

# STEREOFOTOGRAMETRINIO MATAVIMO METODŲ TAIKYMAS PASTATŲ KARTOGRAFAVIME

**Ilona Urbanavičienė**

*Kauno kolegija*

**Anotacija.** Kartografuojama objektų padėtis ir erdvinės savybės modeliuojamos geometriniais objektais (taškais, linijomis, plotais). Duomenų rinkiniuose pateikiami susisteminti ir metodiškai sutvarkyti objektai. Norint gauti kokybiškus realaus pasaulio duomenis, tikslinga įvertinti turimų duomenų tikslumą. Pastatų kartografavimui naudojami stereofotogrametrinio matavimo ir ortofotogrametrinis metodai. Dažniausiai objektų padėtis nustatoma naudojant ortofotografinių žemėlapių informaciją, kai pagal objekto požymius (formą, dydį, šešėlius, tekstūrą, tarpusavio ryšį) atpažįstami ir įvardijami antropogeniniai ir gamtiniai objektai. Pastatų aukščiai bei stogai turi įtakos aerofotografiniai informacijai, o svarbiausia ir kartografavimo tikslumui: iškraipomos pastatų centrinės projekcijos (perspektyvos), atsiranda mastelio pokytis atsižvelgiant į pastatų pamatų ir stogo padėtį (šlaitinių stogų nuosvyros). Dešifruojant pastatus ortofotografiniu būdu sudėtinga įvertinti pastatų perspektyvinį pokytį dėl aukščio.

Straipsnio aktualumas siejamas su aerofotografinių nuotraukų stereodešifravimo panaudojimo galimybėmis ir gautų geoduomenų (pastatų) rezultatų tikslumo įvertinimu. Straipsnyje pateikiami stereoskopinio regėjimo metodai, jų trūkumai ir privalumai, astenopijos simptomų pastebėjimai vykdant poliaroidinį ir anaglifinį stereostebėjimo būdus. Aptariama aerofotografinių vaizdų geometrija, norint gauti geriausią stereomodelį.

Tyrimų metu atliktas pastatų (plotinio objekto) stereofotogrametrinis matavimas. Stereofotogrametriniai matavimai atlikti su fotogrametriniams uždaviniams spręsti programine įranga Photomod, naudojant Planar 3D vaizduoklį bei poliaroidinius akinius.

Stereofotogrametrinio matavimo metodu fiksuojant pastatus eliminuojama jų aukščio įtaka ir pasiekiamas geresnis pastatų kartografavimo tikslumas. Gauti rezultatai lyginami su georeferencinio pagrindo kadastro (GRPK) duomenimis ir atliktais natūriniais geodeziniais matavimais. Atsižvelgiant į stereofotogrametrinio matavimo privalumus nustatyta, kad pastatų ploto dydžiai neturi įtakos duomenų vaizdavimo tikslumui. Žymesnę įtaką pastato erdviniam duomenų tikslumui turi pastato konfigūracija (kampų skaičius) ir pastato aukštis.

**Reikšminiai žodžiai:** stereofotogrametrija, stereopora, stereoskopija, anaglifinis, poliarizacija, pastatas.

## Įvadas

Stereofotogrametrija – fotogrametrijos mokslo dalis, susijusi su ortofotografinio žemėlapiu, erdvinio paviršiaus kūrimu, geoobjektų vektorizavimo vykdymu, trimačių objektų modeliavimu ir pan. Būtina susikurti stereomodelį (1 pav.) iš vaizdų (aerofotografinių vaizdų) ir turėti stereoregėjimui vykdyti skirtas priemones.

Vaizdai gaunami fotografuojant iš lėktuvų, bepiločių skraidyklių, kosminių vaizdų arba atliekant antžeminį fotografavimą.



1 pav. Aerofotografinių vaizdų stereomodelis

Stebint vaizdų stereoporą, kiekviena akis mato tik vieną iš vaizdų, tuomet gaunamas trimatis (stereoskopinis) paveikslėlis, atkartojantis realaus objekto gylį. Fotografavimo proceso metu sutampančių vaizdų dalis gali būti išilgai – maršrute ir skersai – tarp maršrutų. Norint gauti aukštos kokybės stereoskopinį efektą, geriausias tokio dydžio vaizdų sutapimas: išilginė sanklota – 60 proc., skersinė – 20 proc.

Pagrindinė akių funkcija yra atpažinti ir įvertinti analizuojamą objektą. Žmogus gali stebėti objektus ir viena akimi (monokulinis (vienakis) regėjimo būdas) ir abiem akimis (binokulinis (abiakis) regėjimo būdas). Stebėdami viena akimi tiesiogiai nesuvokiame erdvinio objektų išsidėstymo, jų apimties, o stebėdami abiem akimis galime įvertinti objektų erdvinį išsidėstymą trimatėje erdvėje, jų erdvinis vaizdas suteikia realų trimatiškumo (3D) (Hoevenaren ir kt, 2015) ir gylio pojūtį. Šalia esančiuose vaizduose stebėdami tuos pačius objektus, nufotografuotus iš skirtingų padėčių, galime pasitelkti binokulinį regėjimo būdą, perteikiantį erdvinį šių objektų išsidėstymą. Dviejų tarpusavyje persidengiančių vaizdų (dar vadinama stereopora), nufotografuotų iš skirtingų padėčių, stebėjimas suvokiant objektų erdvinę apimtį, yra vadinamas stereoskopiniu regėjimu (Urbanavičienė, 2016).

Erdvinis matymas plačiai naudojamas nuotolinių tyrimų vaizdų dešifravime, atliekant stereofotogrametrinius matavimus, nustatant žemės paviršiaus aukščius, klasifikuojant objektus pagal jų aukštingumą, nustatant šlaitų nuolydžius, reljefo pokyčius ir kt. (Žalnierukas, Sužiedelytė – Visockienė, 2002).

Esant monokuliniam matymui (viena akimi), erdvės gilumą galima pajauti pagal kitus kriterijus – vaizdo dydį, šešėlius, judesio paralaksą ir kt. kurių įgyjama su amžiumi.

Straipsnio tikslas: išsiaiškinti stereofotogrametrinių matavimų metodus, stereostebėjimo ypatumus ir galimybes nustatant geoobjektų (pastatų) padėties tikslumą.

#### Uždaviniai:

1. Aptarti stereofotogrametrinių matavimų atlikimui skirtas stereostebėjimo sistemas.
2. Aptarti gebėjimą nustatyti erdvinio paviršiaus objektų aukščius.
3. Pateikti geoobjektų (pastatų) stereofotogrametrinių matavimų rezultatus ir jų tikslumą.

**Darbo metodai:** mokslinės literatūros apžvalga, studentų stereostebėjimo galimybių vertinimas, praktinė tyrimo atvejo analizė.

#### Tyrimo medžiaga ir metodai

Tyrimui atlikti naudojamos stereostebėjimo sistemos ir priemonės (Kauno kolegija). 2018–2019 m. vykdytame stebėjime dalyvavo 22 Geodezijos studijų programos studentai. Stereoskopiniu būdu matuoti pasirinktieji taškai, taikant anaglifinį ir poliaroidinį stereoskopinio matymo būdus.

Eksperimentinis tyrimas atliktas panaudojant aerofotografinę medžiagą: Kauno miesto skaitmeniniai 1:20000 mastelio aerofotografiniai

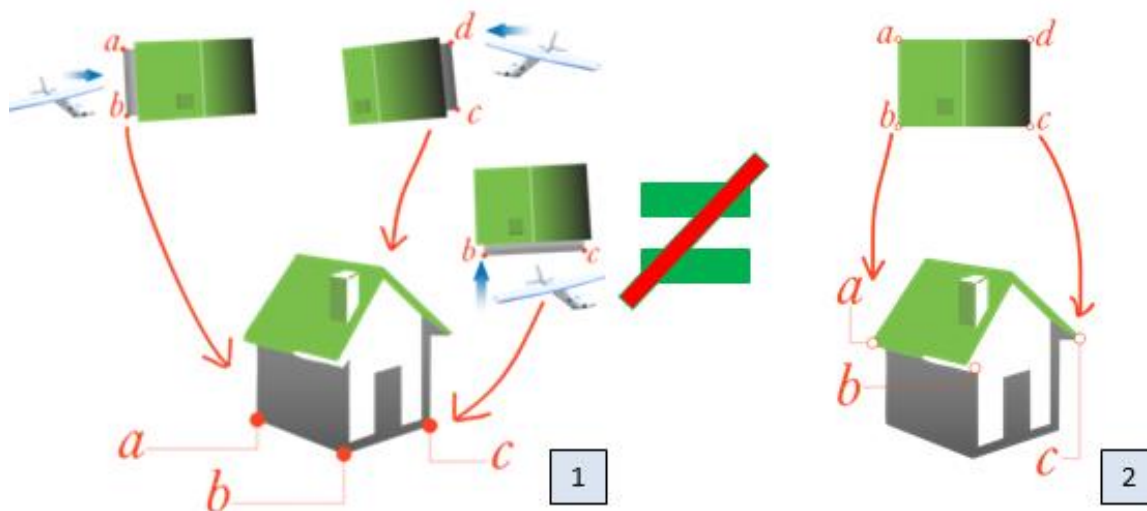
vaizdai. Vietovė fotografuota skaitmenine aerokamera, skaitmenine kamera Vexcel Ultra Cam X. Aerofotokameros židinio nuotolis  $f_k = 100,5$  mm. Išilginė aerofotonuotraukų sanklota – 60 proc., skersinė – 32 proc. Naudojant fotogrametrinę programinę įrangą fotogrametriniu būdu apdoroti ir sukurti stereomodeliai (35 maršruto 406, 407 ir 408 aerofotografiniai vaizdai). Duomenys parengti fotogrametrine darbo stotimi Photomod atliekant aerofotografinių vaizdų vidinį, reliatyvųjį ir absoliutinį orientavimus.

Realaus pasaulio erdviųjų objektų (pastatų) stereofotogrametrinis matavimas (Photomod, poliaroidinis metodas) atliktas 23 įvairaus aukščio ir dydžio, konfigūracijos gyvenamųjų, komercinės ir gamybinei veiklai skirtų pastatų. Gauti rezultatai palyginami su pastatų geodeziniais matavimais ir Gerefencinio pagrindo kadastro (GRPK) duomenimis (sluoksnis PASTATAI) (Lietuvos erdvinės informacijos portalas, 2021).

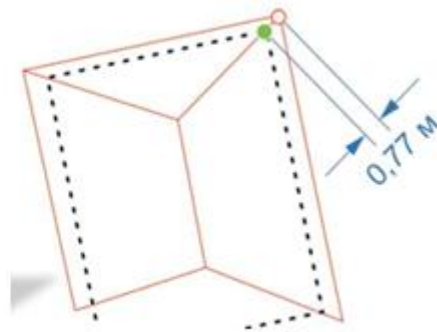
Stereofotogrametriniai matavimai atlikti naudojant Planar 3D vaizduoklį ir fotogrametriniams uždaviniams spręsti programinę įrangą Photomod. Norint nustatyti geoobjekto (pastato kontūro) tikrąją padėtį, įvertinti stogo nuosvyrą. Tikslinga matyti objektą iš visų pusių ir stereofotogrametrinėmis matavimų sistemomis galima nubrėžti pastato kontūrą, kuris atitinka pastato pamatų padėtį realaus pasaulio situacijoje.

Dešifravimas – fotografinių vaizdų analizavimas, atpažįstant objektus ir juos klasifikuojant (Vainauskas, 2000).

Stereofotogrametrinio metodo panaudojimas atskleidžia statinio tikrąją (paslėptų pastato pamato taškų) padėtį, o ortofotografiniame žemėlapyje pastato projekcija iš viršaus atspindi klaidingus dengiančio objekto (pamatų) taškus (2, 3 pav.).



2 pav. Stereofotogrametrinio metodo (1) ir ortofotografinio žemėlapių (2) dešifravimo rezultatai

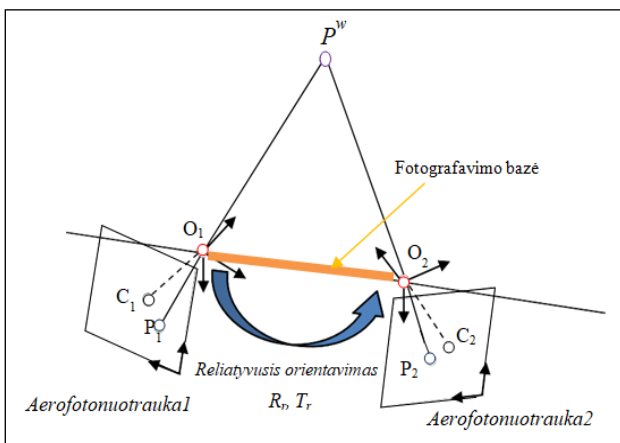


3 pav. Pastato kontūro nustatymas pagal pamatus

Aerofotografinių vaizdų informatyvumas priklauso nuo aerofotografinio sezono ir dienos laiko (objektų apšvietimo sąlygų, debesuotumo dinamikos, atmosferos rūkanų ir pan.), augalijos fenologijos, grunto ir dirvožemio būsenos, vandens lygio upėse ir kituose vandens telkiniuose.

Lietuvoje priimta, kad aerofotografavimas atliekamas esant ne mažesniai kaip 30 laipsnių Saulės aukščiui virš horizonto. Užstatytos teritorijos (aukšti pastatai) turi krintančius šešėlius, kurie priklauso nuo Saulės pakilimo aukščio horizonto. Krintantys šešėliai geriausi perteikia objektų formą. Tyrimo objektas yra pastatai, dėl to labai svarbu šešėlio tamsumas, nuo kurio priklauso objekto skaitomumas. Pastato kontūro (pamatai) parametrai, jų vaizdavimo tikslumas priklauso nuo pastato padėties, jo skaitomumo ir pan.

Naudojant aerofotokameras (įmontuotos lėktuve) gaunami persidengiantys vaizdai, t. y. tas pats objektas nufotografuotas iš skirtingų padėčių. Pirmosios ir antrosios aerokamerų optiniai centrai žymimi atitinkamai  $O_1$  ir  $O_2$  (4 pav.).



4 pav. Stereoskopinio matymo principai ir geometrija

Pagrindiniai aerofotografinio vaizdo taškai žymimi taškais  $C_1$  ir  $C_2$ . Aerokameros židinio atstumas vizualizuojamas nutrūktomis linijomis tarp projekcijos centrų ir pagrindinių taškų

(fotografuojant židinio atstumas yra pastovus). Vaizdas apverstas aukštyje, nes vaizdo plokštuma fiziškai slypi už optinio centro. Todėl vaizdo koordinatų sistema apibrėžiama taip, kad jos pradžia yra apatiniame kairiajame kampe, eilutės ašis nukreipta į viršų, o stulpelio ašis – į kairę.

Santykį tarp dviejų kamerų galima apibūdinti pagal dviejų kamerų padėtį ir orientaciją vienas kito atžvilgiu t.y išorinis reliatyvusis orientavimas, kai pasisukimas erdvėje apibrėžiamas parametrais, kaip sukimosi matrica  $R_r$  ir vertimo vektoriaus  $T_r$  rodo pasisukimo dydį tarp dviejų aerokameros centrų.

Ši transformacija, pateikta lygtyje (1), transformuoja taško koordinatas iš antrosios aerokameros koordinatų sistemos į pirmąją aerokameros koordinatų sistemą.

$$P_{C_1} = R_r \times P_{C_2} + T_r \quad (1)$$

Norint rekonstruoti stereostebėjimui taškus, reikia nustatyti bent dviejų vaizdų atitinkamus taškus, o tai reiškia, kad du taškai  $P_1$  ir  $P_2$  vaizduose yra to paties realaus pasaulio taško  $P^w$  projekcijos.

Stereofotogrametriniam apdorojimui naudojami aerofotografiniai vaizdai, kuriems yra keliami griežti reikalavimai geometrinėms ir vaizdumo savybėms bei jų apdorojimui.

### Stereoskopinio matymo būdai

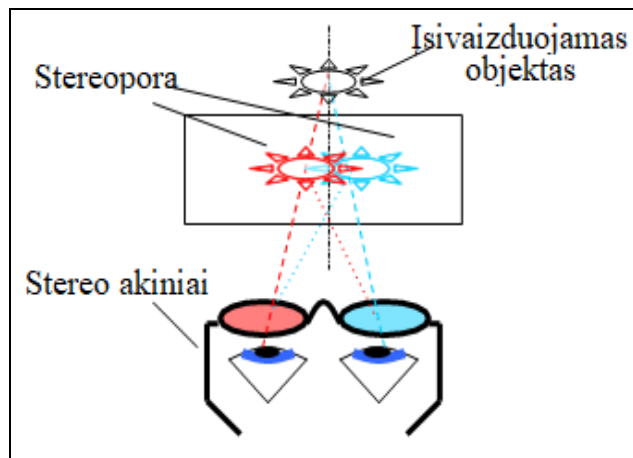
Kuriant virtualią realybę, tikroji užduotis yra imituoti stereoskopinį matymą ir jo viziją vykdant stereostebėjimus. Stereoskopinis matymas yra svarbus žmogaus vizualinio suvokimo apie supančią erdvę bruožas, susijęs su žmogaus regėjimu. Stereoskopinio matymo užtikrinimui naudojami skirtingų technologijų įrankiai: kairės ir dešinės akies kampams atskirti, kad matytume stereoeftą (Dequal, S., Lingua, 2005).

#### Anaglifinis (Anaglyph) metodas

Stereoporos spektrinio atskyrimo metodas sudarytas iš to, kad spalvų spektras yra padalintas į



dvi dalis: viena yra skirta kairiajam kampui, o kita – dešiniajam. Kiekvienas kampas perduodamas per atitinkamą filtrą, kuris atskiria reikiamą spektro dalį. (Park ir Raskar, 2015). Vaizdo atkūrimas atliekamas naudojant akinius su dviem skirtingais filtrais, skirtingoms akims. Naudojant akinius atskiriami kampai, ir tuomet kiekviena akis mato kampą su sutrumpintu spektru. Žmogaus smegenys, kiek įmanoma, atkuria pradinį spalvų spektrą, dėl to matome spalvotą vaizdą (Doneus ir Hanke, 1999).



5 pav. Anaglifinio metodo stereomatymo schema

Anaglifinis stereomatymas (5 pav.), kai įprasto kompiuterio ekrane pavaizduoti vienas ant kito uždėti atitinkami vaizdai, (daugiausiai naudojamas): raudonas, skirtas kairiajai ir žalsvai mėlynas – dešiniajai akiai. Taip pat yra geltonai žalios spalvos akiniai ir specialūs stiklai su šviesos perdavimo spektru.

Raudonas ir žalsvai mėlynas filtrai optiškai gana gerai atskiria kairiąja ir dešiniąja akimis matomus vaizdus, o smegenys iš jų sukuria spalvotą stereoskopinį vaizdą (raudoni ir žalsvai mėlyni akiniai praleidžia visas tris spalvotą vaizdą sudarančias spalvas: raudoną (R), žalią (G) ir mėlyną (B)).

Anaglifinio metodo privalumai: nepriklauso nuo kompiuterio vaizduoklio ir vaizdo plokštės parametrų ir lengvas akinių įsigijimas.

Trūkumai – patenkinamas spalvų perteikimas ir didelė regėjimo našta, susijusi su poreikiu pritaikyti asmenį iškreiptų spalvų suvokimui ir jų pagrindu atkurti teisingą.

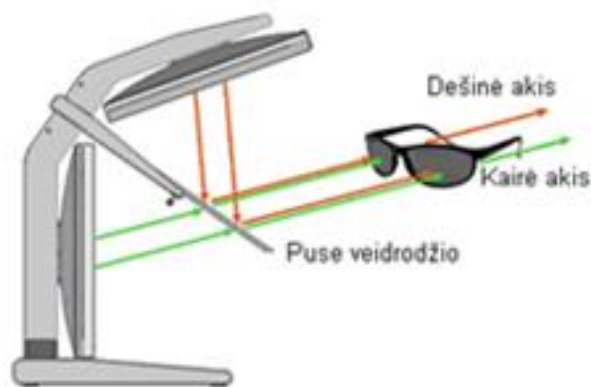
Urbanavičienė (2016) nustatė, kad vidutiniškai stebėtojai (žmogui) reikia keletą minučių, kad išžiūrėtų ir matytų trimatį vaizdą, o baigus ilgesnio laikotarpio stebėjimą (iki pusvalandžio) išlieka iškreiptas spalvų suvokimas.

#### *Poliaroidinis metodas*

Stebint stereoporą stereo vaizduoklių ekranuose, kurie naudoja poliarizacijos efektą ir norėdami atskirti dešinę ir kairę stereoporos

vaizdus, esančius ekrane arba ant specialaus permatomo veidrodžio, naudojami specialūs poliarizuoti akiniai. Poliarizuoti 3D akiniai labai panašūs į įprastus akinius nuo saulės.

Poliarizuoti 3D akiniai yra pateikiami kartu 3D vaizduokliu, kuris palaiko stereostebėjimui skirtas funkcijas. Poliaroidiniam stereostebėjimui atlikti Kauno kolegija turi Planar 3D vaizduoklį, jį sudaro du pagrindiniai vaizduokliai (Sommer, Barnes, Boyd ir kt., 2017): viršutinis LDC stebėjimui skirtas su dešinės akies vaizdu ir apatinis LDC stebėjimui skirtas su kairės akies vaizdu (Planar, 2021). Poliarizuoti akiniai užtikrina, kad kiekvieną akį pasiektų reikiamas vaizdas (6 pav.).



6 pav. Planar 3D ekrano veikimo (poliaroidinio metodo) stereomatymo principinė schema

Poliarizuojančiuose akiniuose (skirti stereostebėjimo vykdymui) yra specialūs poliarizuojantys lęšiai, kurių viduje yra skaidri poliarizuojanti plėvelė (poliarizacinis filtras). Ši plėvelė turi galimybę blokuoti šviesos spindulius, turinčius tam tikrą skersinių vibracijų kryptį (tam tikrą poliarizacijos kryptį) ir netrukdo spinduliams pereiti su kitomis poliarizacijos kryptimis. Poliarizuojant 3D akinius, kairiojo ir dešiniojo okuliario poliarizaciniai filtrai yra pasukti vienas kito atžvilgiu. Ortogonaliai poliarizuoti kairieji ir dešinieji stereoporos vaizdai išlyginami specialiu veidrodžiu, poliarizuojant akinių filtrus ir yra padalijami į atskirus kairiosios ir dešinės akies vaizdus (McAllister, 2002).

Poliaroidinio metodo privalumai: trimačių modelių stebėjimas yra labai patogus ir suprantamas bei minimaliai vargina akis.

Trūkumai: speciali brangi įranga: 3D vaizduoklis, speciali programinė įranga, akiniai su poliarizuojančiais filtrais (pritaikyti konkrečiam 3D vaizduokliui).

Pagrindinė stereoeфекto gavimo sąlyga yra vietovės taškų išilginių paralaksų skirtumas aerofotonuotraukose. Stebint aerofotonuotraukų stereoporos, paralaksas transformuojasi į stebėtojo

fiziologinius paralaksus (paralaksas, matomas ant žemės paviršiaus esančių objektų pokytis, priklausantis nuo jų aukščių skirtumo (Vainauskas, 2000).

Anaglifinio ir poliaroidinio stereostebėjimo metu studentai nustatė 7 parinktus žemės paviršiaus taškų aukščius ir juos užfiksavo. Nustatyti žemės paviršiaus objektų stebėjimo (pojūtis) ir aukščių rezultatai. Pastebėta, kad pasirinkto objekto reljefo aukštį iki 1 metro tikslumu teisingai nustatė 43 proc. studentų naudodami poliaroidinį stereostebėjimo būdą ir 25 proc. anaglifinį stereostebėjimo būdą. Analogiškas tyrimas atliktas 2015–2016 m. m. ir gauti rezultatai labai panašūs (Urbanavičienė, 2016).

### **Stereofotogrametrinių matavimų ypatumai**

Literatūroje mažai aptartos erdvinio matymo problemos ir rezultatų tikslumas. Stereoskopiniam matymui naudojamos priemonės ir sistemos taikomos įvairiems fotogrametriniams uždaviniams spręsti: erdvinio paviršiaus modelio sudarymui, žemės paviršiaus aukščių nustatymui, objektų erdviniam vaizdui gauti, stereofotogrametriniams matavimas atlikti, jų kokybiniais rodikliais nustatyti ir kt. Vainauskas (1977) ir Daniulis (1998) aptarė stereoskopinio regėjimo galimybes, aerofotonuotraukų tarpusavio orientavimą ir jų stereostebėjimo būdus.

Pagrindinė akių funkcija yra atpažinti ir įvertinti analizuojamą objektą. Norint įvertinti analizuojamą žemės paviršiaus objektą ir nustatyti jo aukštį reikia stereomatymo gebėjimų, kuris dar vadinamas binokuliniu matymu.

Sąvoka stereoskopija įvardijama kaip vaizdinės medžiagos atvaizdavimo būdas suteikiant jai erdviškumo ir gylį įspūdį. Stereoskopijoje trimačiai vaizdai rekonstruojami atsižvelgiant į žmogaus akių fiziologines savybes – regos disparatiškumą, nes siekiama gauti kuo tikroviškesnį vaizdą.

Monokulinis matymo procesas neapibrėžia tikslios informacijos (Zhang ir Chandler, 2015) lyginant su binokuliniu stereomatymu.

Stereofotogrametrijoje žmogaus stereomatymo kokybė yra labai svarbi ir aktuali. Stereomatymo rezultatai susieti su žmogaus akių galimybėmis ir sugebėjimu tiksliai analizuoti objektų išsidėstymą erdvėje. Žmogaus esami regėjimo sutrikimai gali sukelti nepageidaujamų klaidų išsikeltų uždavinių sprendimo kokybei (Giniūnaitė ir Daniėlienė, 2013).

Akių medicininiai tyrimai gali iširti žmogaus stereomatymo galimybes, nustatyti kai kurias akių ligas: nežymų žvairumą, akių raumenų pusiausvyros sutrikimus, galima prognozuoti žvairumo gydymą ir kt. (Majauskienė, Majauskaitė, 2004). Yra galimybė lavinti

stereomatymą, tuo pagerinant žmogaus regėjimo rezultatus. Įvertinant stereomatymo rezultatus, naudojami specialūs testai. Daniulis (1998) teigia, kad „žmogaus akys gali įvertinti atstumą tarp gretimų taškų 15–30 lanko sekundžių tikslumu“ (Daniulis, 1998; Majauskienė ir Majauskaitė, 2004). Laikoma, kad tai binokulinio regėjimo skiriamoji geba.

Daiktų išsidėstymas erdvėje suvokiamas abiejų akių darbu (Read, 2015). Žmogaus akys viena nuo kitos nutolusios nuo 5,8–7,2 cm atstumu, tai yra akių bazė. Majauskienė ir Majauskaitė (2004) binokulinį matymą apibrėžia mediciniškai, „kai jungtinė abiejų akių sensorinių ir motorinių sistemų veikla vienu metu, nukreipianti regimąsias akis į objektą, suliejanti to objekto monokulinius vaizdus į vieningą regimąjį vaizdą ir jį lokalizuojanti atitinkamoje erdvės vietoje“ (Majauskienė, Majauskaitė, 2004). Binokulinis matymas padeda įžvelgti objekto aiškumą, tiksliau įvertina atstumą ir objekto gilumą. Stereoskopinis disparatiškumas žmogaus smegenyse suteikia galimybę nustatyti reikiamą informaciją apie objektų padėtį vienas kito atžvilgiu. Binokulinis matymas mediciniškai vadinamas stereopsija, tai tiksli akių padėtis ir jų sveikata, bet gali jos ir nebūti dėl akių žvairumo. Žmogus tada orientuojasi pagal kitų objektų išsidėstymą erdvėje, šešėlius, objektų apšvietos skirtumus ir pan. (Majauskienė, Majauskaitė, 2004).

Astenopijos (akių pavargimas, atsirandantis po įtempto akių darbo) simptomai. Urbanavičienė (2016) atliko apklausą ir stebėjimą apie poliaroidinį ir anaglifinį stereostebėjimo metodus ir pastebėjo, kad astenopijos simptomai pasireiškė anaglifinio stereostebėjimo metu: ašarojimas (15 proc.), galvos svaigimas (16 proc.).

Anaglifinio stereostebėjimo būdo rezultatams turėjo įtakos anaglifinių akinių kokybė ir gebėjimas teisingai tarpusavyje suorientuoti du vaizdus ir žiūrėti į ekraną iš tam tikro atstumo ir tik tada, kai kairioji bei dešinioji akys yra joms skirtoje erdvės dalyje (akys turi būti ties ekrano centru).

Poliaroidinio stereoefekto simptomai sietini su neįprastu matymu ir įgūdžių trūkumu.

Atliekant stereofotogrametrinius matavimus, kai įjungtas stereoskopinis režimas, stebint aukščius, nepatartina keisti galvos padėties. Geriems rezultatams pasiekti reikalingas ilgas ir pastovus darbas. Gamybinėse organizacijose operatoriaus stereofotogrametrinių matavimų įgūdžių įgijimui ir rezultatų teisingumui pasiekti skiriama iki 3 mėnesių intensyvaus darbo.

## Rezultatai ir jų analizė

Stereofotogrametrinis matavimas (poliaroidiniu būdu) atliktas 23 pastatų, kurių tikroji padėtis palyginta su natūriniais matavimais (geodeziniais) gautais rezultatais.

Technologiniai metodikos ypatumai (Racurs, 2021):

1. Sukuriamas erdvinis vietovės modelis, remiantis atramos taškais, transformuojamas į geodezinę koordinačių sistemą.
2. Poliaroidiniu stereostebėjimo būdu išmatuojami pastatų pamatų kampai, pagal matavimo markę, kuri nuleidžiama ant žemės paviršiaus ir pastato pamato kampo ir tiksliai

fiksuojami modelyje.

3. Streofotogrametrinio matavimo metodu (stereodešifravimo) išmatuoti ir apskaičiuoti pastato aukščiai.

Pastato konfigūracijos (pamato kontūras) stereovektorizavimo rezultatų tikslumas vertintas atsižvelgiant į pastato aukštį, plotą, kampų skaičių. (1 lentelė). Kiekvieno pastato matavimo duomenys ir jų rezultatai susisteminti pagal 2 lentelėje pateiktą formą. Kampų poslinkis nuo geodezinių matavimų nustatytas pagal koordinatas, o nuo GRPK – matuojant interaktyviu įrankiu.

1 lentelė. Pastatų pamatų kontūrų matavimo pavyzdžiai



Žymėjimas:

- Raudona – geodeziniais matavimais;
- Geltona – Photomod – poliaroidiniu stereostebėjimo būdu
- Žalia – Georeferencinio pagrindo kadastro duomenų (GRPK) rezultatai (2019 m., © Žemės ūkio ministerija)

2 lentelė. Pastato Nr. 1 matavimo duomenų rezultatai

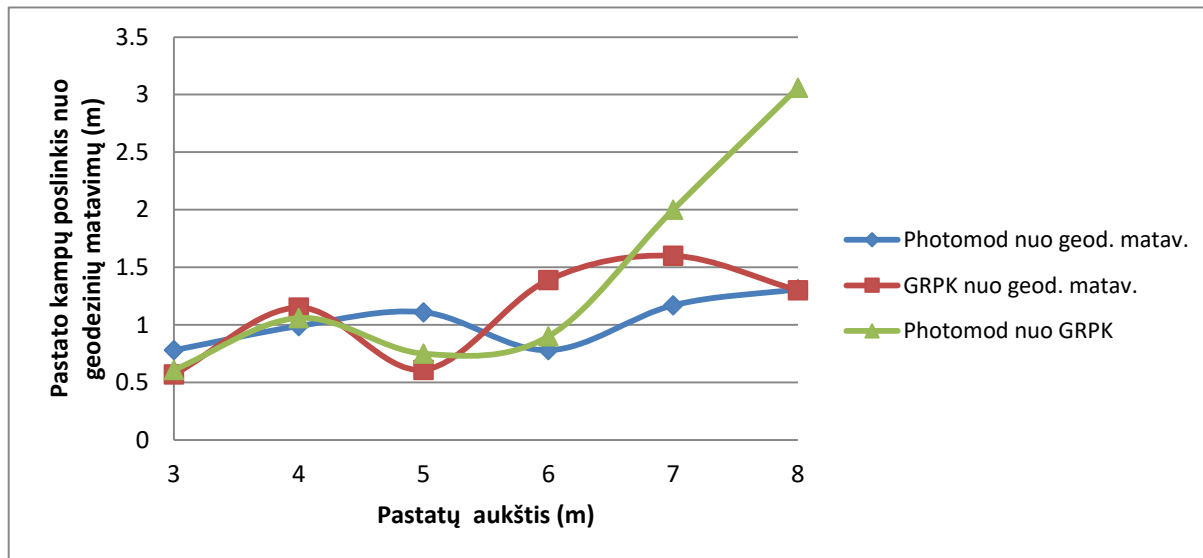
Pastato Nr. 1 duomenys							
Pastato kontūro kampo Nr.	Kampų poslinkis nuo geodezinių matavimų (m)			Pastatų plotai ir jų skirtumai (m <sup>2</sup> )			Apytikslis aukštis (m)
	Photomod	GRPK	Poslinkis Photomod ir GRPK	Geodez. matav. (G)	Photomod (P)	GRPK (GR)	
1	1,88	1,35	0,60	164,09	156,86	145,96	5
2	0,85	0,30	0,99	P - G; GR - G;	-7,23	-18,13	
3	0,30	0,36	0,41		GR - P;	+10,09	
4	0,44	0,64	1,00				
5	0,71	0,37	0,56				
6	0,39	0,48	0,11				
7	0,14	0,50	0,35				
8	1,52	1,85	0,34				
Vidurkiai	0,78	0,73	0,55				

3 lentelė. Surinktų duomenų (pastatų) vidurkių lentelė

Vidurkiai								
Kampų pasislinkimas (m)			Plotų skirtumai nurodantys fizinį dydį tarp (m <sup>2</sup> ) (- mažesnis; + didesnis)			Plotų skirtumai tarp (m <sup>2</sup> )		
Photomod - Geod. matav.	GRPK – Geod. matav.	GRPK Photomod	Geod. matav. ir Photomod	Geod. matav. ir GRPK	GRPK ir Photomod	Geod. matav. ir Photomod	Geod. matav. ir GRPK	GRPK ir Photomod
1,02	1,16	1,28	-10,15	+20,62	+30,77	12,39	31,65	22,02

Išmatavus ir susisteminius surinktus rezultatus apie kiekvieną pastatą pastebėta, kad atlikti stereofotogrametriniai matavimai (Photomod) yra artimesni geodeziniais metodais gautiems rezultatams. Pastato plotai yra mažesni už natūrinius matavimus (geodeziniais metodais) nustatytus rezultatus (3 lentelė). Stereostebėjimo metu

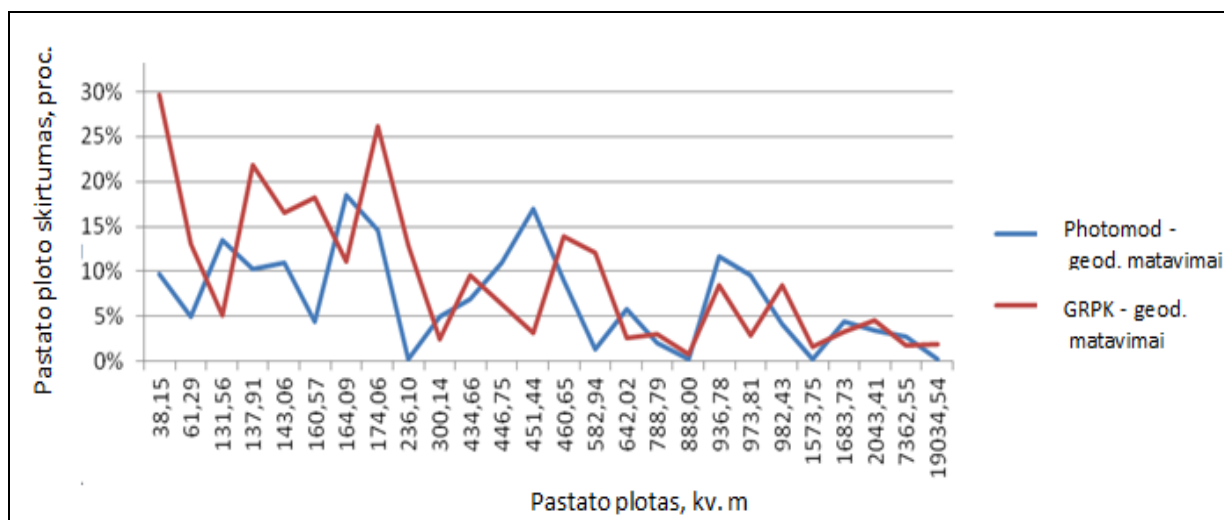
nustatyta, kad pastato aukštis turi įtakos jo konfiguracijai ir geometrijai. Susisteminti duomenų (kampų pasislinkimo ir plotų skirtumų) vidurkiai pateikti 7 pav. Pastato kampų poslinkis susijęs su pastato aukščiu: svyruoja apie 0,5–1,5 m – GRPK duomenų rinkinyje ir 0,5–1,4 m – stereofotogrametrinio būdu.



7 pav. Pastato aukščio ir pastato kampų poslinkio priklausomybė

GRPK duomenų rinkinyje geoobjektai kartografuojami dideliu tikslumu pagal ortofotografinius žemėlapius. Tikslumas priklauso ne tik nuo pastato aukščio, bet ir nuo pastato padėties aerofotografinio vaizdo plote. Jei pastatas yra centrinėje vaizdo dalyje (nadyro taško zonoje), pastatų aukščių įtaka nedidelė, bet kuo toliau nutolęs pastatas nuo centrinės vaizdo dalies, tuo aukšto pastato poslinkis didesnis.

Žalnieruko ir Sužiedelytės-Visockienės (2002) pateikti teiginiai pagrindžia pastatų pokyčių tendencijas: pvz.: aerokameros židinio atstumas – 153 mm, nuotolis aerofotografiniame vaizde, kuris matuojamas nuo nadyro taško iki stogo projekcijos centro yra 100 mm, tuomet pastato aukščio 1 m klaida – 0,7 m perspektyvos pokytį vietovės atžvilgiu (Žalnierukas, Sužiedelytė-Visockienė, 2002).



8 pav. Pastato ploto ir pastato ploto skirtumas (proc.) matuojant skirtingais būdais.

Pastato ploto skirtumus (8 pav.) matuojant skirtingais metodais nustatyta, kad rezultatai gauti stereofotogrametrinio matavimų būdu ir duomenys

iš GRPK lyginant su natūriniais (geodeziniais) matavimais skiriasi ir negalima tiksliai nustatyti

rezultatų skirtumų proporcijų. Apytikriai skiriasi apie 2,5 karto.

## Išvados

Stereofotogrametriniai matavimai atliekami naudojant skirtingas stereostebėjimui skirtas sistemas. Atlikus eksperimentą nustatyta, kad astenopijos simptomai (galvos svaigimas, akių įtampa ir akių nuovargis) stipriau pasireiškė naudojant anaglifinį nei poliaroidinį stereostebėjimo būdą. Poliaroidinio stereostebėjimo būdas geresnis, bet reikalinga speciali brangi įranga (3D vaizduoklis, speciali programinė įranga, akiniai su poliarizuojančiais filtrais).

## Literatūra

1. Daniulis, J. (1998). *Aerofotometodai: aerofotonuotarukų dešifravimas*. Vilnius: Enciklopedija.
2. Dequal, S., & Lingua, A. A. (2005). New support for teaching and research in photogrammetry: The stereoscopic classroom. *Politecnico di Torino*.
3. Doneus, M., & Hanke, K. (1999). Anaglyph images-still a good way to look at 3D-objects. In *Proceedings of the 17th CIPA Colloquium: Mapping and Preservation for the New Millenium: 3-6 October 1999; Olinda, Brazil*.
4. Giniūnaitė, A. Daniėlienė, E. (2013). Žmonių su nenormalia stereopsija gylio suvokimas ir astenopijos simptomai trijų dimensijų kine. *Medicinos teorija ir praktika*, 19(2), 119-123
5. Hoevenaren, I. A., Maal, T., Krikken, E., de Haan, A. F. J., Bergé, S. J., Ulrich, D. J. O. (2015). Development of a three-dimensional hand model using 3D stereophotogrammetry: Evaluation of landmark reproducibility. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*: JPRAS, 68(5), 709–716. <https://doi.org/db.kaunokolegija.lt/10.1016/j.bjps.2014.12.025>
6. Lietuvos erdvinės informacijos portalas. Geoport.lt (2021). [žiūrėta 2021-03-12] Prieiga per internetą: [www.geoport.lt/map](http://www.geoport.lt/map)
7. Majauskienė, O., & Majauskaitė, I. (2004). Vaikų stereomatymo ypatybės. *Medicina*, 40(5), p. 446-450.
8. McAllister, D. F. (2002). Stereo and 3-D Display Technologies. *Encyclopedia of imaging science and technology*.
9. Park, I. K., & Raskar, R. (2015). Depth Map Estimation and Colorization of Anaglyph Images Using Local Color Prior and Reverse Intensity Distribution. [žiūrėta 2021-05-01]. Prieiga per internetą: <http://hdl.handle.net/1721.1/104847>
10. Planar (2021). *Discontinued StereoMirror Displays*. [žiūrėta 2021-04-25]. Prieiga per internetą: <https://www.planar.com/media/211321/mn-planar-sd1710-020-0421-00a.pdf>
11. Racurs. (2021) *Software solutions in the field of photogrammetry, GIS and remote sensing* [žiūrėta 2021-05-05]. Prieiga per internetą: <https://en.racurs.ru/program-products/>
12. Read, J. C. (2015). What is stereoscopic vision good for?. In *Stereoscopic Displays and Applications XXVI* (Vol. 9391, p. 93910N). *International Society for Optics and Photonics*. <https://doi.org/10.1117/12.2184988>
13. Sommer, B., Barnes, D. G., Boyd, S., Chandler, T., Cordeil, M., Czauderna, T., & Schreiber, F. (2017). 3D-stereoscopic immersive analytics projects at Monash University and University of Konstanz. *Electronic Imaging*, 2017(5), 179-187. <https://doi.org/10.2352/ISSN.2470-1173.2017.5.SDA-109>
14. Urbanavičienė, I. (2016) Studentų stereomatymo ypatumai. *Verslas – studijos – mokslas 2016: respublikinė mokslinė – praktinė studentų konferencijos medžiaga*. Rietavas: Žemaitijos kolegija, p. 79-84
15. Vainauskas, V. (1977) *Fotogrametrija*. V: Mokslas.
16. Valstybinė geodezijos ir kartografijos tarnyba (sudarytojas Vainauskas V.). (2000) *Kartografijos ir geodezijos terminų aiškinamasis žodynas: terminai anglų ir lietuvių kalbomis* Vilnius: VGKT.
17. Zhang, Y., & Chandler, D. M. (2015). 3D-MAD: A full reference stereoscopic image quality estimator based on binocular lightness and contrast perception. *IEEE Transactions on Image Processing*, 24(11), 3810-3825. <https://doi.org/10.1109/TIP.2015.2456414>
18. Žalnierukas, A., Sužiedelytė-Visockienė J. (2002). Aerofotonuotraukų geometrija fotogrametriškai kartografuojant pastatus. *Geodezija ir kartografija*, 27:1, p. 15-18, DOI: 10.1080/13921541.2002.10552941



## **APPLICATION OF THE METHODS OF STEREPHOTOGRAMMETRIC MEASUREMENT FOR MAPPING BUILDINGS**

### **Summary**

Mapped objects and spatial properties are modelled with geometric objects (points, lines, areas). Data sets contain systematised and methodically arranged objects. To obtain high-quality, real-world data, it is appropriate to assess the accuracy of the data available. Stereophotogrammetric measurement and orthophotogrammetric methods are used for building mapping. Usually, the position of objects is determined using the information of the orthophotographic map, when the anthropogenic and natural objects are identified and named according to their features (shape, size, shadows, texture, interconnection). Building heights and roofs affect aerial photographic information, most notably for mapping accuracy: central projections (perspectives) of buildings are distorted, scaling occurs depending on building foundations and roof (sloping roof slopes). Decoding buildings orthophotographically makes it difficult to estimate the perspective change in the height of buildings.

The relevance of the article is related to the possibilities of using stereodecryption of aerial photographs and the evaluation of the accuracy of the geodata results obtained. The paper presents the methods of stereoscopic vision, their disadvantages and advantages, and observations of asthenopia symptoms in the performance of polaroid and anaglyphic stereoscopic methods. The geometry of aerial photography is discussed to obtain the best stereo model. During the research, stereophotogrammetric measurement of buildings (area object) was performed. Stereophotogrammetric measurements were performed with Photomod software to solve photogrammetric problems using a Planar 3D monitor and polaroid glasses.

By capturing buildings using stereophotogrammetric measurement, the influence of their height is eliminated, and better mapping accuracy of buildings is achieved. The results obtained are compared with the data of the georeferenced base cadastre (GRPK) and the natural geodetic measurements performed. Given the advantages of stereophotogrammetric measurement, it was found that the size of the building area does not affect the accuracy of the data depiction. The building configuration (number of corners) and the height of the building have a more significant effect on the spatial accuracy of the building.

**Keywords:** stereophotogrammetry, stereoscopic pair, stereoscopy, anaglyph, polarisation, building.

### **Informacija apie autorių**

**Iłona Urbanavičienė.** Kauno kolegijos Technologijų fakulteto Aplinkos inžinerijos katedros lektorė. Mokslinių tyrimų kryptys: matavimų inžinerija, fotogrametrija, kartografija.

El. pašto adresas: ilona.urbanaviciene@go.kauko.lt