų skirtingomis fotogrametrinėmis sistemomis *DDPS* ir *LPS* koordinatų tikslumas analizuojamas lyginant su *LISA* fotogrametrine sistema stereoskopiškai išmatuotomis taškų koordinatėmis (B priedas), kurios priimtos kaip tikrosios.

Matavimų rezultatų įvertinimui pirmiausia skaičiuojami išmatuotų fotogrametrinėmis sistemomis *DDPS* ir *LPS* taškų koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų koordinatų, išmatuotų *LISA* fotogrametrine sistema. Taškų koordinatų nuokrypiai pavaizduoti 4.4 lentelėje.

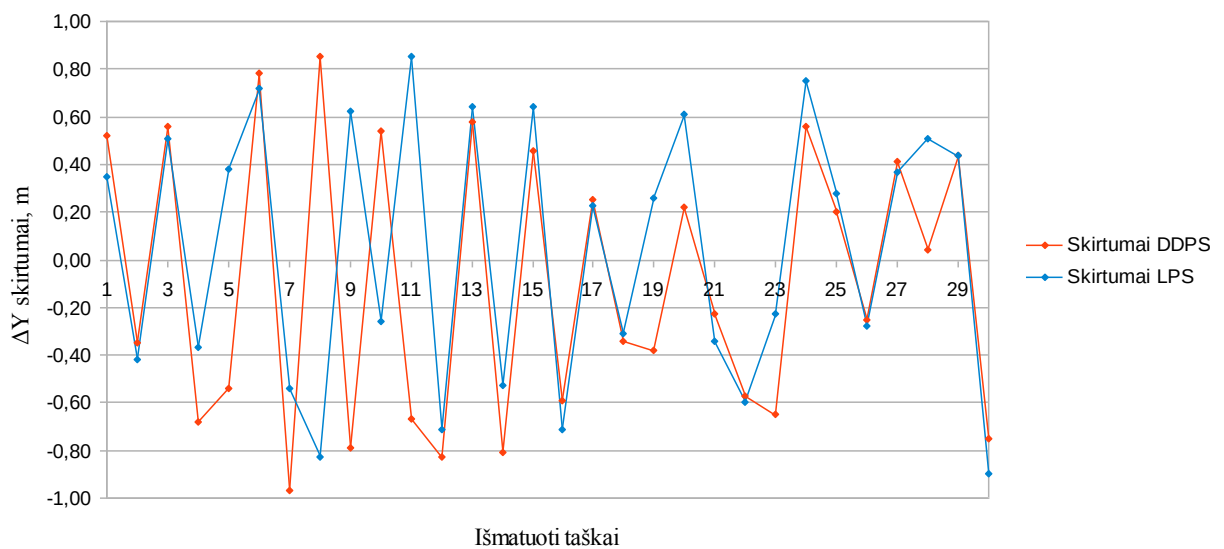
4.4 lentelė. *DDPS* ir *LPS* programomis išmatuotų taškų koordinatų skirtumai

Eil.Nr.	Skirtumai (<i>DDPS-LISA</i>)			Skirtumai (<i>LPS-LISA</i>)		
	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ
1	0,64	0,52	-0,67	-0,62	0,35	0,75
2	0,46	-0,35	-0,82	0,51	-0,42	1,20
3	0,64	0,56	1,02	-0,36	0,51	0,37
4	-0,54	-0,68	-0,65	-0,62	-0,37	0,83
5	0,76	-0,54	-0,78	-0,51	0,38	-0,67
6	-0,39	0,78	0,65	0,78	0,72	-0,79
7	0,63	-0,97	-0,59	-0,53	-0,54	0,83
8	-0,72	0,85	0,64	0,36	-0,83	-0,79
9	-0,45	-0,79	-0,76	-0,31	0,62	0,65
10	0,82	0,54	0,85	0,42	-0,26	-0,73
11	-0,53	-0,67	-0,45	-0,84	0,85	0,45
12	-0,46	-0,83	-0,37	0,62	-0,71	-0,37
13	-0,91	0,58	-0,52	-0,55	0,64	0,53
14	0,72	-0,81	1,04	0,34	-0,53	-0,47
15	-0,69	0,46	-0,35	-0,52	0,64	-0,15
16	0,65	-0,59	0,84	-0,71	-0,71	0,28
17	-0,84	0,25	-0,67	0,29	0,23	-0,37
18	0,62	-0,34	0,79	0,37	-0,31	0,42
19	-0,83	-0,38	0,91	0,62	0,26	-0,51
20	-0,98	0,22	-0,74	0,53	0,61	0,27
21	0,75	-0,23	0,30	0,52	-0,34	0,59
22	-0,40	-0,57	-0,98	-0,29	-0,60	-0,88
23	-0,57	-0,65	1,33	-0,61	-0,23	1,16
24	-0,91	0,56	1,16	-0,85	0,75	0,93
25	0,79	0,20	0,16	0,60	0,28	-0,25
26	0,13	-0,25	0,26	-0,04	-0,28	0,41
27	0,57	0,41	1,34	0,64	0,37	1,46
28	0,01	0,04	0,40	0,04	0,51	1,13
29	-0,98	0,44	1,06	-0,71	0,44	1,33
30	0,41	-0,75	0,33	-0,19	-0,90	1,14

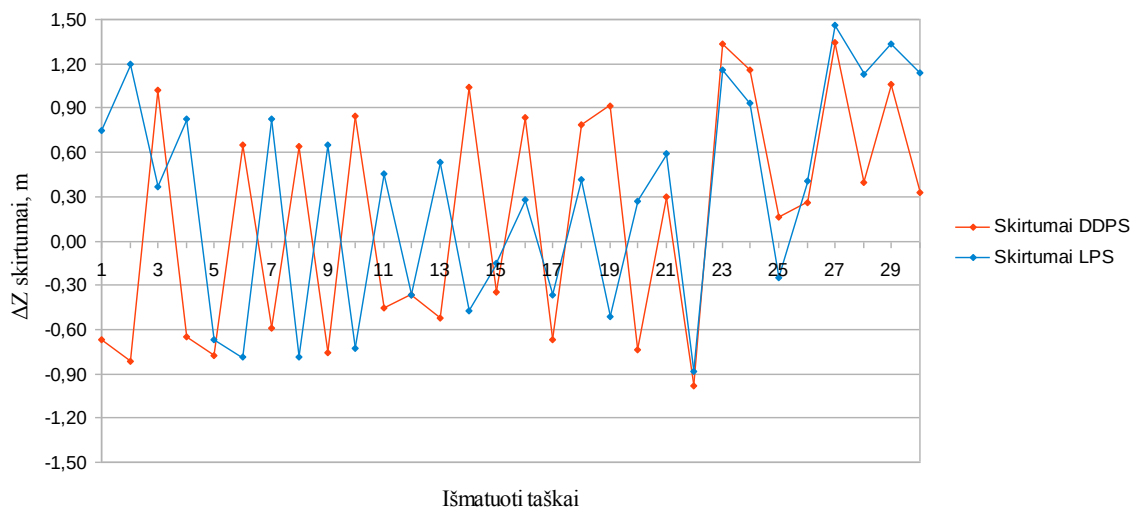
Visų išmatuotų taškų koordinacių nuokrypių ΔX , ΔY ir ΔZ pasiskirstymai vaizduojami grafiškai 4.3 pav. – 4.5 pav.. Iš grafikų matyti, kad fotogrametrine sistema *LPS* išmatuotų koordinacių nuokrypiai yra mažesni, artimesni tikrosioms reikšmėms (grafike artimesni 0), nei fotogrametrine sistema *DDPS* išmatuotų koordinacių nuokrypiai.



4.3 pav. *DDPS* ir *LPS* programomis išmatuotų koordinacių nuokrypių ΔX pasiskirstymas



4.4 pav. *DDPS* ir *LPS* programomis išmatuotų koordinacių nuokrypių ΔY pasiskirstymas



4.5 pav. DDPS ir LPS programomis išmatuotų koordinačių nuokrypių ΔZ pasiskirstymas

Taškų koordinačių vidutinė kvadratinė paklaida (RMS) ir standartinis nuokrypis $\text{StD} (\sigma_z)$ apskaičiuojami pagal 4.1 – 4.2 formules.

4.5 ir 4.6 lentelėse pateikiami planimetrinių koordinačių ir taškų aukščių vidutinės kvadratinės paklaidos ir standartiniai nuokrypiai. Išmatuotų taškų koordinačių vidutinė kvadratinė paklaida neviršija 1 m.

4.5 lentelė. DDPS ir LPS programomis gautų planimetrinių koordinačių ir taškų aukščių vidutinės kvadratinės paklaidos

Matavimų technologijos	Taškų skaičius	Vidutinės kvadratinės paklaidos, m			
		Planimetrinių koordinačių (x, y)			Taškų aukščių
		RMS(X)	RMS(Y)	RMS(XY)	RMS(Z)
DDPS	30	0,67	0,57	0,88	0,78
LPS		0,54	0,54	0,76	0,77

4.6 lentelė. DDPS ir LPS programomis gautų planimetrinių koordinačių ir taškų aukščių standartiniai nuokrypiai

Matavimų technologijos	Taškų skaičius	Standartiniai nuokrypiai, m			
		Planimetrinių koordinačių (x, y)			Taškų aukščių
		$\text{StD}(\sigma)(X)$	$\text{StD}(\sigma)(Y)$	$\text{StD}(\sigma)(XY)$	$\text{StD}(\sigma)(Z)$
DDPS	30	0,66	0,56	0,23	0,76
LPS		0,53	0,54	0,21	0,71

Išvados

Atlikus *Cartosat-1* kosminių nuotraukų, kurių skiriamoji geba 2.5 m, fotogrametrinių matavimų profesionaliąją programą *LISA FFSAT* metu nustatyta, kad automatiškai bei stereoskopiniu būdu sukurtieji vietovės erdviniai modeliai atitinka keliamus reikalavimus. Šių fotografinių vaizdų absoliučiojo orientavimo gauta didžiausia vidutinė kvadratinė paklaida – 0.98 m (leistina paklaida – 1.2 m). Importavus DTM duomenis gautos pavienių objektų 3D koordinatės.

Ikonos palydovinės sistemos kosminės nuotraukos, kurių skiriamoji geba 1 m, fotogrametriškai apdorotos profesionaliais *ERDAS LPS* ir *LISA FFSAT* programinių sistemų moduliais. Ortofotografinėse nuotraukose sugeneruotuose pagal kosminius vaizdus, fotogrametrinių sistemų moduliais *ERDAS LPS* ir *LISA FFSAT* nustatyta pavienių objektų planimetrinės koordinatės. Atlikus tikslumo analizę, apskaičiuotos vidutinės kvadratinės paklaidos: *LPS* – 1.19 m; *FFSAT* – 1.40 m; ir standartiniai nuokrypiai: *LPS* – 0.10; *FFSAT* – 0.12 m. Apdoroti Ikonos palydovinės sistemos kosminiai vaizdai tinka 1: 10 000 mastelio topografiniams bei ortofotografiniams žemėlapiams sudaryti. Programinės sistemos *ERDAS* modulių *LPS* rezultatai gauti tikslesni nei programinės sistemos *LISA* modulių *FFSAT*.

Aerofotonuotraukų, apdorotų skaitmeninėmis fotogrametrinėmis sistemomis *DDPS* bei *ERDAS LPS*, gauti vidinio ir išorinio orientavimo rezultatai: vidinio orientavimo neviršija 0,01 mm, o absoliučiojo orientavimo – 10 cm. Ortofotografinėse nuotraukose, sugeneruotose pagal aerofotonuotraukas, fotogrametrinėmis sistemomis *DDPS* ir *ERDAS LPS* nustatytos taškų koordinatės. Įvertinus planimetrinių koordinatžių ir taškų aukščių tikslumą gautos vidutinės kvadratinės paklaidos: *DDPS* – 0.88 m (planimetrinių koordinatžių), 0.78 m (taškų aukščių); *LPS* – 0.76 m (planimetrinių koordinatžių), 0.77 m (taškų aukščių); ir standartiniai nuokrypiai: *DDPS* – 0.23 m (planimetrinių koordinatžių), 0.76 m (taškų aukščių); *LPS* – 0.21 m (planimetrinių koordinatžių), 0.71 m (taškų aukščių). Atlikus taškų koordinatžių tikslumo tyrimą pagal 1:6 000 mastelio aerofotonuotraukos medžiagą sukurtojo skaitmeninio vietovės modelio nustatyta, kad fotogrametriniu būdu išmatavus objektų padėtis, gautas taškų koordinatžių tikslumas tenkina 1:3 000 mastelio reikalavimus žemėlapiams sudaryti.

Literatūra

1. Ruzgienė, B.; Gečytė, S.; Qian Yi Xiang. Kosminių nuotraukų iš Google Earth, taikomų miestams kartografuoti stambiuoju masteliu, rektifikavimas. *Geodezija ir kartografija*, 2011, nr. 4, p. 168. ISSN 2029-7009.
2. DigitalGlobe įmonė. WorldView-2 is revolutionizing imagery, information and insight. *Geospatial World*, 2011, nr. 11, p. 27.
3. Дворкин, Б. А.; Дудкин, А. С. Новейшие и перспективные спутники дистанционного зондирования Земли. *ГЕОМАТИКА*, 2013, nr. 2, p. 16.
4. Оньков, В. И. Оценка точности высот SRTM для целей ортотрансформирования космических снимков высокого разрешения. *ГЕОМАТИКА*, 2011, nr. 3, p. 40.
5. Некрасов, В. В.; Райченко, В. Б. Практическое применение методов ключевых точек на примере сопоставления снимков со спутника Канопус-В. *ГЕОМАТИКА*, 2013, nr. 2, p. 56.
6. Ewiak, I. Wielosensorowa triangulacja satelitarna. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 2009, nr. 19, p. 101.
7. Devakanth Naidu, S., ir kt. Rational polynomial modelling for Cartosat-1 data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2008, nr. 37, p. 885.
8. Сечин, Ю. А. Основные тенденции развития ЦФС//От снимка к карте: цифровые фотограмметрические технологии: tarptautinės konferencijos pranešimų medžiaga [Prancūzija, Fontenblo, 2013 m. rugsėjo 21- 27 d.]. Rusija, Maskva, 2013, p. 32-34.
9. Кобзева, А. Е. Оценка возможности создания цифровых топографических карт и планов. Iš *Пакурс* [interaktyvus]. 2013, [žiūrėta 2014-10-16]. Prieiga per internetą: <http://www.racurs.ru/>.
10. Ruzgienė, B. Skaitmeninio reljefo modelio kūrimo metodai ir tikslumo tyrimas, taikant skaitmeninės fotogrametrijos technologiją. *Geodezija ir kartografija*. 2010, nr. 2, p. 57.
11. Ruzgienė, B. *Fotogrametrija: vadovėlis*. Vilnius: Technika, 2008. 203 p.
12. Ruzgienė, B. Comparison between Digital photogrammetric systems. *Geodesy and cartography*. 2007, nr. 3, p. 75.
13. Schneider, S.; Gruber, M. Radiometric quality of UltraCam-X images. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2008, nr. 37, p. 39.
14. Neumann, K. J. The Z/I DMC II - "Imaging Revolution". *Photogrammetric Week '11*. 2011, p. 97
15. Linder, W. *Digital photogrammetry: a practical course*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 2013, p. 214

16. Luhmann, T. ir kt. *Close Range Photogrammetry: principles, techniques and applications*. Dunbeath: Whittles. 2006, 495 p.
17. ESTI MAP [interaktyvus]. 2009 [žiūrėta 2015-02-20]. Prieiga per internetą: <<http://www.esti-map.ru/>>
18. Maps.lt – Lietuvos žemėlapiai internete [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2015-03-11]. Prieiga per internetą: <<http://www.maps.lt/>>
19. Google maps [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2015-03-11]. Prieiga per internetą: <<http://www.maps.google.com/>>
20. Žalnierukas, A. ir kt. Miestų skenavimo LIDAR metodu tikslumo analizė. *Geodezija ir Kartografija*. 2009, nr. 35, p.55.

PRIEDAI

A priedas. Taškų koordinatės išmatuotos GPS prietaisu

GPS					
Eil.Nr.	X	Y	Eil.Nr.	X	Y
1	5259759,22	519653,56	31	5255299,30	525771,20
2	5259596,67	518944,51	32	5255290,36	525825,35
3	5256846,95	516542,06	33	5255380,43	525840,17
4	5258409,86	517316,42	34	5255387,57	525796,91
5	5260565,51	517048,94	35	5255344,33	525778,61
6	5256839,18	522043,82	36	5255390,19	525728,99
7	5257347,68	521825,56	37	5255433,44	525736,09
8	5258693,14	523037,63	38	5255448,22	525646,04
9	5256484,99	523203,75	39	5255404,96	525638,91
10	5258096,57	524076,99	40	5255386,68	525682,15
11	5260012,66	527445,48	41	5252976,04	525750,51
12	5257747,33	524934,16	42	5253934,55	526335,45
13	5257431,66	526289,61	43	5253951,15	526311,62
14	5259239,88	528311,92	44	5248555,74	520303,05
15	5260570,41	524301,33	45	5250748,12	519316,59
16	5257092,04	528546,87	46	5250712,01	519397,41
17	5255001,26	520370,46	47	5250712,20	519390,15
18	5255510,89	520408,74	48	5250745,00	519402,50
19	5254609,17	524524,05	49	5250245,52	522733,03
20	5253833,02	524088,45	50	5249000,32	523828,00
21	5255977,19	524040,48	51	5247763,42	521230,95
22	5254438,98	522577,18	52	5248345,71	521561,93
23	5256333,77	523839,71	53	5249281,36	522712,12
24	5254838,36	524721,55	54	5250260,40	526644,59
25	5254578,84	524671,24	55	5250498,39	525572,10
26	5253726,15	524552,79	56	5249369,96	524985,13
27	5252874,01	525460,77	57	5248332,74	528435,69
28	5255801,78	528461,60	58	5251065,15	525299,24
29	5255425,68	525993,46	59	5248150,76	525598,70
30	5255445,91	525975,83	60	5249055,32	524709,96

B priedas. Koordinatės išmatuotos LISA programinėje sistemoje

Koordinatės išmatuotos su LISA			
Eil. Nr.	X	Y	Z
1	6067159,39	584666,88	108,15
2	6067116,85	584884,29	111,64
3	6066910,03	584491,80	107,27
4	6066829,89	584574,53	106,22
5	6066631,41	584275,01	96,39
6	6066633,94	584839,12	109,51
7	6066351,75	584275,10	101,55
8	6066368,72	584812,57	111,39
9	6066355,00	584799,68	106,95
10	6066379,10	584876,56	113,94
11	6066345,23	584899,02	111,14
12	6066310,64	584795,78	108,02
13	6065812,98	584814,37	108,31
14	6066048,75	584510,61	91,26
15	6066097,66	585092,76	120,30
16	6065962,50	584510,05	89,24
17	6066756,56	584803,09	108,15
18	6065948,44	584851,99	108,38
19	6066252,33	584444,08	98,65
20	6067107,20	584869,27	113,75
21	6066519,15	584689,75	102,40
22	6066419,61	584898,78	113,92
23	6066664,50	584979,20	109,66
24	6066878,82	584459,63	105,22
25	6065971,60	585018,71	118,34
26	6066554,80	584599,91	105,60
27	6066233,00	584450,62	95,23
28	6066027,06	584544,79	88,58
29	6066931,42	584791,32	108,17
30	6067097,43	584890,26	112,65

C priedas. Atramos taškų koordinacių katalogas

Taško nr.	LKS-94 koordinacių sistemoje			Taškų tipas <i>DDPS</i> programoje
	$Y (m)^*$	$X (m)^*$	$H (m)$	
3230	584396.210	6067095.139	108.466	ctrl
3234	584866.197	6067109.648	112.298	ctrl
3308	584404.836	6066592.981	96.772	ctrl
3309	584898.787	6066433.436	111.632	ctrl
3356	584370.022	6065901.401	101.422	ctrl
3357	584409.892	6066011.317	98.458	check
3358	584811.664	6066198.236	108.341	ctrl
3359	584748.200	6065903.037	105.054	ctrl
3360	585007.902	6065948.388	116.797	ctrl
3361	584876.439	6066064.740	108.876	check

Pastaba:

- 1) *Fotogrametrijoje fotografinių vaizdų koordinacių ašių kryptys nesutampa su stačiakampių koordinacių sistemos ašių kryptimis, todėl pirmiausia įvedamos Y (X – *DDPS* programoje) koordinacių reikšmės, po to X (Y – *DDPS* programoje);
- 2) ctrl – atramos taškai, kuriais remiantis atliekamas fotografinio vaizdo transformavimas;
- 3) check – taškai, kuriais remiantis kontroliuojami transformavimo rezultatai.

D priedas. Atramos taškų išdėstymo schemos ir abrisai

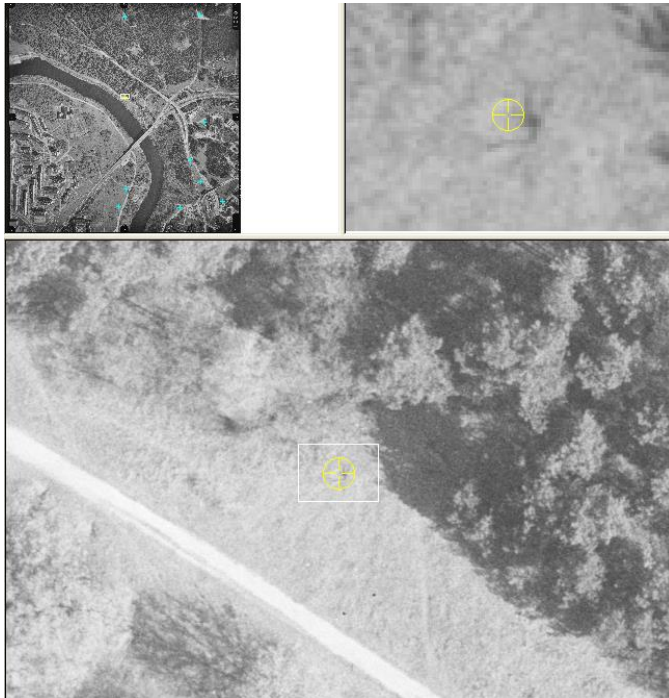
3230



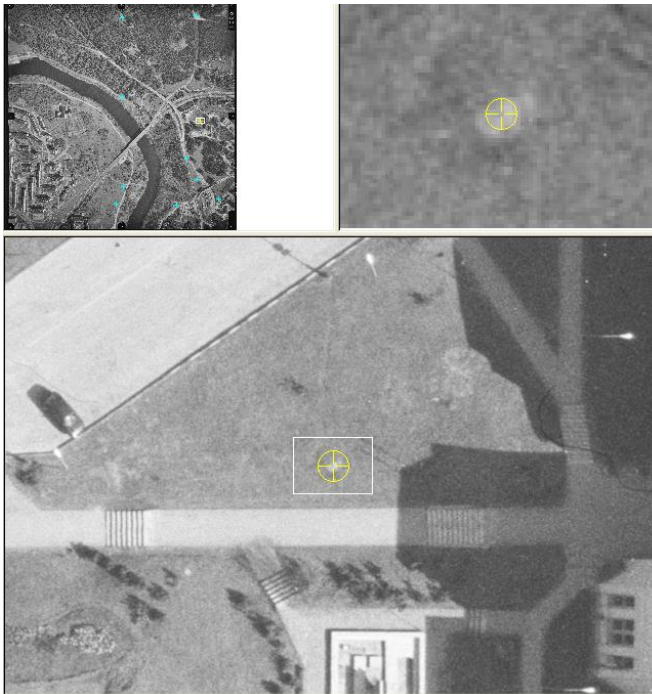
3234



3308



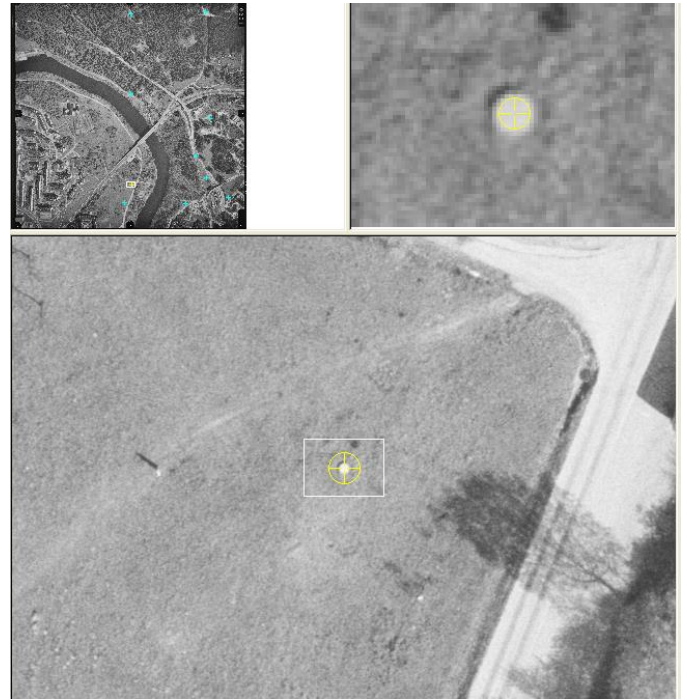
3309



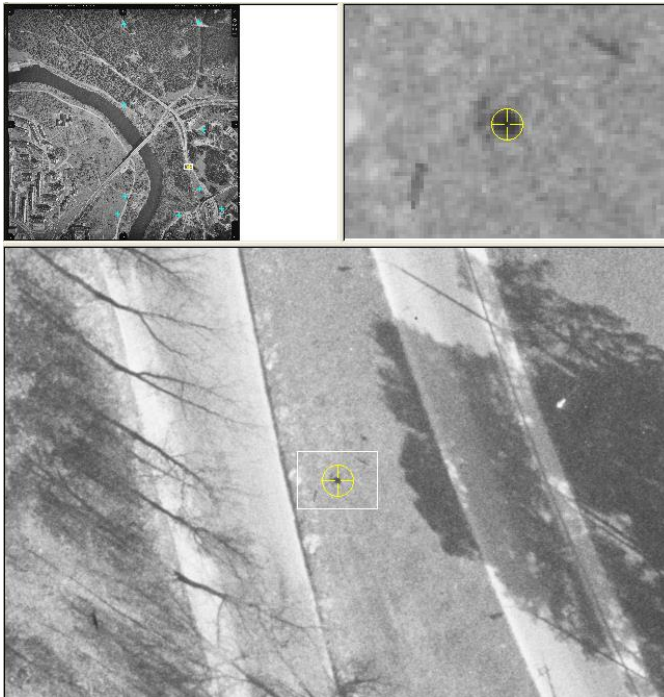
3356



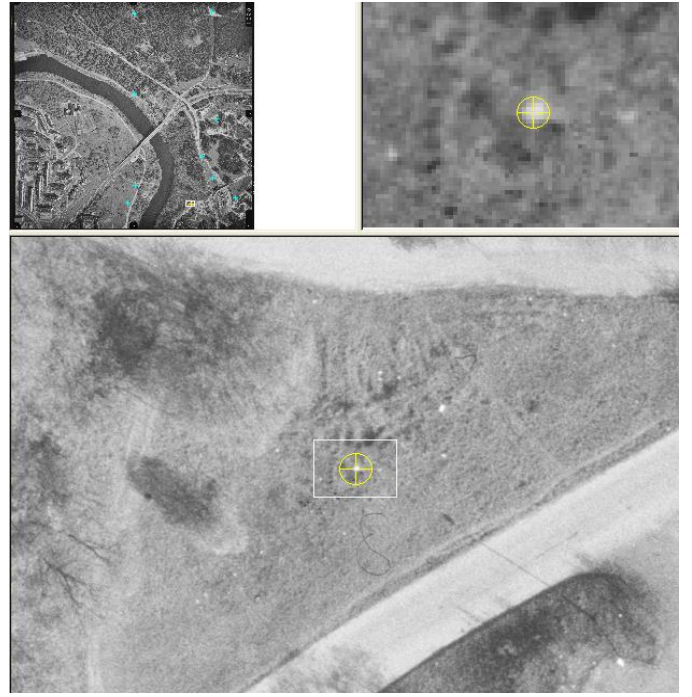
3357



3358



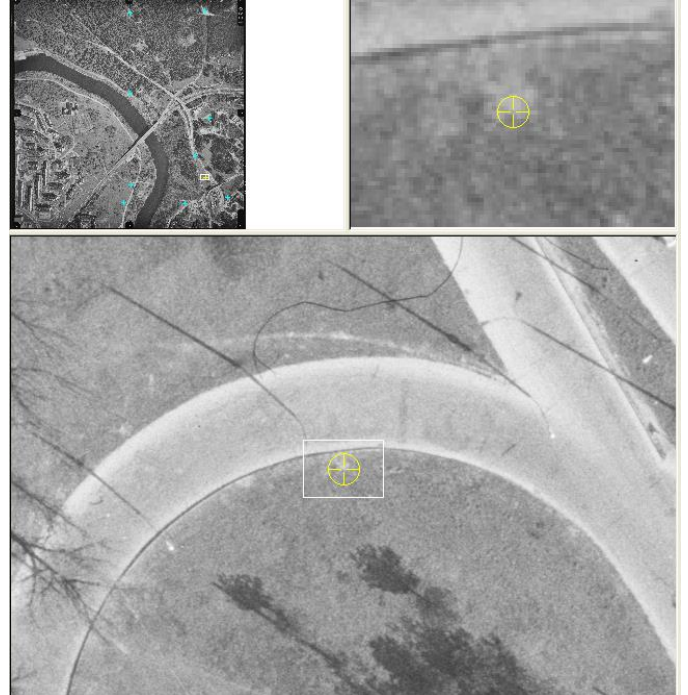
3359



3360



3361



A COMPARISON ANALYSIS OF DIFFERENT PHOTOGRAMMETRIC SOFTCOPIES FOR GEODATA PRODUCTION

Mažena Voitechovič¹, Birutė Ruzgienė²

^{1,2} Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius, Lithuania

E-mails:

Mazena.voitechovic@stud.vgtu.lt; birute.ruzgiene@vgtu.lt (corresponding author)

Received July 2014, accepted 2014

Abstract. Up-to-date mapping technologies for geodata production are widely applicable in Remote Sensing and Photogrammetry Communities. Therefore the education in Remote Sensing and photogrammetric methods becomes very important using different image processing software for the terrain mapping purposes, spatial data modeling, etc. The usage of new methods, technologies and professional widely known systems is the desire to increase mapping capability. Despite that, digital didactics photogrammetric systems might be used (particularly in education process) simultaneously, thus getting more efficiency results. The objective of research is to analyze some aspects of usage of digital photogrammetric softcopies, applied for terrain mapping: professional *IMAGE ERDAS* with *LPS*, *LISA* and Didactics Digital Photogrammetric Systems (*DDPS*). The experimental investigations lead to contiguity of this different software in consideration of the following criteria: accuracy, flexibility and time. The digital terrain models and orthophoto maps, created using two technologies, are almost the same due to time-consuming when performing separate image processing steps. However, full workflow on *DDPS* involves about 2.5 times less than it was performed on *LPS*. The photogrammetric measurements results demonstrate that there are some differences in accuracy due to stereoscopic measurements. When processing the images, defined value of accuracy estimators meets the requirements for topographic mapping; however *DEM* needs for separate study.

Keywords: photogrammetry, image processing, different software, orthophoto, accuracy evaluation.

Introduction

Modern digital image processing technologies have potential to improve the photogrammetric production at cost-performance relation. The digital production of three dimensional (3D) surface models and orthophotos currently turns to broadest usage. Such production is realized by Digital Photogrammetric Workstations (DPW) (Manual 2004, Kraus 2000, Ruzgiene 2008).

In digital photogrammetry some photogrammetric operations are performed by monocular mode, however the system of stereoscopic view is one of main parts of DPWs. Sophisticated computer hardware simplifies photogrammetric measurement processes, e.g., flat monitor as is *SD2620W*, *WUXGA* provides a high resolution 3D images and stereoscopic image can observe by multiple users. A variety of digital photogrammetric software is designed, however systems differs in functionality, features complexity and cost. The most common of the Digital Photogrammetric Workstations are: *SOCET SET*, *BAE Systems* (USA); *Softplotter*, *Autometric* (USA); *ImageStation*, *Z/I Imaging* (Germany/USA) (*Z/I Imaging* 2014); *Cardinal Systems*, *Vrtwo* (Cardinal

systems 2014); *Geomatica PSI* (Canada); *Delta*, *Geosystems* (Ukraine); *PHODIS*, *Zeiss* (Germany); *PHOTOMOD*, *Racurs*, Moscow (Russia) and others. The short overview of some other photogrammetric systems (Digital 2014): *AU4*, *Cartodata's* is designed for large scale mapping purposes; using *Summit Evolution*, *DATUM* objects of 3D can be extracted from photographs, is possible direct introduction geodata to GIS systems, software processes various types of photographic images and data (aerial photographs, high resolution satellite and radar images, point cloud from Aerial Laser Scanning, automatically generates orthophotos; *Leica Photogrammetry Suite (LPS)* from *ERDAS*, *Leica Geosystems Geospatial Imaging* is well known software for Remote Sensing image processing (Butowtt 2010).

In Lithuania the photogrammetric workstation *PHOTOMOD* is used in some production and education institutions. The main features of this software are: an interactive stereoscopic model creation, aerial triangulation, a digital terrain model and ortho images generation, images mosaicking, integration of several projects, etc. (*Racurs* 2014).

Implementing digital photogrammetric technologies for getting highest productivity, the

comparison analysis of softcopies, applied in such processes as images orientation, aerial triangulation, digital terrain model and orthophotos generation, is actual (Nurminen 2013, Luhmann et al. 2006, Ruzgienė 2010). The investigations in such criteria as systems flexibility, production time, accuracy and costs consideration should be significant. The decision how mapping systems could be used lead to more flexible map production, reduce costs and time considering project deadline requirements and increasing demand for digital data and for topographic maps from imagery, as well as usage in educational processes.

The objectives of research is to analyze the main aspects of functionality from digital professional and didactics photogrammetric mapping software in generating 3D photogrammetric production, to investigate the two systems through experiments and to evaluate the accuracy of obtained geodata.

1. Methodology

The availability of different photogrammetric software has made photogrammetric operations a common procedure. The goals of digital photogrammetry are: to establish the relationship between image space and object space using photographs, to describe mathematical calculation of points coordinates based on camera calibration parameters, to measure images coordinates and ground control points (Wolf 2000). When stereo model is created, the relation between image and control points coordinates is established automatically and collection of 3D data is possible.

Digital photogrammetric systems have potential for processing image data from different sources (Kraus 2007, Ruzgienė et al. 2011); scanned aerial photographs can be used as well. The professional photogrammetric scanners are very sensitive instruments; however some errors may appear due to proper calibration, environmental, maintenance conditions and image processing software. The high scan resolution as 14 μm is required for better interpretability and higher accuracy.

The orthophotography production is an automated process because of that there is some cost variation in any country. The orthophotographic mapping when aerial photography is taken with analogue aerial camera is based on costs per image scanning — €10; aerial triangulation — €20; generation of digital elevation model — €90; orthophoto generation — €25 (Konecny 2003).

The usage of the different digital systems that complement each other is appropriate solution in

getting complete knowledge for imagery processing and orthophoto generation as well. The education in photogrammetric images processing becomes increasingly important because of widely demand for applicability in Photogrammetry Communities. The training is based on usage of different software for processing of digital images. Digital image processing systems depends to set of high-level systems. Educational software is high desirable because of getting results in low time consuming and easy to use.

One of the main tasks in imagery processing is feature extraction, digitizing in spatial mode and getting vector data from stereo images. Only majority of educational systems has ability for stereo measurements. One of example in education process of that subject can be used Geo-Software *LISA* (Digital Photogrammetric Work Station) developed at University of Hanover (Germany). The advantage of usage the *LISA* is that it allows the control in orthorectification selecting several standard methods of interpolations as well as digital data filtering can be applied. This software's flexibility allows making decision on appropriate selection, to compare image processing time duration and accuracy of interpolation, to test chosen methods (Linder 2009).

For analysis in images processing is realized on the base of two aspects: use educational Digital Didactic Photogrammetric Station (*DDPS*) and professional photogrammetric software *Leica Photogrammetry Suite (LPS)* *ERDAS IMAGINE*.

The software *DDPS* was developed within the framework of a cooperative project between the Surfaces Laboratory, Department of Geomatics, University of Liege (supervising by Prof. J.P. Donnay), Belgium and the Institute of Geodesy and Cartography (IGiK), Department of Photogrammetry (supervising by Prof. R. Kaczynski), Poland. *DDPS* is complete and integrated photogrammetric package with user-friendly interface and easy for usage (Donnay 2005). A complete photogrammetric images processing is possible with Digital Didactics Photogrammetric Software with realized workflow showed in Fig. 1.

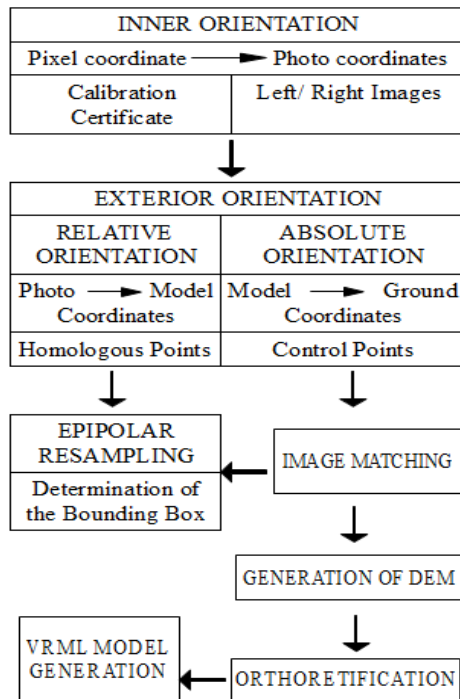


Fig. 1. General workflows on DDPS

For generation of Earth surface model from imagery is used very popular and professional software *ERDAS IMAGINE* suite of Leica Geosystems (Erdas 2014). It is as the world's leading geographic imaging software for the remote sensing and GIS needs. *ERDAS IMAGINE* offers a comprehensive solution that features extensive image processing capabilities: wide range of image classification tools, advanced and simple georeferencing, automated map production, transformation imagery into accurate GIS data, three-dimensional visualization, etc. The *Leica Photogrammetry Suite (LPS)* *ERDAS* is an images processing and workflow-driven system, which consists of numerous photogrammetric production tools. Using the *LPS*, can be performed: measurements of GCPs and tie points on multiple images, quality control; use photography or satellite imagery from various camera and satellite sensor types, triangulate multiple images automatically, orthorectify multiple images, etc. The general workflow on *LPS* involves: coordinate system selection, definition of camera calibration parameters, choosing of image data, interior and exterior orientation, aerial triangulation, DEM creation, orthophoto generation (Fig. 2).

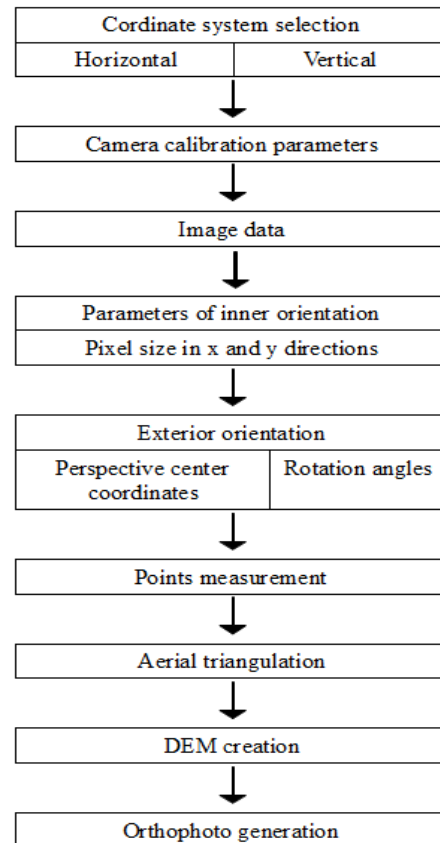


Fig. 2. General workflows on LPS

2. Experiments and comparison analysis of different softcopies

The goal of experiments was to investigate the workflow on a digital photogrammetric systems for production of geodata – professional and didactic; to compare images processing results; to analyze and evaluate different softcopies regarding to flexibility, time consuming and accuracy consideration.

As an input data the analogical images at a scale of 1:6000 with 62 % forward and 33 % sideward overlap covering the northern-eastern part of Vilnius were used for experimental measurements. The flight height was about 1000 m, the images have been taken by calibrated aerial camera *RMK TOP*, camera's focal length is 153.6 mm. The diapositives were scanned with pixel size 14 µm by photogrammetric scanner *Vexell Ultra Scan*. Digital photogrammetric images are size of 16862x16861 pixels.

The control point's network was created using photogrammetric technique – aerial triangulation and based on GPS measurements.

The image point's position accuracy depends on the camera sensor characteristics, the flight height, positioning by the GPS system, and some other factors.

The ground reference points were signalized on the territory before aerial photography and their

coordinates were determined by the GPS. Coordinates are transformed to Lithuanian coordinate system LKS-94, and heights to Baltic height system. The accuracy is about 2-3 cm.

During the flight, camera positioning by the kinematic GPS has a RMS ± 5 -10 cm and IMU – $\pm 0,005$ -0,01 gon, when flight height is 1000 m such drift causes shift of around 10-15 cm on the ground.

Applying the aerial triangulation method, the dense ground control point network was created. The model of mathematics block network adjustment has been based on collinearity equations. Equations of aircraft GPS antenna coordinate corrections are involved into process of adjustment. The accuracy of photogrammetric block adjustment – the estimator of the variance (σ_0) was reached up to 8.28 μ m in image.

An aerial image at a scale of 1:6000 provides a positional restitution of about 20 cm, and images scanned at 14 μ m are suitable for generation of 8 cm ground pixel orthophotos. Therefore, the input data for image processing should satisfy the requirements of reference geodata base creation at a scale of 1:1000-1:2000.

The images processing was done on professional digital photogrammetric software *Leica Photogrammetry Suite (LPS)*, *ERDAS IMAGINE*; *LISA* Geo-Software and Digital Didactic Photogrammetric Station (*DDPS*).

The accuracy results of interior and relative orientation by *DDPS*, *LISA* and *LPS* respectively are: maximal residual for the plane affine transformation – 0,007 mm; 0,012 mm; 0,010 mm.

Exterior (absolute) orientation of photographic images was based on 11 reference points which rectangular coordinates were defined by aerial triangulation approach. The results of image absolute orientation using different software are shown in Fig. 3.

The accuracy of images orientation obtained by different software (*DDPS*, *LISA* and *LPS*) is similar. The exterior orientation using *DDPS* and *LPS* softcopies was performed with accuracy up to 15 cm.

a)

3226	10.635	-61.898	0.233	0.033	M
3227	0.195	-57.681	-0.027	-0.164	M
3230	-90.653	-97.065	-0.104	0.213	M
3307	4.800	3.242	0.241	0.055	M
3308	-91.401	-17.426	-0.065	0.163	M

Standard deviation [mm]

0.1230.120

(De)activate

Skip

X

✓

b)

ulation Results

Ground Points

Image Points

Row #	Point ID	Type	Usage	Active	X	Y	Z	RX	RY	RZ
1	3230	Full	Control	X	584396.215	606709.054	108.464	0.005	-0.085	-0.002
2	3234	Full	Control	X	584866.261	606709.785	112.230	0.064	0.137	-0.088
3	3308	Full	Control	X	584404.904	606692.939	96.872	0.068	-0.042	0.100
4	3309	Full	Control	X	584898.771	606643.408	111.608	-0.016	-0.027	-0.024
5	3356	Full	Control	X	584370.010	606590.399	101.526	-0.012	-0.002	0.104
6	3357	Full	Control	X	584409.800	606601.230	98.303	-0.092	-0.087	-0.155
7	3358	Full	Control	X	584611.703	606619.211	108.371	0.039	-0.025	0.030
8	3359	Full	Control	X	584748.202	606590.105	105.047	0.002	0.068	-0.007
9	3360	Full	Control	X	585007.884	606594.424	116.875	-0.018	0.036	0.078
10	3361	Full	Control	X	584876.423	606604.905	108.807	-0.016	0.065	-0.069

c)

	Xl	Yl	Zl	Xgnd	Ygnd	Zgnd	dx	dy	dz	
3308	8883.2500...	1203.250000...	7625.500000...	1534.000000...	584866.197...	6067109.64...	112.298000...	0.0037463252	0.0658188453	-0.129626...
3309	8573.000000...	7088.000000...	2374.000000...	7326.750000...	584404.836...	606692.98...	96.7720000...	-0.0840945...	-0.1146112...	0.0177661
3356	14242.2500...	8935.000000...	7940.500000...	9168.000000...	584898.787...	6066433.43...	111.632000...	0.0125320446	-0.0413471...	0.0217622541
3357	8125.750000...	14993.2500...	1753.250000...	15326.2500...	584370.022...	6065901.40...	101.422000...	0.0478018500	0.1397349602	-0.0563562...
3358	8590.250000...	13714.5000...	2267.250000...	14013.2500...	584409.892...	6066011.31...	98.4580000...	-0.0166781...	0.0465709744	-0.1120219...
3359	13221.0000...	11631.5000...	6915.250000...	11884.5000...	584611.664...	6066198.23...	108.341000...	-0.0183285...	-0.0726184...	-0.0889773...
3358	12468.5000...	15016.2500...	6147.000000...	15340.0000...	584748.200...	6065903.03...	105.054000...	0.0161421089	0.0551340785	0.1455047240
3360	15533.5000...	14578.7500...	9181.750000...	14885.2500...	585007.902...	6065948.38...	116.797000...	0.0087365955	-0.0860812...	0.0441674785
3361	13864.0000...	13179.2500...	7652.000000...	13453.7500...	584876.439...	6066064.74...	108.876000...	0.0400624704	-0.0037984...	0.0194896114

Fig. 3. Fragment of results from exterior orientation of left image on different software: a) *LISA* – the maximum residual error is 0,24 m, b) *LPS* – 0,15 m; c) *DDPS* – 0,14 m

The experimental area is not very roughed and not very dense of high buildings, therefore images matching by *DDPS* and *LPS* software results shows not too large number of wrong point position and needs for manual corrections only about 5%. Figure 4 shows the generated orthophoto using software *DDPS* and *LPS*.

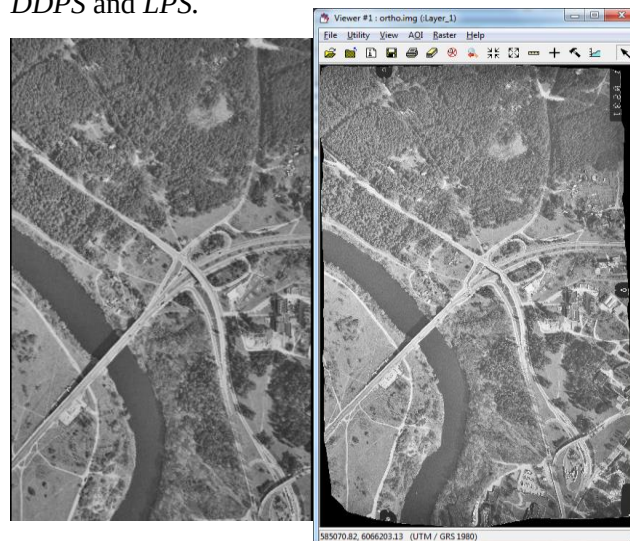


Fig. 4. Generated orthophotos in *DDPS* (left) and *LPS* (right) applications

The mapping processes by *LPS* *ERDAS* require high skilled employer, well knowledge in software

operations, photogrammetry, image processing, etc. Both digital systems are flexible because of high automation of most procedures. The operator's work is easier on *DDPS* system. Feature interpretation capabilities are not maximum effective, because the stereo viewing was not possible.

Time consideration. The inner orientation on the *DDPS* requires more time than on the *LPS*. The labor time for creation of digital terrain model depends of terrain types: flat or hilly, area covered by vegetation (for example, forests), urban or unbuilt territory. The DEM generation of complicated area in digital systems offers the large number of wrong measurements and needs for extensive interactive corrections. In test area terrain is an average open and not too much roughed. Therefore, automatic DEM have been processed successfully — only 2 % blunders were detected. The time consuming getting cartographic products on *DDPS* was about 2.5 times less than it was performed on *LPS*.

Accuracy consideration. The goal was to investigate point accuracy from processed image data by selected different software over the test area. For the evaluation of the image data geometric accuracy a comparison with results from stereoscopic measurements using *LISA* software has been carried out. Applying the stereo measurements approach a number of image points (65 points) were coordinated. Figure 5 shows the fragment of selected for investigation points in *LPS* application.



Fig. 5. Fragment of points selected for coordinates checking

The search of image points for control was carried out at a variable distances, e.g. from 1.0 up to 20 m. The distribution of height deviations regarding to stereoscopic measurements is presented in Table 1.

Table 1. Distribution of point's numbers regarding to defined height deviations

Technology / number of points (total 65)	Deviations number at intervals, m					
	0	0.1-0.6		0.6-1.1		1.1-1.5
		+	-	+	-	
<i>DDPS</i>	-	40	1	0	8	16
<i>LPS</i>	-	18	9	2	9	27

The accuracy of the image height points was investigated comparing image data processing results with stereoscopic measurements. Root Mean Square (RMS) and Standard deviation StD (σ_z) has been calculated using formulae (1), so reducing influence of systematic errors influence (Žalnierukas at al 2009).

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{1}{n}(\sum \Delta^2 Z - n \bar{\Delta}^2 Z)}, \quad (\text{RMS})^2 = \sigma_z^2 + \bar{\Delta}^2 Z, \quad (1)$$

where $\Delta Z = Z_{\text{img}} - Z_{\text{stereo}}$, $\bar{\Delta} Z$ – mean of deviations, n – number of checked points.

The differences of ground points coordinates defined by both digital photogrammetric systems have been calculated and the accuracy estimators were determined. Results of aerial image processing image point's coordinate's accuracy investigation considering to stereoscopic measurements by *LISA* software are presented in Table 2.

Table 2. Results of point coordinates accuracy investigation compared with stereoscopic measurements

Measurement technologies	Checked points number	Accuracy assessments, m				
		Min. deviation	Max. deviation	Mean absolute deviation	Estimator, RMS	Estimator, StD (σ)
Accuracy of planimetric coordinates (x, y)						
DDPS	65	0.28	0.85	0.59	0.66	0.29
LPS		0.27	0.92	0.63	0.65	0.18
Accuracy of point heights						
DDPS	65	0.30	1.40	0.26	0.79	0.63
LPS		0.41	1.46	0.51	0.93	0.78

Results from the accuracy analysis shows that the accuracy of geodata collected from two systems are approximately at the same level (planimetric positional *RMSE* — 0.66 m, heights — 0.86 m). However, there was defined, that point's heights was determined with a lower accuracy, when collected on *LPS*. Performing many trials, with accurate identification of selected images points, the accuracy investigation results remains the same as shown in Table 2. Therefore, there is realized, that it is significant values of accuracy estimators regarding to very accurate stereoscopic measurements.

Conclusions

The digital technologies without any doubt have possibility to generate new accurate mapping products with low time consuming. However, choosing digital photogrammetric mapping technologies (production or educational) it is very useful to consider user's needs.

The investigation has shown functionality of two photogrammetric softcopies (*DDPS* and *LPS ERDAS*) and their application possibilities. Feature extraction from images by manual mode on the *DDPS* is not very desirable, because meets some inconveniences in managing images, there is not possible to process images from digital camera as well. So, the algorithm used in *DDPS* software should be supplemented. The digital photogrammetric image processing is fully reliable and functional with a lot of possibilities, when use professional softcopy as *LPS ERDAS*.

Stereoscopic measurements approach was used as the more relevant technique due to investigations of photogrammetric measurements accuracy. Accuracy assessments, when points coordinates have been determined using different softcopies, shows that results match to the accuracy requirements for getting mapping product, however more attention should be paid generating elevation

model. The result of accuracy investigation shows fulfillments the requirements for topographic mapping at scales of 1:5000 – 1: 10000.

References

- Butowtt, J.; Kaczyński, R. 2010. *Fotogrametria*. Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna. 280 p.
- Cardinal systems [cited 20 April 2014]. Available from internet: www.pubs.usgs.gov
- Digital photogrammetric workstations. [cited 8 May 2014]. Available from internet: http://www.gim-international.com/productsurvey/id36-Digital_Photogrammetric_Workstations,December.html
- Donnay, J.P.; Kaczynski, R. 2005. *Didactic and Digital photogrammetric software*. Department of Geomatics, University of Liege, Belgium, Institute of Geodesy and Cartography (IGiK), Department of Photogrammetry, Warszawa, Poland. 71 p.
- Erda Imagine [cited 19 May 2014]. Available from internet: <http://geospatial.intergraph.com/Homepage.aspx>.
- Konecny, G. 2003. *Geoinformation: Remote Sensing, Photogrammetry and Geographical Information Systems*. London and New York: Taylor and Francis. 248 p.
- Kraus, K. 2000. *Photogrammetry. Vol 1. Fundamentals and Standard Processes*. Köln: Dümmler. 397 p.
- Kraus, K. 2007. *Photogrammetry: geometry from images and laser Scans*. Berlin Walter de Gruyter. 459 p.
- Linder, W. 2009. *Digital Photogrammetry. A Practical Course*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. 220 p.
- Luhmann, T.; Robson, S.; Kyle, S.; Harley, I. 2006. *Close Range Photogrammetry. Principles, Methods and Applications*. Whittles Publishing, Scotland, UK. 510 p.
- Manual of Photogrammetry*. McGlone C (Editor). 2004. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, USA, 1151 p.
- Nurminen. K.; Karjalainen, M., Yu, X.; Hyypä, J.; Honkavaara, E. 2013. Performance of dense digital surface models based on image matching in the estimation of plot-level forest variables. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 83: 104-115.
- Racurs [cited 6 May 2014]. Available from internet: <http://www.racurs.ru>
- Ruzgienė, B. 2008. *Fotogrametrija*. Vilnius: VGTU, Technika. 203 p.

- Ruzgiene, B.; Xiang, G.Y.; Gečyte, S. 2011. Large scale city mapping using satellite imagery, *Geodesy and Cartography*, 37(4): 168-171.
- Ruzgienė, B. 2010. Skaitmeninio reljefo modelio kūrimo metodai ir tikslumo tyrimas, taikant skaitmeninės fotogrametrijos technologiją [Methods of digital relief model creation and accuracy investigation applying digital photogrammetry technology]. *Geodezija ir Kartografija* [Geodesy and Cartography], 36(2): 57-62.
- Ruzgiene, B.; Žalnierukas, A. 2011. Creation of an urban spatial model using laser-scanning. In: *The 8th International Conference "Environmental Engineering" 3*: 1455-1458.
- Wolf, P.R.; Dewitt, B. A. 2000. *Elements of Photogrammetry with Application in GIS*. USA McGraw-Hill. 608 p.
- Z/I Imaging [cited 20 April 2014]. Available from internet: http://www.ziimaging.com/en/products_15.htm
- Žalnierukas, A.; Ruzgienė, B.; Kalantaitė, A.; Valaitienė, R. 2009. Miestų skenavimo LIDAR metodu tikslumo analizė. [Analysis of accuracy of Lithuania city scanning applying LIDAR method] *Geodezija ir Kartografija* [Geodesy and Cartography], 35(2): 55–60.

Mažena VOITECHOVIČ. Master's degree student. Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Environmental Engineering, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania (phone: +370 5 2744703).

Research interests: GIS, 3D photogrammetric modelling.

Birutė RUZGIENĖ. Associate Professor, Doctor. Vilnius Gediminas Technical University, Dept of Geodesy and Cadastre, Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius, Lithuania (phone: +370 5 2744703).

Research interests: digital photogrammetric mapping, image interpretation, features extraction from remote sensing data.