

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS
JŪROS TECHNOLOGIJŲ IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS
INFORMATIKOS IR STATISTIKOS KATEDRA

Ričardas Čaikys

**EISMO ĮVYKIŲ DUOMENŲ ANALIZĖ KLAIPĖDOS
RAJONE TAIKANT ERDVINĖS STATISTIKOS
METODUS IR GIS**

Geoinformatikos magistro studijų programos baigiamasis darbas

Klaipėda, 2019

MAGISTRO BAIGIAMOJO DARBO LYDRAŠČIO FORMA

Pildo magistro baigiamojo darbo autorius

.....
(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: **EISMO ĮVYKIŲ DUOMENŲ ANALIZĖ KLAIPĖDOS RAJONE
TAIKANT ERDVINĖS STATISTIKOS METODUS IR GIS**

(magistro baigiamojo darbo pavadinimas lietuvių kalba)

Patvirtinu, kad magistro baigiamasis darbas parašytas savarankiškai, nepažeidžiant kitiems asmenims priklausančių autorių teisių, visas baigiamasis magistro darbas ar jo dalis nebuvo panaudotas Klaipėdos universitete ir kitose aukštosiose mokyklose.

.....
(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė ir parašas)

Sutinku, kad magistro baigiamasis darbas būtų naudojamas neatlygintinai 5 m. Klaipėdos universiteto studijų procese.

.....
(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė ir parašas)

Pildo magistro baigiamojo darbo vadovas

Magistro baigiamąjį darbą ginti.....
(įrašyti - leidžiu arba neleidžiu)

2019
(data) (Magistro baigiamojo darbo vadovo vardas, pavardė ir parašas)

Pildo katedros, kuruojančios studijų programa, administratorius (sekretorius)

Baigiamasis darbas įregistruotas katedroje

2019
(data)

Laima Brazdeikienė.....
(katedros sekretorės vardas, pavardė ir parašas)

Pildo katedros, kuruojančios studijų programą, vedėjas

Magistro baigiamąjį darbą ginti.....
(įrašyti - leidžiu arba neleidžiu)

2019.....
(data) prof. dr. Arūnas Andziulis.....
(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

Recenzentu(-ais) skiriu

.....
(įrašyti recenzento(u) vardą, pavardę)

2019.....
(data) prof. dr. Arūnas Andziulis.....
(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

SANTRAUKA

Ričardas Čaikys

EISMO ĮVYKIŲ DUOMENŲ ANALIZĖ KLAIPĖDOS RAJONE TAIKANT ERDVINĖS STATISTIKOS METODUS IR GIS

Geoinformatikos studijų programos magistro baigiamasis darbas

Darbo vadovas: Doc. dr. I. Borisenko

Klaipėdos universitetas

Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas

Informatikos ir statistikos katedra

Klaipėda, 2019

Darbo apimtis: 45 puslapiai, 11 lentelių, 37 paveikslai.

Pagrindiniai žodžiai: statistinė erdvinių duomenų analizė, GIS, eismo įvykiai.

Eismo įvykių skaičius, kuriuose yra sužalojami arba žūva žmonės Klaipėdos mieste ir jos rajone kasmet didėja. Informacija apie tokius kelių eismo įvykius yra renkama su tikslu, kad vėliau būtų galima nustatyti konkretaus įvykio aplinkybes. Kelių policijos surinkta informacija turi erdvinius atributus: koordinates, gatvę, namo numerį. Duomenys su koordinačių atributu suteikia galimybę juos analizuoti erdvinės statistikos metodais ir GIS sistemomis. Darbe analizuojami Lietuvos ir užsienio literatūros šaltiniai, aprašantys sistemas ir metodus naudojamus šiuolaikiškai analizuojant eismo įvykių tendencijas. GIS technologijų naudojimas analizuojant eismo įvykius užsienio valstybėse nėra naujovė, o Lietuvoje dar tik pradama atlikinėti panašius tyrimus. Iš literatūros atrinkti ir aprašyti dažniausiai naudojami erdvinės statistikos metodai, tokie kaip: branduolio tankio vertinimo metodas, artimiausių kaimynų analizės metodas, Morano I indekso skaičiavimo metodas, Getis-Ord G_i^* statistikos skaičiavimo metodas. Tyrimui buvo panaudoti 2015-2017 m. surinkti duomenys, konkrečiai 889 eismo įvykių taškai pasiskirstę visame Klaipėdos mieste ir Klaipėdos rajone. Išsiaiškinta, kad Klaipėdos rajono eismo įvykių analizei galima naudoti naujus, greitus ir šiuolaikiškus metodus.

SUMMARY

Ričardas Čaikys

TRAFFIC ACCIDENTS DATA ANALYSIS IN KLAIPEDA DISTRICT USING SPATIAL ANALYSIS METHODS AND GIS

Master thesis of Geoinformatics studies

Supervisor: Doc. dr. I. Borisenko

Klaipėda University

Faculty of Marine Technology and Natural Sciences

Department of Informatics and Statistics

Klaipėda, 2019

Work size: 45 papers, 11 tables, 37 pictures.

Keywords: spatial data analysis, GIS, traffic accidents.

The number of traffic accident in Klaipėda city and Klaipėda district where people gets injured or dies are increasing every year. Information about these accidents is collected for the purpose of determining the circumstances of the specific accident later at a later stage. Information collected by road police service has spatial attributes, coordinates, street, house number. The data with the coordinates attribute allows to analyze them using spatial statistics methods and GIS systems. There was analyzed Lithuanian and foreign literature papers describing systems and methods using in the analysis of traffic accident trends. The use of GIS technologies in analyzing traffic accidents in other countries is not a new trend, but in Lithuania similar studies are only being launched. The most commonly used methods of spatial statistics, such as kernel density estimation method, nearest neighbor analysis method, Moran's I index calculation method, Getis-Ord G_i^* statistics calculation method has been selected from analyzed literature and described. Data for the research was used collected at 2015-2017 years. There was 889 points of traffic accidents spread throughout all region of Klaipėda. There was discovered that it is possible to use new, modern and fast methods for traffic accident analysis.

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Neerdvinių ir erdvinių duomenų pavyzdys.....	17
2 lentelė. Mirtinų eismo įvykių skaičiaus dinamika kaimyninėse valstybėse ir Lietuvoje. (ES duomenys).	22
3 lentelė. Eismo įvykių ir nukentėjusiųjų dinamika Lietuvoje 2000–2017 m. (Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos informacija).....	22
4 lentelė. Eismo įvykių, juose nukentėjusiųjų skaičius pagal apskritis 2016–2017 m. (Lietuvos kelių policijos tarnybos duomenys 2018-01-09).	23
5 lentelė. Įskaitiniai eismo įvykiai Klaipėdos miesto gatvėse, 2013-2014 m. duomenys.	24
6 lentelė. Avaringiausios Klaipėdos miesto gatvės. 2016 m. duomenys.....	25
7 lentelė. Klasifikavimo schema pagal artimiausio kaimyno rodiklį R.....	31
8 lentelė. Analizuojamų duomenų stulpelių aprašymas.	34
9 lentelė. Taškų/įvykių pasiskirstymas pagal metus.....	37
10 lentelė. Patikslintų taškų/įvykių pasiskirstymas pagal metus.....	39
11 lentelė. Atributų duomenų pasiskirstymas Klaipėdos mieste ir užmiestyje.	40

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Tyrimo vieta, Kerala valstija, Indija. Įvykių pasiskirstymas (V. Prasannakumar, H. Vijith, R. Charutha, N. Geetha, 2011).....	10
2 pav. Įvykių pasiskirstymas pagal savaitės dieną ir valandą (D. Gao, X. Yang, Y. Zhang, 2011)...	11
3 pav. Tyrimo vieta. Įvykių pasiskirstymas (G. Shafabakhsh, A. Famili, M. S. Bahadori, 2014).....	12
4 pav. Mirtimi pasibaigusių eismo įvykių pasiskirstymas (G. Shafabakhsh, A. Famili, M. S. Bahadori, 2014)	12
5 pav. Įvykių atkarpų pasiskirstymas ir juodųjų dėmių pasiskirstymas Lietuvoje (M. Jakimavičius, 2018).....	14
6 pav. Taškiniai duomenys pavaizduoti GIS sistemoje.....	18
7 pav. Juodųjų dėmių keliuose nustatymo ir šalinimo veiklos diagrama.	19
8 pav. TARVA LT eismo įvykių prognozės rezultatai, pasirinktam ruožui.....	21
9 pav. Eismo įvykiuose dalyvavusių vairuotojų kaltininkų skaičius proc. pagal vairavimo stažą. (Šaltinis: Susisiekimo ministerijos Saugaus eismo skyrius).	23
10 pav. Eismo įvykių analizavimo ir prognozavimo sistemos prototipo schema.	26
11 pav. Tyrimo veiksmų seka.....	28
12 pav. Duomenų užklausos pagal atributą langas.....	29
13 pav. Branduolio tankio funkcijos taikymo schema	30
14 pav. Analizuojamų duomenų augimo trendas.	37
15 pav. Įkeltų įvykių atributų lentelė GIS sistemoje.	38
16 pav. 2015-2017 m. įvykių taškų pasiskirstymas.....	38
17 pav. 2015-2017 m. įvykių taškų pasiskirstymas pagal metus.....	39
18 pav. Atributų duomenų pasiskirstymo įvertinimas.....	40
19 pav. Branduolio tankio vertinimo įrankio parametrų langas.	41
20 pav. 2015 m. – 2017 m. karštųjų taškų žemėlapis.....	42
21 pav. 2015 m. – 2017 m. karštųjų taškų žemėlapis nurodant mažesnę gardelės dydį.	42
22 pav. 2017 m. Klaipėdos rajono karštųjų taškų žemėlapis.....	43
23 pav. 2017 m. Klaipėdos miesto karštųjų taškų žemėlapis.....	44
24 pav. 2015-2017 m. Klaipėdos miesto karštųjų taškų žemėlapių palyginimas.....	44

25 pav. 2015-2017 m. Klaipėdos rajono karštųjų taškų žemėlapių palyginimas.	44
26 pav. ArcMap Integrate įrankio dialogo langas.	45
27 pav. Įrankio Collect Events veikimo principas (šaltinis https://pro.arcgis.com).....	45
28 pav. Įrankio Collect Events rezultatas žemėlapyje, 2017 m. duomenys.	46
29 pav. Įrankio Spatial Autocorrelation (Morans I) dialogo langas.	46
30 pav. Morano I indekso skaičiavimo rezultatai.....	47
31 pav. Įrankio Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi*) dialogo langas.....	47
32 pav. Getis-Ord Gi* karštųjų taškų analizės rezultatas, Klaipėdos miesto 2017 m. duomenys.	48
33 pav. Eismo įvykių pasiskirstymas pagal savaitės dienas pamečiui.	48
34 pav. 2015-2017 m. eismo įvykių pasiskirstymas pagal savaitės dienas.	49
35 pav. 2015-2017 m. įvykių karštųjų taškų pasiskirstymas pagal dienas.....	49
36 pav. 2015-2017 m. eismo įvykių pasiskirstymas pagal mėnesius.	50
37 pav. 2015-2017 m. įvykių karštųjų taškų pasiskirstymas pagal metų laikus.....	50

TURINYS

ĮVADAS	8
I. LITERATŪROS ANALIZĖ	10
1.1. MOKSLINIŲ TYRIMŲ APŽVALGA	10
1.2. GIS SISTEMŲ DUOMENYS	15
1.3. EISMO ĮVYKIO SAŲVOKA	18
1.4. JUODOSIOS DĖMĖS KELIUOSE	19
1.5. LIETUVOS EISMO ĮVYKIŲ ANALIZĖS SISTEMA ONHA LT IR PROGNOZAVIMO SISTEMA TARVA LT	20
1.6. BENDROS LIETUVOS AVARINGUMO TENDENCIJOS	21
1.7. AVARINGUMO TENDENCIJOS IR GRĖSMĖS KLAIPĖDOS MIESTE.....	24
1.8. EISMO ĮVYKIŲ ANALIZĖS ATEITIES PERSPEKTYVOS	26
II. TYRIMO DUOMENYS IR METODAI.....	28
2.1. DUOMENŲ UŽKLAUSOS	28
2.2. GIS ERDVINĖS ANALIZĖS METODAI.....	30
III. DUOMENŲ ANALIZĖ	34
3.1. TYRIMO DUOMENŲ APDOROJIMAS IR PRITAIKYMAS.....	34
3.2. DUOMENŲ ANALIZĖ GIS SISTEMOJE.....	37
3.3. BRANDUOLIO TANKIO VERTINIMO METODAS.....	41
3.4. MORANO I INDEKSO SKAIČIAVIMO METODAS	45
3.5. GETIS-ORD GI* STATISTIKOS SKAIČIAVIMO METODAS	47
3.6. EISMO ĮVYKIŲ PASISKIRSTYMAS DARBO DIENOMIS IR SAVAITGALIAIS KLAIPĖDOS MIESTE	48
3.7. EISMO ĮVYKIŲ PASISKIRSTYMAS PAGAL METŲ LAIKUS KLAIPĖDOS MIESTE	49
IŠVADOS	51
LITERATŪRA	52

IVADAS

Kasdienė technologijų pažanga ir darbo procesų automatizavimas yra šiuolaikinių žmonių gyvenimo dalis. Naujausios technologijos skverbiasi net tik į namus, darbo vietas, bet ir į gatves, kelius, kuriais mes keliaujame.

Automobilių keliuose plačiai naudojamos GIS sistemos, jos taikomos inventorizacijai, reikalingos informacijos apie kelius, jų tinklą ir būklę rinkimui, kelio ženklų inventorizacijai, įvairių duomenų apie auto įvykius rinkimui ir t.t.

Lietuvoje plačiai naudojama ir visiems pasiekiamą Lietuvos automobilių kelių direkcijos „Eismo info“ (<http://www.eismoinfo.lt>) informacinė sistema, jos tikslas – rinkti, sisteminti ir teikti visuomenei, bei Lietuvos automobilių kelių direkcijos darbuotojams informaciją apie eismo sąlygas valstybinės reikšmės keliuose, padėti koordinuoti kelių priežiūros veiksmus. Ši sistema taip pat pateikia ir atvirus duomenis. Atvirais duomenimis gali nevaržomai naudotis įvairių mobiliųjų ar taikomųjų programų kūrėjai, mokslininkai ir studentai, privačių ir valstybinių įmonių darbuotojai bei kiti suinteresuoti asmenys ar jų grupės.

Žmonės naudojami įvairiomis navigacinėmis priemonėmis. Išpopuliarėjus išmaniesiems telefonams navigacinės sistemos persikėlė ir į juos. Geras pavyzdys navigacinė programėlė „waze“ (<https://www.waze.com/>), kuri surenka, išanalizuoja viešus atvirus duomenis, naudotojų įvedamus duomenis ir planuojant ar keliaujant nustatytu maršrutu praneša apie eismo sąlygas ir esant būtinybei siūlo kitą alternatyvų kelią, pagal nurodytus parametrus. Retas pagalvoja iš kur telefone veikianti navigacinė programėlė žino, kad priekyje vykdomi kelio darbai, uždarytas kelias, slidi danga ar susidarė transporto priemonių spūstis. Visa tai tapo įmanoma pradėjus dalintis ir standartizavus kelių duomenis europiniu mastu. DATEX II (<http://www.datex2.eu>) organizacija siekianti užtikrinti įvairių duomenų apie Europos sąjungos kelius vienodumą ir pasiekiamumą.

Įvairių duomenų dalijimasis, paverčiant juos atviraisiais duomenimis, pasaulyje labai populiarėja. Lietuvoje tokia praktika dar žengia tik pirmuosius žingsnius. Atvirų duomenų entuziastai Lietuvoje sukūrė tinklalapį „Open Data“ (<http://opendata.lt>), kuriame surinkę pateikia įvairius duomenis iš įvairių įstaigų, taip pat jų analizes. Kiti atvirų duomenų rinkiniai padrikai ir nestandartizuotai patalpinti įstaigų, kurios juos turi pateikti tinklalapiuose. Pavyzdžiui Klaipėda turi vieną tinklalapį, kuriame ir talpina visus atvirų duomenų rinkinius <http://opendata.klaipeda.lt>, o Vilnius turi jų keletą <http://atviras.vilnius.lt>, <https://data-vplanas.opendata.arcgis.com/datasets>, <http://gis-vplanas.opendata.arcgis.com/>, <https://github.com/vilnius>. Paminėtos sistemos padeda tarpusavyje keistis duomenimis, kuriuos surenka įvairios organizacijos, bet analizės nevykdo.

Duomenų išsisklaidymas, standartų ir formatų stoka neleidžia patogiai jų analizuoti su standartiniais programiniais įrankiais. Aktualus pavyzdys būtų eismo įvykių analizė. Norint ją

atlikti reikės GIS sistemos, pvz. ArcGIS (<https://www.arcgis.com>) ir eismo įvykių duomenų bazės (atvirų duomenų). Tokią duomenų bazę galima nesunkiai surasti į paieškos sistemą įrašius teisingus raktinius žodžius, bet jos turinys nebus tinkamas analizei. Čia prieinama prie problemos, kad Lietuvoje renkama ir skaitmeninama daug įvairių erdvinių duomenų, kuriuos būtų galima analizuoti GIS ar kitomis tam skirtomis sistemomis, kaip tai daro daugiau žmogiškųjų ir piniginių resursų turinčios pasaulio šalys, taip sprendamos kelių tinklo problemas, randant avaringus taškus, identifikuojant įtakojančius veiksnius, o gautas rezultatas būtų išsaugotos piliečių gyvybės.

Darbo tikslas: Naudojant GIS pritaikyti erdvinės statistikos metodus Klaipėdos miesto ir rajono eismo įvykių duomenų analizei.

Uždaviniai:

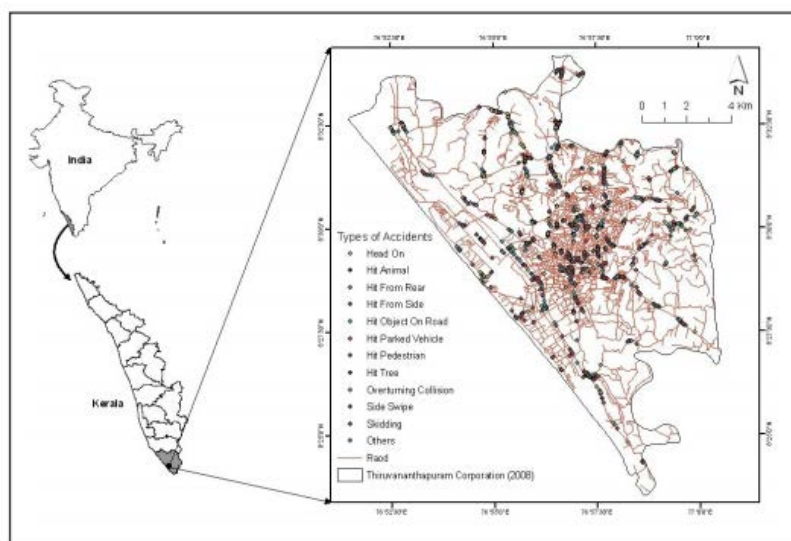
1. Išanalizuoti Lietuvos ir užsienio literatūros šaltinius, aprašančius naudotus metodus ir sistemas analizuojančias eismo įvykius;
2. Eismo įvykių duomenų bazės analizei pritaikyti GIS ir erdvinės statistikos metodus;
3. Pateikti rekomendacijas apie metodų tinkamumą analizuojant Klaipėdos miesto ir rajono eismo įvykių duomenis.

I. LITERATŪROS ANALIZĖ

1.1. MOKSLINIŲ TYRIMŲ APŽVALGA

GIS technologijos naudojamos jau virš 30 metų, bet proveržis įvyko atpigus reikalingai techninei įrangai ir kariniams tikslams pradėjus naudoti palydovus, taip pagerinant GPS tikslumą ir pasiekiamumą iš bet kurios pasaulio vietos. GPS sistema buvo kuriama kaip ginklas skirtas dideliu tikslumu valdyti įvairių raketų trajektorijas. 1984 m. pradėta naudoti GPS sistemą visuomenės reikmėms. Bet buvo ir apribojimų, specialiai į GPS imtuvą perduodama paklaida. 2000 m. buvo išjungti apribojimai, tikslumas padidėjo iki 1 metro. GPS naudojimas sparčiai plito. Technologija buvo pritaikyta lėktuvų, laivų sekime, sukurti net nešiojami GPS įrenginiai, kurie padeda orientuotis mieste, ar net surasti savo automobilį. Sujungiant GPS duomenis su alternatyvių sistemų GLONASS ar GALILEO duomenimis galima padidinti tikslumą iki 1 cm. Taip buvo sudaryta galimybė civiliams ir mokslininkams rinkti ir analizuoti erdvinis duomenis.

2011 m., Indijoje, Kerala valstijoje, kurios plotas 38 tūkst. km², gyventojų skaičius daugiau nei 34 milijonai, buvo atliktas tyrimas, kurio tikslas atlikti avarijų ir kelių karštųjų taškų vertinimą. Tyrimą atliko V. Prasannakumar, H. Vijith, R. Charutha, N. Geetha.

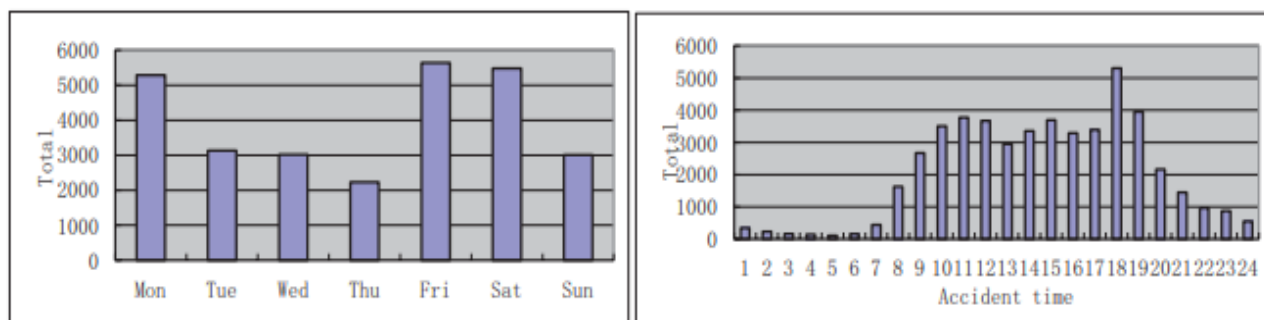


1 pav. Tyrimo vieta, Kerala valstija, Indija. Įvykių pasiskirstymas (V. Prasannakumar, H. Vijith, R. Charutha, N. Geetha, 2011)

Analizei atlikti buvo panaudotas branduolio tankio vertinimo metodas, Morano I indekso skaičiavimo metodas ir Getis-Ord Gi* statistikos skaičiavimo metodas. Visa tai buvo atlikta su ArcGIS programinės įrangos įrankiais ir įskiepiais. Tyrimo išvadose minima, kad tai buvo pirmasis tokio pobūdžio bandymas atlikti erdvinę analizę Kerala valstijoje. Duomenų rinkiniai rodo, kad avarijų juodosios dėmės yra susiskirsčiusios aplink specifines vietas. Teigiama, kad gauti rezultatai

gali būti veiksmingai naudojami sėkmingam eismo valdymui ir nelaimingų atsitikimų keliuose mažinimui. Pateiktas pasiūlymas rinkti papildomą informaciją susijusią su kelio dangos būkle ir charakteristikomis.

2011 m., Kinijoje, Pekino mieste, kurio plotas 16 tūkst. km², gyventojų skaičius daugiau nei 21 milijonas, buvo atliktas tyrimas kurio tikslas buvo išsiaiškinti ar eismo įvykių skaičius ir vieta turi koreliaciją su savaitės diena arba paros laiku. Tyrimą atliko Dequan Gao, Xiangzhen Li, Chengyue Yang, Yiyang Zhang. Analizuojami buvo tik kelių mėnesių duomenys nuo 2007 m. lapkričio iki 2008 m. sausio. Tyrime buvo naudojama ArcGIS programinė įranga ir branduolio tankio vertinimo metodas norint identifikuoti probleminius taškus.



2 pav. Įvykių pasiskirstymas pagal savaitės dieną ir valandą (D. Gao, X. Yang, Y. Zhang, 2011)

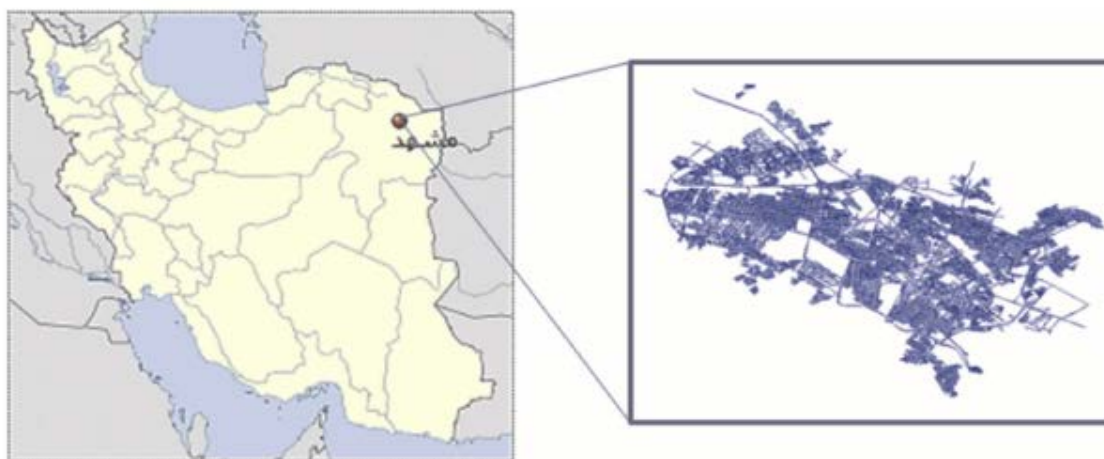
Išvadose teigiama, kad įvykių pasiskirstymas pagal savaitės dieną kartojasi, būtent penktadienį ir šeštadienį įvyksta daugiausia eismo įvykių, priežastys nustatinėjamos nebuvo. Taip pat minima, kad pradiniai tyrimai parodė, kad pateikti erdvės ir laiko analizės metodai gali sukurti galingą kelių eismo analizės priemonę padėsiančią išvengti nelaimingų atsitikimų ir padidinti saugumą.

Panašus tyrimas, su tokio pačiu metodu buvo atliktas 2006 m. Afyonkarahisar mieste, Turkijoje. Miesto plotas 1025 km², gyventojų skaičius daugiau nei 180 tūkst. Tyrimą atliko Saffet Erdogan, Ibrahim Yilmaz, Tamer Baybura ir Mevlut Gullu. Tyrimo tikslas buvo išanalizuoti 7634 užfiksuotus įvykius nuo 1996 m. iki 2006 m. ir atrasti galimas sąsajas su savaitės diena ar paros laiku. Išvadose teigiama, kad daugiausia įvykių įvyksta savaitgalį, bet konkrečių priežasčių nustatyti negalima, nes nebuvo rinkti papildomi duomenys, todėl buvo pateiktas pasiūlymas tęsti tyrimą ir rinkti daugiau susijusių duomenų, kad būtų galima atlikti gilesnę analizę.

2012 m., Irane, Khuzestan provincijoje, kurio plotas 64 tūkst. km², gyventojų skaičius daugiau nei 4,7 milijono, buvo atliktas tyrimas, kurio tikslas buvo nustatyti vietas, atsižvelgiant į vietas kur įvyksta daugiausia eismo įvykių, kuriose turėtų būti greitosios medicinos pagalba, kad įvykus eismo įvykiui būtų reaguojama kaip galima greičiau, o atstumas iki įvykio vietos būtų trumpiausias. Tyrimą atliko Alireza Toran Pour, Dr. Wen Long Yue. Juodųjų taškų identifikavimui buvo

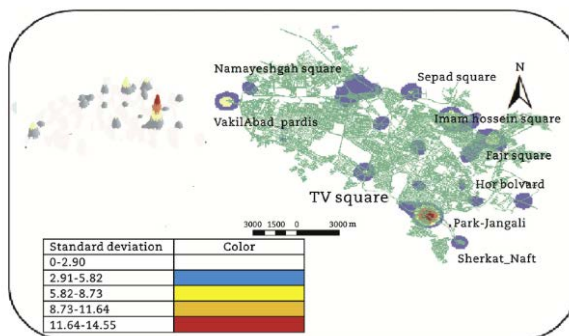
panaudotas branduolio tankio vertinimo metodas, o trumpiausio kelio skaičiavimui naudotas Dijkstros algoritmas. Išvadose teigiama, kad iki tol buvusios budėjimo vietos nėra tinkamos, o pasitelkus GIS buvo sudarytas taškų žemėlapis iš kurių būtų galima reaguoti į iškvietimus optimaliai greitai apimant norimą teritoriją. Pabrėžiama, kad GIS suteikia galingą žemėlapių analizės įrankį, kurį galima pritaikyti įvairiose srityse.

2014 m., Irane, Mashhad mieste, kurio plotas 328 km², gyventojų skaičius daugiau nei 2 milijonai, buvo atliktas tyrimas, kurio tikslas buvo ištirti ir palyginti įvairius eismo įvykių tipus erdviniu aspektu. Tyrimą atliko Gholam Ali Shafabakhsh, Afshin Famili, Mohammad Sadegh Bahadori. Reikėtų pabrėžti, kad tai buvo pirmasis bandymas šiame mieste.



3 pav. Tyrimo vieta. Įvykių pasiskirstymas (G. Shafabakhsh, A. Famili, M. S. Bahadori, 2014)

Dokumente paminėta, kad atsiranda tendencijos plėtoti GIS sistemų erdvinį modelių tyrimus analizuojant eismo įvykius. Analizuojami buvo 9331 taškai, kuriuose nukentėjo arba žuvo žmonės. Analizei buvo panaudotos branduolio tankio vertinimo metodas, artimiausio kaimyno skaičiavimo metodas, K-funkcijos analizės metodas. Branduolio tankio apskaičiavimo metodas buvo panaudotas siekiant nustatyti pavojingiausias miesto gatvių vietas. Artimiausio kaimyno ir K-funkcija buvo naudojama siekiant ištirti eismo įvykių pasiskirstymą.



4 pav. Mirtimi pasibaigusiu eismo įvykių pasiskirstymas (G. Shafabakhsh, A. Famili, M. S. Bahadori, 2014)

Šiame tyrime buvo naudojama ArcMap sistema, kuri turi galimybę rodyti ir analizuoti avarių erdvinius modelius. Tyrime minima, kad kelių eismo įvykių vietų klasifikavimas yra svarbus kelių eismo saugumo gerinimo veiksnys. Tyrimo rezultatai parodė, kad didelės avarijos zonos, susitelkusios netoli Mashhad miesto. Šio tyrimo išvadų įgyvendinimas lems ilgalaikę ekonominę naudą ir pagerins eismo srautą bei saugumą, didesnis eismo įvykių skaičius sukuria daugiau saugumo problemų. Išvadose minima, kad apskaičiuoti nelaimingi atsitikimai yra suskirstyti į grupes ir nėra atsitiktinės galimybės. Analizuojami buvo vienerių metų duomenys. Tyrėjai konstatavo, kad kelių eismo saugumo tyrimus būtina pratęsti iki 3 metų ar daugiau, norint gauti tikslesnius rezultatus.

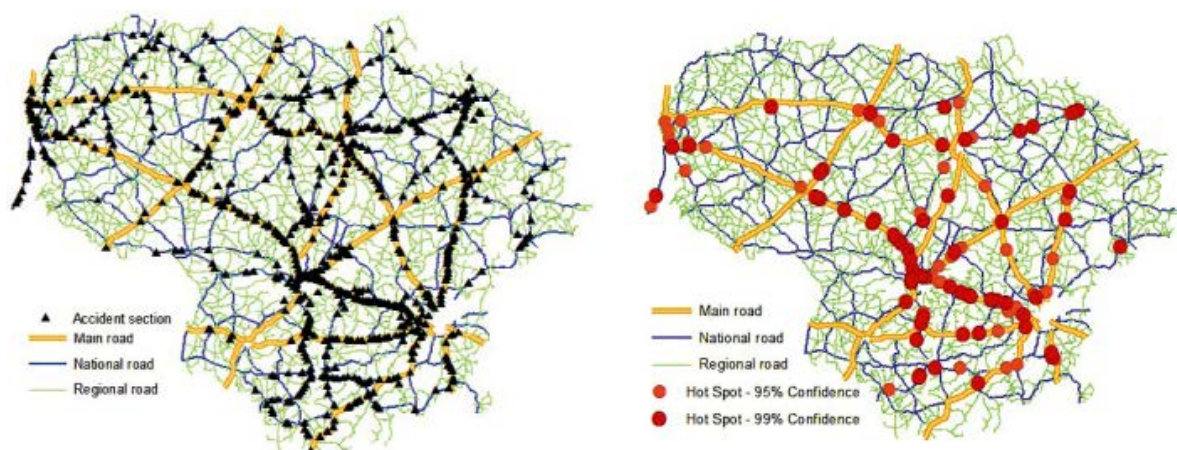
2015 m., Nigerijos valstybėje, kurios plotas 923 tūkst. km², gyventojų skaičius daugiau nei 191 milijonas, buvo atliktas tyrimas kuriuo buvo siekiama išsiaiškinti koks yra geografinis pasiskirstymas eismo įvykių, kuriuose žuvo ar buvo sužeisti žmonės. Tyrimą atliko Tolulope Osayomi ir Abidoun Ayooluwa Areola. Analizuojami duomenys buvo nuo 2002 m. iki 2007 m. Tyrime buvo naudojama ArcGIS sistema vizualizacijai ir erdvinės statistikos metodų taikymui. Buvo panaudoti Morano I indekso skaičiavimo metodas ir Getis-Ord Gi* statistikos skaičiavimo metodas. Išvadose teigiama, kad tyrimas atkreipė dėmesį į naujų avaringų ruožų buvimą ir, kad iš analizės gauta informacija bus naudinga kuriant naujas veiksmingas avarių prevencijos ir eismo kontrolės programas.

2016 m., Irane, Ilam provincijoje, kurios plotas 19 tūkst. km², gyventojų skaičius 550 tūkstančių, buvo atliktas tyrimas kuriuo siekta identifikuoti juodąsias dėmes keliuose, kad būtų galima priimti sprendimus kaip toliau plėtoti kelių tinklą. Šio tyrimo išskirtinumas tai, kad prie eismo įvykių duomenų buvo prijungti ir meteorologiniai duomenys. Tyrimą atliko Mohammad Ali Aghajani, Reza Shahni Dezfoulian, Abdolreza Rezaee Arjroody, Mohammadreza Rezaei. Analizei buvo panaudoti 2013 metais surinkti duomenys. Tyrime panaudoti šie standartiniai metodai: branduolio tankio vertinimo metodas, Morano I indekso skaičiavimo metodas, Getis-Ord Gi* statistikos skaičiavimo metodas. Lietaus topografiniam žemėlapiui buvo panaudota IDW interpoliacija. Visi veiksmai atlikti su ArcGIS programine įranga ir jos įskiepiais. Išvadose pateikiama, kad lyginant eismo įvykių tankumą ir topografinius lietaus žemėlapius buvo pastebėta prasminga reikšminga koreliacija. Buvo pateiktas pasiūlymas atlikti detalesnį tyrimą.

2016 m. Švedijoje, Stockholmo mieste, kurio plotas 188 km², gyventojų skaičius virš 900 tūkst., buvo atliktas tyrimas, kurio tikslas buvo identifikuoti atsirandančius erdvinius modelius duomenyse, rasti juodąsias dėmes ir išsiaiškinti ar kelių tinklo rekonstrukcijos pagerino saugumą ir sumažino eismo įvykių skaičių. Tyrimą atliko Anna Nordlov, Niklas Lindqvist. Analizei buvo naudojami duomenys suskirstyti pagal metus, sezonus, gatves ir t.t. Buvo naudojama ArcMap sistema ir SANET įskiepis naudojamas erdvinei analizei. Pasirinkti erdvinės analizės metodai buvo:

artimiausio kaimyno skaičiavimo metodas, K-funkcija, branduolio tankio vertinimo metodas. Išvadose teigiama, kad eismo įvykiai linkę susiskirstyti į didesnius pogrupius. Vertinant eismo įvykių tankį buvo atrastos dažniausios jų priežastys. Studijuojant kelių struktūros rekonstrukcijas nebuvo prieita išvados apie teigiamus ar neigiamus pokyčius, dėl duomenų trūkumo ir taip pat reikėtų atlikti detalesnius mokslinius tyrimus. Teigiama, kad vizualinė analizė gali būti panaudota probleminėms vietoms ir sritims nustatyti. Pateiktas pasiūlymas toliau tęsti eismo įvykių analizę panaudojant GIS, pasirinkti didesnę plotą, rinkti daugiau susijusių duomenų.

2018 m., publikuotas Lietuvos Mariaus Jakimavičiaus tyrimas. Šio tyrimo tikslas buvo išanalizuoti įvykius pasitelkiant AHP (Analytic Hierarchy Process) metodą. AHP metodą pirmasis pristatė Thomas Saaty 1980 m. Šis metodas, paremtas matematika ir psichologija, yra veiksminga priemonė sprendžiant sudėtingus uždavinius ir gali padėti struktūrizuoti problemą ir sudaryti sistemą uždaviniui išspręsti. Tyrimas daugiausia buvo orientuotas į AHP metodo pritaikymą, o ne GIS erdvinės analizės sprendimus. Šis tyrimas buvo atliekamas visoje Lietuvos teritorijoje, suskirstant kelių kuriuose įvyko eismo įvykių į atkarpas po 500 metrų. Toliau pagal pasirinktus kriterijus buvo skaičiuojami juodieji taškai panaudojant Getis-Ord G_i^* statistikos skaičiavimo metodą.



5 pav. Įvykių atkarpų pasiskirstymas ir juodųjų dėmių pasiskirstymas Lietuvoje (M. Jakimavičius, 2018)

Išvadose teigiama, kad buvo sukurti geografiniai apdorojimo modeliai, skirti įvertinti kelių eismo įvykių atkarpas. Šie modeliai buvo sukurti vadovaujantis Lietuvos nelaimingų atsitikimų valstybinės reikšmės keliuose identifikavimo metodika. Tyrimas bus tęsiamas, tolimesnėje analizėje bus įvertintos nelaimingų atsitikimų priežastys, įskaitant transporto priemonių tipus, oro sąlygas ir t.t.

2018 m. publikuotas straipsnis apie Argentinoje, Resistencia mieste, kurio plotas yra 562 km², gyventojų skaičius didesnis nei 290 tūkst., atliktą tyrimą. Išsikeltas tikslas pasitelkiant branduolio

tankio vertinimo metodą nustatyti juodąsias dėmės keliuose ir dažniausias eismo įvykių priežastis jose. Tyrimą atliko Martín Chaparro, Akram Hernández-Vásquez ir Alejandro Parras. Tyrime buvo panaudota ArcGIS programinė įranga, analizuojami duomenys buvo 2012 m., tačiau pakankamai detalūs su informacija apie aplinkines kliūtis, greičio kontrolę ruože, kelio būklė ir t.t. Išvadose rašome, kad tyrimu buvo nustatytos vietos su nepakankamu apšvietimu, eismo ženklų trūkumu ir nereikalingomis kliūtimis, kurias rekomenduojama pašalinti.

1.2. GIS SISTEMŲ DUOMENYS

GIS sistemos gali vaizduoti tik supaprastintą realaus pasaulio paveikslą, kadangi realybė yra nepastovi ir nuolat besikeičianti. Realaus pasaulio atvaizdas priklauso nuo stebėtojo ir jo tikslų vaizduojant tam tikrus objektus. Pasaulio ir jo objektų transformavimas į modelius atliekamas naudojant geometrijos ir kokybės parametrus. Duomenų modelis perduodamas į duomenų bazę, kurioje duomenis galima apdoroti, analizuoti ir pateikti norima forma.

Duomenų modeliai gali apimti:

- fizinius objektus (gatves, pastatus);
- suklasifikuotus objektus (klimato zonas);
- įvykius (eismo įvykius);
- besikeičiančius objektus (oro sąlygas);
- nedaiktinius objektus (automobilių tankumą).

Geometriniai objektų duomenys gali būti 3 tipų:

- taškas, kuri geometrinė padėtis nusakoma koordinatinių pora (x; y);
- linija, vienmatis objektas jungiama mažiausiai dviem taškais;
- plotai, dvimatis objektas apribotas mažiausiai trijų linijų segmentais.

Pradinėje duomenų modeliavimo stadijoje tikslinga įvesti kokybės parametrus:

- grafinį tikslumą;
- atnaujinimo dažnumą;
- skiriamąją gebą;
- pilnumą;
- loginių ryšių tankumą;
- tinkamumą.

Realaus pasaulio modelio vaizdavimui kuriami kelių matmenų duomenų modeliai (2D, 3D, 4D). Šiuo metu GIS sistemos dažniausiai naudoja dvimačius duomenų modelius. Objektai šiuo atveju vaizduojami plokštumoje ir apibrėžiami x ir y koordinatėmis. Toks modelis atitinka klasikinį žemėlapi, kuriame vaizduojama tik situacija. Tada žemėlapi įvedami ir tematiniai duomenų modeliai, kur duomenys suprantami kaip informacijos teminiai sluoksniai.

Erdvinė informacija kaupiama ir pateikiama tokiais būdais: vektoriniu (taškas, linija, plotas), rastriniu (vienodos sistemiškai apjungtos ląstelės) ir paviršiaus duomenų modeliu TIN. Objektų erdviniai duomenys vektoriniame modelyje nusakomi dvejopai: taškais su jų koordinatėmis ir matematinėmis formulėmis, tokiu būdu GIS duomenis sudaro ir lygčių parametrai. Rastrinis duomenų modelis vaizduoja realybę per parinktus paviršius, kurie sudalinami reguliariu tinkleliu, todėl rastras kartais vadinamas tiesiog tinklu. Viena rastrinio modelio ląstelė gali turėti tik vieną reikšmę, todėl realaus pasaulio modeliui sudaroma daug tematinų rastrinių sluoksnių. Tuo jie ir skiriasi nuo vektorinio duomenų modelio, kuriame atributinė informacija priskiriama tiesiog objektams.

Dažniausiai duomenys dar yra ir koduojami. Kiekviena skaitmeninių kodų serija skirta kurių nors objektų grupei, o atskiriems objektams suteikiamas identiškasis kodas. Tematiniame kodavime, kuris gali būti palyginamas su sluoksnių sudarymu, duomenys padalinami į atskiras grupes. Čia taip pat reikia aprašyti simbolių tipus, linijų pločius, spalvas ir pan., tokiu būdu vėliau galima sudaryti įvairius tematinis žemėlapius, tačiau duomenis galima apjungti tik tuo atveju, jei jie yra vieningoje koordinatinių sistemoje.

Geografiniai duomenys gali būti gaunami iš įvairių šaltinių. Norint atlikti teisingą geografinę analizę svarbu pasirinkti duomenų šaltinius, kurie tinkami nagrinėjamai temai. Duomenų šaltiniai gali būti:

- pirminiai – duomenys gaunami tiesiai iš šaltinio. Dažniausiai tai duomenys, surinkti „vietoje“;
- antriniai – toks terminas naudojamas apibūdinti duomenims, kuriuos surinko ne analizę atliekantis asmuo, o kas nors kitas.

Pirminių duomenų naudojimo pranašumas yra visiškasis duomenų rinkimo valdymas. Tai užtikrina, kad duomenys yra reikiami ir tinkami nagrinėjamai problemai išspręsti. Pirminių duomenų rinkimas dažnai užima daug laiko ir yra brangus. Dažnai duomenims surinkti gali prireikti daugiau darbo ir laiko nei jų GIS analizei.

GIS analizei galima naudoti antrinius duomenis. Duomenys būna jau surinkti ir apdoroti, todėl tyrėjas sutaupo daug laiko, nes nereikia surinkti duomenų. Antriniai duomenys ne tik efektyvūs laiko atžvilgiu, bet ir pigiau gaunami. Nereikia investuoti pinigų duomenų rinkinio parengimui. Be to, kitos organizacijos surinkusios duomenis gali turėti daugiau reikiamų žinių renkant tam tikro tipo duomenis.

Erdviniai ir neerdviniai duomenys yra dvi plačios duomenų grupės. Erdviniai duomenys turi su jais susijusios erdvinės informacijos formą, o neerdviniai – neturi. Erdviniai turi su kiekvienu stebėjimu susietas X,Y koordinatas, arba yra susieti su erdvės sritimi, pavyzdžiui, šalimi, rajonu. GIS yra orientuotos saugoti, analizuoti ir pateikti erdvinis duomenis.

Kaip pavyzdį paimkime eismo įvykių duomenis. Tokie duomenys greičiausiai bus pateikti lentelė, su įvairia statistine informacija apie konkretų įvykį. Jeigu šioje informacijoje nebus pateikti jokie geografiniai duomenys, tada mes jų negalėsime analizuoti duomenų erdvėje. O jeigu bus pateiktos įvykio koordinatės, gatvė, rajonas, savivaldybė ir t.t., tai reikš, kad duomenys yra erdviniai ir juos galima analizuoti erdvės požiūriu.

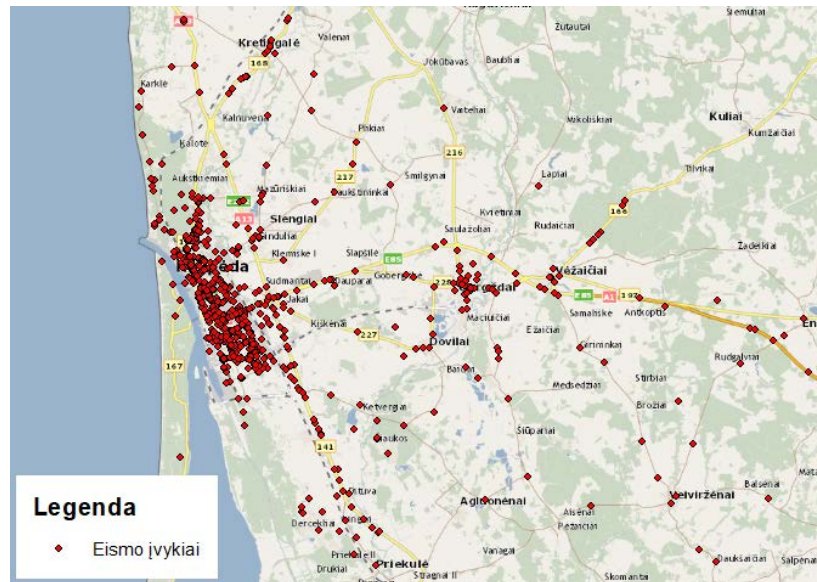
Dažniausiai renkami duomenys turi kokį nors erdvinį atributą, kartais erdvinis atributas būna surenkamas, bet saugomas kartu su duomenimis. Ankščiau erdvinio atributo fiksavimas buvo labai sudėtingas procesas, bet atsiradus GPS procesas supaprastėjo ir išstobulėjo.

1 lentelė. Neerdvinių ir erdvinių duomenų pavyzdys

Neerdviniai	Erdviniai
<i>Eismo įvykis</i>	<i>Eismo įvykis</i>
Data = 2017-11-24 Laikas = 18:01:00 Įvykio rūšis = Užvažiavimas ant pėsčiojo Dalyvių skaičius = 2 Žuvusių skaičius = 0 Sužeistų skaičius = 1 Dalyvavusių transporto priemonių skaičius = 1 Apgadintų transporto priemonių skaičius = 0	<u>Savivaldybė</u> = Klaipėdos m. sav. Data = 2017-11-24 Laikas = 18:01:00 Įvykio rūšis = Užvažiavimas ant pėsčiojo Dalyvių skaičius = 2 Žuvusių skaičius = 0 Sužeistų skaičius = 1 Dalyvavusių transporto priemonių skaičius = 1 Apgadintų transporto priemonių skaičius = 0 <u>Gatvė</u> = H. Manto <u>Namo numeris</u> = 44 <u>Ilguma</u> = 6179671 <u>Platuma</u> = 319573

Galimybė apjungti ir panaudoti įvairių skirtingų sričių duomenis padidino GIS galimybes ir teikiamą naudą analizuojant įvairius duomenis erdvėje.

Taškiniai duomenys yra erdviniai duomenys, kuriuos galima pavaizduoti kaip vietą žemėlapyje. Eismo įvykio atveju, kiekvienam įvykiui yra suteikiamos ilgumos ir platumos koordinatės, tai leidžia GIS pavaizduoti juos žemėlapyje (žr. 6 pav.). Tai paprasčiausias duomenų tipas.



6 pav. Taškiniai duomenys pavaizduoti GIS sistemoje.

Erdvinių duomenų analizę sudaro naujų sluoksnių kūrimas remiantis jau turimais sluoksniais arba sluoksnių derinimas pasitelkiant tam tikrą perdangos procedūrą. Tačiau erdvinį duomenų analizės specifika priklauso nuo vidinio GIS duomenų modelio.

Vektoriniame modelyje taškai, linijos ir poligonai turi sudaryti perdangos derinius. Tam programinė įranga nustato matematinio šių elementų susikirtimo plotų ir pateikia rezultatą. Kad perdangos pateiktų norimą rezultatą, sluoksniai turi būti derinami su Būlio logikos taikymu (sąjunga, sankirta, panaikinimas ir t. t.). Naujus sluoksnius galima kurti remiantis turimais sluoksniais renkant elementų poaibį, sujungiant elementų rinkinį arba elementų rinkiniui taikant geometrinę funkciją, pvz., buferį.

Rastriniame modelyje naujus sluoksnius galima kurti renkant tam tikras gardelių reikšmes arba taikant filtrus, kaukes ar tokius matematinius modelius kaip atstumo funkcijos. (Geografinių informacinių sistemų pagrindai, Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos, 2008)

1.3. EISMO ĮVYKIO SĄVOKA

1997 m. sausio mėn. 22 d. VRM priimtas įsakymas Nr. 28 “Dėl autoavarijų registravimo ir apskaitos”, eismo įvykiais laikomos važiuojamųjų transporto priemonių eismo nelaimės, kurių metu padaroma materialinė žala ar nukentė žmonės.

Eismo įvykiai skirstomi į dvi pagrindines grupes:

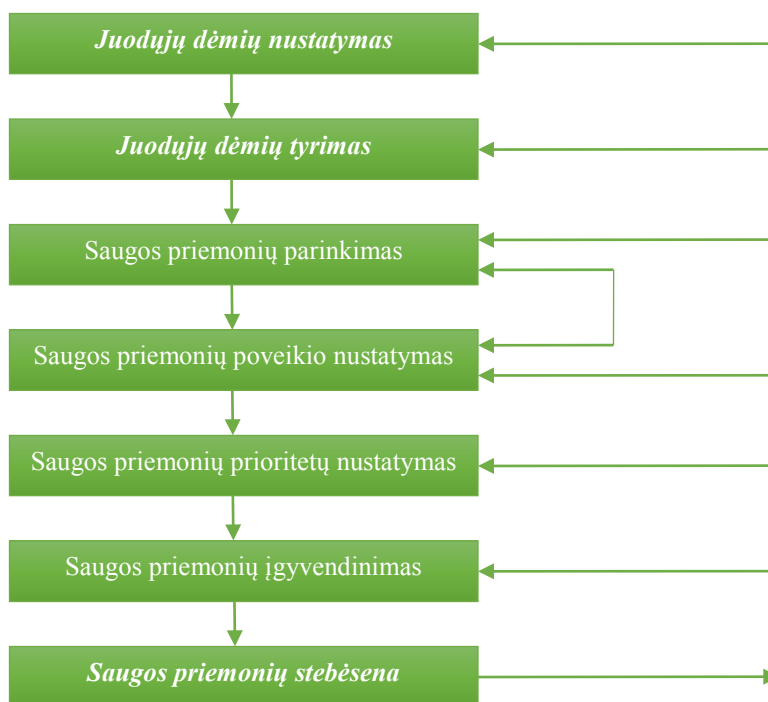
- įskaitiniai eismo įvykiai – kai žuvo arba buvo sužeista žmonių, tokie įvykiai yra įtraukiami į valstybinę statistinę apskaitą;
- techniniai eismo įvykiai – kai padarytas tik materialinis nuostolis, žmonės nenukentėjo arba gavo tik lengvas traumas ir sužeistais nelaikomi, tokie įvykiai yra analizuojamos tik miesto ar rajono mastu.

Įskaitiniuose ir techniniuose eismo įvykiuose turi dalyvauti važiuojanti transporto priemonė (automobilis, motociklas, motoroleris, motorinis vežimėlis, mopedas, motorinis dviratis, tramvajus, troleibusas, autobusas ar kita savaeigė mašina), taip pat eismo įvykio metu turi būti padaryta žala arba padarytas materialinis nuostolis kuriai nors šaliai. Sužeistaisiais yra laikomi tik tie žmonės, kurie dėl gautos traumos buvo nedarbingi ne mažiau kaip vieną dieną, buvo paguldyti į ligoninę arba kuriems buvo skirtas ambulatorinis gydymas. Eismo įvykio metu padarytas materialinis nuostolis – tai sugadinta transporto priemonė, kroviny, kelias ar kelio įrenginiai.

1.4. JUODOSIOS DĖMĖS KELIUOSE

2014 m. rugsėjo 1 d., Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos direktorius patvirtino juodųjų dėmių nustatymo ir šalinimo gatvėse ir vietinės reikšmės keliuose metodiką. Šis dokumentas apibrėžia juodųjų dėmių nustatymo ir šalinimo tvarką visuose gyvenvietėse esančiuose keliuose, t. y. gatvėse, o taip pat vietinės reikšmės keliuose už gyvenviečių ribų, tikslas – efektyviai šalinti eismo saugos problemas pavojingiausiose gatvių ir vietinės reikšmės kelių tinklo vietose.

Metodiką sudaro šios dalys:



7 pav. Juodųjų dėmių keliuose nustatymo ir šalinimo veiklos diagrama.

Juodųjų dėmių nustatymas atliekamas pagal avaringumo rodiklius gatvių (kelių) tinkle. ***Juodųjų dėmių tyrimas*** daromas aiškinantis, kokios yra eismo saugos problemos ir kokie gatvių (kelių) saugos trūkumai jas lemia. ***Saugos priemonių stebėseną*** vykdoma lyginant statistinius duomenis su laiku iki saugaus priemonių įgyvendinimo. (Juodųjų dėmių nustatymo ir šalinimo gatvėse ir vietinės reikšmės keliuose metodika, 2014 m.)

Išvardintos metodikos dalys yra imlios laikui, reikalauja specifinių žinių ir yra sudėtinga gauti tinkamai paruoštus statistinius duomenis, kad būtų galima daryti analizę. Šias problemas galima išspręsti GIS pagalba, o visiškai automatizavus procesą ir be žmogaus įsikišimo generuojant ataskaitas galima sutaupyti daug specialisto darbo valandų.

1.5. LIETUVOS EISMO ĮVYKIŲ ANALIZĖS SISTEMA ONHA LT IR PROGNOZAVIMO SISTEMA TARVA LT

Išsamią eismo įvykių analizę galima atlikti naudojantis Suomijos kelių direkcijos modelį ONHA. Modelis buvo pritaikytas Lietuvai ir pavadintas ONHA LT. Sistema yra skirta sisteminti statistinius eismo įvykių duomenis ir atlikti jų analizę taikant įvairias užklausas. Suformavus teisingas užklausas galima gauti tokius duomenis kaip: eismo įvykių skaičius tamsiu paros metu, esant šlapiai kelio dangai, eismo įvykių skaičius kurių metu vairuotojai viršijo greitį ir t.t.

Vertinant avaringumą, turi būti sudarytas eismo įvykių, įvykusių analizuojamame laikotarpyje, sąrašas, kuriame aprašomi tokie atributai: data, eismo įvykio vieta, eismo įvykio rūšis, žuvusių skaičius, sužeistų skaičius.

Avaringumo laipsniui nustatyti naudojamas avaringumo koeficientas AK:

$$AK = A * \frac{10^6}{(365 * L * VMPEI)} \quad (1)$$

- A – įskaitinių eismo įvykių skaičius per metus;
- L – nagrinėjamo kelio ruožo ilgis, km;
- VMPEI – vidutinis metinis paros eismo intensyvumas nagrinėjamame ruože, aut./parą;
- 365 – dienų skaičius metuose.

Siekiant sumažinti avaringumo laipsnį konkrečiose vietose yra analizuojami keli sprendimo būdai kaip tai padaryti. Kiekvienam pasiūlymui turi būti nustatytas planuojamas teoriškas poveikis avaringumo mažinimui. Lietuvoje naudojama Suomijos kelių direkcijos modelio TARVA adaptacija Lietuvai TARVA LT.

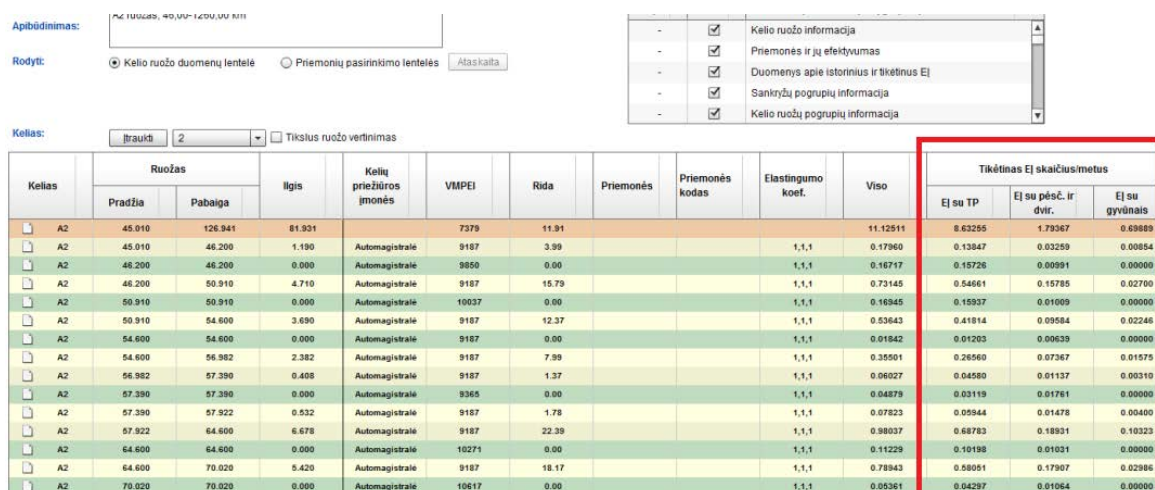
Eismo saugumo priemonės diegiamos avaringuose ruožuose. Prieš įdiegiant inžinerines eismo saugumo gerinimo priemonės būtina nustatyti būsimo poveikio efektyvumą. Eismo saugumo priemonių poveikis Lietuvoje ir kitose šalyse išreiškiamas poveikio koeficientu. Poveikio koeficientai nustatyti atlikus mokslinius tyrimus, atsižvelgiant į kiekvienos šalies skirtumus organizuojant eismą. Eismo saugumo gerinimo priemonių poveikio koeficientas parodo kokia eismo įvykio dalis liks įdiegus tam tikrą eismo saugumo gerinimo priemonę.

Eismo įvykių prognozavimo metodų pagalba galima prognozuoti eismo įvykių skaičių kelyje, jeigu nebus įdiegtos eismo saugumo gerinimo priemonės. Prognozuojami eismo įvykiai suteikia

galimybę iš anksto sustabdyti galimas žmogiškojo faktoriaus klaidas. Pasinaudojus šiais metodais ir tinkamai parinkus eismo saugumo gerinimo priemones rengiant kelio tiesimo ar rekonstrukcijos projektus.

Lietuvai buvo pritaikyta Suomijoje naudojama eismo saugumo gerinimo modelis TARVA ir pavadintas TARVA LT. Lietuvoje šis modelis taikomas nuo 1997 m. Šis modelis yra pastoviai tobulinamas, todėl dabar šio modelio pagalba galima parinkti eismo saugumo gerinimo priemones avaringuose ruožuose, prognozuoti eismo įvykius naujai tiesiamuose, rekonstruojamuose keliuose. Galima net anksto parinkti eismo saugumą gerinančias inžinerines priemones siekiant išvengti grėšiančių eismo įvykių.

1998 m. buvo sukurta kompiuterinė TARVA LT metodikos versija. Kompiuterinė programa gali įvertinti avaringame ruože planuojamų diegti eismo saugumo gerinimo priemonių būsimą efektyvumą. Specialistai išsiaiškino jog norint nustatyti eismo saugumą gerinančių priemonių efektyvumą reikia pasinaudoti matematiniais eismo įvykių modeliais kartu su istoriniais eismo įvykių duomenimis dominančiame kelio ruože. Programos bei modelių pagalba galima apskaičiuoti per metus išvengtų eismo įvykių skaičių.



Kelas	Ruožas		Ilgis	Kelių priežiūros priemonės	VMPEI	Rida	Priemonės	Priemonės kodas	Elastingumo koef.	Viso	Tikėtinas EĮ skaičius/metus		
	Pradžia	Pabaiga									EĮ su TP	EĮ su pėsč. ir dvir.	EĮ su gyvūnais
A2	45.010	126.341	81.331		7379	11.31				11.12511	8.63255	1.79367	0.63889
A2	45.010	46.200	1.190	Automagistralė	9187	3.39			1,1,1	0.17960	0.13847	0.03259	0.00854
A2	46.200	46.200	0.000	Automagistralė	9850	0.00			1,1,1	0.16717	0.15726	0.00991	0.00000
A2	46.200	50.910	4.710	Automagistralė	9187	15.79			1,1,1	0.73145	0.54561	0.15785	0.02760
A2	50.910	50.910	0.000	Automagistralė	10037	0.00			1,1,1	0.16345	0.15937	0.01009	0.00000
A2	50.910	54.600	3.690	Automagistralė	9187	12.37			1,1,1	0.53643	0.41814	0.09584	0.02246
A2	54.600	54.600	0.000	Automagistralė	9187	0.00			1,1,1	0.01842	0.01203	0.00639	0.00000
A2	54.600	56.982	2.382	Automagistralė	9187	7.99			1,1,1	0.35501	0.26580	0.07367	0.01575
A2	56.982	57.390	0.408	Automagistralė	9187	1.37			1,1,1	0.06027	0.04580	0.01137	0.00310
A2	57.390	57.390	0.000	Automagistralė	9365	0.00			1,1,1	0.04878	0.03119	0.01761	0.00000
A2	57.390	57.922	0.532	Automagistralė	9187	1.78			1,1,1	0.07823	0.05944	0.01478	0.00400
A2	57.922	64.600	6.678	Automagistralė	9187	22.39			1,1,1	0.98037	0.68783	0.18351	0.10323
A2	64.600	64.600	0.000	Automagistralė	10271	0.00			1,1,1	0.11229	0.10198	0.01031	0.00000
A2	64.600	70.020	5.420	Automagistralė	9187	18.17			1,1,1	0.78943	0.58051	0.17907	0.02986
A2	70.020	70.020	0.000	Automagistralė	10617	0.00			1,1,1	0.05361	0.04287	0.01064	0.00000

8 pav. TARVA LT eismo įvykių prognozės rezultatai, pasirinktam ruožui.

1.6. BENDROS LIETUVOS AVARINGUMO TENDENCIJOS

Nuo 2008 m. Lietuvoje pastebimas akivaizdus avaringumo sumažėjimas, tačiau avaringumo situacija Lietuvos automobilių keliuose vis dar nėra patenkinama. Lietuva tapo savotišku tiltu tarp Rytų ir Vakarų valstybių. Šalies geografinė padėtis sudaro sąlygas integruotis į milžinišką Europos transporto ir paslaugų rinką. Sparčiai kinta šalies transporto sistema, auga automobilių skaičiaus, pastebimas žymus eismo intensyvumo augimas, o kartu ir avaringumo padidėjimo tikimybė šalies keliuose, todėl eismo saugumo problema Lietuvoje tapo dar aktualesnė.

2 lentelė. Mirtinų eismo įvykių skaičiaus dinamika kaimyninėse valstybėse ir Lietuvoje. (ES duomenys).

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Estija	204	196	132	98	79	101	87	81	78	67
Latvija	407	419	316	254	218	179	177	179	212	188
Lietuva	760	740	499	370	299	296	302	256	267	242

Iš statistinių duomenų (žr. 2 lentelė) galime pastebėti, kad Lietuva visada pirmavo ir tebe pirmuoja pagal mirtinų eismo įvykių skaičių tarp kaimyninių valstybių. Nors nuo 2007 m. padaryta milžiniška pažanga, tačiau vis dar atsilikame ir turime ieškoti būdų kaip šią statistiką dar labiau pagerinti.

3 lentelė. Eismo įvykių ir nukentėjusiųjų dinamika Lietuvoje 2000–2017 m. (Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos informacija).

Metai	Eismo įvykiai			Žuvo			Sužeista		
	Viso	100 000 gyv.	1 000 transp. pr.	Viso	100 000 gyv.	1 000 transp. pr.	Viso	100 000 gyv.	1 000 transp. pr.
2000	5 807	157,2	4,5	641	17,3	0,5	6 960	188,5	5,4
2001	5 972	171,5	4,3	706	20,2	0,51	7 103	204,8	5,1
2002	6 090	175,9	4,1	697	20,1	0,47	7 427	214,5	5
2003	5 963	173	3,8	709	20,6	0,45	7 263	210,7	4,6
2004	6 372	186	3,9	751	21,9	0,46	7 877	230	4,8
2005	6 771	198,6	3,8	773	22,7	0,43	8 466	248,3	4,8
2006	6 658	196,7	3,4	760	22,5	0,39	8 334	243,2	4,3
2007	6 448	191,5	3,3	740	22	0,37	8 042	238,9	4,1
2008	4 795	146,2	2,3	499	14,9	0,24	5 818	177,3	3,8
2009	3 827	114,9	1,7	370	11,1	0,17	4 459	133,9	2,09
2010	3 530	108,8	1,7	299	9,2	0,14	4 230	130,4	1,98
2011	3 266	103,5	1,5	296	9,3	0,14	3 919	124,2	1,83
2012	3 392	113,9	1,5	302	10,1	0,13	3 952	132,6	1,76
2013	3 418	116,1	1,5	258	8,8	0,11	4 040	134,2	1,77
2014	3 255	113,8	2,2	267	9,1	0,17	3 785	133,1	2,61
2015	3 033	105	1,9	242	8,4	0,16	3 594	124,4	2,32
2016	3 201	112,4	1,2	192	6,7	0,11	3 750	131,7	2,32
2017	3 192	113,6	2,1	192	6,8	0,13	3 752	133,5	2,44

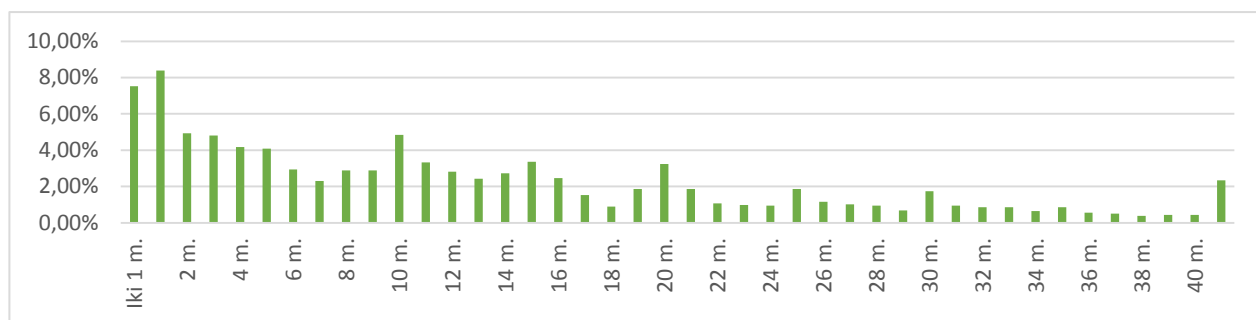
Analizuojant eismo įvykius pamečiui nuo 2000 m. (žr. 3 lentelė) galima pastebėti, kad situacija Lietuvos keliuose keičiasi į gerąją pusę, eismo įvykių, žuvusiųjų, sužeistųjų sumažėjo.

4 lentelė. Eismo įvykių, juose nukentėjusiųjų skaičius pagal apskritis 2016–2017 m. (Lietuvos kelių policijos tarnybos duomenys 2018-01-09).

Apskritis	Eismo įvykiai per 12 mėn.								
	Eismo įvykiai			Žuvo			Sužeista		
	2016	2017	%	2016	2017	%	2016	2017	%
Alytaus	181	156	-13,8	12	20	66,7	233	217	-6,9
Kauno	658	633	-3,8	24	27	12,5	763	741	-2,9
Klaipėdos	422	449	6,4	14	20	42,9	523	547	4,6
Marijampolės	124	129	4	16	19	18,8	149	167	12,1
Panevėžio	289	309	6,9	29	20	-31	327	346	5,8
Šiaulių	356	307	-13,8	24	16	-33,3	440	332	-24,5
Tauragės	108	104	-3,7	3	9	200	138	127	-8
Telšių	144	129	-10,4	9	11	22,2	176	146	-17
Utenos	90	85	-5,6	14	7	-50	98	99	1
Vilniaus	529	891	7,5	47	43	-8,5	903	1 030	14,1
Iš viso	3 201	3 192	-0,3	192	192	0	3 750	3 752	0,1

Pagal apskrityse įvykusių eismo įvykių statistiką (žr. 4 lentelė) Klaipėda užima 3-ąją vietą. Pirmauja Vilnius ir Kaunas, po Klaipėdos seka Šiauliai ir Panevėžys. Įdomu tai, kad Lietuvos bendrai statistikai gerėjant Vilniuje ir Klaipėdoje eismo įvykių nemažėja, o didėja Vilnius (+7.5%), Klaipėda (+6.4%), žuvusiųjų skaičius taip pat didėja. Galima daryti prielaidą, kad mažesni miestai sugeba valdyti situaciją, o didiesiems miestams reikia ieškoti naujų, efektyvesnių įrankių.

Įdomią statistiką pateikia Susisiekimo ministerijos saugaus eismo skyrius. Pasirodo, kad daugiausia avarių padaro vairuotojai ≤ 1 m., 10 m., 20 m., 25 m., 35 m., >40 m. vairavimo stažo metais.



9 pav. Eismo įvykiuose dalyvavusių vairuotojų kaltininkų skaičius proc. pagal vairavimo stažą.

(Šaltinis: Susisiekimo ministerijos Saugaus eismo skyrius).

Nuo 1994 metų Lietuvoje pagal Vakarų Europos naudojamas metodikas pradėta kaupti duomenis apie juodąsias dėmes šalies keliuose. Vakarų šalių patirtis parodė, kad naikinant juodąsias dėmes eismo įvykių skaičių galima sumažinti iki 1,5 karto.

Juodųjų dėmių skaičiaus keliuose mažinimui gali padėti ir išsamus vairuotojų ir kitų eismo dalyvių informavimas apie pavojingiausias kelių ar gatvių atkarpas, sankryžas. Vienas paminėtinų

gerų pavyzdžių būtų Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos internetiniame tinklalapyje pateiktas juodųjų dėmių Lietuvos keliuose žemėlapis. Tačiau įvertinus, kad didžiausia eismo įvykio tikimybė yra miestų gatvėse, juodųjų dėmių mažinimas atliekamas tik iš dalies. Labai svarbu ir Lietuvos miestų gatvėse įvykstančius eismo įvykius fiksuoti bei atlikti išsamią analizę. Tik tada galima pateikti pasiūlymus inžinerinėms priemonėms įgyvendinti, kurios padėtų sumažinti tikimybę įvykti eismo įvykiams.

Atskirose Lietuvos apskrityse eismo įvykių ir nukentėjusiųjų juose skaičius yra pakankamai skirtingas. Nors pagal bendrą eismo įvykių ir nukentėjusiųjų skaičių Vilniaus apskritis yra pirmoje vietoje, tačiau pagal bendrai priimtus rodiklius, įvertinus gyventojų skaičių bei automobilizacijos lygį, padėtis Vilniaus apskrityje nėra pati blogiausia.

1.7. AVARINGUMO TENDENCIJOS IR GRĖSMĖS KLAIPĖDOS MIESTE

Remiantis autotransporto priemonių eismo įvykių registro duomenimis Klaipėdos mieste per 2013 m. įvyko 243 įskaitiniai įvykiai, kurių metu 7 žmonės žuvo, 281 žmogus buvo sužeistas. Per 2014 m. mieste įvyko 235 įskaitiniai eismo įvykiai, kurių metu žuvo 10 žmonių ir 268 žmonės buvo sužeisti. Pavojingiausios gatvės Klaipėdos mieste yra Taikos pr., Šilutės pl., H. Manto g., Smiltelės g., Liepų g. (Klaipėdos miesto susisiekimo plėtros galimybių studija, 2015 m.)

5 lentelė. Įskaitiniai eismo įvykiai Klaipėdos miesto gatvėse, 2013-2014 m. duomenys.

Gatvės	2013 m.	2014 m.
Taikos pr.	48	50
Šilutės pl.	21	28
Minijos g.	16	6
Kretingos g.	13	3
H. Manto g.	12	12
Baltijos pr.	12	9
Debreceno g.	12	6
Smiltelės g.	11	12
Mokyklos g.	10	6
Kauno g.	9	6
Liepų g.	8	13
Liepojos g.	8	6
Naikupės g.	8	6
Statybininkų pr.	6	7
Vingio g.	6	5
S. Dariaus ir S. Girėno g.	6	1
Pilies g.	6	0
Tilžės g.	5	5
Laukininkų g.	5	3
Priestočio g.	3	9
Jūrininkų pr.	3	6
Šiaurės pr.	1	6

Pagal 2016 m. duomenis (žr. 5 lentelė) avaringiausias Klaipėdos mieste yra Taikos prospektas, toliau seka Minijos gatvė ir Šilutės plentas. Taip yra todėl, kad tai pagrindinės miesto eismo arterijos besitęsiančios per visą miestą. Ši statistika paimta iš Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos internetinio tinklalapio ir deja yra visiškai neinformatyvi. Daugiau gilesnės eismo įvykių įvykusių Klaipėdos mieste surasti nepavyko. Pasitelkiant GIS sistemą ir atvirus duomenis būtų galima pateikti žymiai informatyvesnės informacijos, kaip pvz. tankių žemėlapi, klasifikuoti įvykius pagal tam tikrus atributus ir pan.

6 lentelė. Avaringiausias Klaipėdos miesto gatvės. 2016 m. duomenys.

Gatvės pavadinimas	Eismo įvykiai	Žuvo	Sužeista
Taikos pr.	35	0	41
Minijos g.	14	0	20
Šilutės pl.	14	0	16
H. Manto g.	13	0	15
Baltijos pr.	8	0	10
Kretingos g.	8	0	8
Klaipėdos g.	7	0	7
Mokyklos g.	7	0	11
Smiltelės g.	7	0	8

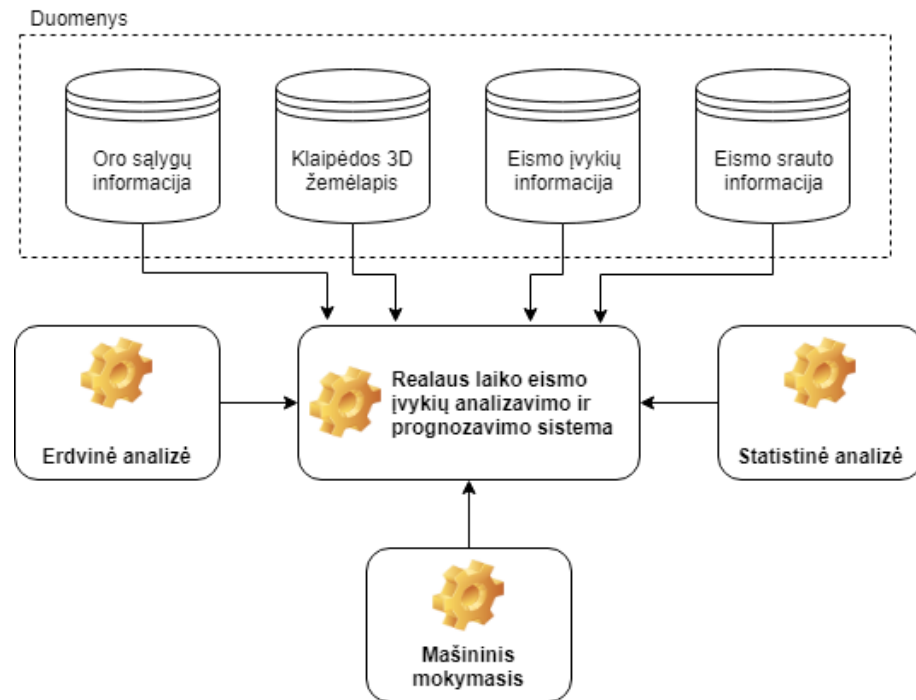
Klaipėdos uostas pritraukia vis didėjančią transporto priemonių skaičių, planuojamas naujas plėtros projektas – išorinis uostas.

Klaipėdos jūrų uostas yra įvardintas kaip vienas iš 14 pagrindinių regiono uostų, kurio prognozuojamos tarptautinių pervežimų apimtys iki 2030 m. išaugs iki 44,7 mln. t. Atsižvelgiant į tai, perspektyvoje reikės stiprinti uostą aptarnaujančias rytų-vakarų kryptimis išsidėsčiusias miesto transporto arterijas, o tai neabejotinai paveiks ir visą miesto susiekimo sistemą. Tad, uosto veikla bei vystymasis visais atvejais lems Klaipėdos susisiekimo sistemos vystymąsi. (Klaipėdos miesto susisiekimo plėtros galimybių studija, 2015 m.)

Klaipėdos valstybinio jūrų uosto direkcija yra parengusi prognozuojamų uosto krovinių vežimų apimčių pagrindinėmis Klaipėdos gatvėmis koncepciją 2040 metams. Šioje koncepcijoje nėra numatyta tik kroviniams ir į uosta vykstančioms transporto priemonėms skirtų kelių, o tai reiškia, kad visas transportas į uostą judės pagrindinėmis miesto gatvėmis į 3 krovos zonas. Planuojama, kad per miesto gatves per parą pravažiuos virš 13 tūkstančių transporto priemonių, kurios gabens krovinius į uostą. Labai abejotina, kad miestas, be papildomų naujų gatvių ir inovatyvių sprendimų sugebės patenkinti vis didėjančius jūrų uosto poreikius. Toks didžiulis transporto priemonių skaičiaus padidėjimas statistiškai paveiks ir avaringumo duomenis. (Klaipėdos valstybinio jūrų uosto (žemės, vidinės akvatorijos, išorinio reido ir susijusios infrastruktūros) bendrasis planas, 2017 m.).

1.8. EISMO ĮVYKIŲ ANALIZĖS ATEITIES PERSPEKTYVOS

Išanalizavus literatūrą galima teigti, kad eismo įvykių analizė yra sudėtingas ir ilgas procesas, kuris dažnai būna atliekamas pavėluotai. Augant transporto priemonių skaičiui, auga ir eismo įvykių skaičius. Eismo įvykiai miestams ir valstybėms reiškia nuostolius. Nuostoliai gali būti transporto priemonių prastovos, eismo įvykių padarinių šalinimas, sužeistų gyventojų gydymas, rehabilitacija ir t.t. Gyvenant informacijos amžiuje informacijos apsisikeitimas turėtų vykti labai greitai. Apjungus visą keliuose renkama informaciją būtų galima sukurti sistemą, kuri galėtų realiu laiku analizuoti ir net prognozuoti eismo įvykius ir jų atsiradimo vietas.



10 pav. Eismo įvykių analizavimo ir prognozavimo sistemos prototipo schema.

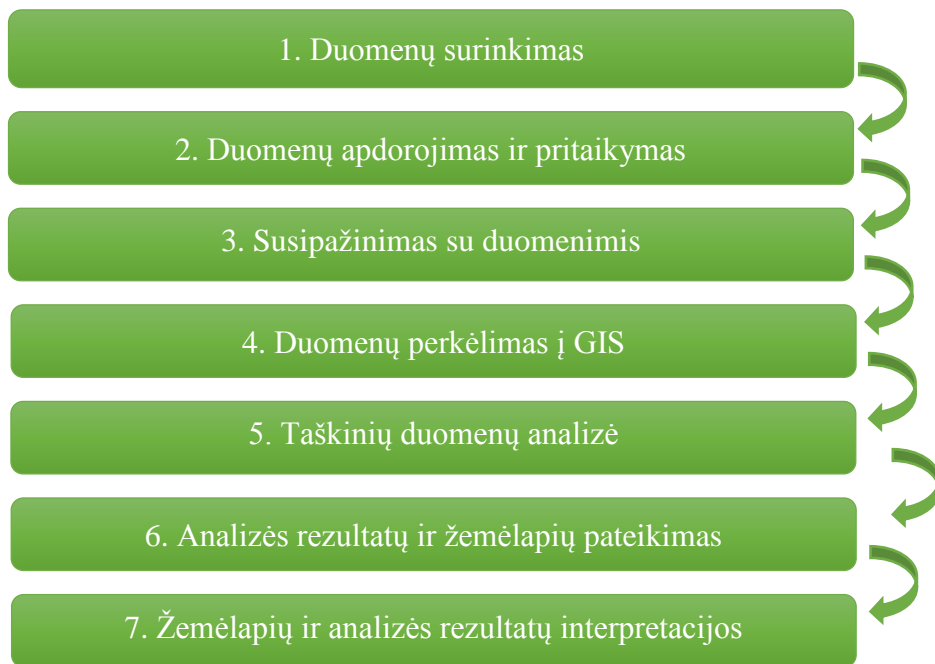
Eismo įvykių analizavimo ir prognozavimo sistemos prototipas galėtų apjungti renkama orų sąlygų informaciją, turimą labai detalų Klaipėdos miesto 3D žemėlapi, eismo įvykių informaciją, eismo srautų informaciją. Ši informacija turėtų būti pasiekama realiu laiku, neturėtų būti jokio vėlavimo, kaip yra šiuo metu. Prototipe realizavus statistinės ir erdvinės analizės funkcijas būtų sudaryta galimybė gauti aktualią informaciją ir greitai į ją reaguoti. Taip pat prototipe būtų galima pritaikyti mašininio mokymo algoritmus galimų eismo įvykių prognozavimui.

Įvairių GIS technologijų naudojimas analizuojant eismo įvykius užsienio valstybėse nėra naujovė, o Lietuvoje dar tik pradama gilintis ir atlikti panašius tyrimus. Išanalizavus literatūrą paaiškėjo, kad daugiausia dėmesio tokiems tyrimams skiria Indija, Kinija, Turkija ir Iranas. Tyrimui būna pasirinktas konkretus miestas arba visa valstybė. Dažniausiai naudojami tyrimo metodai yra Branduolio tankio vertinimo metodas, artimiausių kaimynų analizės metodas, Morano I indekso skaičiavimo metodas, Getis-Ord G_i^* statistikos skaičiavimo metodas. Tyrėjų dažniausias pasirinkimas buvo naudoti Esri ArcGIS programinę įrangą su jau integruotomis reikalingomis

statistinės ir erdvinės analizės funkcijomis. Lietuvoje, vidiniams tikslams, naudojamos OHNA LT ir TARVA LT sistemos, kurių užduotis rinkti duomenis, atlikti paviršutinišką statistinę, bet ne erdvinę analizę ir padėti prognozuoti kaip statistiškai pasikeistų situacija avaringame ruože įdiegus tam tikras saugumo gerinimo priemones. Lietuvoje pastebimas avaringumo sumažėjimas, tačiau vis dar atsilieka nuo Latvijos ir Estijos. Lietuva taip pat pirmauja mirtinų eismo įvykių skaičiumi. Bendra valstybės statistika po truputį gerėja, tačiau situacija Vilniaus ir Klaipėdos miestuose prastėja. Šiuose miestuose kasmet didėja eismo įvykių skaičius, taip pat daugėja žuvusių eismo dalyvių. Iš tokios statistikos galima daryti prielaidą, kad reikia ieškoti naujų metodų ir efektyvesnių įrankių tokių duomenų analizei.

II. TYRIMO DUOMENYS IR METODAI

Darbo tyrimo tikslas – išanalizuoti 2015 m. – 2017 m. eismo įvykių informaciją naudojant GIS programinę įrangą. Norint pasiekti šį tikslą pirmas žingsnis bus surinkti duomenis apie eismo įvykius. Sekantis žingsnis bus apdoroti surinktus duomenis ir pritaikyti juos, kad būtų tinkami naudoti GIS programinėje įrangoje. Toliau seka apdorotų duomenų įkėlimas į GIS sistemą ir duomenų analizė ir rezultatų pateikimas. Analizuojami taškiniai duomenys. Visi turimi duomenys buvo apdoroti Microsoft Excel programine įranga, o žemėlapiai buvo sudaryti naudojant ArcMap10.6.1 programinę įrangą. Pagrindo žemėlapis naudotas „Maps.lt ortofoto LKS“. Naudota LKS-94 koordinacių sistema, kuri Lietuvoje pradėta naudoti 1994 metais.



11 pav. Tyrimo veiksmų seka.

2.1. DUOMENŲ UŽKLAUSOS

Duomenų užklausa GIS sistemoje yra pagrindinę funkcija ieškant tyrimui tinkamų duomenų arba naujų ryšių. Užklausa padeda sumažinti ir supaprastinti sudėtingus ir didelius duomenų rinkinius. Tinkamai parinktos ir panaudotos užklausa palengvina sudėtingą interpretavimą ir jų analizavimą. Įvykdyta užklausa sukuria duomenų poaibį, paliekant duomenų šaltinį nepakeistą.

GIS dažniausiai vykdoma paieška pagal atributą. Atributų užklausa galima pavadinti klausimais apie duomenų atributus. Pavyzdžiui kokie eismo įvykiai įvyko nuo 2017-01-01 iki 2017-12-31 imtinai.

Tokia užklausa atrodys taip: *data >= date '2017-01-01' AND data <= date '2017-12-31'*

Užklausoje naudojami loginiai operatoriai. Šie operatoriai naudojami sudaryti atrankos sąlygoms iš atskirų kriterijų. Sąlyga gali įgyti dvi reikšmes – teisinga arba klaidinga. Galimi loginiai operatoriai:

- = lygu;
- > daugiau;
- < mažiau;
- >= daugiau arba lygu;
- <= mažiau arba lygu;
- <> nelygu.

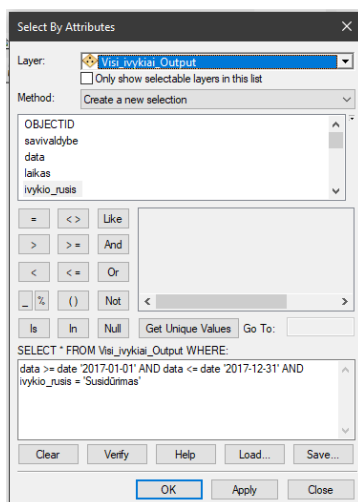
Jeigu norime atrinkti duomenis pagal du arba daugiau kriterijų naudojame logines funkcijas. Pavyzdžiui kiek eismo įvykių įvyko 2017 m., kuriuose buvo nukentėjo pėstysis.

Tokia užklausa atrodys taip: *data >= date '2017-01-01' AND data <= date '2017-12-31' AND ivykio_rusis = 'Užvažiavimas ant pėsčiojo'*.

Taip atskiras užklaudas galima sujungti, kad jos atsakytų į užduodamą sudėtingą klausimą. Sudėtiniai klausimai sujungiami loginėmis funkcijomis – AND, OR, NOT, XOR.

- AND (IR) – tenkinami du arba daugiau užklaudos kriterijai;
- OR (ARBA) – tenkinamas bet kuris užklaudos kriterijus (arba abu);
- NOT (NE) – tenkinamas vienas užklaudos kriterijus, bet ne kitas;
- XOR (išskirtinis ARBA) – tenkinamas vienas arba kitas užklaudos kriterijus, bet ne abu kartu.

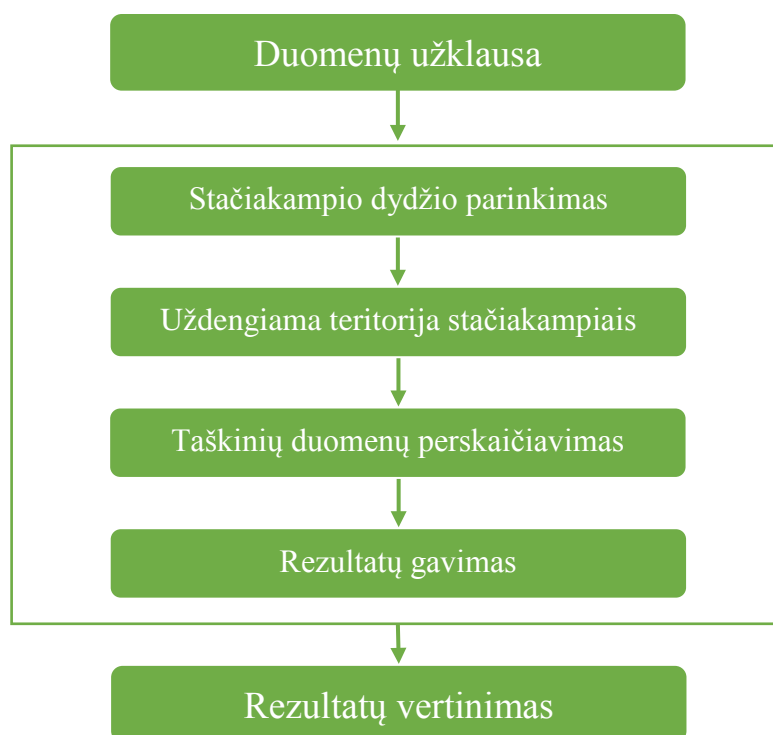
Struktūrizuotą užklausių kalbą (SQL) yra standartinė sąsaja, kuri naudojama loginėms išraiškoms užrašyti, kad būtų vykdoma paieška duomenų masyve. Užklausk sintaksė gali skirtis priklausomai nuo pasirinktos programinės įrangos. Šiam tyrimui naudota ArcMap programinė įranga.



12 pav. Duomenų užklauskos pagal atributą langas

2.2. GIS ERDVINĖS ANALIZĖS METODAI

Branduolio tankio vertinimo metodas (Kernel Density) naudojamas tolydiems duomenims vaizduoti. Branduolio tankio skaičiavimo metodas vykdomas keliais etapais. Pirmu žingsniu analizuojama teritorija uždengiama vienodo dydžio stačiakampių tinkleliu, net jei kai kuriose vietose taškų ir nėra. Stačiakampio dydis pasirenkamas pagal analizuojamos teritorijos mastelį. Sekančiame žingsnyje perskaičiuojami taškiniai duomenys, kurie patenka arba yra tam tikru atstumu išsibarstę nuo analizuojamo stačiakampio. Kuo daugiau taškų yra arčiau analizuojamo stačiakampio, tuo stačiakampio reikšmė yra didesnė. Arčiau stačiakampio esantys taškai yra reikšmingesni stačiakampio reikšmei negu taškai, kurie yra labiau nutolę nuo stačiakampio. Taip gaunamas dydis, kuris nusako stačiakampio reikšmę. Rezultatų žemėlapiai dažnai vadinami „karščio“ arba „karštųjų taškų“ žemėlapiais, dažniausiai tokie žemėlapiai naudojami nusikalstamumui vaizduoti.



13 pav. Branduolio tankio funkcijos taikymo schema

Taškų paieškos spindulio atstumo skaičiavimo formulė:

$$R = 0.9 * \min \left(SD, \sqrt{\frac{1}{\ln(2)}} * D_m \right) * n^{-0.2} \quad (2)$$

kur SD – standartinis atstumas, D_m – vidutinis atstumas, n – taškų skaičius.

Klaipėdos rajono eismo įvykių analizei panaudoti taškiniai užfiksuotų ir registruotų įvykių duomenys pateikti su koordinatėmis. Panaudojus ArcMap galimybes ir branduolio tankio mato metodą, taškiniai duomenys paversti rastriniu duomenų sluoksniu. Remiantis tokia vaizdine

informacija galima formuoti išvadas apie vietas kuriose įvyksta daugiausia įvykių. Branduolio tanko erdvinės statistikos metodas lengvai gyvendinamas ir yra patrauklus vizualiai. (<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-kernel-density-works.htm>, https://en.wikipedia.org/wiki/Kernel_density_estimation).

Artimiausių kaimynų (Nearest Neighbor Analysis) analizės metodas atliekama matuojant atstumus nuo duomenų taškų iki jų artimiausi kaimynų. Skaičiuojamas viso duomenų rinkinio taškų atstumų iki artimiausi kaimynų vidurkis ir lyginamas su teoriniu vidutiniu atstumu. Atstumai nuo taškų iki jų artimiausi kaimynų yra „Euklido“ atstumai, t. y. atstumai tiesia linija. Šitoks atstumų matavimo būdas turi ir pranašumų ir trūkumų. Pranašumas yra, kad atstumus paprasta apskaičiuoti keliomis geometrijos funkcijomis. Trūkumas tai, kad „Euklido“ atstumas tinka analizuojant ne visus taškinius duomenis priklausomai nuo norimų rezultatų.

Norint nustatyti erdvinio taškų išsidėstymo tipą, reikia atlikti keletą paprastų skaičiavimų. Pirmiausia apskaičiuojamas vidutinis atstumas iki artimiausio kaimyno:

$$NND^* = \frac{\sum_{i=1}^n NND_i}{n} \quad (3)$$

kur NND_i – atstumas iki artimiausio kaimyno nuo taško i , n – taškų skaičius. Jei taškų išsidėstymas idealiai grupinis (visi taškai vienoje vietoje), NND^* reikšmė yra 0. Tada apskaičiuojamas atsitiktinio erdvinio skirstinio teorinis vidutinis atstumas iki artimiausio kaimyno:

$$NND^R = \frac{1}{2\sqrt{Tankis}} \quad (4),$$

$$R = \frac{NND^*}{NND^R} \quad (5)$$

kur tankis lygus taškų skaičiaus ir nagrinėjamos srities ploto santykiui. Tada iš šių dviejų kintamųjų gaunamas normuotas artimiausio kaimyno rodiklis (R) pagal kurį galima nustatyti erdvinio taškų išsidėstymo pobūdį. Normuotas artimiausio kaimyno rodiklis R patogus tuo, kad jo reikšmių intervalas griežtai apibrėžtas nuo 0 iki 2,149, todėl galima sudaryti tokią klasifikaciją:

7 lentelė. Klasifikavimo schema pagal artimiausio kaimyno rodiklį R

Idealiai grupinis	Labiau grupinis, negu atsitiktinis	Atsitiktinis	Labiau tolygus, negu atsitiktinis	Idealiai tolygus
$R = 0$	$R = 0,5$	$R = 1$	$R = 1,5$	$R = 2,149$

Tokios aprašomosios klasifikacijos analizei dažniausiai nepakanka, todėl norint nustatyti erdvinio taškų išsidėstymo pobūdį reikia atlikti statistinių hipotezių tikrinimą. Tokio tikrinimo nulinė hipotezė yra ta, kad erdvinis taškų išsidėstymas yra atsitiktinis, o tikrinimo statistika yra:

$$Z_{NND} = \frac{NND^* - NND^R}{\sigma_{NND}} \quad (6),$$

$$\text{kur } \sigma_{NND} = \frac{0.26136}{\sqrt{n(\text{Tankis})}} \quad (7)$$

Atliekant vienpusį statistinį bandymą su 10 proc. tikimybe (σ -reikšmė = 0,10), gaunama kritinė Z_{NND} reikšmė apytiksliai lygi 1,28. Todėl, jei $Z_{NND} > 1,28$, erdvinis taškų išsidėstymas labiau tolygus negu atsitiktinis, jei $Z_{NND} < -1,28$, erdvinis taškų išsidėstymas daug labiau grupinis negu atsitiktinis, o jei $-1,28 < Z_{NND} < 1,28$ – erdvinis taškų išsidėstymas nedaug skiriasi nuo gaunamo atsitiktiniu Puasono erdviniu procesu.

(<http://ceadserv1.nku.edu/longa//geomed/ppa/doc/NNA/NNA.htm>,

<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/average-nearest-neighbor.htm>,

<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/h-how-average-nearest-neighbor-distance-spatial-st.htm>).

Morano I indekso skaičiavimo metodas. Toblerio (1970) pirmas geografijos dėsnis teigia, kad „viskas tarpusavyje yra susiję, tačiau artimesni objektai labiau susiję nei tolimesni“. Tai galima pavadinti autokoreliacija erdvėje, kuri reiškia, kad atsitiktiniai rodikliai atskirose padėtyse gali tarpusavyje koreliuoti. Pagrindinis autokoreliacijos matas geostatistikoje yra Morano I statistika:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2) (\sum_{i \neq j} w_{ij})} \quad (8)$$

kur w_{ij} – erdvinių svertų matrica, charakterizuojanti objekto aplinką.

Koreliacijos koeficientas, $I=1$ reiškia maksimalią teigiamą koreliaciją, $I = -1$ – maksimalią neigiamą koreliaciją ir $I = 0$ – koreliacijos nebuvimą. Kuo arčiau vienas kito atžvilgiu yra objektai, tuo jų reikšmės turėtų būti panašesnės. Morano I statistika gali būti apskaičiuojama visiems galimiems atstumams (paprastai atstumų intervalams) tarp taškų, kuriuose išmatuotas nagrinėjamas reiškinys, reikšmių. Morano I indekso skaičiavimo metodas plačiai naudojamas geografijoje ir analizuojant duomenis GIS sistemose. (<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/h-how-spatial-autocorrelation-moran-s-i-spatial-st.htm>,

https://en.wikipedia.org/wiki/Moran%27s_I,

<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/spatial-autocorrelation.htm>).

Getis-Ord G_i^* statistikos skaičiavimo metodas. Atsitiktiniai reiškiniai pasiskirsto nežymiai susikoncentruodami. Žmonių rega natūraliai bando atpažinti pasikartojimus ar dėsningumus ir ten, kur jų nėra. Gali būti pakankamai sudėtinga nustatyti, ar duomenų elementai yra pasiskirstę atsitiktinai, ar galima aptikti tam tikrus dėsningumus. Todėl duomenų analizei naudoja tokius analizės metodus, kaip karštųjų taškų paieška (Getis-Ord G_i^*), kad būtų galima apskaičiuoti pasiskirstymo dėsningumus. Statistiškai reikšmingų koncentracijų nustatymas leidžia gauti labai vertingos informacijos. Žinant, kur ir kada susidaro duomenų elementų koncentracija, galima kurti prielaidas apie priežastis, lemiančias tokį išsidėstymą.

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2]}{n-1}}} \quad (9)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (10)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2} \quad (11)$$

kur x_j yra atributo reikšmė, j , $w_{i,j}$ yra erdvinis svoris tarp savybės i ir j , n yra savybių skaičius ir G_i^* išreiškiamas kaip procentinis įvertinimas. Statistiškai kuo didesnis procentinis įvertinimas, tuo intensyvesnė taškų koncentracija. (<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/h-how-high-low-clustering-getis-ord-general-g-spat.htm>, <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/h-how-hot-spot-analysis-getis-ord-gi-spatial-stati.htm>).

Tyrimo tikslas išanalizuoti erdvinius duomenis, konkrečiai eismo įvykių duomenis, pasinaudojant erdvinės analizės metodais, kurie buvo atrinkti iš analizuotos literatūros. Duomenų apdorojimas ir konvertavimas į GIS sistemai suprantamą formatą bus atliekamas su Microsoft Excel programine įranga. Duomenų erdvinė analizė bus atliekama su Esri ArcMap programine įranga, kuri turi integruotus įrankius reikalingus tokiai analizei ir žemėlapių sudarymui.

III. DUOMENŲ ANALIZĖ

3.1. TYRIMO DUOMENŲ APDOROJIMAS IR PRITAIKYMAS

Darbe analizuojami Lietuvos kelių policijos tarnybos duomenys 2015 m. - 2017 m., 2018 m. nebuvo analizuojami, nes konkrečiai šiuos atvirus duomenis apie eismo įvykius pateikia tik liepos mėnesį už praėjusius metus. 2013 m. – 2014 m. duomenys yra pateikti, bet tuomet dar nebuvo fiksuojamos tikslios įvykio koordinatės, pasinaudojus konkrečiu gatvės pavadinimu ir namo numeriu būtų galima nustatyti apytiksles koordinates pasinaudojus geokodavimo įrankiais, tačiau taip būtų prarastas tikslumas ir būtų iškreipti rezultatai. Analizuojami duomenys pateikiami Microsoft Excel darbaknygėse už kiekvienus metus atskiruose failuose. Toks pateikiamas duomenų formatas nėra tinkamas naudoti analizei GIS sistemoje.

Kiekvienas duomenų failas turi 59 tekstinius informacijos stulpelius, aktualiausi 20 iš jų šiam darbui yra:

8 lentelė. Analizuojamų duomenų stulpelių aprašymas.

Duomenų stulpelio pavadinimas	Duomenų stulpelio informacijos aprašymas	Talpinama informacija arba informacijos pavyzdys
Savivaldybė	(Būtinai) Nurodoma savivaldybė kurioje įvyko eismo įvykis.	Pvz. Klaipėdos m. sav, Klaipėdos r. sav.
Data	(Būtinai) Nurodoma įvykio data.	Pvz. 2019-01-01
Laikas	(Būtinai) Nurodomas įvykio laikas.	Pvz. 18:00:00
Įvykio rūšis	(Būtinai) Nurodoma eismo įvykio rūšis, kuri gali būti tikslinama dar 2 papildomais požymiais, bet pagrindinė ir mums aktuali informacija pateikta pavyzdyje.	Pvz. <ul style="list-style-type: none">• Apvirtimas• Kiti eismo įvykiai• Susidūrimas• Susidūrimas su bėgine transporto priemone• Susidūrimas su dviračiu• Susidūrimas su mopedu• Susidūrimas su motociklu• Susidūrimas su stovinčia transporto priemone• Užvažiavimas ant gyvūno• Užvažiavimas ant kliūties• Užvažiavimas ant pėsčiojo
Dalyvių skaičius	(Būtinai) Nurodomas įvykio dalyvių skaičius, skaičiuojami žmonės.	Pvz. 2
Žuvusių skaičius	(Būtinai) Nurodomas įvykyje žuvusiųjų skaičius.	Pvz. 1
Sužeistų skaičius	(Būtinai) Nurodomas įvykyje sužeistųjų skaičius.	Pvz. 1

Dalyvavusių transporto priemonių skaičius	(Būtinai) Nurodomas įvykyje dalyvavusių transporto priemonių skaičius.	Pvz. 2
Dangos rūšis	(Pasirenkamas) Nurodoma įvykio vietos dangos rūšis.	Pvz. <ul style="list-style-type: none"> • Asfaltbetonis, cementbetonis • Be dangos • Grindinys • Žvyrkelis
Dangos būklė	(Pasirenkamas) Nurodoma įvykio vietos dangos būklė.	Pvz. <ul style="list-style-type: none"> • Apledėjusi • Apsnigta • Sausa • Šlapia • Užteršta
Paros metas	(Pasirenkamas) Nurodomas įvykio paros metas.	Pvz. <ul style="list-style-type: none"> • Diena • Sutemos (prieblanda) • Tamsus paros metas
Apšvietimas	(Pasirenkamas) Nurodoma dirbtinio apšvietimo situacija įvykio vietoje.	Pvz. <ul style="list-style-type: none"> • Įjungtas • Neįjungtas • Neįrengtas
Meteorologinės sąlygos	(Pasirenkamas) Nurodomos meteorologinės sąlygos įvykio vietoje. (Gali būti parenkami keli variantai).	Pvz. <ul style="list-style-type: none"> • Apsiniaukę • Giedra • Lietus • Lijundra • Pūga • Rūkas • Sniegas, kruša • Stiprus vėjas
Kelio, gatvės kreivė	(Pasirenkamas) Nurodoma gatvės krypties kitimas.	Pvz. <ul style="list-style-type: none"> • Horizontalus vingis • Tiesi įkalnė • Tiesi nuokalnė • Tiesus horizontalus ruožas • Vingiuota įkalnė • Vingiuota nuokalnė
Nulemiantys veiksniai	(Pasirenkamas) Nurodomas eismo įvykį nulėmęs veiksnys. (Gali būti parenkami keli variantai).	Pvz. <ul style="list-style-type: none"> • Blogai matomas horizontalus kelio ženklavimas • Blogas kelio ženklų matomumas • Blogas matomumas įkalnėje • Blogas matomumas sankryžoje • Kiti • Kliūtis kelyje, gatvėje • Medis • Nelygi danga, duobės • Nepakankamas kelio,

		gatvės apšvietimas <ul style="list-style-type: none"> • Nėra šaligatvių, pėsčiųjų takų • Slidus kelias • Stulpas
Atitvarai (1 - yra, 0 - nėra)	(Pasirenkamas, nebūtinai) Nurodoma ar įvykio vietoje įrengti kelio atitvarai.	Pvz. 0
Sankryžos tipas	(Pasirenkamas, nebūtinai) Įvykiui įvykus sankryžoje nurodomas sankryžos tipas.	Pvz. <ul style="list-style-type: none"> • NEREGULIUOJAMA • PRIE_SANKRYZOS • REGULIUOJAMA
Kelio, gatvės elementai	(Pasirenkamas, nebūtinai) Nurodomas kelio, gatvės elementas kur įvyko įvykis.	Pvz. <ul style="list-style-type: none"> • Darbų vykdymo vieta • Degalinė • Išvažiavimas iš kiemo, automobilių stovėjimo aikštelės ir pan. • Keleivinio transporto sustojimo vieta • Kiemas • Kita teritorija • Laukas • Miškas • Pėsčiųjų perėja • Tiltas, estakada, viadukas
Ilguma	(Būtinai) Nurodoma įvykio geografinė ilguma.	Pvz. 6177919
Platuma	(Būtinai) Nurodoma įvykio geografinė platuma.	Pvz. 320059

Iš atvirų duomenų failų buvo atsisakyta neesminių informacijos stulpelių, kaip „**Įvykio registro kodas**“, „**Apgadintų transporto priemonių skaičius**“, „**Sankryžos tipas**“, „**Transporto priemonės registracijos valstybė**“, „**Transporto priemonės kategorija**“, „**Markė**“, „**Modelis**“, „**Pasišalinimas iš įvykio vietos**“, „**Transporto priemonės ypatumai**“, „**Gedimai, nulėmę eismo įvykį**“, „**Apgadinimai**“, „**Transporto priemonės ID**“ ir kiti.

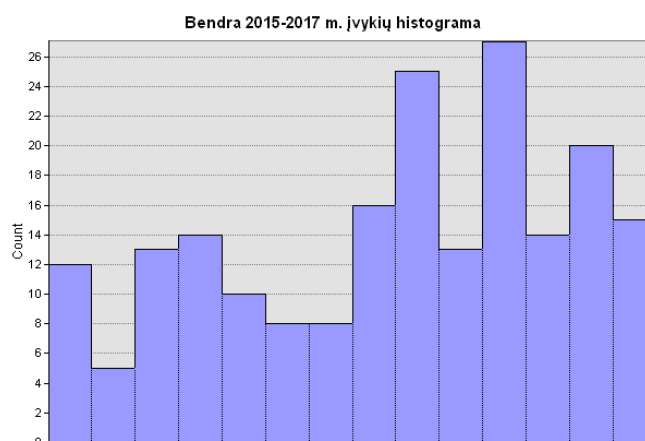
Taip pat buvo atsisakyta duomenų, kurie labiau identifikuoja vairuotojus, tai duomenys apie lytį, pilietybę, gimimo datą, neįgalumą, vairavimo stažą. Visi minimi duomenys labai pagelbėtų nagrinėjant eismo įvykius detalai, norint išsiaiškinti įvykių priežastis ir pasekmės, tačiau šio darbo tikslas pabandyti įvykių duomenis pritaikyti GIS analizei ir išanalizuoti bendrą situaciją, todėl dalies duomenų buvo atsisakyta.

9 lentelė. Taškų/įvykių pasiskirstymas pagal metus.

Metai	Taškų/įvykių skaičius	Procentinė dalis
2015 m.	265	29,4%
2016 m.	310	34,4%
2017 m.	325	36,2%

3.2. DUOMENŲ ANALIZĖ GIS SISTEMOJE

Šiame darbe Klaipėdos rajono eismo įvykių duomenų analizė buvo atlikta su Esri ArcMap, versija 10.6.1 programine įranga, kurią galima rasti internetiniu adresu <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/>. Pasinaudojant šia programine įranga galime lengvai nustatyti ar eismo įvykių duomenims būdingas kiekio didėjimas.



14 pav. Analizuojamų duomenų augimo trendas.

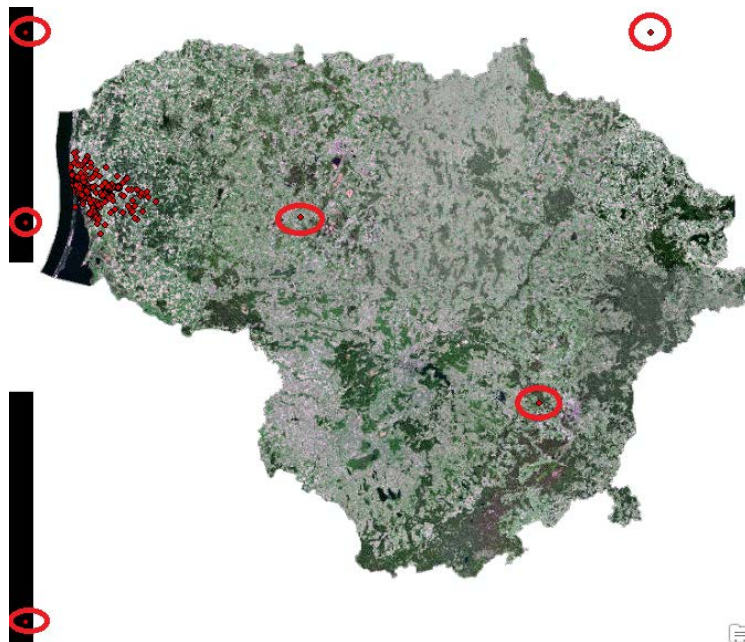
Iš sugeneruotos histogramos matome, kad eismo įvykių skaičius yra augantis, kas patvirtina sprendžiamos problemos aktualumą.

Įkėlus duomenis į GIS sistemą, galima pažiūrėti taškų atributų lentelę (žr. 15 pav.). Šiame darbe analizuojamiems įvykių taškams reikalingiausi yra datos, savivaldybės ir koordinacių atributai, šiuo atveju atitinkamai: **data** ir **savivaldybe**, **ilguma**, **platuma**. Datos (data) atributas yra išreikšta standartiniu formatu YYYY-MM-DD, kur YYYY – metai, MM – mėnuo, DD – diena. Savivaldybės atributas išreikštas tekstine forma ir jis gali būti: **Klaipėdos m. sav.** ir **Klaipėdos r. Sav.**

OBJECTID	savivaldybe	data	laikas	ilpuma	platuma	ivykio_rusis	ivykio_rusis2	ivykio_rusis3
1	Klaipėdos m. sav.	2017-01-04	16:54:00	6171962	326100	Susidūrimas	Priešpriešinis susidūrimas	Priešpriešinis susidūrimas
2	Klaipėdos m. sav.	2017-01-04	17:43:00	6178869	320965	Susidūrimas su stovinio transporto priemone	Susidūrimas judant ta pačia kryptimi	Atstrenkimas į galą
3	Klaipėdos m. sav.	2017-01-06	07:56:00	6176759	320917	Užvažiavimas ant pėsčiojo	Užvažiavimas ant pėsčiojo pėsčiųjų perėjime	Pėsčiasis pėsčiųjų perėjime
4	Klaipėdos m. sav.	2017-01-09	18:09:00	6181899	317358	Užvažiavimas ant pėsčiojo	Užvažiavimas ant pėsčiojo pėsčiųjų perėjime	Kiti užvažiavimai ant pėsčiojo
5	Klaipėdos m. sav.	2017-01-10	12:00:00	6176765	320648	Kiti eismo įvykiai	Kiti eismo įvykiai	Kiti eismo įvykiai
6	Klaipėdos m. sav.	2017-01-10	14:40:00	6174996	323226	Susidūrimas	Kiti susidūrimai	Soninis susidūrimas
7	Klaipėdos m. sav.	2017-01-11	10:35:00	6180422	319292	Susidūrimas	Susidūrimas judant ta pačia kryptimi	Įuostės pakėlimas į gatvę
8	Klaipėdos m. sav.	2017-01-15	17:45:00	6178633	321213	Užvažiavimas ant pėsčiojo	Užvažiavimas ant pėsčiojo pėsčiųjų perėjime	Pėsčiasis pėsčiųjų perėjime
9	Klaipėdos m. sav.	2017-01-17	17:00:00	6177924	320232	Susidūrimas	Susidūrimai suktant į kairę (apsisukant)	Susidūrimas su važiuojančiu transportu
10	Klaipėdos m. sav.	2017-01-18	10:47:00	6178114	320377	Kiti eismo įvykiai	Kiti eismo įvykiai	Kiti eismo įvykiai
11	Klaipėdos m. sav.	2017-01-19	14:59:00	6179281	319686	Kiti eismo įvykiai	Kiti eismo įvykiai	Kiti eismo įvykiai
12	Klaipėdos m. sav.	2017-01-19	18:01:00	6175226	321992	Užvažiavimas ant pėsčiojo	Užvažiavimas ant pėsčiojo, kai nėra pėsčiųjų	Kiti užvažiavimai ant pėsčiojo
13	Klaipėdos m. sav.	2017-01-21	11:54:00	6178884	319674	Susidūrimas su stovinio transporto priemone	Kiti eismo įvykiai	Susidūrimas su stovinio transporto priemone
14	Klaipėdos m. sav.	2017-01-23	13:00:00	6178652	321324	Užvažiavimas ant pėsčiojo	Užvažiavimas ant pėsčiojo, kai nėra pėsčiųjų	Kiti užvažiavimai ant pėsčiojo
15	Klaipėdos m. sav.	2017-01-23	18:53:00	6173857	322413	Užvažiavimas ant pėsčiojo	Užvažiavimas ant pėsčiojo pėsčiųjų perėjime	Pėsčiasis pėsčiųjų perėjime
16	Klaipėdos m. sav.	2017-02-01	15:33:00	6175251	320925	Susidūrimas	Susidūrimas judant ta pačia kryptimi	Atstrenkimas į galą
17	Klaipėdos m. sav.	2017-02-04	11:29:00	6177026	321981	Susidūrimas	Kiti susidūrimai	Soninis susidūrimas
18	Klaipėdos m. sav.	2017-02-07	07:56:00	6178332	320899	Užvažiavimas ant pėsčiojo	Užvažiavimas ant pėsčiojo, kai nėra pėsčiųjų	Pėsčiasis išėjo iš už pėsčiųjų perėjimo
19	Klaipėdos m. sav.	2017-02-11	08:50:00	6177058	322466	Susidūrimas	Susidūrimas suktant į dešinę	Susidūrimas su važiuojančiu transportu
20	Klaipėdos m. sav.	2017-02-13	20:25:00	6182440	317606	Užvažiavimas ant pėsčiojo	Užvažiavimas ant pėsčiojo pėsčiųjų perėjime	Kiti užvažiavimai ant pėsčiojo
21	Klaipėdos m. sav.	2017-02-21	18:25:00	6175686	322905	Susidūrimas	Susidūrimas judant ta pačia kryptimi	Atstrenkimas į galą
22	Klaipėdos m. sav.	2017-02-26	16:13:00	6174216	323452	Susidūrimas	Susidūrimai suktant į kairę (apsisukant)	Susidūrimas su važiuojančiu transportu
23	Klaipėdos m. sav.	2017-02-28	16:48:00	6173333	321715	Susidūrimas	Susidūrimas judant ta pačia kryptimi	Atstrenkimas į galą
24	Klaipėdos m. sav.	2017-02-28	19:00:00	6179142	320179	Užvažiavimas ant pėsčiojo	Užvažiavimas ant pėsčiojo pėsčiųjų perėjime	Pėsčiasis pėsčiųjų perėjime
25	Klaipėdos m. sav.	2017-03-06	14:44:00	6179334	320530	Susidūrimas	Susidūrimas judant ta pačia kryptimi	Atstrenkimas į galą
26	Klaipėdos m. sav.	2017-03-08	18:20:00	6179501	319631	Kiti eismo įvykiai	Kiti eismo įvykiai	Kiti eismo įvykiai
27	Klaipėdos m. sav.	2017-03-09	19:10:00	6179291	319621	Užvažiavimas ant pėsčiojo	Užvažiavimas ant pėsčiojo pėsčiųjų perėjime	Pėsčiasis pėsčiųjų perėjime
28	Klaipėdos m. sav.	2017-03-11	11:13:00	6173335	321709	Susidūrimas	Susidūrimai suktant į kairę (apsisukant)	Susidūrimas su važiuojančiu transportu
29	Klaipėdos m. sav.	2017-03-13	10:10:00	6183648	319644	Susidūrimas	Kiti eismo įvykiai	Susidūrimas su atgal judančiu transportu

15 pav. Įkeltų įvykių atributų lentelė GIS sistemoje.

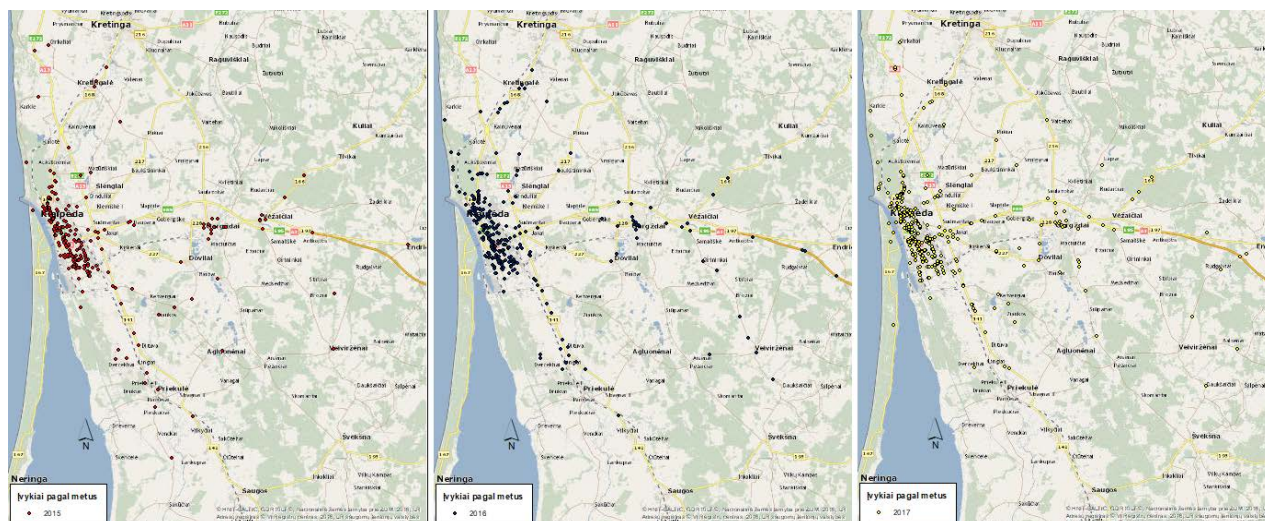
Tokių tekstinių duomenų analizė būtų labai sudėtinga ir reikalaujanti daug laiko, tuos pačius duomenis pateikus vizualiai situacija pasikeičia. Vizualiai pateiktą erdvinę informaciją galima perprasti greičiau ir iškart susidaryti bendrą vaizdą apie duomenis, kaip jie pasiskirstę. (žr. 16 pav.).



16 pav. 2015-2017 m. įvykių taškų pasiskirstymas.

Matant eismo įvykių taškus sudėliotus ant žemėlapių galima pastebėti, kad duomenyse yra ir klaidų, pastebėti taškai, kurie atsidūrė už Klaipėdos rajono ribų, jie yra su klaidingai nurodytomis koordinatėmis (žr. 16 pav.). Šias klaidas pastebėti analizuojant tekstinius duomenis būtų sunku. Dėl tyrimo tikslumo klaidingi taškai turės būti pašalinti, nes pagal jų atributus galima nustatyti tik gatvę, kurioje įvykis įvyko, o ne konkrečią vietą.

Panaudojant integruotas GIS funkcijas galima greitai išrūšiuoti taškus pagal metus ir sudaryti žemėlapius. Iš rezultatų galima pastebėti, kad daugiausia eismo įvykiai tankiausiai susikoncentravę yra miestuose, Klaipėdoje ir Gargžduose, eismo įvykių vietų koncentracijos už miestų nesimato.



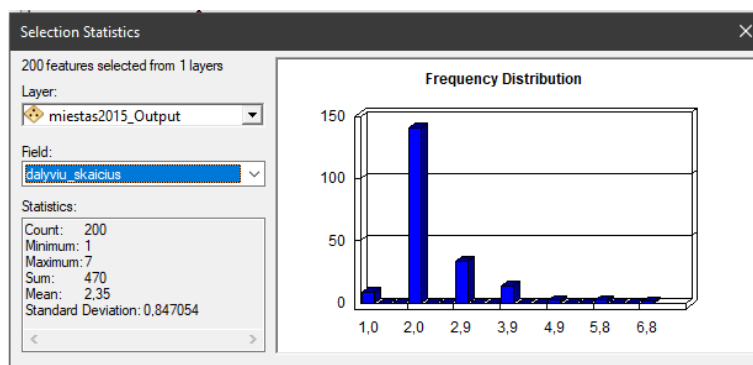
17 pav. 2015-2017 m. įvykių taškų pasiskirstymas pagal metus.

Kaip anksčiau buvo paminėta, duomenyse yra ir klaidingai įvestų taškų koordinatčių. Tiksliai atsekti klaidų neįmanoma, pagal taškų atributus galima nustatyti gatvę, bet ne tikslias koordinates, todėl buvo nuspręsta tyčia duomenų neiškreipti ir klaidingus taškus pašalinti pasinaudojus ArcMap įrankiais „Identify“ ir „Edit features“, kurių pagalba paspaudus ant taško jį galima identifikuoti bendroje duomenų bazėje ir iš jos pašalinti. Iš GIS duomenų pašalinus 11 taškų su klaidingomis koordinatėmis, duomenų bazėje lieka 889 taškai.

10 lentelė. Patikslintų taškų/įvykių pasiskirstymas pagal metus.

Metai	Taškų/įvykių skaičius	Pašalinti klaidingi taškai
2015 m.	265	0
2016 m.	300	10
2017 m.	324	11

Norint teisingai analizuoti turimus duomenis ir interpretuoti gautas išvadas yra būtina žinoti, kaip yra statistiškai pasiskirstę taškų atributų duomenys. Tokiam darbui atlikti naudojama GIS turi integruotą statistikos pateikimo funkciją, kurios pagalba galima įvertinti atributų duomenų pasiskirstymą.



18 pav. Atributų duomenų pasiskirstymo įvertinimas.

11 lentelė. Atributų duomenų pasiskirstymas Klaipėdos mieste ir užmiestyje.

	2015 m.	2016 m.	2017 m.	2015 m. miestas	2016 m. miestas	2017 m. miestas	2015 m. užmiestis	2016 m. užmiestis	2017 m. užmiestis
Dalyvių skaičius									
COUNT	265	300	324	200	222	230	65	78	94
MIN	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MAX	7	11	11	7	9	8	6	11	11
SUM	614	712	768	470	535	541	144	177	227
MEAN	2,31	2,29	2,36	2,35	2,30	2,34	2,21	2,26	2,41
DEVIATION	0,88	0,94	1,03	0,84	0,76	0,81	0,96	1,34	1,42
Žuvusiųjų skaičius									
COUNT	265	300	324	200	222	230	65	78	94
MIN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAX	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SUM	7	9	11	2	3	2	5	6	9
MEAN	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,008	0,07	0,07	0,09
DEVIATION	0,16	0,16	0,18	0,09	0,11	0,09	0,26	0,26	0,29
Sužeistųjų skaičius									
COUNT	265	300	324	200	222	230	65	78	94
MIN	0	0	0	0	0	1	0	0	0
MAX	4	11	8	4	3	4	4	11	8
SUM	301	366	382	227	261	262	74	105	120
MEAN	1,13	1,18	1,17	1,13	1,12	1,13	1,13	1,34	1,27
DEVIATION	0,50	0,75	0,66	0,46	0,43	0,41	0,60	1,29	1,04
Dalyvusiųjų transporto priemonių skaičius									
COUNT	265	300	324	200	222	230	65	78	94
MIN	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MAX	5	5	6	4	5	6	5	4	4
SUM	412	500	538	315	371	379	97	129	159
MEAN	1,55	1,16	1,65	1,57	1,59	1,64	1,49	1,65	1,69
DEVIATION	0,68	0,69	0,74	0,64	0,68	0,75	0,78	0,71	0,71

Iš duomenų pasiskirstymo (žr. 11 lentelė) galima pamatyti, kad eismo įvykių skaičiaus bendra tendencija yra kasmet didėjanti. Iš duomenų išskyrus miesto ir užmiestio eismo įvykius taip pat galima pastebėti, kad įvykių skaičiaus tendencija yra taip pat didėjanti.

Atributas **dalyvių skaičius** nurodo kiek žmonių dalyvavo eismo įvykyje. Rezultatai rodo, kad dalyvių skaičius kasmet didėja, ypač padidėjo užmiestyje, 2017 metais. Įdomu tai, kad rajone pasitaiko tokių eismo įvykių, kuriuose dalyvauja net 11 žmonių, tokie įvykiai įvyko 2016 m. ir 2017 m.

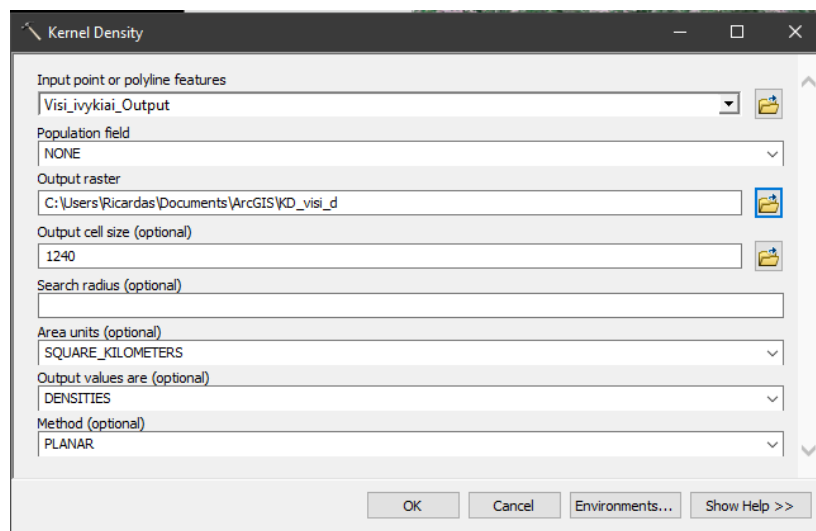
Žuvusiųjų skaičius kasmet taip pat didėja. Klaipėdos mieste šis dydis išlieka panašus, nei didėja, nei mažėja, bet rajone vėl galima pastebėti, kad rajono keliuose žuvusiųjų skaičius stabiliai didėja.

Sužeistųjų skaičius didėja. Rezultatai rodo, kad šis rodiklis didėja ir mieste ir rajone. Pasitaikė eismo įvykių, kurių metu buvo sužeisti 8 ar net 11 žmonių. Tokie eismo įvykiai įvyko rajone 2016 m. ir 2017 m.

Dalyvavusių transporto priemonių skaičius kasmet didėja kaip ir kiti rodikliai. Maksimalus transporto priemonių skaičius dalyvavusių eismo įvykiuose išlieka panašus ir stipriai neišsiskiria.

3.3. BRANDUOLIO TANKIO VERTINIMO METODAS

Branduolio tankio vertinimo metodas yra dažniausiai naudojamas metodas, kai reikia sudaryti „karštųjų taškų“, dar galima pavadinti vietų, žemėlapi. ArcMap programinė įranga turi integruotą įrankį, kuriuo pasinaudojus galima greitai sudaryti tokį žemėlapi. Pirmasis „karštųjų taškų“ žemėlapis sudarytas su visais duomenų bazės taškais ir programinės įrangos siūlomais įrankio parametrais.

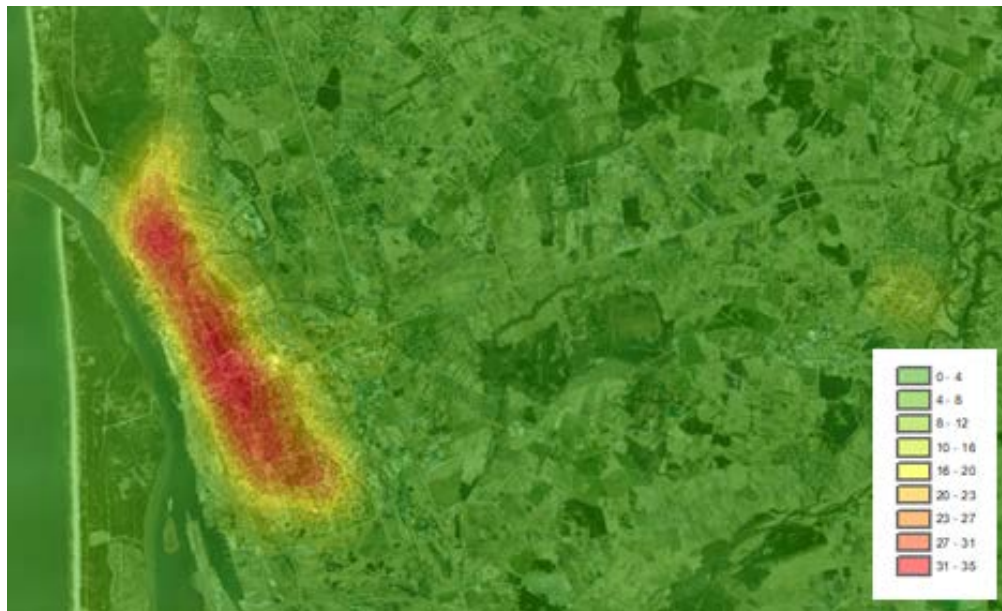


19 pav. Branduolio tankio vertinimo įrankio parametų langas.



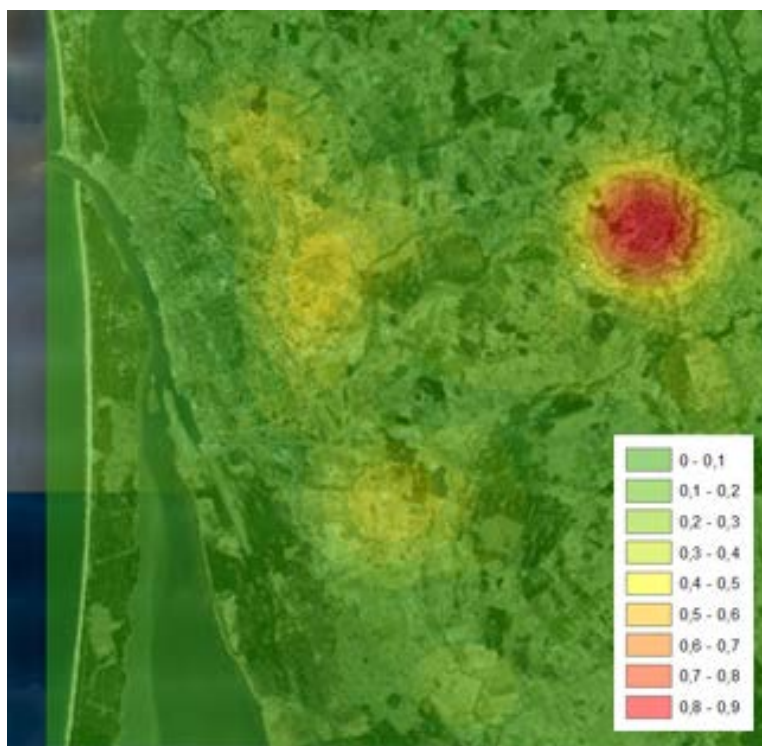
20 pav. 2015 m. – 2017 m. karštųjų taškų žemėlapis.

Iš gautų rezultatų galima matyti, kad didžiausi eismo įvykių „karštieji taškai“ yra Klaipėdos mieste, o Gargžduose matyti tik nedidelės užuomazgos. Taip sudaryto žemėlapio tikslumas yra labai mažas, norint sudaryti tikslesnį žemėlapij reikia įrankio parametruose nurodyti mažesnį gardelės dydį, pavyzdžiui 100.



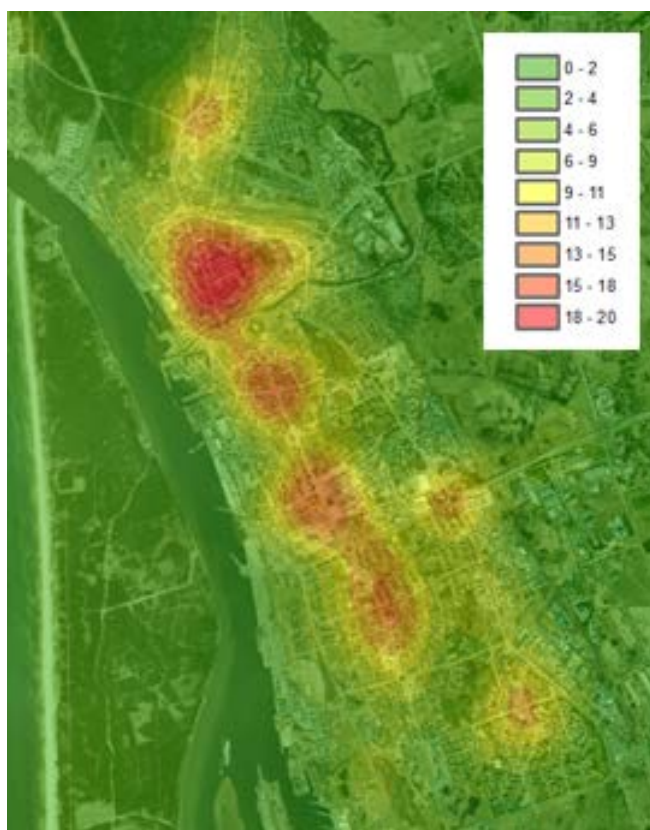
21 pav. 2015 m. – 2017 m. karštųjų taškų žemėlapis nurodant mažesnį gardelės dydį.

Iš rezultatų matoma, kad pakoregavus gardelės dydį galima gauti tikslesnius rezultatus. Šiuo atveju jau galima matyti aplink kurias Klaipėdos miesto gatves formuojasi „karštieji taškai“, tačiau miesto rezultatai miesto rezultatai paslepia rajono rezultatus, todėl reikia atskirti miesto eismo įvykių taškus, nuo rajono eismo įvykių taškų ir tada pritaikyti branduolio tankio vertinimo įrankį.



22 pav. 2017 m. Klaipėdos rajono karštųjų taškų žemėlapis.

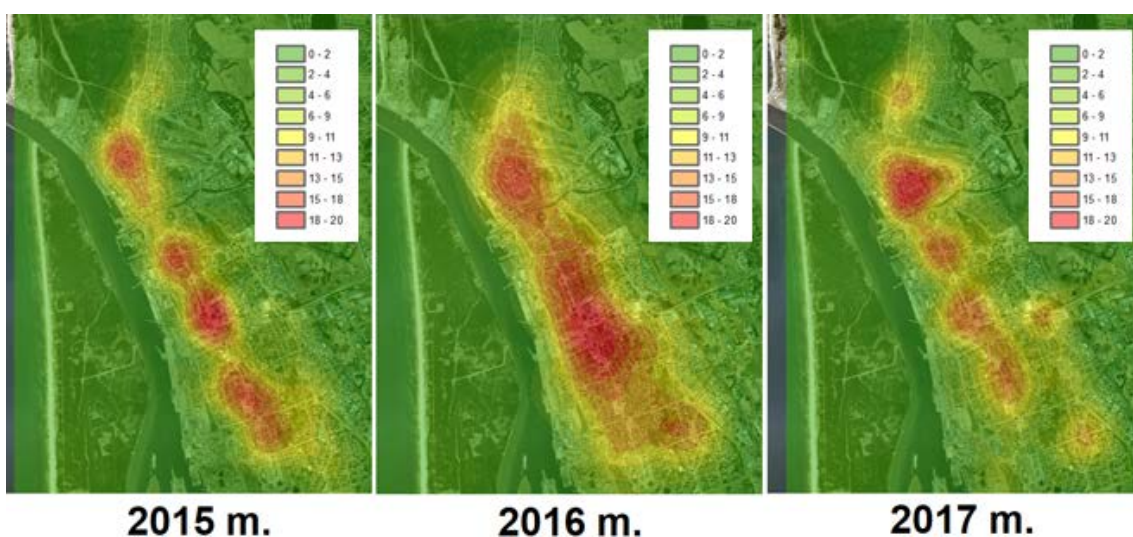
Iš gauto rezultato galima matyti, kad didžiausias probleminis taškas rajone yra Gargždų miestas. Taip pat galima matyti, kad aplink Klaipėdos miestą taip pat yra susiformavę taškai. Konkrečiau tai 3 pagrindiniai įvažiavimai į Klaipėdos miestą: Jakų žiedas, Palangos plentas, Rimkai.



23 pav. 2017 m. Klaipėdos miesto karštųjų taškų žemėlapis.

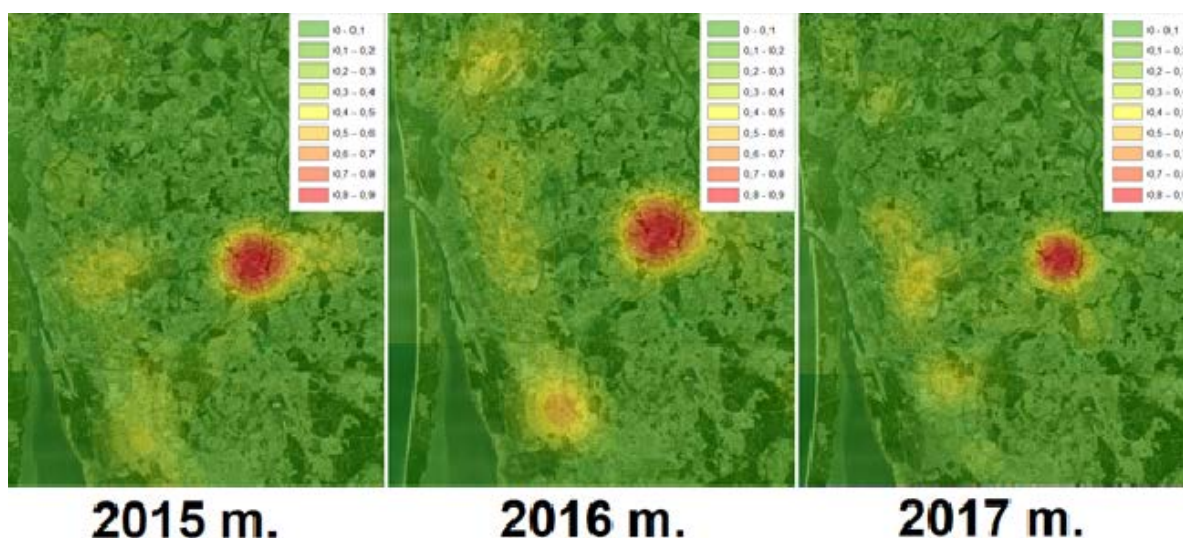
Iš gauto žemėlapio galima nustatyti, kad 2017 m. avaringiausios gatvės Klaipėdos mieste buvo: Liepojos g., H. Manto g., Priestočio g., Tiltų g., Sausio 15-osios g, Taikos pr., Smiltelės g., Baltijos pr. žiedas.

Palyginimui buvo sudarytas 2015 m., 2016 m., 2017 m. Klaipėdos miesto karštųjų taškų žemėlapis (žr. 24 pav.). Labiausiai dėmesį atkreipia 2016 metų žemėlapis, kur galima pastebėti, kad tais metais eismo įvykių taškai buvo išsibarstę plačiau, o 2017 m. taškai vėl konsolidavosi į mažesnius plotus.



24 pav. 2015-2017 m. Klaipėdos miesto karštųjų taškų žemėlapių palyginimas.

Taip pat buvo sudarytas 2015 m., 2016 m., 2017 m., Klaipėdos rajono karštųjų taškų žemėlapis (žr. 25 pav.). Aiškiai matyti, kad rajone išsiskiria Gargždų miestas ir pagrindiniai įvažiavimai į Klaipėdą.

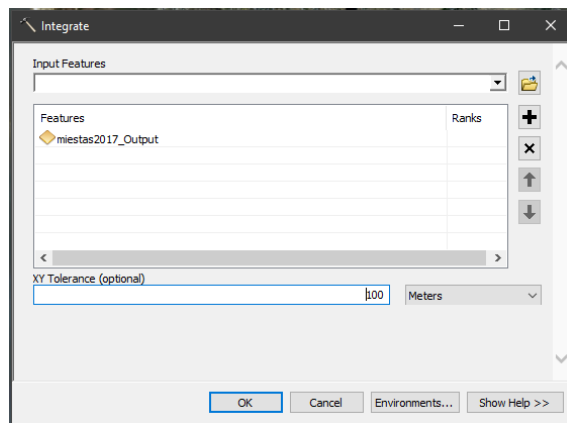


25 pav. 2015-2017 m. Klaipėdos rajono karštųjų taškų žemėlapių palyginimas.

Žiūrint į rezultatus ir juo analizuojant galima teigti, kad branduolio tankio vertinimo metodas yra tinkamas eismo įvykių analizei. Šis įrankis turi **Population field** parametą, kuriame nurodžius taškų atributą jis turės didesnę įtaką skaičiuojant karštųjų dėmių vietas, o tai būtų naudinga pvz. analizuojant kokiuose taškuose įvyksta nelaimės per kurias daugiausia sužeidžiama žmonių.

3.4. MORANO I INDEKSO SKAIČIAVIMO METODAS

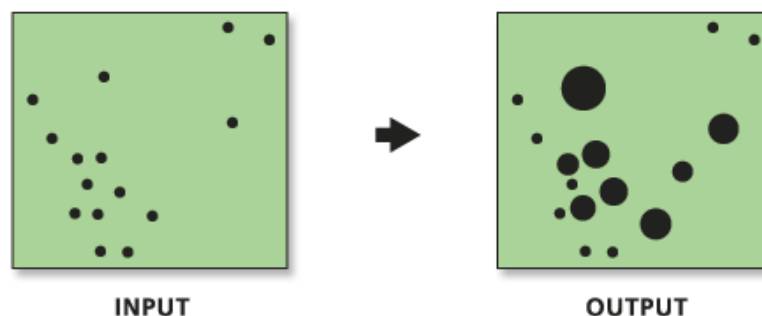
ArcMap programinė įranga turi integruotą įrankį, kuris gali apskaičiuoti Morano I indeksą, kuris parodo kaip taškai tarpusavyje koreliuojasi erdvėje. Norint paruošti išsimėčiusius taškinius duomenis Morano I indekso skaičiavimui reikia panaudoti **Integrate** ir **Collect Events** įrankius.



26 pav. ArcMap Integrate įrankio dialogo langas.

Reikia atkreipti dėmesį, kad įrankio „**XY Tolerance**“ parametro reikšmė buvo parinkta 100 metrų, tai buvo padaryta tam, kad gauti kuo didesnę rezultatų tikslumą.

Įrankis **Collect Events** naudojamas įvykių duomenis pvz. nusikaltimus, ligos duomenis, o šiuo atveju 2017 m. Klaipėdos mieste įvykusių eismo įvykių duomenis, konvertuojant į svetus, dar vadinamus svoriais.



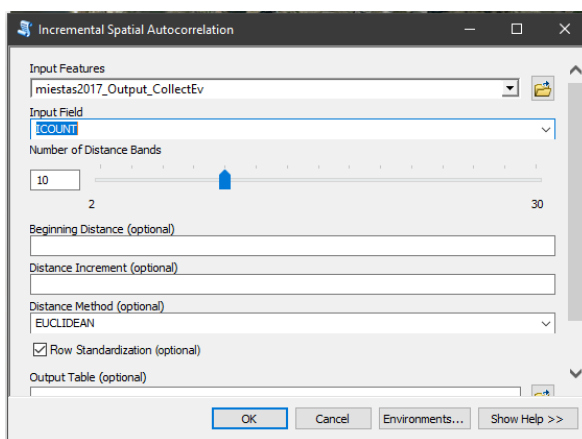
27 pav. Įrankio Collect Events veikimo principas (šaltinis <https://pro.arcgis.com>)

Įrankis **Collect Events** susieja atsitiktinius taškus, sukuria naują klasę, kurioje yra visos unikalios vietos, esančios pradinuose duomenyse. Tada pridedamas duomenų lauką, pavadinimu *ICOUNT*, kad būtų galima laikyti visų įvykių sumą kiekvienoje unikalioje vietoje.

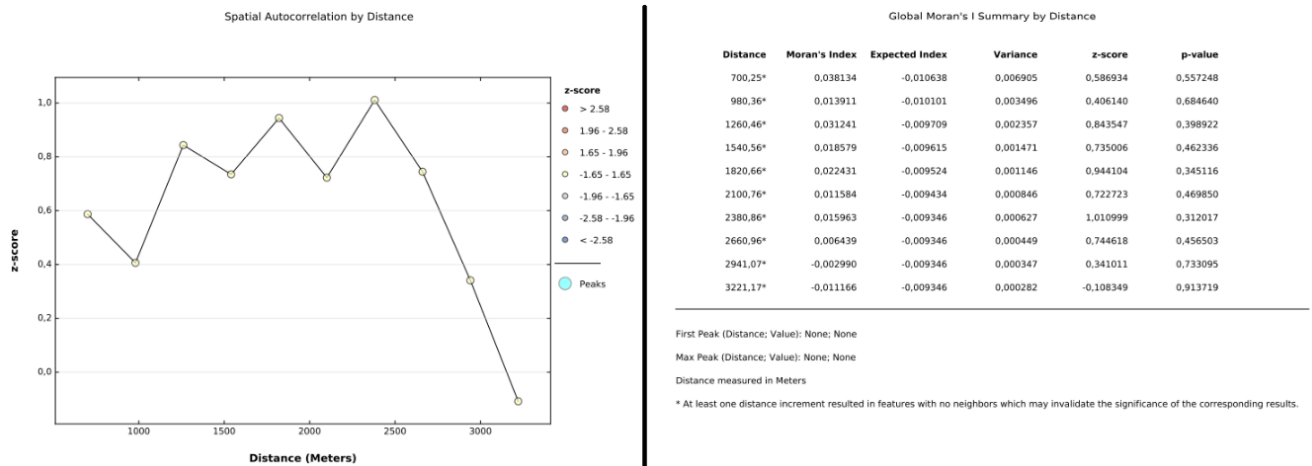


28 pav. Įrankio Collect Events rezultatas žemėlapyje, 2017 m. duomenys.

Kai taškai paruošti ir turi sverto atributą, galima duoti uždavinį sistemai apskaičiuoti Morano I indeksą. Atlikti šiam darbui reikia naudoti sistemoje integruotą įrankį **Spatial Autocorrelation (Morans I)**.



29 pav. Įrankio Spatial Autocorrelation (Morans I) dialogo langas.

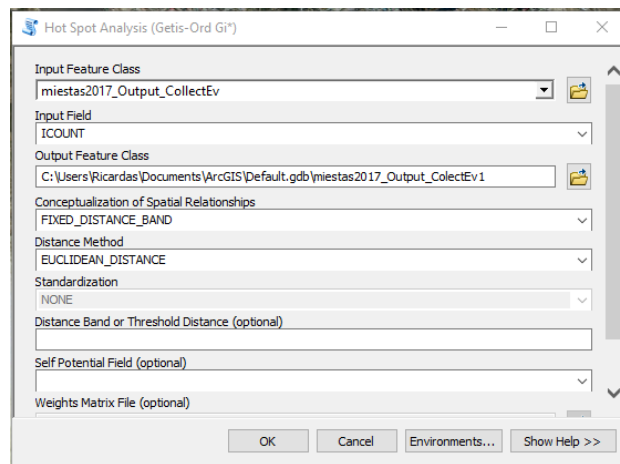


30 pav. Morano I indekso skaičiavimo rezultatai.

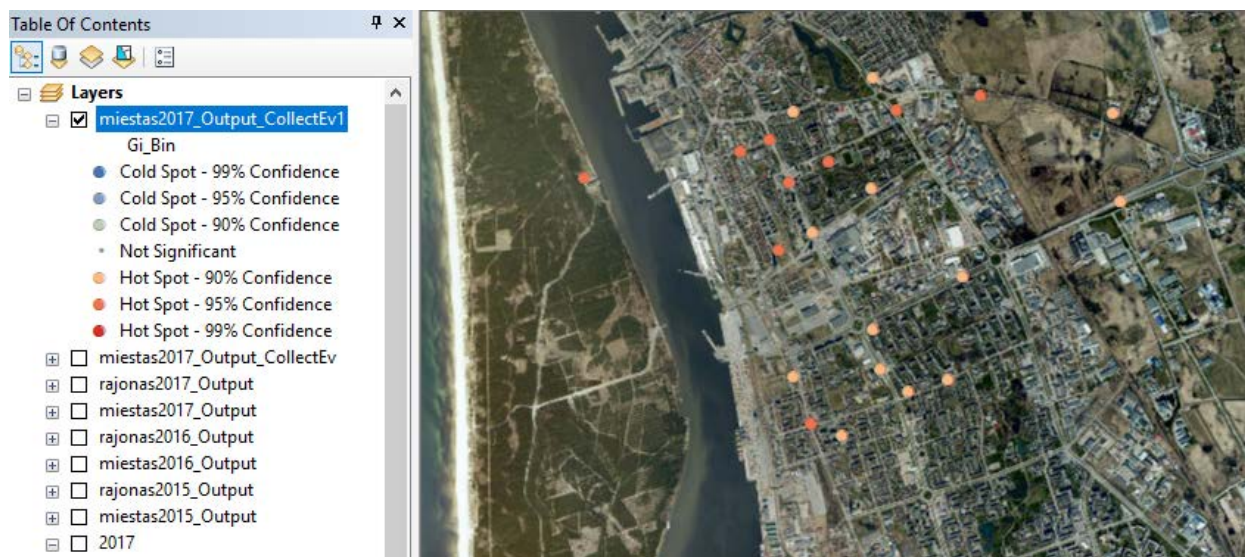
Morano I indekso skaičiavimas yra erdvinės statistikos metodas skirtas nustatyti taškų autokoreliaciją erdvėje. Rezultatai kinta nuo 0,038134 iki -0,011166, tai parodo, kad indeksas yra artimas 0. Tai reiškia, kad statistiškai reikšmingos autokoreliacijos tarp taškų erdvėje nėra.

3.5. GETIS-ORD GI* STATISTIKOS SKAIČIAVIMO METODAS

Taškų pasiskirstymo tyrimui Getis-Ord Gi* metodu taip pat yra reikia paruošti išsimėčiusius taškinius duomenis. Tam vėl reikia panaudoti **Integrate** ir **Collect Events** įrankius. Paminėtais įrankiais duomenys paruošti iš anksčiau aprašyto skyriaus. Norint sudaryti karštųjų taškų žemėlapią Getis-Ord Gi* skaičiavimo metodu reikia panaudoti sistemoje integruotą įrankį **Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi*)**.



31 pav. Įrankio Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi*) dialogo langas.

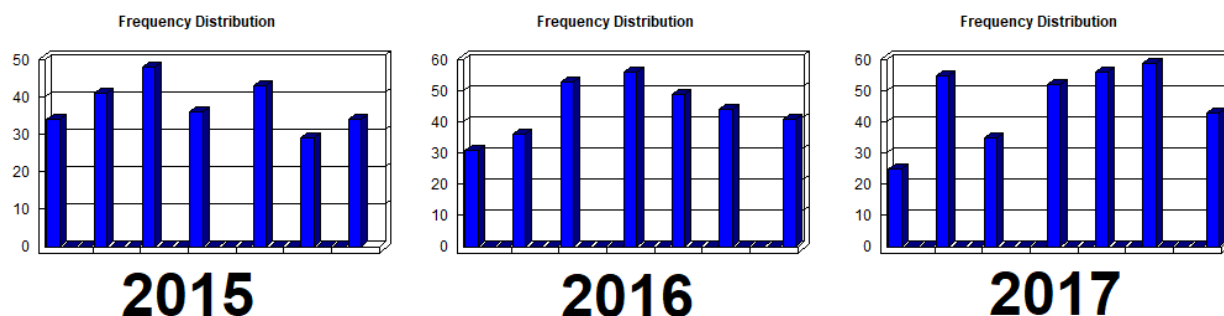


32 pav. Getis-Ord G_i^* karštųjų taškų analizės rezultatas, Klaipėdos miesto 2017 m. duomenys.

Rezultatų žemėlapyje galima pastebėti, kad šio metodo rezultatai panašūs į rezultatus gautus naudojant branduolio tankio vertinimo metodą. Remiantis šiuo metodu 2017 m. avaringiausios gatvės Klaipėdos mieste buvo: Tiltų g., Sausio 15-osios g., Taikos pr., Baltijos pr., Minijos g.

3.6. EISMO ĮVYKIŲ PASISKIRSTYMAS DARBO DIENOMIS IR SAVAITGALIAIS KLAIPĖDOS MIESTE

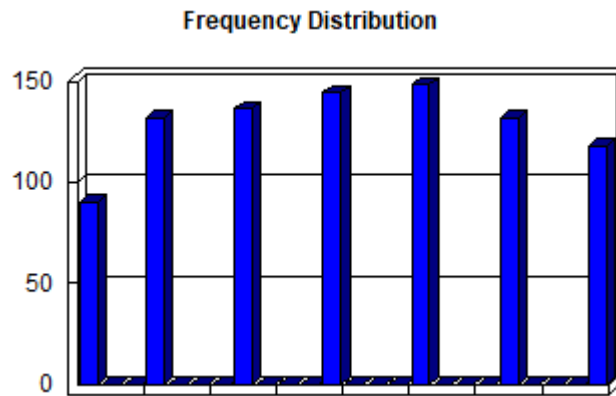
Pasinaudojant integruotomis Esri ArcMap funkcijomis galima greitai peržiūrėti, kaip įvykiai yra pasiskirstę pagal savaitės dienas.



33 pav. Eismo įvykių pasiskirstymas pagal savaitės dienas pamečiui.

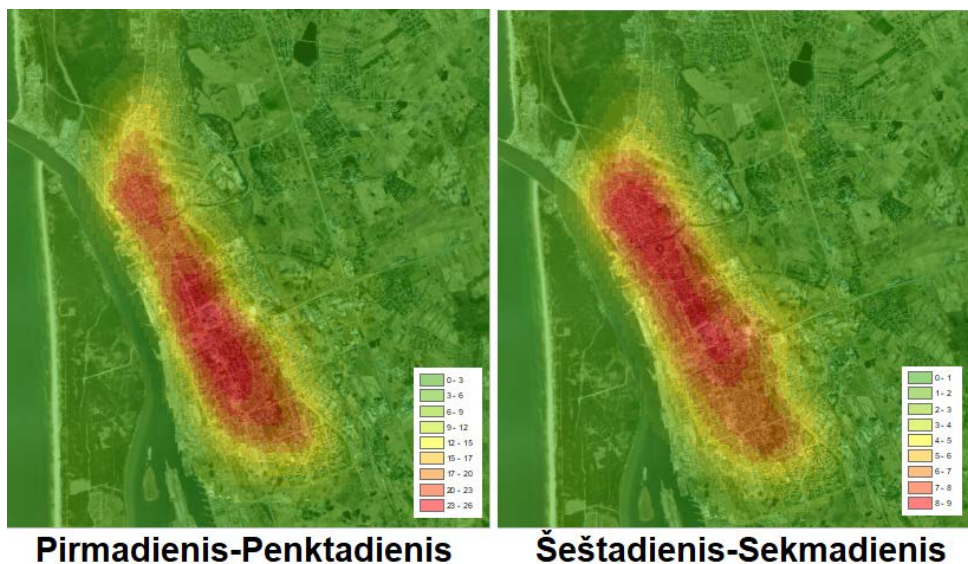
Iš 2015-2017 m. duomenų pasiskirstymo pagal metus grafikų (žr. 33 pav.) bendro didėjimo arba mažėjimo trendo pastebėti negalima, eismo įvykių pasiskirstymas padieniui skirtingas.

Analizuojant bendrai 2015-2017 metų duomenis (žr. 34 pav.) galima pastebėti, kad eismo įvykių skaičius darbo dienomis, nuo pirmadienio iki penktadienio auga. Mažiausias pirmadienį, didžiausias penktadienį. Savaitgalį eismo įvykių skaičius pradeda mažėti.



34 pav. 2015-2017 m. eismo įvykių pasiskirstymas pagal savaitės dienas.

Toks duomenų didėjantis eismo įvykių skaičius nuo pirmadienio iki penktadienio gali reikšti, kad eismo dalyviai pavargsta, praranda budrumą. Įvykių sumažėjimą savaitgaliais gali įtakoti eismo srauto sumažėjimas. Norint tiksliau išanalizuoti lemiančias priežastis reikėtų atlikti detalesnę analizę įtraukiant duomenis apie eismo intensyvumą.

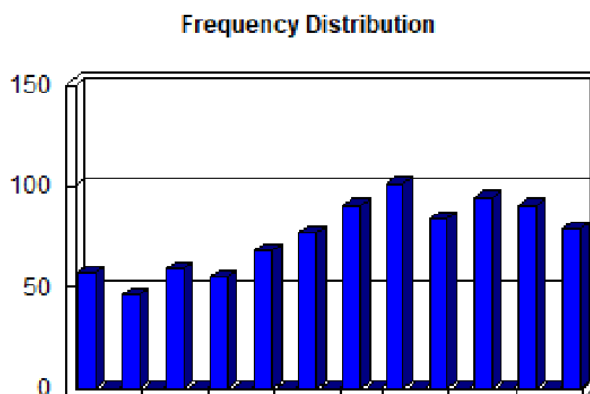


35 pav. 2015-2017 m. įvykių karštųjų taškų pasiskirstymas pagal dienas.

Sudarius įvykių tankio žemėlapius, pasinaudojus GIS integruotu Kernel Density įrankiu pirmadieniui-penktadieniui ir šeštadieniui-sekmadieniui galima pastebėti, kad savaitgaliais eismo įvykių zona išsiplečia, bet jų kiekis stipriai sumažėja.

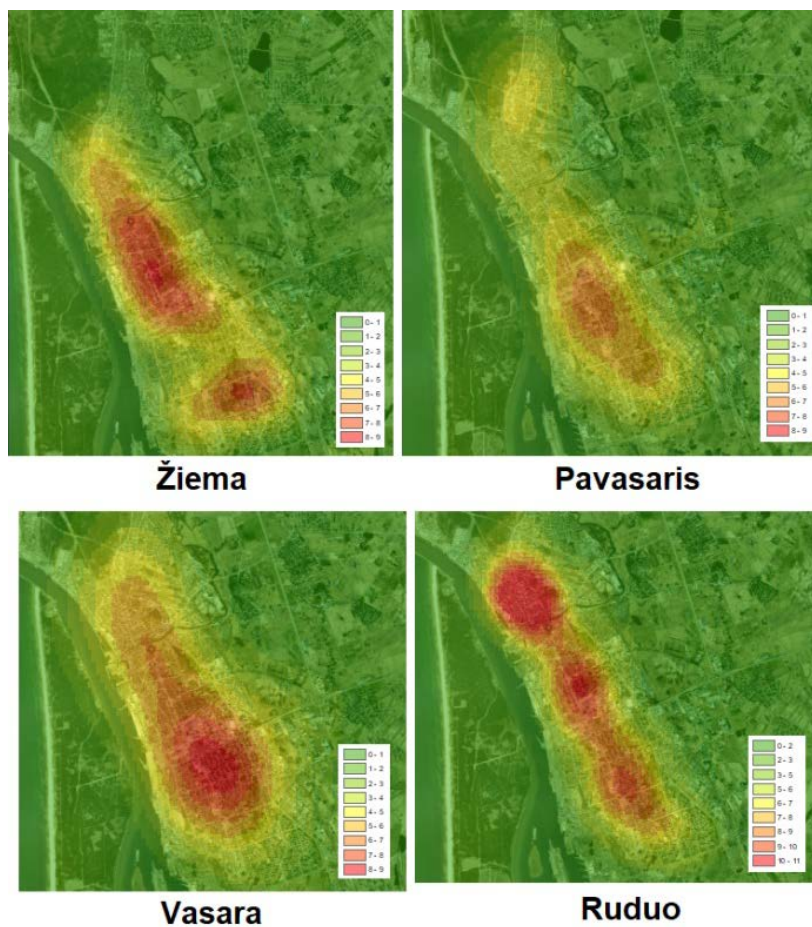
3.7. EISMO ĮVYKIŲ PASISKIRSTYMAS PAGAL METŲ LAIKUS KLAIPĖDOS MIESTE

Analizuojant eismo įvykių pasiskirstymą mėnesiais galima pastebėti, kad eismo įvykių skaičius labiausiai pradeda augti pavasarį, nuo kovo mėnesio ir auga iki vasaros pabaigos, rugpjūčio mėnesio. Rudenį ir žiemą eismo įvykių skaičius tendencingai mažėja.



36 pav. 2015-2017 m. eismo įvykių pasiskirstymas pagal mėnesius.

Sudarius įvykių tankių žemėlapius (žr. 37 pav.) žiemai, pavasariui, vasarai, rudeniiui pastebimas labai skirtingas karštųjų taškų pasiskirstymas. Žiemą daugiausia įvykių įvyksta Taikos pr., Sausio 15-osios g., Statybininkų pr. Pavasarį eismo įvykių skaičius sumažėja, avaringos gatvės išlieka toks pačios. Vasarą eismo įvykių padaugėja Baltijos pr. ir Taikos g., Pempininkų, Debreceno kvartaluose. Rudenį daugiausia įvykių įvyksta H. Manto g., Paryžiaus Komunos g. Galima spėti, kad rudenį tokį pasikeitimą įtakoja sugrįžę moksleiviai ir studentai į mokymo įstaigas.



37 pav. 2015-2017 m. įvykių karštųjų taškų pasiskirstymas pagal metų laikus.

IŠVADOS

1. Išanalizavus literatūros šaltinius, galima teigti, kad analizuojant eismo įvykių erdvinius duomenis vis dažniau taikomi erdvinės statistikos metodai. Gerėjant ekonominei situacijai, didėjant žmonių populiacijai daugėja ir transporto priemonių skaičius keliuose. Tokios šalys kaip Indija, Kinija, Turkija, Iranas pirmos pastebėjo, kad situacija keliuose tampa nebevaldoma ir reikia ieškoti naujų ir greitų būdų, kaip kuo tiksliau identifikuoti eismo įvykių židinius. Lietuvos mastu bendra situacija keliuose statistiškai gerėja, bet detaliau nagrinėjant įvykstančių eismo įvykių skaičių atskiruose miestuose paaiškėjo, kad Vilniuje ir Klaipėdoje eismo įvykių skaičius didėja. Dėl šios priežasties svarbu perimti kitų šalių patirtį ir taikyti jų metodiką Lietuvos atveju.
2. Analizuojant Klaipėdos miesto ir Klaipėdos rajono eismo įvykių duomenis buvo panaudoti šie analizuotoje literatūroje dažniausiai minimi erdvinės statistikos metodai: branduolio tankio vertinimo metodas, Morano I indekso skaičiavimo metodas ir Getis-Ord G_i^* statistikos skaičiavimo metodas. Žvelgiant į rezultatus rajoniniu mastu galima pastebėti, kad didžiausios eismo įvykių koncentracijos yra Klaipėdos mieste, Gargždų mieste ir Priekulėje. Eismo įvykių tankis užmiesčio keliuose praktiškai net nepastebimas dėl aplinkinių miestų įtakos ir didelio taškų pasiskirstymo. Klaipėdos mieste didžiausia įvykių koncentracija yra aplink 3 pagrindinius įvažiavimus į miestą: Palangos plentas, Jakų žiedas, Rimkai. Mieste labiausiai išsiskiria Liepojos g., H. Manto g., Priestočio g., Tiltų g., Sausio 15-osios g, Taikos pr., Smiltelės g., Baltijos pr. žiedas.
3. Tyrimas parodė, kad taikant erdvinės statistikos metodus galima pakankamai tiksliai identifikuoti vietas, kur jų koncentracija yra didžiausia. Tiksliausias ir pateikiantis lengviausiai skaitomus, suprantamus rezultatus yra branduolio tankio vertinimo metodas. Didelė problema tokiems tyrimams yra aktualių, tikslių ir tinkamų duomenų gavimas. Kadangi pagal dabartinę tvarką liepos mėnesį skelbiami duomenys už praėjusius kalendorinius metus, vėliausi tyrime naudoti duomenys apima 2017 metų periodą. Tikėtina, kad tai viena iš priežasčių dėl kurios pasigendama Lietuvos mokslininkų analizės šioje srityje.

LITERATŪRA

1. A. Nordlov, N. Lindqvist. 2016. Network based spatial analysis of traffic accidents in Stockholm, Sweden.
2. A. T. Pour, Dr. W. L. Yue. 2012, The Role of Geographic Information Systems (GIS) in Road Emergency Services Location and Black Spot Studies.
3. Atviri eismo įvykių, įvykusių Lietuvos Respublikoje, kurių metu žuvo ir (ar) buvo sužeisti žmonės, duomenys. Prieiga per internetą: <https://www.epolicija.lt/atviri-duomenys> [Žiūrėta 2019-03-03].
4. Average Nearest Neighbor. Prieiga per internetą: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/average-nearest-neighbor.htm> [Žiūrėta 2019-03-10].
5. D. Gao, X. Li, Ch. Yang, Y. Zhang. 2011. Spatial Patterns Analysis of urban road traffic accidents based on GIS.
6. Eismo įvykių analizės sistema ONHA LT, Eismo įvykių prognozavimo bei inžinerinių saugaus eismo priemonių efektyvumo vertinimo programa TARVA LT. Prieiga per internetą: https://www.vgtu.lt/files/2770/138/6/10_0/12.%202012.%20Eismo%20%C4%AFvyki%C5%B3%20analiz%C4%97s%20sistema%20ONHA%20LT.pdf [Žiūrėta 2019-03-03].
7. Eismo įvykių ir nukentėjusiųjų dinamika Lietuvoje 1980–2017 m. Prieiga per internetą: https://lakd.lrv.lt/uploads/lakd/documents/files/eismo_saugumas/statistika/2018/eismo_ivykiu_ir_nukentejusiųjų_dinamika_1980-2017.pdf [Žiūrėta 2019-03-02].
8. Eismo įvykių, juose sužeistųjų ir žuvusiųjų skaičius 2000–2017 m. Prieiga per internetą: https://lakd.lrv.lt/uploads/lakd/documents/files/eismo_saugumas/statistika/2018/eismo_ivykiu_ai_suzeisti_zuvusieji_2000-2017.pdf [Žiūrėta 2019-03-02].
9. Gh. Shafabakhsh a, A. Famili. 2014. GIS-based spatial analysis of urban traffic accidents: Case study in Mashhad, Iran.
10. Harder Ch. 2015. The ArcGIS Book: 10 Big Ideas about Applying Geography to Your World. Esri Press.
11. How Average Nearest Neighbor works. Prieiga per internetą: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/h-how-average-nearest-neighbor-distance-spatial-st.htm> [Žiūrėta 2019-03-10].
12. How High/Low Clustering (Getis-Ord General G) works. Prieiga per internetą: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/h-how-high-low-clustering-getis-ord-general-g-spat.htm> [Žiūrėta 2019-03-08].

13. How Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi*) works. Prieiga per internetą: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/h-how-hot-spot-analysis-getis-ord-gi-spatial-stati.htm> [Žiūrėta 2019-03-08].
14. How Kernel Density works. Prieiga per internetą: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-kernel-density-works.htm> [Žiūrėta 2019-03-08].
15. How Spatial Autocorrelation (Global Moran's I) works. Prieiga per internetą: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/h-how-spatial-autocorrelation-moran-s-i-spatial-st.htm> [Žiūrėta 2019-03-08].
16. Įskaitinių eismo įvykių statistika Lietuvoje, 2014–2017 m. Prieiga per internetą: https://lakd.lrv.lt/uploads/lakd/documents/files/eismo_saugumas/statistika/2018/statistika_2014%E2%80%932017.pdf [Žiūrėta 2019-03-02].
17. Juodųjų dėmių nustatymo ir šalinimo gatvėse ir vietinės reikšmės keliuose metodika. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/rs/lasupplement/TAD/f74f5ef0321a11e4b487eaabe28831e8/621dd1b382f411e49386e711974443ff/> [Žiūrėta 2019-03-07].
18. Kernel density estimation. Prieiga per internetą: https://en.wikipedia.org/wiki/Kernel_density_estimation [Žiūrėta 2019-03-08].
19. Klaipėdos miesto susisiekiimo plėtros galimybių studija. Prieiga per internetą: <https://www.klaipeda.lt/data/wfiles/file22114.pdf> [Žiūrėta 2019-03-07].
20. Klaipėdos valstybinio jūrų uosto (žemės, vidinės akvatorijos, išorinio reido ir susijusios infrastruktūros) bendrasis planas. Prieiga per internetą: http://www.portofklaipeda.lt/uploads/Bendrasis%20planas/2017/KONCEPCIJA/15088-00-TBP-K-aiskinamasis_rastas.pdf [Žiūrėta 2019-03-03].
21. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekiimo ministerijos. Eismo įvykių statistika. Prieiga per internetą: <https://lakd.lrv.lt/lt/eismo-saugumas/eismo-ivykiu-statistika> [Žiūrėta 2019-03-07].
22. Lietuvos kelių policijos tarnyba eismo įvykių, kuriuose nukentėjo žmonės, Lietuvoje suvestinė. Prieiga per internetą: <http://lkpt.policija.lrv.lt/uploads/lkpt.policija/documents/files/statistika/2019/201902.pdf> [Žiūrėta 2019-03-07].
23. M. A. Aghajania, R. S. Dezfoulian, A. R. Arjroody, M. Rezaei. 2016. Applying GIS to Identify the Spatial and Temporal Patterns of Road Accidents Using Spatial Statistics (case study: Ilam Province, Iran).
24. M. Chaparro, A. Hernández-Vásquez, A. Parras. 2018. Geospatial and environmental analysis of road traffic accidents in the city of Resistencia, Argentina.

25. M. Jakimavičius. 2018. Analysis and assessment of lithuanian road accidents by AHP method.
26. Moran's I. Prieiga per internetą: https://en.wikipedia.org/wiki/Moran%27s_I [Žiūrėta 2019-03-08].
27. Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos, 2008. Mokomoji knyga „Geografinių informacinių sistemų pagrindai“.
28. Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos, 2008. Mokomoji knyga „Erdvinė analizė ir modeliavimas“.
29. Nearest Neighbor Analysis. Prieiga per internetą: <http://ceadserv1.nku.edu/longa//geomed/ppa/doc/NNA/NNA.htm> [Žiūrėta 2019-03-10].
30. Novikovienė L. 2009. Eismo įvykių kriminalistinė charakteristika ir jos reikšmė eismo įvykių prevencijai. Verslo ir teisės aktualijos. 2009. 4: 185–207.
31. Ormsby T., Napoleon E., Burke R. 2004. Getting to Know ArcGIS Desktop. Esri Press.
32. Paršeliūnas E. Geoinformacinės sistemos: technologija. Mokomoji knyga. V.: Technika.
33. Pikūnas A. 2004. Kompleksinė saugaus eismo gerinimo programa iki 2010 metų: mokslo darbo ataskaita. Vilnius.
34. S. Erdogan, , I. Yilmaz, T. Baybura, M. Gullu. 2008. Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar.
35. Spatial Autocorrelation (Global Moran's I). Prieiga per internetą: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/spatial-autocorrelation.htm> [Žiūrėta 2019-03-08].
36. T. Osayomi, A. Areola. 2015. Geospatial Analysis of Road Traffic Accidents, Injuries and Deaths in Nigeria.
37. Transporto kompetencijų agentūra Eismo įvykių statistika. Prieiga per internetą: <https://www.ktti.lt/naudinga-informacija/eismo-ivykiu-statistika/> [Žiūrėta 2019-03-08].
38. V. Prasannakumar, H. Vijith, R. Charutha, N. Geetha. 2011. Spatio-Temporal Clustering of Road Accidents: GIS Based Analysis and Assessment.