



AUTOMATIZUOTAS HIDROGRAFIJOS KANALŲ IŠSKYRIMAS LIETUVOS GEOREFERENCINIO PAGRINDO DUOMENŲ BAZĖJE

Audrius Kryžanauskas¹, Danas Motiejauskas²

VĮ „GIS-Centras“, Sėlių g. 66, LT-08109 Vilnius, Lietuva

El. paštas: ¹a.kryzanauskas@gis-centras.lt; ²d.motiejuskas@gis-centras.lt

Įteikta 2010 06 15; priimta 2010 06 29

Santrauka. Vykdamas georeferencinių duomenų bazės GDB10LT atnaujinimo darbus, linijiniai hidrografiniai objektai buvo skirstomi į tipus: upė, kanalas, griovyvis. Upės ir upeliai duomenų rinkinyje yra visi objektai, turintys pavadinimus. Kanalo ir griovio tipai išskiriami remiantis šių objektų apibrėžimu LR aplinkos ministro įsakyme. Duomenų prasme kanalų samparata buvo suformuluota kaip atkarpų, kuriomis galima sujungti du hidrografinius objektus, turinčius pavadinimus (upės, upeliai, ežerai), rinkinys. Tokių atkarpų išskyrimą atliekant rankiniu būdu, visoje Lietuvos teritorijoje reikalingos didelės darbo sąnaudos, be to, galima palikti klaidų dėl neatidumo, kurias sunku patikrinti. Kanalų išskyrimas atliktas automatizuotai, grindžiant grafų analize ir specifiniu tinklo jungumo skaičiavimo algoritmu. Buvo išskiriami potencialūs kanalų įtekėjimo į kitus telkinius taškai bei skaičiuojamos visos galimos jungtys tarp šių taškų – tai ir buvo ieškomieji kanalai. Straipsnyje išsamiau aptariami su duomenų specifika ir grafų analize susiję klausimai, taip pat kanalų išskyrimo klausimai, padedantys identifikuoti duomenų kokybės problemas.

Reikšminiai žodžiai: hidrografijos tinklas, kanalai, GIS analizė, grafų analizė, georeferenciniai duomenys.

1. Įvadas

2009 m. antroje pusėje atliekant georeferencinio pagrindo (toliau GDB10LT) atnaujinimo darbus, linijinės hidrografijos atkarpos sluoksnyje hidro_1 buvo skirstomos į 4 tipus, t. y. priskiriamos upėms, kanalams, grioviams bei nežinomam (nenustatytam) tipui. Atliekant analizę, pirmiausia buvo atskirta kategorija „upė“. Pagal tuometinę duomenų parengimo būklę tai atkarpos, duomenų rinkinyje turinčios pavadinimus. Pagrindinės darbo sąnaudos kanalų ir griovių kategorijoms atskirti – rankiniu būdu reikėtų išnagrinėti labai daug linijinių objektų vizualiai nustatant jų jungumo savybes.

Atlikus tyrimą laikomasi požiūrio, kad pagrindinis kanalų ir griovių skirtumas yra tai, jog kanalas sujungia kitus vandens telkinius, o griovyvis yra skirtas tiesiog vandeniui iš aplinkinės teritorijos nuvesti. Skirstymas atliktas automatizuotai pasinaudojant geoinformacinių priemonių analizės funkcionalumu bei sukuriant specifinį grafų analizės algoritmą. Nagrinėjant duomenų struktūrą, parinktos funkcijų sekos, susiję su specifiniu duomenų parengimu tinklinei analizei bei šia analize.

Dėl duomenų rinkinio oficialumo pasirinkta įstatymų apibrėžta kanalo ir griovio sąvokų formuluotė, kuri galbūt atspindi ne visų hidrografinio tinklo tyrinėtojų nuomonę. Kanalai dažnai traktuojami kaip laivybos statiniai (The Digital Geographic... 2000), šiuo požiūriu Lietuvoje žinomiausias Karaliaus Vilhelmo kanalas, kitur

apskritai kanalų kategorijai būtų priskiriami ir grioviai (Vieningas georeferencinių duomenų modelis... 2008). Melioracijoje o ir patys kanalai skirstomi smulkiau: magistraliniai, šalutiniai. Aprašomi metodai galėtų padėti gilinantis į konkrečius specifiskai suformuluotus kanalų tinklo charakteristikų analizės uždavinius.

2. Duomenų ypatumai ir užduoties specifika

Georeferencinis pagrindas taikomas kaip pradinis duomenų šaltinis (topografinis pagrindas) kitiems valstybiniais geografinių duomenų rinkiniams kurti. Dėl duomenų oficialumo privalu vadovautis oficialiais dokumentais, apibrėžiančiais kaupiamų objektų sąvokas. Kanalo ir griovio sąvokos apibrėžiamos Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2001 m. lapkričio 7 d. įsakyme Nr. 540 „Dėl paviršinių vandens telkinių apsaugos zonų ir pakrančių apsaugos juostų nustatymo tvarkos aprašo patvirtinimo“.

Nagrinėtinos dvi sąvokos – „griovyvis“ ir „kanalas“ apibrėžiamos taip:

- griovyvis – hidrotechnikos statinys, įrengiamas iškasant atvirą vagą grunte ir skirtas perteklinio vandens nuvedimui/nuleidimui. Sureguliuotos upės nelaikomos grioviais;
- kanalas – dirbtinis paviršinis vandens telkinys su nuolatine vandens tėkme, įrengiamas grunte iškasant/įrengiant atvirą vagą, kurios pradžia ir

pabaiga jungiasi su kitu paviršiniu vandens telkiniu (upe, ežeru, Kuršių mariomis arba tvenkiniu), skirtas vandeniui tiekti drėkinimo, hidroenergetikos, vandentiekos ir kitoms reikmėms, naudoti laivybai ir pan. Sureguliuotos upės nelaiškos kanalais.

Formaliai perfrazuojant šią kanalo sąvoką GDB10LT duomenų prasme, tai yra atkarpos, neturinčios pavadinimų, kuriomis galima sujungti kitus vandens telkinius, turinčius pavadinimus.

GDB10LT hidrografijos sluoksnis pakankamai sutvarkytas, tinka ne tik kartografinio pagrindo funkcijai atlikti, – gali būti naudojamas sudėtingesnei geoinformacinei analizei. Dėl topologinio informacijos vientisumo yra galimybė atlikti tinklo analizės uždavinius; šiais principais nuspręsta vadovautis išskiriant kanalus. Patikslinta analizės uždavinio formuluotė – reikia rasti visus įmanomus maršrutus (jungtis) tarp nuotėkio taškų. Visos atkarpos, kuriomis įmanoma sujungti nuotėkio taškus, išskiriamos kaip kanalai.

Kanalai išskiriami linijiniame hidrografijos sluoksnyje hidro_1 papildomai įrašant atributą TIPAS=2 kanalams ir 3 – grioviams, tačiau kartu nagrinėjamas ir žemės dangos plotų sluoksnis „plotai“, kuriame yra informacija apie plotinius vandens telkinius. Linijinių hidrografijos objektų santykis su plotais svarbus keletu aspektų: siekiant sujungti upę į tėkmę, neturinčią trūkių, brėžiama menama pratekančių pro ežerus ir tvenkinius upių ašinė linija. Upių, kurios išreiškiamos kaip plotiniai vandens telkiniai, hidro_1 sluoksnyje saugomos ašinės linijos. Šių upių intakai padalijami, ties plotinio objekto išorine riba sukuriama papildoma taška ir plotinių vandens telkinių viduje esančią atkarpą pažymint kaip menamą liniją. Bevardės menamos linijos taip pat tipizuojamos skirstant jas į griovius ir kanalus.

Problema naudojant tik upių ašines linijas kyla tais atvejais, kai atkarpa, interpretuotina kaip griovys, jungiasi su ašine upės linija, esančia plotinio vandens telkinio viduje. Atkreipiame dėmesį, jog ir ašinė linija, ir plotinis vandens telkinys pagal anksčiau suformuluotas maršruto (nuotėkio) taškų taisykles yra tinkami objektai. Šiuo atveju susidarytų situacija, jog griovio, įtekančio į upės ašinę liniją per plotinį vandens telkinį, menama linija taip pat būtų priskirta kanalų kategorijai, nors jungia tik upės ašinę liniją su tą pačią upę reprezentuojančio ploto išorine riba. Vėliau šių atkarpų atrinkimas būtų gana komplikotas.

Atliekant analizę linijinių hidrografijos sluoksnį sudarė 357 272 atkarpos, iš kurių 88 261 identifikuotina upė su vardais, visos kitos 269 011 – bevardės nagrinėjamos atkarpos.

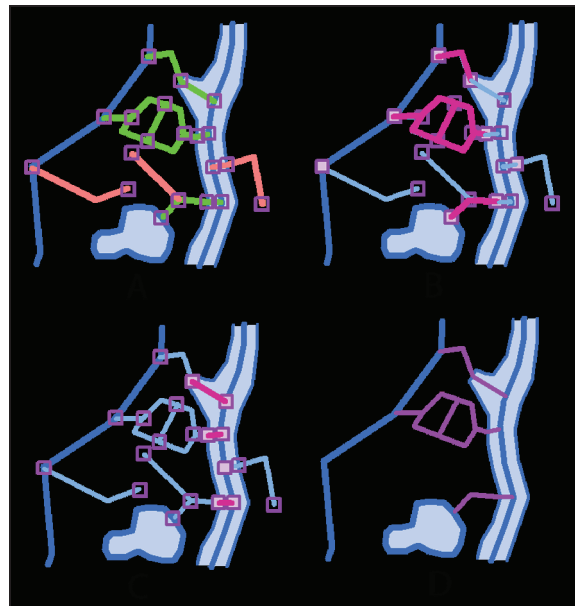
3. Automatizuoto kanalų išskyrimo eiga

Duomenų apdorojimo GIS funkcijų seka, teikianti laukiamą rezultatą, nustatyta keletą kartų vykdant duomenų atranką. Projektuojant procesą patogūs naudoti programų sistemų inžinerijoje taikomi procesų aprašymo bei dekompozicijos metodai (Ross 1977).

Pradinių taškų, briaunų atrinkimo – maršrutų skaičiavimo dalis išskaidoma į du etapus, panašius pagal

atliekamus maršrutų skaičiavimus, tačiau besiskiriančius maršruto taškų ir judėjimo briaunų atrinkimo logika. Pirmiausia randamos tos kanalų dalys, kurios nepatenka į plotinių vandens objektų vidų. Antru etapu randamos kitos kanalų dalys, kurios jungia pirmu etapu išskirtas atkarpas su menamomis hidrografijos ašinėmis linijomis (esančiomis plotinių objektų viduje).

Kiekvieno minėto etapo pagrindas – išrinkti ir parengti erdvinius duomenis tinklinei analizei. Išrenkami taškai, tarp kurių būtina rasti kelią, bei kanalų linijos (grafo briaunos), kuriomis ieškomas maršrutas (jungtis) tarp taškų. Atliekamoje grafų analizėje nesvarbus atkarpos ilgis, svarbiausia yra faktas, jog atkarpa yra jungties tarp dviejų hidrografijos objektų su pavadinimais dalis. Vadinas, siekiant vėliau informaciją susieti su pradiniu duomenų šaltiniu, pakanka žinoti briaunų viršūnių numerius bei briaunos identifikatorių. Tokiai analizei labai patogi topologinė duomenų struktūra, naudojama *ArcInfo* duomenų modelyje, – čia nurodomas linijos pradžios mazgas (*FNODE*), pabaigos mazgas (*TNODE*), galima sugeneruoti pačius taškus fiziškai. Be abejo, norint parengti pageidaujamą duomenų struktūrą, galima naudoti ir aibę kitų priemonių, tačiau šio tyrimo metu buvo pasirinktas konvertavimas į *ArcInfo* topologinį duomenų modelį. Taikant šį modelį skaičiavimai atliekami greitai, duomenys yra aiškiai suprantami.



1 pav. Kanalų išskyrimo iš bevardžių atkarpų žingsniai: A) žaliai išskirti reikalingi kanalai, raudonai – grioviai (vizualus įvertinimas); B) išskirti nuotėkio taškai ir kanalų dalys (violetinės atkarpos) vandens telkinių išorėje; C) išskirti nuotėkio taškai ir kanalų dalys vandens telkinių vidinėje dalyje; D) išskirti kanalai (violetinės atkarpos)

Fig. 1. Steps of channel separation from unnamed hydrographical lines: A) marked green – searchable channels, red - ditches (visual analysis); B) separated flow points and channel parts (violet bolded lines) outside water bodies; C) separated flow points and channel parts inside water bodies; D) separated channels (violet lines)

Toliau apibūdinami suformuluoti duomenų analizės žingsniai.

Pirmasis analizės etapas:

1. Atrinkti visas briaunas, kurios neturi pavadinimų. Tai yra nagrinėjamų atkarpų aibė.
2. Pašalinti iš atrinktos aibės plotinių vandens telkinių viduje esančias briaunas (jos pirmuoju skaičiavimų etapu neįtrauktos).
3. Atrinkti visus mazgus, kurie yra ant išorinės plotinių vandens objektų su pavadinimais ribos.
4. Atrinkti mazgus, kurie yra ant linijinių hidrografijos objektų su pavadinimais.
5. Iš atrinktų mazgų atrinkti tik tuos, kurie liečiasi su hidrografijos linijomis be pavadinimų. Teoriškai šis žingsnis nėra būtinas, tačiau taip labai sumažinamos skaičiavimų apimtys, nes visi šiuo etapu nufiltruoti (nepasirinkti) mazgai (maršruto taškai) yra ne ant mus dominančių kanalų, o ant hidrografijos objektų su pavadinimais.
6. Atlikti grafų analizę ir atrinkti atkarpas, kuriomis galima sujungti atrinktus maršruto taškus (1 pav., B).

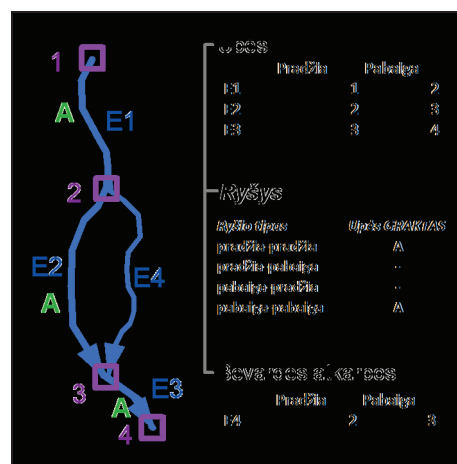
Antrasis analizės etapas:

7. Atrinkti atkarpas be pavadinimų, kurios yra plotinių hidrografijos objektų viduje.
8. Atrinkti taškus, kurie liečiasi su hidrografijos objektais, turinčiais pavadinimus. Šiuo etapu atrenkami ir tokie taškai, kurie nepriskirtini kanalams, todėl taškus reikia papildomai nufiltruoti.
9. Iš atrinktų taškų atrinkti tik tuos, kurie liečiasi su pirmuoju etapu išskirtais kanalais.
10. Papildomai atrinkti taškus, kurie yra ant hidrografijos linijų su pavadinimais ir yra plotinių objektų viduje. Teoriškai šiame žingsnyje atrenkama per daug maršruto taškų, tačiau su jais besijungiančios bevardės atkarpos neturės nuotėkio taško kitame atkarpos gale.
11. Atlikti antruoju etapu atrinktų atkarpų, žyminčių menamus hidrografinius objektus, grafų analizę. Šio žingsnio pabaigoje turime atrinktas menamas kanalų atkarpas plotinių vandens telkinių viduje (1 pav., C).
12. Sujungiami abiejų etapų rezultatai (1 pav. D vaizduoti violetine spalva).

Atlikus skaičiavimus, per duomenų patikrą paaiškėjo dar keletas specifinių duomenų struktūrų – tai upių išsišakojimai, senvagės bei į šias atkarpas įtekantys grioviai.

GDB10LT duomenų rinkinyje kaupiama erdvinė informacija apie pagrindinę upės vagą ir hidrografinius objektus, nepriskirtinus pagrindinei vagai – atšakos, senvagės ir pan. Nors šios atkarpos priskiriamos upių tipui (tiksliau, tai bendras tipas, apimantis upes ir kanalus), tačiau joms nesuteikiamas pavadinimas ir požymis GRAKTAS siekiant atskirti šias atkarpas nuo pagrindinės upės tėkmės. Pagal anksčiau aprašytą duomenų atrinkimo algoritmą šios atkarpos būtų atrenkamos kaip potencialūs kanalai, nes abiem galais remiasi į hidrografinį objektą, identifikuojamą kaip upė, o kitų specifinių atributų, atskiriančių nuo kitos atkarpų aibės, neturi.

Tais atvejais, kai išsišakojimą sudaro tik viena atkarpa, atskirti gana nesudėtinga nagrinėjant hidrografinio tinklo objektų tarpusavio ryšius (2 pav.). Taikant duomenų struktūrą su nurodytu linijos pradžios ir pabaigos mazgo numeriu, galima lyginti upių atkarpų aibę su bevardžių atkarpų aibe. Šių dviejų aibių atributinės lentelės sujungtos 4 kartus naudojant pradžios ir pabaigos mazgų numerius. Šąsajose pradžia – pradžia, pradžia – pabaiga, pabaiga – pradžia, pabaiga – pabaiga bevardžių atkarpų atributų lentelėje įrašomas susijusios įvardytos upės atributas GRAKTAS, kuris yra unikalus vienai upei. Atliekant užklausą išskiriamos bevardės atkarpos, kurių pradžia ir pabaiga yra susijusi su tą patį kodą turinčiu hidrografiniu objektu. Tai tokios atkarpos, kurių tas pats kodas kartojasi ir šąsajoje pagal linijos pradžią, ir pagal pabaigą.



2 pav. Upių ir bevardžių atkarpų šąsajos nustatymas susiejant pagal linijų pradžios ir pabaigos mazgus

Fig. 2. Determining relationships between rivers and unnamed hydrographical lines using start and end nodes of the lines

Atšaką padalijanti papildoma griovio linija neleidžia identifikuoti jos pagal anksčiau apibūdintą algoritmą, nes tampa dviem atskiriomis atkarpomis ir nebesiskiria nuo kitų nagrinėjamų kanalų. Tokių atvejų yra labai mažai, tačiau jų identifikavimas įpareigoja atidžiau patikrinti upių išsišakojimo vietas redaguojant duomenis ir atliekant vizualinę analizę.

4. Kanalų išskyrimo algoritmas

Anksčiau išnagrinėtų analizės žingsnių tikslas yra tinkamai atrinkti ir parengti duomenis tinklo analizei. Aptarkime kanalų išskyrimo algoritmą. Šis algoritmas, pagrįstas grafų teorija, kad atrinktų iš visų atkarpų tas, kuriomis gali tekėti srautas nuo vienos nuotėkio viršūnės iki kitos (kanalai), ir tas, kuriomis negali (grioviai).

Turimą tinklą vaizduojame grafu, kurio briaunos yra anksčiau atrinktos bevardės hidro _l sluoksnio atkarpos, o viršūnės – šių atkarpų susijungimo taškai. Iš visų viršūnių išskirkime ypatingas – nuotėkio viršūnes (taškus).

Iš pirmo žvilgsnio atrodytų, kad paprasčiausia yra surasti visus kelius tarp visų nuotėkio viršūnių. Briaunos, kurios sudaro tuos kelius, ir bus kanalai. Gi visų kelių radimo uždavinys yra sudėtingas – $O(|V|^3)$, čia $|V|$ žymi

viršūnių skaičių (Rubin 1978), – todėl taikomas kitas algoritmas.

Pirmiausia pastebėjome, kad turimas tinklas yra sudarytas iš daug dalių, kurios tarpusavyje nesijungia. Kiekvieną tokią dalį nagrinėjome atskirai.

Iš karto galime išskirti keletą specialiųjų atvejų. Pirmasis – tinkle yra viena atkarpa ir dvi viršūnės. Jei abi viršūnės yra nuotėkio – briauną žymime kaip reikšmingą (t. y. kaip kanalą), tačiau jei bent viena viršūnė nėra nuotėkio viršūnė – briauną žymime kaip nereikšmingą (t. y. kaip griovį). Antrasis – tinkle yra tik viena nuotėkio viršūnė. Tokiu atveju visas to tinklo briaunas galime žymėti kaip nereikšmingas, t. y. kaip griovius.

Liko išnagrinėti pagrindinį atvejį – kai tinklas turi daugiau nei vieną briauną ir dvi ar daugiau nuotėkio viršūnių. Ieškome briaunos, kuri vienintelė jungia dvi tinklo dalis. Pavadinkime ją tiltu. Tiltu paprasčiau ieškoti šalinant briauną ir tikrinant, ar tinklas vis dar yra jungus. Jei tinklas tapo nejungiu (gavome dvi dalis, kurios nesusijungia), – radome reikiamą briauną. Toliau analizuojame tinklo dalis iš vienos ir iš kitos briaunos pusės. Jei kuri nors dalis neturi nuotėkio viršūnių, per tos dalies briaunas ir nagrinėjamą briauną netekės srautas. Tokias briaunas žymime kaip griovius. Toliau vėl ieškome briaunos, kuri vienintelė jungia dvi tinklo dalis, ir atliekame tą pačią veiksmų seką. Kai tokių briaunų neberandame – kitas nepažymėtas briaunas pažymime kaip kanalus.

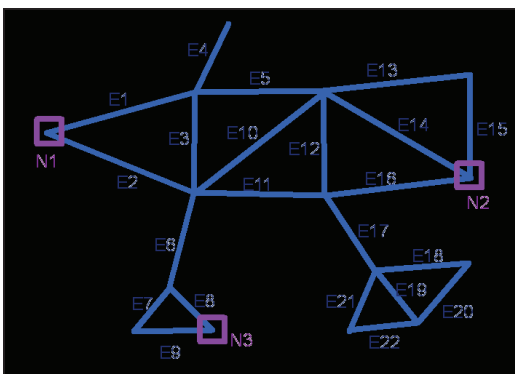
Pavyzdys. Turime tinklą, pavaizduotą 3 paveiksle. Šio tinklo tiltai yra briaunos E4, E6 ir E17. Nagrinėjome kiekvieną briauną atskirai.

Briauna E4. Jungia vieną tašką (viršūnę) viršuje ir visą tinklą. Viršutinė dalis (viena viršūnė) neturi nuotėkio viršūnių, todėl per E4 srautas netekės – žymime ją kaip griovį.

Briauna E6. Jungia tinklą E7, E8, E9 su likusiu tinklu. Ir vienoje, ir kitoje dalyje yra nuotėkio viršūnių, todėl per E6 tekės srautas.

Briauna E17. Jungia tinklą E18, E19, E20, E21, E22 su tinklu. Tinklas E18, E19, E20, E21, E22 neturi nuotėkio viršūnių, todėl per E17, E18, E19, E20, E21 ir E22 briaunas srautas netekės – žymime jas kaip griovius.

Turime briaunas, pažymėtas kaip griovius – tai E4, E17, E18, E19, E20, E21 ir E22. Kitos briaunos yra kanalai.



3 pav. Analizuojamo grafo fragmentas: N – nuotėkio viršūnės; E – nagrinėjamos briaunos

Fig. 3. Fragment of analyzed graph: N – flow points; E – edges of graph

Galutinai suformulavus reikalavimus pradiniam duomenims bei skaičiavimo algoritmui, efektyvumas buvo teoriškai palygintas su keletu egzistuojančių algoritmų (Rubin 1978; Tarjan 1976). Nustatyta, kad pagal aprašytą užduties specifiką ieškoti tiltų galima efektyviau. R. Tarjan algoritmas (Tarjan 1976) spartesnis, tačiau ne toks intuityviai suprantamas. Mūsų aprašyto algoritmo skaičiavimo trukmė yra apie 5 min., apdorojant visą hidro_1 sluoksnį. Vienkartinė operacijai tokios spartos pakanka, tačiau jei norima skaičiavimus atlikti beveik realiu laiku arba apdoroti žymiai daugiau duomenų, – rekomenduotinas R. Tarjan pasiūlytas tiltų paieškos algoritmas.

5. Keletas duomenų patikros klausimų

Atlikta analizė pagelbėjo sprendžiant keletą vizualinio duomenų vertinimo klausimų. Kai kuriose vietose buvo pastebėti vizualiai vientisi hidrografijos tinklo atkarpų junginiai, tačiau nepriskirti kanalų kategorijai. Tokias struktūras galima papildomai nagrinėti, ar linijose nėra trūkių dėl redagavimo netikslumų arba sistemingųjų klaidų.

Kita vertus, kai kurios hidrografinio tinklo dalys yra atskirtos nedidelėmis sankasomis, nesujungia dviejų upių ir nėra identifikuotinos kaip duomenų klaidos. Įprastinėmis GIS priemonėmis jos aptinkamos kaip „kabantys“ mazgai, tačiau šie mazgai negali būti automatiškai sujungiami su artimiausia tinklo atkarpa dėl minėtų sankasų. Atliekant tinklo jungumo analizę galima įvertinti, ar atkarpų grupė yra sujungta į vientisą struktūrą. Pagrindinės duomenų klaidų vietos susiformuoja jau atrankos etapu, kai neatrenkami reikalingi kanalų nuotėkio taškai, dažniausiai esantys ant plotinių objektų išorinės ribos; analizuojant atkarpų jungumo ir kanalų išskyrimo klausimus minėtų taškų atkarpos lieka neatrinktos. Šie netikslumai susiję su skirtingų sluoksnių tarpusavio informacijos suderinimo klausimais.

Pastebėta keletas sistemingųjų klaidų, kurios nebuvo aptiktos ankstesniuose topologinės analizės žingsniuose greičiausiai dėl iškraipymų, atsirandančių duomenis konvertuojant ar įkeliant juos iš išorinių šaltinių. Paprastai vizualiai tokiose vietose matoma vientisa linijų struktūra, tačiau analizuojant tinklą kanalas neišskiriamas.

6. Išvados

Grafų analizė yra efektyvus metodas specifiniams hidrografijos tinklo jungiams elementams išrinkti. Siekiant suskirstyti hidrografinio tinklo objektus į kitas specifines kategorijas aprašytoji metodika būtų taikytina, tačiau reikėtų nustatyti tinkamus tinklo nuotėkio taškų ir jungiančių atkarpų reikalavimus.

Sukurtas ir aprašytas grafų analizės algoritmas yra pakankamai efektyvus kanalų išskyrimo uždaviniui spręsti, vis dėlto, galutinai išsiaiškinus ir suformulavus duomenų bei analizės principų reikalavimus, siūlomas jau esamas R. Tarjan tiltų paieškos algoritmas, kuriam pakanka mažiau skaičiavimo išteklių.

Analizės rezultatų vizualinė analizė patvirtino, jog tinklinės analizės metodai taikytini hidrografijos tinklo duomenų klaidų paieškai ir vientisumui užtikrinti. Efektyviausiai klaidų vietos nustatomos kanalų ir upių jungimosi vietose.

Esama daugiau kanalų sampratų, kurios gali būti taikomos kituose tyrimuose, todėl itin svarbu yra uždavinio sprendimo sekos aprašymas, kuris deklaruoja rezultatų prasmę.

Literatūra

Lietuvos Respublikos teritorijos M 1:10 000 georeferencinio pagrindo duomenų bazė GDB10LT. Nacionalinė žemės tarnyba prie ŽŪM, 2009.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2001 m. lapkričio 7 d. įsakymas Nr. 540 „Dėl paviršinių vandens telkinių apsaugos zonų ir pakrančių apsaugos juostų nustatymo tvarkos aprašo patvirtinimo“.

Ross, D. T. 1977. Structured Analysis (SA): A Language for Communicating Ideas, *IEEE Transactions on Software Engineering* 3(1): 16–34. doi:10.1109/TSE.1977.229900

Rubin, F. 1978. Enumerating all simple paths in a graph, *IEEE Transactions on Circuits and Systems* 25(8): 641–642. doi:10.1109/TCS.1978.1084515

Tarjan, R. 1974. A Note on Finding the Bridges of a Graph, *Information Processing Letters* 2(6): 160–161. doi:10.1016/0020-0190(74)90003-9

The Digital Geographic Information Exchange Standard (DIGEST) V:2.1. 2000. Digital Geographic Information Wor-

king Group (DGIWG). Available from Internet: <<https://www.dgiwg.org/digest/>>.

Vieningas georeferencinių duomenų modelis. Geoobjektų katalogas [interaktyvus]. 2008. [Žiūrėta 2010-06-16]. Prieiga per internetą: <<http://www.geoportal.lt/wps/poc?uri=page:Geoobjektu-katalogas>>.

Audrius KRYŽANAUSKAS. Doctoral student at Centre for Cartography, Vilnius University. System analyst at State Enterprise “GIS-Centras”, Vilnius, Lithuania. Selių g. 66, Vilnius. Ph. +370 5 2731 058; e-mail: a.kryzanauskas@gis-centras.lt

Research interests: geographic information portals, geographic Internet applications, applied geographic solutions-description and organizational aspects.

Danas MOTIEJAUSKAS. Master’s degree student at Department of Mathematical Modelling, faculty of Fundamental Sciences at Vilnius Gediminas technical university. Programmer at State Enterprise “GIS-Centras”, Vilnius, Lithuania. Selių g. 66, Vilnius. Ph. +370 5 2724 741; e-mail: d.motiejauskas@gis-centras.lt

Research interests: graph theory, computational geometry, discrete mathematics, analysis of algorithms, numerical methods.