

TRAFFIC ACCIDENT ANALYSIS IN SPACE AND TIME (IN THE EXAMPLE OF MUNICIPALITY OF RUSE)¹

Stanimir Penev

Department of Technical and Natural Sciences,
University of Ruse “Angel Kanchev”
Tel.: +359889658713
E-mail: spenev@uni-ruse.bg

Abstract: *The research analyzes GIS analytic approaches, by determining the locations and times of crashes around Ruse, Bulgaria. To verify that the overall trend of traffic accidents is rising and that the rise is statistically significant, an exploratory space-time pattern analysis is carried out. The Crash data is obtained from local police department and includes the location, date, and time for every motor vehicle traffic accident in Ruse municipality between 2015 and 2020. Each traffic accident is projected on a digital map. A restructuring of the data is developed in order to be examined for space-time trends. The following queries are addressed in this paper: Which roads and crossings in Ruse have the most collisions? When and where do most collisions take place? What distinguishes the spatial distribution of fatalities from the spatial distribution of traffic accidents as a whole? Which roads or crossings consistently have a problem with traffic accidents throughout time? It will be possible to make better informed recommendations for legislation and other measures that can help minimize traffic accidents in the future by understanding where and when incidents happen in the municipality.*

Keywords: *Efficiency, Effectiveness, GPS, Seismic Protection Methods, Model*

ВЪВЕДЕНИЕ

Въпреки предприетите мерки и намаляването на пътнотранспортните произшествия, България си остава рискова държава в това отношение. Хиляди са ПТП, стотици са убитите и ранените и заедно с това се нанасят много материални щети. България е една от държавите в ЕС с най-много загинали на един милион жители при ПТП. Обществено икономическите загуби от това са огромни.

Безопасността на пътя е свързана с конвенционалното инженерство на пътищата (планиране, проектиране, строителство, експлоатация и поддръжка), но заедно с това пресича границите и на други инженерни области (превозни средства, средства за управление на движението), както и на неинженерни области (човешки фактори, обществено здраве, право, правоприлагане, образование и други социални науки).

По тази причина изследванията в областта на пътната безопасност изискват интердисциплинарни умения и основно сътрудничество от различни инженерни и социални науки.

Пътнотранспортните произшествия са сложни събития, включващи взаимодействието на пет основни фактора: водач, трафик, пътища, превозни средства и околната среда (напр. времето и условия на осветление). Между тези фактори грешката на водача се идентифицира като основен фактор, който допринася за над 90% от ПТП и се правят редица изследвания за по-добро разбиране на поведението на водача и синергитичните фактори, които причиняват ПТП. Тези фактори са свързани с употреба на алкохол и наркотици, медицинско състояние или човешка умора и взаимодействие на водача с автомобила, пътя и околната среда.

Населените места са едни от най-уязвимите по отношение на ПТП. [WHO], [Fridstrom, L., 95] Картографирането на ПТП, описващи пространствените и времевите вариации и честотата на ПТП могат да осигурят добра възможност за идентифициране на места с потенциално повишен риск и времеви тенденции. Приложение на адекватна методика за идентифициране,

¹ Докладът е представен на пленарната сесия на 28 октомври 2022 с оригинално заглавие на български език: АНАЛИЗ НА ПТП В ПРОСТРАНСТВОТО И ВРЕМЕТО (НА ПРИМЕРА ЗА ОБЩИНА РУСЕ)

класиране и оценка на проблемните места може да доведе до планиране на подходящи мерки за намаляване на риска.

Картографирането трансформира пространствените данни във визуална форма, подобряване на способността на експертите да наблюдават, концептуализират, валидират и предават информация. Изследователски усилия за визуализация на данните за безопасността на движението, които обикновено се съхраняват в големи и сложни бази данни, са доста ограничени поради методологически проблеми. В резултат на това е обичайно за експертите в областта на безопасността на движението да анализират данни за безопасност и да правят препоръки без всъщност „виждане“ на пространственото разпределение на данните.

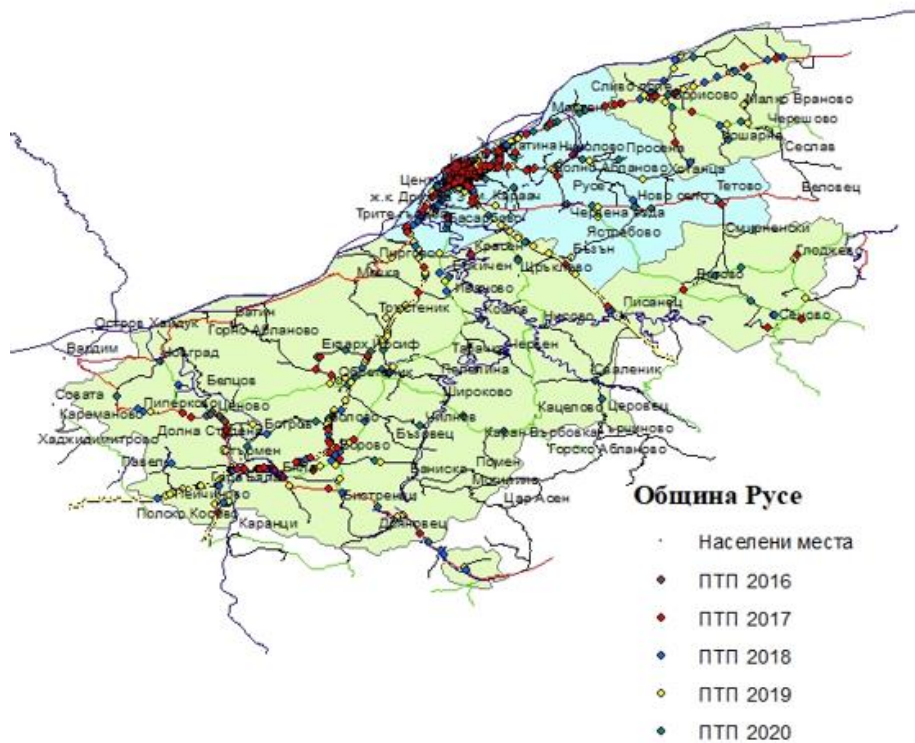
Една от целите на настоящото изследване е да развият моделно базирано картографиране за ПТП на пътя. За илюстриране на приложените методи и модели са използвани данни за ПТП на гр. Русе.

Всяко разпределение на функции или стойности на данни за определена географска локация ще създаде някакъв вид географски модел. Естествено срещаните се характеристики са склонни да се групират заедно. [Ekslera, V., 2008]. Често създаваните от човека функции на разпределение са разпръснати на случаен принцип. Тяхното разпределение, зависи от източника и ориентацията на функциите.

Известно е, че се придобива вид наблюдаем модел в географското пространство. Тези модели варират от напълно кълстерирани, напълно разпръснати до модели, които попадат в средата и често се считат за случайни [Мъцински, Г. (2018), Anderson, K. (2009), Harris, L. (2017)]

В настоящата работа е избран за модел за идентифициране на горещи точки на пътнотранспортни произшествия в пространството и времето. Данните за ПТП фиг. 1., изобразени върху пътна мрежа на община Русе (фиг. 8) са реални и са обект на изследването. Демонстрираните опити включват техники за откриване на пространствено-времеви модели и методи за измерване и визуализиране на топлинни карти. По време на изпълнение на работата при използване на софтуерен продукт ArcGIS Pro, ще бъдат изведени диаграми за визуализиране на данните и ще се изградят модели, които работата по сходни изследвания.

Въз основа на извличането на резултат от анализа се вземат предвид променливите на изследваните данни. След което се обработват през серия от инструменти, които ще използват статистика и други изчисления, за да идентифицират модели в тяхното разпределение. Както подсказва заглавието, ще се разглеждат пространствения и времеви контексти, които са разположени в географска ширина.

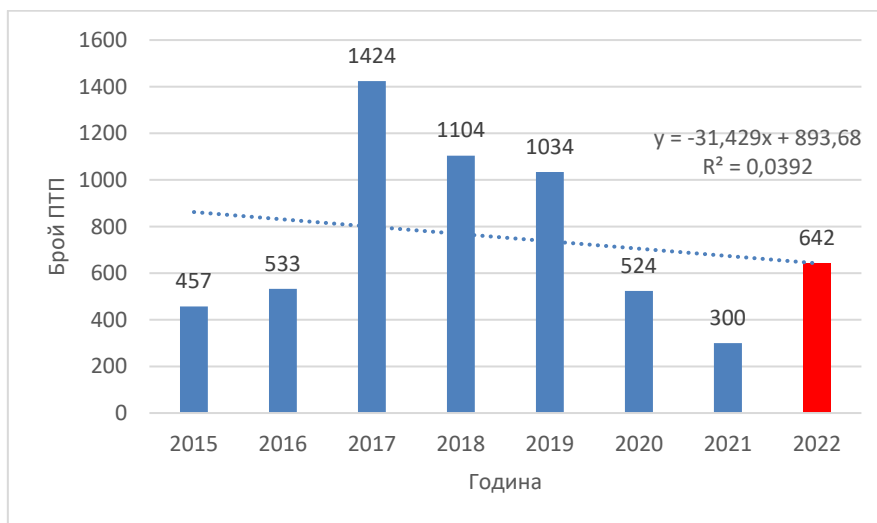


Фиг. 1. Обект на изследване данни за ПТП 2016-2020, Община Русе

ИЗЛОЖЕНИЕ

Повече от 100 души на ден в България са потърпевши в пряк резултат от пътнотранспортно произшествие. [Обобщен доклад 01.07.2019 – 31.12.2019] Това продължава да е сериозен проблем за всички общини в страната. Въпреки регистрираните тенденции на спад задържането на високо ниво на травматизма в България поставя страната далеч от заложените в глобалните, европейските и националните политики цели.

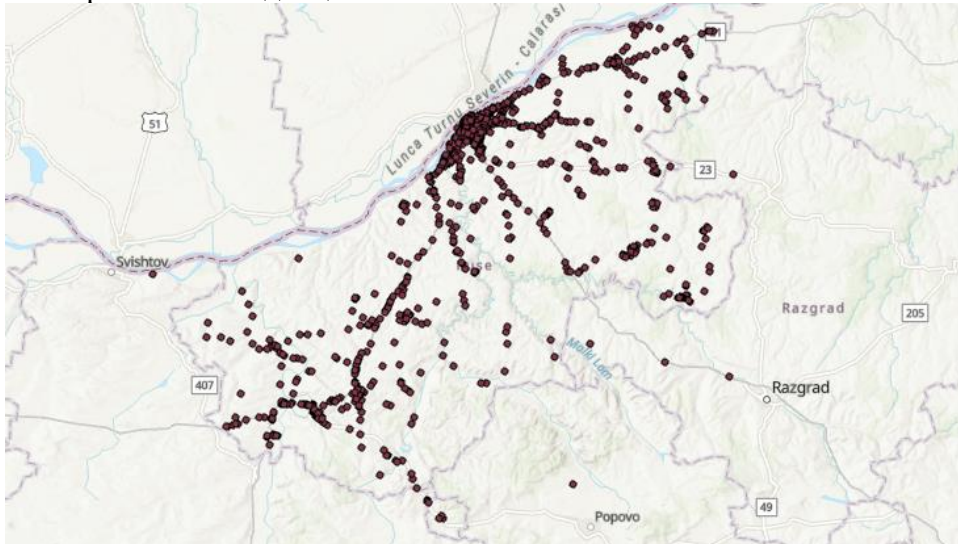
Броят на ПТП за община Русе за периода 2015-2022 г. може да бъде проследен на фиг. 1. През 2022 г. тази тенденция на спад се очаква да се запази. [Нулева смъртност 2021-2030]



Фиг. 2. Брой ПТП на територията на Община Русе за период 2015-2021 и нейното изменение

Данни за ПТП

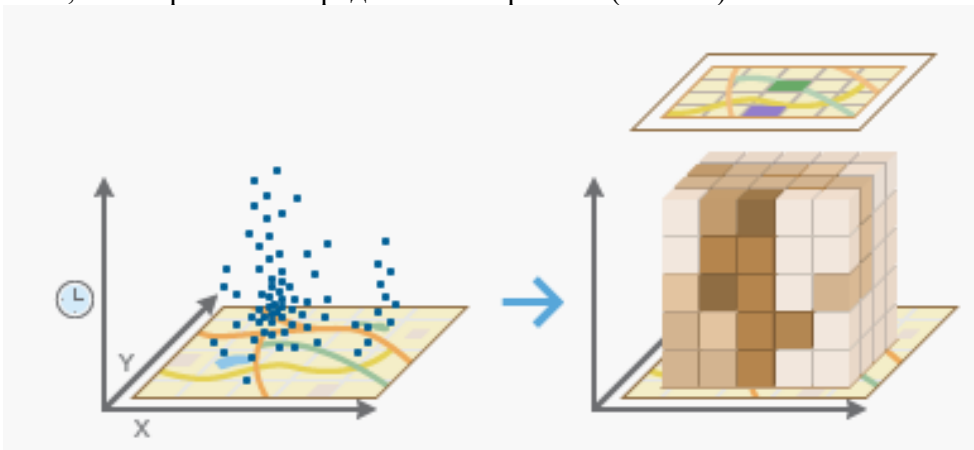
Получените данни от Министерство на вътрешните работи, Областна дирекция на МВР – Русе, Сектор „Пътна полиция“ са записи на реални пътни инциденти за района на Община Русе. Тези записи включват местоположението, датата и часа за всяко пътнотранспортно произшествие с моторни превозни средства в община Русе 2015 и 2021 г. Всяко пътнотранспортно произшествие е показано като червена точка на фиг. 3. Забелязва се, че е трудно да се различи какъвто и да е модел само от точките нанесени върху картата. Във връзка с това се търси решение данните да бъдат пререструктурирани за да може да се изследват пространствено-времевите тенденции.



Фиг. 3. Пътнотранспортни произшествия в община Русе за период 2015-2020 г.

Преконструиране на данните в Куб време – пространство.

Данните за ПТП се представят като кубична структура, която агрегира характеристиките на въведените GPS локации върху картата и ги визуализира като пространствено-времеви стълбове. Структурата на данните, която се създава, може да се разглежда като триизмерен куб, съставен от стълбове пространство-време, като измеренията x и y представляват пространството, а измерението t представлява времето (Фиг. 4.).



Фиг. 4. Създаване на куб-време-пространство данни от агрегирани точкови локации.
[Esri's Network Analyst Community website]

Процес на обобщаване на набор от GPS локации.

Всички GPS локации представени в стълбове имат фиксирана позиция в пространството (x, y) и във времето (t). Стълбовете, покриващи една и съща (x, y) зона, споделят един и същ идентификатор на местоположение, (Location ID). Стълбовете, обхващащи една и съща продължителност, споделят една и съща позиция (стъпка) във времето (time-step). Същността на работата на куб пространство-време, е че се групират в съседство събитията, като се използват осите X и Y според всяка двуизмерна карта и образуват квадрат, който представлява

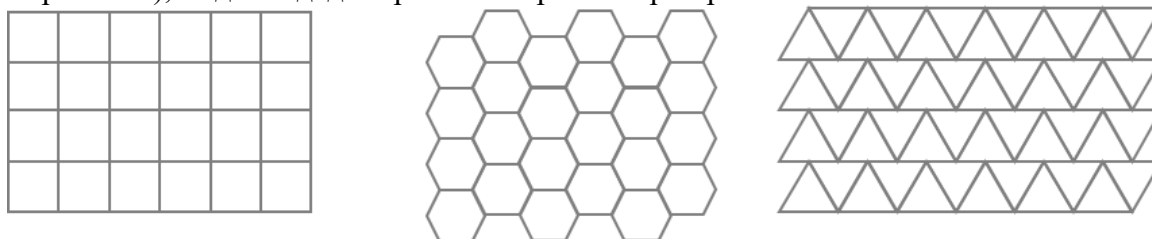
основата на куба. След това данните за времето се нанасят нагоре по оста (t), което предава третото му измерение на равни времеви стъпки. Най-ниската стъпка на времевия куб определя най-старите данни и тези нагоре, определят най-новите.

Самият процес на обобщаване на набора от GPS локации в структура от данни куб-време извежда мултифункционален такъв файл netCDF. Агрегираната информация във времеви стълбове разположени върху карта преброява и определя променливите и след това ги обобщава в изглед. За всички местоположения на всеки един стълб се оценяват тенденции и други стойностим служещи за анализа.

NetCDF (network Common Data Form) е текстов файл, запис на GPS координати на събития в таблична форма с дати и характеристики описващи събитието. Този файл служи за съхраняване на многоизмерни научни характеристики (променливи) като температура, влажност, налягане, скорост и посока на вятъра. [Климатичният контекст 1991-2020], [Спасова, З., Димитров, Цв., (2014).] Формата на файла е унифициран и позволява на тези променливи да бъдат визуализирани от различни софтуери за измерване в пространство и време, при които данни се превръщат в изгледи върху карта.

Изпълнение на анализа

За да се нормализира географията за картографиране, или за смекчаване на проблемите при използването на неправилни форми върху полигон се използват видове решетки за агрегирането на точкови данни върху пространство. Решетките с правилна (фиг.5) форма могат да се състоят само от равностранни триъгълници, квадрати или шестоъгълници, тъй като тези три многоъгълни форми са единствените три, които могат да теселират (повтаряне на същата форма отново и отново, открай до край, за да покрие област без празнини или припокривания), за да създадете решетка с равномерно разстояние.



Фиг. 5. Видове решетки [Esri's Network Analyst Community website]

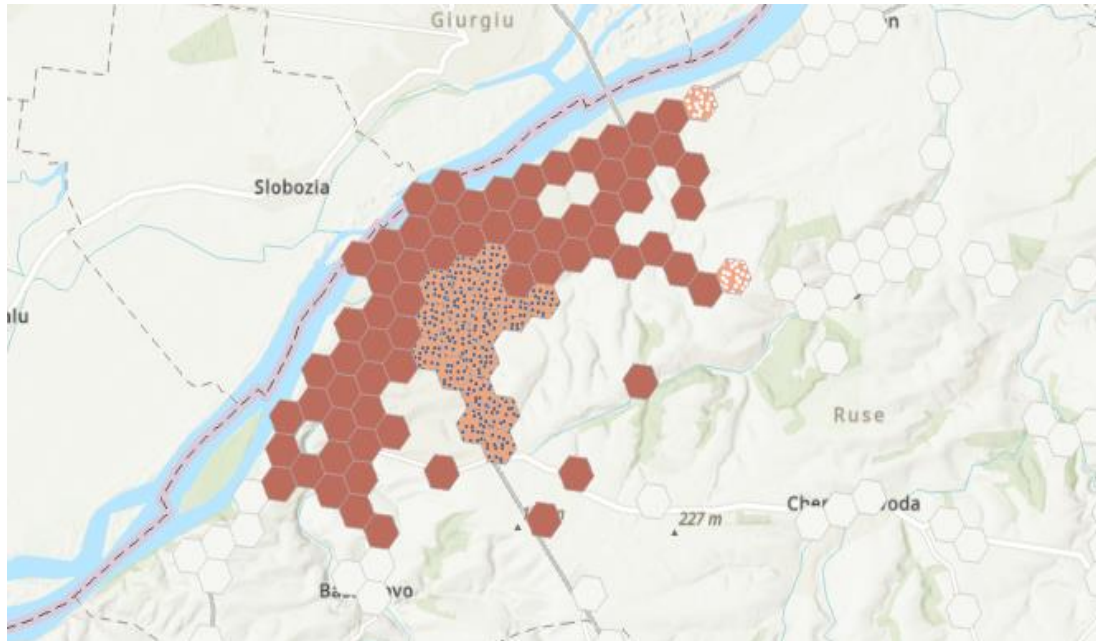
Въпреки че квадратната (fishnet) мрежа е преобладаващо използваният тип фигура в ГИС анализи и в тематичното картографиране, шестоъгълниците са по-подходящи за анализ въз основа на естеството на подобни изследвания. Според [Birch, Colin P.D., 2007], шестоъгълниците намаляват отклонението при вземане на проби (избиране на един шестоъгълник за анализ) поради ръбовите ефекти на формата на мрежата, това е свързано с ниското съотношение периметър към площ на формата на шестоъгълника. Кръгът има най-ниското съотношение, но не може да теселира (да се нареди като мозайка), за да образува непрекъснатата мрежа. Шестоъгълниците са многоъгълниците с най-кръгла форма, които могат да теселират, за да образуват равномерно разпределена мрежа.

Работен процес с помощта на ArcGIS Pro

Подходящ софтуерен продукт за работа е ArcGis Pro. Той е пълнофункционално професионално настолно ГИС приложение от софтуерите на Esri. С него може да се изследват, визуализират и анализират данни, създаване на 2D и 3D карти и други процеси. След въвеждане на данните за ПТП в програмата следва да се определят местата където има увеличаване пътнотранспортните произшествия. Използването на ГИС като платформа за извършване на такива изследвания дава възможност за ефективна манипулация, анализ и визуализация на пространствени данни [Anderson, K. T. (2009)].

За тази цел се извършва бърз проучвателен анализ на пространствено-времевия модел, за да провери дали броят на пътнотранспортните произшествия нараства като цяло и дали увеличението е статистически значимо.

Като резултат от това изследване на тенденциите на пътнотранспортните произшествия върху картата (фиг. 6.) са прожектирани тези стълбове под формата на шестоъгълници (с дължина от 800 m), които използват времеви стъпки, всяка една от които има 16 седмици. За да бъде по-прецизен параметъра са изпробвани различни размери на шестоъгълниците, за да бъде наблюдавано тяхното разположение върху изследваната територия и е установено, че размер 800 m описва възможно най-много данни в съотношение с размера на изследвания регион (община Русе). Други времеви диапазони, също бяха разгледани, но тези параметри работят най-добре с избраният брой седмици в стъпка.



Фиг. 6. Анализ на възникващи горещи точки.

Броят на инцидентите във всеки времеви шестоъгълник е различен всеки период. Установяването на статистически значимо увеличение на броя на ПТП между 2015 г. и 2021 г. показва, че увеличението не е просто резултат от случайни колебания.

От картата-резултат на пространствено-времевите тенденции (фиг. 6), може да се забележат широки проблемни области. Пространствено-времевият куб е агрегирал 5075 точки в 6969 местоположения на шестоъгълна мрежа за 19 интервала от времеви стъпки. Всеки от интервалите на времева стъпка е с продължителност 16 седмици, така че целият период от време, обхванат от пространствено-времевия куб, е 304 седмици. От общо 6969 местоположения, 336 (4,82%) съдържат поне една точка, предоставяща поне един интервал от времева стъпка. Тези 336 местоположения включват 6384 пространствено-времеви интервала, от които 1179 (18,47%) имат брой точки, по-големи от нула. Тези 18,47 % са посочени на картата оцветени в различно от сиво.

Според легендата на анализа шестоъгълниците оцветени в червено са зони с последователен брой на появяване ПТП през годините. Те засягат предимно централната градска част и източна и западна индустриална зона.

Шестоъгълниците със светло-червено и сини точки в средата представляват зони с осцилиращ (появяващи и изчезващи) брой ПТП през годините. Те засягат предимно главните трасета на широк център.

Шестоъгълниците със светло-червено и бели точки в средата представляват зони с сподаричен, непостоянен брой ПТП през годините.

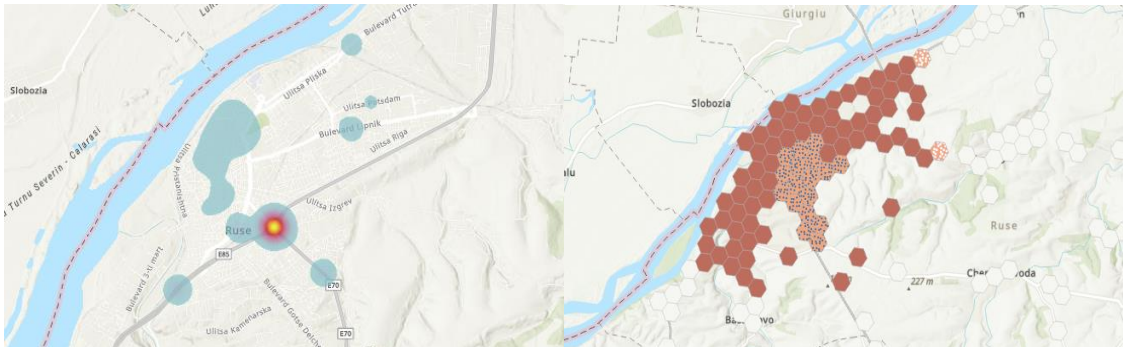
Разчет на легендата:

- последователен: еднократно непрекъснато изпълнение на интервали от горещи времеви стъпки, състоящи се от по-малко от 90% от всички интервали;
- спорадично: някои от интервалите на времеви стъпки са горещи;

- осцилиращи: някои от интервалите на времеви стъпки са горещи, други са студени;

Според извършеният проучвателен анализ на пространствено-времевия модел, за тези зони може да се отбележи, че броят на пътнотранспортните произшествия е с нарастващ тренд и е статистически значим. Този вид анализ (фиг. 6) се нарича анализ на възникващи горещи точки. Гореща точка е мястото, където изчислител използва Gettys или GI стар статистика, за да определи значимост. [Cheng, Z., Zu, Z., & Lu, J., (2019)]

Картите на горещите точки понякога биват взаимозаменяеми с топлинни карти (фиг. 7), но топлинните карти разглеждат само интензивността на данните в събитията, докато горещите точки използват анализа, за да определят статистическата значимост. Така че характеристиките се разглеждат заедно със съседните характеристики.



Фиг. 7 . Сравнение на топлинна карта и възникващи статистически горещи точки

Ако функцията има висока стойност, не означава непременно, че е статистически значима. За да бъде статистически значима гореща точка, функцията ще има висока стойност и ще бъде заобиколена от други характеристики с високи стойности. Локалната сума на функцията и нейните съседи се сумира и сравнява с пропорционалната сума на всички останали характеристики.

Идентифициране на горещите точки на ПТП по пътната мрежа

Направеният анализ на тенденцията за ПТП по-горе е добър проучвателен работен процес, но не е базиран на пътната мрежа. В следващият анализ ще се обвърже всяко ПТП с основната пътна мрежа (фиг. 8) на град Русе и отново ще потърсим места за горещи точки на ПТП. За целта ще бъде приложен метода на HotSpot анализ.

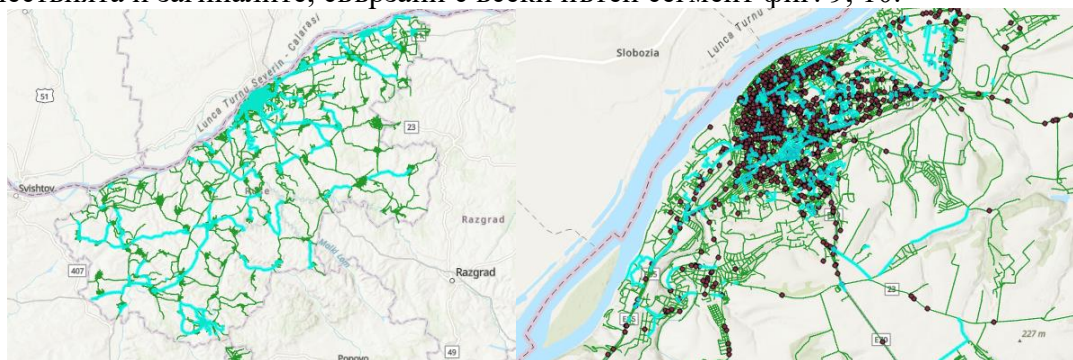


Фиг.8. Градски и извънградски автомобилни пътища на Община Русе.

Hot Spot анализ е съвременна техника за геообработка, при която се взема предвид местоположението и причислява стойности на плътността на ПТП в рамките на пътната мрежа. [Harris, L. N, 2017] Включването на пътната мрежа в анализа [Списък на републиканските пътища] на ПТП ще спомогне за откриването на статистически значими клъстери или точки на дисперсия върху картата на града. Освен оценката на плътността на ПТП, се измерва и степента на взаимодействие на точковите събития с полигонами, и ще се

изведат нови пространствените модели. Този анализ показва пространствено представяне на високи и ниски стойности.

За да се причислят всички ПТП към най-близкия до тях полигон върху картата, се използва инструмент за пространствено обвързване, с който ще може да се преброи броя на произшествията и загиналите, свързани с всеки пътен сегмент фиг. 9, 10.



Фиг. 9. Среден брой ПТП за километър за година



Фиг. 10. Среден брой загинали за километър за година

На много местни пътища информацията за обема на трафика не е налична. В тези случаи други данни могат да се използват за сравнения. Като пример може да се използва отношението на дължината на всеки един сегмент от пътя с броят на ПТП върху него или броят на загиналите върху него. Определянето на среден брой ПТП за километър за година, позволяват подобрен анализ за цялата община чрез подобряване на способността за съпоставяне на инцидентите върху пътните платна с различна дължина.

Процента на ПТП за всеки пътен сегмент се изчислява [U.S. Dept. of Transportation (2010)]

$$R = \frac{C}{N.L} \quad (1)$$

Където,

R – ПТП за километър за пътно платно годишно;

C – Общ брой ПТП за изучаваният период;

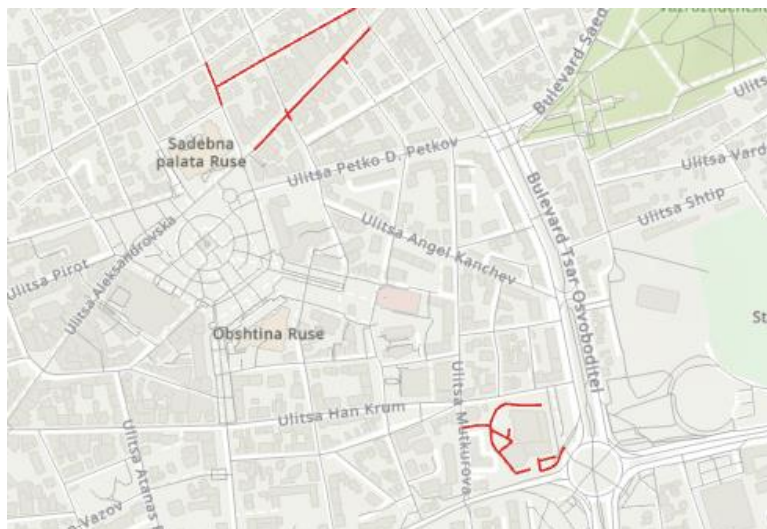
N – брой години за които са налични данни;

L – дължина на пътен сегмент в km.

Анализът на горещи точки интегрира пространствените връзки директно в своята математика. Тези връзки се дефинират чрез стойности, наречени пространствени тегла. Пространствените тегла са организирани в матрица за изготвена от съпоставката от фиг (9,10) и се съхраняват като файл. Резултатите от HotSpot анализа са показани на фигура 11, 12, 13.

Горещите и студените точки на пътнотранспортни произшествия, съответно, обозначават високата и ниската честота на произшествията на почервените места и техните близки местоположения. Настоящият опит анализира горещите точки на ПТП в кръстовищата, тъй като тези горещи точки са пряко свързани с състоянието на безопасността на движението, което има отрицателно въздействие върху устойчивото развитие на автомобилния транспорт на града.

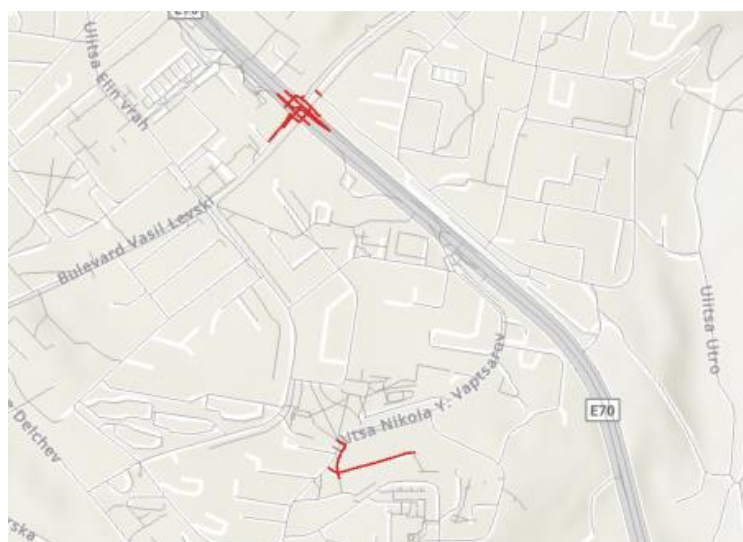
Червените горещи зони върху картите могат да се интерпретират, като места с по-висок риск от фатални пътнотранспортни произшествия. Разбирането защо тези места са по-предразположени към смъртни случаи е първата стъпка към разработването на стратегии за предотвратяване на бъдещи ПТП на тези места.



Фиг. 11. Резултати от извършеният Hot Spot анализ на пътната мрежа за централната част на града



Фиг. 12. Резултати от извършеният Hot Spot анализ на пътната мрежа за бул. България



Фиг. 13. Резултати от извършеният Hot Spot анализ на пътната мрежа за крайните квартали

Анализът идентифицира горещите точки на ПТП в изследваната зона на централната част на града (фиг. 11), в комбинация с изследването за пространство и време на фиг. 6. При

използване на пътните участъци в близост до ул. К. Величков, ул. Г. С. Раковски трябва да бъде на вниманието на участниците в трафика, че са особено опасни през месец Януари.

По-широките пътни участъци, (фиг. 12) посочени на картата в централната част на града по ул. Хан Аспарух, ул. Хан Крум, бул. Ген. Скобелев са горещи точки на пътнотранспортни произшествия през цялата година. Според организацията на пътната мрежа, интензивността на използване на тези участъци е увеличен и броят на пътнотранспортните произшествия също е увеличен. Извеждането от бул. Скобелев към улиците на центъра обяснява причините двете кръстовища на ул. Хан Аспарух и Хан Крум да са горещи точки на ПТП.

В крайните квартали на града също са отбелязани конфликтни зони в близост до ул. Никола Вапцаров, ул. Михаил Хаджикостов, (фиг. 13) които се намират в жилищни зони, където много лични автомобили влизат и излизат от тези зони в определени часове от денонощието.

Освен горепосочените места, целогодишно опасни пътни кръстовища са главните пътища на града. Те се намират на входа на града като бул. Волон (бензиностанция OMV), бул. Липник (кръговото движение на КАТ) или разположени върху един от най-натоварените участъци в града бул. България, бензиностанция Lukoil.

ИЗВОДИ

Това проучване представя анализ на характеристиките на изменението на пътнотранспортните произшествия за идентифициране на горещите точки на ПТП по пътната мрежа на град Русе. Картографирането е важно за да се предприемат адекватни мерки тенденцията на ПТП да намали. Подходящ софтуер за анализ беше избран ArcGis Pro в който са интегрирани, инструменти за извършване на анализи на пространствено-времените тенденции. Подходящи методи за анализ бяха избрани методът време-пространствения куб, заедно с възникващия анализ на горещи точки, базиран на ArcGIS Pro, в които се идентифицират различни видове горещи точки на ПТП. Резултатите определят зоните, където са концентрирани различни видове горещи точки на ПТП. За изследването бяха използвани реални данни, чиито резултати са в съответствие с действителната ситуация на града.

Сравняването на процент на смъртност на горещите зони с други проценти, от статистики, може да предостави допълнителни карти и графики за разсъждение. Разглежданите данни съдържат информация за инциденти, включващи неизползване на предпазен колан, разсеяно шофиране или алкохол, възраст на участниците, пол и др. По задълбочено проучване на тези данни с комбиниране на пространствените изводи от вторият анализ и времените тенденции от първият анализ биха спомогнали за идентифициране на най-опасните часове и дни от седмицата.

Изготвянето на пространствените и времеви модели на пътнотранспортните произшествия предлага по-специфични стратегии, за да помогне за предотвратяване на бъдещи ПТП. Знаейки кои участъци от пътища и кръстовища са свързани с постоянно високи нива на ПТП, причинени от алкохол, например, може да предложи нова организация за местоположението на контролните органи, целящи тяхното предотвратяване.

REFERENCES

Anderson, K. T. (2009). *Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots*. Accident Analysis & Prevention Volume 41, Issue 3, May 2009, Pages 359-364 <https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.12.014>;

Birch, Colin P.D., Oom, Sander P., and Beecham, Jonathan A. Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment, and simulation in ecology. *Ecological Modelling*, Vol. 206, No. 3–4. (August 2007), pp. 347–359;

Cheng, Z., Zu, Z., & Lu, J., (2019). *Traffic Crash Evolution Characteristic Analysis and Spatiotemporal Hotspot Identification of Urban Road Intersections*. *Sustainability* 2019, 11(1), 160; <https://doi.org/10.3390/su11010160>;

Ekslera, V., Lassarrea, S. and Thomasb, I. (2008). *Regional analysis of road mortality in Europe*. Journal of RIOPH Public Health (2008) 122, 826e837, <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2007.10.003>;

Fridstrom, L., Ifver J., Ingebritsen S., Kulmala R., Krogsgard Thomsen L., (1995). *Measuring the contribution of randomness, exposure, weather and daylight to the variation in road accident counts*. Accidents Analysis and Prevention, v. 27, nr. 1, 1-20;

Harris, L. N., Goldman, E. (2017). *Using spatial statistics to identify emerging hot spots of forest loss*. Environ. Res. Lett. 12 (2017) 024012 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5a2f>;

Esri's Network Analyst Community website - <https://community.esri.com/t5/arcgis-network-analyst/ct-p/arcgis-network-analyst>;

U.S. Dept. of Transportation (2010). *Road Safety Information Analysis*. A Manual for Local Rural Road Owners, p. 21 - FHWA-SA-11-10 <https://highways.dot.gov/safety>;

WHO Road traffic injuries 20 June 2022 <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>;

Климатичният контекст на България за съвременната климатология, 1991-2020 г. URL: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/bulgaria/climate-data-historical>;

Министерство на вътрешните работи, областна дирекция на МВР-Русе, сектор „Пътна Полиция“;

Мъцински, Г.П., Дечкова, В.С. (2018). *Концептуален модел на информационна система за автоматизиране на инженерния труд при разследване пътнотранспортни произшествия*. ISSN: 1311 2864, volume 33 (2), 2018, Списание: „Известия“ на Съюза на учените – Сливен;

Обобщен доклад за безопасността на движението по пътищата и пътнотранспортна обстановка в република България за периода 01.07.2019 – 31.12.2019;

Приложение № 1 към т. 1 Списък на републиканските пътища в Република България;

Резолюция на Европейския парламент от 6 октомври 2021 г. относно „Рамка за политиката на ЕС относно пътната безопасност за периода 2021 – 2030 г. – следващи стъпки към „Нулева смъртност““ https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2021-0407_BG.html;

Спасова, З., Димитров, Цв., (2014). *Универсален термален климатичен индекс и връзката му с пътно-транспортните произшествия*. Social Medicine, 2014 – journals.mu-varna.bg;