



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA

Valerija Sabaliauskienė

**EISMO ĮVYKIŲ, NAUDOJANT FOTOGRAMETRINIUS METODUS,
REGISTRAVIMAS**

**THE REGISTRATION OF TRAFFIC ACCIDENTS USING
PHOTOGRAMMETRIC METHODS**

Baigiamasis magistro darbas

Geodezijos ir kartografijos studijų programa, valstybinis kodas 621H14003

Kadastro informacinės sistemos specializacija

Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2013

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Vladislovas Česlovas Aksamitauskas
(Vardas, pavardė)

(Data)

Valerija Sabaliauskienė

**EISMO ĮVYKIŲ, NAUDOJANT FOTOGRAMETRINIUS METODUS,
REGISTRAVIMAS**

**THE REGISTRATION OF TRAFFIC ACCIDENTS USING
PHOTOGRAMMETRIC METHODS**

Baigiamasis magistro darbas

Geodezijos ir kartografijos studijų programa, valstybinis kodas 621H14003

Kadastro informacinės sistemos specializacija

Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

doc. dr. Birutė Ruzgienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

lekt. Regina Žukienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2013

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA

Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Geodezijos ir kartografijos studijų programa, valstybinis kodas
621H14003

Kadastro informacinės sistemos specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Vladislovas Česlovas Aksamitauskas

(Vardas, pavardė)

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

Nr.

Vilnius

Studentui (ei) Valerijai Sabaliauskienei

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Eismo įvykių, naudojant fotogrametrinius metodus, registravimas

patvirtinta 2011 m. lapkričio 30 d. dekanų potvarkiu Nr. 414ap.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2013 m. birželio 3 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Išnagrinėti antžeminės fotogrametrijos metodus ir jų taikymą eismo įvykiams atkurti. Skaitmeninėmis fotokameromis nufotografuoti eismo įvykių, fotogrametrinėmis programinėmis sistemomis atlikti fotografinių vaizdų apdorojimą.

Išanalizuoti rezultatų tikslumą bei pateikti eismo įvykio registravimo, fotogrametriniais metodais, metodiką.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: lekt. Regina Žukienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas

(Parašas)

doc. dr. Birutė Ruzgienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

(Parašas)

Valerija Sabaliauskienė

(Vardas, pavardė)

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Geodezijos ir kadastro katedra

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

Antrosios pakopos studijų **Geodezijos ir kartografijos** programos baigiamasis darbas 4 (kadastro informacinės sistemos)

Pavadinimas **Eismo įvykių naudojant fotogrametrinius metodus registravimas**
Autorius **Valerija Sabaliauskienė**
Vadovas **doc. dr. Birutė Ruzgienė**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe išnagrinėti antžeminės fotogrametrijos taikymo principai. Remiantis užsienio patirtimi, pateikta artimų nuotolių fotogrametrijos taikymo eismo įvykiams registruoti, metodika. Išnagrinėta šiam tikslui daugelyje šalių (JAV, Australijoje, Indonezijoje ir kt.) naudojamos specializuotos, profesionalios ir populiariausios programinės sistemos iWitness taikymo ypatumai, duomenų parengimo metodika ir rezultatų tikslumas. Darbe pateikta – eksperimentinio objekto – eismo įvykio fotografavimo metodika ir apdorojimo rezultatai. Fotografavimas atliktas dvejomis skaitmeninėmis fotokameromis: Cannon EOS 550D bei Olympus X-960. Eismo įvykio fotografiniai vaizdai apdoroti dvejomis skaitmeninės fotogrametrijos programinėmis sistemomis: LISA BASIC ir PICTRAN-D. Sukurti eismo įvykio situacijos skaitmeniniai modeliai ir rezultatai grafiškai atvaizduoti 2D plane. Fotogrametriniais metodais nustatytos sukurtojo modelio objektų koordinatės ir atlikta palyginamoji tikslumo analizė. Atlikus eksperimentinius tyrimus pateikti pasiūlymai ir rekomendacijos eismo įvykių situacijoms registruoti, taikant artimų nuotolių fotogrametrijos metodus.

Prasminiai žodžiai: skaitmeninė fotogrametrija, židinio nuotolis, fotografinių vaizdų orientavimas, eismo įvykių atkūrimas, iWitness.

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 Final Thesis 4 (Cadastre Information Systems)

Title	The Registration of Traffic Accidents Using Photogrammetric Methods
Author	Valerija Sabaliauskienė
Academic supervisor	Assoc Prof Dr Birutė Ruzgienė

Thesis language:
Lithuanian

Annotation

This master thesis analyzes principles of terrestrial photogrammetry application. Based on the foreign experience was presented the methodology of close-range photogrammetry application for registration of traffic accidents. There were analyzed features of using specialized, professional and popular in many countries (USA, Australia, Indonesia etc.) software iWitness, described methodology of data collection and precision of the results.

The paper presents experimental object – methodology of accident photography and processing results. Photography was accomplished in two digital cameras: Cannon EOS 550D and Olympus X-960. Photographic images of an accident processed with two digital photogrammetric systems: LISA BASIC and PICTRAN-D. Digital models of the accident situation were created and results graphically presented in 2D plan. Coordinates of created model objects were found by using photogrammetric methods also was conducted comparative analysis of the accuracy. After implementation of experimental researches there were presented suggestions and recommendations for registration of accident situations by applying the close-range photogrammetry techniques.

Keywords: digital photogrammetry, images orientation, focal length, accident reconstruction, iWitness.

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

Valerija Sabaliauskienė, 20074388

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Geodezija ir kartografija, KISmf-11

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽINGUMO DEKLARACIJA**

2013 m. birželio 5 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Eismo įvykių naudojant fotogrametrinius metodus registravimas“ patvirtintas 2011 m. lapkričio 30 d. dekanų potvarkiu Nr. 414ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe 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 nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).

(Parašas)

Valerija Sabaliauskienė

(Vardas ir pavardė)

(the document of Declaration of Authorship in the Final Degree Paper)

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Valerija Sabaliauskienė, 20074388

(Student's given name, family name, certificate number)

Faculty of Environmental Engineering

(Faculty)

Geodesy and Cartography, KISmf-11

(Study programme, academic group no.)

**DECLARATION OF AUTHORSHIP
IN THE FINAL DEGREE PAPER**

June 5, 2013

I declare that my Final Degree Paper entitled „The Registration of Traffic Accidents Using Photogrammetric Methods“ is entirely my own work. The title was confirmed on November 30, 2011 by Faculty Dean's order No. 414ap. I have clearly signalled the presence of quoted or paraphrased material and referenced all sources.

I have acknowledged appropriately any assistance I have received by the following professionals/advisers: Regina Žukienė.

The academic supervisor of my Final Degree Paper is Assoc Prof Dr Birutė Ruzgienė.

No contribution of any other person was obtained, nor did I buy my Final Degree Paper.

(Signature)

Valerija Sabaliauskienė

(Given name, family name)

TURINYS

Paveikslų sąrašas	9
Lentelių sąrašas.....	11
Įvadas.....	12
1. Literatūros šaltinių apžvalga.....	15
2. Antžeminės fotogrametrijos metodų taikymas	20
2.1. Antžeminių objektų fotografavimas	20
2.2. Skaitmeninės fotokameros.....	23
2.3. Fotografinių vaizdų apdorojimas.....	27
2.3.1. Fotografinių vaizdų bei objekto koordinatinių sistemų.....	28
2.3.2. Skaitmeninių fotografinių vaizdų orientavimas	30
2.3.3. Vietovės taško geodezinių koordinatinių sąsaja su fotografinio vaizdo koordinatėmis	33
3. Artimų nuotolių fotogrametrijos taikymo eismo įvykiams registruoti metodikos analizė.....	35
3.1. Policijos pareigūnų veiksmai registruojant eismo įvykius	37
3.2. Fotografavimo procesas.....	39
3.3. Fotografinių vaizdų apdorojimas iWitness programine sistema	41
3.4. Tikslumo įvertinimas	45
4. Eismo įvykio eksperimentinio objekto situacijos atkūrimas fotogrametriniais metodais	48
4.1. Eismo įvykio situacijos fotografavimas	49
4.2. Fotogrametrinio pagrindo kūrimas	53
4.3. Eismo įvykio fotonuotraukų apdorojimas fotogrametrine programine sistema <i>LISA</i>	59
4.4. Eismo įvykio fotonuotraukų apdorojimas programa <i>PICTRAN</i>	70
5. Eismo įvykio registravimo fotogrametriniu būdu rezultatų analizė	75
Išvados ir pasiūlymai	79
Literatūros sąrašas	81
Priedai	85
A priedas. Plano, pridedamo prie eismo įvykio protokolo, pavyzdys	
B priedas. Fotografiniai vaizdai gauti <i>Olympus X-960</i> fotokamera	
C priedas. Fotografiniai vaizdai gauti <i>Cannon EOS 550D</i> fotokamera	
D priedas. Atraminių taškų katalogas ir abrisai	
E priedas. Fotografinių vaizdų apdorojimo, programine įranga <i>LISA</i> , rezultatai	
F priedas. <i>Bunbil</i> modulio tinklo išlyginimo rezultatai	
G priedas. Užregistruoto eismo įvykio situacijos 2D planas	
H priedas. Respublikinės mokslo konferencijos „Civilinė Inžinerija ir Geodezija“ dienotvarkė	

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

- 2. 1 pav. Fotografavimo būdai: a) normalus; b) pasviręs (kairysis arba dešinysis); c) konvergentinis (fotografavimo ašys susikerta); d) palinkusių ašių
- 2. 2 pav. Fotokamerų padėtys fotografuojamo objekto atžvilgiu: a) pagrindinis apskritimas; b) arčiau statinio; c) skirtinguose aukščiuose)
- 2. 1 pav. Konvergentinio fotografavimo metodo geometrija
- 2. 4 pav. Koordinačių sistema normaliojo fotografavimo atveju
- 2. 5 pav. Analitinės metrinės fotokameros naudotos antžeminės fotogrametrijos darbams atlikti: a) fototeodolitas *Phototheo 19/1318*; b) fototeodolitas *UMK 10/1318*; c) įmonės *Leica Wild* gamintojo fototeodolitas *P 32*; d) fotografavimas *Leica Wild P32* fotokamera
- 2. 6 pav. Fotokameros kalibravimo standų pavyzdžiai
- 2. 7 pav. Objekto vietovės koordinatų sistemos
- 2. 8 pav. Vietinė erdvinė objekto koordinatų sistema
- 2. 9 pav. Fotografinių vaizdų koordinatų sistemos: a) plokštuminė stačiakampė koordinatų sistema; b) erdvinė stačiakampė koordinatų sistema; c) Antžeminio fotografinio vaizdo koordinatų sistema
- 2. 10 pav. Skaitmeninio fotografinio vaizdo koordinatų sistema
- 3. 1 pav. Antžeminės fotogrametrijos taikymo rezultatai: a) kriminalistikoje – kuriami 2D planai, fotografuojami svarbūs įkalčiai, atliekamos vizualizacijos; b) eismo įvykių 3D modeliavimas; c) eismo įvykio automobilių judėjimo trajektorijų tyrimas, 2D planų projektavimas
- 3. 2 pav. Pagrindiniai reikalavimai fotografavimo procesui: fotokameros padėtys apsupant objektą
- 3. 3 pav. Atraminiai taškai – taikiniai
- 3. 4 pav. Automatinio kalibravimo taikiniai *iWitness* aplinkoje
- 3. 5 pav. Atlikto reliatyviojo orientavimo rezultatai
- 3. 6 pav. *iWitness* programinėje įrangoje išmatuotų taškų koordinatų tikslumas. 12 taškas išmatuotas netinkamai
- 3. 7 pav. CAD Crash Zone vizualizuotas eismo įvykis
- 3. 8 pav. Fotografinio vaizdo apdorojimo procesas: atraminių taškų 2D planas
- 3. 9 pav. Fotogrametrinių taikinių išdėstymas tacheometru išmatuotose vietose
- 3. 10 pav. 3D matavimų tikslumo santrauka
- 3. 11 pav. Paženklinti papildomi taškai ir jų koordinatės nustatytos *iWitness* aplinkoje
- 4. 1 pav. Eismo įvykio vieta: a) Google Street View nuotraukoje b) 2009 m. ortofotografiniame žemėlapyje
- 4. 1 pav. Transporto priemonių susidūrimo situacijos schema
- 4. 3 pav. Eismo įvykio fotografavimo schema fotografuojant *Cannon EOS 550D* fotokamera
- 4. 4 pav. Eismo įvykio fotografavimo schema fotografuojant *Olympus X-960* fotokamera
- 4. 5 pav. Eksperimentiniame tyrime naudojama fotokamera *Olympus X-960*
- 4. 6 pav. Eksperimentiniame tyrime naudojama fotokamera *Cannon EOS 550D*
- 4. 7 pav. Matavimai GPS prietaisu naudojant referencinės stoties duomenis

- 4. 8 pav.** GPS prietaisu matuoti taškai matomi fotografiniame vaizde (fotokamera – *Olympus X-960*)
- 4. 9 pav.** GPS prietaisu matuoti taškai matomi fotografiniame vaizde (fotokamera – *Cannon EOS 550D*)
- 4. 10 pav.** Fotonuotraukos parametrai prieš ir po pertvarkymo
- 4. 11 pav.** Dešiniosios fotonuotraukos vaizdas (fotokamera – *Cannon EOS 550D*)
- 4. 12 pav.** Kairiosios fotonuotraukos vaizdas (fotokamera – *Cannon EOS 550D*)
- 4. 13 pav.** Dešiniosios fotonuotraukos vaizdas (fotokamera – *Olympus X-960*)
- 4. 14 pav.** Kairiosios fotonuotraukos vaizdas (fotokamera – *Olympus X-960*)
- 4. 15 pav.** Projekto nustatymų paruošimas
- 4. 16 pav.** Skaitmeninių fotokamerų parametrų įvedimas: a) *Cannon 550D* skaitmeninės fotokameros nustatymai; b) *Olympus X-960* fotokameros parametrų nustatymai
- 4. 17 pav.** Įvestų atramos taškų koordinačių sąrašas
- 4. 18 pav.** *Cannon EOS 550D* ir *Olympus X-960* fotokamerų vidinio orientavimo rezultatai
- 4. 19 pav.** Išorinio orientavimo paklaidų rezultatai fotografinių vaizdų gautų *Cannon EOS 550D* fotokamera: a) kairiosios fotonuotraukos; b) dešiniosios fotonuotraukos
- 4. 20 pav.** Išorinio orientavimo paklaidų rezultatai fotografinių vaizdų gautų *Olympus X-960* fotokamera: a) kairiosios fotonuotraukos; b) dešiniosios fotonuotraukos
- 4. 21 pav.** Išorinio orientavimo rezultatai: a) Kairiojo fotografinio vaizdo (fotokamera *Olympus X-960*); b) Dešiniojo fotografinio vaizdo (fotokamera *Cannon EOS 550D*)
- 4. 22 pav.** Stereoskopinio modelio apibrėžimas
- 4. 23 pav.** Sukurtas stereoskopinis modelis: a) fotografinių vaizdų atliktų *Olympus X-960* fotokamera; b) fotografinių vaizdų atliktų *Cannon EOS 550D* fotokamera
- 4. 24 pav.** Fotografinių vaizdų (gautų *Olympus X-960* fotokamera) sugretinimo rezultatai su spalvine išraiška
- 4. 25 pav.** Fotografinių vaizdų (gautų *Cannon EOS 550D* fotokamera) sugretinimo rezultatai su spalvine išraiška
- 4. 26 pav.** Vidinio orientavimo rezultatai: a) Fotokameros *Olympus X-960*; b) fotokameros *Cannon EOS 550D*
- 4. 27 pav.** Sukurtas atraminių taškų katalogas
- 4. 28 pav.** Išorinio orientavimo skaičiavimų rezultatai: a) fotografinių vaizdų gautų *Olympus X-960* fotokamera; b) fotografinių vaizdų gautų *Cannon EOS 550D* fotokamera
- 4. 29 pav.** Nustatyti išorinio orientavimo parametrai: a) Dešiniojo fotografinio vaizdo atlikto *Olympus X-960* fotokamera; b) Dešiniojo fotografinio vaizdo atlikto *Cannon EOS 550D* fotokamera
- 5. 1 pav.** Planimetrinių koordinačių paklaidų ΔX pasiskirstymas
- 5. 2 pav.** Planimetrinių koordinačių paklaidų ΔY pasiskirstymas

LENTELIŲ SARAŠAS

- 2.1 lentelė.** Mėgėjiškų skaitmeninių fotokamerų pagrindiniai skirtumai
- 2.2 lentelė.** Kai kurių skaitmeninių fotokamerų svarbiausios savybės
- 3.1 lentelė.** Eismo įvykių vietoje naudojami prietaisai ir jų aprašymas
- 4.1 lentelė.** Skaitmeninių fotokamerų techninių parametrų palyginimas
- 4.2 lentelė.** Eismo įvykio fotografavimo duomenys
- 4.3 lentelė.** Didažnio GPS Leica Systems 1200 prietaiso aprašymas
- 4.4 lentelė.** Išmatuotų taškų koordinatės LKS-94 koordinatinių sistemoje
- 4.5 lentelė.** Taškų koordinatės nustatytos skirtingomis fotokameromis gautuose skaitmeniniuose fotovaizduose programine įranga *LISA*
- 4.6 lentelė.** Išmatuotų charakteringų objektų geodezinės koordinatės
- 5.1 lentelė.** Išmatuotų papildomų taškų koordinatinių nuokrypiai
- 5.2 lentelė.** *Cannon EOS 550D* vaizdų nustatytų planimetrinių koordinatinių nuokrypių pasiskirstymas
- 5.3 lentelė.** Išmatuotų taškų koordinatinių tikslumo tyrimo rezultatai

IVADAS

Fotogrametrija – tai mokslas apie matavimus fotografiniuose vaizduose ir tai neatsiejama nuotolinių tyrimų dalis. Fotogrametrija tiria įvairių objektų geometrinę informaciją, gautą atliekant matavimus fotonuotraukose. Fotogrametriniais metodais galima nustatyti realaus pasaulio objektų kiekybinius ir kokybinius duomenis, pasitelkiant dvejais ar daugiau, fotografiniais vaizdais. Fotografiniai vaizdai, gauti iš mažesnės fotografavimo bazės (atstumas tarp fotokameros ir objekto) nei 300 m, gali būti apibūdinami kaip antžeminės fotogrametrijos arba artimų nuotolių fotografiniais vaizdais. Norint nustatyti atstumus, plotus ar gauti kitą informaciją iš fotografinių vaizdų, pagrindinė užduotis – nustatyti fotografiniame vaizde, bet kurio taško koordinatas vietinėje koordinatinių sistemoje. Pagal taškų koordinatas galima nustatyti geometrinius duomenis arba kurti ortofotografinius vaizdus, žemėlapius, tiesiogiai neprisiliečiant prie antžeminių objektų.

Šiuolaikinės antžeminės fotogrametrijos rezultatai sėkmingai gali papildyti geografinių informacinių sistemų duomenų bazes. Dažnai ši informacija yra pirminė rengiant pastatų rekonstrukcijos projektus arba tiriant kurį laiką vykstančius reiškinius (pvz., dirvožemio, pakrančių erozijos stebėjimas). Šiuolaikinė fotogrametrija sparčiai pradėjo populiarėti XX a. pabaigoje – atsirado terminas *skaitmeninė fotogrametrija*. Fotografiniai vaizdai, simboliai, užrašai ir kiti duomenys pateikiami naudojant kompiuterinę įrangą. Greitas technologijų tobulėjimas (fotokamerų, programinių įrangų, kompiuterių) išplėtė fotogrametrijos taikymo sričių įvairovę.

Vis daugiau specialistų bando pritaikyti, savo darbo ir mokslo srityse, fotogrametriškai apdorotus duomenis ir gautus rezultatus. Fotogrametrijos metodai sėkmingai taikomi hidrologijoje, architektūroje, geologijoje, paleontologijoje, aplinkosaugoje, statyboje. Visuose moksluose, kuriuose svarbi tiriamojo objekto padėtis erdvėje (3D modeliai), gali būti taikomi fotogrametrijos metodai. Iš fotografinių vaizdų galima nuskaityti daug naudingos informacijos, tačiau reikia tinkamai ją pateikti, be to informacija turi būti patikima. Atrinkta aktuali informacija nuskaityta ir kaupiama duomenų bazėse. Duomenų bazėse esanti informacija, tai objektų, reiškinių informacija apie padėtį erdvėje ir jų savybės. Įvairiose mokslo srityse, atliekant matavimus fotogrametriniais metodais, keliama skirtingi tikslai ir ieškomų duomenų pobūdis skiriasi. Iš fotografinių vaizdų dešifruojama informacija gali būti išsaugoma: vektorine (linijos, poligonai – įvairiais CAD formatais) arba skaitine išraiška (3D koordinatės, statistiniai duomenys). Šių duomenų pobūdis priklauso nuo atliekamų užduočių, duomenų apdorojimo tikslo bei tolimesnio naudojimo.

Lietuvoje fotogrametrijos rezultatai dažniausiai yra naudojami kaip pirminiai informacijos šaltiniai ortofotografiniams žemėlapiams kurti, atnaujinti, žemės paviršiaus skaitmeninio modelio sudarymui (skaitmeninių žemėlapių kūrimui), aplinkos objektų 3D duomenų pateikimui (geologijoje, architektūroje) ir pan. Užsienyje antžeminės fotogrametrijos metodai plačiai taikomi:

GIS, statybos inžinerijoje, deformacijų stebėjimuose, eismo įvykių atkūrimui, kultūros paveldo objektų 3D vizualizavimui ir įvairių reiškinių monitoringui. Tokiuose matavimuose norint išlaikyti aukštos kokybės rezultatus, reikia ilgo židinio nuotolio fotokameros objektyvų.

Antžeminių fotogrametrijos metodų taikymas eismo įvykių analizei yra svarbi fotografinių vaizdų apdorojimo galimybių pažanga. Vokietijoje, JAV, Australijoje artimų nuotolių fotogrametrijos metodai eismo įvykių registravimui sėkmingai taikomi ne pirmus metus. Fotogrametriškai apdoroti eismo įvykių fotografinius vaizdus galima tik įvertinus turimų duomenų apdorojimo ir pateikimo specifiką. Galimybė apdoroti eismo įvykius fotogrametriškai, priklauso nuo daugelio aspektų: transporto priemonių išsidėstymo, atraminių taškų geometrijos, o taip pat nuo pačios vietovės bei naudojamų technologijų (fotokameros, programinės įrangos). Fotogrametrijos metodų taikymas eismo įvykiams registruoti turi tam tikrą apdorojimo metodiką, kuri, remiantis užsienio literatūra, analizuojama šiame magistriniame darbe.

Darbo aktualumas ir naujumas. Eismo įvykiai Lietuvoje yra nagrinėjami teisės aktais reglamentuota tvarka. Policijos pareigūnai, tiriantys eismo įvykius, įvertinantys sudarytą žalą bei ruošiantys dokumentaciją teismo ekspertizėms, praranda nemažai laiko nustatinėdami transporto priemonių padėtį po susidūrimo (erdvėje). Ilgą laiką šiam procesui nebuvo suteikiama derama svarba, kol pradėta reikalauti tikslių duomenų pateikimo ir eismo įvykių atkūrimo skaitmeninėje erdvėje. Eismo įvykio fiksavimas paprastomis matavimo priemonėmis užima nemažai laiko bei gali būti neobjektyvus. Fotogrametrijos metodų taikymas šioje srityje būtų pageidautinas kaip naujoviška technologija. Informacija pateikiama teismo ekspertizėse turi atitikti realią buvusią informaciją, o fotogrametriškai apdorojami duomenys yra užfiksuojami ir išsaugomi realiuoju laiku. Šiuo metodu galima ištirti eismo įvykio vietą ir nustatyti jo aplinkybes: greičius, pagreičius, susidūrimo kampus, transporto priemonių padėtį po susidūrimo bei stabdymo žymių trajektoriją. Šio metodo duomenys yra svarūs ekspertizės analizėje. Eismo įvykių nagrinėjimas fotogrametriškai būtų geriausias būdas tiksliai, nebrangiai bei kokybiškai kaupti ir saugoti eismo įvykių rekonstrukcijos informaciją.

Darbo tikslas – pateikti eismo įvykių situacijos atkūrimo technologiją, taikant skaitmeninės fotogrametrijos metodus.

Darbo uždaviniai:

- išnagrinėti antžeminės fotogrametrijos metodus ir jų taikymą;
- apžvelgti fotografinių vaizdų gavimo ir apdorojimo būdus;
- išanalizuoti artimų nuotolių fotogrametrijos taikymo eismo įvykiams registruoti ypatumus;
- atlikti eksperimentinius tyrimus – nufotografuoti skirtingomis fotokameromis eismo įvykį, apdoroti fotografinius vaizdus skirtingomis programinėmis sistemomis;

- atlikti rezultatų įvertinimą, pateikiant eismo įvykių registravimo metodikos panaudojimo galimybes.

Tyrimo objektas. Eismo įvykio situacija skaitmeniniuose fotografiniuose vaizduose.

Tyrimo metodika. Eismo įvykių registravimo fotogrametriniais metodais analizei atlikta transporto priemonių sandūros inscenizacija. Fotografiniai vaizdai gauti skirtingomis fotokameromis iš pasirinktų fotokameros stočių, atramos taškų koordinatės nustatytos geodeziniais prietaisais. Fotografiniai vaizdai apdorojami specializuotomis fotogrametrinėmis sistemomis *LISA* ir *PICTRAN-D*, išmatuojami fotografiniuose vaizduose esantys atramos ir kiti papildomi taškai (3D koordinatės).

Darbo aprobacija:

- Respublikinėje mokslo konferencijoje „Civilinė inžinerija ir geodezija“, vykusioje 2012 m. spalio 26 d., pristatytas pranešimas tema „*Eismo įvykių registravimas taikant fotogrametrinius metodus*“, žr. H priedą.

Darbo struktūra. Baigiamąjį darbą sudaro įvadas, penki skyriai, išvados, literatūros šaltinių sąrašas ir priedai. Bendra darbo apimtis – 86 puslapiai be priedų, 52 iliustracijos, 12 lentelių, 9 priedai.

Pirmajame skyriuje atlikta literatūros šaltinių apžvalga, pateikiami išanalizuoti moksliniai leidiniai baigiamojo darbo temai perteikti ir išnagrinėti.

Antrajame skyriuje aprašytas antžeminės fotogrametrijos metodų taikymas įvairių uždavinių sprendimams, pateikiami antžeminės fotogrametrijos duomenų apdorojimo teoriniai ir techniniai aprašymai, duomenų apdorojimo metodika ir kiti reikalavimai.

Trečiajame skyriuje apžvelgtos artimų nuotolių taikymo galimybės eismo įvykiams tirti, fotografinių vaizdų apdorojimo specifika (orientavimo, modeliavimo) ir pagrindiniai reikalavimai bei rekomendacijos, remiantis užsienio patirtimi.

Ketvirtajame skyriuje analizuojamas konkretaus eismo įvykio fotografinių vaizdų apdorojimas skirtingomis fotogrametrinėmis sistemomis. Pateikiamas fotografinių vaizdų apdorojimo, skaitmeninio žemės paviršiaus modelio kūrimo ir 3D taškų matavimo procesai. Pateikiami fotografinių vaizdų (gautų skirtingomis fotokameromis) orientavimo ir fotografinių vaizdų geometrinio apdorojimo skaitmeninėmis fotogrametrinėmis programinėmis sistemomis *LISA* ir *PICTRAN-D* rezultatai.

Penktame skyriuje atliekamas fotogrametriškai apdorotų fotografinių vaizdų tikslumo įvertinimas.

1. LITERATŪROS ŠALTINIŲ APŽVALGA

Siekiant išnagrinėti artimų nuotolių fotogrametrijos taikymą skaitmeniniams vaizdams apdoroti, atlikta literatūros šaltinių analizė, t.y. apžvelgti moksliniai straipsniai, vadovėliai ir kita literatūra, kurioje pateikiama naudinga bei aktuali informacija.

Skaitmeninės fotogrametrijos amžius sparčiai populiarėjantis ir nuolat tobulinamas pakeitė dvidešimt dešimtmečių trukusią analitinės fotogrametrijos erą. Sąvoka *skaitmeninė* – elementari, kadangi, kaip yra sakoma – gyvename skaitmeniniame amžiuje, kuriame žmogaus darbą ir poreikius dažnai pakeičia kompiuterių darbas. Taip yra ir su fotogrametrija, laikui bėgant, tobulėjant technikai varginantys matavimi optiniais prietaisais pakeisti į visiškai arba pusiau automatizuotas skaitmenines technologijas.

Корнилов Ю.Н. „Фотограмметрия“. Sankt Peterburgo Nacionalinio kasybos universiteto profesorius skaitmeninius vaizdus apibrėžia kaip stačiakampę matricą, kurią sudaro elementai, saugojantys informaciją apie objektų optinį tankumą, skaitmeninio atvaizdo elementariųjų dalelių spalvą. Kompiuteryje esančio skaitmeninio vaizdo taškų koordinatės gali būti nustatytos, jeigu skaitmeninio atvaizdo pikselis atitinka pirminio skaitmeninio vaizdo pikselį, tuomet klaviatūros bei „pelės“ pagalba galima atlikti matavimus.

Mikhail, E. M. „Introduction to modern photogrammetry“. Analitinės fotogrametrijos tobulėjimą paspartino staigus programinių įrangų galimybių augimas artimų nuotolių vaizdams apdoroti. Programinėse įrangose atsiradusi funkcija *automatinis kalibravimas* leido pasiekti tokius pačius tikslumo rezultatus, kaip kalibruojant fotokameras laboratorijose. Elektroninių jutiklių atsiradimas taip pat ženkliai pakeitė fotogrametrijos istoriją, kadangi atsirado galimybė tobulinti fotografinių vaizdų kokybę. Artimų nuotolių fotogrametrijos fotografinių vaizdų geometrija (projekcija) yra tokia pati kaip ir aerofotogrametrijos, tačiau yra daug veiksnių lemiančių antžeminės fotogrametrijos vaizdų apdorojimo procesą. Atliekant fotografavimą fotokameros stotys turi apsupti fotografuojamą objektą, ir fotografavimo spinduliai turi susikirsti, tam, kad susidarytų fotografinių vaizdų dengimas (stereopora). Pasirenkant keletą pozicijų, kuriuose kameros orientuotos skirtingai (skirtingi fotografavimo kampai), užtikrinamas tikslesnis galutinis rezultatas, sisteminių klaidų suradimas bei jų eliminavimas. Fotografuojamų objektų formos taip pat gali komplikuoti pirminio objekto modelį, lemti reikalavimus matematinio modelio kūrimui bei tinkamam rezultatų įvertinimui. Aerofotogrametrijoje fotokameros optikos židinio nuotolis visada yra nustatytas ties begalybe, o antžeminėje fotogrametrijoje kiekvienai fotonuotraukai gali būti kitas židinio nuotolis (naudojant didinimo arba automatinio fokusavimo funkciją). Svarbu yra užtikrinti, kad rezultatai kruopščiai būtų įvertinami, kad koreliacija tarp parametrų arba silpnas geometrijos vizualizavimas nepakenktų galutinių rezultatų tikslumui. Artimų nuotolių fotogrametrijoje išmatuoti

trijų dimensijų kontrolinius taškus taip, kad būtų vienodo tikslumo rezultatai yra sudėtinga bei brangu, todėl vietoj to dažnai naudojami kontroliniai tinkeliai, kuriuose pakanka minimalios informacijos nuotraukos masteliui bei vertikaliems orientavimams nustatyti, koordinatės apibrėžiamos santykinę prasme.

Kraus K. „Photogrammetry. Geometry from image and laser scans“. Knygoje aprašoma fotografinių vaizdų (antžeminėje ir aerofotogrametrijoje) geometrija, pagrindiniai fizikiniai principai, kurie daro įtaką duomenų patikimumui. Knygoje išdėstomi fotogrametrinių procesų paaiškinimai, pateikiamos matematinės formulės, brėžiniai ir schemos vaizduojančios nuotraukų apdorojimo etapų esmę. Knygos autorius pateikia pagrindinius rezultatus, kuriuos galima pasiekti fotogrametriniais metodais, tai:

- skaitmeniniai duomenys – koordinatės trijų dimensijų koordinačių sistemoje;
- brėžiniai – žemėlapiai ir planai, kuriuose vaizduojami planimetrinės detalės, kontūrai su kita grafiniais objektų atvaizdais;
- geometriniai modeliai (skaitmeniniai);
- fotografiniai vaizdai (analoginiai bei skaitmeniniai) – rektifikuotos nuotraukos (ortofotografinės) gaunamos iš fotografinių žemėlapių, fotografinio montavimo rezultatai arba kitaip trijų dimensijų fotomodeliai, tekstūrizuoti CAD sistemomis.

Linder W. „Digital photogrammetry“. Aprodojant fotografinius vaizdus, atliktus nuo žemės paviršiaus, susiduriama su kitokiais reikalavimais negu apdorojant fotografinius vaizdus, gautus iš oro erdvės. Pirmiausia, fotografavimo žymės, kurios analoginėje fotogrametrijoje naudojami vidiniam orientavimui, yra nenaudojamos, kadangi skaitmeninių fotokamerų elektroninių jutiklių elementai kiekvieną kartą perduoda tokį patį nuotraukų pikselių skaičių. Vidinis orientavimas yra labai svarbus procesas, kuris antžeminėje fotogrametrijoje skiriasi tuo, kad jis yra tiesioginis, kuriamas apibrėžiant kameros parametrus ir yra neprivalomas atlikti kiekvienam skaitmeniniam vaizdui, tai nesukelia jokių netikslumų tolesniam vaizdų apdorojimui. Trūkumai, esantys pačiuose fotokamerose turi didesnę įtaką modelio kūrimo geometrijai. Paprastose skaitmeninėse fotokamerose, įmontuojamos CCD matricos dažniausiai yra silpno geometrinio tikslumo. Apsaugai nuo smūgių matricos įstatomos neatsižvelgiant į kameros korpusą, bet montuojamos į minkštą rėmą. Dėl šių priežasčių objektyvas dažniausiai turi geometrinius iškraipymus (distorsiją). Šie trūkumai turi būti eliminuojami kameros kalibravimo metu prieš fotografavimą.

Paršeliūnas E. K. „Geoinformacinės sistemos: technologija“. Fotogrametrijos tikslas – yra surasti bet kurio taško, atvaizduojamo nuotraukose, trimates koordinatas, trijų dimensijų erdvėje. Anot E. Paršeliūno geoinformacinėse sistemose erdvė suprantama kaip matematinis tikrovės modelis, kuriame koku nors būdu yra nustatyti ryšiai tarp bet kurios kilmės aibės elementų. Autorius teigia, kad erdvėje elementų padėtis nusakoma santykinai, t.y. kitų elementų atžvilgiu.

Elementas arba jų sistema, kurios atžvilgiu nustatomos kitų elementų padėtys, vadiname erdvine atskaitos sistema. Erdvine atskaitos sistema gali būti objektas, taškas arba tvirtas kūnas, kurio padėtis žinoma, jo atžvilgiu yra išdėstomos koordinatinių ašys, projekcijose yra matuojami atstumai, tai x , y bei z , kurios nusako taško padėtį matuojamoje erdvinėje sistemoje.

Ruzgienė B. „Fotogrametrija“. Knygoje pateikiama, koku būdu objektų erdviniai modeliai sudaromi, transformuojant fotonuotraukas pagal fotokamerų vidinio orientavimo bei fotonuotraukų išorinio orientavimo parametrus, kurie randami pagal atramos taškų koordinatas. Vidinio orientavimo elementai (vaizdo centro (pagrindinio taško) koordinatės, objektyvo židinio nuotolis, radialinė arba tangentinė distorsijos) nustatomi laboratorijoje fotokamerą kalibruojant. Kameros vidinio orientavimo parametrų patikrinimas, patikslinimas ir nustatymas ir yra pagrindinė fotokameros kalibravimo užduotis.

J. Sužiedelytė – Visockienė moksliniame straipsnyje **„Skaitmeninės matuojamosios fotokameros kalibravimo parametrų įtaka nuotraukas transformuojant į plokštumą“** išskiria fotokamerų optikos sistemos paklaidas, kurios išreiškiamos šešiais modelio parametrais, tai: A_1 , A_2 , A_3 – radialinė simetrinė ir B_1 , B_2 , B_3 – radialinė nesimetrinė distorsijomis. Radialinė simetrinė distorsija – fotonuotraukos taškų poslinkis radialinėmis kryptimis, susikertančiomis pagrindiniame fotonuotraukos taške. Fotokameros kalibravimo parametrai gaunami išsprendus specialius daugianarius. Lenkų profesorius **J. Bernasik** moksliniame leidinyje studentams **„Fotogrametrija“** pabrėžia, kad praktikoje beveik nesusiduriama su kameromis, kuriuose distorsija yra visiškai pašalinta, tačiau, šiuolaikinės technologijos leidžia gaminti fotokameras su minimaliausia distorsija (šiuolaikinėse kamerose distorsija neviršija kelių mikrometrų). Distorsijos daro įtaką taškų 2D koordinatėms nuotraukose, todėl paklaidas galima sumažinti keliais būdais: interpoliaciniu, tinklėlio bei daugianarių metodais.

Templeton D. A. Jr. „Close-Range Photogrammetry as a Routine Crash Reconstruction Tool within the Florida Highway Patrol“. Artimų nuotolių fotogrametrijos rezultatais galima papildyti esamus bei kuriamus žemėlapius kiekybine atributine informacija, kuri gali būti svarbi analizuojant, palyginant žemėlapius, schemas ir kaupiant kitą kartografinę informaciją. Artimų nuotolių fotogrametrijos metodų taikymo galimybės laikui bėgant tampa neribotomis. Specialistai gali kartografuoti ne tik buvusius, esamus objektus, statinius, bet ir laikinus objektus, reiškinius, kuriems tirti reikia daugiau laiko, bet tai nėra įmanoma, todėl pasikliaujama fotografiniais vaizdais, įamžintais fotokameromis. Jungtinėse Amerikos Valstijose, Vokietijoje, Australijoje XXI a. pirmajame dešimtmetyje pradėjo populiarėti eismo įvykių, nusikaltimų vietų tyrinėjimas pasitelkiant skaitmeniniais vaizdais. Šiam procesui atlikti reikalingi bent du persidengiantys fotografiniai vaizdai, t.y. abejuose nuotraukose turi būti matomi tie patys atraminiai taškai. Duomenų apdorojimo metu gaunamos 3D koordinatės, kamerų išsidėstymas fotografuojamo

objekto atžvilgiu, galima išmatuoti atstumus, atlikti eismo įvykio vietoje esančių objektų vektorizavimą (pvz., stabdymo žymių ir kt.), kurti dvimačius bei trimačius modelius. Fotogrametriniam apdorojimui transporto priemonių susidūrimo vietose reikia pasirinkti atraminius taškus (tai gali būti natūralūs vietovės taškai: pėsčiųjų perėjų linijos, kelio ženklai, automobilių detalės ir kt.), kuriais remiantis atliekamas išorinis orientavimas. Užsienyje labai paplitęs specialių taikinių naudojimas. Fotogrametriniai taikiniai palengvina nuotraukų dešifravimo procesą bei atraminių taškų atpažinimą. Antžeminė fotogrametrija turi daug sričių, kuriuose yra pritaikoma: architektūroje, statinių statyboje, deformacijų stebėjimuose, gamtinių reiškinių stebėjimuose (nuošliaužų, paviršinių vandens telkinių vandens horizonto, jūrų pakrančių stebėjimams ir kt.), eismo įvykių atkūrimo procesuose, medicinoje ir bet kurioje kitoje inžinerinėje srityje. Fotogrametrijos duomenų apdorojimo neatsiejama dalis yra geodeziniai matavimai. **V. Č. Aksamitauskas** knygos *„Inžinerinių statinių deformacijų tyrimas geodeziniais metodais“* autorius, pateikia išsamiai inžinerinių statinių deformacijų tyrimų geodeziniais metodais mokslinę apžvalgą. Autoriaus teigimu, statant aukštybinius pastatus ir statinius būtina geodezinė statybinių konstrukcijų kontrolė plane, vertikalėje ir aukštyje. Turint pirminę informaciją apie statinių geodezinį pagrindą, nagrinėjant pastatų deformacijas, svarbiu etapu vėl yra objekto koordinačių nustatymas (vietinėje arba sąlyginėje sistemoje). Deformacijų stebėjimai taip pat yra atliekami artimų nuotolių fotogrametrinėmis sistemomis, kurios susieja fotografinių vaizdų koordinačių sistemą su statinio geodezinio pagrindu. Koordinačių nustatymas yra svarbus ne vien pastatų deformacijų stebėjimuose, bet ir kiekviename artimų nuotolių fotogrametrijos tyrime.

Bahadir Ergun bei **Sitki Kulur** straipsnyje *„Integration of digital photogrammetric obtained data with Autocad to car surface model“* tiriama galimybė sukurti 3D objekto modelį skaitmeninėje aplinkoje. Eksperimentui įvykdyti, naudotasi geodeziniais matavimais – iš viso išmatuota 100 taškų, pažymėtų automobilio paviršiuje. Taškų koordinatės nustatytos elektroniniu teodolitu, koordinačių įvertinimas atliktas nustačius vidutinę kvadratinę matavimų paklaidą (paklaidos neviršijo 2 mm). Naudojantis fotogrametrinėmis programomis *Pictran-D* ir *Pictran-B* atlikti nuotraukų orientavimai, trianguliacija bei matavimai. Straipsnio autoriai nustatė, kad vaizdų orientavimui reikia apie 20 fotografinių vaizdų, 39 nuotraukos naudotos trianguliacijai atlikti ir 16 fotografinių vaizdų automobilių kontūrų ir reikšminių taškų braižymui, kurie yra pagalbiniai kuriant skaitmeninį paviršiaus modelį. Po orientuotų nuotraukų, kuriuose išmatuota pakankamai taškų apibrėžiančių automobilio kontūrą, matavimų, pereita prie grafinės projektavimo sistemos *Autocad* ir sukurtas skaitmeninis modelis trejais interpoliavimo algoritmais (TIN, GRID, CONTOURS). Objektų modeliavimas suteikia didelį pranašumą norint nustatyti arba palyginti modelių panašumus, privalumus, skirtumą, tekstūrą, kiekybinius ir kokybinius rodiklius. Trimačių modelių kūrimo etapas automobilių gamyboje yra svarbus, kadangi galima patikrinti automobilių geometrines

charakteristikas, transporto priemonių detalių tikslumą bei trukumus. Naudojant skaitmeninius fotografinius vaizdus automobilių gamybos tyrimo procesas gali užtrukti, kadangi reikia kvalifikuotų, apmokytų specialistų, kurie galėtų atlikti tokius tyrimus, suprastų savo atliekamus veiksmus bei pašalinti klaidas, kurios gali būti reikšmingos.

C. Fraser, H. Hanley bei **S. Cronk** straipsnyje „*Close-Range Photogrammetry for accident reconstruction*“ pabrėžiama, kad artimų nuotolių fotogrametrijos taikymas kriminalistikos srityje yra naujovė, kuri turėtų palengvinti pareigūnų darbą, tiriant nelaimingus atsitikimus. Eismo įvykių rekonstravimo tikslas yra pateikti naudingą informaciją apie susidūrusių transporto priemonių padėtį kelio ruože, automobilių greitį, susidūrimo dinamiką. Turint eismo įvykio 3D modelius galima kurti vizualizacijas arba animacijas, perteikiančias eismo įvykio situaciją. Eismo įvykio tyrimo vietoje atliekami paprasti matavimai, t.y. matuojami atstumai nuo pagrindinio sąlyginio taško (pvz. nuo kelkraščio krašto arba ašinės linijos). Matavimams gali būti naudojami: totalioji stotis (tacheometras), lazeriniai distometrai, lazeriniai skeneriai. Matomų taškų tinklas yra išsidėstęs nuotraukos plokštumoje siaurai bei išilgai, tai apsunkina apdorojimo geometriją, taikant artimų nuotolių fotogrametrijos metodą. Fotografavimo stotys dažniausiai sudaromos labai arti fotografuojamo objekto. Šios problemos sprendimas yra tinkamų programinių įrangų naudojimas bei specialiųjų koduotų taikinių naudojimas, kuriuos nuotraukose galima išmatuoti pusiau automatinio būdu, nuotraukų orientavimo etape. Autorių leidinyje taip pat išnagrinėti du atvejai objekto nuotraukų orientavimui:

- Atliekant išorinį orientavimą (turint kontrolinius (atraminius) taškus, X , Y bei Z , matomus gretimuose dviuose nuotraukose;
- Atliekant reliatyvųjį orientavimą (dviejų nuotraukų sugretinimas pagal minimum penkis referencinius taškus, stereoskopinio modelio kūrimas).

Daniulis J. „Aerofotometodai“. Fotografinių vaizdų objektai yra fotografuojami realiajame pasaulyje – aplinkoje, kurią veikia labai daug gamtinių reiškinių. Kartais šie reiškiniai gali pabloginti fotografavimo proceso kokybę, dėl kurio fotografiniai vaizdai gali būti netinkami apdoroti (šešėliai, debesuotumas, rūkas ir kt.). Skaitmeninėje fotogrametrijoje yra registruojama žemės paviršiaus atspindėjusi elektromagnetinė energija, todėl labai svarbus faktorius yra saulė, nes būtent jos dėka sukeliamas natūrali žemės paviršiaus ir jame esančių objektų apšvieta. Saulės spinduliuotė veikia taip pat įvairūs reiškiniai, kurie gali turėti įtaką atliekamam fotografavimui, tai yra paros laikas, meteorologinės sąlygos, aplinkos užterštumas. Pagrindinis veiksnys, lemiantis žemės paviršiaus apšvietimą, yra saulės aukštis virš horizonto h_o . Kylant saulei, didėja tiesioginės spinduliuotės įtaka bendrai žemės paviršiaus apšvietimui, o leidžiantis saulei – atvirkščiai didėja išskaidytos šviesos dalies įtaka. Mažėjant saulės aukščiui didėja šešėliai, kurie beveik visuomet blogina fotovaizdų kokybę, kadangi uždengia dešifruojamus objektus.

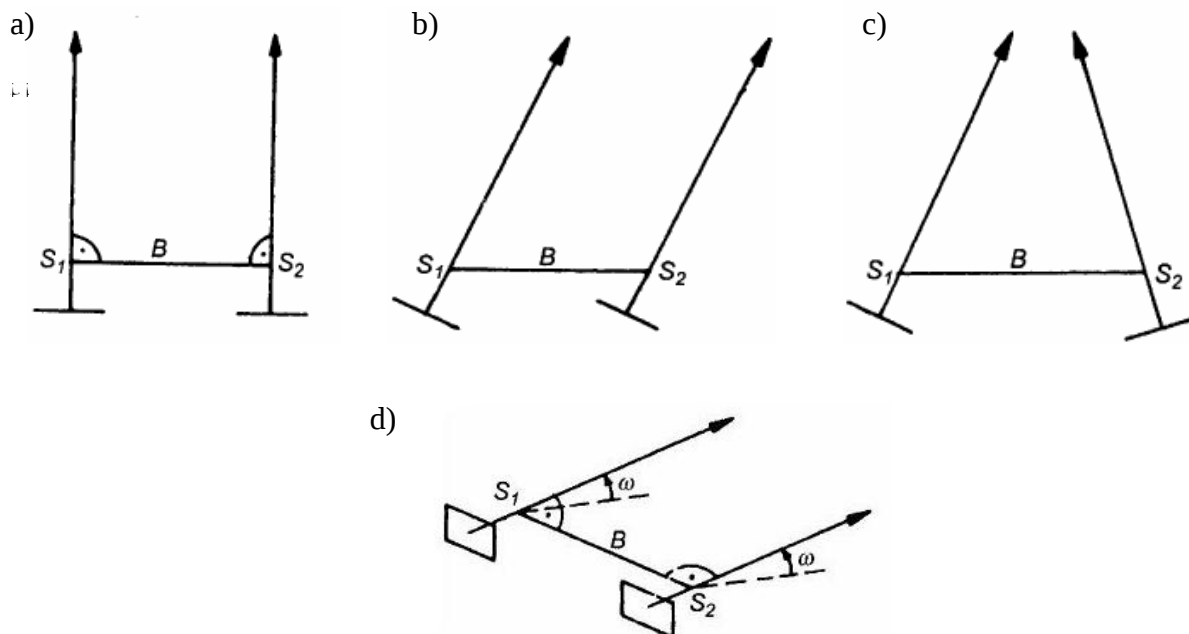
2. ANTŽEMINĖS FOTOGRAMETRIJOS METODŲ TAIKYMAS

Antžeminė fotogrametrija – tai fotogrametrijos mokslo dalis, kuri tiria fotografinius vaizdus, gautus nuo žemės paviršiaus. Fotografavimo stotys ir fotografuojami objektai yra tvirtai susiję su žeme. Fotografuojama žymiai mažesniu atstumu nei aerofotogrametrijoje, apie 1–100 m atstumu nuo analizuojamojo objekto. Antžeminės fotogrametrijos tikslas – surasti kiekvieno taško, esančio fotografiniame vaizde, koordinatas. Turint kiekvieno taško koordinatas galima kurti erdvinius modelius, vizualizuoti ir kitaip pateikti nufotografuotus objektus skaitmeninėje aplinkoje.

2.1. Antžeminių objektų fotografavimas

Pradiniu ir vienu svarbiausiu antžeminės fotogrametrijos etapu yra fotografavimas. Fotogrametrijai iš esmės nesvarbu, kokia yra fotografinio vaizdo padėtis erdvėje, tačiau tam tikras antžeminės fotogrametrijos koordinatinių sistemų savybes reikia apžvelgti. Fotografavimo procesą lemia daug veiksnių ir priklausomai nuo fotografavimo technologijos jis būna skirtingas.

Išskiriami keli fotografavimo metodai (žr. 2.1 pav.): normalus, pasviręs (kairysis arba dešinysis fotografavimas), konvergentinis, palinkęs ir bendrasis (kitai vadinamas savavališkasis).



2. 1 pav. Fotografavimo būdai: a) normalus; b) pasviręs (kairysis arba dešinysis); c) konvergentinis (fotografavimo ašys susikerta); d) palinkusių ašių (Bernasik 2006)

čia: S_1, S_2 – fotografavimo stotys, B – fotografavimo bazė – tai atstumas tarp stočių, ω – polinkio kampas.

Fotografavimo būdai gali būti apibūdinti taip:

- *normalus* fotografavimo metodas – fotografavimo ašys yra lygiagrečios ir statmenos fotografavimo bazei;

- *pasvirusio* fotografavimo metodas – fotografavimo ašys pasvirusiuos tuo pačiu kampu (nuo fotografavimo bazės) į kairę arba į dešinę ir yra lygiagrečios;
- *konvergentinis* metodas – fotografavimo spinduliai horizontalūs, gali būti pasvirę skirtingais kampais fotografavimo bazės atžvilgiu, ašys susikerta;
- *palinkusių ašių* metodas – fotografavimo ašys palinkusios tuo pačiu kampu ω , ašys lygiagrečios.

Stereoskopiniams matavimams tinkamiausios nuotraukos, kurių fotografavimo ašys ekspozicijos metu yra lygiagrečios.

Rekomenduojama, kad fotografavimo bazė nebūtų didesnė nei $\frac{1}{4}$ atstumo iki artimiausio (numatomo apdoroti) tiriamojo objekto, tačiau ji negali būti per maža. Knygų bei mokslinių straipsnių autorius J. Bernasik pateikia paprastą formulę, kuria galima nustatyti optimaliausią fotografavimo bazę antžeminėje fotogrametrijoje, fotografuojant normaliuoju būdu:

$$\frac{Y_{\max}^2}{6m} \leq B \leq \frac{Y_{\min}}{4} \quad (2.1)$$

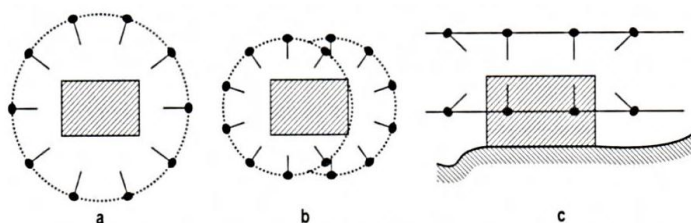
čia: $Y_{\max}$, $Y_{\min}$ – atstumai nuo fotografavimo bazės iki toliausio bei artimiausio objekto (kurį numatoma fotografuoti) taško; m – numatomo kurti žemėlapiu (modelio) mastelis.

Fotografavimo stotys turi būti išsidėsčiusios maždaug tame pačiame lygyje, o pasvirusios nuotraukos atveju posvyrio kampas neturėtų būti didesnis nei 27° . Visi šie reikalavimai yra reikšmingi atliekant stereoskopinius matavimus (Bernasik 2006).

Pagrindiniai reikalavimai fotografuojant objektus:

- dviejų fotografavimo spindulių sankirtos kampas turėtų būti kiek galima artimas 90° ;
- fotografuoti būtina mažiausiai iš trijų stočių;
- pagrindiniai fotografuojamo objekto taškai turi būti mažiausiai trijose fotonuotrukose;
- dvi gretimos fotonuotrukos turi sudaryti sanklotą;
- jei yra įmanoma, galima fotografuoti ir ne nuo žemės paviršiaus (pvz.: nuo pastato stogo, nuo laiptų ar pan.);
- siekti, kad gautųjų fotonuotraukų sanklota būtų kuo didesnė.

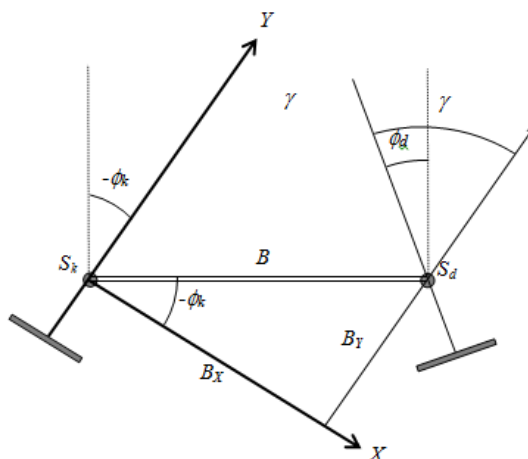
Fotografavimo būdas pasirenkamas priklausomai nuo tiriamojo objekto matmenų. Dažniausiai fotografuojama taip, kad fotokameros stotys apsuptų fotografuojamą objektą. Fotografavimas gali būti atliekamas ne tik aplink objektą, bet taip pat fotografuojant aplink objektą skirtingu spinduliu, fotografuojant skirtinguose aukščiuose (žr. 2.2 pav.).



2. 2 pav. Fotokamerų padėtys fotografuojamo objekto atžvilgiu: a) pagrindinis apskritimas; b) arčiau statinio; c) skirtinguose aukščiuose) (Ruzgienė 2008)

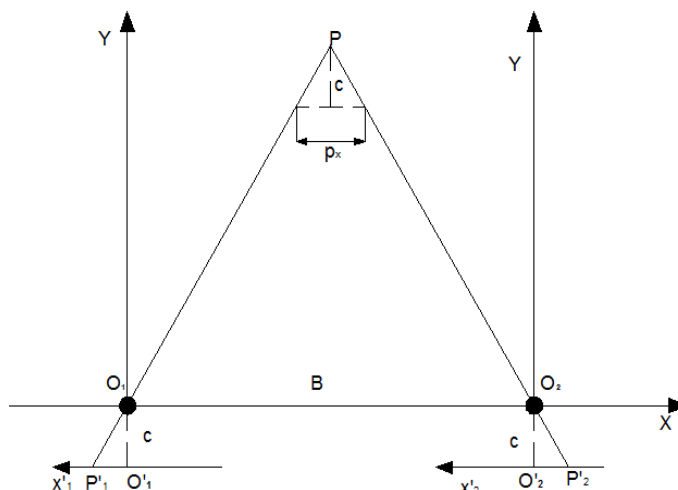
Prieš fotografavimą teritorijoje, kurioje fotografuojama turi būti išdėstyti kontroliniai taikiniai (apie 20 x 20 cm). Po fotografavimo būtina atlikti geodezinius matavimus, t.y. nustatyti objekto charakteringų taškų bei kontrolinių taškų koordinates.

Fotografinio vaizdo koordinatės, priklausomai nuo pasirinkto fotografavimo metodo yra nustatomos skirtingai, kadangi kiekvienu fotografavimo atveju fotokameros ašys yra skirtingose padėtyse, o tai pakeičia fotografuojamo vaizdo koordinačių sistemų padėtį (žr. 2.3 ir 2.4 pav.).



2. 3 pav. Konvergentinio fotografavimo metodo geometrija (Корнилов 2006)

čia: B – fotografavimo bazė; γ – kampas, kurį sudaro kairiosios ir dešinėsios fotografavimo ašys; $\phi_{k,d}$ – fotokamerų ašių posūkio kampai; X, Y – fotografuojamo vaizdo koordinačių sistemos ašys; B_x, B_y – fotografavimo bazės projekcijos.



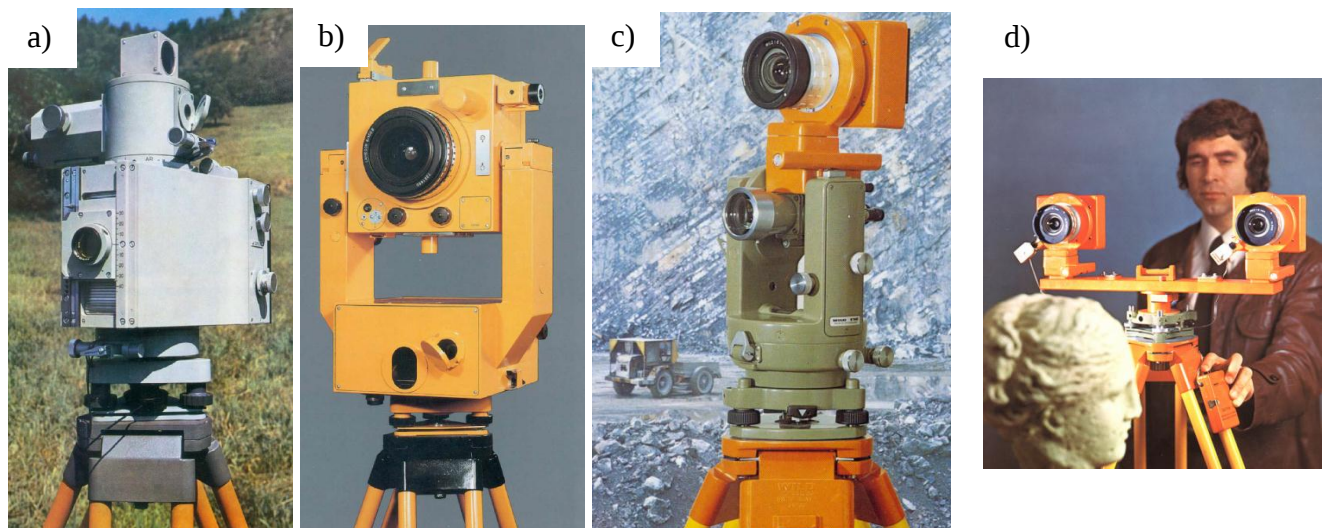
2. 4 pav. Koordinačių sistema normaliojo fotografavimo atveju (Ruzgienė 2008)

čia: X, Y – taško geodezinės koordinatės, x'_1, x'_2 – fotografinio vaizdo koordinatės, p_x – skersinis paralaksas, c – židinio nuotolis, P'_1, P'_2 – taško padėtis fotografiniame vaizde.

Antžeminių objektų fotografavimas tiesiogiai daro poveikį fotografinių vaizdų kokybei. Šio proceso metu svarbiausia yra tinkamai pasirinkti fotografavimo stočių vietas: fotografavimo bazė neturi būti per maža, pageidautina, kad objekto natūrali apšvieta būtų vienodo intensyvumo visose nuotraukose, nuotraukų dengimo vietose turi būti matomi kontroliniai taškai (min. 3 – 4).

2.2. Skaitmeninės fotokameros

Antžeminėje fotogrametrijoje naudojamos ir analoginės, ir skaitmeninės fotokameros. Kiekviename fotogrametrijos raidos etape buvo naudotasi skirtingų techninių parametru fotokameromis. Daug metų pagrindinės fotokameros, naudotos fotogrametriniams darbams, buvo analitinės metrinės fotokameros, kurios galėjo būti naudojamos kartu su teodolitais, jų sudėtis ir veikimo principas visiškai skiriasi nuo šiuolaikinių skaitmeninių fotokamerų. Analitinės metrinės fotokameros būdavo pritaikytos tolimesniems vaizdų apdorojimo etapams: fotokamerose būdavo įrengtos koordinatinės žymės ant specialių rėmelių, kurios reikalingos vidiniam fotografinių vaizdų orientavimui. Analitines metrinės fotokameras daugiausiai gamino Vokietijos įmonės *VEB Carl Zeiss Jena (Vokietija/JAV)*, *Leica Wild (Vokietija)* (žr. 2.5 pav.), dabar tokios kameros jau negaminamos, jas pakeitė skaitmeninių fotokamerų paklausa.



2. 5 pav. Analitinės metrinės fotokameros naudotos antžeminės fotogrametrijos darbams atlikti: a) fototeodolitas *Phototheo 19/1318*; b) fototeodolitas *UMK 10/1318* (Kurczyński 2000); c) įmonės *Leica Wild* gamintojo fototeodolitas *P 32*; d) fotografavimas *Leica Wild P32* fotokamera (Description and measurement 2013)

Skaitmeniniai vaizdai gali būti gaunami dvejais atvejais: fotografuojant skaitmenine fotokamera (su įrengta CCD matrica) arba skenuojant analitines fotografines nuotraukas. Skaitmeninių fotokamerų su įrengta CCD matrica veikimo principas: jutiklio pagalba įvertinamas

įeinančių spindulių pluošto šviesos intensyvumas skaitmenimis (gautos elektromagnetinės energijos kiekis), tenkantis vienam vaizdo elementui – pikseliui. Pikselyje patalpintas informacijos kiekis tai pilkumo reikšmė (dažniausiai nuo 0 iki 255).

Šiais laikais fotokamerų gamyba yra labai pažengusi ir laikomasi aukšto gamybos standarto, o fotografiniai vaizdai yra geros skiriamosios gebos. Šiuolaikinės skaitmeninės nemetinės fotokameros yra prieinamų kainų, iš profesionalių fotokamerų populiariausios yra: *Olympus Camedia C-1000L, C-1400L, E-10; Kodak DCS 460, DC370, DCS210; Sony Cybershot ir kt.* Svarbiausias skaitmeninės kameros elementas, kuris lemia fotografinio vaizdo kokybę tai jutiklių matrica. Jutiklių matricos yra kelių rūšių, tačiau populiariausios tai: CCD bei CMOS.

Svarbiausias CCD matricų jutiklių savybės, lemiančias fotokamerų kokybę, yra:

- jutiklių dydis – jį apibūdina jutiklio įstrižainės dydis, kuris matuojamas coliais (dažniausiai – 1/3, 1/2, 2/3 colių, pasitaiko atvejų, kai jutikliai yra didesni, pvz.: 5/3");
- jutiklių jautrumas šviesai – savybė priklauso nuo vaizdo elemento dydžio (dažniausiai tai 80-200 ISO). Profesionaliose fotokamerose vaizdo elemento dydis yra apie 13 µm ir pasiekia iki 1600 ISO vienetų jautrumą.
- skiriama geba – matricoje išsidėsčiusių vaizdo elementų skaičius. Fotografinis vaizdas laikomas geros kokybės, kai skiriama geba yra virš 350 tūkst. pikselių.

Antžeminės fotogrametrijos fotokameros gali būti išskiriamos pagal gaunamą fotografinių vaizdų kokybę, tai: mėgėjiškos, profesionalios bei studijų fotokameros (Трубникова *et al.* 2010).

Mėgėjiškos skaitmeninės fotokameros orientuotos į tai, kad vartotojai gautų aukštos kokybės skaitmeninius vaizdus automatiname režime. Šios grupės fotokameros išskiriamos į: kompaktines ir pusiau profesionalias (žr. 2.1 lentelę).

2.1 lentelė. Mėgėjiškų skaitmeninių fotokamerų pagrindiniai skirtumai (Трубникова *et al.* 2010)

Mėgėjiškos fotokameros	Skiriama geba, mln. pikselių	CCD matricos įstrižainė	Skaitmeninių vaizdų įrašymo formatas	Vizavimas	Fotografavimas
Kompaktinės fotokameros	10 – 12	1/4 – 2/3"	JPEG	<i>Skystųjų kristalų ekranas (daugelyje atveju)</i>	<i>Automatinis režimas/kiti nustatomi režimai</i>
Pusiau profesionalios	12 – 16	1/4 – 2/3" (su keičiamais objektyvais)	JPEG, RAW, TIFF	<i>Optinis stebėjimo prietaisas bei skystųjų kristalų ekranas</i>	<i>Automatinis režimas, tačiau su rankiniu valdymu (fokusavimas, kitos papildomos fotografavimo funkcijos)</i>

Profesionalios skaitmeninės fotokameros turi didelę skiriamąją gebą (18–21 mln. pikselių) į jas įrengiami didelių matmenų jutikliai 2–3,5", didžioji tokių fotokamerų dalis gaminamos juostinių fotokamerų pagrindu, visos turi įrengtus veidrodinius vaizdo iešiklius, dėl jų profesionaliose fotokamerosse nėra paralakso. Profesionalios fotokameros turi galimybę pritaikyti daugybę priedų leidžiančių pagerinti fotografavimo procesą, funkcijos įvairaus pobūdžio vaizdų gavybai, pvz.: objektyvų keitimo galimybė, fokusavimo tikslumo kontrolė, įvairūs efektai, gaunami specialiais spalvų filtrais ir kitais optiniais priedais.

Studijų fotokameros – tai didžiausios kokybės klasės fototechnika. Skiriamoji geba siekia 16,7 mln. pikselių, kameros turi pakeičiamus objektyvus (su skirtingomis fokusavimo galimybėmis), rankinio valdymo galimybę (įvairių fotografavimo režimų taikymas), aukšta spalvų perteikimo kokybė (iki 16 kanalų viename bite). Fotografavimas atliekamas fotokamerai esant ant stovo.

Fotokamerų matricos priimančios šviesos spindulius sukuria tik juodai – baltus fotografinius vaizdus (pikseliuose yra išsaugomas tik skirtingas šviesos intensyvumas), todėl tarp CCD matricos ir objektyvo talpinami spalvų filtrai. Atsispindėjusi šviesa pereina per tris įrengtus filtrus: raudonos, žalios ir mėlynos spalvos. Priklausomai nuo to, koku metodu gaunami spalvoti fotografiniai vaizdai, fotokameros skirstomos į (Трубникова *et al.* 2010):

- fotokameros su vaizdo nuskaitymu;
- trijų kadro fotokameros;
- vieno kadro fotokameros su viena CCD matrica;
- vieno kadro fotokameros su trimis CCD matricomis.

Populiariesnių skaitmeninių nemetrinių fotokamerų pavyzdžiai su techninėmis savybėmis pateikti 2.2 lentelėje.

2.2 lentelė. Kai kurių skaitmeninių fotokamerų svarbiausios savybės (Digital Camera database 2012)

Fotokamera	Skiriamoji geba (mln. pikselių)	CCD įstrižainė (mm)	CCD dydis (mm)	Vaizdo elemento dydis (μm)	Fotografinio vaizdo dydis (pikselių)
1	2	3	4	5	6
CANON EOS 500D Gamintojas: Japonija, 2009 m. 	15.1	26.82	22.3 x 14.9	4.68	4752 x 3168
Kodak DCS460 Gamintojas: JAV 	6.20	33.23	27.65 x 18.43	9.07	3060 x 2036

2.2 lentelės pabaiga						
Pentax K10D Gamintojas: Japonija, 2006 m.		10.00	28.26	23.5 x 15.7	6.07	3872 x 2592
Minolta DiIMAGE 7 Gamintojas: Japonija, 2001 m.		5.24	11.00	8.8 x 6.6	3.33	2560 x 1920
Nikon D5100 Gamintojas: Japonija, 2011 m.		16.20	28.29	23.6 x 15.6	4.77	4928 x 3264
Sony Alpha DSLR-A290 Gamintojas: Japonija, 2010 m.		14.20	28.26	23.5 x 15.7	5.09	4616 x 3077

Fotogrametrijoje, siekiant gauti gerus vaizdų apdorojimo rezultatus, privaloma sąlyga: turi būti žinomi fotokameros vidinio orientavimo parametrai, kitaip sakant – turi būti atliktas fotokameros kalibravimas. *Mikhail E. M.* su bendraautoriais išskiria kelis fotokamerų kalibravimo aspektus: geometrinį kalibravimą, skaitmeninių vaizdų kokybės įvertinimą ir radiometrinį kalibravimą. Geometrinis kalibravimas atliekamas nustatant vidinio orientavimo parametrus (pagrindinio taško padėtį, židinio nuotolį, radialinę bei tangentinę distorsijas). Skaitmeninių vaizdų kokybę lemia fotokameros gamybos etapas, kalibravimo metu patikrinama, ar prietaisas veikia tinkamai pagal standartą. Skaitmeninės kameros kalibravimas gali būti atliekamas kaip atvirkštinis fotogrametrijos metodo procesas: pirmiausia nustatoma žinomo taško padėtis fotografiniame vaizde ir sukuriant objekto matematinį modelį, koreliacinėmis lygtimis nustatomi nežinomieji parametrai (Bosh *et al.* 2005).

Fryer'is (1989 metais), Luhmann'as (2000 metais) ir Atkinson'as (1996 metais) apibrėžė kelis kamerų kalibravimo metodus: fotokamerų kalibravimą naudojant specialius plakatus (stendus su žinomomis koordinatėmis, žr. 2.6 pav.), kalibravimą darbo vietoje (*ang. on-the-job calibration*) ir automatinį kalibravimą (*ang. self-calibration*) (Bosch 2005). Šiais laikais fotogrametrinės programinės įrangos įdiegia įvairias naujoves, kurios palengvina ir automatizuoja fotografinių vaizdų apdorojimo etapus. Dabartinių programinių įrangų privalumas – tai *automatinis kalibravimas*. Automatinio kalibravimo metode distorsija bei kiti kameros parametrai yra įtraukti į fotografinio vaizdo išlyginimo procesą ir pagal koreliacines lygtis nustatomi nežinomieji parametrai. Skaitmeniniuose vaizduose gaunamos koordinatės, patikslinamos pataisų reikšmėmis,

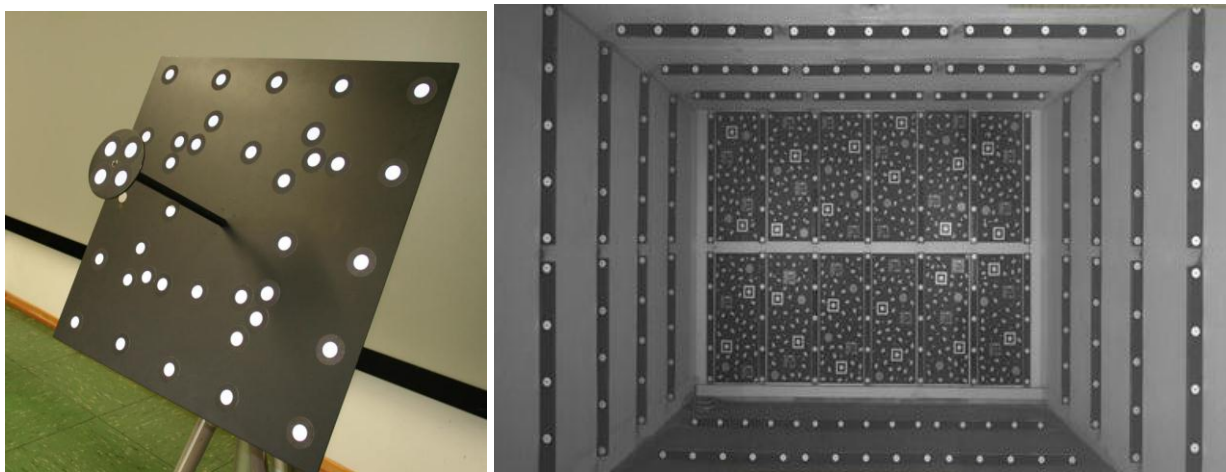
kurios kompensuoja fotokameros objektyvo iškraipymus dėl distorsijos. Pataisos aprašomos įvairiomis lygtimis, populiariausios yra *Brauno* lygtys (*Вики – Фотограмметрия* 2012):

$$\left. \begin{aligned} dx &= x(r^2 k_1 + r^4 k_2 + r^6 k_3) + (r^2 + 2x^2)p_1 + 2xy p_2 \\ dy &= y(r^2 k_1 + r^4 k_2 + r^6 k_3) + (r^2 + 2y^2)p_1 + 2xy p_1 \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

čia: x, y – skaitmeninio vaizdo koordinatės; k_1, k_2, k_3 – radialinės distorsijos parametrai; p_1, p_2 – tangentinės distorsijos parametrai; r – radialinis atstumas iki pagrindinio taško.

$$r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$$

čia: x_0, y_0 – pagrindinio taško koordinatės.



2. 6 pav. Fotokameros kalibravimo standų pavyzdžiai (Ruzgienė 2008; Вики – Фотограмметрия 2012)

Kalibravimo darbų pabaigoje sukuriama kalibravimo sertifikatai, kuriuose pateikiama: visų nustatytų parametrų reikšmės, distorsijų grafikai bei jų reikšmės viso skaitmeninio vaizdo plote.

Skaitmeninės fotokameros turi nemažą populiarumą ne tik tarp vartotojų – mėgėjų, pagrindinis jų privalumas yra nuotraukų atlikimo operatyvumas, tačiau yra ir skaitmeninių fotokamerų trūkumai: skaitmeninio vaizdo kokybė priklauso nuo spausdinamo fotografinio vaizdo dydžio, skaitmeninės fotokameros negali kokybiškai užfiksuoti judančius objektus, mėgėjiškos skaitmeninės fotokameros turi mažą skiriamąją gebą bei gali perteikti netikroviškas fotografuojamo objekto spalvas, fotografinių vaizdų spausdinimui privalomi aukštos kokybės spausdintuvai.

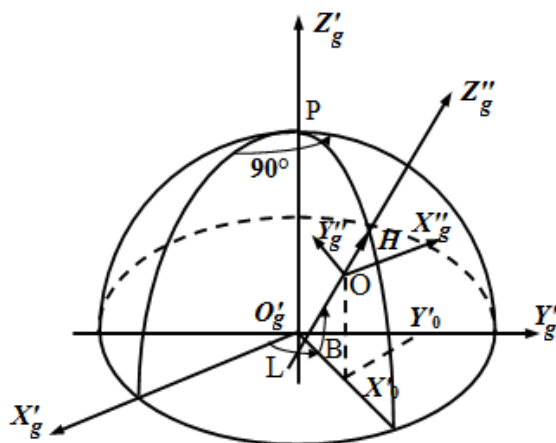
2.3. Fotografinių vaizdų apdorojimas

Pirmu fotografinių vaizdų apdorojimo etapu yra fotografinių vaizdų orientavimas, tai reiškia, kad fotografinių vaizdų koordinačių sistema transformuojama į objekto vietinę koordinačių sistemą. Šiam procesui yra taikomi matematiniai algoritmai, kuriais vaizdo koordinačių sistemos transformuojamos į fotografuojamo objekto vietinę koordinačių sistemą.

2.3.1. Fotografinių vaizdų bei objekto koordinatinių sistemų

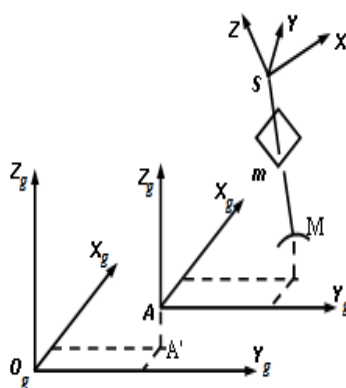
Ryšys tarp realaus objekto ir fotografinių vaizdų koordinatinių sistemų nustatomas pagal erdvinės bei plokštuminės koordinatinių sistemų sąsajas. Priklausomai nuo to, kokio dydžio yra fotografuojama vieta, gali būti naudojamos įvairios objektų koordinatinių sistemų, pvz., geodezinė koordinatinių sistema arba sąlyginė koordinatinių sistema.

Geodezinės koordinatinių sistemos pradžia laikomas Žemės elipsoido centras O'_g , o X'_g, Y'_g yra ekvatoriaus plokštumoje. X'_g ašis yra pradinio meridiano plokštumoje, o Z'_g sutampa su poliarine ašimi O'_gP (žr. 2.7 pav.). Bet kurio taško O erdvinę padėtį galima apibrėžti: geodezine platumą B , geodezine ilguma L ir normaliniu aukščiu H . Objekto koordinatinių sistema gali taip pat būti dešininė stačiakampė koordinatinių sistema X''_g, Y''_g, Z''_g , kurios ašys yra: taško O normalė į elipsoido paviršių sutampa su Z''_g ašimi, Y''_g nukreipta į šiaurę, o X''_g yra statmena Y''_g ašiai (Корнилов 2006).



2. 7 pav. Objekto vietovės koordinatinių sistemų (Корнилов 2006)

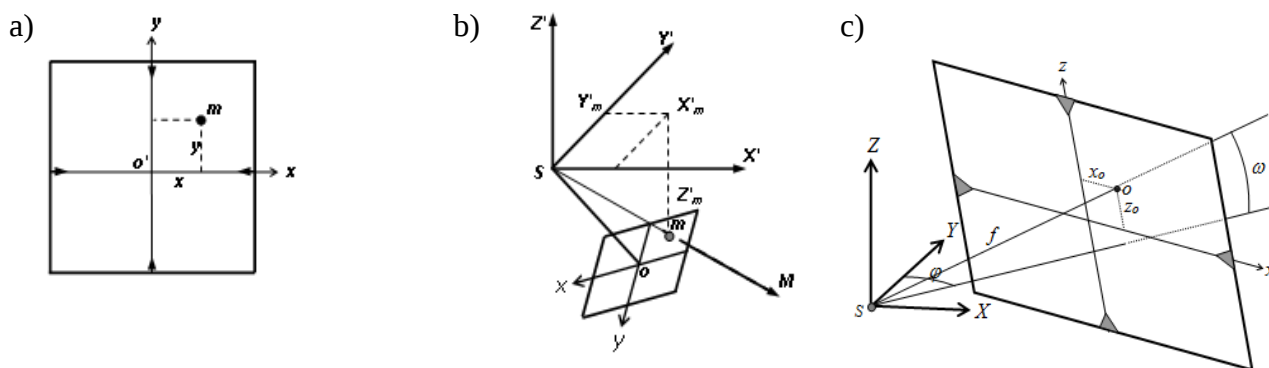
Praktikoje dažniausiai naudojama vietinė erdvinė stačiakampė koordinatinių sistema X_g, Y_g, Z_g , kurios pradžia taške A (žr. 2.8 pav.). Šioje sistemoje koordinatinių sistemos ašys išsidėsčiusios taip: Z_g – normalė į kvazigeoidą taške A ; X_g – horizontali ir lygiagreti zonos, kurioje yra taškas A , meridianui; Y_g – nukreipta į rytus.



2. 8 pav. Vietinė erdvinė objekto koordinatinių sistema (Корнилов 2006)

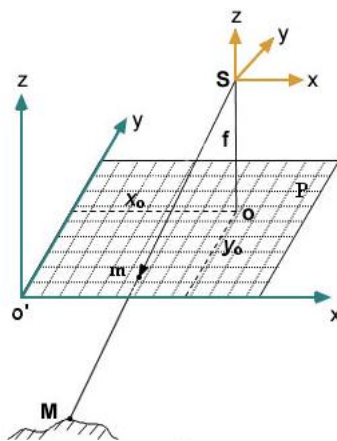
Dažniausiai fotografinių vaizdų koordinačių sistemos pradžia priimamas projekcijos centras S , o abscisių ir ordinačių ašių kryptys yra horizontalios arba lygiagrečios fotografavimo vaizdo plokštumai. Koordinačių sistemos XYZ ir $X_gY_gZ_g$ nesutampa, todėl pereinant iš fotogrametrinės koordinačių sistemos į geodezines koordinačių sistemas būtina transformuoti visų taškų koordinates iš vienos sistemos į kitą. Analoginėse metrinėse fotokameros fotografinių vaizdų kraštuose yra įkurtos koordinatinės žymės, kurios apibrėžia stačiakampę koordinačių sistemą $o'xy$ (žymių gali būti keturi arba daugiau). Koordinačių sistemos pradžia yra taškas o' , koordinatinių žymių ašių susikirtimo vieta. x ašis sutampa su 1-2 koordinatinių žymių ašimi, o y ašis yra statmena x ašiai, taške o' .

Antžeminės fotogrametrijos vaizdų koordinačių sistema skiriasi nuo aerofotogrametrijos koordinačių sistemos: y ašis yra fotografavimo kryptis (optinio prietaiso ašis), x bei z ašys tai fotografinio vaizdo koordinačių ašys (žr. 2.9 pav. c). Taško padėtis fotografiniame vaizde apibrėžiama x ir y arba erdvinėje fotogrametrinėje sistemoje $X'Y'Z'$ (žr. 2.9 pav. b). Koordinačių sistemos pradžia yra projekcijos centras S , o ašys lygiagrečios X , Y ir Z ašims (geodezinėms koordinačių sistemoms) (Корнилов 2006).



2. 9 pav. Fotografinių vaizdų koordinačių sistemos: a) plokštuminė stačiakampė koordinačių sistema; b) erdvinė stačiakampė koordinačių sistema; c) Antžeminio fotografinio vaizdo koordinačių sistema (Корнилов 2006)

Skaitmeninėse fotokameros vaizdo koordinačių sistema $o'xyz$ nustatoma skaitmeninės matricos pagrindu. Koordinačių sistemos ašys x ir y yra lygiagretūs atitinkamai matricos eilutėms ir stulpeliams, koordinačių sistemos pradžia nustatoma matricos apatinis kairysis kampas arba kairiojo apatinio pikselio centras (žr. 2.10 pav.). Taško m , esančio fotografiniame vaizde, koordinatės tai $m(x,y,z)=0$. Projekcijos centro S padėtis skaitmeninio vaizdo koordinačių sistemoje tai $S(x=x_0, y=y_0, z=f)$, kur f – židinio nuotolis, x_0, y_0 – pagrindinio taško koordinatės (Вики – Фотограмметрия 2012).



2. 10 pav. Skaitmeninio fotografinio vaizdo koordinatinių sistema (Вики – Фотограмметрия 2012)

Ryšys tarp plokštuminių ir erdvinių vaizdo ir vietovės taškų koordinatinių nustatomi surandant fotografinių vaizdų orientavimo elementus.

2.3.2. Skaitmeninių fotografinių vaizdų orientavimas

Fotografinių vaizdų orientavimas atliekamas tokia seka: *vidinis orientavimas* (randama fotokameros ir skaitmeninio vaizdo koordinatinių sistemos sąsaja); *išorinis orientavimas*, kuris susideda iš *reliatyviojo* (fotografiniai vaizdai orientuojami tarpusavyje) ir *absoliučiojo* orientavimo (fotografinių vaizdų modelis transformuojamas į geodezinę koordinatinių sistemą).

Vidinio orientavimo metu, norint nustatyti fotokameros ir skaitmeninio vaizdo koordinatinių sistemų sąsają, būtina žinoti vidinio orientavimo elementus: projekcijos centro koordinatės vaizdo koordinatinių sistemoje, židinio nuotolio reikšmę ir radialinės bei tangentinės distorsijų parametrus, koordinatinių žymių koordinatės (jeigu tai metrinė fotokamera). Visų parametrų reikšmės dažniausiai nustatomos kameros kalibravimo metu. Metrinės fotokameros turi koordinatines žymes fotografinių vaizdų kraštuose, kurios matuojamos skaitmeninio vaizdo koordinatinių sistemoje ir taikant afininį koordinatinių transformavimo metodą, randama fotografinio vaizdo padėtis skaitmeniniame vaizde (Ruzgienė 2008).

Pagrindinis taškas tai optinės ašies susikirtimo stačiuoju kampu su fotografinio vaizdo plokštuma taškas. Trumpiausias (vertikalus) atstumas nuo fotokameros objektyvo lęšių centrinio taško iki fotografinio vaizdo plokštumos yra *židinio nuotolis*. Tai pagrindinis atstumas, kuris gali būti keičiamas fokusuojant vaizdą. Fotokameros optinė sistema susideda iš lęšių sistemos. Dėl šios sistemos lęšių ir objektyvo surinkimo netikslumo projektuojami spinduliai keičia kryptį, todėl gaunamas iškreiptas fotografinis vaizdas. *Radialinė distorsija* matuojama nuo fotografinio vaizdo centro pakraščio link, o *tangentinė distorsija* nustatoma apskritimo liestinių matuojamame taške kryptimis. Autorė B. Ruzgienė pabrėžia, kad radialinė distorsija fotografiniuose vaizduose ryškiai matoma – vertikaliosios detalės tampa kreivėmis, ypač fotografuojant plačiakampe fotokamera. Distorsijos reikšmės nustatomos laboratorijose fotokamerų kalibravimo metu. Tuo atveju, jeigu

fotografiniai vaizdai gauti nemetrine (mėgėjiška) skaitmenine fotokamera, vidinio orientavimo procesas neatliekamas, kadangi fotografinio vaizdo taškų matavimai atliekami tiesiogiai skaitmeninio vaizdo koordinatų sistemoje.

Išorinis fotografinių vaizdų orientavimas yra atliekamas dvejais etapais: pirmiausia atliekamas *reliatyvusis* orientavimas viena kitos atžvilgiu. Abi fotografinės nuotraukos jungiamos į vieną – stereoskopinio modelio koordinatų sistemą. Fotografuojant tuos pačius vietovės objektus iš dviejų skirtingų erdvės taškų gaunami fotografiniai vaizdai, kurie yra vadinami stereopora (jeigu jie tarpusavyje iš dalies dengia vienas kitą). Fotografinis vaizdas gautas iš dviejų fotokamerų padėčių: S_1 ir S_2 , o linija jungianti du projekcijų centrus yra vadinama fotografavimo baze B . Fotografiniuose vaizduose, esančių tų pačių taškų nesutapimas (skirtumas) atsiranda dėl fotografinių vaizdų posvyrio ar posūkio ir yra vadinamas paralaksu: tų pačių taškų ordinačių nesutapimas vadinamas skersiniu paralaksu, o abscisių skirtumas horizontaliuoju (išilginiu) paralaksu. Atliekant fotonuotraukų reliatyvųjį orientavimą reikia rasti tokią dviejų fotografinių vaizdų padėtį, kad kiekvienas fotonuotraukų sanklotos taškas atitiktų sąlygą: spindulys, einantis per kairiosios fotonuotraukos tašką P' ir jos projekcijos centrą O_1 , ir spindulys, einantis per dešinėsios fotonuotraukos tašką P'' ir projekcijos centrą O_2 , turi susikirsti viename taške. Tokia sąlyga bus išlaikyta, jeigu dviejų identiškų taškų vertikalusis skersinis paralaksas $p_y=0$. Reliatyviajam orientavimui atlikti reikia išmatuoti mažiausiai penkių, vadinamųjų Griuberio, taškų koordinatas. Orientavimo metodas: stereomodelyje matuojama šešiose standartiškai parinktuose homogeninių taškų porose. Homogeniniai taškai – tai bendrieji fotonuotraukų, turinčių skirtingus projekcijos centrus, taškai. Išmatavus taškus mažiausiųjų kvadratų metodu apskaičiuojami reliatyviojo orientavimo elementai (Ruzgienė 2008).

Išorinio (absoliučiojo) orientavimo elementai apibrėžia skaitmeninio vaizdo koordinatų sistemos padėtį fotografuojamojo objekto koordinatų sistemos $OXYZ$ atžvilgiu, fotografavimo metu. Transformuojant fotografinius vaizdus reikia žinoti fotografinio vaizdo projekcijos centro koordinatas X_o , Y_o , Z_o geodezinėje koordinatų sistemoje, taip pat koordinatų ašių posvyrio/posūkio kampus – ω , φ , κ . Šiais kampiniais vienetais pasukant fotografinio vaizdo koordinatų sistemą, galima nustatyti visų taškų (pikselių) padėtį erdvinėje koordinatų sistemoje. Antžeminėje fotogrametrijoje kampinių išorinio orientavimo elementus galima apibūdinti (žr. 2.9 c.), kaip:

φ – kampas tarp Y ašies ir projektuojamo spindulio projekcijos SXY plokštumoje (pavyzdyje jis turi neigiamą reikšmę);

ω – projektuojamojo spindulio polinkio kampas;

κ – fotografinio vaizdo posūkio kampas, fotografinio vaizdo x ašies posūkis nuo horizontalios padėties (pavyzdyje neparodytas).

Antžeminėje fotogrametrijoje fotografinio vaizdo koordinačių sistemos išorinis orientavimas objekto koordinačių sistemos atžvilgiu pagal kampus apibrėžiamas ortogonalioji matrica A :

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - x_0 \\ f \\ z - z_0 \end{pmatrix}, \quad (2.3)$$

kur

$$A = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(Xx) & \cos(Xy) & \cos(Xz) \\ \cos(Yx) & \cos(Yy) & \cos(Yz) \\ \cos(Zx) & \cos(Zy) & \cos(Zz) \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

A matricos elementai a_{ij} (nukreipiamieji kosinusai) tai kampų, tarp objekto $OXYZ$ ir vaizdo $Sxyz$ koordinačių sistemų ašių, kosinusai. Nukreipiamieji kosinusai yra vienetinių vektorių, sutampančių su vaizdo koordinačių sistemos ašimis objekto koordinačių sistemoje, koordinatės. Taigi, koordinačių sistemos pasukimas erdvėje yra trijų nepriklausomų parametrų funkcija: ω , φ , κ posūkio/polinkio kampų (Вики – Фотограмметрия 2012). Taško koordinatės xyz koordinačių sistemoje transformuojamos į XYZ sistemą kampiniais pasukimais, transformavimo lygties erdvinės pasukimo matricos A elementai nustatomi:

$$\begin{aligned} a_1 &= \cos\varphi \cos\kappa + \sin\varphi \sin\omega \sin\kappa & a_2 &= -\sin\varphi \cos\omega & a_3 &= -\cos\varphi \sin\kappa + \sin\varphi \sin\omega \cos\kappa \\ b_1 &= \sin\varphi \cos\kappa - \cos\varphi \sin\omega \sin\kappa & b_2 &= \cos\varphi \cos\omega & b_3 &= -\sin\varphi \sin\kappa - \cos\varphi \sin\omega \cos\kappa \\ c_1 &= \cos\omega \sin\kappa & c_2 &= \sin\omega & c_3 &= \cos\omega \cos\kappa \end{aligned} \quad (2.5)$$

Transformavimo matricos ir jos nepriklausomieji parametrai yra nustatomi fotogrametrinėse programinėse įrangose suprogramuotais algoritmais. Išorinis orientavimas atliekamas matuojant atramos taškus (mažiausiai 3, kuo daugiau tuo tiksliau), kurių 3D koordinatės žinomos geodezinėje koordinačių sistemoje. Atramos taškai tai vietovėje esantys taškai, kurie matomi gretimose fotografiniuose vaizduose ir jų koordinatės žinomos. Atramos taškai negali būti išdėstyti vienoje linijoje, jie privalo būti išsidėstę apytiksliai fotografinių vaizdų kampuose ir sudaryti taisyklingą geometrinę figūrą (trikampį, stačiakampį ar pan.).

Svarbu taisyklingai parinkti atramos taškus, jie turi būti aiškiai matomi fotografiniuose vaizduose. Pagal B. Ruzgienę atramos taškai gali būti: signalizuotieji ir natūriniai taškai. Pirmieji taškai yra išdėstomi prieš fotografavimą, o natūriniai yra fotografuojamojo objekto vietovėje esantys natūralūs taškai (šulinių dangčiai, pastatų kampai ir kt.). Išorinio orientavimo procedūra atliekama sekančiai (orientavimas atliekamas kiekvienam vaizdui atskirai): tiksliai matuojami atramos taškai, abrisuose suradus taško padėtį. Išmatavus 4 taškus, skaičiuojama erdvinė spindulių sankirta (vietovės koordinačių sistema – skaitmeninio vaizdo koordinatės), sprendžiant kolinearumo

(taškas vietovėje, projekcijos centras ir taškas fotografiniame vaizde turi būti vienoje linijoje) lygtis. Išorinio (absoliučiojo) orientavimo rezultatais yra fotografiniuose vaizduose ir vietovėje išmatuotų atramos taškų liekamosios paklaidos ir standartinis nuokrypis.

2.3.3. Vietovės taško geodezinių koordinačių sąsaja su fotografinio vaizdo koordinatėmis

Taško, matomo dviuose fotografiniuose vaizduose, geodezinės koordinatės antžeminėje fotogrametrijoje gali būti nustatomos atsižvelgiant į fotografavimo būdą. Populiariausi fotografavimo metodai tai normalusis ir pasviręs (į kairę arba į dešinę). Fotografuojant konvergentiniu būdu pagrindiniai fotografavimo spinduliai yra horizontalūs, tačiau nelygiagretūs tarpusavyje, fotografiniuose vaizduose x ašys yra horizontalios t.y. $\phi_k \neq \phi_d$, $\omega_k = \omega_d = \kappa_k = \kappa_d = 0$ (žr. 2.3 pav.). Kampas γ , esantis tarp fotografavimo spindulių vadinamas konvergentiniu kampu (kadangi spinduliai sueina) ir divergentiniu, jeigu fotografavimo spinduliai nesusikerta. Antžeminio konvergentinio fotografavimo atveju kairiojo fotografinio vaizdo išorinio orientavimo kampiniai elementai lygūs nuliui, todėl pagrindinio taško koordinatės:

$$X'_1 = x_1, \quad Y'_1 = f \quad \text{ir} \quad Z'_1 = z_1 \quad (2.6)$$

Dešinysis fotografinis vaizdas yra pasuktas γ kampu, todėl atsižvelgiant į 2.5 formules nukreipiamieji kosinusai yra: $a_1 = \cos \gamma$, $a_2 = -\sin \gamma$, $b_1 = \sin \gamma$, $b_2 = \cos \gamma$, $c_3 = 1$. Kiti nukreipiamieji kosinusai yra lygūs nuliui. Tokiu atveju dešiniojo fotografinio vaizdo pagrindinio taško koordinatės nustatomos:

$$X'_2 = x_2 \cos \gamma - f \sin \gamma, \quad Y'_2 = x_2 \sin \gamma + f \cos \gamma, \quad Z'_2 = z_2 \quad (2.7)$$

Išsprendę 2.8 lygtis, gaunamos fotografinio vaizdo koordinatės geodezinėje koordinačių sistemoje:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = N \begin{pmatrix} Y'_2 \\ X'_2 \\ Z'_2 \end{pmatrix}, \quad (2.8)$$

čia: N – skaliaras,
$$N = \frac{B[x_2 \sin(\varphi_a + \gamma) + f \cos(\varphi_a + \gamma)]}{(x_1 x_2 + f^2) \sin \gamma + f \cos \gamma (x_1 - x_2)}.$$

Palinkusių ašių fotografavimo atveju, polinkio kampai nėra lygūs nuliui, tačiau fotografavimo ašys lygiagrečios t.y. $\phi_k = \phi_d = \phi \neq 0$, $\omega_k = \omega_d = \kappa_k = \kappa_d = 0$. Tokiu atveju taško koordinatės nustatomos pagal formules:

$$X = \frac{B}{p} f \left(\cos \varphi + \frac{x_2}{f} \sin \varphi \right),$$

$$Y = \frac{B}{p} x_1 \left(\cos \varphi + \frac{x_2}{f} \sin \varphi \right) = \frac{Y}{f} x_1, \quad (2.9)$$

$$Z = \frac{B}{p} z_1 \left(\cos \varphi + \frac{x_2}{f} \sin \varphi \right) = \frac{Y}{f} z_1.$$

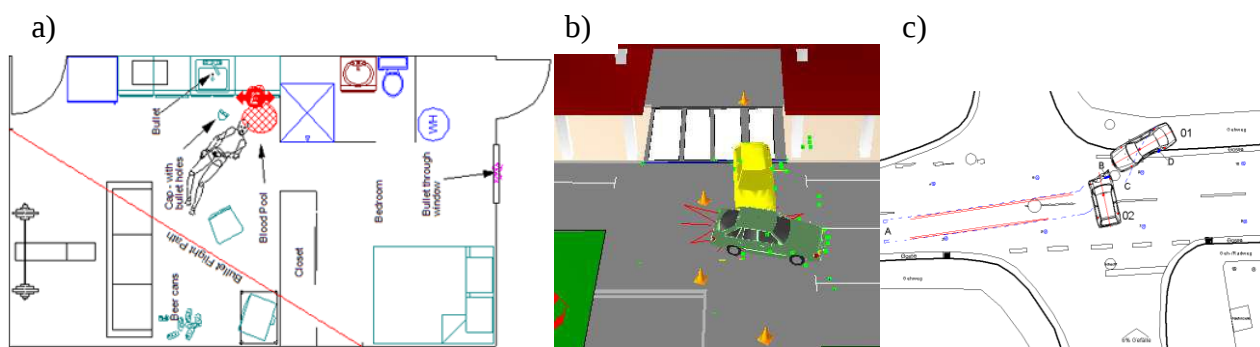
čia: p – išilginis paralaksas, tų pačių taškų abscisių skirtumas.

Jeigu fotografavimas buvo atliekamas normaliuoju būdu, tai fotografinių vaizdų kampiniai parametrai lygūs nuliams ir taško koordinatės randamos pagal:

$$X = \frac{B}{p} x_1, \quad Y = \frac{B}{p} f, \quad Z = \frac{B}{p} z_1. \quad (2.10)$$

3. ARTIMŲ NUOTOLIŲ FOTOGRAMETRIJOS TAIKYMO EISMO ĮVYKIAMS REGISTRUOTI METODIKOS ANALIZĖ

Antžeminės fotogrametrijos metodais sprendžiami įvairūs uždaviniai architektūroje, statyboje, geologijoje, kalnakasyboje, automobilių, laivų gamybos procesuose, kriminalistikoje, medicinoje ir kitose mokslo ir gamybos šakose. XXI a. pradžioje kriminalistai, teisėsaugos pareigūnai, mokslininkai pradėjo dirbti prie eismo įvykių, nusikaltimų vietų 2D ir 3D modelių, eismo įvykių rekonstrukcijų ir vizualizavimo (žr. 3.1 pav.). Buvo keliama užduotis: greitai ir patikimai gauti vietovės, kurioje įvykio nagrinėjamas reiškinys, informaciją bet kuriuo laiko momentu. Šiuos tikslus pasiekti įmanoma keliais metodais: vietovės lazeriniu nuskaitymu, geodeziniais matavimais, skaitmeninių fotografinių vaizdų analizavimu. Eismo įvykių nagrinėjimo atveju svarbiu aspektu yra greita duomenų gavyba, kadangi nelaimingi atsitikimai keliuose įvyksta dažnai, jie sutrikdo eismą, sukelia emocinį stresą eismo įvykių dalyviams, todėl jų analizavimas vietovėje laiko atžvilgiu yra ribotas. Lazerinis vietovės nuskaitymas užima daug laiko ir eksploataciniu atžvilgiu yra labai brangus. Eismo įvykių nagrinėjimas fotogrametriniais metodais pradėtas taikyti tik praeitą dešimtmetį, laikotarpiu, kai pradėjo populiarėti skaitmeninės nemetrinės fotokameros fotogrametrijoje, taip pat šis būdas yra ekonomiškai labiausiai priimtinas iš kitų galimų. Atlikti fotografinius vaizdus šiuolaikinėmis technologijomis pakanka pusvalandžio, o duomenų apdorojimas, atliekamas specialistų, trunka apie dvi valandas. Šių naujovių diegimas policijos pareigūnų darbe kelia dar daugiau reikalavimų: fotografinių vaizdų apdorojimas turi būti paprastas ir maksimaliai automatizuotas, kad kuo mažesnę įtaką rezultatams turėtų sisteminės ir atsitiktinės klaidos, fotografiniai vaizdai gali būti gauti vartotojų klasės (mėgėjiška) fotokamera.



3. 1 pav. Antžeminės fotogrametrijos taikymo rezultatai: a) kriminalistikoje – kuriami 2D planai, fotografuojami svarbūs įkalčiai, atliekamos vizualizacijos; b) eismo įvykių 3D modeliavimas; c) eismo įvykio automobilių judėjimo trajektorijų tyrimas, 2D planų projektavimas (*iWitness & iWitnessPRO* 2013)

Fotografiniai vaizdai, gauti fotografuojant nuo žemės paviršiaus gali būti apdorojami bet kuria antžeminės fotogrametrijos programine įranga, tačiau užsienyje plačiai taikoma, ypač eismo įvykių nagrinėjimui JAV įmonės *DeChant Consulting Services* ir Australijos įmonės *Photometrix*

antžeminės fotogrametrijos specialistų sukurta programinė įranga *iWitness*. Kaip pateikia programinės įrangos gamintojai, ši programa buvo sukurta būtent eismo įvykių teismo ekspertizei pateikiamų duomenų analizavimui, 3D, gaunamų iš fotografinių vaizdų, vizualizavimui. Šią naujovę praktikoje pradėjo taikyti ne tik JAV ir Australijos pareigūnai (populiariausia programa *iWitness*), bet ir Vokietijos teisėsaugos specialistai (populiariausia programinė įranga – *Phidias*). Vokietijoje taikoma programa *Phidias* yra kiek paprastesnė, kadangi jos tikslas yra eismo įvykio eskizo braižymas, o 3D modeliai kuriami tik išskirtiniais atvejais kitomis CAD programomis. *iWitness* programinė įranga yra specialiai eismo įvykių tyrimui sukurta programa ir kol kas tai geriausia programinė įranga tokių specifinių duomenų apdorojimui.

iWitness antžeminės fotogrametrijos metodais pagrįsta sistema, kurioje taškų koordinatės (X,Y,Z) gaunami iš dviejų arba daugiau fotografinių vaizdų. Programinė įranga pritaikyta ne fotogrametrijos specialistams ir yra lengvai eksploatuojama, kadangi 3D modelis sukuriamas atlikus vos kelis mygtukų paspaudimus. Veiksmai, kuriuos privaloma atlikti, tai:

- Skaitmenine fotokamera vietovėje nufotografuojami eismo įvykių vaizdai (mažiausiai 3) iš skirtingų fotokameros padėčių. Nuotraukos importuojamos į programinę paketą *iWitness*;
- Fotografinių vaizdų stereoporose matuojami tie patys taškai (vietovės charakteringi taškai matomi bent dviuose fotonuotraukose). Fotografinių vaizdų orientavimas atliekamas pusiau automatiniu būdu;
- *iWitness* tiksliai atlieka 3D taškų, kreivių, linijų kontūrų matavimus. Atliktų matavimų rezultatai matomi 3D peržiūros lange.

Taikant artimų nuotolių metodiką eismo įvykių tyrimams, reikia turėti tam tikras priemones darbui atlikti, tai:

- skaitmeninė fotokamera su stovu;
- eismo įvykiui įvykus tamsiu paros metu rekomenduojama turėti papildomą blykstę, apšvietimo įrangą (pvz., prožektorį);
- kreida, purškiamieji dažai arba specialūs taikiniai (vietovės charakteringiems taškams žymėti);
- matavimo juosta (virš 30 m ilgio) arba kiti atstumo matuokliai (elektroniniai);
- GPS įranga, norint nustatyti taikinių koordinates valstybės koordinačių sistemoje (kitu atveju galima vadovautis sąlygine koordinačių sistema ir matuoti tik atstumus iki fotografuojamų objektų);
- antžeminės fotogrametrijos vaizdų apdorojimo programinė įranga (*iWitness*, *PictranD*, *Photomodeler*, *Phidias* ar kiti);

Fotogrametrinių metodų taikymas policijos pareigūnų darbe sukeltų daug klausimų, policijos pareigūnų apmokymas užimtų nemažai laiko, kadangi iki šiol Lietuvoje šis metodas nėra taikomas. Šio metodo sėkmingas taikymas užsienyje įrodo, kad turi daug privalumų, proceso sėkmę lemia tik tinkamas patrulių apmokymas.

3.1. Policijos pareigūnų veiksmai registruojant eismo įvykius

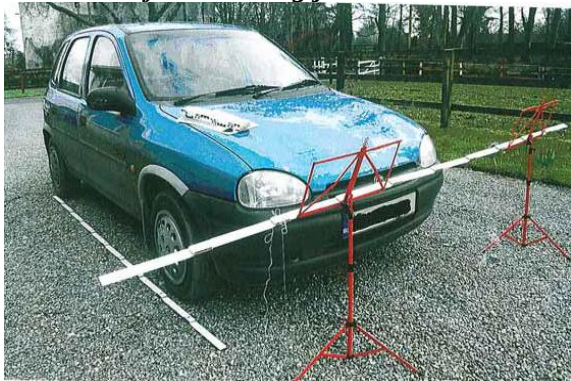
Lietuvoje policijos pareigūnų veikla yra reglamentuojama įstatymais, kurie nustato policijos patrulių veiklos organizavimą bei vykdymą. Policijos patrulių darbas nagrinėjant eismo įvykius yra aprašomas *Policijos patrulių veiklos instrukcijoje*, kuri patvirtinta Policijos generalinio komisaro 2002 metais. Atvykus į eismo įvykio vietą pareigūnai privalo užtvirti nagrinėjamo įvykio vietą specialiomis priemonėmis: plastikine juosta su užrašu „STOP POLICIJA“ ar kitu užrašu, plastikiniais kūgio formos ženklais, atitvėrimo stovais ar kitais daiktais, nurodančiais, kad be policijos leidimo patekti į atitvertą išvardytomis priemonėmis teritoriją yra draudžiama. Eismo įvykio vietos atitvėrimas yra svarbus procesas, kadangi nagrinėjant eismo įvykius fotogrametriniais metodais reikalinga erdvi, gero matomumo fotografavimui paruošta vieta. Eismo įvykį tiriantys pareigūnai turi užtikrinti, kad: autoavarijoje dalyvavusios transporto priemonės liktų savo vietose, kad nebūtų naikinami ar klastojami palikti pėdsakai, įforminant eismo įvykį surašomas vietos apžiūros protokolai ir schema. Pagal *Policijos patrulių veiklos instrukciją* (Žin., 2003, Nr. 23-985) eismo įvykio vietoje kuriamoje schemoje yra fiksuojama:

- tiksli transporto priemonių padėtis pagal stacionarius orientyrus (objektus);
- transporto priemonių ratų pėdsakai, nurodant jų pobūdį (slydimo ir stabdymo, slydimo skersine kryptimi, laisvo riedėjimo, riedėjimo ir stabdymo), ir šių pėdsakų pradžia ir pabaiga kelio važiuojamosios dalies pločio ir ilgio atžvilgiu;
- kelio važiuojamosios dalies dangos rūšis, defektai, paviršius;
- transporto priemonių stiklų šukės, plastmasinių dalių nuolaužos, nubyrėjusi žemė, tepalo, benzino, aušinimo skysčio, kraujo ir kitos dėmės kelio ilgio ir pločio bei stacionarių orientyrų (objektų) atžvilgiu;
- kelio ženklinimas, nurodant ištisinių ašinių linijų ilgį;
- šviesoforai ir kelio ženklai, nurodant atstumus nuo jų iki sankryžose kertamų gatvių važiuojamųjų dalių;
- nurodomos transporto priemonių judėjimo kryptys, greičiai, atstumai iki atsiradusių kliūčių, nukentėjusių pėsčiųjų judėjimo kryptys ir sparta, matomumo, oro sąlygos ir kitos aplinkybės, galinčios turėti reikšmės nustatant autoavarijos kaltininką.

Visus šiuos reikalavimus pareigūnai turi atlikti, netrukdam kitų transporto priemonių eismui, greitai, tiksliai ir nepraleidžiant svarbių eismo įvykio tyrimui detalių. Kaip rodo patirtis, šiuos matavimus

pareigūnai dažniausiai atlieka paprastomis ilgio matavimo priemonėmis, kaip plieninė arba plastmasinė matavimo juosta, rečiau naudojamas elektroninis atstumo matuoklis. Atlikti visus reikiamus matavimus greitai bei tiksliai yra sudėtinga, todėl pradėta nagrinėti kitas galimybes, kurios palengvintų ir pagreitintų šiuos matavimus. Kaip pateikiama moksliniame leidinyje „*Digital close range photogrammetry in motor vehicle accident reconstruction*“ užsienyje eismo įvykių vietoje išskyrus paprastas matavimo juostas naudojamos ir kitos priemonės, kurių veikimo principai aprašomi 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. Eismo įvykių vietoje naudojami prietaisai ir jų aprašymas (Coyle 2008)

Pavadinimas	Veikimo principas
1	2
<i>Susidūrimo deformacijų matavimo įtaisas</i> 	Prietaisas palaikomas šešiomis stumdomomis horizontaliomis matuoklėmis. Turėklo stovas statomas prieš tiriamą transporto priemonę tokia aukštyje, kuriame matoma ryški deformacija ir stumdomos matuoklės kol jos įsirems į transporto priemonę, toliau fiksuojama kiekvienos matuoklės padėtis ir nustatomas transporto priemonės deformacijos gylis.
<i>Bazinės linijos technologija</i> 	Metodas pagrįstas atstumu nuo tam tikros bazinės linijos iki sutraiškytos transporto priemonės vietos matavimu. Dažniausiai matuojamos transporto priemonės prieš eismo įvykį ir po jo. Pagal išmatuotus atstumus kuriami brėžiniai ir taip įvertinama sudaryta žala.
<i>3D lazerinis skenavimas</i> 	Lazeriniai skeneriai yra statomi tam tikru atstumu nuo transporto priemonių ir skenuojama vietovės dalis, arba visa aplinkinė teritorija 360° kampu. Skenerio duomenys tai taškų debesis, iš kurių galima atpažinti eismo įvykio vietos kontūrus. Pašalinę nereikalingus taškus lieka tik reikiami duomenys. Taškų debesis jungiami į tinklą ir vaizdui suteikiama tekstūra. Patirta žala įvertinama 3D vaizde.

Visų lentelėje 3.1 pateiktų priemonių taikymas yra sudėtingas, be to kiekvienas jų turi savo privalumus ir trūkumus ir jų taikymui reikia papildomų apmokymo priemonių ir kitų resursų. Policijos pareigūnų darbe kiekvienas tiriamas įvykis gali būti išskirtinis ir kartais nukentėjusieji gali turėti priekaištų eismo įvykių kaltininkams praėjus kelioms dienoms po transporto priemonių susidūrimo. Teismo ekspertizė atliekama ne kiekvienu atveju, tačiau policijos patrulių pagrindinis darbas – išaiškinti transporto priemonių greitį, judėjimo trajektoriją prieš susidūrimą ir kitą informaciją, kurios vietovėje iš karto dažniausiai nustatyti neįmanoma. Jei žinomi kai kurie automobilio judėjimo parametrai prieš susidūrimą arba po jo, kitus dydžius galima išskaičiuoti pagal tam tikras lygtis. Automobilių greičiai po susidūrimo paprastai gali būti atkuriami pagal specialias skaičiuotes, žinant susidūrimo kampą α' (kampą tarp išilginių automobilių ašių) ir automobilių atmetimo po susidūrimo kryptis (kampus δ_1 ir δ_2) atitinkamai nustačius jų judėjimo greičius po susidūrimo, galima apskaičiuoti greičius ir prieš susidūrimą (Lukoševičienė 1999):

$$v_1 = v' \frac{m_1 + m_2}{m_1} \cdot \frac{\sin(\alpha' - \delta_1)}{\sin \alpha'}, \quad (3.1)$$

čia: m_1 ir m_2 – susiduriančių transporto priemonių masės.

Antrojo automobilio greitis prieš susidūrimą būtų:

$$v_2 = v' \frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{\sin \delta_1}{\sin(\alpha' - \delta_1)}. \quad (3.2)$$

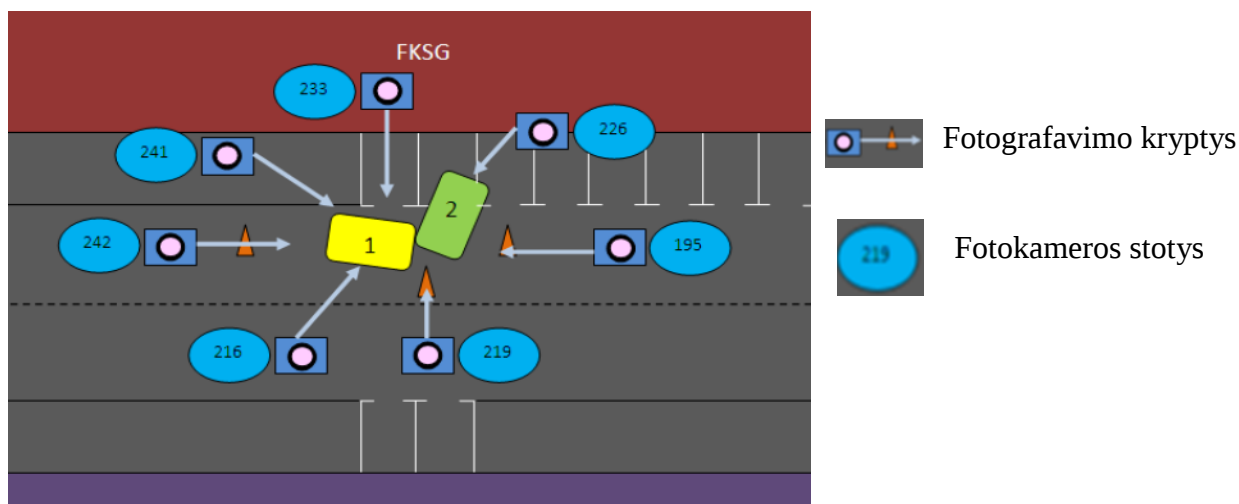
Apžiūrint eismo įvykio vietą, būtina tiksliai užfiksuoti ratų riedėjimo, stabdymo bei šoninio slydimo pėdsakus iki susidūrimo. Jei yra žinomi (užfiksuoti) automobilių judėjimo kryptių nukrypimo nuo kelio išilginės krypties (t.y. krypties, kuria judėjo pirmasis automobilis) kampai po susidūrimo, tai šių kampų skirtumas gali būti imamas kaip susidūrimo kampas α' . Taikant šią metodiką pateiktą pagal O. Lukoševičienę bei H. Martusevičių yra atliekama techninė ekspertizė. Duomenys techninei ekspertizei yra pateikiami eismo įvykių vietos planuose (žr. A priedą). Policijos pareigūnų darbas įvykio vietoje gali užtrukti vietovėje nustatant šių parametrų reikšmes, todėl vienas iš labiausiai priimtinių metodų eismo įvykio analizei yra skaitmeninės fotogrametrijos taikymas. Pagal 2D arba 3D tikslų vaizdą galima nustatyti ne tik transporto priemonių greičių parametrus bet ir medžiagą pateikti animacijos pavidalu.

3.2. Fotografavimo procesas

Fotografavimo procesas priklauso nuo kelių svarbių pastebėjimų, kurie gali lemti fotografavimo rezultatų kokybę. Pirmiausia, priklausomai nuo fotografuojamo objekto matmenų, reikšmingų vietovės elementų išsidėstymo. Fotografuojant eismo įvykius didžiausia problema, su kuria susiduriama tai fotografuojamų objektų geometrija. Dažniausiai fotografuojami objektai

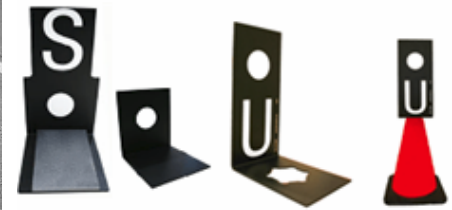
sukuria nevisai tinkamą geometriją, nes fotografuojamas įvykis yra siauras (iki 10 m) ir ilgas (apie 50 – 100 m), todėl vėliau susiduriama su netinkama geometrija išoriniam orientavimui. Kitas svarbus rodiklis lemiantis fotografavimo tinkamumą yra fotokamera. Fotokameros parametrai kaip skiriamoji geba, jutiklių matricos išmatavimai ir lęšių sistema yra svarbiausi pasirenkant gerą skaitmeninę fotokamerą. Oro sąlygos, paros ir metų laikas gali nulemti matomumą ir taip pat turėti įtaką vaizdų tikslumui. Fotografavimo būdo pasirinkimas ir fotografinius vaizdus atliekančio asmens patirtis gali nulemti fotografavimo procesą.

Atliekant eismo įvykio fotografavimą svarbiausia sąlyga, kurią reikėtų įvertinti, tai kad fotografavimas turi būti atliekamas aplink objektą (žr. 3. 2 pav.), todėl šiuo atveju normalus fotografavimo būdas nėra priimtinas. Eismo įvykius fotografuojant apsupant objektą tinkamiausias fotografavimo būdas yra konvergentinis (kai fotografavimo spinduliai susikerta).



3. 2 pav. Pagrindiniai reikalavimai fotografavimo procesui: fotokameros padėtys apsupant objektą (Hamzah *et al.* 2010)

Vietovėje, kurioje atliekamas fotografavimas turi būti išdėstomi specialūs taikiniai, kurie yra svarbūs fotografinių vaizdų apdorojime. Šie taikiniai – atraminiai taškai reikalingi fotonuotraukoms transformuoti į geodezinę koordinačių sistemą, todėl visų atramos taškų padėtis (X , Y , Z) geodezinėje koordinačių sistemoje turi būti žinoma. Atramos taškų padėtis nustatoma geodeziniais metodais – elektroniniais tacheometrais arba GPS imtuvais. Atramos taškai gali būti natūriniai (kontūriniai), signalizuojamieji (markiruotieji) ir dirbtiniai. Taškų kiekį galima padidinti su paprasta kreida arba purškiamais dažais, kuriais paryškunami reikšmingi vietovės ir eismo įvykio situacijos elementai. Programinė įranga *iWitness* yra pritaikyta tiek natūrinių atraminių taškų, tiek specialių koduotų taikinių atpažinimui. Programoje iš anksto įdiegtuose algoritmuose šie specialūs (signalizuojamieji) taikiniai yra atpažįstami automatiškai (užkoduotus taikinių centrus atpažįsta programa). Šie specialieji ženklai tai dvipusiai taikiniai su baltos spalvos apskritimu (žr. 3.3 pav.), kurie gali būti statomi arba kitaip pritvirtinami (priklijuojami) ant transporto priemonių, kelio ženklų ir pan. Taikiniai atspindi šviesą ir tai leidžia juos naudoti net tamsiu paros metu.



3. 3 pav. Atraminiai taškai – taikiniai (*iWitness & iWitnessPRO* 2013)

Fotografavimo metu patartina nekeisti židinio nuotolio, t.y. nepriartinti vaizdų su objektyvu, geriausia, kad fokusavimas būtų nustatytas ties begalybe. Fotografavimo bazė neturi būti nutolusi 15% ar daugiau nuo vidutinio atstumo iki fotografuojamų objektų. Fotografavimas atliekamas pereinant iš vienos fotografavimo stoties į kitą, taip, kad bent trijuose gretimose fotografiniuose vaizduose būtų matomi bent 4 tie patys atraminiai taškai. Šis reikalavimas svarbus fotografinių vaizdų orientavimui. Gretimi fotografiniai vaizdai turi dengti vienas kitą bent 60%.

3.3. Fotografinių vaizdų apdorojimas *iWitness* programine sistema

iWitness programinės įrangos taikymo privalumas yra tiesioginis fotografinių vaizdų orientavimas. Jeigu yra pakankamas atraminių taškų skaičius reliatyviojo orientavimo skaičiavimai yra atliekami automatiškai. Tai yra įmanoma tik tais atvejais, jeigu fotografinio vaizdo matuojamų taškų geometrija yra tinkama orientavimo procesui, pvz. jeigu matomi bent 5–8 taškai. Kiekvieno pridamo taško matavimas gali patikslinti reliatyviojo orientavimo rezultatą. Geriausias orientavimo sprendinys yra išsaugomas po šešių punktų matavimų, tokiu atveju pranešama apie pavykusį orientavimą (Fraser 2005).

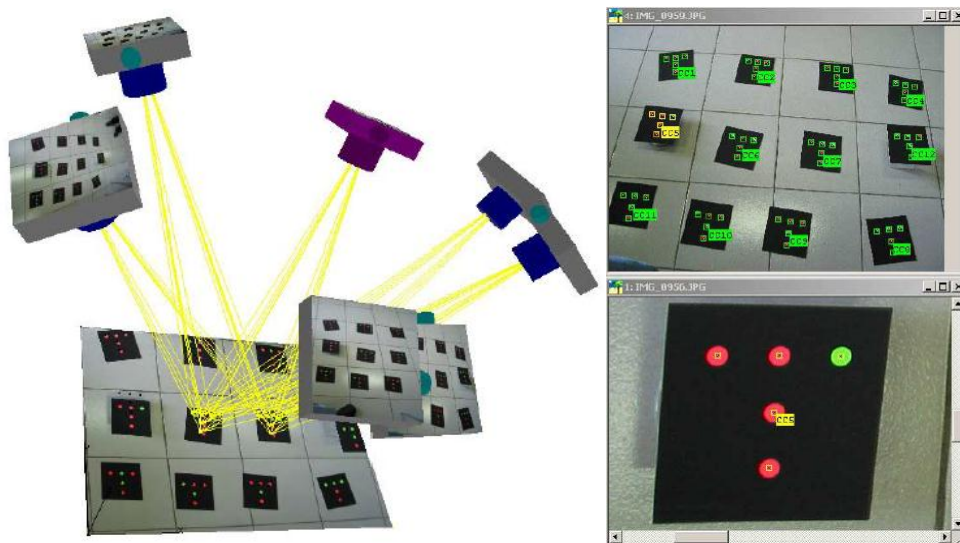
Orientavimo procesą *iWitness* aplinkoje galima apibendrinti taip:

- 1) Pažymimi reikšmingi taškai viename pasirinktame fotografiniame vaizde;
- 2) Tie patys taškai atkuriami kitame fotografiniame vaizde, reliatyvusis orientavimas automatiškai ir tiesiogiai papildomas ir atnaujinamas su kiekvienu nauju pridamu tašku;
- 3) Pasirenkamas dar vienas fotografinis vaizdas ir jame išmatuojami papildomi 4–6 taškai. Tinklas išlyginamas ir atnaujinamas su kiekvienu nauju matuojamu tašku;
- 4) Pakartojami 3 punkto veiksmai; gali būti atliekamas automatinis kalibravimas po tinklo išlyginimo, jeigu taškai išsidėstę tinkamai (geometriškai);

- 5) Atliekamas absoliutusias orientavimas, tam kad gauti X , Y , Z koordinatas geodezinėje koordinacių sistemoje.

Kameros automatinis kalibravimas (angl. *self – calibration*) šioje programinėje įrangoje tai nekalibruotos kameros parametrų nustatymo procesas, automatiškai atliekamas reliatyviojo – absoliučiojo orientavimo metu.

Naudojamos fotokameros kalibravimas gali būti atliekamas turint specialius spalvotus taikinius (žalios ir raudonos spalvos). Taikiniai gali būti išdėstomi ant grindų kaip parodyta 3.4 paveiksle. Taikiniai fotografuojami iš 7–10 kameros padėčių ir atliekami taškų matavimai programine įranga *iWitness*.



3. 4 pav. Automatinio kalibravimo taikiniai *iWitness* aplinkoje (Fraser *et al.* 2005)

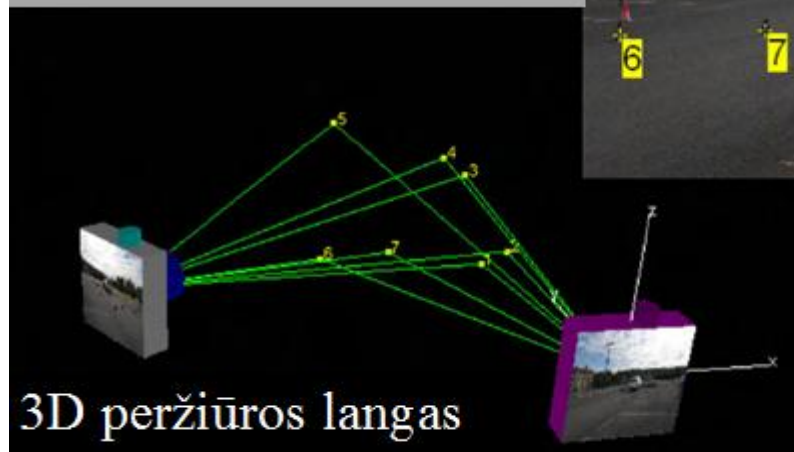
Remiantis *iWitness* programinės įrangos vartotojų vadovu fotografiniai vaizdai apdorojami atliekant sekančius žingsnius:

- 1) Atliekamas kameros kalibravimas (*iWitness* programoje jis atliekamas greitai ir pusiau automatiškai, reikia turėti specialius taikinius);
- 2) Fotografinių vaizdų importavimas (pasirenkami vaizdai, kurie sudaro stereoporą bei užfiksuoti iš skirtingų fotokameros padėčių);
- 3) Fotografinių vaizdų reliatyvusis orientavimas – pažymimi abiejuose fotografiniuose vaizduose tie patys atraminiai taškai, mažiausiai 7 (*iWitness* privalumas vėl pasireiškia tame, kad naudojant specialius koduotus taikinius pakanka tik pažymėti ant taikinio baltą apskritimą ir taikinis automatiškai yra atpažįstamas ir įregistruojamas). Atlikus reliatyvųjį orientavimą 3D peržiūros lange galima matyti kamerų padėtis ekspozicijos momentu ir išmatuotų taškų padėtį erdvėje (žr. 3.5 pav.).

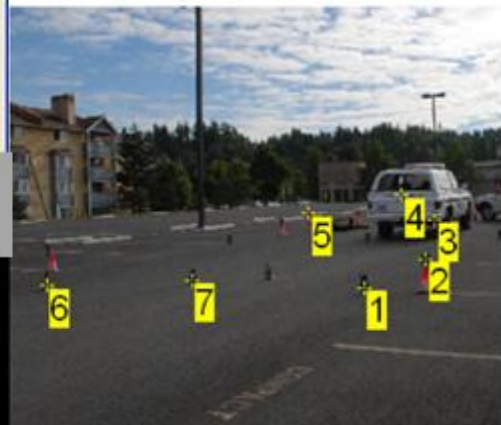
3D Points

Point Label	X	Y	Z	Photos	Quality	Angle (deg)	Description
1	-28.4360	771.1800	-103.6403	2	0.04	75.8	
2	51.1565	775.5039	-44.2220	2	0.04	71.2	
3	118.4954	1461.2751	-29.6223	2	0.02	44.6	
4	37.2220	1496.0708	33.3267	2	0.05	46.7	
5	-303.9499	2350.2175	-19.4118	2	0.02	28.4	
6	-525.4762	873.2546	-116.3621	2	0.01	51.9	
7	-258.7233	895.0330	-109.8953	2	0.02	78.1	

3D taškų koordinatės sutartinėje koordinatinių sistemoje



3D matavimai



3. 5 pav. Atlikto reliatyviojo orientavimo rezultatai (This iWitness tutorial 2006)

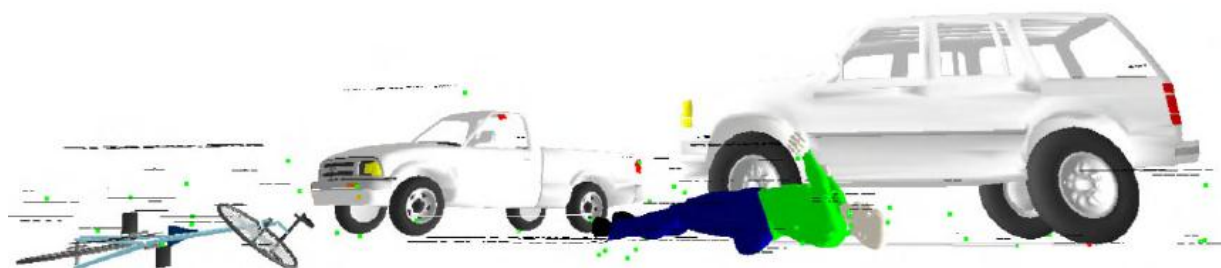
- 4) Atliekami papildomi taškų matavimai (pavyzdyje išmatuota apie 20 taškų) bei pridedama papildoma trečia nuotrauka, kurioje išmatuojami visi matomi iki šiol pažymėti atraminiai taškai. Šiame etape pagelbėja epipolinės linijos, kurių dėka galima nustatyti greičiau ir tiksliau atramos taško centrą;
- 5) Atliekamas absoliutusias orientavimas: fotografinių vaizdų koordinatinių sistema transformuojama į geodezinę koordinatinių sistemą: *iWitness* programoje šis etapas vadinamas „3-2-1“ ir gali būti atliekamas tik po to, kai nustatytas fotografinių vaizdų mastelis. Masteliui nustatyti reikia žinoti bent vieną atstumą vietovėje tarp dviejų žinomų taškų. „3-2-1“ lange nurodomos koordinatinių ašių kryptys pagal atraminius taškus – pasirenkamas pradinis taškas, nurodoma *X* ašies kryptis ir *Y* ašies kryptis, *Z* ašis papildoma prie dešinėsios koordinatinių sistemos;
- 6) Orientuotose fotografiniuose vaizduose galima atlikti linijų, taškų, uždarų kontūrų matavimus bei suteikti uždariems poligonams tekstūrą pagal fotografinį vaizdą;
- 7) Išmatuotų fotografinių vaizdų koordinatės gali būti kontroliuojamos viso proceso metu, lentelėje *3D Points* pateikiami išmatuotų taškų rezultatai bei įvertinamas jų patikimumas (lentelės skiltyje – *Quality*). Tiksliai matuojant atraminius taškus ir kitus taškus bei naudojant kalibruota fotokamerą tikslumas neviršys 1 (žr. 3.6 pav.). Hamzah N. B. ir kiti bendraautoriai, straipsnyje apie eismo įvykio rekonstravimą *iWitness* programine įranga, pabrėžė, kad taškai

laikomi išmatuotais tinkamai, jeigu tikslumo reikšmė yra nuo 0 iki 2. Taškai viršijantys tikslumo reikalavimus turi būti ištrinami arba matuojami pakartotinai.

Point Label	X	Y	Z	Photos	Quality	Angle (deg)	Description
1	0.0000	0.0000	-0.0000	3	0.76	76.1	
2	1.3418	-2.1221	1.0576	3	0.30	71.5	
3	20.8962	6.1645	1.4057	3	0.35	44.9	
4	20.7381	8.8461	3.4099	3	0.41	44.9	
5	38.5493	30.6300	1.3143	3	0.23	28.2	
6	-4.2995	14.5027	0.0813	3	0.44	82.1	
7	-0.5363	9.0004	-0.0000	3	0.14	78.3	
8	1.9832	6.5428	-0.0185	3	0.22	73.1	
9	23.3272	22.6781	1.2845	3	0.30	38.2	
10	15.4605	21.7256	0.1982	3	0.38	44.3	
11	31.3973	23.6988	0.1626	3	0.19	33.3	
12	22.3952	1.6816	0.0088	3	4.38	43.1	
13	25.0000	0.0000	-0.0000	3	0.28	40.6	
14	24.7386	-9.5252	0.9714	3	0.35	37.9	
15	45.9758	-8.5174	1.0395	3	0.25	27.8	
16	20.1596	10.9977	1.4551	3	0.32	45.0	
17	39.0284	24.0674	1.2723	3	0.15	29.8	
18	19.3047	11.1563	0.0167	3	0.30	45.7	
19	-0.6367	20.3096	1.3086	3	0.14	64.1	
20	21.2443	6.5343	3.6721	3	0.37	44.6	
21	20.5238	10.9361	3.7483	3	0.33	44.7	

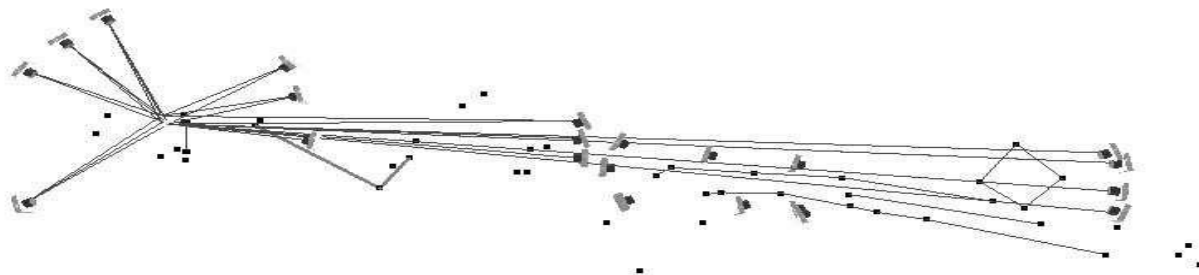
3. 6 pav. iWitness programinėje įrangoje išmatuotų taškų koordinatų tikslumas. 12 taškas išmatuotas netinkamai (This iWitness tutorial 2006)

- 8) Išmatuoti taškai ir linijos eksportuojamos į *.DXF formatą;
- 9) Programine įranga, pritaikyta 3D nuotraukų vizualizavimui ir animavimui *CAD Crash Zone*, gali būti atliktas fotografinių vaizdų 3D vizualizavimas (žr. 3.7 pav.).



3. 7 pav. CAD Crash Zone vizualizuotas eismo įvykis (This iWitness tutorial 2006)

Apžvelgiant fotografinių vaizdų apdorojimo aprašymą programa *iWitness*, kuris pateikiamas literatūroje, beveik visuose šaltiniuose pabrėžiama, kad eismo įvykių fotografiniuose vaizduose reikšmingi taškai sudaro nevisai priimtina geometriją (žr. 3.8 pav.). Atraminiai taškai dažniausiai statomi palei kelią ir jų išsidėstymas erdvėje sudaro tokį įspūdį, kad visi taškai yra išsidėstę vienoje linijoje (Frazer K. *et al.* 2005).



3. 8 pav. Fotografinio vaizdo apdorojimo procesas: atraminių taškų 2D vaizdas (Frazer *et al.* 2005)

Šios problemos sprendimas *iWitness* sistemos aplinkoje yra labai svarbi užduotis, kadangi atraminių taškų padėtis yra reikšminga atliekant reliatyvųjį orientavimą. *iWitness* gamintojai atrado vienintelį būdą šiai problemai išspręsti: padidinamas atraminių taškų skaičius, geresniam tikslumui pasiekti reikia naudoti mažiausiai 7 atraminius taškus (matomus dvejuose gretimuose vaizduose), o esant labai silpnai geometrijai siūloma pasirinkti ir daugiau (apie 9 – 10). Norint patikslinti taškų padėtį pridėdamas trečias fotografinis vaizdas, kuriame matomi visi išmatuotieji atraminiai taškai bei turi būti išmatuoti keli taškai papildomai.

3.4. Tikslumo įvertinimas

Norint patikrinti *iWitness* rezultatų tikslumą galima palyginti fotografiniuose vaizduose gautų ir geodeziniais metodais nustatytų koordinatų tikslumą. Toks tyrimas buvo atliktas JAV Šiaurės Karolinos valstijos suinteresuotų departamentų užsakymu. Buvo atliktas eksperimentas, kuriame skaitmenine mėgėjiška fotokamera atlikti eksperimentinės vietovės (su inscenizuotu eismo įvykiu) fotografiniai vaizdai. Buvo fotografuojama stovėjimo aikštelė (23,25 x 38,75 m).

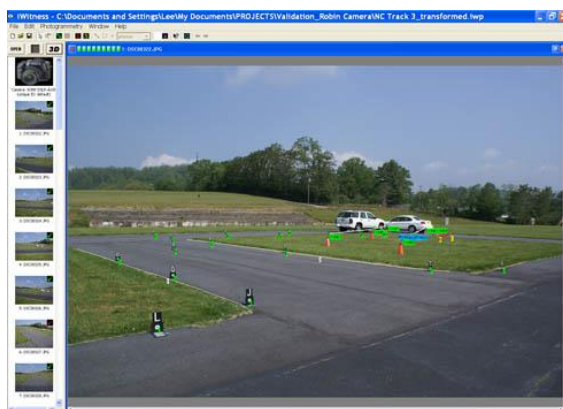
Eksperimentinėje aikštelėje buvo išdėstyti taikiniai (specialūs ženklai su baltais apskritimais apie 7 cm virš žemės paviršiaus). Visas eksperimento procesas buvo paskirstytas į tris etapus:

- 1) Nustatomos totalinės stoties 3D koordinatės vietinėje koordinatų sistemoje (X,Y,Z);
- 2) Gaunami fotografiniai vaizdai fotografuojant Sony A100 skaitmenine fotokamera (fotogrametriškai kalibruota *iWitness* programine įranga) bei panaudojus DCS fotogrametrinius taikinius;
- 3) Abiejų matavimo technologijų rezultatai buvo perkelti į CAD sistemos aplinką.

Tam, kad abu duomenų rinkiniai būtų bendroje koordinatų sistemoje ir galima būtų atlikti eksperimentinį palyginimą *iWitness* programa atliktas koordinatų transformavimas taikant mažiausių kvadratų metodą.

Elektrooptinis tacheometras buvo statomas vietose, kurios buvo pažymėtos kryžiuokais mėlyna kreida ant asfalto dangos. Elektroninio tacheometro operatoriai išmatavo 30,5 m atstumą totaline stotimi bei su nauja plienine matavimo juosta, tam, kad apdorojimo procese galima būtų

patikrinti duomenų tikslumą. Po atliktų matavimų visuose kreida pažymėtuose taškuose buvo išdėstomi taikiniai (žr. 3.9 pav.). Po to, kai fotogrametriniai taikiniai tiksliai pastatyti, išmatuoti atstumai fotografinių vaizdų masteliui nustatyti. Plienine matavimo juosta buvo išmatuoti du atstumai: 9,15 m bei 2,13 m. Išmatuotų atstumų galuose (pradžioje ir pabaigoje) pastatyti taikiniai, kurie bus matomi fotografiniame vaizde, ir galima bus tuos atstumus išmatuoti programine įranga.



3. 9 pav. Fotogrametrinių taikinių išdėstymas tacheometru išmatuotose vietose (Accuracy Performance 2008)

Atliekant eksperimentą buvo pasirinkti 23 skaitmeniniai vaizdai gauti fotografuojant tinkamiausiais perspektyviniais kampais. Visi vaizdai buvo gauti fotografuojant iš to paties aukščio virš žemės paviršiaus, o tai sąlygoja greitą ir patogų 3D eismo įvykio situacijos atstatymą. Fotografinių vaizdų taškų koordinatės buvo nustatomos *iWitness* programos orientavimo ir apdorojimo funkcijomis. Faktinis koordinačių tikslumo palyginimas buvo atliekamas CAD programinės įrangos aplinkoje, į kurią importuojami duomenys transformuoti mažiausių kvadratų metodu. Dviejų 3D duomenų rinkinių tikslumo palyginimo rezultatai: koordinačių nuokrypiai neviršijo 2,50 cm, o matavimų vidutinė kvadratinė paklaida gauta apie 1,09 cm. Programine įranga *iWitness* galima atlikti 3D matavimus su santykinę paklaida 1:50000, tačiau tai priklauso nuo fotografuojamo objekto dydžio, esant geroms fotokameros ir taikynių padėtimis bei griežtai tinklo geometrijai.

Kaip minėta plieninė matavimo juosta buvo naudojama ne mažiau kaip trims matavimams: vienas – atliekant matavimus elektroniniu tacheometru – išmatuotas 30,48 m atstumas, du fotografuojant eismo įvykio situaciją – 9,15 m ir 2,13 m. Gauta, kad atstumas išmatuotas totaline stotimi ir plienine juosta skirėsi – 0,0091 m, t.y. totaline stotimi atstumas gautas 30,471 m. Fotogrametriškai apdorojant fotografinius vaizdus nustatyti atstumai su išmatuotais plienine juosta beveik sutapo. *iWitness* programa gautos atitinkamos reikšmės: 9,1441 m ir 2,1334 m. Atlikto eksperimento rezultatų santrauka pateikta 3.10 pav. Iš 3.10 paveikslo matoma, kad *iWitness* programa taškų 3D koordinatės nustatytos tokiu tikslumu: vidutinė kvadratinė paklaida (RMS) apie 1 mm. Toks tikslumas (atliekant matavimus *iWitness* programoje) atitinka matavimų plienine juosta

tikslumą, o palyginus matavimų totaline stotimi tikslumą su *iWitness* tikslumu gauta vidutinė kvadratinė paklaida (RMS) 1,097 cm (Accuracy Performance 2008).

iWitness Project Status Summary

Project Name: NC Track 3_transformed.iwp
 Camera Name(s): SONY DSLR-A100 (unique ID: default)

Measurement Network

Number of images: 23
 Number of referenced points: 30
 Number of cameras: 1
 Quality of geometry: 1.0
 Minimum number of points on an image: 9 on image DSC00355.JPG
 Minimum point intersection angle: 57 degs for point G
 Number of points referenced on:
 2 images only: 0
 3 or more images: 30
 4 or more images: 30
 6 or more images: 30

Measurement Accuracy Summary

Scale set? Yes
 Estimated accuracy of 3D point coordinates (RMS 1-sigma level)
 X: 0.005 feet, or 1:20200
 Y: 0.006 feet, or 1:17400
 Z: 0.003 feet, or 1:37500
 Overall: 0.004 feet, or 1:22500
 Estimated accuracy of image referencing: 0.47 pixels (RMS 1-sigma level)
 Quality of self-calibration (if applied): calibration not performed

Output Files

3D coordinate file (text): N/A
 3D coordinate file (DXF): iwitness.dxf

Save Print OK

3. 10 pav. 3D matavimų tikslumo santrauka (Accuracy Performance 2008)

Gautieji rezultatai parodo, kad matavimai atlikti totaline stotimi yra mažesnio tikslumo nei fotogrametriniu būdu *iWitness* programine sistema. Tačiau eismo įvykių situacijai atkurti, 3D matavimams atlikti abu metodai tikslumo požiūriu yra tinkami ir taikytini. Palyginant 2 duomenų rinkinius nepatogumas yra tas, kad koordinatės nustatytos elektrooptiniu tacheometru yra šiaurės – rytų krypties (kairiosios rankos) koordinatinių sistemoje, o apdorojant fotonuotraukas fotogrametriškai koordinatinių sistema yra rytų – šiaurės krypties (dešinėsios rankos sistema), tam kad suvienodinti koordinatinių ašių kryptis, duomenų rinkinys gautas elektroniniu tacheometru pertvarkomas į dešinėsios rankos sistemą.

Papildomai analizuojant *iWitness* ir elektroninio tacheometro matavimo rezultatus kreida ant asfalto buvo pažymėti ir išmatuoti papildomi 3 taškai (pavadinti *Road1*, *Road2*, *Road3*) (žr. 3.11 pav.).

Control Label	X	Y	Z	Z-Offset	Closest Point	DX	DY	DZ	Total
M	-44.2913	76.1927	1.0680	0.0000	M	-0.0515	-0.0285	0.2758	0.2820
G	-44.2038	79.7832	1.1224	0.0000	G	0.0340	-0.0606	0.2306	0.2408
I	-36.5667	75.0800	1.0116	0.0000	I	0.0135	-0.0577	0.2275	0.2351
ROAD1	-37.5291	67.5243	0.8650	0.0000	ROAD1	-0.0147	-0.0606	0.0254	0.0673
ROAD2	-35.9766	69.8288	0.9389	0.0000	ROAD2	-0.0054	-0.0923	-0.0145	0.0936
ROAD3	-40.0834	71.1124	1.0010	0.0000	ROAD3	-0.0165	-0.0319	-0.0120	0.0379

Transformation Options: 3D 2D 1D Help New Point Unlink All Import Control Points Link Close Points Close Scale set and held Quality: RMS = 0.036

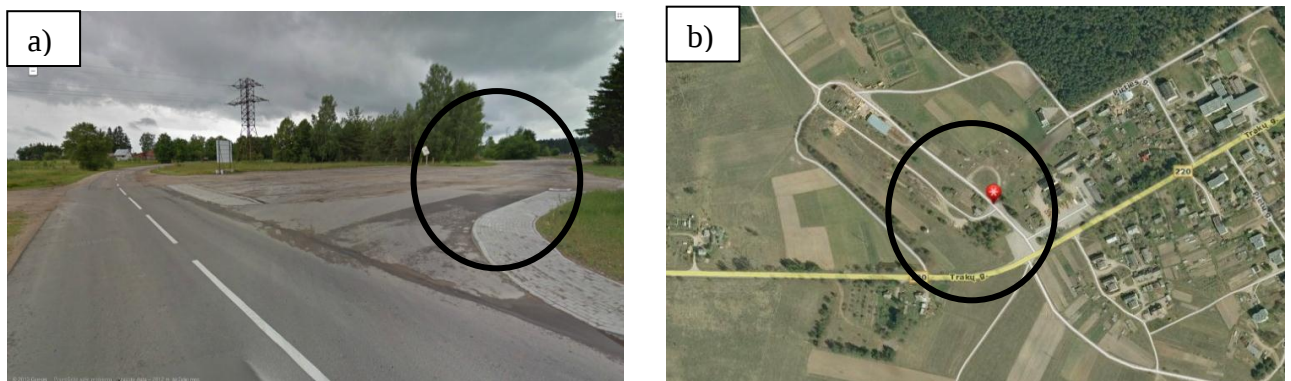
3. 11 pav. Paženklinti papildomi taškai ir jų koordinatės nustatytos *iWitness* aplinkoje (Accuracy Performance 2008)

Palyginus su tacheometro duomenimis atitinkamai gauti sekantys nuokrypiai: 2,08 cm, 2,90 cm ir 1,17 cm.

4. EISMO ĮVYKIO EKSPERIMENTINIO OBJEKTO SITUACIJOS ATKŪRIMAS FOTOGRAMETRINIAIS METODAIS

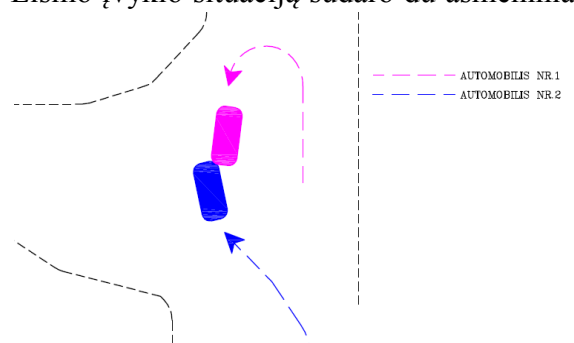
Eksperimentinio tyrimo objektas buvo – eismo įvykis. Tai gali būti kelių automobilių sandūra, avaringa situacija, kuri galėjo sukelti nelaimingą atsitikimą bei pavojų kitų žmonių sveikatai ir turtui. Tokių įvykių kasdienybėje yra nemažai, jiems užfiksuoti bei situacijai analizuoti reikia nemažai laiko bei eismo įvykio dalyvių sutikimų. Darbe atliekamas inscenizuoto eismo įvykio modeliavimas.

Tyrimo objektas – inscenizuotas eismo įvykis Rūdiškių mieste (žr. 4.1 pav.), dviejų automobilių susidūrimo situacija stovėjimo aikštelėje prie vietinės reikšmės kelio, 90 m atstumu nuo krašto kelio Nr. 202, Trakai – Rūdiškės – Pivašiūnai – Onuškis. Susidūrimo vietoje nėra intensyvaus eismo, aikštelėje susidūrimo metu kitų transporto priemonių nebuvo.



4. 2 pav. Eismo įvykio vieta: a) Google Street View nuotraukoje (maps.google.lt 2013), b) 2009 m. ortofotografiniame žemėlapyje (Google Maps žemėlapis 2013)

Eismo įvykio inscenizacija ir dviejų transporto priemonių padėtis pasirinkta taip, kad nekliudytų kitų transporto priemonių eismui, nesudarytų žalos aplinkai, neužstotų pravažiavimo prie esančių statinių. Pagal pateikiamus žemės informacinės sistemos duomenis, teritorija, kurioje nagrinėjamas transporto priemonių susidūrimas, priklauso Lietuvos Respublikai, Registre įregistruota kaip Rūdiškių girininkijos naudojama žemė. Eismo įvykio inscenizavimui pasirinkta vieta buvo tinkama bei patogi eksperimentui vykdyti. Eismo įvykio situaciją sudaro du asmeniniai automobiliai, t.y. raudonas Toyota Avensis (automobilis Nr. 1) bei mėlynas Opel Vectra (automobilis Nr. 2). Situacijoje vaizduojama, kaip manevruojant aikštelėje automobilis Nr. 1 nesugebėjo sustabdyti transporto priemonės ir išvengti susidūrimo su priešais atvažiuojančiu automobiliu Nr. 2 (žr. susidūrimo schemą 4.2 pav.).



4. 3 pav. Transporto priemonių susidūrimo situacijos schema

Eismo įvykio vieta pagal Kelių eismo taisykles (Lietuvos Respublikos Vyriausybės nutarimas 2003) neprivalo būti tiriama policijos pareigūnų, jeigu nėra nukentėjusių eismo dalyvių arba kitų sunkinamųjų aplinkybių, automobilių savininkams sutarus dėl žalos atlyginimo. Įvykus eismo įvykiui, kuriame yra daugiau nei dvi transporto priemonės rekomenduojama pasitelkti policijos pareigūnų pagalbą. Kitais atvejais leidžiama užpildyti eismo įvykio deklaraciją be pareigūnų dalyvavimo. Remiantis užsienyje sparčiai populiarėjančia praktika – policijos pareigūnai, atvykę į eismo įvykio vietą atlieka situacines nuotraukas ir tiria eismo įvykį, naudodami šiuolaikines priemones: fotokameras, kompiuterius, naujausias programas ir kt.

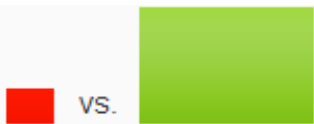
Eksperimentiniame tyrime nagrinėjama, kaip vykdoma eismo įvykio analizė, naudojant fotografinius vaizdus, apdorojant juos fotogrametriniais metodais. Vietovė, kurioje buvo atliekamas tyrimas yra Rūdiškių miestas – tai tankiai apgyvendintas miestelis, kuriame gyvena apie 2205 gyventojų (LR Statistikos departamentas 2013). Pagal informacinį leidinį „*Eismo įvykių statistika Lietuvoje*“, kurį parengė Transporto ir kelių tyrimo institutas, Rūdiškių mieste eismo įvykiai įvyksta taip pat dažnai kaip ir kituose gausiai apgyvendintuose miestuose. Krašto kelias, esantis prie eksperimentinio tyrimo aikštelės, priskiriamas prie avaringiausių krašto kelių Lietuvoje. Pasitelkus gautais fotografiniais vaizdais, fotogrametriniu būdu, buvo kuriamas eismo įvykio vietovės modelis.

4.1. Eismo įvykio situacijos fotografavimas

Eismo įvykis buvo fotografuotas 2012 metais lapkričio 11 dieną, fotografuota dienos metu apie 14 valandą. Fotografavimui buvo naudojamos dvi fotokameros: skaitmeninė mėgėjiška fotokamera *Olympus X960* bei mėgėjiška fotokamera *Cannon EOS 550D* (techninių charakteristikų palyginimas pateiktas 4.1 lentelėje).

4.1 lentelė. Skaitmeninių fotokamerų techninių parametrų palyginimas (Digital camera database 2013)

Techninės charakteristikos	<i>Olympus X-960</i>	<i>CANON EOS 550D</i>
1	2	3
Megapikselių skaičius	14.00	18.00
Maksimali skiriamoji geba	4288 x 3216	5184 x 3456
Kaina	210 LT	1800 LT
Jutiklių matricos tipas	CCD	CMOS
Jutiklių matricos dydis	1/2.33" (~ 6.16 x 4.62 mm)	22.3 x 14.9 mm
Jutiklių matricos skiriamoji geba	4315 x 3244	5196 x 3464
Įstrižainė	7.70 mm	26.82 mm
Jutiklių matricos paviršiaus plotas	28.46 mm ²	332.27 mm ²

4.1 lentelės pabaiga		
1	2	3
Jutiklių matricų dydžių palyginimas	 <i>Fotokameros Cannon EOS 550D jutiklių matrica yra 12 kartų didesnė nei fotokameros Olympus X-960</i>	
Pikselio dydis	1.43 μm	4.29 μm
Pikselio plotas	2.04 μm^2	18.4 μm^2
Pikselių tankumas	49.07 MP/cm ²	5.43 MP/cm ²
Bendras megapikselių skaičius	n/a	18.07
Naudingų megapikselių skaičius	n/a	18.00
Optinis didinimas	Yra	n/a
Skaitmeninis didinimas	Yra	Yra
ISO	Auto, 80, 100, 200, 400, 800, 1600	Auto, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400, 12800
Automatinis fokusavimas	Yra	Yra
Fizinis fokusavimas	Nėra	Yra
Židinio nuotolis	26 - 130 mm	n/a
Diafragma	f2.6 - f5.9	n/a
Ekspozicijos kompensavimas	-2EV - +2EV su 1/3EV žingsniais	-5EV - +5EV su 1/3 ar 1/2 žingsniu
Blykstės režimai	Anti red-eye, Auto, Fill in, Off, Slow flash	Auto, On, Off, Red-eye
Įmontuota blykstė	Yra	Yra
Išorinė blykstė	Nėra	Yra
Vaizdo ieškiklis	Nėra	Optinis
Kontrasto balansas	7	6
LCD ekranas	Yra	Yra
LCD dydis	2.7"	3"
LCD skiriamoji geba	230,000	1,040,000
Minimali fotonuotaukos skiriamoji geba	640 x 480	2592 x 1728
USB universalioji jungtis	USB 2.0 Hi-Speed	USB 2.0 Hi-Speed
Baterija	Li-Ion	Li-Ion
Svoris	124 g	530 g
Matmenys	94.1 x 55.8 x 19.9 mm	128.8 x 97.5 x 75.3 mm
Metai	2009	2010
Gamintojas	JAV	Vokietija

čia: n/a – angl. not applicable, t.y. netaikomas

Prieš fotografavimą atlikti šie paruošiamieji darbai:

- Patikrinta ar fotokamerų atminties kortelėse yra pakankamai atminties;
- Patikrintos fotokamerų baterijos (turi būti pilnai įkrautos);
- Apžiūrėta vietovė ir pasirinktos vietos fotografavimo stotims (apie 4 m nuo tyrimo objekto). Fotokameros stotys parenkamos taip, kad fotonuotraukos dengtų viena kitą apie 60 – 80 % ir fotografavimo spinduliai susikirstų kampu apie 90°;
- Parengti ir kreida paženklinėti atraminiai taškai (su kreida arba purškiamais dažais);
- Suregulius fotokameros stovo aukštį, stovas išgulščiuojamas;
- Pritvirtinta fotokamera ant stovo.

Atlikus paruošiamuosius darbus, eismo įvykis fotografuotas tokia tvarka:

- Stovas su pritvirtinta fotokamera statomas vienoje iš stočių, stebima stovo gulščiuko padėtis.
- Atsižvelgiant į transporto priemonių išsidėstymą pasirinktas fotografavimo būdas – konvergentinis;
- Fotokamera nukreipiama į fotografuojamąjį objektą. Atraminiai taškai matomi fotonuotraukose. Objektas fotografuojamas. Fotografavimas tęsiamas kitose stotyse.
- Fotografavimas atliktas abejomis fotokameromis, apeinant objektą aplink ratu.
- Išmatuotas atstumas tarp kameros stoties ir susidūrusių transporto priemonių.

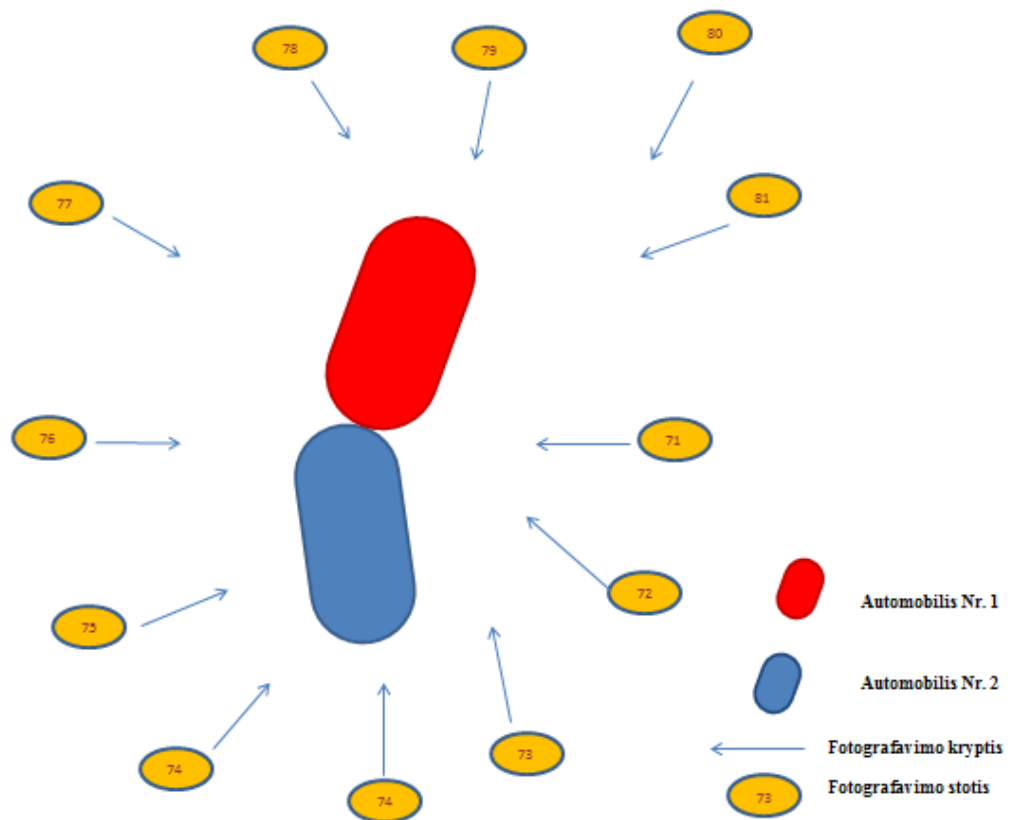
Atliekant fotografavimą kita fotokamera buvo parinktos kitos fotografavimo stotys.

Duomenys apie fotografavimą abejomis fotokameromis pateikti 4.2 lentelėje.

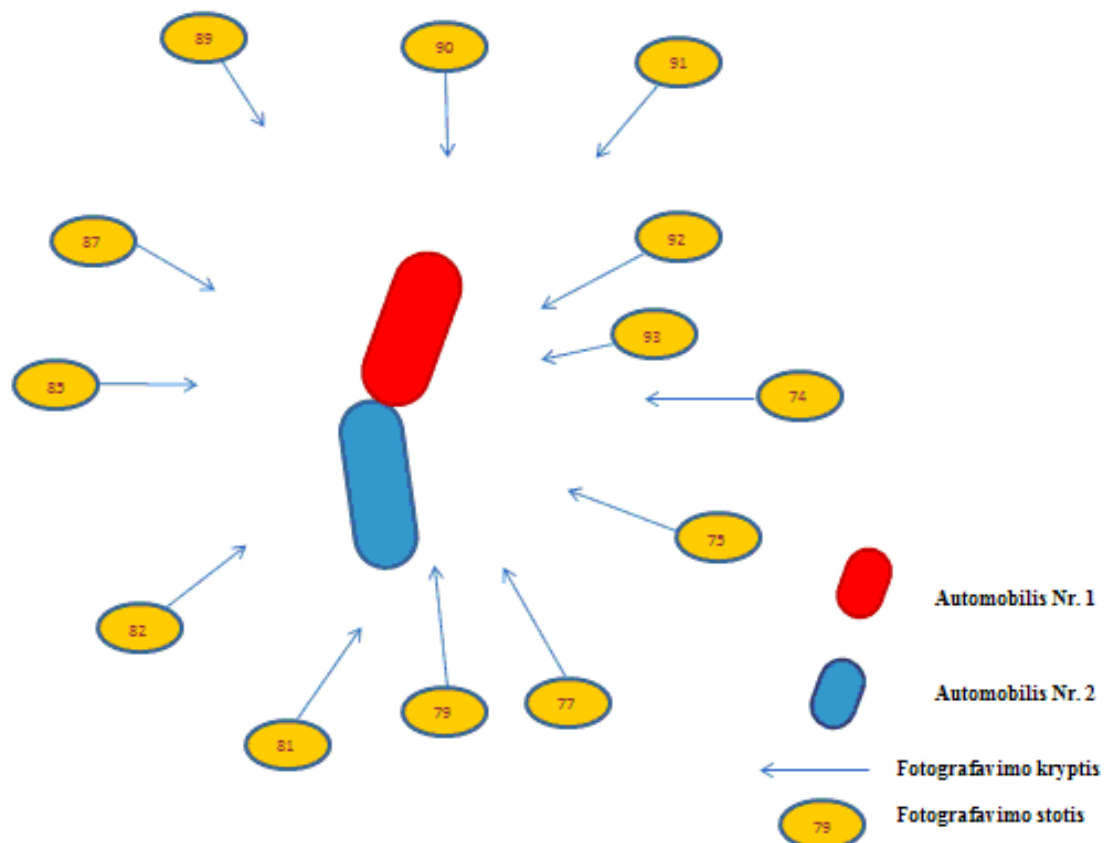
4.2 lentelė. Eismo įvykio fotografavimo duomenys

Data	2012.11.11	2012.11.11
Kamera	<i>Olympus X-960</i>	<i>Cannon EOS 550D</i>
Stočių skaičius	15	12
Fotonuotraukų skaičius	25	43
Fotografinio vaizdo dydis	5184x3456 (pikselių)	4288x3216 (pikselių)
Skiriamoji geba	72 dpi	72 dpi
Židinio nuotolis	18 mm	5 mm
Fotonuotraukos centras	2592x1728 (pikselių)	2144 x 1608 (pikselių)

Tiriamąjį objekto situacijos ir fotografavimo stočių išsidėstymo schema pateikiama 4.3, 4.4 paveiksluose.



4. 4 pav. Eismo įvykio fotografavimo schema fotografuojant *Cannon EOS 550D* fotokamera

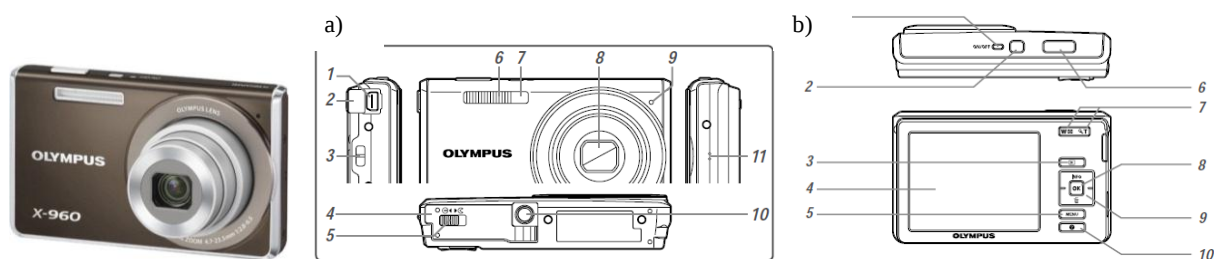


4. 5 pav. Eismo įvykio fotografavimo schema fotografuojant *OlympusX-960* fotokamera

Iš gautųjų 68 nuotraukų, buvo atrinkti 25 kadrai, kuriuose yra išlaikytos fotografavimo sąlygos, nuotraukos yra ryškios, kokybiškos ir aiškiai matomi atraminiai taškai. Naudojamos fotokameros yra mėgėjiškos fotokameros, skirtos neprofesionaliems fotografavimo darbams. Gautos skaitmeninės fotonuotraukos iškraunamos iš fotokamerų *.JPG formatu, jos perkeliamos į specialią programinę įrangą.

Fotonuotrauka į skaitmeninį formatą įrašoma elektroninių įrenginių pagalba. Objekto fotonuotrauka gaunama šviesos elektroniniams impulsams patekus į jutiklių matricą.

Eksperimente naudotų fotokamerų nuotraukos pateikiamos 4.5 – 4.6 paveiksluose.



4. 6 pav. Eksperimentiniame tyrime naudojama fotokamera *Olympus X-960* (Eksplotavimo instrukcija *Olympus X-960* 2013)

a) Fotokameros sudedamosios dalys: 1 – daugiavertinis jungtis; 2 – jungties dangtelis; 3 – kilpelė kameros dirželiui; 4 – baterijos, stumties kortelės dangtelis; 4 – baterijos skyriaus, atminties kortelės užraktas; 5 – blykstės lemputė; 6 – kameros būsenos lemputė; 7 – objektyvas; 8 – mikrofonas; 9 – jungtis prie stovo; 10 – garsiakalbis;

b) Fotokameros *Olympus X-960* funkcinių mygtukų paaiškinimai: 1 – indikatoriaus lemputė; 2 – įjungimo/išjungimo mygtukas; 3 - mygtukas (norint pakeisti į filmavimo būseną); 4 – monitorius; 5 – Meniu iškvietimo mygtukas; 6 – užrakto mygtukas; 7 – didinimo/mažinimo mygtukai; 8 – OK mygtukas; 9 – rodyklių mygtukai, Info mygtukas – pateikiamos informacijos keitimas; 10 – pagalbos iškvietimo mygtukas.

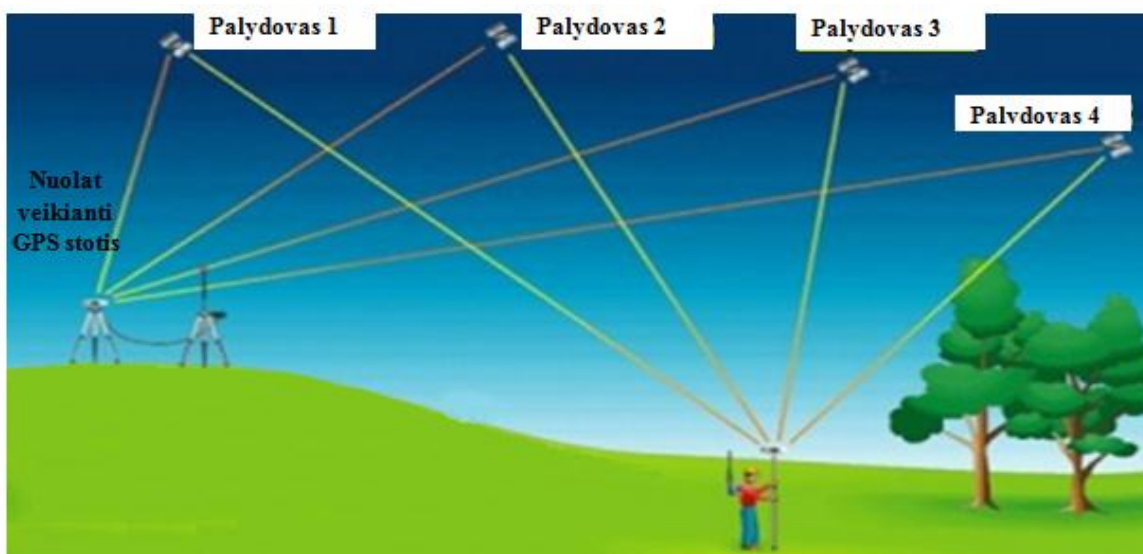


4. 7 pav. Eksperimentiniame tyrime naudojama fotokamera *Cannon EOS 550D*

Eksperimentinio eismo įvykio fotografavimo rezultatai – fotografiniai vaizdai gauti iš 10 fotografavimo stočių fotokamera *Olympus X-960* ir fotografiniai vaizdai gauti iš 14 fotografavimo stočių fotokamera *Cannon EOS 550D*, pateikiami priede B ir C.

4.2. Fotogrametrinio pagrindo kūrimas

Fotogrametrinis pagrindas kuriamas naudojant globalios padėties nustatymo sistemą. Globalinė padėties nustatymo sistema (toliau – GPS) – yra palydovinė radionavigacijos sistema, padedanti spręsti navigacinius uždavinius realiaame laike, bent kuriose vietose GPS imtuvai priima signalus iš visų palydovų, kurie yra „matomumo“ zonoje. GPS palydovai, būdami tikslios ataskaitos taškais, siunčia signalus į GPS imtuvus, kurie nustato, kiek laiko signalas sklido nuo kiekvieno palydovo iki imtuvo antenos. Gauta laiko ir signalų sklidimo greičio sandauga yra atstumas tarp palydovo ir antenos. Jei žinomas tikslus atstumas nuo bent trijų palydovų, tai jau galima mažesniu tikslumu nustatyti vartotojo padėtį žemėje (Venckus 2009). Atliekant vietovės topografinę nuotrauką gaunamos taškų geodezinės koordinatės, atstumai, kampai, vietovės aukščiai jau yra įrašomi skaitmeniniu formatu, todėl ši informacija iš prietaisų perkeliama į kompiuterį. Matavimai grindžiami principu, kad bet kokio objekto padėtį horizontalioje ir vertikalioje plokštumose galima nustatyti matuojant kampus ir atstumus iš taškų, kurių padėtis yra žinoma (žr. 4.7 pav.) (Gurkllys 2008).



4. 8 pav. Matavimai GPS prietaisu naudojant referencinės stoties duomenis

Apie nagrinėjamą vietovę tvirtų geodezinių punktų nerasta, todėl matavimai atlikti iš virtualios stoties – pagal GPS referencinės stoties duomenis. GPS referencinės ir virtualiosios stotys telemetrinio ryšio kanalais transliuoja naudotojams koordinačių, pseudoatstumų, nešlio fazių pataisas tam tikrų modelių pavidalu. Šios pataisos naudotojų imtuvuose panaudojamos atitinkamiems matavimų rezultatams arba parametrų reikšmėms pataisyti. Vartotojo padėties koordinačių pataisos (teikiamos GSM ir GPRS technologijomis) priklauso nuo atstumo tarp vartotojo ir virtualiosios stoties bei krypties į šią stotį (LITPOS – valstybinis nuolat veikiančių referencinių stočių tinklas 2013). Sudarant geodezinį pagrindą, buvo nustatytos 66 taškų koordinatės valstybinėje koordinačių sistemoje (LKS-94). Šie taškai vietovėje buvo paženklinėti

mėlynos spalvos purškiamais dažais. Taškų koordinacių nustatymas buvo atliktas su GPS prietaisu – **Leica System 1200** (modelis **RX1250X**). Atramos taškų koordinatės buvo nustatytos ± 1 cm tikslumu. Koordinacių matavimai priklauso nuo GPS palydovų išsidėstymo bei jų skaičiaus, tam, kad galima būtų atlikti geodezinius matavimus reikalingi mažiausiai 4 registruojami palydovai. GPS imtuvas dirba *Windows CE* aplinkoje ir skirtas įvairioms geodezinėms užduotims atlikti. Duomenų kaupiklyje (valdiklyje) yra atliekamas tiesioginis duomenų saugojimas, taškų, linijų bei poligonų redagavimas, kodavimas, GIS atributinių duomenų kaupimas, redagavimas. Pagrindinės funkcijos, kurios gali būti atliktos šiuo prietaisu: piketų matavimas, taškų nužymėjimas, duomenų importas ir eksportas, neprieinamo taško matavimas, linijų, plotų matavimas. Detali informacija apie naudojama GPS įrangą pateikiama 4.3 lentelėje.

4.3 lentelė. Dviražnio GPS Leica Systems 1200 prietaiso aprašymas (Leica RX1200 vartotojo vadovas 2008)

MODELIS	RX1250X	
1	2	
Maitinimo tipas	Įdedama baterija Li-Ion 2.2 Aч/7.4 B	
Komplekte su prietaisu	TPS1200+, TS30	
Paskirtis	Tacheometrų TPS1200+, TS30 nuotolinis valdymas	
Operacinė sistema	Windows CE 5.0	
Vidinės atminties dydis (flash atmintis)	Compact Flash: 64Mb, 256 Mb, 1 GB	
Sąsajos	Prie GPS1200 korpuso prijungiamos be laido 8 pin Lemo-1; Bluetooth	
Ekranas	Daugiakontrastinis ekranas 1/4 VGA, liečiamas ekranas, 11 eilučių mygtukų po 32 simbolius	
Klaviatūra	Pilna klaviatūra QWERTY. Foninis mygtukų ir ekrano apšvietimas	
Maksimalus nepertraukiamo darbo laikas, val.	Daugiau kaip 5 valandos	
Darbo temperatūrų diapazonas	nuo -30 C iki +65 C	
Apsauga nuo smūgio	Atlaikytų kritimą nuo 1 m	Naudotas dviražnis imtuvas atramos taškų koordinatėms nustatyti
Apsauga nuo virpesių	Atlaikytų statybos įrangos ir mechanizmų vibraciją ISO9022, MIL-STD-810F.	
Matmenys	0.218 x 0.123 x 0.047 m	
Svoris	0,741 kg (su baterija)	
Gamintojas	Leica Geosystems, Šveicarija	

Šiuo tiksliuoju prietaisu išmatuoti 66 taškai, kurių koordinatės nustatytos LKS-94 koordinacių sistemoje (žr. 4.4 lentelę). Eismo įvykio vietoje pažymėti ir geodeziškai išmatuotų taškų išsidėstymas pateikiamas 4.8 – 4.9 paveiksluose.



4. 9 pav. GPS prietaisu matuoti taškai matomi fotografiniame vaizde (fotokamera – *Olympus X-960*)



4. 10 pav. GPS prietaisu matuoti taškai matomi fotografiniame vaizde (fotokamera – *Cannon EOS 550D*)

4.4 lentelė. Išmatuotų taškų koordinatės LKS-94 koordinatinių sistemoje

<i>Taško numeris</i>	<i>X, m</i>	<i>Y, m</i>	<i>Z, m</i>
1	6042097,923	552739,264	156,481
2	6042100,953	552738,065	156,540
3	6042103,217	552735,930	156,621
4	6042107,121	552734,510	156,690
5	6042109,944	552731,516	156,767
6	6042107,978	552729,224	156,748
7	6042102,891	552733,955	156,606
8	6042102,067	552734,581	156,599
9	6042100,837	552735,657	156,572
10	6042097,363	552738,067	156,511
11	6042099,489	552735,637	156,546
12	6042099,274	552734,979	156,568
13	6042098,699	552735,291	156,576
14	6042097,308	552735,784	156,557
15	6042096,248	552736,187	156,537
16	6042094,763	552737,767	156,509
17	6042095,000	552735,715	156,553
18	6042092,654	552737,07	156,547
19	6042093,989	552734,374	156,610
20	6042095,616	552734,454	156,566
21	6042096,586	552734,159	156,568
22	6042098,126	552733,531	156,587
23	6042099,228	552733,959	156,588
24	6042099,768	552734,133	156,592
25	6042100,729	552733,298	156,597
26	6042101,671	552732,527	156,628
27	6042094,686	552732,591	156,633
28	6042096,087	552732,502	156,612
29	6042094,627	552731,136	156,64
30	6042095,912	552730,844	156,636
31	6042096,742	552729,986	156,635
32	6042098,245	552729,839	156,609
33	6042098,953	552731,228	156,61
34	6042101,514	552728,369	156,662

4.4 lentelės pabaiga			
35	6042102,565	552730,039	156,658
36	6042103,058	552732,404	156,648
37	6042106,627	552726,436	156,755
38	6042107,561	552726,079	156,737
39	6042109,891	552725,085	156,845
40	6042116,564	552717,778	157,114
41	6042123,843	552708,392	157,253
42	6042127,980	552710,715	157,219
43	6042123,904	552715,987	157,206
44	6042119,411	552721,915	157,073
45	6042119,211	552726,643	156,853
46	6042117,008	552734,770	156,668
47	6042125,429	552735,885	156,546
48	6042122,458	552734,991	156,542
49	6042125,841	552739,427	156,367
50	6042119,327	552739,354	156,325
51	6042112,906	552739,596	156,617
52	6042100,578	552749,767	156,364
53	6042094,351	552754,638	156,223
54	6042087,492	552760,213	156,112
55	6042064,481	552763,346	156,069
56	6042073,774	552756,400	156,155
57	6042081,910	552742,016	156,334
58	6042084,759	552730,953	156,546
59	6042084,833	552724,686	156,611
60	6042082,938	552717,938	156,711
61	6042081,466	552713,814	156,736
62	6042086,850	552709,391	156,745
63	6042097,037	552718,944	156,499
64	6042098,621	552717,943	156,518
65	6042100,286	552719,469	156,540
66	6042101,503	552722,610	156,610

4.3. Eismo įvykio fotonuotraukų apdorojimas fotogrametrine programine sistema

LISA

Eismo įvykių nagrinėjimui ir registravimui fotogrametriniais metodais taikomos antžeminės fotogrametrinės sistemos. Eksperimentiniame darbe fotogrametriškai apdoroti fotografinius vaizdus naudojamos programinės įrangos *LISA* bei *PICTRAN-D, -B*. Fotogrametrinė sistema *LISA* yra pritaikyta apdoroti aerofotonuotraukas, t.y. vaizdus atliktus fotokamerais esant virš žemės paviršiaus, tačiau gali būti naudojama, tam tikrais atvejais, ir antžeminių fotografinių vaizdų apdorojimui. Tyrimo metu siekiama nustatyti ar fotogrametrinė sistema *LISA* taikytina eismo įvykių modelių kūrimui. Programinė įranga *LISA* yra paranki naudoti įvairiose srityse, netgi kuriose nesiekama gauti aukšto tikslumo rezultatų.



Fotonuotraukų apdorojimo programa *LISA*. Skaitmeninėms nuotraukoms apdoroti naudojama programinė įranga susidedanti iš trijų paketų:

LISA BASIC – rastrinių GIS duomenų apdorojimo ir modeliavimo programa;

LISA FOTO – *LISA BASIC* tęsinys skaitmeninių fotonuotraukų apdorojimo paprogramė;

BLUH – profesionali programinė įranga optimizuota aerotrianguliacijai.

Programinė įranga *LISA*, sukurta Vokietijos specialistų, yra skirta skaitmeninės fotogrametrijos vaizdams apdoroti ir atlikti matavimus fotonuotraukose. Programa gali būti pritaikoma tokiose srityse kaip: žemės ūkis, miškininkystė, archeologija, architektūra, chirurgija, pakrančių apsauga, eismo įvykių tyrimas, geografija, hidrologija, istorinių paminklų tyrimai, karjerų tyrimai, miesto ir regionų planavimas ir kt.

Ši programinė priemonė nėra tiesiogiai susijusi su objektu, bet su objekto vaizdais. Išskiriami šie privalumai naudojant šią sistemą (*LISA Geo* – Software GmbH 2013):

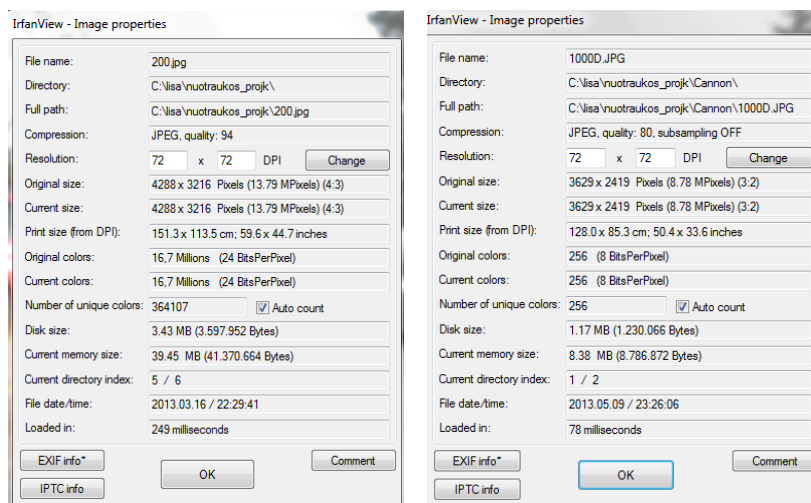
1. Be jokio tiesioginio fizinio kontakto, matavimo metodu fotonuotraukose, leidžiama matuoti vienalyčius, skystus ar net dujinius objektus (pvz., pėdsakai sniege, debesys);
2. Ši vaizdų apdorojimo priemonė išanalizuoja objektus pati net tais atvejais kuomet objektas negali būti prieinamas (pvz., sunkus pasiekimas arba įmanomas tik per trumpą laiką);
3. Leidžia tirti objektus, kurie realybėje jau neegzistuoja, tačiau yra užfiksuoti skaitmeniniuose vaizduose (pvz., pastatai, kurie buvo sunaikinti per karą);
4. Su dvejomis sinchronizuotomis fotokameromis galima matuoti vaizduojamus judančius reiškinius (pvz., bangavimas, gyvūnų judėjimas, susidūrimo analizavimas);

5. Ši priemonė taip pat puikiai tinka apdorojant savos gamybos nufotografuotų vaizdų iš oro (aitvarų, UAV prietaisų ar skaitmeninių fotokamerų);

LISA programa turi kelias paprogrames, kurios tarpusavyje gali būti siejamos, t.y. skaitmeniniai vaizdai paruošiami su *LISA FOTO* programa ir toliau yra apdorojami su *LISA BASIC* sukuriant 3D modelį, užkeliant horizontales ir kt. Apdorojant fotografinius vaizdus su programa yra atliekami šie procesai: išorinis ir absoliutusias orientavimas, stereoskopiniai matavimai, paviršiaus modelio sukūrimas ir kt.

Prieš pradėdant dirbti programa *LISA*, reikia atkreipti dėmesį, kad fotonuotraukos apdorojamos programa privalo būti nespaltotos ir neviršyti 10MB. Gautų fotonuotraukų dydžiai yra apie 9,44 MB, 9,04 MB, jos spalvotos, todėl yra atliekami šie paruošiamieji darbai:

- Programa *IrfanView* keičiamas fotonuotraukų dydis. Programoje atlikti šie veiksmai: atidarytas vienas iš pasirinktų fotografinių vaizdų, spaudžiama *Image* → *Resize/Resample*, pasirodo langas, laukelyje Set new size as percentage of original įrašoma procento reikšmė, kuria norima didinti arba mažinti nuotraukos dydį.
- Pasirinkus *Image* → *Convert to Grayscale* nuotrauka padaroma juodai balta. Išsaugomi pakeitimai, sumažintų ir originalų fotonuotraukų informacija pateikta 4.10 paveiksle.



4. 11 pav. Fotonuotraukos parametrai prieš ir po pertvarkymo

- Fotonuotraukos transformuojamos į *.IMA formatą (8 bitų). Atidaroma programinė įranga *LISA BASIC* ir pasirenka *File* → *Import raster image*, atsidariusiame lange pažymima kokio formato nuotrauką norima importuoti (pasirinkta JPG) ir → *OK*, pasirenkus nuotrauką iš katalogo ir suteikus nuotraukai naują pavadinimą iš skaitmenų. Spaudžiama *OK*.

Atlikus paruošiamuosius veiksmus galima atlikti pasirinktų fotografinių vaizdų aprodojimą programine įranga *LISA FOTO*. Fotografuota dvejomis fotokameromis (*Olympus X-960* ir *Cannon EOS 550D*) taigi pasirinkti keturi tinkamiausi fotografiniai vaizdai (žr. 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 pav.).



4. 12 pav. Dešinėsios fotonuotraukos vaizdas (fotokamera – *Cannon EOS 550D*)



4. 13 pav. Kairiosios fotonuotraukos vaizdas (fotokamera – *Cannon EOS 550D*)



4. 14 pav. Dešinėsios fotonuotraukos vaizdas (fotokamera – *Olympus X-960*)



4. 15 pav. Kairiosios fotonuotraukos vaizdas (fotokamera – *Olympus X-960*)

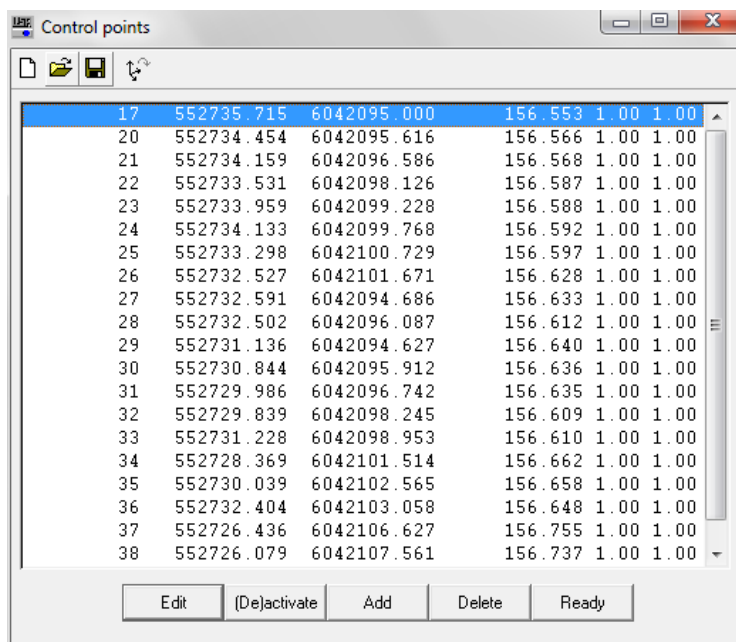
Fotografinių vaizdų apdorojimas pradedamas duomenų rinkinio (projekto) apibūdinimu. Atidaroma programa *LISA FOTO*, pasirodžiusiame lange nurodoma, kad sukuriamas naujas projektas *Define New project*, žr. 4.15 pav. Pasirodo langas *Project definition*, jame nurodomas projekto pavadinimas, išsaugojimo direktorija, skaitmeninių vaizdų koordinatčių ribos, pikselio dydis, altitudžių reikšmės, naudojamus matavimo vienetus.

4. 16 pav. Projekto nustatymų paruošimas

Sekantis žingsnis – tai fotokamerų parametrų pateikimas. Abi fotokameros yra skaitmeninės matricinės, todėl pagrindinių parametrų aprašyme pateikiama: fotokameros matricos eilučių bei stulpelių skaičių, pikselio dydis [μm], pagrindinio taško koordinatės [mm] (artimos nuliui), židinio nuotolis [mm]. Pasirenkama *Pre programmes* $\rightarrow$ *Camera definition* $\rightarrow$ *Digital*, pasirodžiusiame lange pateikiama fotokamerų informacija (žr. 4.16 pav.). Atvejais, kai turimi kalibravimo sertifikatai, visa informacija įkeliama iš jų. Šiame etape sukuriami du failai, viename fotokameros apibūdinimas (*.CMR), kitame pateikiami nustatyti vidinio orientavimo parametrai (*.INN).

4. 17 pav. Skaitmeninių fotokamerų parametrų įvedimas: a) *Cannon 550D* skaitmeninės fotokameros nustatymai; b) *Olympus X-960* fotokameros parametrų nustatymai

Iš koordinačių katalogo į programą įvedamos atraminių taškų reikšmės, sukuriamas kontrolinių taškų sąrašas: *Pre programmes* → *Control point editor*, žr. 4.17 pav. Atraminiai taškai, kurie bus naudojami išoriniame orientavime yra: 17, 29, 33, 36, 102.

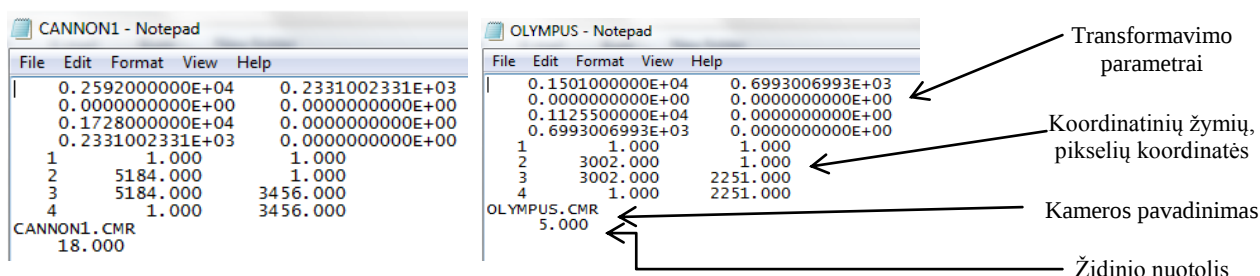


ID	X	Y	Z	W1	W2
17	552735.715	6042095.000	156.553	1.00	1.00
20	552734.454	6042095.616	156.566	1.00	1.00
21	552734.159	6042096.586	156.568	1.00	1.00
22	552733.531	6042098.126	156.587	1.00	1.00
23	552733.959	6042099.228	156.588	1.00	1.00
24	552734.133	6042099.768	156.592	1.00	1.00
25	552733.298	6042100.729	156.597	1.00	1.00
26	552732.527	6042101.671	156.628	1.00	1.00
27	552732.591	6042094.686	156.633	1.00	1.00
28	552732.502	6042096.087	156.612	1.00	1.00
29	552731.136	6042094.627	156.640	1.00	1.00
30	552730.844	6042095.912	156.636	1.00	1.00
31	552729.986	6042096.742	156.635	1.00	1.00
32	552729.839	6042098.245	156.609	1.00	1.00
33	552731.228	6042098.953	156.610	1.00	1.00
34	552728.369	6042101.514	156.662	1.00	1.00
35	552730.039	6042102.565	156.658	1.00	1.00
36	552732.404	6042103.058	156.648	1.00	1.00
37	552726.436	6042106.627	156.755	1.00	1.00
38	552726.079	6042107.561	156.737	1.00	1.00

4. 18 pav. Įvestų atramos taškų koordinačių sąrašas

Programinėje įrangoje *LISA* taikoma kairiosios rankos koordinačių sistema (t.y. x nukreipta į dešinę, y į viršų), todėl geodezinės koordinatės X ir Y pakeičiamos vietomis. Iš 4.17 paveiksloma, kad šiame lange galima pakeisti kontrolinių taškų koordinates, pridėti naujas reikšmes, ištrinti esamas. Atraminių taškų žiniaraštis sukuriamas mygtuku *Ready*.

Fotografinių vaizdų orientavimas ir modelio kūrimas. 3D matavimai stereomodelyje. Naudotos fotokameros yra skaitmeninės, o ne analoginės, todėl fotografiniuose vaizduose nėra įrengiamos koordinatinės žymės. Vidinį orientavimą programa skaičiuoja (pagal afininį transformavimo metodą) automatiškai apibrėžiant fotokameros parametrus, sukuriama *.INN formato duomenų failai (žr. 4.18 pav.).



File	Line	Parameter	Value
CANNON1 - Notepad	1	Transformavimo parametrai	0.2592000000E+04
	2	Transformavimo parametrai	0.2331002331E+03
	3	Transformavimo parametrai	0.0000000000E+00
	4	Transformavimo parametrai	0.0000000000E+00
	5	Transformavimo parametrai	0.1728000000E+04
	6	Transformavimo parametrai	0.0000000000E+00
	7	Transformavimo parametrai	0.2331002331E+03
	8	Transformavimo parametrai	0.0000000000E+00
	9	Koordinatinių žymių, pikselių koordinatės	1.000
	10	Koordinatinių žymių, pikselių koordinatės	1.000
OLYMPUS - Notepad	1	Transformavimo parametrai	0.1501000000E+04
	2	Transformavimo parametrai	0.6993006993E+03
	3	Transformavimo parametrai	0.0000000000E+00
	4	Transformavimo parametrai	0.0000000000E+00
	5	Transformavimo parametrai	0.1125500000E+04
	6	Transformavimo parametrai	0.0000000000E+00
	7	Transformavimo parametrai	0.6993006993E+03
	8	Transformavimo parametrai	0.0000000000E+00
	9	Koordinatinių žymių, pikselių koordinatės	1.000
	10	Koordinatinių žymių, pikselių koordinatės	1.000
OLYMPUS.CMR	1	Kameros pavadinimas	OLYMPUS.CMR
	2	Židinio nuotolis	5.000

4. 19 pav. Canon EOS 550D ir Olympus X-960 fotokamerų vidinio orientavimo rezultatai

Vidinio orientavimo failuose išsaugomi transformavimo parametrai, kuriais remiamasi pereinant iš pikselių koordinačių sistemos (eilučių ir stulpelių) į sąlyginę koordinačių sistemą (x , y [mm]).

Išoriniam orientavimui reikia turėti: mažiausiai tris atraminių taškų koordinates (X , Y ir Z) bei du persidengiančius skaitmeninius vaizdus (stereoporą). Šio orientavimo tikslas yra rasti tokią dviejų skaitmeninių vaizdų padėtį, kad kiekvienas sanklotos taškas atitiktų sąlygą: spindulys einantis per kairiosios fotonuotraukos tašką P' ir projekcijos centrą O_1 , ir spindulys einantis per dešinėsios fotonuotraukos tašką P'' ir projekcijos centrą O_2 , turi susikirsti viename taške.

Išorinis orientavimas atliekamas kiekvienam fotografiniam vaizdui atskirai, naudojant tą patį atraminių taškų katalogą. Kiekvienoje nuotraukoje išmatuojama po 8 atraminius taškus. Taškų ieškoma pagal pateiktus abrisus (žr. priedą D), stumdydami ekraną laikant dešinį pelės klavišą. Išmatavus tašką eilutės gale atsiranda raidelė M , kuri reiškia, kad taškas išmatuotas. Kai yra išmatuoti keturi atraminiai taškai, programa automatiškai perkelia kryželį į sekancio kontrolinio taško preliminarą vietą. Išorinio orientavimo procesą galima tiesiogiai kontroliuoti stebint matavimo paklaidas. Jeigu paklaidos yra mažesnės negu pusė fotonuotraukos vaizdo elemento reikšmė, paklaida yra leistina. Tais atvejais, kai paklaidos viršija leistinas, privalomas pakartotinis taškų matavimas. Kairiosios ir dešinėsios fotonuotraukų išorinio orientavimo paklaidos gautos dvejomis fotokameromis pateiktos 4.19 pav. ir 4.20 pav.

a) IU - Notepad						b) IDU - Notepad					
No.	x [mm]	y [mm]	Res. x	Res. y		No.	x [mm]	y [mm]	Res. x	Res. y	
29	0.300	-3.266	-1.239	0.151	M	29	-3.703	-2.863	-0.248	0.021	M
34	-3.433	-2.279	1.757	0.229	M	34	-5.995	-1.850	0.414	0.126	M
35	-6.432	-1.880	-0.709	-0.422	M	35	-4.670	-1.704	-0.002	-0.002	M
101	-1.652	-0.485	-0.113	0.244	M	101	-0.459	-0.455	-0.710	-0.084	M
102	-1.386	-0.949	-0.008	0.022	M	102	-0.549	-0.888	-0.198	-0.031	M
103	-0.678	-1.451	0.043	0.019	M	103	-0.678	-1.339	0.220	-0.015	M
105	2.918	-2.043	0.293	-0.258	M	105	1.579	-1.961	0.481	-0.018	M
Standard deviation [mm]			0.864	0.233		Standard deviation [mm]			0.388	0.060	

4. 20 pav. Išorinio orientavimo paklaidų rezultatai fotografinių vaizdų gautų *Cannon EOS 550D* fotokamera: a) kairiosios fotonuotraukos; b) dešinėsios fotonuotraukos

a) IU - Notepad						b) IDU - Notepad					
No.	x [mm]	y [mm]	Res. x	Res. y		No.	x [mm]	y [mm]	Res. x	Res. y	
23	0.046	-0.124	0.359	-0.348	M	23	0.242	-0.066	0.057	-0.420	M
28	1.860	-0.102	-1.005	-0.197	M	28	1.920	-0.353	-0.030	-0.006	M
32	1.620	-0.536	0.732	0.288	M	32	0.704	-0.842	0.076	0.015	M
33	0.724	-0.356	0.349	0.201	M	33	0.235	-0.400	-0.091	0.117	M
36	-0.161	-1.446	0.074	-0.285	M	36	-1.744	-0.037	0.024	-0.044	M
102	-1.560	-0.838	-0.653	0.088	M	102	-0.172	0.358	0.017	0.238	M
103	-1.718	-0.370	-0.043	0.113	M	103	0.548	0.133	0.067	0.200	M
104	0.373	0.084	0.313	0.211	M	104	0.736	-0.004	-0.117	-0.103	M
Standard deviation [mm]			0.539	0.232		Standard deviation [mm]			0.068	0.193	

4. 21 pav. Išorinio orientavimo paklaidų rezultatai fotografinių vaizdų gautų *Olympus X-960* fotokamera: a) kairiosios fotonuotraukos; b) dešinėsios fotonuotraukos

Išorinio orientavimo rezultatais (išsaugoti *.ABS faile) yra: išorinio orientavimo parametrai – X_o , Y_o , Z_o – pagrindinio taško koordinatės geodezinėje koordinačių sistemoje [m], posūkio kampai φ , ω , κ radianais ir židinio nuotolis [mm]), žr. 4.21 pav.

a)

	φ	ω	κ	X_o	Y_o	Z_o
5.000						
0.949136	0.359768	-1.703218				
552739.619	6042096.022	161.156				
23	0.046	-0.124	552733.959	6042099.228	156.588	
28	1.860	-0.102	552732.591	6042094.686	156.633	
32	1.620	-0.536	552729.839	6042098.245	156.609	
33	0.724	-0.356	552731.228	6042098.953	156.610	
36	-0.161	-1.446	552728.369	6042101.514	156.662	
102	-1.560	-0.838	552730.039	6042102.565	156.658	
103	-1.718	-0.370	552732.404	6042103.058	156.648	
104	0.373	0.084	552733.589	6042098.687	157.090	

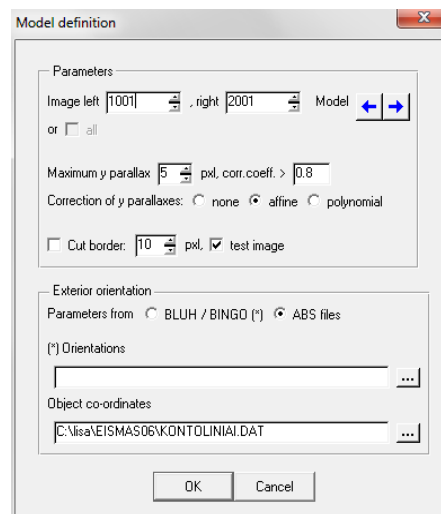
b)

	φ	ω	κ	X_o	Y_o	Z_o
18.000						
-1.406422	1.355064	-1.482941				
552730.996	6042082.386	158.821				
29	-3.703	-2.863	552731.136	6042094.627	156.640	
34	-5.995	-1.850	552728.369	6042101.514	156.662	
35	-4.670	-1.704	552730.039	6042102.565	156.658	
101	-0.459	-0.455	552735.063	6042100.125	157.790	
102	-0.549	-0.888	552734.321	6042099.676	157.390	
103	-0.678	-1.339	552733.589	6042098.687	157.090	
105	1.579	-1.961	552734.617	6042095.669	156.790	

4. 22 pav. Išorinio orientavimo rezultatai: a) Kairiojo fotografinio vaizdo (fotokamera *Olympus X-960*); b) Dešiniojo fotografinio vaizdo (fotokamera *Cannon EOS 550D*)

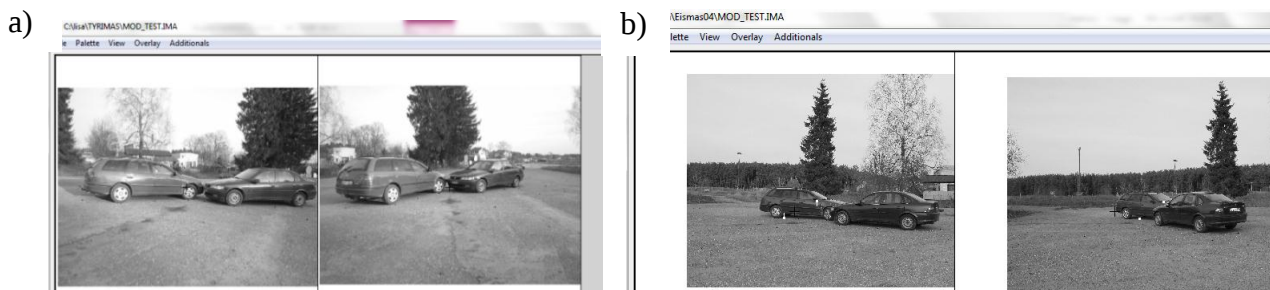
Išorinio orientavimo kampiniai parametrai φ ir ω dažniausiai yra mažesni nei 1, o posūkio kampas κ artimas 0. Atraminių taškų matavimo rezultatų paklaidų standartinis nuokrypis neturi būti didesnis už vieną pikselį (1 vaizdo elemento dydį).

Fotografinio vaizdo modelis tai dviejų persidengiančių fotografinių vaizdų apjungimas į vieną stereoskopinį modelį (du vaizdai transformuojami į vieną koordinačių sistemą). Šio etapo metu apibrėžiamos stereoskopinio modelio ribos bei naikinamas skersinis stereoporos paralaksas. Priimta, kad paralaksas neturėtų viršyti 5 pikselių (gali būti dėl klaidingo skenavimo, vidinio ar išorinio orientavimo netikslumų ar kt.). Skersinis paralaksas gali būti taisomas afininiu transformavimo metodu arba antros eilės polinominiu metodu. Modelio apibrėžimo lange (4.22 pav.) nurodoma: fotografinių vaizdų pavadinimai, maksimalus paralakso dydis (5 pxl.), koreliacijos koeficientas >0.8 , nuimama varnelė nuo *Cut border*, pažymima varnelė prie *test image*, pasirenkami išorinio orientavimo ir kontrolinių taškų koordinačių failai.



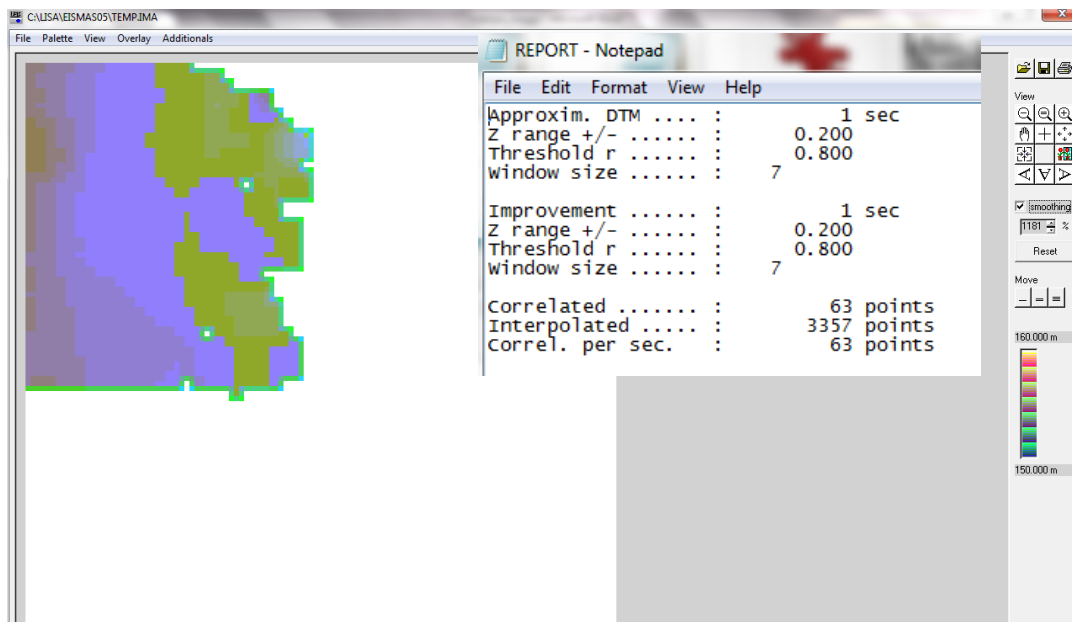
4. 23 pav. Stereoskopinio modelio apibrėžimas

Stereoskopinio modelio kūrimo rezultatais yra 10012001.MOD ir MOD_TEST.IMA failai (žr. 4.23 pav.). Tais atvejais, kai pasirodo langas su įspėjimu: „No point in the model area“ reikia atlikti papildomus taškų matavimus stereoskopiniame vaizde ir pakartoti modelio apibrėžimo procesą. Tokios klaidos dažniausiai pasitaiko dėl netinkamo atraminių taškų išsidėstymo, orientuojant fotografinius vaizdus. Taškai yra išsidėstę beveik vienoje linijoje ir nesudaro taisyklingos formos figūros (trikampio, kvadrato, stačiakampio ar pan.).

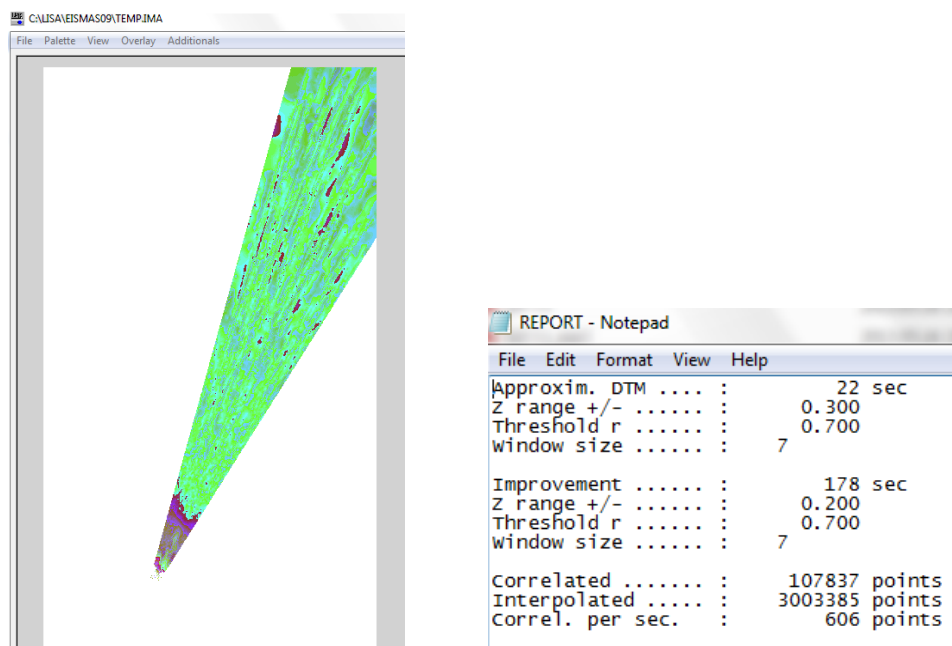


4. 24 pav. Sukurtas stereoskopinis modelis: a) fotografinių vaizdų atliktų *Olympus X-960* fotokamera; b) fotografinių vaizdų atliktų *Cannon EOS 550D* fotokamera

Programinė įranga gali apskaičiuoti bent kurio taško geodezines koordinates pagal kolinearumo lygtis. Skaitmeninis žemės paviršiaus modelis kuriamas nustačius vaizdų sugretinimo parametrus: Z reikšmių diapazonas (0.2 m), koreliacijos koeficientas >0.8 , koreliacijos langas $7 \times 7\text{ pxl.}$ ir iteracijų skaičius 3. Sukurtas skaitmeninis paviršiaus modelis ir sugretinimo rezultatų ataskaitos duomenys pateikta 4.24, 4.25 pav.



4. 25 pav. Fotografinių vaizdų (gautų *Olympus X-960* fotokamera) sugretinimo rezultatai su spalvine išraiška



4. 26 pav. Fotografinių vaizdų (gautų *Cannon EOS 550D* fotokamera) sugretinimo rezultatai su spalvine išraiška

Kaip matoma iš 4.24 ir 4.25 paveikslų skaitmeninis eismo įvykio vietovės modelis (DTM), dėl prastos taškų geometrijos, apima ne visą užsibrėžto modelio plotą, o tik tą dalį, kurioje buvo matuojami taškai. Dėl šios priežasties neįmanoma atkurti fotografinių vaizdų ir tinkamai transformuoti juos į ortogonalią projekciją. Programine įranga *LISA* nustatomi automobilių kontūrų ir kitų charakteringų taškų geodezinės koordinatės: tie patys taškai matuoti stereoskopiniame vaizde bei palyginami gautieji rezultatai (žr. 4.5 lentelę). Fotogrametriniu būdu matuojami taškai, kurių koordinatės buvo išmatuotos geodeziškai.

4.5 lentelė. Taškų koordinatės nustatytos skirtingomis fotokameromis gautuose skaitmeniniuose fotovaizduose programine įranga *LISA*

Taško Nr.	Išmatuotų taškų koordinatės, m					
	Olympus X-960 vaizduose			Cannon EOS 550D vaizduose		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	6042101.900	552732.706	156.742	6042101.946	552732.506	156.747
2	6042101.907	552732.720	156.945	6042101.900	552732.722	156.928
3	6042101.678	552732.708	156.065	6042101.649	552732.773	157.067
4	6042102.407	552732.511	157.076	6042102.407	552732.636	157.073
5	6042102.726	552732.132	157.254	6042102.758	552732.131	157.229
6	6042102.913	552732.317	157.833	6042102.963	552732.406	157.679
7	6042102.288	552732.115	158.182	6042102.653	552732.151	158.129
8	6042101.677	552732.057	156.836	6042101.578	552732.931	156.629
9	6042101.787	552732.421	156.721	6042101.758	552732.286	156.729

4.5 lentelės pabaiga						
10	6042100.497	552733.131	157.608	6042100.538	552733.221	157.619
11	6042100.717	552733.875	157.829	6042100.708	552733.601	157.929
12	6042099.704	552734.555	158.046	6042099.753	552734.541	158.029
13	6042099.870	552734.205	156.534	6042099.213	552734.246	156.749
14	6042099.579	552734.544	156.691	6042099.571	552734.530	156.630
15	6042098.653	552733.914	157.178	6042098.926	552733.870	157.129
16	6042098.836	552733.668	157.152	6042098.761	552733.625	157.003
17	6042098.917	552733.388	156.652	6042098.966	552733.394	156.578
18	6042098.531	552733.524	156.769	6042098.451	552733.574	156.678
19	6042096.839	552734.582	157.651	6042096.941	552734.494	157.726
20	6042096.759	552734.356	158.051	6042096.861	552734.624	158.078
21	6042096.662	552734.355	157.777	6042096.766	552734.394	157.648
22	6042095.542	552734.743	156.649	6042095.676	552734.904	156.678
23	6042095.611	552734.469	157.791	6042095.376	552734.509	157.778
24	6042095.316	552734.928	157.354	6042095.456	552734.809	157.398
25	6042095.115	552735.925	156.599	6042095.028	552735.713	156.578
26	6042095.569	552734.217	156.719	6042095.554	552734.056	156.816
27	6042095.629	552734.470	156.533	6042095.515	552734.594	156.429
28	6042096.386	552734.289	156.525	6042096.328	552734.347	156.539
29	6042098.426	552733.621	156.567	6042098.405	552733.680	156.540
30	6042099.668	552734.203	156.562	6042099.778	552734.241	156.537
31	6042100.749	552733.798	156.570	6042100.756	552733.778	156.575
32	6042101.571	552732.327	156.618	6042101.263	552732.925	156.615
33	6042098.913	552731.288	156.622	6042098.924	552731.285	156.632
34	6042098.175	552729.879	156.631	6042098.189	552729.746	156.626
35	6042101.900	552732.706	156.742	6042101.946	552732.506	156.747
36	6042101.907	552732.720	156.945	6042101.900	552732.722	156.928

Pagal pateiktus lentelėje 4.5 rezultatus, pastebėta, kad visi, matuojami keturiuose, užfiksuotuose skirtingomis fotokameromis, fotografiniuose vaizduose taškai, sutapo. Programinė įranga LISA yra visiškai pritaikyta aerofotogrametrijos uždaviniams spręsti, tam kad šie uždaviniai atitiktų tikslumo reikalavimus sprendžiant antžeminės fotogrametrijos uždavinius, fotografiniai vaizdai privalo būti atlikti su tinkamai išdėstytais atraminiais taškais (tinkama atraminių taškų tinklo geometrija). Kita, ne mažiau svarbi priežastis lemianti fotogrametrijos uždavinių rezultatų tikslumą, tai fotografinių vaizdų kokybė. Geresni rezultatai yra gaunami fotografuojant plačiakampėmis

fotokameromis (ilgo židinio nuotolio). Plačiakampių fotokamerų dėka, fotografiniai vaizdai apima didesnę teritorijos dalį ir atraminiai taškai gali būti išdėstomi vietovėje plačiau.

4.4. Eismo įvykio fotonuotraukų apdorojimas programa *PICTRAN*

Antžeminė fotogrametrinė sistema *PICTRAN* (gamintojas Technet GmbH) taikoma tradicinės antžeminės fotogrametrijos rezultatams gauti. Programa sėkmingai gali apdoroti esamų statinių, istorinių paminklų, technikos įrangos ir kitus, antžeminių objektų ir reiškinių, fotografinius vaizdus. Eismo įvykio fotografinių vaizdų apdorojimas, fotogrametrinė sistema *PICTRAN*, nėra visiškai pritaikytas eismo įvykio geometrijai, tačiau tobulinamas ir taikytinas tam tikrais atvejais. Šiame skyriuje atlikti inscenizuoto eismo įvykio fotografinių vaizdų apdorojimo procesai ir eksperimentiniai palyginimai su rezultatais gautais skirtingomis fotokameromis.



Antžeminių fotonuotraukų apdorojimo programa *PICTRAN-D*. *PICTRAN* – tai programinė įranga, skirta antžeminių skaitmeninių vaizdų fotogrametriniam apdorojimui. Visas vaizdų apdorojimo procesas gali būti apibūdintas tokiu principu: darbai pradedami su supaprastintais matematiniais modeliais, o užbaigiami tiksliu matematiniu, tikimybinu ar fizikiniu modeliavimu. *PICTRAN* programinis paketas susideda iš kelių modulių: *PICTRAN-D*, *PICTRAN-E*, *PICTRAN-O* ir *PICTRAN-B*. Moduliai *PICTRAN – D, E ir O* yra atitinkamai naudojami skaitmeninių fotografinių vaizdų 3D analizei, modelių tinklo išlyginimui ir ortofotografiniams vaizdams kurti. Modulis *PICTRAN-B* priimamas, kaip pagrindinis modulis apimantis spindulių tinklo pluoštų išlyginimą ir naudojamas tokiems uždaviniams atlikti:

- 3D orientavimas;
- objektų 3D matavimai pagal taškų erdvinę padėtį;
- optimalus skaitmeninių ir analoginių fotografinių vaizdų kalibravimas;
- planavimas ir modeliavimas.

Modulyje *PICTRAN-B* naudojami du skirtingi nežinomųjų reikšmių skaičiavimo modeliai tai: sutartinis ir progresyvus. Jeigu vienas iš modelių neatranda tinkamiausio rezultato, antrasis apskaičiuoja galutinį rezultatą.

Fotografinių vaizdų apdorojimo pagrindiniai etapai yra tokie:

1. Projekto sukūrimas;
2. Fotografinių vaizdų konvertavimas į specialųjį programos vaizdo formatą, tam, kad užtikrinti greitą fotografinio vaizdo detalių identifikavimą (*BT* – formatas);
3. Fotografinių vaizdų vidinis orientavimas;
4. Fotografinių vaizdų išorinis orientavimas (sukuriamas atraminių taškų katalogas *.ppt formatu);

5. Taškų koordinačių nustatymas fotografiniuose vaizduose;
6. Nustatytų taškų koordinačių išsaugojimas *.ppt, *.dxf ar kitu formatu.

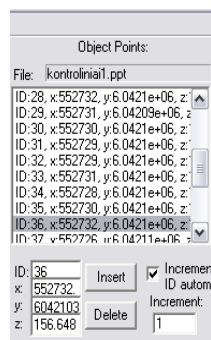
Fotografinių vaizdų vidinis ir išorinis orientavimai programine įranga *PICTRAN-D*.

Eksperimentiniame tyrime naudojami tie patys fotografiniai vaizdai, kurie buvo naudoti apdorojant fotogrametrinėje sistemoje *LISA*. Fotografiniai vaizdai gali būti originalaus dydžio ir spalvoti. Nustatant fotokamerų ir jų lęšių sistemos geometriją (vidinio orientavimo parametrus) programine įranga *PICTRAN-D*, pirmiausia privaloma apibrėžti fotokameras, kuriomis gauti skaitmeniniai vaizdai. Eksperimentiniame tyrime fotokameros yra skaitmeninės, todėl vidinio orientavimo parametrai priklauso nuo fotokameros jutiklių matricos matmenų (ilgio ir pločio) ir židinio nuotolio dydžio. Afininio transformavimo metodu automatiškai nustatomi vidinio orientavimo parametrai kiekvienam fotografiniam vaizdai (žr. 4.26 pav.). Fotokamerų parametrai taip pat gali būti nustatomi atlikus fotokamerų kalibravimą taikant *PICTRAN-B* modulį.

a)	b)
Interior orientation:	Interior orientation:
Camera name: OlympusX960	Camera name: Cannon550D
Affine transformation:	Affine transformation:
487.3377 0.0000 1500.5000	162.7354 0.0000 1814.0000
0.0000 -487.2294 1125.0000	0.0000 -162.3490 1209.0000
Correction table:	Correction table:
Not present	Not present

4. 27 pav. Vidinio orientavimo rezultatai: a) Fotokameros *Olympus X-960*; b) fotokameros *Cannon EOS 550D*

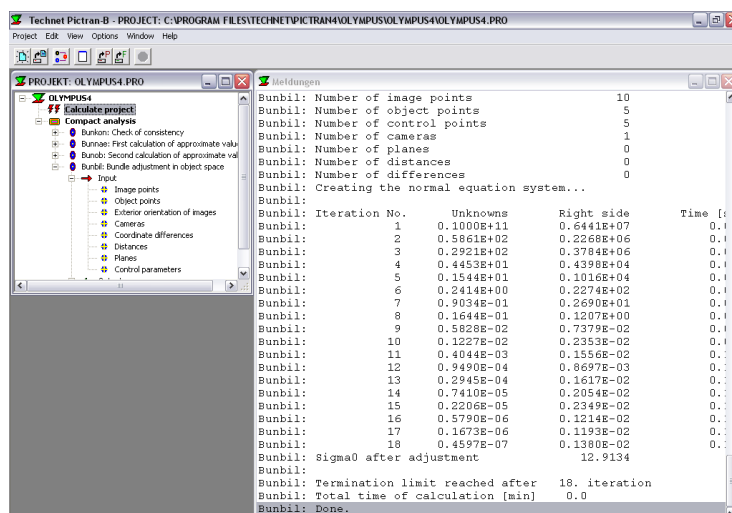
Išorinio orientavimo etapo neatsiejama dalimi yra atraminių taškų koordinačių katalogo kūrimas. Nustatoma koordinačių sistema: *Options* → *Coordinate Systems* ir pažymimas *Pixel coordinate system* pasirinkimas, nes yra naudojami skaitmeniniai fotografiniai vaizdai, kurių koordinačių sistemos pradžia laikomas apatinis kairysis pikselis arba jo kraštas. Koordinatės gali būti suvedamos ranka ir išsaugomos arba atidaromas *.ppt failas iš paruošto katalogo. *PICTRAN-D* programoje koordinačių sistema yra kairinė, o atraminių taškų koordinačių sistema yra dešininė, todėl *X* ir *Y* reikšmės keičiamos vietomis. Išoriniam orientavimui reikia mažiausiai 4 atraminių taškų. Kadangi fotografiniuose vaizduose esantys atraminiai taškai dažniausiai (eismo įvykių analizavimo atveju) sudaro silpną geometriją, rekomenduojama pasirinkti daugiau atraminių taškų (7–8) (žr. 4.27 pav.).



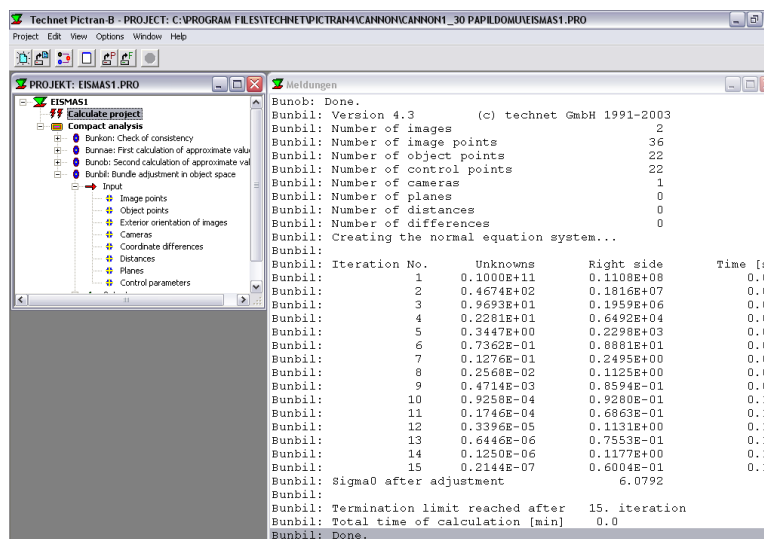
4. 28 pav. Sukurtas atraminių taškų katalogas

Atraminiai taškai matuojami mažiausiai dvejuose fotografiniuose vaizduose (gali būti 3–4 fotografiniai vaizdai), kuriose matomi bent 4 tie patys atraminiai taškai. Šeši išorinio orientavimo elementai, kurie apibrėžia fotografinių vaizdų padėtį geodezinėje koordinatinių sistemoje, apskaičiuojami *PICTRAN-B* modulio algoritmais. Spaudžiamas mygtukas *Start Pictran-B*, suvedami privalomieji nustatymai (vidutinis atstumas iki fotografuojamo objekto [m], maksimalus fotografuojamo objekto dydis [m], klaidų eliminavimo faktorius ir fotografinio vaizdo koordinatinių standartinio nuokrypio leistiną ribą [pxl]) ir paspaudus *Calculate* apskaičiuojami išorinio orientavimo rezultatai. Programiniame modulyje *PICTRAN-B* atliekamas blokinis spindulių pluošto išlyginimas, kurio rezultatai yra: pakoreguotos atraminių taškų koordinatės, vidinio ir išorinio orientavimo parametrai bei gautų rezultatų statistinis vertinimas. Galutiniai rezultatai apskaičiuojami *Bunbil* modulyje ir gali būti tiesiogiai kontroliuojami stebint *Sigma0* reikšmę (žr. 4.28 pav.). *Sigma0* reikšmė tai standartinis nuokrypis tenkantis vienam išmatuoto objekto vienetui. Literatūroje nurodoma, kad reikšmė neturi viršyti 2, jeigu standartiniai nuokrypiai netinkami galima redaguoti *PICTRAN-B* modulio nustatymus, kurie gali turėti įtakos *Sigma0* reikšmei.

a)



b)



4. 29 pav. Išorinio orientavimo skaičiavimų rezultatai: a) fotografinių vaizdų gautų *Olympus X-960* fotokamera; b) fotografinių vaizdų gautų *Cannon EOS 550D* fotokamera

Skaitmeninių vaizdų orientavimo rezultatai gauti programine įranga *PICTRAN* (Bunbil modulio skaičiavimo rezultatai) pateikiami F priede. Išorinio orientavimo rezultatai tenkina reikalavimus, iš 4.28 paveikslo matoma, kad fotografinių vaizdų gautų skaitmenine fotokamera *Cannon EOS 550D* yra patikimesni ($\sigma_0=6.0792$) nei fotografinių vaizdų gautų *Olympus X-960* fotokamera ($\sigma_0=12.9134$).

Išorinio orientavimo rezultatai programinėje įrangoje įrašomi į fotografinių vaizdų charakteristiką, žr. 4. 29 pav.

a)	b)	
Exterior orientation:	Exterior orientation:	
Projection center (x y z):	Projection center (x y z):	Projekcijos centro geodezinės koordinatės ekspozicijos momentu, m
552744.9523 6042093.8943 156.6587	552733.4742 6042109.5902 156.3355	
Rotation matrix:	Rotation matrix:	
0.1222 0.9659 -0.2284	0.9938 0.0025 -0.1111	
0.5658 0.1213 0.8156	-0.1065 -0.2638 -0.9587	Posūkio matrica
0.8155 -0.2288 -0.5316	-0.0317 0.9646 -0.2619	

4. 30 pav. Nustatyti išorinio orientavimo parametrai: a) Dešiniojo fotografinio vaizdo atlikto *Olympus X-960* fotokamera; b) Dešiniojo fotografinio vaizdo atlikto *Cannon EOS 550D* fotokamera

3D matavimai fotografiniuose vaizduose programine įranga *PICTRAN-D*. Programa *PICTRAN* nėra pritaikyta stereoskopinių vaizdų stebėjimui, tačiau suorientuotuose fotografiniuose vaizduose galima išmatuoti bet kurio taško 3D koordinatės. Fotografiniuose vaizduose gali būti išmatuoti homologiniai taškai (identiški taškai kairiojoje ir dešiniojoje fonuottraukoje), kurių padėtis gali būti nustatyta erdvine sankirta (epipolinių linijų dėka). 3D rezultatai pateikti 4.6 lentelėje.

4.6 lentelė. Išmatuotų charakteringų objektų geodezinės koordinatės

Nr.	Išmatuotų taškų koordinatės, m					
	<i>Cannon EOS 550D</i> vaizduose			<i>Olympus X-960</i> vaizduose		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	6042101.944	552732.379	156.447	6042101.788	552732.692	156.540
2	6042101.565	552732.430	156.785	6042101.770	552732.560	156.789
3	6042101.872	552732.238	156.531	6042101.466	552732.798	156.896
4	6042102.323	552732.195	157.121	6042102.244	552732.343	157.196
5	6042102.342	552732.539	157.224	6042102.286	552732.432	157.094
6	6042102.459	552732.224	157.431	6042102.459	552732.460	157.830
7	6042102.304	552732.389	158.162	6042102.726	552732.717	158.162

4.6 lentelės tęsinys						
8	6042101.458	552732.752	157.126	6042101.777	552732.593	157.436
9	6042101.641	552732.527	156.544	6042101.462	552732.771	156.691
10	6042100.739	552733.732	157.830	6042100.681	552733.232	157.438
11	6042100.914	552733.306	158.199	6042100.330	552733.042	158.109
12	6042099.920	552734.226	158.074	6042099.567	552734.679	158.069
13	6042099.765	552734.191	156.784	6042099.920	552734.007	156.534
14	6042099.798	552734.164	156.715	6042099.898	552734.264	156.965
15	6042098.477	552733.839	157.501	6042098.695	552733.683	157.112
16	6042098.670	552733.811	157.073	6042098.569	552733.193	157.094
17	6042098.252	552733.915	156.596	6042098.309	552733.675	156.174
18	6042098.335	552733.825	156.694	6042098.075	552733.993	156.533
19	6042096.971	552734.437	157.472	6042096.825	552734.333	157.566
20	6042096.739	552734.242	158.558	6042096.865	552734.022	158.526
21	6042096.645	552734.379	157.267	6042096.958	552734.327	157.367
22	6042095.725	552734.497	156.602	6042095.386	552734.292	156.764
23	6042095.509	552734.457	157.728	6042095.429	552734.646	157.786
24	6042095.369	552734.923	157.474	6042095.495	552734.549	157.296
25	6042095.085	552735.286	156.924	6042095.113	552735.567	156.684
26	6042095.566	552734.361	156.433	6042095.487	552734.595	156.656
27	6042095.281	552734.436	156.794	6042095.977	552734.136	156.831
28	6042096.727	552734.607	156.557	6042096.411	552734.529	156.413
29	6042098.232	552733.906	156.325	6042098.389	552733.706	156.486
30	6042099.654	552734.039	156.589	6042099.950	552734.092	156.408
31	6042100.440	552733.250	156.717	6042100.435	552733.397	156.576
32	6042101.975	552732.341	156.448	6042101.469	552732.140	156.324
33	6042098.924	552731.497	156.534	6042098.706	552731.502	156.277
34	6042098.377	552729.932	156.957	6042098.569	552729.796	156.435

PICTRAN-D suteikia galimybę išsaugoti informaciją *.DXF formatu t.y. CAD aplinkoje, kuris lengvai gali būti perkeliamas į bet kurią automatizuotą projektavimo sistemą. Pagal išmatuotas taškų koordinates, programine įranga *GeoMap 2008* nubraižyta eismo įvykio situacijos 2D schema (žr. G priedą), kurioje galima nustatyti transporto priemonių padėtį, įkelti ortofotografinius vaizdus bei nustatyti eismo įvykio aplinkybes. Eismo įvykio situacijos plane braižomi transporto priemonių kontūrai, vaizduojami kiti svarbūs objektai, pvz., kelio kelkraštis, medžiai, pastatai ir kt. Iš sukurtojo eismo įvykio situacijos 2D plano galima nustatyti: kelio važiuojamosios dalies dangos rūšį, transporto priemonių padėtį pagal stacionarius orientyrus, nurodyti transporto priemonių judėjimo kryptis, greičius, atstumus iki atsiradusių kliūčių.

5. EISMO ĮVYKIO REGISTRAVIMO FOTOGRAMETRINIŲ BŪDU REZULTATŲ ANALIZĖ

Eismo įvykių nagrinėjimas antžeminės fotogrametrijos metodais nėra lengva procedūra, kadangi labai svarbu išlaikyti tinkamą atraminių taškų išsidėstymo geometriją bei apdorojimo metodiką. Tiriamajame darbe naudotos dvi fotokameros, kurių viena yra plačiakampė (ilgo židinio nuotolio) fotokamera – *Cannon EOS 550D*, kita trumpesnio židinio nuotolio fotokamera – *Olympus X-960*. Gautieji skaitmeniniai vaizdai buvo apdorojami tokia pačia tvarka. Rezultatų analizės metu galima palyginti, kurių fotografinių vaizdų taškai išmatuoti tiksliau bei kokios paklaidos gaunamos fotografinius vaizdus apdorojant programine įranga *LISA* ir *PICTRAN*. Vietovės taškų koordinatų tikslumas analizuojamas pagal eismo įvykio (eksperimentinės) teritorijos fotografinių vaizdų skaitmeninius duomenis (apskaičiuotų koordinatų) ir tos pačios teritorijos atliktų tiesioginių matavimų duomenis (išmatuotų koordinatų), nustatant identifikuotų tų pačių taškų koordinatų nuokrypius (žr. 5.1 lentelė).

5.1 lentelė. Išmatuotų papildomų taškų koordinatų nuokrypiai

Nr.	<i>PICTRAN - tacheometras</i>						<i>LISA-tacheometras</i>					
	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ
	<i>Olympus X-960</i>			<i>Cannon EOS 550D</i>			<i>Olympus X-960</i>			<i>Cannon EOS 550D</i>		
1	-0.17	0.30	-0.17	-0.01	-0.02	-0.26	-0.06	0.31	0.03	-0.01	0.11	0.04
2	-0.15	0.13	-0.20	-0.35	0.00	-0.20	-0.01	0.29	-0.04	-0.02	0.29	-0.06
3	-0.43	0.34	-0.10	-0.03	-0.22	-0.46	-0.22	0.25	-0.93	-0.25	0.31	0.07
4	-0.13	0.14	0.19	-0.05	0.00	0.12	0.03	0.31	0.07	0.03	0.44	0.07
5	-0.11	0.19	0.04	-0.05	0.30	0.17	0.33	-0.11	0.20	0.37	-0.11	0.18
6	-0.08	0.25	0.20	-0.08	0.02	-0.20	0.38	0.11	0.20	0.43	0.20	0.05
7	0.25	0.45	0.00	-0.18	0.12	0.00	-0.19	-0.15	0.02	0.17	-0.12	-0.03
8	0.22	-0.18	0.10	-0.10	-0.03	-0.21	0.12	-0.72	-0.50	0.02	0.15	-0.71
9	-0.22	0.20	0.07	-0.04	-0.04	-0.08	0.11	-0.15	0.10	0.08	-0.28	0.11
10	-0.07	-0.12	-0.40	-0.01	0.38	-0.01	-0.26	-0.22	-0.23	-0.21	-0.13	-0.22
11	-0.49	-0.39	-0.02	0.10	-0.13	0.07	-0.10	0.44	-0.30	-0.11	0.17	-0.20
12	-0.37	0.51	-0.02	-0.02	0.05	-0.01	-0.23	0.38	-0.04	-0.18	0.37	-0.06
13	0.08	-0.09	-0.20	-0.07	0.09	0.05	0.03	0.11	-0.20	-0.62	0.15	0.01
14	0.11	0.12	0.17	0.01	0.02	-0.08	-0.20	0.40	-0.10	-0.21	0.39	-0.16
15	-0.14	0.05	-0.16	-0.36	0.21	0.23	-0.18	0.28	-0.09	0.09	0.24	-0.14
16	0.21	-0.41	0.03	0.32	0.20	0.01	0.48	0.06	0.09	0.41	0.02	-0.06
17	-0.05	0.16	-0.50	-0.10	0.40	-0.08	0.56	-0.13	-0.02	0.61	-0.12	-0.09

5.1 lentelės pabaiga												
18	-0.06	0.43	-0.25	0.20	0.27	-0.09	0.39	-0.04	-0.02	0.31	0.01	-0.11
19	-0.07	0.24	0.01	0.08	0.35	-0.08	-0.05	0.49	0.10	0.05	0.41	0.18
20	-0.05	-0.20	0.46	-0.17	0.02	0.50	-0.15	0.14	-0.01	-0.05	0.41	0.02
21	0.12	0.19	-0.21	-0.20	0.24	-0.31	-0.18	0.22	0.20	-0.07	0.25	0.07
22	-0.44	-0.13	0.08	-0.10	0.07	-0.09	-0.28	0.32	-0.04	-0.15	0.48	-0.01
23	-0.35	0.05	-0.10	-0.27	-0.14	-0.16	-0.16	-0.12	-0.10	-0.40	-0.08	-0.11
24	0.36	-0.31	0.04	0.23	0.06	0.22	0.18	0.07	0.10	0.32	-0.05	0.14
25	0.11	-0.15	0.13	0.08	-0.43	0.37	0.12	0.21	0.05	0.03	0.00	0.03
26	-0.18	-0.02	-0.13	-0.10	-0.26	-0.36	-0.10	-0.40	-0.07	-0.12	-0.56	0.03
27	0.36	-0.32	0.27	-0.33	-0.02	0.23	0.01	0.02	-0.03	-0.10	0.14	-0.14
28	-0.17	0.37	-0.16	0.14	0.45	-0.01	-0.20	0.13	-0.04	-0.26	0.19	-0.03
29	0.26	0.18	-0.10	0.11	0.37	-0.26	0.30	0.09	-0.02	0.28	0.15	-0.05
30	0.18	-0.04	-0.18	-0.11	-0.09	0.00	-0.10	0.07	-0.03	0.01	0.11	-0.06
31	-0.29	0.10	-0.02	-0.29	-0.05	0.12	0.02	0.50	-0.03	0.03	0.48	-0.02
32	-0.20	-0.39	-0.30	0.30	-0.19	-0.18	-0.10	-0.20	-0.01	-0.41	0.40	-0.01
33	-0.25	0.27	-0.33	-0.03	0.27	-0.08	-0.04	0.06	0.01	-0.03	0.06	0.02
34	0.32	-0.04	-0.17	0.13	0.09	0.35	-0.07	0.04	0.02	-0.06	-0.09	0.02
	0.24	0.26	0.21	0.18	0.22	0.22	0.22	0.28	0.21	0.26	0.27	0.16
	$m_{xyz} = 0.41$			$m_{xyz} = 0.35$			$m_{xyz} = 0.42$			$m_{xyz} = 0.41$		

Taškų koordinačių vidutinės kvadratinės paklaidos apskaičiuojamos pagal formules:

$$m_x = \sqrt{\frac{\sum \Delta X^2}{n-1}}, \quad m_y = \sqrt{\frac{\sum \Delta Y^2}{n-1}}, \quad m_z = \sqrt{\frac{\sum \Delta Z^2}{n-1}}, \quad (5.1)$$

čia: ΔX , ΔY , ΔZ – koordinačių nuokrypiai; n – išmatuotų taškų skaičius.

Išmatuotų taškų tikslumui įvertinti, apskaičiuojama taškų koordinačių absoliučioji vidutinė kvadratinė paklaida:

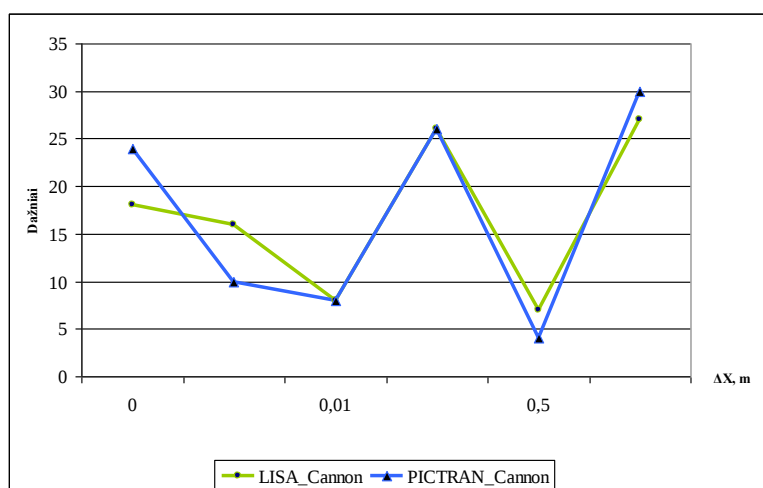
$$m_{xyz} = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_z^2} \quad (5.2)$$

Pagal 5.1 lentelės duomenis, matoma, kad gautieji rezultatai tenkina tikslumo reikalavimus fotogrametriniams uždaviniams spręsti. Nustatyta, kad patikimiausi duomenys (geodezinių koordinačių reikšmės) gauti fotokamera *Cannon EOS 550D*, apdorojant fotogrametrine sistema *PICTRAN-D*. Išmatuotų taškų, matomų pasirinktuose fotografiniuose vaizduose, apdorojant skirtingomis fotogrametrinėmis sistemomis, koordinatės sutapo. Didžiausi nuokrypiai gauti fotokamera *Olympus X-960* apdorojant skaitmeninius duomenis programa *LISA*.

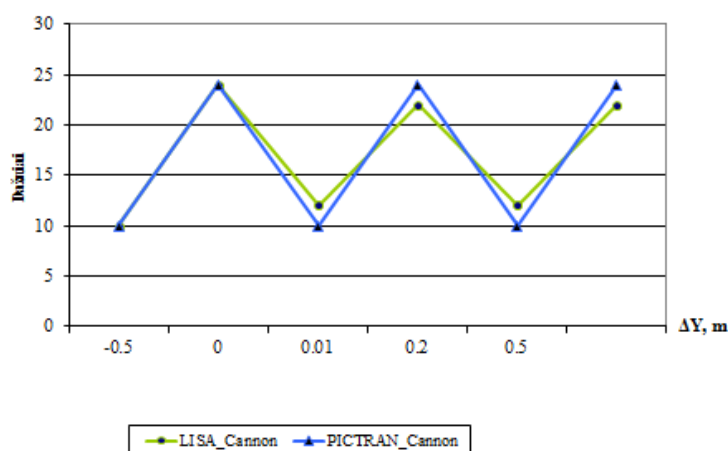
Kaip nustatyta, patikimesni rezultatai yra gauti fotografuojant ilgesnio židinio nuotolio fotokamera *Cannon EOS 550D*, todėl šios fotokameros rezultatų planimetrinių koordinačių ΔX ir ΔY nuokrypių pasiskirstymas vaizduojamas 5.1 ir 5.2 paveiksluose bei 5.2 lentelėje. Iš šių duomenų matyti, kad gautų koordinačių skaitmeninėmis fotogrametrinėmis sistemomis *LISA* ir *PICTRAN-D* nuokrypių ΔX ir ΔY skaičius didžiausias intervale 0,20 – 0,50 m, nustatytų taškų nuokrypių ΔY skaičius pasiskirstęs intervale nuo 0 iki 0,50 m beveik vienodai.

5.2 lentelė. *Cannon EOS 550D* vaizdų nustatytų planimetrinių koordinačių nuokrypių pasiskirstymas

Rezultatai	Nuokrypių ΔX skaičius intervalais, <i>m</i>							Nuokrypių ΔY skaičius intervalais, <i>m</i>						
	0	-0,50 – 0,01		0,01 – 0,20		0,20 – 0,50		0	-0,50 – 0,01		0,01 – 0,20		0,20 – 0,50	
		+	–	+	–	+	–		+	–	+	–	+	–
<i>Išmatuota -LISA</i>	–	18	16	8	26	7	27	1	10	24	12	22	12	22
<i>Išmatuota -PICTRAN</i>	–	24	10	8	26	4	30	2	10	24	10	24	10	24



5. 1 pav. Planimetrinių koordinačių paklaidų ΔX pasiskirstymas



5. 2 pav. Planimetrinių koordinačių paklaidų ΔY pasiskirstymas

Pagal gautų matavimų rezultatus fotogrametrine sistema *LISA* ir antžeminės fotogrametrijos būdu, programa *PICTRAN-D*, apskaičiuoti taškų koordinatijų tikslumo įverčiai (5.3 lentelė): vidutiniai absoliutieji koordinatijų nuokrypiai bei standartinių nuokrypių įverčiai σ_{xy} , kurie apskaičiuoti pagal formules:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (\Delta X - \Delta \bar{X})^2}{n}}, \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (\Delta Y - \Delta \bar{Y})^2}{n}}, \quad \sigma_z = \sqrt{\frac{\sum (\Delta Z - \Delta \bar{Z})^2}{n}}, \quad (5.3)$$

čia: $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ – koordinatijų nuokrypiai; $\Delta \bar{X}, \Delta \bar{Y}, \Delta \bar{Z}$ – nuokrypių vidutinė reikšmė; n – išmatuotų taškų skaičius. Taškų tikslumo tyrimo duomenys apdoroti taikant programą *EXCEL*.

5.3 lentelė. Išmatuotų taškų koordinatijų tikslumo tyrimo rezultatai

	<i>PICTRAN-D</i>		<i>LISA</i>	
	<i>Olympus X-960</i>	<i>Cannon EOS 550D</i>	<i>Olympus X-960</i>	<i>Cannon EOS 550D</i>
$\Delta X_{\min}$	-0.49	-0.36	-0.28	-0.62
$\Delta X_{\max}$	0.36	0.32	0.56	0.61
$ \Delta \bar{X} $	0.14	0.14	0.17	0.19
σ_x	0.30	0.25	0.22	0.32
$\Delta Y_{\min}$	-0.41	-0.43	-0.72	-0.56
$\Delta Y_{\max}$	0.51	0.45	0.50	0.48
$ \Delta \bar{Y} $	0.22	0.16	0.22	0.22
σ_y	0.25	0.21	0.26	0.24
$\Delta Z_{\min}$	-0.50	-0.46	-0.93	-0.71
$\Delta Z_{\max}$	0.46	0.50	0.20	0.18
$ \Delta \bar{Z} $	0.16	0.17	0.12	0.10
σ_z	0.29	0.28	0.21	0.20

Palyginus išmatuotų taškų rezultatus, nustatytus iš skirtingų pradinių duomenų, t.y. skaitmeninėmis fotogrametrinėmis sistemomis *LISA* ir *PICTRAN-D* bei išmatavus vietovėje taškus geodeziškai, galima daryti išvadą, kad eismo įvykiai fotogrametriniais matavimais gali būti tiriami, tačiau turi būti laikomasi griežtos atraminių taškų išsidėstymo geometrijos, tuomet matavimų rezultatai bus tikslesni. Gautas standartinio nuokrypio įvertis skaitmenine fotogrametrine sistema *PICTRAN-D* yra $\sigma_x=0.30$ m, $\sigma_y=0.25$ m, $\sigma_z=0.29$ m (*Olympus X-960* fotokamera), $\sigma_x=0.25$ m, $\sigma_y=0.21$ m, $\sigma_z=0.28$ m (*Cannon EOS 550D* fotokamera), antžeminės fotogrametrijos sistema *LISA* – $\sigma_x=0.22$ m, $\sigma_y=0.26$ m, $\sigma_z=0.21$ m (*Olympus X-960* fotokamera), $\sigma_x=0.32$ m, $\sigma_y=0.24$ m, $\sigma_z=0.20$ m (*Cannon EOS 550D* fotokamera).

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

1. Išnagrinėti antžeminės fotogrametrijos metodai ir jų taikymo eismo įvykiams registruoti, technologija. Sprendžiant įvairius uždavinius antžeminės ir aerofotogrametrijos metodais, didelę reikšmę turi atraminių taškų geometrija – atraminių taškų išsidėstymas erdvėje.
2. Apžvelgta fotografinių vaizdų gavybos metodika. Nustatyti pagrindiniai optimalūs reikalavimai fotografavimo procedūrai. Fotografiniai vaizdai apdorojami vidinio bei išorinio orientavimo etapais. Skaitmeninių vaizdų vidinis orientavimas atliekamas apibrėžiant fotokameros pagrindinius parametrus, o išorinis orientavimas atliekamas pagal atraminių taškų geodezines koordinates. Apdorojant eismo įvykius fotogrametriškai, fotografinių vaizdų dengime (70%) privalo būti ne mažiau kaip 8 tinkamai išsidėstę atraminiai taškai.
3. Išanalizuoti, remiantis užsienio patirtimi, artimų nuotolių, eismo įvykiams registruoti, taikymo ypatumai. Atlikta specializuotos, profesionalios programinės įrangos *iWitness* taikymo, eismo įvykių analizei, apžvalga. Atliktas programinės įrangos ir geodeziškai išmatuotų rezultatų palyginamasis įvertinimas. Nustatyta, kad programine įranga *iWitness* optimaliausias būdas registruoti eismo įvykius antžeminės fotogrametrijos metodais.
4. Atliktas eksperimentinis tyrimas: inscenuoto eismo įvykio fotografavimas (konvergentiniu būdu) skaitmeninėmis mėgėjiškomis fotokameromis *Cannon EOS 550D* bei *Olympus X-960*. Fotografiniai vaizdai apdoroti fotogrametrinėmis sistemomis *LISA* bei *PICTRAN-D*. Atliktos vidinio bei išorinio orientavimo procedūros programa *LISA*, gautos išorinio orientavimo paklaidos: fotokameros *Cannon EOS 550D* vaizdai – $\Delta X = 0.060$ m bei $\Delta Y = 0.193$ m; fotokameros *Olympus X-960* vaizdai – $\Delta X = 0.388$ m bei $\Delta Y = 0.060$ m. Atliktos išorinio orientavimo procedūros programa *PICTRAN-D* bei gauti išorinio orientavimo blokinio tinklo išlyginimo rezultatai: fotokameros *Cannon EOS 550D* vaizdai: $\text{Sigma}0 = 6.0792$, fotokameros *Olympus X-960* vaizdai: $\text{Sigma}0 = 12.9134$. Atlikus rezultatų apžvalgą nustatyta, kad ilgesnio židinio nuotolio fotokameros *Cannon EOS 550D* fotografiniai vaizdai yra tinkamesni eismo įvykių registravimui fotogrametriniais metodais. Programine įranga *PICTRAN-D* gautos papildomų taškų koordinatės yra labiausiai atitinkantys realybę.
5. Atliktas nustatytų rezultatų tikslumo įvertinimas. Nustatytos vidutinės kvadratinės paklaidos: fotografinius vaizdus apdorojant programine įranga *LISA*: $m_{xyz} = 0.42$ m (*Olympus X-960*) bei $m_{xyz} = 0.41$ m (*Cannon EOS 550D*); fotografinius vaizdus apdorojant programine įranga *PICTRAN-D*: $m_{xyz} = 0.41$ m (*Olympus X-960*) bei $m_{xyz} = 0.35$ m (*Cannon EOS 550D*).
6. Didžiausios gautos absoliučiosios planimetrinės paklaidos yra *LISA* fotogrametrinė sistema, standartinio nuokrypio įverčiai: $\sigma_x = 0.22$ m, $\sigma_y = 0.26$ m, $\sigma_z = 0.21$ m (*Olympus X-960* fotokamera), $\sigma_x = 0.32$ m, $\sigma_y = 0.24$ m, $\sigma_z = 0.20$ m (*Cannon EOS 550D* fotokamera).

7. Eismo įvykiams fotogrametriniais metodais atkurti, svarbu greitai, netrukdam transporto priemonių eismui surinkti visą informaciją apie eismo įvykio aplinkybes ir situaciją. Tinkamiausias eismo įvykiams tirti fotografavimo būdas yra konvergentinis. Fotografavimo bazė turėtų būti ne ilgesnė nei 4 m ir fotografavimo spindulių susikirtimo kampas neturėtų viršyti 30° .
8. Parinktieji atraminiai taškai – koduoti taikiniai, turi būti ryškiai matomi fotografiniuose vaizduose (stereoporose). Parenkant fotografavimo stotis svarbu įvertinti fotografinių vaizdų sankotą (turi būti ne mažiau kaip 70%), objekto fotografavimas turi būti atliktas iš vienodo aukščio.
9. Fotografinių vaizdų orientavimo fotogrametrinėmis sistemomis rezultatai priklauso nuo atraminių taškų išsidėstymo, o atraminių taškų skaičius turi mažesnę svarbą. Atraminiai taškai turėtų būti išsidėstę dengime taip: po du kampuose, kraštuose ir ties centru (iš viso 8–10 taškų).
10. Apdorojant fotografinius vaizdus programinėmis sistemomis *LISA*, *PICTRAN-D*, *iWitness* ir kt. atraminių taškų skaičius, tinkamam blokiniam spindulių pluošto išlyginimui, turėtų būti mažiausiai 8 taškai.
11. Specializuotoje programinėje įrangoje *iWitness* atraminių taškų geometrijos problema sprendžiama tiesiogiai, apdorojimo metu: apdorojami daugiau nei 3 fotografiniai vaizdai, kuriuose turi būti matomi tie patys atraminiai taškai.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Accuracy performance of the close-range photogrammetry system iWitness: result of a measurement comparison with a surveying total station* [interaktyvus]. 2008. [žiūrėta 2012-06-10]. Prieiga per internetą: <http://www.iwitnessphoto.com/iwitness/accuracy_study3.html>.
- Aksamitauskas, V. Č. 2011. *Inžinerinių statinių deformacijų tyrimas geodeziniais metodais: mokslo darbų apžvalga*. Vilnius: Technika. 32 p. ISBN 978-9955-288-19-0.
- Alamouri, A. 2011. *Generation of a 3D city model of Baalbek/Lebanon based on historical photos: Doktor der Ingenieurwissenschaft (Dr.-Ing.) genehmigte Dissertation*. Berlin: D83, 211 p.
- Bernasik, J. 2006. *Fotogrametria. Wykład dla II roku Geoinformacji i Geodezji Górniczej* [interaktyvus]. Kraków: Zeszyty naukowe AGH [žiūrėta 2013-01-28]. Prieiga per internetą: <http://oen.dydaktyka.agh.edu.pl/dydaktyka/obliczenia_inzynierskie/a_fotogrametria/fotogrametria.pdf>.
- Bernasik, J.; Mikrut, S. 2003. *Fotogrametria inżynieryjna* [interaktyvus]. Kraków: Zeszyty naukowe AGH [žiūrėta 2013-01-28]. Prieiga per internetą: <http://oen.dydaktyka.agh.edu.pl/dydaktyka/obliczenia_inzynierskie/a_fotogrametria/index.pdf>.
- Bethel, J. S.; McGlone J. C.; Mikhail E. M. 2001. *Introduction to modern photogrammetry*. New York: John Wiley & Sons, Inc. 479 p. ISBN 978-0471-30-924-6.
- Bosch, R.; Külür, S.; Gülch, E. 2005. Non-metric camera calibration and documentation of historical building [interaktyvus], in *CIPA 2005 XX International Symposium, 26 September – 01 October, 2005, Torino, Italy*. [žiūrėta 2013-04-15]. Internetinė prieiga: <<http://cipa.icomos.org/index.php?id=62>>
- Coyle, F. 2008. *Digital close range photogrammetry in motor vehicle accident reconstruction* [interaktyvus]. Dublin: Dublin Institute of Technology. [žiūrėta 2013-05-03]. Prieiga per internetą: <<http://arrow.dit.ie/sciendoc/>>.
- Daniulis, J. 1988. *Aerofotometodai*. Vilnius: Enciklopedija. 248 p. ISBN 9986-433-15-0.
- Digital camera database* [interaktyvus]. 2013. [žiūrėta 2013-03-29]. Prieiga per internetą: <<http://www.digicamdb.com/>>.
- Ergun, B.; Kulur, S. 2000. Integration of digital photogrammetric obtained data with Autocad to car surface model. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33(B5), 211–214 p.
- Fraser, C. 2006. Accident reconstruction via digital close-range photogrammetry, in *Annual Conference of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing 2006: Prospecting for Geospatial Information Integration*. Reno: Curran Associates, Inc. ISBN 978-1604-237-29-0.

- Fraser, C. S. 2005. *Network orientation models for image-based 3D measurement* [interaktyvus]. [žiūrėta 2013-03-09]. Internetinė prieiga: <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/5W17/pdf/37.pdf>>.
- Fraser, C.; Hanley, H.; Cronk, S. 2008. Close – range photogrammetry for accident reconstruction. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B5), 125-128 p.
- Google Maps žemėlapis, [interaktyvus] 2013, [žiūrėta 2013-02-20]. Prieiga per internetą: <<http://maps.google.lt/>>.
- Gurklys, V. 2008. *Aplinkos geografinės informacinės sistemos*. Kaunas: Ardiva. 65 p. ISBN 978-9955-896-56-2.
- Hamzah, N. B.; Setan, H.; Majid, Z. 2010. Reconstruction of traffic accident scene using close – range photogrammetry technique. *Geoinformation Science Journal*. 10(1), 17-37 p.
- iWitness and iWitnessPRO [interaktyvus]. 2013. [žiūrėta 2012-06-05]. Prieiga per internetą: <<http://www.iwitnessphoto.com/>>.
- Krause, K. 2007. *Photogrammetry: geometry from images and laser scans*. Berlin: Walter de Gruyter. 459 p. ISBN: 978-3110-190-07-6.
- Kurczyński, Z.; Preuss, R. 2003. *Podstawy fotogrametrii*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza PW, 360 p. ISBN 978-8372-074-13-3.
- Leica RX1200 vartotojo vadovas, versija 6.0 [interaktyvus]. 2008. Heerbrugg: Leica Geosystems AG [žiūrėta 2013-05-12]. Prieiga per internetą: <http://www.surveyequipment.com/PDFs/RX1200_User_en.pdf>.
- Lietuvos erdvinės informacijos portalas [interaktyvus]. 2013. [žiūrėta 2013-04-06]. Prieiga per internetą: <www.geoportal.lt>.
- Lietuvos policijos generalinio komisaro 2002 m. gruodžio 24 d. įsakymas Nr. 660 „Dėl policijos patrulių veiklos instrukcijos patvirtinimo“// Valstybės žinios. 2003, Nr. 23-985.
- LR Statistikos departamentas. 2013 m. *Gyventojų skaičiaus metų pradžioje statistika* [interaktyvus]. [žiūrėta 2013-02-13]. Prieiga per internetą: <<http://www.stat.gov.lt/lt/>>.
- Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2002 m. gruodžio 11 d. nutarimas Nr. 1950 “Dėl kelių eismo taisyklių patvirtinimo”// Valstybės žinios. 2003, Nr.7-263.
- Linder, W. 2006. *Digital photogrammetry*. Berlin: Springer. 214 p. ISBN 978-3540-927-24-2.
- LISA Geo – Software GmbH [interaktyvus]. 2013. [žiūrėta 2013-01-20]. Prieiga per internetą: <http://www.lisa-geosoftware.de/index_e.htm>.

LITPOS – valstybinis nuolat veikiančių referencinių stočių tinklas [interaktyvus]. 2013, [žiūrėta 2013-04-02]. Prieiga per internetą: <<http://litpos.lt/>>.

Lukoševičienė, O.; Martusevičius, H. 1999. Automobilių susidūrimų tyrimas, taikant judėsio kiekio ir energijos tvėrmės dėsnius. *Transportas – Transport Engineering*, 14(3), 113–120 p. ISSN 1392–1533.

Michels, B.; Westerhoff, S. 2006. *Photogrammetrie* [interaktyvus]. Aachen: Geodätisches Institut der RWTH Aachen [žiūrėta 2013-05-12]. Prieiga per internetą: <http://mata.gia.rwth-aachen.de/Vortraege/Bjoern_Michels/Photogrammetrie/Skript.pdf>.

Moe, D.; Sampath, A.; Christopherson, J.; Benson, M. 2010. Self calibration of small and medium format digital cameras. *ISPRS Technical Commission VII Symposium 100 Years ISPRS Advancing Remote Sensing Science*, 38(7A). 395–400 p. ISSN 1682-1777.

Skaitmeninių fotokamerų Olympus FE-5030/FE-4030/X-960 vartotojo vadovas [interaktyvus]. 2010. Hamburg: Olympus Europa Holding GMBH [žiūrėta 2013-05-01]. Prieiga per internetą: <http://www.olympus.co.jp/en/support/msgs/digicamera/download/manual/fe/man_fe5030_4030_x960_e.pdf>.

Paršeliūnas, E. 2001. *Geoinformacinės sistemos: technologija. Mokomoji knyga*. Vilnius: Technika. 229 p. ISBN 998-6054-583.

Pfeiffer, B. 2007. *Das Skript zur Photogrammetrie-Vorlesung* [interaktyvus]. [žiūrėta 2013-05-10]. Prieiga per internetą: <http://www.volkervonnathusius.de/Dokumente/Skript_Photogrammetrie_SS07.pdf>.

Description and measurement equipment [interaktyvus]. 2013. [žiūrėta 2013-05-03]. Prieiga per internetą: <<http://foto.hut.fi/opetus/260/luennot/8/8.html>>.

Pictran-DE, - B manual. Technet GmbH. 2009.

Ruzgienė, B. 2008. *Fotogrametrija: vadovėlis*. Vilnius: Technika, 204 p. ISBN 978-9955-28-310-2.

Sužiedelytė – Visockienė, J. 2007. Skaitmeninės matuojamosios fotokameros kalibravimo parametrų įtaka nuotraukas transformuojant į plokštumą. *Geodezija ir kartografija*, 33(1), 26–30 p. ISSN 1392–1541.

Templeton, D. A. Jr. 2008. Close-Range Photogrammetry as a Routine Crash Reconstruction Tool within the Florida Highway Patrol, in *2008 ARC-CSI Crash Conference, Las Vegas, June 2-5, 2008* [interaktyvus]. [žiūrėta 2013-04-03]. Prieiga prie interneto: <<http://www.crashconferences.com/arccsi/2008arccsi/DaveTempleton.html>>.

This iWitness tutorial provides basic functionality on [interaktyvus]. 2006 [žiūrėta 2013-04-30]. Prieiga per internetą: <http://www.iwitnessphoto.com/solutions/iwitness_tutorial.pdf>.

UAB Hnit Baltic žemėlapis [interaktyvus] 2013, [žiūrėta 2012-11-08]. Prieiga per internetą: <www.maps.lt>.

Venckus, S.; Venckienė, R. 2009. Matavimų GPS imtuvais RTK metodu tikslumo įvertinimas [interaktyvus], in *Respublikinė mokslinė – praktinė konferencija „Matavimų inžinerija ir GIS“*, 2009 m. [žiūrėta 2013-05-16]. Prieiga per internetą: <<http://dspace.kauko.lt/handle/1/774>>.

Iškaitinių eismo įvykių statistika Lietuvoje 2008 – 2011 m [interaktyvus]. VĮ Transporto ir kelių tyrimo institutas 2012 [žiūrėta 2013-01-25]. Prieiga per internetą: <<http://www.ktti.lt/>>.

Вуки – Фотogramметрия [interaktyvus]. UAB Racurs internetinė fotogrametrijos enciklopedija 2012 [žiūrėta 2013-04-03]. Prieiga per internetą: <<http://www.racurs.ru/?page=758>>.

Корнилов, Ю.Н. 2006. *Фотogramметрия* [interaktyvus]. Санкт-Петербург: РИЦ СПГГИ (ТУ), [žiūrėta 2013-04-03]. Prieiga per internetą: <<http://www.twirpx.com/file/1091016/>>.

Наседкин, И.; Верцман, Г. 1972. *Методические указания по применению наземной стереофотogramметрической съемки на изысканиях дорог* [interaktyvus]. Москва, [žiūrėta 2013-03-09]. Prieiga per internetą: <<http://nordoc.ru/doc/42-42475>>.

Трубникова, Т. А.; Гудинов, К. К.; Двуреченский, С. А.; Гусев, В. П. 2010. *Цифровая фотоаппаратура: Учебное пособие*. Санкт-Петербург: СПбГУКиТ, 158 p.

PRIEDAI

A PRIEDAS. Plano, pridedamo prie eismo įvykio protokolo, pavyzdys

B PRIEDAS. Fotografiniai vaizdai gauti *Olympus X-960* fotokamera

C PRIEDAS. Fotografiniai vaizdai gauti *Cannon EOS 550D* fotokamera

D PRIEDAS. Atraminių taškų katalogas ir abrisai

E PRIEDAS. *Cannon EOS550D* ir *Olympus X-960* fotografinių vaizdų apdorojimo, programine įranga *LISA*, rezultatai

F PRIEDAS. Bunbil modulio tinklo išlyginimo rezultatai

G PRIEDAS. Užregistruoto eismo įvykio situacijos 2D planas

H PRIEDAS. Respublikinės mokslo konferencijos „Civilinė Inžinerija ir Geodezija“ dienotvarkė

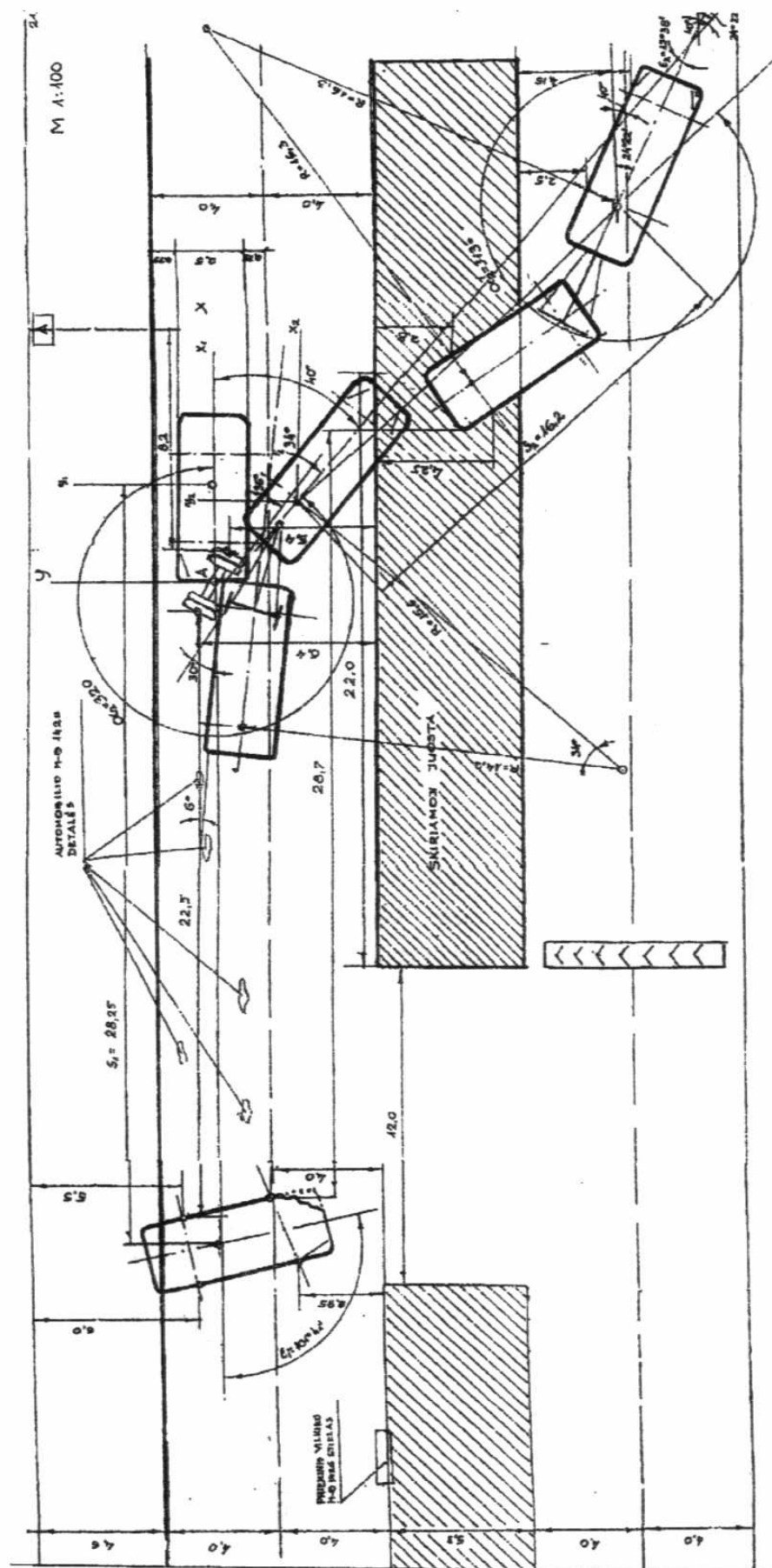


Fig 2. Scheme of the site of an accident with additional parameters of automobile motion established during the examination

B PRIEDAS. FOTOGRAFINIAI VAIZDAI GAUTI *Olympus X960* FOTOKAMERA



Eismo įvykio fotografavimo vaizdai *Olympus X-960* fotokamera – fotografuota iš 1 ir 2 stočių



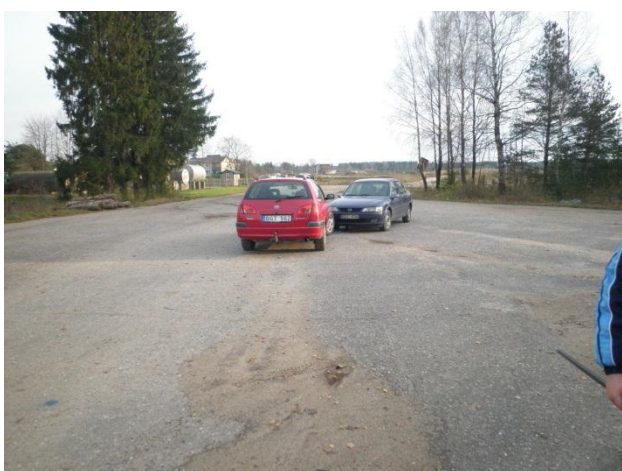
Eismo įvykio fotografavimo vaizdai *Olympus X-960* fotokamera – fotografuota iš 3 ir 4 stočių



Eismo įvykio fotografavimo vaizdai *Olympus X-960* fotokamera – fotografuota iš 5 ir 6 stočių



Eismo įvykio fotografavimo vaizdai *Olympus X-960* fotokamera – fotografuota iš 7 ir 8 stočių



Eismo įvykio fotografavimo vaizdai *Olympus X-960* fotokamera – fotografuota iš 9 ir 10 stočių

C PRIEDAS. FOTOGRAFINIAI VAIZDAI GAUTI *Cannon EOS 550D* FOTOKAMERA



Eismo įvykio fotografavimo vaizdai *Cannon EOS 550D* fotokamera – fotografuota iš 1 ir 2 stočių



Eismo įvykio fotografavimo vaizdai *Cannon EOS 550D* fotokamera – fotografuota iš 3 ir 4 stočių



Eismo įvykio fotografavimo vaizdai *Cannon EOS 550D* fotokamera – fotografuota iš 5 ir 6 stočių



Eismo įvykio fotografavimo vaizdai *Cannon EOS 550D* fotokamera – fotografuota iš 7 ir 8 stočių



Eismo įvykio fotografavimo vaizdai *Cannon EOS 550D* fotokamera – fotografuota iš 9 ir 10 stočių

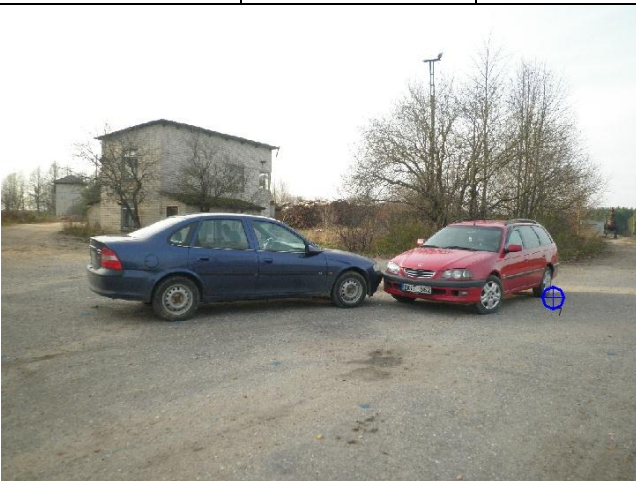


Eismo įvykio fotografavimo vaizdai *Cannon EOS 550D* fotokamera – fotografuota iš 11 ir 12 stočių

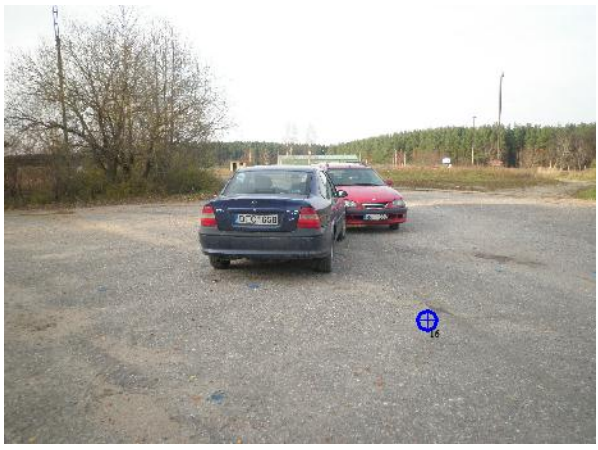
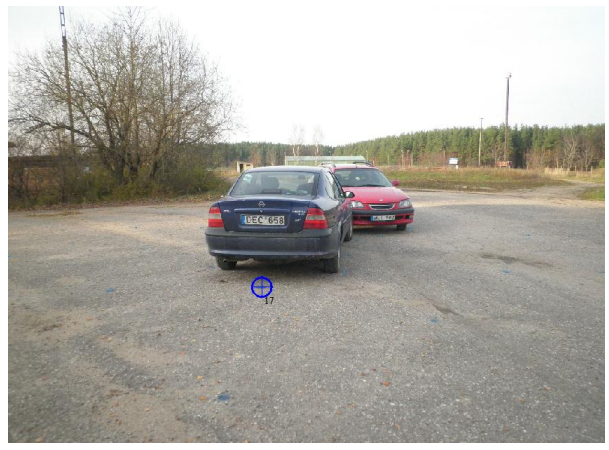


Eismo įvykio fotografavimo vaizdai *Cannon EOS 550D* fotokamera – fotografuota iš 13 ir 14 stočių

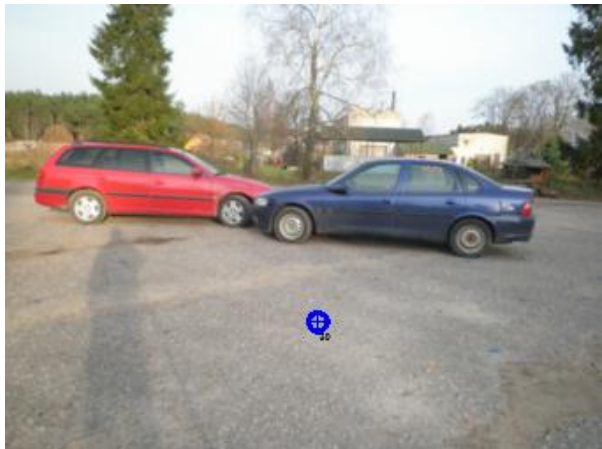
D PRIEDAS. ATRAMINIŲ TAŠKŲ KATALOGAS IR ABRISAI

Nr. 1			Nr. 2		
X	Y	Z	X	Y	Z
6042097.923	552739.264	156.481	6042100.953	552738.065	156.540
					
Nr. 3			Nr. 4		
X	Y	Z	X	Y	Z
6042103.217	552735.930	156.621	6042100.953	552738.065	156.540
					
Nr. 6			Nr. 7		
X	Y	Z	X	Y	Z
6042107.978	552729.224	156.748	6042102.891	552733.955	156.606
					

Nr. 8			Nr. 9		
X	Y	Z	X	Y	Z
6042102.067	552734.581	156.599	6042100.837	552735.657	156.572
					
Nr. 10			Nr. 11		
X	Y	Z	X	Y	Z
6042097.363	552738.067	156.511	6042099.489	552735.637	156.546
					
Nr. 12			Nr. 13		
X	Y	Z	X	Y	Z
6042099.274	552734.979	156.568	6042098.699	552735.291	156.576
					

Nr. 14			Nr. 15		
X	Y	Z	X	Y	Z
6042097.308	552735.784	156.557	6042096.248	552736.187	156.537
					
Nr. 16			Nr. 17		
X	Y	Z	X	Y	Z
6042094.763	552737.767	156.509	6042095.000	552735.715	156.553
					
Nr. 18			Nr. 19		
X	Y	Z	X	Y	Z
6042092.654	552737.070	156.547	6042093.989	552734.374	156.610
					

Nr. 20			Nr. 21		
X	Y	Z	X	Y	Z
6042095.616	552734.454	156.566	6042096.586	552734.159	156.568
					
Nr. 22			Nr. 23		
X	Y	Z	X	Y	Z
6042098.126	552733.531	156.587	6042099.228	552733.959	156.588
					
Nr. 24			Nr. 25		
X	Y	Z	X	Y	Z
6042099.768	552734.133	156.592	6042100.729	552733.298	156.597
					

Nr. 26			Nr. 27		
X	Y	Z	X	Y	Z
6042101.671	552732.527	156.628	6042094.686	552732.591	156.633
					
Nr. 28			Nr. 29		
X	Y	Z	X	Y	Z
6042096.087	552732.502	156.61	6042094.627	552731.136	156.640
					
Nr. 30			Nr. 31		
X	Y	Z	X	Y	Z
6042095.912	552730.844	156.636	6042096.742	552729.986	156.635
					

Nr. 32			Nr. 33		
X	Y	Z	X	Y	Z
6042098.245	552729.839	156.609	6042098.953	552731.228	156.610
					

Nr. 34			Nr. 35		
X	Y	Z	X	Y	Z
6042101.514	552728.369	156.662	6042102.565	552730.039	156.658
					

Nr. 36		
X	Y	Z
6042103.058	552732.404	156.648
		

E PRIEDAS. *Cannon EOS550D* fotografinių vaizdų apdorojimo, programine įranga *LISA*, rezultatai.

Vidinio orientavimo rezultatai

0.1814500000E+04	0.2331002331E+03
0.0000000000E+00	0.0000000000E+00
0.1209500000E+04	0.0000000000E+00
0.2331002331E+03	0.0000000000E+00
1	1.000 1.000
2	3629.000 1.000
3	3629.000 2419.000
4	1.000 2419.000
CANNON.CMR	
18.000	

Išorinio orientavimo rezultatai

1001K fotografinis vaizdas						1000D fotografinis vaizdas					
18.000						18.000					
-1.530154 0.890884 -1.547292						1.627424 1.737472 1.586788					
552724.897 6042086.977 158.648						552731.541 6042083.417 158.373					
17	4.527	-2.378	552735.715	6042095.000	156.553	17	3.484	-2.369	552735.715	6042095.000	156.553
20	2.819	-2.434	552734.454	6042095.616	156.566	20	1.356	-2.369	552734.454	6042095.616	156.566
21	1.485	-2.318	552734.159	6042096.586	156.568	21	0.584	-2.202	552734.159	6042096.586	156.568
22	-0.382	-2.180	552733.531	6042098.126	156.587	22	-0.592	-2.013	552733.531	6042098.126	156.587
23	-0.648	-2.004	552733.959	6042099.228	156.588	23	-0.305	-1.830	552733.959	6042099.228	156.588
25	-2.373	-1.867	552733.298	6042100.729	156.597	25	-1.249	-1.730	552733.298	6042100.729	156.597
26	-3.540	-1.828	552732.527	6042101.671	156.628	26	-2.077	-1.682	552732.527	6042101.671	156.628
27	2.270	-2.884	552732.591	6042094.686	156.633	27	-1.060	-2.708	552732.591	6042094.686	156.633
28	0.300	-2.610	552732.502	6042096.087	156.612	28	-1.558	-2.399	552732.502	6042096.087	156.612
29	0.305	-3.266	552731.136	6042094.627	156.640	29	-3.703	-2.858	552731.136	6042094.627	156.640
30	-1.682	-2.927	552730.844	6042095.912	156.636	30	-3.999	-2.532	552730.844	6042095.912	156.636
31	-3.810	-2.880	552729.986	6042096.742	156.635	31	-5.158	-2.434	552729.986	6042096.742	156.635
32	-5.042	-2.579	552729.839	6042098.245	156.609	32	-5.068	-2.202	552729.839	6042098.245	156.609
33	-3.433	-2.279	552731.228	6042098.953	156.610	33	-3.261	-2.030	552731.228	6042098.953	156.610
35	-6.437	-1.880	552730.039	6042102.565	156.658	35	-4.429	-1.658	552730.039	6042102.565	156.658
36	-4.137	-1.700	552732.404	6042103.058	156.648	36	-2.163	-1.545	552732.404	6042103.058	156.648

Išorinio orientavimo paklaidos

No.	x [mm]	y [mm]	Res. x	Res. y
17	3.484	-2.369	0.125	0.031 M
20	1.356	-2.369	0.036	0.007 M
21	0.584	-2.202	-0.043	0.024 M
22	-0.592	-2.013	-0.098	0.004 M
23	-0.305	-1.830	-0.115	0.017 M
25	-1.249	-1.730	-0.141	-0.014 M
26	-2.077	-1.682	-0.110	-0.044 M
27	-1.060	-2.708	0.158	-0.056 M
28	-1.558	-2.399	-0.017	-0.003 M
29	-3.703	-2.858	-0.122	-0.048 M
30	-3.999	-2.532	-0.038	0.017 M
31	-5.158	-2.434	-0.032	0.029 M
32	-5.068	-2.202	0.030	0.046 M
33	-3.261	-2.030	0.054	0.011 M
35	-4.429	-1.658	-0.001	0.006 M
36	-2.163	-1.545	-0.007	-0.037 M
Standard deviation [mm]			0.110	0.029

Olympus X-960 fotografinių vaizdų apdorojimo, programine įranga LISA, rezultatai.

Vidinio orientavimo rezultatai

0.1501000000E+04	0.6993006993E+03
0.0000000000E+00	0.0000000000E+00
0.1125500000E+04	0.0000000000E+00
0.6993006993E+03	0.0000000000E+00
1	1.000 1.000
2	3002.000 1.000
3	3002.000 2251.000
4	1.000 2251.000
OLYMPUS1.CMR	
5.000	

Išorinio orientavimo rezultatai

101K fotografinis vaizdas						100D fotografinis vaizdas					
5.000						5.000					
0.949136 0.359768 -1.703218						0.962156 0.117348 -1.467571					
552739.619 6042096.022 161.156						552740.192 6042098.523 161.659					
23	0.046	-0.124	552733.959	6042099.228	156.588	23	0.242	-0.066	552733.959	6042099.228	156.588
27	1.860	-0.102	552732.591	6042094.686	156.633	27	1.920	-0.353	552732.591	6042094.686	156.633
32	1.620	-0.536	552729.839	6042098.245	156.609	32	0.704	-0.842	552729.839	6042098.245	156.609
33	0.724	-0.356	552731.228	6042098.953	156.610	33	0.235	-0.400	552731.228	6042098.953	156.610
34	-0.161	-1.446	552728.369	6042101.514	156.662	34	-1.744	-0.037	552728.369	6042101.514	156.662
35	-1.560	-0.838	552730.039	6042102.565	156.658	35	-0.172	0.358	552730.039	6042102.565	156.658
36	-1.718	-0.370	552732.404	6042103.058	156.648	36	0.736	-0.004	552732.404	6042103.058	156.648
103	0.373	0.084	552733.589	6042098.687	157.090	103	0.548	0.133	552733.589	6042098.687	157.090

Išorinio orientavimo paklaidos

No.	x [mm]	y [mm]	Res. x	Res. y
23	0.242	-0.066	0.057	-0.420 M
27	1.920	-0.353	-0.030	-0.006 M
32	0.704	-0.842	0.076	0.015 M
33	0.235	-0.400	-0.091	0.117 M
34	-1.744	-0.037	0.024	-0.044 M
35	-0.172	0.358	0.017	0.238 M
36	0.548	0.133	0.067	0.200 M
103	0.736	-0.004	-0.117	-0.103 M
Standard deviation [mm]			0.068	0.193

F PRIEDAS. Bunbil modulio tinklo išlyginimo rezultatai

DATE: 04/18/20 20:05:09

PROGRAM SYSTEM PICTRAN-B (VERSION4.3 (C) TECHNET 1995-1998)

OUTPUT OF MODULE BUNBIL

BUNDLE ADJUSTMENT

TECHNET GMBH
PESTALOZZISTRASSE 8
D-70563 STUTTGART
TEL.: +49711/9018297 FAX.: +49711/9018296

PROJECT: EISMAS1

DATE: 04/18/20 20:05:09
LEGEND OF THE MODULE BUNBIL

V = RESIDUAL
MFV = STANDARD DEVIATION OF OBSERVATIONS A PRIORI
EV = REDUNDANCY NUMBER
GF = PROBABLE DIMENSION OF A BLUNDER
EK = DISPLACEMENT IF OBSERVATION DOES NOT TAKE PART OF THE ADJUSTMENT
NV = NORMALIZED RESIDUAL
GRZW = THRESHOLD VALUE FOR NOT TRACEABLE BLUNDERS
EGK = EFFECT OF GRZW ON THE RELATIVE POSITION
M = STANDARD DEVIATION OF UNKNOWNNS
STA = STATE (0=FIX, 1=UNKNOWN, 2=OBSERVED)
** = BLUNDER IS SUPPOSED
*** = BLUNDER IS PROBABLE
MAXIMUM NUMBER OF IMAGE COORDINATES = 25000
MAXIMUM NUMBER OF OBJECT COORDINATES = 2500
MAXIMUM NUMBER OF SYSTEMS = 500
MAXIMUM NUMBER OF PLANES = 20
MAXIMUM NUMBER OF CAMERAS = 100
MAXIMUM NUMBER OF DISTANCES = 200
MAXIMUM NUMBER OF DIFFERENCES = 100
MAXIMUM NUMBER OF DIAGONAL SUBMATRICES = 200000
MAXIMUM NUMBER OF SUBMATRICES IN THE NORMAL EQUATION MATRIX = 180000
MAXIMUM NUMBER OF SINGEL ELEMENTS IN THE NORMAL EQUATION MATRIX = 900000

===== IMAGE- AND OBJECT DATA

NU. OF IMAGES	2
NU. OF IMAGE POINTS	36
NU. OF OBJECT POINTS	22
NU. OF CONTROL POINTS	22
NU. OF CAMERAS	1
NU. OF PLANES	0

```

NU. OF DISTANCES      0
NU. OF DIFFERENCES    0

```

===== ITERATIONS

ITERATION	UNKNOWN	RIGHT SIDE	TIME [s]
1	0.1000E+11	0.2493E+14	0.00
2	0.4674E+02	0.4086E+13	0.01
3	0.9693E+01	0.4407E+12	0.02
4	0.2281E+01	0.1461E+11	0.03
5	0.3447E+00	0.5171E+09	0.04
6	0.7362E-01	0.1998E+08	0.05
7	0.1276E-01	0.5614E+06	0.05
8	0.2568E-02	0.2531E+06	0.07
9	0.4714E-03	0.1934E+06	0.08
10	0.9258E-04	0.2088E+06	0.09
11	0.1758E-04	0.1544E+06	0.10
12	0.3658E-05	0.2545E+06	0.11
13	0.2987E-05	0.1699E+06	0.12
14	0.7576E-06	0.2649E+06	0.12
15	0.8996E-06	0.1351E+06	0.14
16	0.6497E-06	0.1459E+06	0.15
17	0.1416E-05	0.1450E+06	0.16
18	0.2507E-05	0.1451E+06	0.17

```
===== ITERATIONS
```

ITERATION	UNKNOWN S	RIGHT SIDE	TIME [s]
19	0.1603E-05	0.1450E+06	0.18
20	0.2100E-06	0.1450E+06	0.19

===== DATA OF THE ADJUSTMENT

OBSERVATIONS (OB)	108
UNKNOWN(S) (UN)	50
NU. CONSTR. EQUATIONS (CON)	2
REDUNDANCY (OB-UN+CON)	60
SUM OF REDUNDANCY NUMBERS	60.000
NU. OF DIAGONAL SUBMATRICES	61
NU. OF ALL SUBMATRICES	230
NU. OF ALL SINGLE ELEMENTS	2671
FILLING OF ATPA [%]	0.3286E+02

RESULTS OF ADJUSTMENT

		ELEMENTS OF ROTATION MATRICES		
SYSTEM-NU	A11	A12	A13	OMEGA
CAMMERANAME	A21	A22	A23	PHI
	A31	A32	A33	KAPPA
1000	0.993812	-0.106478	-0.031728	-116.881547
Cannon550D	0.002525	-0.263848	0.964561	-2.020217
	-0.111076	-0.958669	-0.261946	6.794939

< . . . >

CAMERANAME	A1 A2 A3 A4 A5 A6 R00	MA1 MA2 MA3 MA4 MA5 MA6	STAA1 STAA2 STAA3 STAA4 STAA5 STAA6
Cannon550D	0.000000D+00 0.000000D+00 0.000000D+00 0.000000D+00 0.000000D+00 0.000000D+00 0.000000D+00	- - - - - -	0 0 0 0 0 0

BUNBIL-OUTPUT

	CONTROL OF THE ADJUSTMENT										
	TOTAL	IMAGE	COORD	PROJ.CENT	OBJECT	COORD	DIS	DIF	PLANE PO	PLANE PARAM	PRINC PO+C
REDUNDANCY	60.000000	60.000000		0.000000	0.000000		0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
SIGMA	6.079200	6.079200		1.000000	1.000000		1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
VTPV*****				0.000000	0.000000		0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

DATE: 04/18/20 20:01:48

PROGRAM SYSTEM PICTRAN-B (VERSION4.3 (C) TECHNET 1995-1998)
OUTPUT OF MODULE BUNBIL

BUNDLE ADJUSTMENT

TECHNET GMBH
PESTALOZZISTRASSE 8
D-70563 STUTTGART
TEL.: +49711/9018297 FAX.: +49711/9018296

PROJECT: OLYMPUS4

LEGEND OF THE MODULE BUNBIL

V = RESIDUAL
EV = REDUNDANCY NUMBER
MFV = STANDARD DEVIATION OF OBSERVATIONS A PRIORI
GF = PROBABLE DIMENSION OF A BLUNDER
EK = DISPLACEMENT IF OBSERVATION DOES NOT TAKE PART OF THE ADJUSTMENT
NV = NORMALIZED RESIDUAL
GRZW = THRESHOLD VALUE FOR NOT TRACEABLE BLUNDERS
EGK = EFFECT OF GRZW ON THE RELATIVE POSITION
M = STANDARD DEVIATION OF UNKNOWNNS
STA = STATE (0=FIX, 1=UNKNOWN, 2=OBSERVED)
** = BLUNDER IS SUPPOSED
*** = BLUNDER IS PROBABLE

DIMENSION OF BUNBIL:

MAXIMUM NUMBER OF IMAGE COORDINATES =	25000
MAXIMUM NUMBER OF OBJECT COORDINATES =	2500
MAXIMUM NUMBER OF SYSTEMS =	500
MAXIMUM NUMBER OF PLANES =	20
MAXIMUM NUMBER OF CAMERAS =	100
MAXIMUM NUMBER OF DISTANCES =	200
MAXIMUM NUMBER OF DIFFERENCES =	100
MAXIMUM NUMBER OF DIAGONAL SUBMATRICES =	200000
MAXIMUM NUMBER OF SUBMATRICES IN THE NORMAL EQUATION MATRIX =	180000
MAXIMUM NUMBER OF SINGEL ELEMENTS IN THE NORMAL EQUATION MATRIX =	900000

===== USER DEFINED SETTINGS

PRECISION OF CALCULATION	0.1000E-19
TERMINATION RIGHT SIDE	0.1000E-03
TERMINATION COORDINATES	0.1000E-06
TERMINATION NORMALIZED RESIIDUAL	0.4000E+01
ST. DEV. OF POINT IN PLANE	0.1000E+00
ST. DEV. OF PLANE CONDITION EQUATION	0.1000E-01
ST. DEV. OF IMAGE COORDINATE X	0.2000E-01
ST. DEV. OF IMAGE COORDINATE Y	0.2000E-01
ST. DEV. OF IMAGE COORDINATE Z	0.2000E-03
MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS	20
MAXIMUM NUMBER OF DATA-SNOOPING	5
FAKTOR OF WEIGHT	0.1000E-03
NAME OF THE PROJECT	OLYMPUS4

===== IMAGE- AND OBJECT DATA

NU. OF IMAGES	2
NU. OF IMAGE POINTS	10

NU. OF OBJECT POINTS	5
NU. OF CONTROL POINTS	5
NU. OF CAMERAS	1
NU. OF PLANES	0
NU. OF DISTANCES	0
NU. OF DIFFERENCES	0

=====			ITERATIONS
ITERATION	UNKNOWN	RIGHT SIDE	TIME [s]
1	0.1000E+11	0.5796E+14	0.00
2	0.5861E+02	0.2041E+13	0.01
3	0.2921E+02	0.3406E+13	0.02
4	0.4453E+01	0.3959E+11	0.03
5	0.1544E+01	0.9144E+10	0.05
6	0.2414E+00	0.2046E+09	0.05
7	0.9034E-01	0.2421E+08	0.07
8	0.1644E-01	0.1086E+07	0.08
9	0.5828E-02	0.6641E+05	0.09
10	0.1227E-02	0.2118E+05	0.10
11	0.4044E-03	0.1401E+05	0.11
12	0.9499E-04	0.7827E+04	0.12
13	0.2953E-04	0.1455E+05	0.14
14	0.9539E-05	0.1849E+05	0.15
15	0.8124E-05	0.2114E+05	0.16
16	0.2571E-05	0.1092E+05	0.17
17	0.1941E-05	0.1074E+05	0.18
18	0.1906E-05	0.1242E+05	0.19

ITERATION	UNKNOWN	RIGHT SIDE	TIME [s]
19	0.7888E-06	0.2855E+05	0.21
20	0.1285E-05	0.2824E+05	0.22

===== DATA OF THE ADJUSTMENT	
OBSERVATIONS (OB)	30
UNKNOWN(S) (UN)	24
NU. CONSTR. EQUATIONS (CON)	2
REDUNDANCY (OB-UN+CON)	8
SUM OF REDUNDANCY NUMBERS	8.000
NU. OF DIAGONAL SUBMATRICES	18
NU. OF ALL SUBMATRICES	66
NU. OF ALL SINGLE ELEMENTS	940
FILLING OF ATPA [%]	0.7373E+02

RESULTS OF ADJUSTMENT

SYSTEM-NU		ELEMENTS OF ROTATION MATRICES		
CAMMERANAME	A11	A12	A13	OMEGA
	A21	A22	A23	PHI
	A31	A32	A33	KAPPA
101	0.122155	0.565763	0.815470	174.125301
olympusx960	0.965885	0.121271	-0.228823	60.704256
	-0.228352	0.815602	-0.531648	-86.462387

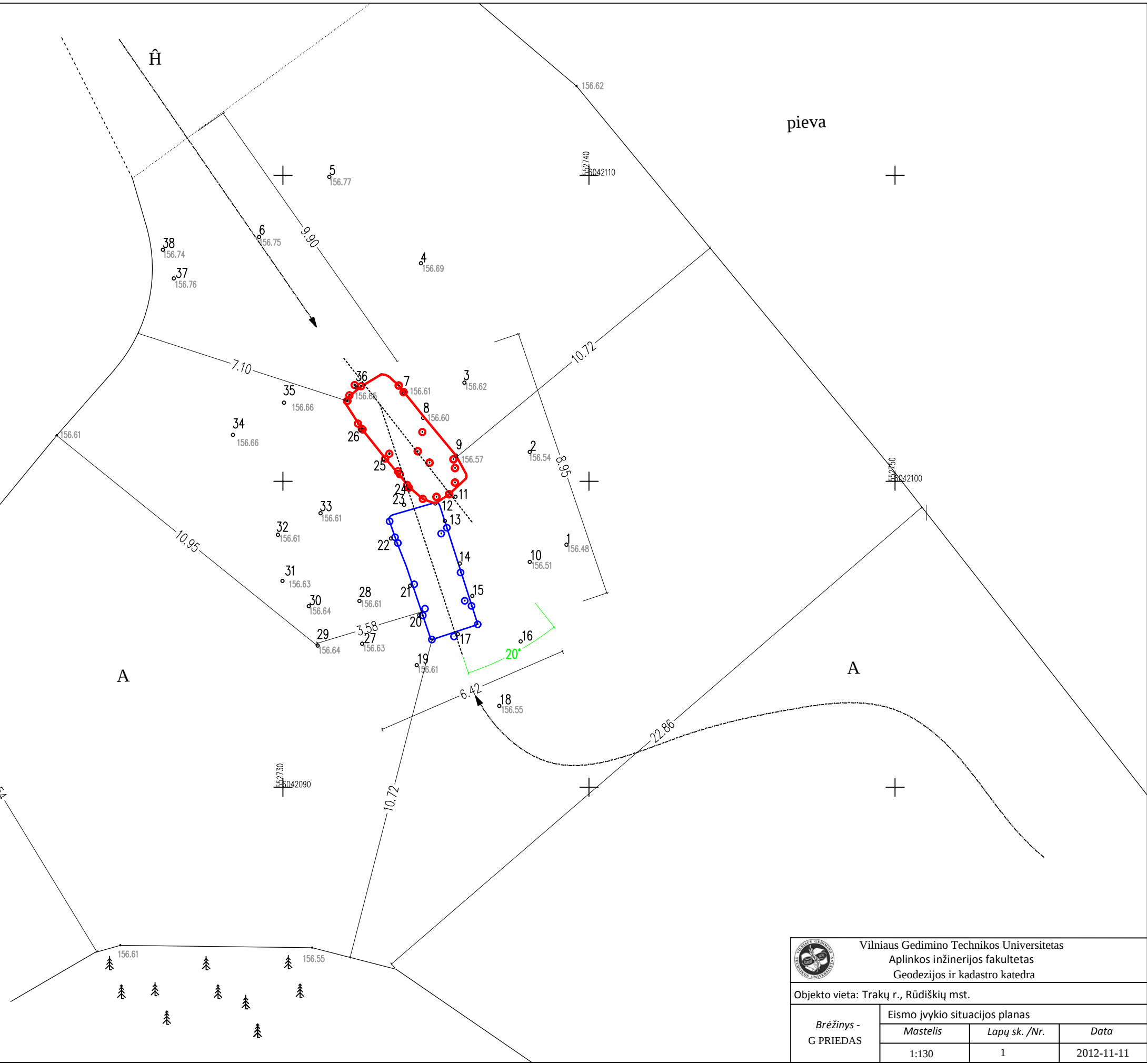
< . . . >

[illegible]

Sutartiniai žymėjimai

SIMBOLIS	Paiškinimas
5 156.77	Atraminiai taškai su atlitudėmis, m
○	Taškai išmatuoti PICTRAN-D programine įranga
○	Taškai išmatuoti PICTRAN-D programine įranga
—	Pirmosios transporto priemonės kontūras
—	Antrosios transporto priemonės kontūras
---	Transporto priemonių ašys
—>	Transporto priemonių judėjimo trajektorija

N



Brėžinys - G PRIEDAS	Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas Aplinkos inžinerijos fakultetas Geodezijos ir kadastro katedra		
	Objekto vieta: Trakų r., Rūdiškių mst.		
	Eismo įvykio situacijos planas		
	Mastelis	Lapų sk. /Nr.	Data
	1:130	1	2012-11-11

**15-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija
„Mokslas — Lietuvos ateitis“
“CIVILINĖ INŽINERIJA IR GEODEZIJA”**

2012 spalio 26 d.

DIENOTVARKĖ

Mokslo komiteto pirmininkas

Prof. habil. dr. A. Zakarevičius

Mokslo komiteto sekretorius prof. dr. M. Burinskienė

Organizacinio komiteto pirmininkas – doc. dr. G. Paliulis

Sekretorius – doc. dr. R. Bagdžiūnaitė

Dalyvių registracija 9.00-10.00

GEODEZIJOS SEKCIJA

1 posėdis 10.00 – 11.30 2709 a.

1. Č. Aksamitauskas. Geodezijos katedrai 90 metų.
2. L. Papšienė. Generalizuotų plotinių objektų kokybės vertinimas.
3. V. Mikelevič. Eismo įvykių registravimas taikant fotogrametrinius metodus.
4. D. Burokaitė. Gravimetrų Scintrex CG-5 palyginimas.
5. I. Spietinytė. Gravimetrinių duomenų apdorojimo analizė.
6. G. Intaitė. Nekilnojamojo turto kadastro žemėlapių sklypų ribų topologijų optimizavimas.
7. Ž. Karpina. Daugiatikslių sprendimų priėmimas atsižvelgiant į rodyklių priklausomybę.
8. R. Čiunka. Pastatų matavimai GPS imtuvu.
9. T. Kovalčuk. Šiuolaikinių Žemės plutos judesių ir georodiklių sąsaja.
10. E. Tamašauskaitė. UAV įrangos panaudojimas fotografiniams vaizdams gauti ir paviršiaus modelių kūrimas.

2 posėdis. 11.45 – 13.15

11. R. Birvydienė. Geopotencialo modelio Lietuvos teritorijoje įvertinimas.
12. R. Aleliūnas. Mobilųjų įrenginių navigacinių sistemų tyrimas.
13. D. Šukys. Žemės reformos žemėtvarkos projektų klaidų analizė.
14. U. Antanavičiūtė. Lazerinio skenerio kalibravimas.
15. E. Skripkaitė. Žemės plutos horizontalių judesių pagal GPS matavimų duomenis tyrimas taikant tenzorinę analizę.
16. V. Doval. Dabartinių vertikalųjų Žemės paviršiaus judesių Rytų Lietuvoje tyrimas.
17. R. Tubutis. Elektroninių tacheometrų kalibravimo rezultatų analizė.
18. K. Volotkevič. Sunkio lauko ekvipotencialinių deformacijų tyrimai.
19. L. Baciūtė. Nuolat veikiančių GPS stočių Baltijos regione padėties pokyčiai.
20. M. Šimkus. Įgyvendinto konsolidacijos projekto, apimančio Pasvalio rajono Vytartų ir Vytartėlių kaimus, apžvalga.

3 posėdis. 13.30 – 15.00

21. A. Oržekauskas. Geodezinių matavimų GPNS imtuvais tikslumo tyrimas.
22. T. Sližys. Skaitmeninio žemėlapių formavimas panaudojant CAD technologijas.
23. A. Urbanovičiūtė. Žemės sklypų formavimo ir pertvarkymo (atidalijimo, padalijimo, apjungimo) projektų rengimas. Dažniausiai daromos klaidos.
24. S. Daduraitė. Lietuvos teritorijos dabartinių vertikalųjų žemės plutos judesių greičių gradientų žemėlapiai.
25. D. Želudaitė. Mėnulio ir Saulės poveikio vertikalei tyrimas.

Diskusijos

**VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS
UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS**



CIVILINĖ INŽINERIJA IR GEODEZIJA

15-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos
„Mokslas — Lietuvos ateitis“

PROGRAMA

2012 M. SPALIO 26 D.