

GEODEZINIŲ DARBŲ YPATUMAI GELEŽINKELIO KONTAKTINIO TINKLO STATYBOS IR ELEKTRIFIKACIJOS PROCESSE

Monika STANKEVIČIŪTĖ, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: monika.stankeviciute1@vdu.lt,

Vilma KRIAUCIUNAITĖ-NEKLEJONOVIENĖ, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: vilma.kriauciunaite-neklejonoviene@vdu.lt

Santrauka

Tyrime analizuojami ir vertinami geodezinių darbų vykdymo ypatumai geležinkelio kontaktinio tinklo statybos procese, nagrinėjamas elektrifikacijos technologinis procesas projekte Vilnius–Klaipėda. Geležinkelio elektrifikacija apima statybinius ir geodezinius tyrimus, nužymėjimo ir kontrolės darbus, įrengtų kontaktinio tinklo pamatų (*as-built*) dokumentaciją, kadastro bylas, planus, kiekių žiniaraščius, atlikus statybinės geodezijos skaičiavimus, taip pat įvairių technologinių procedūrų visumą, reikalingą kontaktinio tinklo ir kitų elektrifikacijos elementų įrengimui visoje geležinkelio linijoje. Vilniaus, Kaišiadorių ir Jonavos rajonuose tyrimo metu išmatuota 1461 kontaktinio tinklo elementas – įrengti pamatai, galvenos, pavienės ir portalinės kontaktinio tinklo atramos. Atlikus geodezinius kontaktinio tinklo atramų matavimus su globalinės navigacijos palydovų sistemų (GNSS) imtuvu, robotizuotu elektroniniu tacheometru. Vaidotų ir Livintų geležinkelio stotyse ir ruože Livintai–Gaižiūnai, matavimų reikšmės gautos su iki 1–2 cm paklaida. Kombinuotas geodezinių matavimų būdas yra ekonomiškai efektyviausias ir sparčiausias esant reikalaujamam tikslumui. Atliekant matavimus kombinuotu būdu, per dieną galima išmatuoti 2,4–3,2 km atkarpą, o gautos reikšmių paklaidos neviršija leistinų. Kontaktinio tinklo statybos metu atliekami geodeziniai darbai užtikrina tikslų įrengiamų pamatų, kontaktinio tinklo atramų bei portalų ir gembų konstrukcijų išdėstymą erdvėje. Tyrimo metu parengta geodezinių darbų technologinė seka geležinkelio elektrifikacijos procese. Skiriami pagrindiniai geodezinių darbų etapai: parengiamieji darbai, geodeziniai matavimai, patikra ir kontrolė, išpildomoji dokumentacija ir darbų užbaigimas.

Reikšminiai žodžiai: geodezija, geodeziniai matavimai, tikslumas, geležinkelis, kontaktinis tinklas, elektrifikacija, statyba.

Įvadas

Geležinkelio elektrifikacijos kontekstas. Geodeziniai metodai statybos praktikoje pradėti naudoti dar XX–XVIII a. pr. m. e. vienoje reikšmingiausių civilizacijų – Senovės Egipte. Vėliau, apie VII–VI a. pr. m. e., sudarinėti specializuoti geografiniai žemėlapiai, o pirmieji tikslesni Žemės matavimai, kuomet buvo nustatytas geografinio laipsnio linijinis ilgis, atlikti III a. pr. m. e. (Antanavičius, 2008). Geležinkelio elektrifikacija reikalauja ne tik naujų inžinerinių sprendimų, bet ir aukšto tikslumo geodezinių matavimų, užtikrinančių saugią ir efektyvią kontaktinio tinklo bei visos infrastruktūros eksploataciją. Elektrifikuotų Europos geležinkelių tinklo plėtra mažina priklausomybę nuo iškastinio kuro (dyzelino) naudojimo tuo pačiai stipriai prisidedama prie CO₂ mažinimo (Europos Komisija, 2021).

D. Mehari (2023) straipsnyje teigia, kad geležinkelio kontaktinio tinklo – elektrifikavimo sistemos yra pagrindinė šiuolaikinės geležinkelių infrastruktūros dalis, užtikrinanti patikimą ir efektyvų elektros energijos tiekimą elektriniams traukiniams. Kontaktinio tinklo statybos metu atliekami geodeziniai darbai užtikrina tikslų įrengiamų pamatų, kontaktinio tinklo atramų, portalų ir gembų konstrukcijų išdėstymą erdvėje. Tačiau kylanti problema – nėra apibrėžta aiški metodologinė ar technologinė geodezinių darbų schema, darbų pobūdis, kokie tiksliai turi būti atliekami darbai elektrifikuojant geležinkelius Lietuvoje, dėl to gali būti netinkamai vertinami atramų/portalų padėties nuokrypiai, atsiranda kontrolės procedūrų nepakankamumas, GNSS ribotumai prie metalo konstrukcijų, „as-built“ neatitiktimai projektui ir pan.

GNSS/RTK (realaus laiko kinematika) taikymas geležinkeliuose. Gdanskio technologijos universiteto ir Gdynės jūrų universiteto autorių komanda, vykdydama mokslinių tyrimų projektą „InnoSatTrack“ 2020 m. nagrinėjo geležinkelio bėgių GNSS matavimų patikrą naudojant standartinius koordinačių nustatymo metodus (Specht et al., 2020). Atlikus tyrimą autoriai nustatė, kad tacheometriniai matavimai pasižymi didžiausiu koordinačių nustatymo tikslumu. Padaryta prielaida, kad su prietaisu susijusi matavimo paklaida svyruoja vieno milimetro ribose. GNSS metodais atliktų matavimų tikslumas atitinka Lenkijos geležinkelio bėgių inventORIZACIJOS matavimų tikslumo reikalavimus. RTK GNSS matavimas suteikia efektyvią alternatyvą tacheometriniais matavimams, esant stabiliam palydoviniam signalui (kai nėra trikdžių) (Specht et al., 2020).

Tikslus pirminės geodezinių taškų sistemos padėties nustatymas naudojant GNSS technologiją geležinkelio eksploatavimo sąlygomis nagrinėtas 2024 m. Statybos inžinerijos fakultete, Geodezijos institute Čekijoje, moksliniame straipsnyje „Precise Positioning of Primary System of Geodetic Points by GNSS Technology in Railway Operating Conditions“ (Bures et al., 2024). Atlikto tyrimo rezultatai parodė, kad tikslumas eksploatavimo sąlygomis yra du–tris kartus blogesnis dėl neidealių stebėjimo sąlygų, t. y. horizonto kliūčių, aplinkinės augmenijos ir daugiakrypčio sklaidimo poveikio. Nustatyta, kad naudojant GNSS įrangą su posvyrio jutikliu, padėties nustatymo tikslumas sumažėjo (Bures et al., 2024).

Tikslumo kontrolė ir paklaidų šaltiniai. O. Kolbovskij (2018) magistrantūros studijų baigiamajame darbe tyrinėjo geodezinių darbų vykdymą ir kontrolės technologiją geležinkelio kelių statybos, rekonstrukcijos ir stebėsenos etapuose,

tačiau Lietuvoje geodezinių darbų vykdymas geležinkelio elektrifikacijos – kontaktinio tinklo statybos procese tyrinėtas nebuvo. Išnagrinėjus literatūrą ir praktinius pavyzdžius nustatyta, kad geodeziniais darbams atlikti trūksta sisteminių metodikų parinkimo kriterijų skirtingoms sąlygoms, tiek apibendrintos proceso schemos. Geodezinių darbų vykdymui geležinkelio kontaktinio tinklo statybos procese reikalingas tikslesnis ir detalesnis metodologinis pagrindimas bei tikslus technologinių procesų aprašymas, kuris padėtų didinti darbų efektyvumą panašiuose projektuose. Mokslinė tyrimo vertė atsiskleidžia per geodezinių tyrimų metodų tobulinimą, matavimų tikslumo didinimą ir duomenų analizės procesų optimizavimą, kas leidžia efektyviau valdyti statybos, priežiūros darbus ir mažinti klaidų tikimybę.

Tyrimo tikslas – išanalizuoti ir įvertinti geodezinių darbų vykdymo ypatumus geležinkelio kontaktinio tinklo statybos procese.

Iškeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Išanalizuoti kontaktinio tinklo statybos technologinį procesą ir nustatyti taikomus geodezinius metodus ir technologijas, naudojamas kontaktinio tinklo statybos procese.
2. Atlikti Vaidotų stoties, Livintų–Gaižiūnų tarpstočio, Livintų stoties įrengtų kontaktinio tinklo atramų ir pamatų geodezinius matavimus.
3. Nustatyti kontaktinio tinklo atramų padėties nuokrypius nuo projektinių reikšmių ir įvertinti jų pasiskirstymą pagal tikslumo rodiklius.

Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimo metodika ir objektas.

Tyrimo objektas – Geležinkelio elektrifikacijos projekto Vilnius–Klaipėda (Draugystės st.) elektrifikuojami geležinkelio ruožai: Vaidotų stotis, tarpstotis Livintai – Gaižiūnai, Livintų stotis. Tyrimas vykdytas 2025 m. rugpjūčio, rugsėjo ir spalio mėnesiais 1–23 d. ir panaudoti matavimų duomenys iš 2024 m. gruodžio ir sausio 12–23 d. Vilniaus, Kaišiadorių ir Jonavos rajonuose. Iš viso tyrime išmatuota 1461 kontaktinio tinklo elementas – įrengti pamatai, galvenos, pavienės ir portalinės kontaktinio tinklo atramos. Vilniaus Vaidotų geležinkelio stotyje geodeziniai kontaktinio tinklo pamatų ir metalinių atramų konstrukcijų matavimai atlikti 995 pavienėms ir portalinėms kontaktinio tinklo atramoms iš kurių: 68 vnt. galvenos, 323 ankeriai. Tarpstotyje Livintai–Gaižiūnai geodeziniai matavimai atlikti 406 kontaktinio tinklo elementams: 306 pavienėms kontaktinio tinklo atramoms ir 100 ankerių. Livintų geležinkelio stotyje atlikta 60 pamatų ir pavienių kontaktinio tinklo atramų matavimų, 20 iš jų – ankeriai. Geodeziniai matavimo darbai atlikti 7,54 km Vaidotų stoties atkarpoje, kurioje yra daugiausia elektrifikuojamų geležinkelio kelių, lokomotyvų, taip pat čia įsikūręs krovinių terminalas. Vaidotų geležinkelio stotis pasirinkta nagrinėti dėl to, kad yra viena charakteringiausių iš visų elektrifikuojamų ruožų, kadangi čia įrengti skirtingi kontaktinio tinklo elementai: pavienės atramos, portalai, lankstieji portalai ir kt. Taip pat pasirinktas tarpstotis Livintai–Gaižiūnai – 9,53 km ilgio dvikelis ruožas ir Gaižiūnų geležinkelio stotis dėl savo nepalankios matavimams geografinės padėties, ruožai yra išsidėstę netoli Gaižiūnų aerodromo ir Rukloje (Jonavos r.) įrengto karinio poligono bei karinio mokymo teritorijos. Itin dažnai abiejuose ruožuose matavimų metu susidurta su ryšio blokavimo priemonėmis ir vietovės nustatymo problemomis, taip pat čia dažnai neveikia internetinis ryšys, geodezinių matavimų prietaisai neprisijungia prie geodeziniais matavimams reikalingų palydovų. Tyrimo metu nužymėtos projektinės kontaktinio tinklo atramų konstrukcijų padėties, nagrinėti projektiniai sprendiniai, taip pat išanalizuota mokslinė literatūra apie jau atliktus geodezinius matavimus geležinkeliuose Lietuvoje.

Geodezinių matavimų technologija geležinkelio elektrifikacijoje.

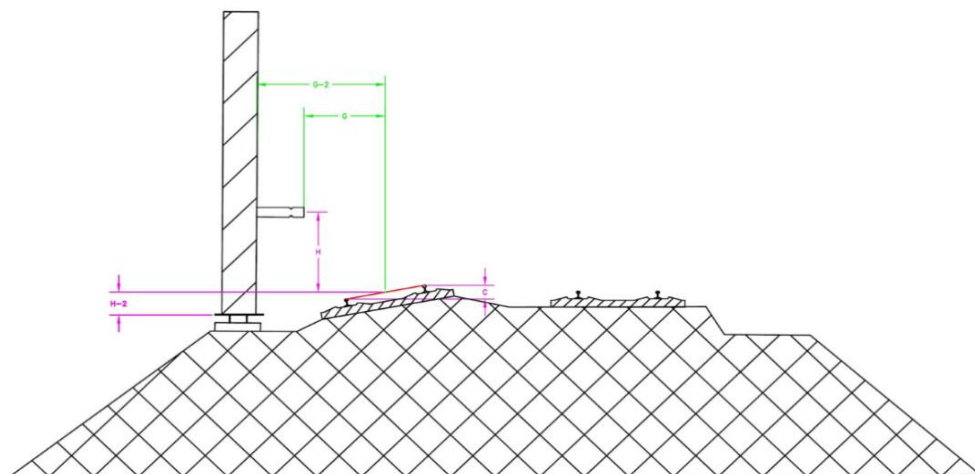
Atliekant tyrimą, nagrinėjami įvairūs geodezinių matavimų metodai ir nustatomas ekonomiškai palankiausias ir efektyviausias matavimų būdas geležinkelio elektrifikacijos projekte. Analizuojami elektrifikacijos projekto sprendiniai, įvertinamos atramų padėties ir užtikrinama, kad būtų išvengta susikirtimo su kitais antžeminiais ir požeminiais inžineriniais tinklais. Pagal geležinkelio kontaktinio tinklo projektinius sprendinius atliekami atramų nužymėjimo darbai. Atlikus parengiamuosius darbus pradedami vykdyti geodeziniai matavimai geležinkelio kontaktinio tinklo pamatams ir atramoms. Geodeziniai matavimai atliekami su GT-1200 robotizuotu tacheometru, Survpoin 360° stikline prizme ir Topcon Hiper GNSS imtuvu, duomenys išsaugomi duomenų kaupiklyje Topcon FC-6000.

Tacheometru matavimai vykdomi iš vienos stoties į dvi puses, bet ne daugiau kaip į 3 horizontaliai nutolusias kontaktinio tinklo atramų konstrukcijas. Tolstant prizmei nuo tacheometrinės stoties matavimų rezultatai neišlieka tikslūs, kadangi atstumas tarp gretimų kontaktinio tinklo atramų vidutiniškai 60–80 m. Todėl iš vienos matavimų stoties išmatuojama ne daugiau kaip 12 kontaktinio tinklo atramų. Jeigu geležinkelio bėgiai yra ties posūkiu, matomumas ribotas ar yra reljefo kliūčių, stotys statomos dažniau, kas 10 ar 8 kontaktinio tinklo atramas.

Atliekant kontaktinio tinklo atramų geometrinių parametrų matavimus svarbiausia yra tiksliai išmatuoti atstumą tarp metalinės kontaktinio tinklo atramos ir bėgių ašies. Kiekviena matuojama atrama turi fiksuotą konstrukcijos tašką – tvirtinimo varžtą. Vėliau jo aukštis apskaičiuojamas prie konstrukcijos apačios pridėdant 1,2 m. Matavimo metu gaunamas metalinės konstrukcijos apačios aukštis, kuris nustatomas tacheometru nutaikant į ant matavimo lazdos esančią stiklinę prizmę. Išmatuoti parametrai yra būtini kontaktinio tinklo techninei būklei vertinti, kontaktinį tinklą laikančių gėmių gamybai, techninės priežiūros vertinimui ir atliktų darbų pridavimui fiksuoti. Taip pat šie matavimai gali būti naudingi geometrijos atkūrimui remonto ar rekonstrukcijos atvejais. Geodezinių matavimų tikslumui užtikrinti matavimai pakartojami antrą kartą arba matuojant sudėtingesnėmis sąlygomis – trečią.

Geometrinių parametrų ir projektinių nuokrypių skaičiavimai.

Atlikus geodezinius kontaktinio tinklo atramų matavimus ir apdorojus gautus matavimų duomenis parengiami išmatuotų kontaktinio tinklo atramų atstumų iki bėgių ašies skaičiavimai, kuriais remiantis apskaičiuojami geometriniai parametrai pateikiami 1 paveiksle.



Šaltinis: sudaryta autorių

Source: Developed by the authors

1 pav. Geležinkelio kontaktinio tinklo geometriniai parametrai (laikančių gėmbių gamybai).

Fig. 1. Geometric parameters of the railway overhead contact network (for the fabrication of supporting cantilevers).

Tvirtinimo varžto aukštis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$H_{varžto} = H_{stA} + 1,2m \quad (1)$$

čia: $H_{varžto}$ – metalinės konstrukcijos tvirtinimo varžtas (m);

H_{stA} – atramos metalinės konstrukcijos apačios aukštis (m).

Aukščių skirtumas tarp bėgių ašies vidurio ir konstrukcijos tvirtinimo varžto apskaičiuojamas:

$$H = H_{varžto} - C \quad (2)$$

čia: H – aukštis tarp metalinės konstrukcijos tvirtinimo varžto ir bėgių aukščio (m);

$H_{varžto}$ – metalinės konstrukcijos tvirtinimo varžtas (m);

C – bėgių aukščio vidurkis (m).

Aukščių skirtumas nuo metalinės konstrukcijos apačios iki bėgių ašies apskaičiuojamas:

$$H-2 = C - H_{stA} \quad (3)$$

čia: $H-2$ – aukštis tarp kontaktinio tinklo metalinės konstrukcijos apačios iki bėgių ašies vidurio (m);

C – bėgių aukščio vidurkis (m);

H_{stA} – atramos metalinės konstrukcijos apačios aukštis (m).

Atlikus skaičiavimus sudaryta apskaičiuotų parametų lentelė, kuri reikalinga kontaktinį tinklą laikančių gėmbių gamybai. Taip pat apskaičiuojami kontaktinio tinklo atramų/pamatų centrų poslinkiai – nukrypimai nuo projektinių reikšmių. Poslinkis nuo projekcinės reikšmės apskaičiuojamas:

$$\Delta xy = \sqrt{((x_{pr} - x_{fakt})^2 + (y_{pr} - y_{fakt})^2)} \quad (4)$$

čia: Δxy – faktinės atramos poslinkis nuo projekcinės reikšmės (m);

x_{pr} – projektinė x koordinatė;

x_{fakt} – faktinė x koordinatė;

y_{pr} – projektinė y koordinatė;

y_{fakt} – faktinė y koordinatė.

Apibendrinta tyrimo metodika pateikiama 1 lentelėje.

Pateikta tyrimo metodika apima nuoseklią ir tarpusavyje susietą veiksmų seką – nuo tyrimo koncepcijos formavimo ir norminės bazės analizės iki praktinių (lauko) matavimų atlikimo, duomenų apdorojimo ir rezultatų sintezės. Metodologinė schema leidžia sistemingai įvertinti geodezinių darbų vaidmenį geležinkelio kontaktinio tinklo statybos ir elektrifikacijos procese, užtikrinant tyrimo teisinį, technologinį ir praktinį pagrįstumą.

1 lentelė. Apibendrinta tyrimo metodika (sudaryta autorių)**Table 1.** Overview of the research methodology (developed by the authors)

Metodikos etapas	Etapo turinys ir veiksmai	Taikomi metodai ir priemonės	Duomenys / rezultatai	Metodologinė paskirtis
1. Tyrimo koncepcijos formavimas ir mokslinės bazės analizė	Tyrimo problema, tikslas, uždaviniai, tyrimo objektas, analizuojami LR teisės aktai, techniniai reglamentai, STR, LST standartai, moksliniai straipsniai (LT ir užsienio)	Loginė analizė, abstrahavimas, metodinių rekomendacijų analizė, literatūros ir dokumentų analizė	Tyrimo problema, tikslas, uždaviniai.	Sukurti nuoseklų ir pagrįstą tyrimo metodologinį karkasą. Užtikrinti tyrimo teisinį ir techninį pagrįstumą
2. Elektrifikacijos technologinio proceso analizė ir tyrimo objektas	Nagrinėjama geležinkelio kontaktinio tinklo statybos eiga: parengiamieji, montavimo, kontrolės etapai, parinkti objektai: Vaidotų stotis, Livintų–Gaižiūnų tarpstotis, Livintų stotis	Technologinio proceso analizė ir atvejo analizė	Elektrifikacijos proceso struktūra ir konkretūs matavimo ruožai ir atramos	Susieti geodezinius darbus su statybos technologiniais etapais, užtikrinti tyrimo praktinį pobūdį
3. Parengiamieji geodeziniai darbai ir matavimo technologijų palyginimas	Kameraliniai darbai, inžineriniai tinklai, reljefas, projektiniai sprendiniai, vertinamos trys technologijos: trasos matavimo vėžimėliai, GNSS RTK, kombinuotas metodas	Kameraliniai tyrimai, GIS ir projektinės medžiagos analizė, eksperimentiniai ir bandomieji matavimai	Atramų projektinės padėties, rizikos, tikslumo, našumo ir ekonomiškumo palyginimas	Sumažinti matavimo klaidų ir kolizijų riziką ir parinkti optimalų matavimo metodą elektrifikacijos sąlygomis
4. Pasirinkto matavimo metodo taikymas, matavimų organizavimas ir vykdymas	Taikomas kombinuotas GNSS RTK + robotizuoto tacheometro + stiklinės prizmės metodas	GNSS Topcon Hiper SR, tacheometras GT-1200, prizmė 360°, tacheometriniai ir GNSS matavimai	Kontaktinio tinklo atramų ir bėgių koordinatės ir erdviųjų taškų koordinatės ir aukščiai	Užtikrinti reikiamą tikslumą (1–2 cm) ir darbo efektyvumą, užtikrinti duomenų vieningumą ir kontrolę
5. Geometrinių parametrų nustatymas, duomenų apdorojimas ir skaičiavimai, tikslumo vertinimas ir hipotezės tikrinimas	Nustatomi atstumai nuo atramos iki bėgių ašies, aukščiai, šoniniai nuokrypiai; skaičiuojami aukščių skirtumai, poslinkiai, lyginami faktiniai ir projektiniai duomenys	Geometrinė analizė, statmenų projekcijos, analitiniai skaičiavimai, statistinė analizė, palyginimas	Kontaktinio tinklo konstrukciniai parametrai, H, H-2, ΔH, m reikšmės, Atitikimo projektui %	Sudaryti pagrindą gamybai ir techninei kontrolei, įvertinti matavimų tikslumą
6. Išpildomosios dokumentacijos rengimas ir rezultatų apibendrinimas	Rengiami atramų ir pamatų išpildomieji brėžiniai ir lentelės, derinimas planuojamam (TIIS) sistemoje, apibendrinami tyrimo rezultatai.	Duomenų sisteminimas, dokumentavimas, loginė analizė, sintezė	Išpildomoji dokumentacija, geodezinių darbų vykdymo modelis	Užtikrinti statybos darbų priėmimą, technologiniai ir organizaciniai patobulinimai

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas*Geležinkelio kontaktinio tinklo statybos ir elektrifikacijos technologinė schema bei pagrindinių geodezinių darbų etapų ir jų funkcijų statybos procese identifikavimas:*

Geležinkelio elektrifikacija yra sudėtingas ir daugybę inžinerinių darbų apimantis procesas. Tiesioginis geodezinių darbų poreikis elektrifikacijos procese prasideda nuo kontaktinio tinklo pamatų nužymėjimo, kurį atlieka geodezininkas, remiantis projektiniais brėžiniais.

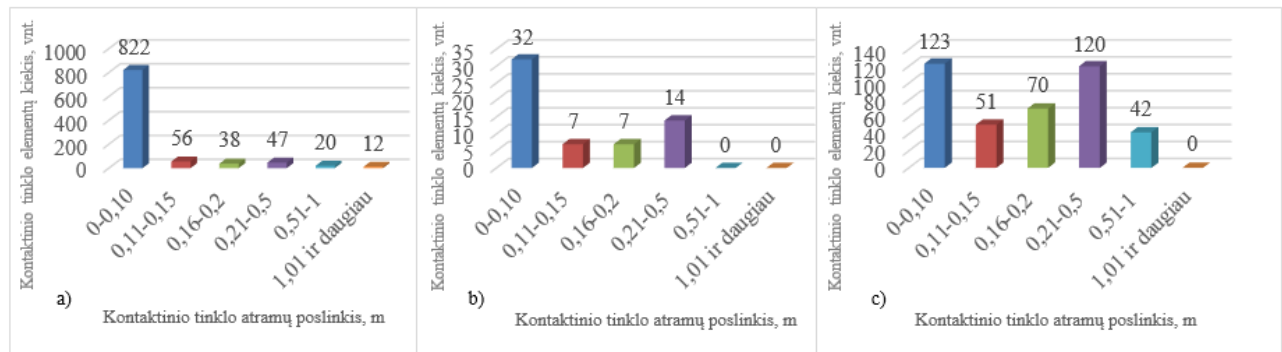
Metalinės konstrukcijos atramos dažnai naudojamos vieno geležinkelio kelio linijose, o portalai – dvigubose arba daugiau geležinkelio kelių turinčiose linijose – stotyse. Portalai – tai didelės konstrukcijos su vertikaliomis metalinėmis atramomis ir horizontaliomis sijomis užmontuojamomis ant atramų.

Tyrimo metu nustatyta, kad geodeziniais matavimais tiksliai išmatuota bėgių ašis ir kontaktinio tinklo atramos geometrinė padėtis, leidžia atlikti gėmių montavimą ir ant portalinių konstrukcijų. Išmatuoti parametrai yra būtini kontaktinio tinklo techninei būklei vertinti ir normatyvų atitikčiai vertinti, atliktų darbų kiekių fiksavimui. Laidai arba kabeliai prie stulpų pritvirtinami izoliatoriais, kurie padeda išvengti įžeminimo ir užtikrina stabilų elektros energijos tiekimą traukiniams. Virš bėgių ištempta daug laidų, kurie vadinami kontaktinio tinklo elektrifikavimo sistemos komponentais pavaizduoti 2 pav. a) dalyje. Ant gėmių montuojamas nešantysis lynas su laikikliais ir kontaktiniu kabeliu (žr. 2 pav. b) dalis). Pagrindinis geležinkelio kontaktinio tinklo Vilnius–Klaipėda elektrifikavimo sistemos elementas – kontaktinio tinklo sistema – susidedanti iš virš bėgių ištempto laido. Laidas tvirtinamas ant stulpų/atramų ir yra pagamintas iš plieno, aliuminio, vario ar kitų medžiagų. Kontaktinį tinklą laikančios gėmės gaminamos atlikus geodezinius matavimus ir geometrinių parametrų skaičiavimus. Energijos perdavimas iš kontaktinio tinklo į riedmenis vyksta per pantografą, kuris yra sumontuotas ant traukinio stogo. Geodezinių matavimų paklaida negali viršyti 10 cm dėl pantografo svirties svyravimo amplitudės.

Kontaktinio tinklo įrengimo technologinis procesas vykdomas vadovaujantis Lietuvos Respublikoje galiojančiais statybos techniniais reglamentais (STR), Europos standartais, perimtais kaip LST EN, taip pat Europos Sąjungos geležinkelių sąveikos techninėmis specifikacijomis (TSI) ir nacionalinėmis geležinkelių infrastruktūros valdytojo techninėmis taisyklėmis. Parengta geležinkelio elektrifikacijos technologinė schema pateikiama 2 lentelėje.

Kontaktinio tinklo atramų padėties nuokrypių nuo projektinių reikšmių ir jų pasiskirstymo pagal tikslumo rodiklius vertinimas:

Kontaktinio tinklo statybos metu, atliktais geodeziniais matavimais nustatyta, kaip keičiasi statinio padėtis geležinkelio atžvilgiu X ir Y koordinatų poslinkiu, taip pat geležinkelio bėgių ašies ir įrengtų atramų pamatų aukščio skirtumas. Šie geležinkelio kontaktinio tinklo statybos geometrijos parametrai yra itin svarbūs siekiant išlaikyti statinių artumo gabaritą. „Statinių artumo gabaritas - skersinis kontūras (statmenas kelio ašiai), į kurio vidų neturi išsikišti nė viena statinių ir įrenginių dalis“ (Lietuvos Respublikos..., 1996). Geležinkelio elektrifikacijos Vilnius–Klaipėda projekte, numatytas ir praktiškai taikomas statinių artumo gabaritas geležinkelio stotyse – 3,3 m. nuo centrinės bėgių ašies, o tarpstočiuose – 3,5 m. Atlikus kombinuotus geodezinius matavimus 995 kontaktinio tinklo elementams, nustatyta, kad 82,61 proc. Vaidotų geležinkelio stotyje (žr. 3 pav. a) dalis) įrengtų geležinkelio kontaktinio tinklo atramų ir pamatų atitinka projektines reikšmes ir statinių artumo gabarito reikalavimus, todėl statybos darbai tęsiami toliau, pagal faktines atramų padėties gaminamos ir montuojamos gembės bei santvaros.



3 pav. Kontaktinio tinklo elementų atitiktis projektiniams sprendiniams: a) Vaidotų stotis; b) Livintų stotis; c) tarpstotis Livintai – Gaižiūnai.

Fig. 3. Compliance of the overhead contact line elements with the design solutions at: a) Vaidotai Station; b) Livintai Station; c) section Livintai – Gaižiūnai.

Beveik dešimtadalis išmatuotų įrengtų kontaktinio tinklo horizontalus elementų poslinkis svyruoja tarp 11–20 cm, o 8 proc. viršija 0,21 cm, todėl šioms kontaktinio tinklo atramoms atlikta kontrolinė patikra – statinių artumo gabarito peržiūra. Jeigu gabaritas neišlaikomas, kontaktinio tinklo atrama yra numontuojama, o pamatas priklausomai nuo pamato tipo, kaltinis – perkalamas, gręžtinis panaikinamas ir iš naujo įrenginėjamas projektinėje vietoje. Atlikus statinių artumo gabarito peržiūrą, nustatyta, kad 118 išmatuotų atramų atitinka artumo gabaritą, o 55 pažeidžia normatyvus, todėl šioms atramoms statybos darbai atlikti pakartotinai. Jeigu statinių artumo gabaritas išlaikomas, tačiau nuokrypis nuo projekto viršija daugiau nei 10 cm, tai laikoma projekto sprendinių neatitikimu – geometrinių parametų pakeitimu. Nustatyta 10 cm geometrinė riba remiantis pantografo ir kontaktinio laido sąveikos fizikinėmis bei eksploatacinėmis charakteristikomis. Viršijus 10 cm nukrypimo nuo projekto ribą, atsiranda ir didėja tikimybė, kad kontaktinis laidas atsidurs už stabilios kontaktinės zonos, dėl to nutrūksta elektros tiekimas, atsiranda kibirkščiavimas, kontaktiniai elementai greitai dyla ir kt. Atsižvelgiant į tai, nuokrypis, viršijantis 0,10 m, vertinamas kaip ne tik geometrinis, bet ir funkcinis sistemos parametras, turintis tiesioginę įtaką elektros energijos perdavimo patikimumui.

Atlikus geodezinius matavimus Livintų stotyje (žr. 3 pav. b) dalis) nustatyta, kad 53,3 proc. įrengtų geležinkelio kontaktinio tinklo atramų ir pamatų atitinka projektines reikšmes ir statinių artumo gabarito reikalavimus. Po beveik 12 proc. atramų poslinkiai ΔX ir ΔY svyruoja 11–15 ir 16–20 cm ribose. Nustatyta, kad 11 elementų išlaikytas statinių artumo gabaritas, o 3 kontaktinio tinklo atramos ir pamatai įrengti iš naujo. Daugiau nei 21 cm ΔX ir ΔY poslinkiai apskaičiuoti daugiau nei 23 proc. įrengtų atramų, iš kurių naujai pakeistos net 11. Atlikus Livintų ir Vaidotų geležinkelio stočių kontaktinio tinklo atramų ir pamatų įrengimo geometrinių parametų analizę nustatyta, kad Vaidotų stotyje projektines reikšmes atitinkančių atramų dalis yra net 29,31 proc. didesnė nei Livintų stotyje. Tai lėmė atviresnė vietovė ir itin stabilus matavimų ryšys. Didesnių nei 50 cm nuokrypių ruože nenustatyta.

Atlikus geodezinius matavimus ir skaičiavimus geležinkelio ruože Livintai–Gaižiūnai (žr. 3 pav. c) dalis), nustatyta, kad kiek daugiau nei 30 proc. įrengtų geležinkelio kontaktinio tinklo atramų ir pamatų atitinka projektines reikšmes ir statinių artumo gabarito reikalavimus. Atlikus statinių artumo gabarito peržiūrą, nustatyta, kad likusių 191 išmatuotų atramų atitinka statinių artumo gabaritą, o 72 atramoms statybos darbai atlikti pakartotinai – atramos numontuojamos, pamatai įrengiami iš naujo. Atlikus nagrinėjamų ruožų geodezinius matavimus, apskaičiuota, kad įrengtų kontaktinio tinklo elementų atitiktis projektui yra tik 55,3 proc. Remiantis atliktais geodeziniais matavimais ištaisytos bei pašalintos pamatų ir konstrukcijų statybos metu atsiradusios klaidos. Atlikus pakartotinius geodezinius matavimus įrengtų kontaktinio tinklo elementų atitiktis projektui nustatyta net 97,5 proc. Ypač reikšmingas projekto atitikties padidėjimas nuo 55,3 proc. iki 97,5 proc. rodo, kad geodezinė kontrolė yra kritinis veiksnys užtikrinant projektinių sprendinių įgyvendinimo kokybę, o pradiniam etape nepakankama kontrolė lemia dideles papildomas sąnaudas dėl pakartotinių darbų. Tai leidžia teigti, kad statybos darbų metu nebuvo užtikrintas pakankamas geometrinio tikslumo kontrolės lygis visame ruože. Išanalizavus nuokrypių struktūrą nustatyta, kad nuokrypiai ne tik atsitiktiniai, bet ir sisteminiai, kurie siejami su netiksliais rangovų geodeziniais nužymėjimo darbais, nepakankama tarpinių kontrolinių matavimų apimtimi statybos metu bei technologinių procesų klaidomis. Kadangi net 72 atramoms prireikė pakartotinio

įrengimo, tai parodo sisteminį kokybės užtikrinimo trūkumą pradiname statybos etape. Apibendrinant galima teigti, kad nagrinėjamo ruožo analizė atskleidžia aiškią priklausomybę tarp geodezinės kontrolės intensyvumo ir kontaktinio tinklo elementų įrengimo tikslumo.

Geodezinių matavimų metu nustatyta, kad matavimų tikslumas stipriai sumažėja ruožuose, kurie yra išsidėstę netoli oro uostų ir karinių poligonų teritorijų dėl GNSS signalų trikdžių – radaro, radijo ryšio įrangos ir GNSS signalų blokavimo ar slopinimo, elektromagnetinių trikdžių, saugumo apribojimų. Nustatyta, kad kai tacheometro stotis įrengta tiek bėgių vidinėje pusėje ir išmatuojami bėgių geometrijos taškai, o vėliau stotis perkeliama į trasos išorinę pusę, kontaktinio tinklo atramų konstrukcijų matavimui, tarp atskirų stočių gauti rezultatai pasižymi padidėjusiais nesutapimais. Dažniausiai matavimų nesutapimą lemia nepalanki matavimo geometrija, regimumo apribojimas ir paklaidų suminis poveikis, perkeliant matavimo tinklą per atramines sienes ar kitas fizines kliūtis, dėl kurių padidėjo nuokrypių rizika tarp skirtingose stotyse atliktų matavimų rezultatų. Statybos metu taikyti geodeziniai sprendimai užtikrina konstrukcijų įrengimo tikslumą. Nuoseklus geodezinių darbų planavimas ir technologijų derinimas užtikrina ne tik konstrukcijų atitiktį projektui, bet ir prisideda prie bendro geležinkelio infrastruktūros modernizavimo efektyvumo.

Išvados

1. Išanalizuotas geležinkelio elektrifikacijos procesas bei parengta geodezinių matavimų organizavimo schema, apimanti norminių reikalavimų analizę, išankstinį projektinių sprendinių vertinimą, kombinuotą matavimo metodų taikymą ir sisteminį duomenų apdorojimą, sudaro pagrindą patikimai statybos darbų kontrolei ir rizikų mažinimui. Nustatyta, kad geodeziniais matavimais tiksliai išmatuota bėgių ašis ir kontaktinio tinklo atramos geometrinė padėtis leidžia atlikti gėmių gamybą ir montavimą ant portalinių konstrukcijų. Nustatyta, kad išmatuoti geometriniai parametrai yra būtini kontaktinio tinklo techninei būklei vertinti ir normatyvų atitikčiai vertinti, atliktų darbų kiekių fiksavimui

2. Optimalus bei ekonomiškai efektyviausias kontaktinio tinklo atramų matavimo būdas – kombinuoti matavimai su GNSS imtuvu, robotizuotu elektroniniu tacheometru ir stikline prizme. Nustatyta, kad nuokrypių pasiskirstymas nėra atsitiktinis – dominuoja nedidelės sisteminės paklaidos, kurios gali būti siejamos su montavimo technologija ir konstrukcinių elementų įrengimo specifiška. Reikšmingų geometrinių neatitikimų, galinčių turėti įtakos kontaktinio tinklo eksploatacijai, nenustatyta.

3. Didžiausia atitiktis projektiniams sprendiniams apskaičiuota Vaidotų geležinkelio stotyje (82,61 proc.), o mažiausia Livintų–Gaižiūnų ruože (30,30 proc.). Bendra įrengtų kontaktinio tinklo elementų atitiktis projektui – 55,3 proc. Ištaisius bei pašalinus pamatų ir konstrukcijų statybos metu atsiradusias klaidas, pakartotinių geodezinių matavimų metu kontaktinio tinklo elementų atitiktis projektui nustatyta net 97,5 proc. Nustatyta, kad matavimų nesutapimą lemia: elektromagnetinių bangų trikdžiai ruožuose, nepalanki matavimo geometrija, prastas regėjimo laukas ir paklaidų akumuliacija, perkeliant matavimo tinklą per atramines sienes ar kitas fizines kliūtis.

Literatūra

1. Antanavičius, A. 2008. *Geodezijos pagrindai*. Mokomoji knyga, p. 5 - 6.;
2. Europos Komisija. (2021). Sustainable and Smart Mobility Strategy – putting European transport on track for the future. [Interaktyvus.] Žiūrėta: 2025-04-05. Prieiga internetu: <<https://transport.ec.europa.eu/>>;
3. Geležinkelių transporto veiklą reglamentuojantys teisės aktai. [Interaktyvus.] Žiūrėta: 2025-03-06. Prieiga internetu: <<https://sumin.lrv.lt/lt/teisine-informacija/teisės-aktai/pagrindiniai-veiklos-sritis-reglamentuojantys-teisės-aktai/gelezinkeliu-transportas/>>;
4. Kolbovskij, O. 2018. *Geodezinių darbų vykdymas ir kontrolės technologija geležinkelio kelių statybos, rekonstrukcijos ir stebėsenos etapuose*. Magistrantūros baigiamasis darbas. Aleksandro Stulginskio universitetas, Akademinė;
5. Lietuvos Respublikos geležinkelių transporto kodekso patvirtinimo, įsigaliojimo ir taikymo įstatymas. Geležinkelių transporto kodeksas. Suvestinė redakcija nuo 2025-04-01 iki 2025-05-31. Įstatymas paskelbtas: Žin. 2004, Nr. 72-2489, i. k. 1041010ISTA0IX-2152. [Interaktyvus.] Žiūrėta: 2025-03-06. Prieiga internetu: <<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.232217/asr>>;
6. Lietuvos Respublikos statybos įstatymas. Suvestinė redakcija nuo 2025-01-01 iki 2025-06-30. Įstatymas paskelbtas: Žin. 1996, Nr. 32-788, i. k. 0961010ISTA00I-1240. Nauja redakcija nuo 2017-01-01: Nr. XII-2573, 2016-06-30, paskelbta TAR 2016-07-13, i. k. 2016-20300. [Interaktyvus.] Žiūrėta: 2025-03-06. Prieiga internetu: <<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.26250/asr>>;
7. Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija. Lietuvos Respublikos Vyriausybės nutarimas dėl projekto „Rail Baltica“. [Interaktyvus.] Žiūrėta: 2025-03-06. Prieiga internetu: <<https://sumin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/kita-veikla/specialieji-planai/projekto-rail-baltica-gelezinkelio-linijos-kaunas-vilnius-susisiekimo-komunikaciju-inzinerines-infrastrukturos-vystymo-planas/baigiamasis-etapas-5/>>;
8. Lietuvos Respublikos susisiekimo ministro įsakymas. „Dėl statinių artumo gabarito apibrėžimo patvirtinimo.“ Galiojanti suvestinė redakcija. 2017-07-11: Nr. 3-309, 2017-07-10, paskelbta TAR 2017-07-10, i. k. 2017-11836. Žiūrėta: 2026-01-28. Prieiga internetu: <<https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.254635749895/asr>>;
9. Mehari D. Railway overhead electrification system design. January 3, 2023. [Interaktyvus.] Žiūrėta: 2025-04-09. Prieiga internetu: <<https://civengtech.com/railway-overhead-electrification-system-design/>>;

10. Precise Positioning of Primary System of Geodetic Points by GNSS Technology in Railway Operating Conditions. Bures J., Vystavel O., Bartoněk D., Barta L., Havlicek R. Appl. Sci. 2024, 14(8), 3288; <https://doi.org/10.3390/app14083288>. Submission received: 29 February 2024 / Revised: 30 March 2024 / Accepted: 9 April 2024 / Published: 13 April 2024. [Interaktyvus.] Žiūrėta: 2025-04-15. Prieiga internetu: <<https://www.mdpi.com/2076-3417/14/8/3288>>;

11. Specht C., Wilk A., Koc W., Karwowski K., Dąbrowski P., Specht M., Grulkowski S., Chrostowski P., Szmagliński J., Czaplewski K., Skibicki J., Judek S., Licow R. 4Verification of GNSS Measurements of the Railway Track Using Standard Techniques for Determining Coordinates, 2020. Remote Sens. 2020, 12(18), 2874; <https://doi.org/10.3390/rs12182874>. Submission received: 4 July 2020 / Revised: 19 August 2020 / Accepted: 2 September 2020 / Published: 4 September 2020. [Interaktyvus.] Žiūrėta: 2025-04-15. Prieiga internetu: <<https://www.mdpi.com/2072-4292/12/18/2874>>.

GEODETIC ASPECTS OF RAILWAY OVERHEAD CONTACT SYSTEM CONSTRUCTION AND ELECTRIFICATION

Abstract

The study analyzes and evaluates the specific features of geodetic works carried out during the construction of a railway overhead contact system and examines the technological process of electrification within the Vilnius–Klaipėda project. Railway electrification comprises construction and geodetic surveys, setting-out and control works, as-built documentation of installed overhead contact system foundations, cadastral files, plans, and quantity schedules prepared after performing construction geodesy calculations, as well as a set of various technological procedures required for the installation of the overhead contact system and other electrification components along the entire railway line. During the study, 1,461 overhead contact system elements—installed foundations, mast heads, single masts, and portal structures—were measured in the districts of Vilnius, Kaišiadorys, and Jonava. Following geodetic measurements of overhead contact system supports using a GNSS receiver, a robotic total station, and a glass prism at the Vaidotai and Livintai railway stations and along the Livintai–Gaižiūnai section, measurement values were obtained with an accuracy of up to 1–2 cm. The combined geodetic measurement method is the most economically efficient and fastest approach while meeting the required accuracy. When applying the combined method, a 2.4–3.2 km section can be measured per day, and the resulting measurement errors do not exceed the permissible limits. Geodetic works carried out during overhead contact system construction ensure the precise spatial positioning of installed foundations, overhead contact system supports, as well as portal and cantilever structures. The study developed a technological sequence for geodetic works in the railway electrification process. The main stages of geodetic works are distinguished as follows: preparatory works; geodetic measurements, verification, and control; as-built documentation and completion of works.

Keywords: geodesy, geodetic measurements, accuracy, railway, overhead contact system, electrification, construction.