

UDK 528.92

**POŽEMINIŲ KOMUNIKACIJŲ GEOINFORMACINIŲ DUOMENŲ KAUPIMO
TRIMAČIAME GEOINFORMACINĖS SISTEMOS MODELyje YPATUMŲ TYRIMAS****Kęstutis Čypas**

*Geodezijos ir kadastro katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lietuva,
el. paštas: kestutis.cypas@ap.vtu.lt*

Įteikta 2005 07 01, priimta 2005 07 07

Santrauka. Straipsnyje apibendrinami požeminių komunikacijų, kaip antai: vandentiekio, dujotiekio, naftotiekio, elektros tinklų, – geoinformacinių duomenų kaupimo ir saugojimo trimačiame geoinformacinės sistemos modelyje savivaldybės poreikiams ypatumai. Atlikta miesto geoinformacinėje sistemoje kaupiamų požeminių komunikacijų geoinformacinių duomenų analizė ir apibrėžti požeminių komunikacijų geoinformacinių duomenų kaupimo trimačiame geoinformacinės sistemos modelyje reikalavimai atliekant geodezines nuotraukas. Straipsnyje pateikiamos ir sprendžiamos šios problemos: 1) kol kas geoinformacinių duomenų kaupimo procedūros užtikrina geoinformacinių duomenų saugojimą tik 2,5 dimensijoje, todėl apibrėžti papildomi požeminių komunikacijų geoinformacinių duomenų kaupimo trimačiame geoinformacinės sistemos modelyje reikalavimai, 2) miesto geoinformacinėje sistemoje duomenys saugomi 2,5D erdvėje, todėl geoinformaciniai duomenys transformuoti į 3D erdvę taikant tinklų klojimo altitudžių reikšmes, o esant nepakankamam klojimo altitudžių kiekiui, atliktas linijų viršūnių altitudžių interpoliavimas. Sukurtas ir pateiktas požeminių komunikacijų linijų viršūnių altitudžių nustatymo taikant tinklų klojimo altitudžių reikšmes veiksmų sekų algoritmas; eksperimentui atlikti *Visual Basic*TM programavimo kalba sukurtas programinis modulis, veikiantis *ArcGIS*TM aplinkoje; taikant *UML CASE* priemonės sukurtas požeminių komunikacijų 3D geoduomenų modelis.

Raktažodžiai. 3D GIS požeminių komunikacijų geoinformacinių duomenų modelis, linijų viršūnių altitudžių nustatymas, altitudžių interpoliavimas.

1. Įvadas

Projektuojant ir statant įvairius statinius ir pastatus miesto teritorijose reikalingi tikslūs požeminių komunikacijų padėties ir aukščių duomenys. Šie duomenys yra saugomi miesto geoinformacinėje sistemoje arba planšetėse. Projektuotojai projektuodami, o statybininkai tiesdami naujas komunikacijas neretai negauna tikslios informacijos apie esamų komunikacijų aukščius, o kartais ir planimetrinę padėtį. Viena iš aukščių netikslumo priežasčių – surenkama nepakankamai informacijos apie komunikacijų vertikaliją padėtį. „Statomų požeminių tinklų ir komunikacijų geodezinių nuotraukų atlikimo tvarkoje“ [1] nurodoma, kurių geobjektų turi būti nustatoma ir vertikalioji padėtis. Pagal egzistuojančią tvarką kabelinių komunikacijų altitudės be papildomų reikalavimų apskritai nenustatomos, todėl geodezininkai, atlikdami geodezines nuotraukas, nerenka nereikalaujamos informacijos. Kabelinių komunikacijų planimetrinė padėtis taip pat ne visada tiksliai žinoma, nors reikalaujama nustatyti posūkių, jungčių padėtį, o esant tiesiems tarpams padėtis turi būti nustatoma ne rečiau kaip kas 50 metrų. Kabelinės linijos dažnai vingiuoja, ir nustatyti tikslią posūkio vietą sudėtinga. Naudojant šiuolaikinius elektroninius tacheometrų padėtį ir aukščius nustatyti bei įvesti nėra sudėtinga, todėl galima pateikti papildomus duomenų surinkimo sudarant

požeminių komunikacijų geodezines nuotraukas reikalavimus.

Miesto geoinformacinėje sistemoje kaupiami požeminių komunikacijų geoinformaciniai duomenys saugomi 2,5D erdvėje, t. y. vamzdinių ir laidinių komunikacijų duomenys saugomi kaip linijiniai geometriniai elementai, o klojimo altitudžių duomenys – atskirame taškiniame sluoksnyje. Taikant trimatį geoduomenų modelį kiekviena linijinė požeminių komunikacijos viršūnė būtų saugoma trimatėje erdvėje, t. y. su aukščio reikšme tame taške. Tam tikslui reikia kartografuoti kiekvienos viršūnės ne tik planimetrinę, bet ir aukščių padėtį. Sudarius trimatį modelį galima būtų saugoti bei panaudoti trimačius geoinformacinius duomenis, o papildžius duomenų surinkimo reikalavimus – tokius duomenis sukaupti.

Ir geodezininkai, ir architektai naudoja šiuolaikines geodezinių nuotraukų sudarymo bei projektavimo programas, kurios leidžia įvesti bei saugoti duomenis trimatėje erdvėje. Architektai, projektuodami naujus statinius bei požemines komunikacijas, galėtų pasinaudoti trimačiais geoinformaciniais duomenimis ir tiksliau projektuoti, o statybininkai – tiksliau realizuoti tai statybų aikštelėje.

Straipsnyje pateikiamos ir sprendžiamos šios problemos: 1) geoinformacinių duomenų kaupimo procedūros užtikrina geoinformacinių duomenų saugojimą tik 2,5 dimensijoje, todėl apibrėžti papildomi

reikalavimai požeminių komunikacijų geoinformaciniais duomenims kaupti trimačiame geoinformacinės sistemos modelyje, 2) miesto geoinformacinėje sistemoje duomenys saugomi 2,5D erdvėje, todėl taikant klojimo altitudžių reikšmes transformuoti į 3D erdvę, o esant nepakankamam klojimo altitudžių kiekiui, atliktas linijų viršūnių altitudžių interpoliavimas. Sukurtas ir pateiktas požeminių komunikacijų linijų viršūnių altitudžių nustatymo taikant klojimo altitudžių reikšmes veiksmų sekų algoritmas; eksperimentui atlikti *Visual Basic*TM programavimo kalba sukurtas programinis modulis, veikiantis *ArcGIS*TM 9.0 aplinkoje; taikant *UML CASE* priemonės sukurtas požeminių komunikacijų 3D geoinformacinis duomenų modelis.

2. Požeminių komunikacijų geoinformacinių duomenų kaupimo trimačiame geoinformacinės sistemos modelyje reikalavimai

Reikalavimai, keliami statomų požeminių komunikacijų geodezinėms nuotraukoms atlikti, pateikti Techninių reikalavimų reglamente „Statomų požeminių tinklų ir komunikacijų geodezinių nuotraukų atlikimo tvarka“ [1]. Pagal reglamentą nustatomos tik šių požeminių komunikacijų objektų altitudės:

- visų įrenginių viršaus (dangčio žiedo);
- į šulinius įeinančių arba iš jų išeinančių vamzdžių (savitakinių komunikacijų – nuotekų ir drenažo – vamzdžio latako), kitų vamzdžių – vamzdžio viršaus;
- telefono kabelių – vamzdžio latako, jei vamzdžių pluoštas – apačios ir viršaus;
- vienodo nuolydžio atkarpų – ne rečiau kaip kas 50 m.

Altitudės nustatomos 1 cm tikslumu. Taip pat nurodoma, kad kabelinių komunikacijų altitudės papildomai nereikalaujant nenustatomos. Techninių reikalavimų reglamente „Statybiniai inžineriniai geodeziniai tyrinėjimai“ [2] nurodoma, kad atliekant požeminių komunikacijų tyrinėjimus sudaroma inžinerinių statinių nuotrauka, kurioje turi būti nustatomi šulinio angos dangčio, žemės paviršiaus prie šulinio aukščiai, šulinyje esančių vamzdžių, kabelių, kanalų aukščiai, o matavimai nuo šulinio angos žiedo turi būti atliekami 1 cm tikslumu (sudaroma šulinio inventORIZACIJOS kortelė). Nematomų taškų planimetrinė padėtis bei jų aukštis gali būti nustatomas ieškikliais, o matavimų rezultatų skirtumas matuojant du kartus neturi skirtis daugiau kaip 15 %.

Minėtuosius reikalavimus rekomenduojama papildyti. Matuojant altitudės turi būti nustatomos:

- į kabelinių požeminių komunikacijų šulinį ar kamerą įeinančių ir išeinančių kabelių;
- kabelinių požeminių komunikacijų posūkių, jungčių (movų), įvadų taškuose;
- kabelinių požeminių komunikacijų ryškaus nuolydžio kitimo taškuose;
- kabelinių požeminių komunikacijų tiesių tarpų taškuose – ne rečiau kaip kas 50 m.

Iš esmės siūloma nustatyti kabelinių komunikacijų charakteringųjų vietų altitudes, planimetrinę padėtį, susieti planimetrines koordinates su altitute.

Laikantis minėtosios tvarkos suformuluoti šie požeminių komunikacijų geoinformacinių duomenų kaupimo trimačiame geoinformacinės sistemos modelyje reikalavimai:

1. Linijinių požeminių komunikacijų geobjektų įvedimas:
 - linijos geometrija įvedama kartu įvedant ir linijos viršūnių altitudes (taikant *polylineZ* geoinformacinių duomenų tipą) arba fiksuojant altitudžių reikšmes atskirame taškiniame sluoksnyje. Vėliau taikant požeminių komunikacijų linijų altitudžių nustatymo algoritmą būtų nustatomos visų linijos viršūnių altitudės;
 - į linijų atributinės duomenų bazės laukus turi būti įvedamos techninės charakteristikos, nurodytos techninių reikalavimų reglamente [1]: priklausomai nuo paskirties komunikacija turi būti vedama į atitinkamą sluoksnį suteikiant *G* kodo reikšmę; jei tai vamzdynai, turi būti nurodomi vamzdynų vidiniai skersmenys ir medžiaga, iš kurios pagaminti, jei komunikacijos savitakinės – nurodoma skysčio tekėjimo kryptis (siūloma įvesti azimuto reikšmę), o nuolydis (promilėmis) gali būti apskaičiuojamas automatiškai arba, jei apskaičiuotas kitais būdais, – įvedamas; dujotiekių papildomai nurodomas slėgis, o kabelinių elektros komunikacijų – įtampa; jei yra apsauginiai komunikacijų vamzdžiai, – taip pat nurodoma medžiaga, iš kurios jie pagaminti, ir skersmenys.
2. Taškinių požeminių komunikacijų geobjektų įvedimas:
 - taškinių objektų, tokių kaip: šulinių dangčiai, sklendės, – geometrija (ne tik planimetrinė padėtis, bet ir altitudės) įvedama į taškinį sluoksnį (taikant *pointZ* geoduomenų tipą). Jei komunikacijų klojimo altitudės išmatuotos atskirai, jos įvedamos į komunikacijų klojimo altitudžių taškinių sluoksnių, atitinkamą atributinį lauką. Šios reikšmės vėliau bus nustatomos taikant požeminių komunikacijų linijų altitudžių nustatymo algoritmą. Taškai turi jungtis su linijomis (*snap* režimas), kurios į šį tašką įeina, t. y. turi būti užtikrinta tinklo topologija;
 - taškinių objektų atributiniai duomenys įvedami į atitinkamus atributinius laukus. Priklausomai nuo tipo taškiniai objektai įvedami į atitinkamą taškinį sluoksnį nurodant *G* kodo reikšmę. Šulinių duomenys įvedami iš šulinių inventORIZACIJOS kortelės: miestas, gatvė, planšetės nomenklatūra, tipas, dangčio skersmuo ir medžiaga, iš kurios pagamintas, žemės altitudė, sienų ir dugno medžiaga, įeinančių ir išeinančių vamzdžių kiekis, kiekvieno įeinančio ir išeinančio vamzdžio tipas, skersmuo, lipynės tipas, laiptelių kiekis, nurodoma, ar yra vandens, dujų, taip pat nurodomas inventORIZAVĖS ASMUI BEI INVENTORIZAVIMO DATA. Atskaita (vamzdžio viršus ar apačia) ir atstumas nuo dangčio įvedamas į komunikacijų klojimo altitudžių sluoksnį. Klojimo altitudė gali būti apskaičiuojama automatiškai pagal atstumą iki dangčio. Kitų taškinių objektų taip pat nurodoma vieta (miestas, gatvė), planšetės

nomenklatūra, tipas. Turi būti galimybė saugoti nuskenuotą šulinio inventorizacijos kortelę.

3. Tūrinių požeminių komunikacijų geoobjektų įvedimas:

- tūriniai požeminiai objektai, tokie kaip: rezervuarai, kameros, – saugomi daugiasienių sluoksnyje (taikant *MultiPatch* geoinformacinių duomenų tipą). Tarpiniams duomenims įvesti gali būti naudojami poligoninio tipo duomenys (*PolygonZ*), tuomet prie kiekvienos viršūnės įvedama tūrinio objekto apačios altitudės reikšmė;
- tūrinių objektų atributiniai duomenys įvedami į atitinkamus atributinius laukus. Priklausomai nuo tipo tūriniai objektai įvedami į atitinkamą sluoksnį nurodant *G* kodo reikšmę. Kaip atributinė reikšmė įvedamas objekto aukštis nuo apačios.

Turi būti suteikiama informacija apie visų objektų duomenų surinkimo metodą, tikslumą ir datą.

Geoinformaciniai duomenys turi būti saugomi centrinėje duomenų bazėje ir prieinami redaguoti ir peržiūrėti iš daugelio darbo vietų.

3. Požeminių komunikacijų geoinformaciniai duomenys trimačiame geoinformacinės sistemos modelyje

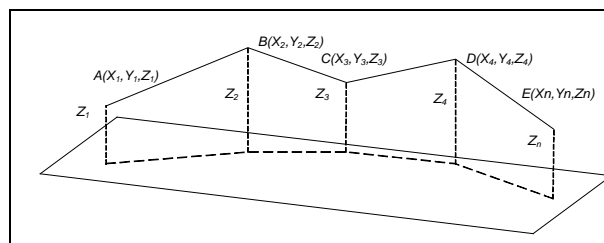
Miesto geoinformacinėje sistemoje kaupiamų ir saugomų požeminių inžinerinių komunikacijų objektai pateikti 1 lentelėje [3]. 2,5D geoinformacinės sistemos erdvėje saugomi inžinerinių komunikacijų geoinformaciniai duomenys su aukščių duomenimis kaip atributiniais atskirame taškiniam altitudžių duomenų sluoksnyje, t. y. altitudės nėra susietos su linijinių objektų geometrija tiesiogiai, todėl erdvė iš esmės ir toliau lieka dviejų dimensijų. Papildžius geoobjektus trečiąja dimensija, kiekvienas geometrinis objektas turės ir trečiąją – *z* koordinatę. Trečiosios dimensijos įvedimas gali iš esmės keisti geometrinį elementą, t. y. jei jis dviejų dimensijų erdvėje laikomas tašku, tai trijų dimensijų erdvėje toks objektas gali tapti linijiniu, pvz., stulpas 2D erdvėje laikomas tašku, o 3D erdvėje tampa linija, išėsta nuo žemės paviršiaus iki stulpo viršutinio taško. Galimas atvejis, kad taškas ir toliau lieka tašku, pvz., šulinio dangtis ir toliau tėra kaip taškas, skiriasi tik tai, jog šis taškas yra erdvėje, nes turi tam tikrą aukštį. Linijiniai objektai gali ir toliau likti linijiniais, tačiau kiekviena linijos viršūnė tampa susieta su altitute, linijos padėtis apibūdinama ir vertikaliojoje aukščių sistemoje. Plotai ir toliau gali likti plotiniais objektais arba gali būti transformuojami į tūrinius objektus. Tūriniai objektai tampa sudėtiniais, t. y. sudėtais iš plotinių (paviršinių) dalių. Trimačiai objektai gali turėti arba vieną *z* koordinatę (taškas, turintis aukštį, pvz., šulinio dangtis), arba jų aibę vertikaliojoje padėtyje (stulpo apačios aukštis ir viršaus aukštis), arba jų aibę horizontaliojoje padėtyje (vamzdinės ar laidinės komunikacijos, kurios kiekviena viršūnė turi *z* koordinatę, 1 pav.)

1 lentelė. Požeminių komunikacijų objektai miesto geoinformacinėje sistemoje

Table 1. Main utility objects in city geoinformation system

Komunikacijos tipas	Objektai
Elektros tinklai	aukštosios įtampos tiekimo linijos, žemosios įtampos paskirstymo kabeliai, movos, transformatorinės
Vandentiekio vamzdynai	vandentiekio vamzdynai, kameros, šulinių dangčiai, hidrantai, sklendės, gręžiniai, rezervuarai
Dujotiekio vamzdynai	dujotiekio vamzdynai, šulinių dangčiai, kameros, sklendės
Naftotiekio vamzdynai	naftotiekio vamzdynai, rezervuarai, perpumpavimo stotys, rezervuarai
Šilumotiekio komunikacijos	šiluminės linijos, rezervuarai, kameros, sklendės
Nuotekų komunikacijos	lietaus nuotekų vamzdynas, fekalinių nuotekų vamzdynas, nuotekų šulinių dangčiai, kameros, rezervuarai, pralaidos, apsauginiai vamzdžiai
Ryšių komunikacijos	ryšių linijos, movos, ryšio požeminių komunikacijų šulinių dangčiai, ryšio kabelių paskirstymo spintos

Pereinant prie trijų dimensijų erdvės kartografuojami objektai transformuojami į 3D objektus, todėl reikia nustatyti, kokiu geometrinu elementu bus reprezentuojama kiekviena transformuotųjų objektų grupė naujoje dimensijoje [4]. Bendri požeminių komunikacijų transformavimo iš 2D į 3D erdvę atvejai pateikti 2 lentelėje [5].



1 pav. Linija trijų dimensijų erdvėje

Fig 1. Line in three-dimensional space

4. Inžinerinių komunikacijų geoobjektų saugojimas trimačiame geoinformacinės sistemos modelyje

Požeminių inžinerinių komunikacijų trijų dimensijų geoinformacinės sistemos duomenų modelis suprojektuotas remiantis dabar esama stambiojo mastelio geoobjektų specifikacija [3], minėtaisiais požeminių komunikacijų geoinformacinių duomenų kaupimo trimačiame geoinformacinės sistemos modelyje reikalavimais bei informacijos srautų analize. Duomenų modelis sukurtas taikant *UML (unified modelling language)* bei naudojant *CASE (computer-aided software engineering)* priemones, o geoinformacinių duomenų bazė – naudojant *ArcInfo™* programinę įrangą. Geoduomenų bazė įkelta į centrinę duomenų bazę *ArcSDE™*, kuri užtikrina prieinamumą daugeliui vartotojų, t. y. duomenų redagavimą ir peržiūrą iš daugiau nei vienos darbo vietos. *ArcSDE™* leidžia saugoti

geoinformacinių duomenų bazes komercinėse reliacinių duomenų bazių vadybos sistemose, tokiose kaip: *MS SQL Server*TM, *Oracle*TM, – todėl duomenų modelis yra nepriklausomas. Sukurtas geoinformacinių duomenų modelis taip pat gali būti naudojamas pavieniame kompiuteryje (kaip *Personal Geodatabase*), todėl gali būti taikomas apsiekitimo duomenimis procedūrose. Tai ypač svarbu, nes geodezinius matavimus atliekančios įmonės matavimų duomenis turi perduoti savivaldybės mero ar valdybos įgaliotam savivaldybės padaliniiui, o ši savo ruožtu atsakinga už kartografinės medžiagos saugojimą ir patikimą atnaujinimą. Pagal taisykles [6] topografinėi nuotraukai sudaryti geodezininkas turi gauti duomenis iš savivaldybės mero ar valdybos įgalioto savivaldybės padalinio, atlikti matavimus bei pateikti naujai sukurtas topografinės nuotraukos duomenis tam pačiam padaliniiui. Taigi taikant šį modelį duomenys pirmiausia būtų ištraukiami iš centrinės duomenų bazės, keičiami atsijungus nuo centrinės duomenų bazės tame pačiame modelyje ir grąžinami atgal į centrinę bazę. Duomenų bazės modelio paskirtis – užtikrinti pakankamą geodezinių matavimų (topografinės ir geodezinės nuotraukos) informacijos saugojimą.

Trimačiame duomenų modelyje taikyti geometrinių primityvų tipai: *PointZ*, *PolylineZ*, *PolygonZ*, *MultiPatch*. Pirmieji tipai – standartiniai geometriniai primityvai, papildyti *z* reikšmėmis, kurios nustatomos kiekviename linijų ir poligonų viršūnės taške (2 lentelė). *MultiPatch* (daugiasienis) tipas leidžia saugoti tūrinius objektus, tačiau šiems objektams įkelti turi būti atliekamos specialios procedūros naudojant *ArcGIS*TM programinės įrangos *ArcObjects*TM komponentus [7] arba specializuotas programines įrangas, turinčias apsiekitimo sąsają su *ArcGIS*TM (pvz.: *SketchUp*TM, *AutoCad*TM).

Geoobjektų klasės sugrupuotos pagal 1 lentelėje pateiktas temas. Į sukurtą duomenų modelį įkelti testiniai

geoinformaciniai duomenys iš miesto geoinformacinės sistemos duomenų bazės.

Įkėlus 2,5D erdvės duomenis tapo aišku, jog daugeliu atveju trūksta trečiosios – *z* komponentės duomenų. Šiais duomenimis gali būti papildoma atliekant papildomus matavimus. Tais atvejais, kai duomenų netrūksta, galima taikyti altitudžių suteikimo inžinerinėms komunikacijoms algoritmą, skirtą duomenims konvertuoti į trimatę erdvę (2 pav.). Tūriniam objektams įvesti panaudotas tarpinis poligoninis *PolygonZ* geometrinių primityvų sluoksnis, vėliau duomenys konvertuoti į *MultiPatch* duomenų tipą.

5. Geodeziniai ir fotogrametriniai matavimai požeminių komunikacijų geoduomenims kaupti

Statomų požeminių tinklų ir komunikacijų geodezinių nuotraukų atlikimo tvarkoje [1] nurodoma, kad požeminių komunikacijų vertikalioji padėtis (altitudės) nustatoma techninės niveliacijos būdu. Praktikoje požeminių komunikacijų geodezinių nuotraukų sudarymo darbams dažniausiai naudojami elektroniniai tacheometrai. Jais galima iškart matuoti ne tik horizontaliąją komunikacijų padėtį, bet ir vertikaliają. Tada matuojamos komunikacijos viršūnės padėtis gauna ir altitudę, o remiantis matavimų rezultatais galima sukonstruoti reikalingus objektus bei perkelti į atitinkamus sluoksnius. Sprendžiant objektų kodavimo standartizavimo problemą [8] būtina numatyti ir požeminių trimačių objektų kodavimo mechanizmą, o antžeminių trimačių objektų – kodavimą ir matavimų reikalavimus.

Atliekant stereofotogrametrinius matavimus gali būti atlikta požeminių komunikacijų elementų, kaip antai – šulinių dangčių bei lietaus grotelių, kontrolė bei tikslinimas tais atvejais, kai esamos duomenų bazės yra

2 lentelė. Požeminių komunikacijų objektų transformavimo atvejai geometrinių primityvų požiūriu
Table 2. Transformation cases for geometrical primitives of underground utilities

Geometrinis elementas 2D erdvėje	Geometrinis elementas 3D erdvėje	Objektai
Taškas (x, y)		
	taškas (x, y, z)	objektai, kuriuos galima laikyti neturinčiais aukščio, pvz.: šulinių dangčiai, sklendės
	statmena linija (dvi z reikšmės vienai x, y koordinatų porai: $x_1, y_1, z_1 \dots x_1, y_1, z_2$)	objektai, kuriuos galima laikyti turinčiais aukštį, pvz.: stulpas, giluminis įžeminimo gręžinys
Linija ($x_1, y_1 \dots x_n, y_n$)		
	linija ($x_1, y_1, z_1 \dots x_n, y_n, z_n$)	objektai, turintys ilgio ir aukščio parametrą, kabeliai, vandentiekio, dujų tiekimo vamzdžiai
Poligonas ($x_1, y_1 \dots x_n, y_n, x_1, y_1$)		
	poligonas ($x_1, y_1, z_1 \dots x_n, y_n, z_n, x_1, y_1, z_1$)	objektai, kuriuos galima laikyti plokščiais, ir turintys uždara kontūrą, arba tūrinių objektų tarpinis geometrinis primityvas
	tūris ($x_1, y_1, z_1, z_{1h} \dots x_n, y_n, z_n, z_{nh}, x_1, y_1, z_1, z_{1h}$)	objektai, turintys tūrį, pvz.: požeminiai rezervuarai, kameros

sukurtos vektorizuojant senąsias 1:500 mastelio planšetes. Stereodigitalizavimo metodika įtraukiant inžinerinių tinklų šulinių dangčius bei groteles pateikta atlikus VGTU Geodezijos instituto Fotogrametrijos laboratorijos užsakomąjį darbą [9].

6. Matavimų rezultatų transformavimas į trimatį geoinformacinės sistemos modelį

Inžinerinių komunikacijų geoduomenims transformuoti į trimatę erdvę sukurtas modulis *Visual Basic*TM programavimo kalba taikant *ArcObjects*TM komponentus. Algoritmo esmė (2 pav.) – pradinių inžinerinių komunikacijų linijinių objektų viršūnių z reikšmės, nustatytos naudojant inžinerinių komunikacijų klojimo altitudžių reikšmes. Pirmajame – parametrų nuskaitymo bloke atliekamas duomenų sluoksnių identifikavimas – nuskaitymas inžinerinių komunikacijų linijinis ir klojimo altitudžių taškinis duomenų sluoksniai, jei duomenys apriboti *SQL* užklausa, atliekama duomenų atranka. Antrajame – altitudžių suteikimo bloke imama kiekviena linija ir kiekviena linijos viršūnė ir jai ieškoma artimiausios altitudės, kuri būtų ne toliau kaip per 0,1 m. Šis dydis galėtų būti mažesnis, nes altitudės reikšmė turėtų būti „ant linijos“, t. y. taškas turėtų būti susietas su linija (*snap* režimu), o atstumas – lygus 0, tačiau skirtingos programos siejimą traktuoja skirtingai, siejimas gali būti atliekamas topologiškai, t. y. taikant jungimo lenteles, bet ne geometriškai, t. y. padėtyms gali nesutapti. Sąlyga imta šiam dydžiui nustatyti – mažiausias atstumas tarp viršūnių – ne mažesnis nei 0,1 m. Altitudžių paieškos algoritmas (3 pav.) atsišakoja nuo pagrindinio algoritmo taške „Ieškoti artimiausios altitudės, esančios ne toliau kaip per 0,1 m nuo viršūnės“, atlieka paieškos uždavinį ir grįžta atgal į pagrindinį algoritmą (2 pav.).

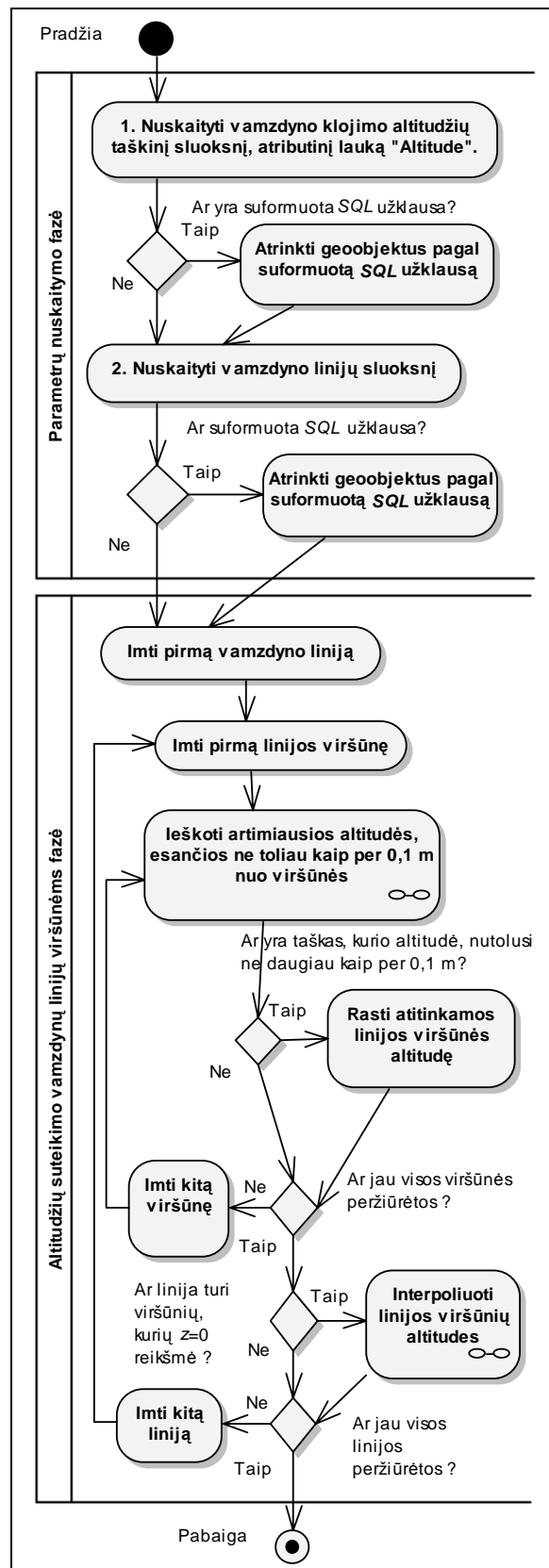
Atlikus altitudžių nustatymo procedūrą, tapo aišku, jog esant nepakankamai pradinių duomenų tik maža dalis inžinerinių linijų gavo z reikšmę. Iš visų klojimo altitudžių tik dalis buvo panaudota viršūnių altitudėms nustatyti. Vilniaus teritorijos dalies – ribojamos Vilniaus, Kalvarijų, Šeimyniškių, Olandų, Krivių, Bernardinų, Šventaragio gatvių ir Gedimino prospekto, požeminių komunikacijų linijų altitudžių nustatymo testo rezultatai pateikti 3 lentelėje.

Lentelėje pateikti požeminių komunikacijų klojimo altitudžių suteikimo linijų viršūnėms rezultatai, gauti pagal šias formules:

$$i_s = \frac{k_{Hs}}{k_{Hp}} \times 100, \quad (1)$$

$$i_p = \frac{k_{Hs}}{k_v} \times 100, \quad (2)$$

čia i_s – nustatytų altitudžių dalis iš viso pradinių altitudžių skaičiaus, i_p – suteiktų altitudžių dalis iš visų viršūnių skaičiaus, k_{Hs} – suteiktų altitudžių skaičius, k_{Hp} – pradinių altitudžių skaičius, k_v – viršūnių skaičius.



2 pav. Požeminių komunikacijų linijų altitudžių nustatymo algoritmo diagrama

Fig 2. Algorithm diagram of altitude transfer to underground utilities lines

3 lentelė. Komunikacijų linijų altitudžių nustatymo rezultatai
Table 3. Results of altitude transfer to utility lines

Komunikacijos tipas	Objektų kiekis, k_{obj}	Viršūnių skaičius, k_v	Nustatytų altitudžių skaičius (pradinių altitudžių skaičius) k_{Hs} (k_{Hp})	Nustatytų altitudžių dalis: iš pradinių altitudžių skaičiaus, (iš visų viršūnių skaičiaus) i_s (i_p)
Elektros tinklai	4771	41933	0 (0)	– (–)
Vandentiekio vamzdynai	1437	6848	91 (116)	78,4 % (1,3 %)
Dujotiekio vamzdynai	702	2962	118 (100)	118 % (4,0 %)
Naftotiekio vamzdynai	24	145	0 (0)	– (–)
Šilumtiekio komunikacijos	1091	6041	66 (196)	33,7 % (1,1 %)
Nuotekų komunikacijos	2782	9250	9 (23)	39,1 % (0,1 %)
Ryšių komunikacijos	147	1204	0 (0)	– (–)

Iš lentelėje pateiktų rezultatų matyti, kad elektros ir ryšių komunikacijų linijų pradinuose duomenyse klojimo altitudžių nebuvo apskritai, todėl jos ir nebuvo nustatytos, o vamzdynų komunikacijų klojimo altitudžių nagrinėjamoje teritorijoje buvo mažai, palyginti su vamzdynų komunikacijų linijų viršūnių skaičiumi (0,1 %–4 %), daugiausia buvo nustatyta vandentiekio ir dujotiekio vamzdynų klojimo altitudžių – atitinkamai 78,4 % ir 118 %. Dujotiekio vamzdyno i_p rodiklis viršija 100 %, vadinasi, tos pačios altitudės buvo nustatytos daugiau nei vienos viršūnės. Galima daryti prielaidą, kad atstumas tarp kelių viršūnių buvo mažesnis nei 0,1 m, nes toks atstumas nurodytas kaip minimalus tarp viršūnių pradinuose duomenyse.

Kai klojimo altitudžių mažai, kai kuriais atvejais interpoliuojant šias altitudes galima gauti trūkstamas komunikacijų viršūnių altitudes.

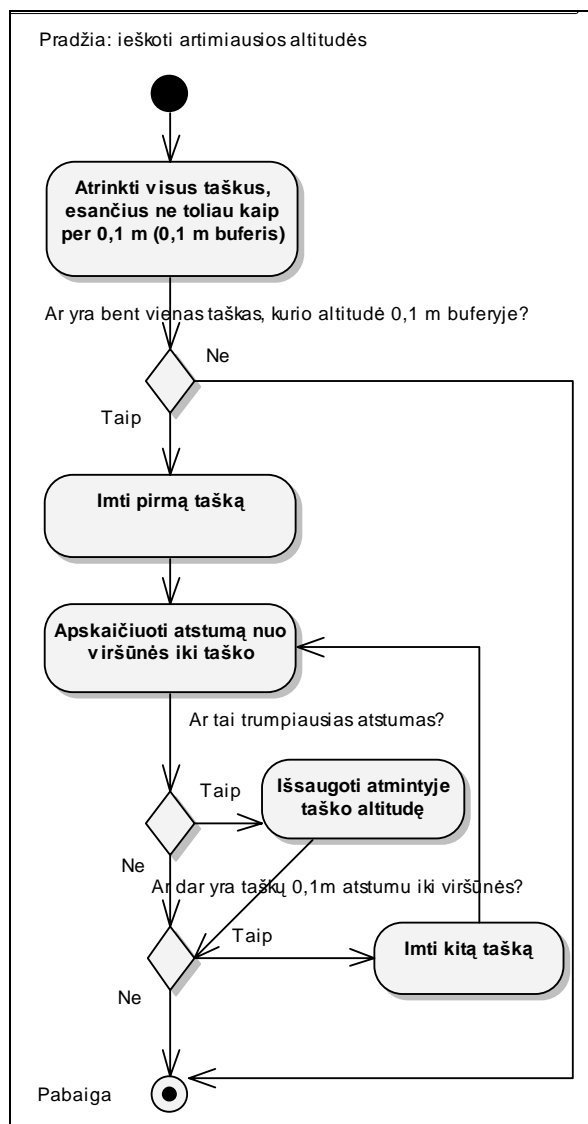
Interpoliavimui atlikti pagrindinis algoritmas papildytas taikant šias viršūnių altitudžių interpoliavimo formules:

$$H_a = h_1 + Dh \times aA / (aA + Ab), \quad (3)$$

$$H_{akont} = h_2 - Dh \times Ab / (aA + Ab), \quad (4)$$

čia Dh – skirtumas tarp gretimų altitudžių h_2-h_1 , aA – atstumas iki interpoliuojamo taško nuo h_1 altitudės, Ab – atstumas iki interpoliuojamo taško nuo h_2 altitudės, $aA+Ab$ – atstumas tarp gretimų altitudžių h_1 , h_2 . Interpoliavimo algoritmas atsišakoja nuo pagrindinio algoritmo taške „Interpoliuoti linijos viršūnių altitudes“, atlieka interpoliavimo algoritme numatytas užduotis ir grįžta atgal į pagrindinį algoritmą (2 pav.).

Interpoliuoti neįmanoma šiais atvejais: 1) kai linija turi tik vieną viršūnę su altitude, 2) kai linija turi dvi viršūnes su altitudėmis, kurios yra viena šalia kitos. Interpoliavimą galima atlikti tik tų viršūnių, kurios yra tarp viršūnių su žinomomis altitudėmis.



3 pav. Artimiausios altitudės radimo algoritmo diagrama
Fig 3. Algorithm diagram of the closest altitude determination

Interpoliavimo rezultatai pateikti 4 lentelėje. Jie apskaičiuoti pagal šią formulę:

$$i_{pint} = \frac{k_{Hs} + k_{v\text{int}}}{k_v} \times 100, \quad (5)$$

čia i_{pint} – nustatytų ir interpoliuotų altitudžių dalis iš visų viršūnių skaičiaus, k_{Hs} – nustatytų altitudžių skaičius, k_{vint} – interpoliuotų viršūnių skaičius, k_v – viršūnių skaičius.

Interpoliavimo rezultatai rodo, kad linijų viršūnių, kurių altitudės nustatytos, padaugėjo tik nežymiai (0,1 % – 1,0 %). Tai lėmė nedidelis tinkamų interpoliuoti objektų skaičius (0,03 % – 2,1 %).

4 lentelė. Viršūnių altitudžių interpoliavimo rezultatai
Table 4. Results of altitude interpolation to utility's lines

Komunikacijos tipas	Interpoliuotų objektų kiekis, k_{objint} (visų objektų dalis)	Interpoliuotų viršūnių skaičius, k_{vint}	Nustatytų ir interpoliuotų altitudžių dalis iš visų viršūnių i_{pint} (pokytis, Δ)
Vandentiekio vamzdiniai	3 (0,2 %)	34	1,8 % (+0,5 %)
Dujotiekio vamzdiniai	15 (2,1 %)	29	5,0 % (+1,0 %)
Šilumtiekio komunikacijos	2 (0,2 %)	21	1,4 % (+0,3 %)
Nuotekų komunikacijos	1 (0,03 %)	5	0,2 % (+0,1 %)

7. Išvados

1. Apibrėžti papildomi požeminių komunikacijų geoinformacinių duomenų kaupimo trimačiame geoinformacinės sistemos modelyje reikalavimai.

2. Laikantis papildomų reikalavimų, taikant *UML* bei *CASE* priemones sukurtas požeminių komunikacijų 3D geoinformacinių duomenų modelis.

3. Sukurtas inžinerinių komunikacijų linijų viršūnių siejimo su inžinerinių komunikacijų klojimo altitudėmis algoritmas, eksperimentui atlikti sukurtas programinis modulis, veikiantis *ArcGIS*TM aplinkoje. Eksperimento metu pradiniai geoinformaciniai duomenys transformuoti į 3D erdvę, taikant klojimo altitudžių siejimo su požeminių komunikacijų linijų viršūnėmis algoritmą. Elektros ir ryšių komunikacijų linijų pradinuose duomenyse klojimo altitudžių reikšmių nebuvo, todėl jos nebuvo nustatytos, o vamzdinių komunikacijų klojimo altitudžių nagrinėjamoje teritorijoje buvo mažai, palyginti su vamzdinių komunikacijų linijų viršūnių skaičiumi (0,1 %–4 %); daugiausia buvo nustatyta vandentiekio ir dujotiekio vamzdinių klojimo altitudžių – atitinkamai 78,4 % ir 118 %. Dujotiekio vamzdinio i_p rodiklis (nustatytų altitudžių dalis iš visų viršūnių skaičiaus) viršija 100 %, vadinasi, tos pačios altitudės buvo nustatytos daugiau nei vienos viršūnės.

4. Požeminių komunikacijų linijų viršūnių altitudžių nustatymo rezultatams pagerinti buvo sukurtas eksperimentinis linijų viršūnių altitudžių interpoliavimo algoritmas bei interpoliavimo programinis modulis, veikiantis *ArcGIS*TM aplinkoje.

Literatūra

- Underground network and implementation procedure of geodesy communication survey, Regulation GKTR 2.01.01:1999, National Service of Geodesy and Cartography. Vilnius, 1999, p. 1–14 (in Lithuanian).
- Geodetic engineering investigations, Regulation GKTR 2.08.01:2000, National Service of Geodesy and Cartography. Vilnius, 2000, p. 1–32 (in Lithuanian).
- Stankevičius, Ž. Investigation of city geographic information system optimality. PhD dissertation. Vilnius, 2000, p. 1–164 (in Lithuanian).
- Stoter, E.; Ploeger, H. D. Property in 3D – registration of multiple use of space: current practice in Holland and the need for a 3D cadastre. *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol XXVII, 2003, p. 553–570.
- Čypas, K. Construction peculiarities of topological 3D model for underground infrastructure. In: Proceedings of 6th International Conference on Environmental Engineering, May 26–27, Vol 2, Vilnius, 2005, p. 847–851.
- Stankevičius, Ž. Fixing of changes in a city cartography of large scale. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, Vol XXV, No 3, Vilnius: Technika, 1999, p. 91–96 (in Lithuanian).
- Ford, A. The visualisation of integrated 3D petroleum datasets in ArcGIS. In: Proceedings of 24th ESRI user conference, 2004, San Diego, p.1–11.
- Stankevičius, Ž.; Paršeliūnas, E. Standardisation of large scale geodata sets. In: Proceedings of 6th International Conference on Environmental Engineering, May 26–27, Vol 2, Vilnius, 2005, p. 1008–1013.
- Žalnierukas, A.; Sužiedelytė-Visockienė, J. Research of stereophotodigital method by including in CDB the elements of underground engineering nets. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, Vol XXVII, No 1. Vilnius: Technika, 2001, p. 20–23 (in Lithuanian).

Kęstutis ČYPAS. Doctoral student. Vilnius Gediminas Technical University, Dept of Geodesy and Cadastre, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lithuania (Ph +37052744703), e-mail: kestutis.cypas@ap.vtu.lt.

A graduate of Vilnius Gediminas Technical University (VGTU) (MSc, 2001). Post graduate studies at Gjoevik University College in 1998. Author of 4 publications.

Research interests: geoinformation systems, 3D modelling.