

INŽINERINIŲ OBJEKTŲ KOORDINAČIŲ NUSTATYMO GALIMYBĖS IR KOKYBĖ GPNS RTK MATAVIM AIS ĮVAIRIOMIS SĄLYGOMIS

Vilma Kriaučiu naitė-Neklejonovienė¹, Donatas Rekus^{1,2}

¹Kauno technologijos universitetas, ²Kauno kolegija

Anotacija. Statybos planavimo ir valdymo veikloje taikomos technologijos, susijusios su įvairiomis erdviųjų duomenų kombinacijomis, iš kurių gaunami reikšmingi rezultatai apie tiriamą objektą. Geodeziniais matavimais nustatomos statinių, kelių ir kitų inžinerinių objektų geografinė padėtis. Analizuojant ir vertinant naujus ir esamus inžinerinius įrenginius, atliekant svarbių linijinių inžinerinių objektų monitoringą ir pan. siekiama užtikrinti maksimalų tikslumą ir kaupti pilnaverčius duomenis. Vienas iš būtiniausių statybos etapų yra statinio (inžinerinių sistemų) geodezinis nužymėjimas. Plečiantis GPNS referencinių stočių tinklui, matavimo sistemų spektrui, GPS palydovų kiekiui ir t.t., gauti optimalų rezultatų tikslumą, ypač sudėtingomis matavimo sąlygomis, galimybės didėja. Praktikoje dažniausiai yra naudojamas RTK (realaus laiko kinematinis) metodas, taikant valstybinio GPNS referencinių stočių tinklo LitPOS RTKNet paslaugą. GPNS RTK matavimai urbanizuotose teritorijose dažniausiai atliekami sudėtingomis sąlygomis. Atliktas taškų koordinavimas skirtingomis geografinėmis ir matavimo sąlygomis ir analizuotos matavimų kokybės galimybės. Atlikti GPNS RTK matavimai geromis (atvirose vietovėse su geru regimuoju horizontu, kai medžiai dar neturi lapų ir yra geros oro sąlygos), realiomis ir sudėtingomis sąlygomis (miško žemėje arba šalia medžių ir po jais; urbanizuotoje teritorijoje, tarp pastatų; kalvotame reljefe, tarp uolų; aukštos elektros įtampos poveikio zonoje ir pan.). Nustatyta kad didžiausi koordinuotų taškų nesutapimai fiksuojami intensyviai užstatyose ir miškingose teritorijose. Rekomenduojama kiekvienoje situacijoje taikyti individualų sprendimą, kuris priklausytų nuo matavimų tipo ir GPNS imtuvo galimybių.

Reikšminiai žodžiai: GPNS, RTK, GPNS matavimų tikslumas.

Įvadas

Analizuojant ir vertinant naujus ir esamus statinius, inžinerinius įrenginius, atliekant svarbių linijinių inžinerinių objektų monitoringą ir pan. siekiama užtikrinti maksimalų tikslumą ir kaupti pilnaverčius duomenis. Statybos planavimo ir valdymo veikloje taikomos technologijos, susijusios su įvairiomis erdviųjų duomenų kombinacijomis, iš kurių gaunami reikšmingi rezultatai apie tiriamą objektą. Siekiant išryškinti kompleksines geležinkelio kelių eksploatavimo problemas, tokios kelio trasos reikalauja maksimalaus matavimų tikslumo. Geodeziniais matavimais nustatomos statinių, kelių ir kitų inžinerinių objektų geografinė padėtis. GPS imtuvai naudojami hidrografijoje, aviacijoje, transporto ir krovinių judėjimo monitoringe. Kiekviena Europos šalis turi panašius iš dalies susietus referencinius tinklus. Dauguma autorių (Pelc-Mieczkowska., 2015; Wiśniewski., Bruniecki ir Moszyński (2013); Venckienė., Venckus (2009); Groves., L.Wang., Ziebart (2012); Bružas, 2019) daro prielaidą, kad plečiantis GPNS referencinių stočių tinklui, matavimo sistemų spektrui, GPS palydovų kiekiui ir t.t., gauti optimalų rezultatų tikslumą, ypač sudėtingomis matavimo sąlygomis, galimybės didėja.

Atliekant statybos darbus yra būtina geodezinė priežiūra ir pastovus tikslinimas, kiekvienas statinys reikalauja projekto atitinkamo tikslumo ir

negali viršyti numatytų ribų. Vykdamas naujas statybas arba rekonstrukciją būtina atsižvelgti į esamus ir naujai klojamus požeminius tinklus ir komunikacijas. LR teritorijoje statomų požeminių tinklų ir komunikacijų geodezinių nuotraukų atlikimo tvarkos GKTR (2001) nustato Lietuvos Respublikoje statomų požeminių komunikacijų geodezinių nuotraukų atlikimo bei šios dokumentacijos kaupimo tvarką ir yra privalomos statytojams (užsakovams), miestų ir rajonų savivaldybėms, įmonėms, vykdančioms šiuos darbus nustatyta tvarka. Būtina atsižvelgti į tai, kad norint pagerinti požeminių inžinerinių tinklų tiesimo kokybę, sudaryti patikimas sąlygas saugiam ir racionaliam komunikacijų eksploatavimui, sukaupti patikimus topografinius duomenis teritorijų planams rengti, išvengti neracionalių pakartotinių tyrinėjimų, atliekamos visų statomų požeminių tinklų ir komunikacijų bei su jų eksploatacija susijusių požeminių bei antžeminių statinių geodezinės nuotraukos. Nutiesus požeminius tinklus ir komunikacijas (iki jų užpylimo gruntu), privalomai atliekamos jų geodezinės nuotraukos. Geodezinių nuotraukų techniniai reikalavimai (2000) apibrėžiami specialiomis statybos taisyklėmis ir rekomendacijomis.

Koordinacijų nustatymo būtinybė atsiranda ir žemės sklypų ribų tikslinimas atliekamas sunaikinus riboženklis, taip pat tikslinant esamų riboženklių vietas bei kalant naujus riboženklis. Taip pat sklypų ribų tikslinimas atliekamas

planuojant pirkti–parduoti, išsinuomoti ar kaip kitaip įsigyti žemės sklypą. Nors šalia esantys sklypai yra valstybinėje koordinacinių sistemoje LKS-94, bet vis dar pasitaiko atvejų, kai sklypai persidengia, nesutampa jų ribos. Tokiu atveju yra naudojamas žemės sklypų ribų tikslinimas ir iš dalies atitaisomos padarytos grubios ar ne tokios grubios klaidos (Damaševičiūtė..., 2017). Urbano (2017) atliktas statinių kontrolinių geodezinių matavimų tikslumo tyrimas bei statinių kontrolinių geodezinių matavimų horizontalusis ir vertikalusis atitikimas statybų techniniams projektams vertinimas parodė, kad pagal horizontaliųjų kampų atitikimą techniniams projektams nustatytų pažeidimų statybos techniniam reglamentui nebuvo, užfiksuoti tik 0,01–0,04 m neatitikimai, kurie didelės įtakos nesudaro (Urbanas, 2017). Statinių kontrolinių geodezinių nuotraukų sudarymui didžiausias dėmesys skiriamas pastato horizontaliųjų bei vertikalųjų kampų koordinavimui. Tokie matavimai yra labai svarbūs ir dažnai atliekami taip pat inžineriniams įrenginiams tikrinti, tokiems kaip pralaidos, kurios dažniau turi defektų, prasėdimų, taip pat ir kitai inžinerinei požeminei ir antžeminei statybai.

GPS imtuvais atliekami matavimai tapo paprasti, greiti ir pigūs. Dėl šios priežasties jų panaudojimo diapazonas išaugo: naudojama kalnų slėniuose, miesto aplinkoje ar miškingose teritorijose. Sudėtingose aplinkose, kaip milžiniški reljefo nelygumai, aukšti pastatai, tiltai ar medžių šakos su lapija, veikiamas GNSS palydovų signalo pralaidumas. Toks blokavimas paveikia tinkamą fazių matavimų dvidažningumą bei žymiai sumažina koordinacinių nustatymo tikimybę ir patikimumą. Reikalingas palydovų skaičiaus matomumas yra būtinas sėkmingam GNSS padėties nustatymui. Svarbu iš anksto žinoti, kur ir kada signalas bus trukdomas kliūčių ir kada signalai iš pakankamo skaičiaus palydovų bus tiesiogiai įmanomi (Pelc-Mieczkowska., 2015). Kai matavimai vykdomi sudėtingomis sąlygomis, darbų planavimo proceso metu, būtina įvertinti kliūčių skaičių ir reljefo tipą.

Tyrimo tikslas: Išmatuoti žinomus geodezinio pagrindo punktus GPNS RTK metodu ir įvertinti nužymimų objektų padėties tikslumą statybos proceso kontekste.

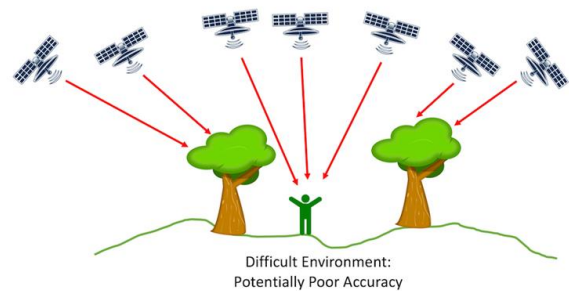
Metodika

Topografinio plano elementus ar jo geodezinį pagrindą leidžiama matuoti GPS statiniu metodu arba taikant LitPOS RTKNet paslaugas. Atlikti GPNS RTK matavimai geromis (atvirose vietovėse su geru regimuoju horizontu, kai medžiai dar neturi lapų ir yra geros oro sąlygos), realiomis

ir sudėtingomis sąlygomis (miško žemėje arba šalia medžių ir po jais; urbanizuotoje teritorijoje, tarp pastatų; kalvotame reljefe, tarp uolų; aukštos elektros įtampos poveikio zonoje ir pan.) (1 pav.).

Tikslumui galintys turėti įtakos veiksniai:

- oro sąlygos (atmosferos reiškiniai);
- atspindintys paviršiai, kurie gali sudaryti bangų atspindžius;
- elektros instaliacijos, galinčios trikdyti GPNS imtuvams priimti palydovų skleidžiamus signalus;
- palydovų išsidėstymas;
- kliūtys;
- kitos priežastys.



1 pav. Kliūtys skleidžiamiems palydovų signalams (What is pdop, 2017)

Atliekant matavimus GPS metodu ir taikant LitPOS RTKNet paslaugą, kiekvieną matavimų dieną privaloma matavimų tikslumą patikrinti – matuojant valstybinio geodezinio pagrindo punktus prieš suplanuotus matavimus (pvz.: topografinio plano matavimus) ir baigus juos. Svarbu paminėti, kad kai geodeziniam pagrindui sudaryti taikoma LitPOS RTKNet paslauga, matuoti reikia ne mažiau kaip du kartus po ne mažiau kaip 3 min. Kito matavimo metu LitPOS RTKNet paslauga inicializuojama iš naujo po ne mažiau kaip 40 min. pertraukos. Matavimai atliekami gavus fiksuotus sprendinius. Skirtumai tarp dviejose sesijose nustatytų plokštuminių koordinacinių neturi viršyti 1 cm, o tarp elipsoidinių aukščių – 2 cm. Įvairiose GNSS sistemas gaminančių kompanijų specifikacijose nurodomas ± 20 mm RTK metodo vertikalus tikslumas.

1. Atlikti RTK metodu matavimai Lietuvoje naudojantis LitPOS referenciniu tinklu.

1.1. Tyrimui buvo parinkti penki antrosios klasės vertikaliojo tinklo punktai. Punktai parinkti Vidurio Lietuvoje, Kauno miesto teritorijoje, kuo atviresnėje vietoje, siekiant užtikrinti kuo mažesnius trikdžius palydovų signalams. GPNS imtuvas Trimble R6. Punktas matuojamas dešimt kartų LAS07 aukščių sistemoje. Antra matavimų sesija tame pačiame punkte

kartojama po ne mažiau kaip valandos dėl palydovų išsidėstymo.

- 1.2. Pasirinkti Vakarų Lietuvoje esantys 8 antros klasės geodezinio pagrindo punktai. Punktai įrengti kuo įvairesnėse vietose, kad RTK GPNS matavimų metu rezultatus veiktų skirtingi veiksniai. Tyrimui atlikti buvo pasirinktas Geomax Zenith 25 GPNS imtuvas.

2. Apskaičiuojamas rezultatų tikslumas.

Duomenų tikslumui įvertinti apskaičiuojami maksimalūs, minimalūs, vidutiniai ir standartiniai nuokrypiai. Standartinis nuokrypis – dydis, nusakantis atsitiktinio dydžio įgyjamų reikšmių sklaidą apie vidurkį.

Kai topografinio plano elementai matuojami tik GPS metodu, tuomet topografinio plano objekto elemento planinės padėties tikslumas m_s apskaičiuojamas pagal formulę 1.

Apskaičiuoti išmatuotų taškų kvadratiniai vidurkiai, kurie nurodo poslinkį nuo geodezinio pagrindo punkto koordinatės:

$$m_s = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}, \quad (1)$$

čia:

m_x ir m_y – matuojamo taško koordinatė X ir Y matavimo tikslumas.

Jeigu matavimai atliekami GPNS statiniais matavimais, taškų koordinatė tikslumas m_x ir m_y apskaičiuojamas naudojama programine įranga skaičiuojant taškų koordinatės X ir Y. Kai matuojamos taškų koordinatės taikant LitPOS RTKNet paslaugą – išmatuotų taškų koordinatė tikslumas deklaruojamas pagal GPS imtūve apskaičiuotus taško koordinatė X ir Y tikslumo rezultatus m_x ir m_y .

Įvertinamas matavimų sesijos tikslumas skaičiuojant vidutinę kvadratinę matavimo sesijos paklaidą. Prietaiso gamintojo deklarujama maksimali paklaida yra 20 mm, apskaičiavus vidutinę kvadratinę matavimo sesijos paklaidą, ji neturėtų viršyti deklarujamo dydžio.

$$m = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}}, \quad (2)$$

čia:

m – vidutinė kvadratinė matavimo sesijos paklaida;

v_i^2 – kvadratinis nuokrypis nuo aritmetinio vidurkio;

n – matavimų skaičius;

Taip pat apskaičiuojame vidurkio vidutinę kvadratinę paklaidą M .

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}}, \quad (3)$$

čia:

m – vidutinė kvadratinė paklaida;

n – matavimų skaičius.

Vertintas ir PDOP (Position Dilution of Precision) – tai padėties tikslumo mažėjimo rodiklis, vidutinis kvadratinis įvertis, nurodantis bendrą konkretaus palydovų išsidėstymo įtaką vietos nustatymo paklaidai.

$$PDOP^2 = HDOP^2 + VDOP^2, \quad (4)$$

čia:

HDOP – horizontalaus tikslumo mažėjimo rodiklis

VDOP – vertikalaus tikslumo mažėjimo rodiklis.

Žema PDOP vertė parodo, jog matavimai bus tikslūs, aukšta PDOP vertė rodo, jog matavimai bus mažiau tikslūs. Kai PDOP koeficientas didesnis nei 3 – nerekomenduojama atlikti matavimų.

GPNS imtuvas buvo nustatytas, kad ignoruotų aukštesnę PDOP vertę už nurodytą ribinę vertę, tokiu atveju mažėja netikslų duomenų gavimo tikimybė. GPNS imtuvo matavimų ataskaitos gauti GDOP (geometrinio tikslumo mažėjimo rodikliai) koeficientai.

Rezultatai ir diskusija

GPS imtuvais atliekami matavimai tapo paprasti, greiti ir pigūs, jų panaudojimo diapazonas išaugo: naudojama kalnų slėniuose, miesto aplinkoje ar miškingose teritorijose. RTK matavimo metodas leidžia taškų pozicijas nustatyti akimirksniu, kai nešiojamas imtuvas (ar imtuvai) gali užimti bet kurį tašką. RTK matavimo metodas reikalauja, kad du ar daugiau imtuvų veiktų vienu metu. Vienas imtuvas veikia kaip pagrindinė stotis, kuri transliuoja GPNS signalų pataisas į likusius imtuvus. Prietaise NAVSTAR/GLONASS matavimai iš abiejų imtuvų realiu laiku apdorojami lauko kompiuteriu, ir taip nedelsiant nustatoma tiksli buvimo vieta. Radijo ryšys, naudojamas su RTK, riboja atstumą tarp bazinės stoties ir GPNS imtuvo. Šis atstumas negali būti didesnis kaip 10 km. RTK matavimų testai parodė, kad matavimų metu gaunami patikslinimai, yra ženkliai koreguojami gaunamomis pataisomis. Kadangi šios technologijos dėka taško padėtis gali būti nustatyta labai tiksliai ir per labai trumpą laiką, technologija gali būti panaudota inžinerinių statinių matavimuose (Pirti ir kt., 2013).

Išmatuotos ir nustatytos valstybinio vertikaliojo antrosios klasės tinklo punktų koordinatės taikant plačiai ir dažnai naudojamą RTK metodiką (1 lentelė).

1 lentelė. Matuotų geodezinio pagrindo punktų charakteristika ir nuokrypiai nuo tikrojo dydžio ir nuo aritmetinio matavimo vidurkio

Taškų Nr. / punkto charakteristika / horizontas, sąlygos.	Normalinis aukštis LAS07 m (iš katalogo)/ LKS-94.	2 sesijos po 10 matavimų, mm				Nuokrypiai nuo tikrosios LAS07 reikšmės LIT15G geoido modelių ir koreliacinis ryšys tarp normalinio aukščio (LAS07 reikšmės) ir gautų altitudžių GPS RTK (LIT15G geoido modelių) neatitikties.
		skirtumų amplitudė nuo aritmetinio vidurkio.	M	m	skirtumų amplitudė nuo tikrojo dydžio.	
53V25122/ Horizontal bench mark/ Atviras horizontas, ant tilto per Nemuną.	$H_n=41.664$ $X=6085385.90$; $Y=489367.30$	-13...12	0.99; 3.18	3.14; 10.07	-17...8	
53V-2035 / 158 / Atviras horizontas visomis kryptimis šalia tilto per Nerį.	$H_n=46.143$ $X=6088944.56$; $Y=494207.83$	2...11	1.16; 2.37	3,68; 7.50	-11...9	
53S-6668 / Horizontal bench mark / Atviras horizontas visomis kryptimis, šalia gatvis, šalia viaduko.	$H_n=40.851$ $X=6088892.48$; $Y=494810.84$	-10...10	2.08; 0.92	6.57; 2.90	-46...31	
53S-4582 / Horizontal bench mark / Iš dalies atviras, šiaurinėje pusėje yra natūraliai susiformavę želdynai.	$H_n=27.722$ $X=6085115.42$; $Y=490638.36$	-12...13	2.66; 3.18	8.42; 8.31	-32 ...14	
53V25143 / G-10 / Atviras horizontas.	$H_n=37.343$ $X=6085834.20$; $Y=489368.80$	-12...13	2.32; 2.63	7.35; 8.32	-53...16	

Šie rezultatai apžvelgiami analizuojant taškų altitudes bei jų tikslumą. Normaliniai taškų aukščiai imami iš geodezinio vertikaliojo tinklo punktų katalogo. Gauti nuokrypiai nuo tikrojo dydžio ir nuo aritmetinio matavimo vidurkio pateikti 1 lentelėje.

Vidurio Lietuvoje fiksuotų taškų rezultatų detalizacija: Antroje matavimų sesijoje matuojant LIT15G geoido modelių punkto Nr. 53V25122

užfiksuotas 13 mm nuokrypis nuo aritmetinio vidurkio. Matuojant užfiksuotas 17 mm nuokrypis nuo tikrojo dydžio. Matuojant punktą (Nr. 53V-2035) mažiausia vidutinė kvadratinė paklaida buvo pirmoje matavimų sesijoje ir siekė 3,68 mm. antroje matavimų sesijoje 8 matavime LIT15G modelių nuokrypis nuo tikrojo dydžio siekė 0 mm. Didžiausias punkto (Nr. 53S-6668) nuokrypis pastebėtas penktame ir dešimtame matavime

pirmojoje sesijoje, jis siekė 10 mm. Didžiausi nuokrypiai nuo tikrojo dydžio buvo pirmoje sesijoje LIT15G geoido modeliu, kuris siekė 46 mm. Didžiausias punkto (Nr. 53S-4582) nuokrypis LIT15G geoido modeliu fiksuotas tiek pirmoje, tiek antroje matavimų sesijoje ir siekė 13 mm. Be to, pirmoje matavimų sesijoje, penktame matavime užfiksuotas nuokrypis 0 mm. Antroje matavimų sesijoje užfiksuotas 32 mm nuokrypis nuo tikrojo dydžio. Nulinis nuokrypis užfiksuotas 7 matavime pirmoje sesijoje. Apskaičiavus punkto (Nr. 53V25143) nuokrypius nuo aritmetinio vidurkio didžiausias skirtumas pastebėtas antroje matavimų sesijoje trečiame matavime, jis siekė 13 mm. Didžiausi nuokrypiai nuo tikrojo dydžio buvo pirmoje sesijoje: siekė -51 mm, tačiau antroje matavimų sesijoje dešimtame matavime nuokrypis nuo tikrojo dydžio siekė 0 mm.

Apibendrinant vertikaliojo antrosios klasės tinklo punktų gautus rezultatus, matoma, kad išmatuotų ir apskaičiuotų normalinių aukščių skirtumai nuo esamų (fiksuotų kataloguose, LAS07) svyruoja intervale nuo -53 iki +17 mm. Matavimų sesijos tikslumas skaičiuojant vidutinę kvadratinę matavimo sesijos paklaidą m varijuoja $\pm 2,9-10,1$ mm intervale. LIT15G modeliu mažiausia paklaida užfiksuota punkte Nr. 53S-6668 ir siekė 2,90 mm. Apskaičiavus vidutines kvadratinės matavimų paklaidas, matavimai neviršijo GPNS imtuvo *Trimble R6* deklaruojamos vertikalios pozicionavimo (15 mm + 0,5 ppm RMS) ribos. Įvairiose GNSS sistemas gaminančių kompanijų specifikacijose nurodomas ± 20 mm RTK metodo vertikalus tikslumas. Skirtumai tarp dviejose sesijose nustatytų elipsoidinių aukščių neturi viršyti - 2 cm. Koreliacijos ryšys tarp normalinio aukščio ir gautų GPS RTK metodu, altitudžių neatitiktis nenustatytas. Skirtumų tarp normalinio aukščio ir gautų GPNS RTK būdu amplitudės svyravimai varijuoja 2-5 cm ribose. GPS RTK metodu išmatuotų altitudžių vidurkio vidutinė kvadratinė matavimo sesijos paklaida kinta 1-3 mm ribose.

Vakarų Lietuvoje matuotų geodezinio pagrindo punktų matavimai atlikti balandžio mėnesio pradžioje, gavus fiksuotus sprendimus. Ieškota paros laiko ir meteorologinių sąlygų sąsajų rezultato tikslumui ir patikimumui.

Atlikus pirmo punkto matavimų rezultatų analizę, nustatyta, kad matavimų rezultatams įtakos galėjo turėti aplink punktą augantys netankūs želdynai. Matavimus atliekant skirtingu laiku pastebėta, kad tiksliausi matavimai atlikti 9 val. ryte, o matuojant skirtingomis meteorologinėmis sąlygomis - ženklų koordinatčių nuokrypių nepastebėta. Antrame punkte matavimų rezultatams įtakos galėjo turėti virš matuojamo

punkto stovinti metalinė konstrukcija, geresni rezultatai gauti matuojant 9 val. ryte, ženklų koordinatčių nuokrypių matuojant skirtingomis meteorologinėmis sąlygomis nepastebėta. Trečias geodezinio pagrindo punktas yra apsuptas augmenijos ir įrengtas šalia kelio, už kurio šiaurės kryptimi auga tankus miškas. Maždaug 8 metrų atstumu nuo punkto, vakarų pusėje auga medžių eilė. Kadangi punktas apsuptas želdinių, vėjo įtaka matavimams minimali, tačiau dėl gausios augalijos, matuojant dažnai buvo prarandamas ryšys. Pastebėta, kad visi šiame punkte atlikti matavimai turi žymų Y koordinatės nuokrypį. Ketvirtasis punktas įrengtas ant kalno, atviroje vietovėje ir aplink punktą nėra kliūčių, kurios galėtų turėti lemiamos įtakos matavimų tikslumui, todėl gauti rezultatai gana tikslūs. Penktasis punktas įrengtas taip pat atviroje vietovėje, kelio sankryžoje, čia pastebėti žymesni Z koordinatės nuokrypiai. Kadangi šeštasis punktas įrengtas šalia dviejų aukštų mūrinio pastato ir aplink punktą auga želdiniai, pastebėta, kad visuose matavimų rezultatuose vyrauja ženklūs koordinatčių nuokrypiai.

Apibendrinant matavimų sesijos gautus rezultatus Vakarų Lietuvoje pastebėta: mažiausias X koordinatės nuokrypių aritmetinis vidurkis gautas matuojant penktąjį punktą (V sesijos metu) - 0 mm, o didžiausias X koordinatės nuokrypis - 0.058 m gautas (I sesijos metu) matuojant antrąjį punktą. Mažiausias Y koordinatės nuokrypių aritmetinis vidurkis gautas matuojant aštuntąjį punktą, (III sesijos metu) - 0.001 m, o didžiausias Y koordinatės nuokrypių aritmetinis vidurkis - 0.065 m gautas (I sesijos metu) matuojant antrąjį punktą. Mažiausias Z koordinatės nuokrypių aritmetinis vidurkis gautas matuojant antrą, ketvirtą, penktą, šeštą ir aštuntą punktus, (III sesijos metu) - 0 mm, o didžiausias Z koordinatės nuokrypių aritmetinis vidurkis - 0.067 m gautas (IV) sesijos metu) matuojant aštuntą punktą.

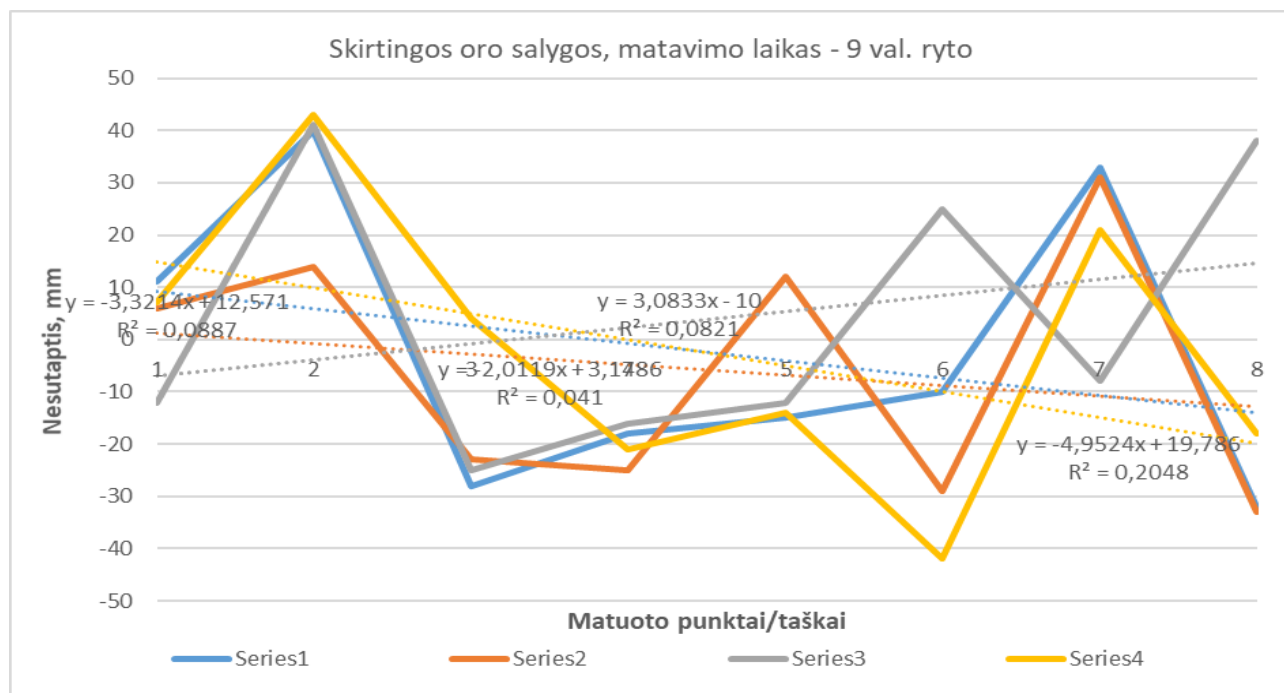
Rezultatuose taip pat vertinami X ir Y koordinatčių nuokrypių kvadratiniai vidurkiai, kurie nurodo poslinkį nuo geodezinio pagrindo punkto koordinatės. Vertinant atskirų matavimo sesijų kiekvienos koordinatės nuokrypius nuo aritmetinio vidurkio ir tikrosios reikšmės, apskaičiuotos galimo poslinkio ribos. 2 lentelėje pateikti apskaičiuoti aštuonių punktų matavimų rezultatai, kur apskaičiuotas poslinkis m_s nuo kataloguose fiksuotų geodezinio pagrindo punkto koordinatčių.

2 lentelė. Vakarų Lietuvoje matuotų geodezinių punktų matavimų rezultatai: apskaičiuoti išmatuotų taškų kvadratiniai vidurkiai, kurie nurodo poslinkį nuo geodezinio pagrindo punkto koordinatės m_s

Punkto Nr.	Saulėta diena	Saulėta diena	Saulėta diena	Saulėta diena, savaitgalis	Lietus	Vėjas	Šlapdriba
Valanda	9 val.	14 val.	18 val.	14 val.	9 val.	9 val.	9 val.
Sesija	III	IV	V	I	VI	II	VII
Poslinkis m_s nuo geodezinio pagrindo punkto koordinatės, m							
1	0.007	-0.010	0.010	-0.026	0.011	0.006	-0.012
2	0.043	0.042	0.039	0.061	0.040	0.014	0.041
3	-0.004	-0.026	-0.015	-0.023	-0.028	-0.023	-0.025
4	-0.021	-0.017	-0.008	-0.009	-0.018	-0.025	-0.016
5	-0.014	0.002	0.000	0.013	-0.015	0.012	-0.012
6	-0.042	-0.017	-0.010	-0.008	-0.010	-0.029	-0.025
7	0.024	-0.015	0.023	-0.033	0.033	0.031	-0.008
8	-0.018	0.055	-0.020	0.026	-0.032	-0.033	0.038

Apibendrinant gautus rezultatus, matoma, kad matuojant penktąjį punktą (V matavimų sesijos metu), 18 val. vakare, esant palankioms meteorologinėms sąlygoms fiksuotas nulinis poslinkis (-0,000 m), taškas įrengtas kelio sankryžoje, atviroje vietovėje. Didžiausi poslinkiai esant palankioms meteorologinėms sąlygoms gauti (0,055 m) matuojant aštuntąjį punktą, ir (0,061 m) virš antrojo punkto – dėl šalia esančių aplinkos komponentų (metalinų konstrukcijų, želdinių).

Vertinta, ar skirtingas paros laikas (9 val., 14 val. ir 18 val.) turi įtakos rezultatų tikslumui. Skirtingas paros laikas reikšmingos įtakos pasiekiamam koordinatėms tikslumui neturi. Apibendrinant gautus rezultatus absoliutiniais dydžiais galima teigti, kad didžiausias nuokrypis (0,061 m.) gautas antrame punkte (Dumpiai), didesni nuokrypiai galėjo susidaryti dėl virš antrojo punkto stovinčios metalinės konstrukcijos.



2 pav. Skirtingų oro sąlygų įtaka rezultatų tikslumui

Vertinta, ar skirtingos oro sąlygos (2 pav. vienodas matavimų paros laikas) turėtų poveikį galutiniam taško rezultato tikslumui. Matuota balandžio mėn. skirtingomis darbo savaitės dienomis (oro temperatūra nuo 2 iki 7 C°), tuo pačiu paros laiku (9 val. ryto) esant saulėtam orui (serija4), lyjant lietuvi (3 mm/val., serija 1), esant

stipriau vėjotam orui (11 m/s, serija 2) ir šlapdribai (2 mm/val., serija 3).

Mažiausiai matavimų rezultatus veikė vėjas, didesnių nesutapimų nepastebėta ir esant šlapdribai. Nustatyta, kad meteorologinės sąlygos matavimų rezultatų neveikia, o didžiausią įtaką matavimų tikslumui turi užstatymo intensyvumas, augmenija bei palydovų išsidėstymas. Taip pat

nustatyta minimali paros laiko įtaka. Visuose punktuose pastebėta, kad mažiausiai matavimų rezultatus veikė vėjas.

PDOP koeficientas matavimų sesijų metu variavo nuo 1,082 (apie 14 val.) iki 2,136 trečios (apie 9 val. ryte). Matavimams parinkti paros laiko intervalai sutampa su dažniausiai praktikoje planuojant matavimų sesijas parenkamu laiku. Esminės įtakos PDOP koeficientams paros laiko ir meteorologinių sąlygų parinkimas neturėjo. Apibendrinus visų Vakarų Lietuvoje matuotų punktų fiksuotus PDOP koeficientus nustatyta, kad gauti PDOP koeficientai mažesni už 3, todėl daroma prielaida, kad visi matavimai atitinka tikslumui keliamus reikalavimus.

Lyginant rezultatus su kitų tyrėjų, gaunami panašūs (Vajda ir kt., 2010; Vermeer, Kollo 2007; (Birvydienė ir kt., 2010) nesutapties intervalai, kurie galimai susidaro dėl įvairių veiksnių: nepalankios palydovų geometrijos, matavimo ir sudėtingos skaičiavimo metodikos, paties imtuvo sertifikavimo ir patikros procedūros nebuvimo, aplinkos ir duomenų perdavos tinklo, individualių (asmeninių) ir kt. priežasčių.

Atlikus matavimus ir paanalizavus gautas koordinates pastebimas vertikalios GPS matavimų dedamosios tikslumas gaunamas nuo dviejų iki penkių kartų mažesnis už horizontalios. Paprastai atspindžių poveikis pastebimas šalia didelių atspindinių objektų – namų, tvorų ir pan. Taip pat signalai gali atsispindėti nuo žemės ir stogų.

Pagal Nekilnojamojo turto objektų kadastrinių matavimų ir kadastro duomenų surinkimo bei tikslinimo taisyklės (Lietuvos... 2002), koordinuojamų taškų koordinatės apskaičiuojamos 0.01 m tikslumu. Matuojamųjų žemės sklypų susiejimas su geodeziniu pagrindu leidžiamas naudojant globalinės padėties sistemos (toliau – GPS) prietaisais, jeigu jų tikslumas atitinka šiuos reikalavimus: susiejimą atliekant GPS prietaisais, koordinatės nustatomos ne mažiau kaip trimis stygomis pagal matavimų programą, užtikrinančią koordinatinių nustatymo pradinių punktų atžvilgiu vidutinę kvadratinę klaidą, neviršijančią 0,1 m, kai susiejami žemės ūkio ir miškų ūkio paskirties žemės sklypai bei sklypai kaimuose ir

miesteliuose, ir 0,05 m, kai susiejami žemės sklypai miestuose.

Nužymėjimo ir kitų geodezinių darbų tikslumas apibrėžtas nepakankamai, jį skirtingi autoriai interpretuoja skirtingai. GPNS prietaisai parankūs naudojant sunkiai prieinamose ar sudėtingo reljefo vietovėse. Didelė GPNS prietaisų įvairovė. GPNS veikia nepriklausomai nuo oro sąlygų, paros ar metų laiko, vienodai bet kokioje pasaulio vietoje. Nustatyta, kad didžiausi koordinuotų taškų nesutapimai fiksuojami intensyviai užstatytose ir medingose teritorijose.

Išvados ir rekomendacijos

1. Matuojant GPS instrumentais užstatytoje teritorijoje, būtina atkreipti dėmesį į matuojamos teritorijos aplinką (užstatymo intensyvumą bei augmeniją) ir matavimus kombinuoti su kitais metodais ir kita matavimo įranga, kurie leidžia pasiekti aukštesnį tikslumą.
2. Svarbiu faktoriumi tampa nuoseklus metodikos taikymas, t.y. matuoti ne mažiau kaip du kartus po ne mažiau kaip 3 min; sekančio matavimo metu LitPOS RTKNet paslaugą inicializuoti iš naujo po ne mažiau kaip 40 min. pertraukos; matavimus atlikti gavus fiksuotus sprendinius; dviejose sesijose nustatytų plokštuminių koordinatinių skirtumas neturi viršyti 1 cm, o tarp elipsoidinių aukščių – 2 cm.
3. GPNS prietaisą rekomenduojama pasirinkti matuojant atvirose vietovėse, o užstatytose bei apželdintose teritorijose, matavimams atlikti, rekomenduojama naudoti elektroninį tacheometrą. RTK metodu nustatyti taškų aukščius rekomenduojame tik negalint taikyti kitų (geometrinės ar trigonometrinės niveliacijos) būdų dėl objektyvių sąlygų arba jeigu užduoties sąlygos nereikalauja milimetrinio tikslumo.
4. Geodeziniam pagrindui sudaryti rekomenduojama pasirinkti vėlesnį matavimų laiką, dėl mažesnės LitPOS tinklo apkrovos.

Literatūra

1. Pelc-Mieczkowska R., Janicka J., Bednarczyk M., Tomaszewski D. Comparison of selected data acquisition methods for GNSS terrain obstacles modeling. Iš: Acta Geodyn. Geomater., 2015, 12 (3) (179), 307–315.
2. Urbanas, V., (2017). Statinių kadastrinių geodezinių nuotraukų tvirtinimas, Aleksandro Stulginskio universitetas
3. Valinčius, O., Piliakalnio ir kalvos tūrio matavimai atliekant skirtingais geodeziniais prietaisais, Studentų mokslo darbai 2017;
4. Damaševičiūtė, D., (2017). Žemės sklypų ribų tikslinimo ypatumai Surviliškio kadastro vietovėje, Aleksandro Stulginskio universitetas. Vandens ūkio ir žemėtvarkos fakultetas. Studentų mokslo darbai, 2017;

5. Khalid, L. A., El-Ashmawy, (2017). Developing and testing a method for deformations measurements of structures, *Geodesy and Cartography*. Prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.3846/20296991.2017.1305545>;
6. Geodezijos ir kartografijos techninis reglamentas Lietuvos Respublikos teritorijoje statomų požeminių tinklų ir komunikacijų geodezinių nuotraukų atlikimo tvarka GKTR 2.01.01:1999, Suvestinė redakcija nuo 2001-05-24;
7. LR statybos įstatymas, Suvestinė redakcija nuo 2017-07-01 iki 2017-08-31, Valstybės žinios, 1996-04-10, Nr. 32-788;
8. LR žemės ūkio ministro įsakymas dėl Geodezijos ir kartografijos darbų savivaldybėse kontrolės ir valstybinės ekspertizės tvarkos aprašo patvirtinimo, Valstybės žinios, 2011-09-30, Nr. 118-5588;
9. Geodezijos ir kartografijos techninių reikalavimų reglamentas GKTR 2.11.03:2014. Suvestinė redakcija nuo 2015-01-01.
10. Pirti A., Yucel M. A., Gumus K. (2013). Testing Real Time Kinematic GNSS (GPS and GPS/GLONASS) methods in obstructed and unobstructed sites. Iš: *Geodetski vestnik*, 2013, 57/3, 499 p.
11. Bružas M.(2019). Normalinių aukščių tikslumo tyrimai naudojant matavimams skirtingus geoido modelius. Iš: *Miškininkystė ir kraštotvarka 2019: tarptautinė konferencija „Relevant Issues of Environment Management 2019“*. Kauno miškų ir aplinkos inžinerijos kolegija, Girionys.
12. Venskienė R., Venskus S. (2010). Matavimų GPS imtuvais RTK metodu tikslumo įvertinimas. Kauno kolegija.
13. GKTR 2.08.01:2000 Statybiniai inžineriniai geodeziniai tyrinėjimai (2000). Geodezijos ir kartografijos techninis reglamentas. <https://www.etar.lt/portal/legalAct.html?documentId=TAR.ED58CED74000>
14. Vajda, P.; Vaníček, P.; Novák, P.; Tenzer, R.; Ellmann, A.; Meurers, B. (2010). On Ambiguities in Definitions and Applications of Bouguer Gravity Anomaly. *Gravity, Geoid and Earth Observation, International Association of Geodesy Symposia*, 135, 19–24. doi:10.1007/978-3-642-10634-7
15. Vermeer, M.; Kollo, K. (2007). Geoid precision from limited-area gravimetric surveys. *Geodezija Ir Kartografija / Geodesy and Cartography*, 33(1), 3–8.

THE POSSIBILITIES AND QUALITY OF DEFINING COORDINATES OF ENGINEERING OBJECTS USING GPS RTK MEASUREMENTS UNDER DIFFERENT CONDITIONS

Summary

Construction planning and management use technologies related to various combinations of spatial data, from which significant results are obtained about the object under study. Geodetic measurements determine the geographical location of structures, roads and other engineering objects. The aim is to analyse and evaluate new and existing engineering equipment used to perform monitoring of important linear engineering objects, etc., ensure maximum accuracy, and collect complete data. One of the most necessary stages of construction is the geodetic marking of the building (engineering systems). With the expansion of the network of GPS reference stations, the range of measurement systems, the number of GPS satellites, etc., the possibilities to obtain optimal results accuracy, especially in difficult measurement conditions, increase. In practice, the RTK (real-time kinematic) method is most often used, applying the LitPOS RTKNet service of the state GPS reference station network. GPS RTK measurements in urban areas are usually performed under difficult conditions. The coordination of points under different geographical and measurement conditions was performed, and the possibilities of the quality of the measurements were analysed. GPS RTK measurements were performed in good (open areas with a good visual horizon, when the trees do not have leaves and weather conditions are good), real and difficult conditions (on or near a forest land and under trees; in an urban area, between buildings; in hilly terrain, between rocks; in an area affected by high voltage, etc.). It was found that the largest discrepancies of coordinated points are recorded in intensively built-up and forest) areas. It is recommended to apply an individual solution in each situation, depending on the type of measurements and the capabilities of the GPS receiver.

Keywords: GPS, RTK, accuracy of GPS measurements.

Informacija apie autorius

dr. Vilma Kriauciūnaitė-Neklejonovienė. Kauno technologijos universiteto, Statybos ir architektūros fakulteto lektorė. Mokslinių tyrimų kryptys: inžinerinė geodezija.

El. pašto adresas: vilma.kriauciunaite@ktu.lt

dr. Donatas Rekus. Kauno kolegijos Technologijų fakulteto Aplinkos inžinerijos katedros docentas / Kauno technologijos universiteto Statybos ir architektūros fakulteto docentas.

El. pašto adresas: donatas.rekus@go.kauko.lt