

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Dragan, T., 2014. Novi pristopi pri analiziranju prometne varnosti. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Žura, M., somentor Kostanjšek, J.): 64 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Dragan, T., 2014. Novi pristopi pri analiziranju prometne varnosti. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Žura, M., co-supervisor Kostanjšek, J.): 64 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

**UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
PROMETNA SMER**

Kandidat:

TADEJ DRAGAN

**NOVI PRISTOPI PRI ANALIZIRANJU PROMETNE
VARNOSTI**

Diplomska naloga št.: 3375/PS

**ADVANCED APPROACHES IN ROAD SAFETY
ANALYSIS**

Graduation thesis No.: 3375/PS

Mentor:

izr. prof. dr. Marijan Žura

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

viš. pred. mag. Jure Kostanjšek

Član komisije:

doc. dr. Alojzij Juvanc

Ljubljana, 27. 04. 2014

POPRAVKI

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna.«

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Tadej Dragan izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom
»Novi pristopi pri analiziranju prometne varnosti«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 11.3.2014

Tadej Dragan

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	656.1:656.25(497.4)(043.2)
Avtor:	Tadej Dragan
Mentor:	izr. prof. dr. Marijan Žura
Somentor:	viš. pred. mag. Jure Kostanjšek
Naslov:	Novi pristopi pri analiziranju prometne varnosti
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	64 str., 7 pregl., 56 sl.
Ključne besede	črne točke, nevarna mesta, metode prostorske statistike, metoda kritične stopnje nezgod, zgoščevanje nezgod

Izvleček:

V okviru diplomske naloge smo preučili nove pristope z uporabo prostorskih statističnih metod in jih uporabili pri določitvi nevarnih mest na cestah. Rezultate smo nato primerjali z rezultati metode kritične stopnje nezgod, ki se za državne ceste v uporablja v Sloveniji. Nevarna mesta so odseki na cestnem omrežju, kjer obstaja večja verjetnost za nastanek prometne nezgode. Metodi prostorske statistike, ki smo jih raziskali in uporabili, sta lokalni indeks Moran I in Getis-Ord G-metoda. Zasnovali in izvedli smo več simulacij na testnih primerih. Metodi pa smo uporabili tudi na realnih primerih. Za realni primer smo si izbrali odsek 0262 (Rašica-Žlebič) na glavni cesti G2-106 (Škofljica-Kočevje), ki je znan kot nevaren odsek v Sloveniji, kar dokazuje tudi EuroRAP analiza. Rezultati so pričakovani, metode dajo podobne rezultate, mestoma pa kakšna metoda najde kakšno nevarno mesto več kot druga.

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC:	656.1:656.25(497.4)(043.2)
Author:	Tadej Dragan
Supervisor:	assoc. prof. Marijan Žura, Ph.D
Cosupervisor:	sen. lect. Jure Kostanjšek, M.Sc.
Title:	Advanced approaches in Road Safety analysis
Document type:	Graduation thesis – University studies
Scope and tools:	64 p., 7 tab., 56 fig.
Keywords:	black spots, dangerous places, methods of spatial statistics, the method of critical accident rates, accidents density

Abstract

As part of the thesis we studied advanced spatial statistical methods and used them in determining dangerous locations on the roads. The results were compared with the results of the Critical accident rate method, which is in use for state roads in Slovenia. Dangerous locations are sections of the road network, with higher probability for traffic accidents. Methods of spatial statistics that we have researched are the local Moran index I and Getis-Ord G-method. We designed and executed several simulations on the test cases. Methods were used also on real cases. For a realistic example, we have selected the section 0262 (Rašica-Žlebič) on the main road G2-106 (Škofljica-Kočevje), which is known as a dangerous section on Slovenian roads, as proved also by the EuroRAP analysis. The results are as expected, the three methods show similar results. In some cases, methods differ and find more dangerous locations than other methods.

»Ta stran je namenoma prazna.«

ZAHVALA

Za strokovno pomoč in koristne nasvete se zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Marijanu Žuri in somentorju viš. pred. mag. Juretu Kostanjšku.

Zahvaljujem se tudi svoji družini, ki mi je skozi leta študija stala ob strani.

Hvala tudi puncu Moniki za moralno podporo in spodbudo v času pisanja diplomske naloge.

Hvala vsem sošolcem in prijateljem, ki so poskrbeli, da mi bodo študentska leta ostala v lepem spominu.

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO VSEBINE

POPRAVKI	I
IZJAVA O AVTORSTVU	III
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	V
BIBLIOGRAFIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION	VII
ZAHVALA	IX
1 UVOD	1
1.1 Namen	3
1.2 Črne točke	3
1.3 Omejitve pri določevanju črnih točk	4
2 METODE	5
2.1 Moran I	5
2.1.1 Prostorska avtokorelacija: globalni indeks Moran I.....	5
2.1.2 Uporaba lokalnega indeksa Moran I.....	6
2.1.3 Prilagoditve	7
2.1.4 Ničelna hipoteza	8
2.1.5 Z-rezultat in p-vrednost	9
2.1.6 Funkcije uteži.....	10
2.2 Getis Ord G - statistika	11
2.3 Določitev črnih točk v Sloveniji	12
2.4 Ostale metode	17
3 VHODNI PODATKI	19
3.1 Baza podatkov o prometnih nezgodah	19
3.2 PLDP	20
3.3 Združevanje podatkov	21
3.4 Časovni okvir	22
3.5 Utež posledice nezgode	23
3.6 Relativizacija glede na PLDP – izračun stopnje nezgod	23
4 ANALIZA	24
4.1 Orodja za analizo	25
4.2 Testni primer 1	25
4.3 Testni primer 2	26
4.4 Testni primer 3	29
4.5 Testni primer 4 – križišče	30
4.6 Realni primer – odsek 0262	36

4.6.1 Primer 1	36
4.6.2 Primer 2	43
4.6.3 Primer 3	46
4.6.4 Primer 4	48
4.7 Realni primer - odsek s križišči	51
4.7.1 Varianta 1	53
4.6.2 Varianta 2	58
4.8 Razlika pri rezultatih po metodi Getis Ord G	60
5 ZAKLJUČEK IN UGOTOVITVE	61
VIRI.....	63

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Stopnja zaupanja verjetnostne funkcije [12]	14
Preglednica 2: Koeficient za posamezen tip prometne nezgode	15
Preglednica 3: PLDP po letih na odseku 0262 [15]	21
Preglednica 4: Klasifikacija nezgode in njen pomen.....	23
Preglednica 5: Koordinate točk in število nezgod	31
Preglednica 6: Število nezgod v posameznem križišču, primer 1	56
Preglednica 7: Število nezgod v posameznem križišču, primer 2	59

»Ta stran je namenoma prazna.«

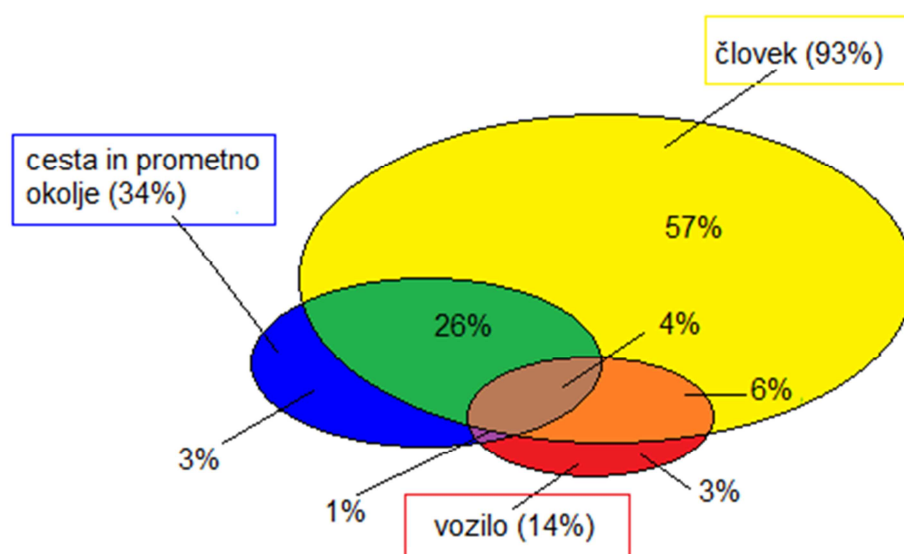
KAZALO SLIK

Slika 1: Soudeležba osnovnih dejavnikov prometnih nezgod [5]	1
Slika 2: Število smrtnih žrtev v obdobju 2002-2013 v Sloveniji in strateški cilj za leto 2022	2
Slika 3: Število smrtnih žrtev na milijon prebivalcev v EU v letu 2010 [2].....	2
Slika 4: Standardna normalna porazdelitev [10]	9
Slika 5: Vpliv funkcij uteži [9].....	11
Slika 6: Shematski pregled identifikacije nevarnih mest [5]	16
Slika 7: Primer jeder in jedrne gostote	17
Slika 8: Vplivno območje K-funkcije	18
Slika 9: Poizvedba z orodjem MS Access	20
Slika 10a: Število nezgod, testni primer 1	25
Slika 10b: Grafikon lokalnega indeksa Moran I, testni primer 1	25
Slika 11: Grafikon G-metode, testni primer 1	26
Slika 12: Grafikon lokalnega indeksa Moran I, testni primer 2.....	27
Slika 13: Grafikon G-metode, testni primer 2	27
Slika 14: Grafikon lokalnega indeksa Moran I, testni primer 3.....	29
Slika 15: Obravnavano območje, testni primer 4.....	30
Slika 16: Grafikon lokalnega indeksa Moran I, testni primer 4.....	32
Slika 17: Grafikon lokalnega indeksa Moran I, odsek 1, testni primer 4.....	33
Slika 18: Grafikon lokalnega indeksa Moran I, odsek 2,3,4, testni primer 4.....	33
Slika 19: Grafikon G-metode, testni primer 4	34
Slika 20: Grafikon, G-metode, odsek 1, testni primer 4	34
Slika 21: Grafikon G-metode, odsek 2,3,4, testni primer 4	35
Slika 22: Pododseki na obravnavanem območju in število nezgod v posamezni OPE	36
Slika 23: Zemljevid, ki prikazuje odsek 0262.....	37
Slika 24: Grafikon lokalnega indeksa Moran I na odseku 0262 v 3,5 in 10-letnem obdobju, primer 1	38
Slika 25: Grafikon lokalnega indeksa Moran I na odseku 0262 v 5-letnem obdobju, MS Excel, primer 1	39
Slika 26: Grafikon lokalnega indeksa Moran I na odseku 0262 v 5-letnem obdobju, ArcMap, primer 1	40
Slika 27: Rezultati lokalnega indeksa Moran I predstavljeni na odseku 0262, primer 1	41
Slika 28: Grafikon G-metode na odseku 0262 v 3,5 in 10-letnem obdobju, primer 1	42
Slika 29: Rezultati metode kritične stopnje nezgod na odseku 0262 v 3,5,10-letnem obdobju, primer 1	42
Slika 30: Grafikon lokalnega indeksa Moran I na odseku 0262 v obdobju 2008-2010 in 2010-2012, primer 2.....	43
Slika 31: Grafikon lokalnega indeksa Moran I na odseku 0262 v obdobju 2004-2006 in 2006-2008, primer 2.....	43
Slika 32: Grafikon G-metode na odseku 0262 v obdobju 2008-2010 in 2010-2012, primer 244	
Slika 33: Grafikon G-metode na odseku 0262 v obdobju 2004-2006 in 2006-2008, primer 244	
Slika 34: Rezultati metode kritične stopnje nezgod na odseku 0262 v obdobjih 2004-2006, 2006-2008, 2008-2010, 2010-2012, primer 2.....	45
Slika 35: Grafikon lokalnega indeksa Moran I na odseku 0262 v 3,5 in 10-letnem obdobju, primer 3	46
Slika 36: Grafikon G-metode na odseku 0262 v 3,5 in 10-letnem obdobju, primer 3	47

Slika 37: Rezultati metode kritične stopnje nezgod na odseku 0262 v 3.5 in 10-letnem obdobju, primer 3.....	47
Slika 38: Grafikon lokalnega indeksa Moran I na odseku 0262 v obdobju 2008-2010 in 2010-2012, primer 4.....	48
Slika 39: Grafikon lokalnega indeksa Moran I na odseku 0262 v obdobju 2004-2006 in 2006-2008, primer 4.....	49
Slika 40: Grafikon G-metode na odseku 0262 v obdobju 2008-2010 in 2010-2012, primer 450	
Slika 41: Grafikon G-metode na odseku 0262 v obdobju 2004-2006 in 2006-2008, primer 450	
Slika 42: Rezultati metode kritične stopnje nezgod na odseku 0262 v obdobjih 2004-2006, 2006-2008, 2008-2010, 2010-2012, primer 4.....	51
Slika 43: Zemljevid obravnavanega odseka	52
Slika 44: Grafikon lokalnega indeksa Moran I na obravnavanem odseku, MS Excel, varianta 1	53
Slika 45: Grafikon lokalnega indeksa Moran I na obravnavanem odseku, ArcMap, varianta 1	54
Slika 46: Rezultati lokalnega indeksa Moran I predstavljeni na obravnavanem odseku, varianta 1	54
Slika 47: Grafikon G-metode na obravnavanem odseku, MS Excel, varianta 1	55
Slika 48: Grafikon G-metode na obravnavanem odseku, ArcMap, varianta 1	55
Slika 49: Rezultati G-metode predstavljeni na obravnavanem odseku, varianta 1.....	56
Slika 50: Rezultati metode kritične stopnje nezgod na obravnavanem odseku z upoštevanjem nezgod v območju križišč, varianta 1.....	57
Slika 51: Rezultati metode kritične stopnje nezgod na obravnavanem odseku brez upoštevanja nezgod v območju križišč, varianta 1.....	57
Slika 52: Grafikon lokalnega indeksa Moran I na obravnavanem odseku, MS Excel, varianta 2	58
Slika 53: Grafikon G-metode na obravnavanem odseku, ArcMap, varianta 2.....	58
Slika 54: Rezultati G-metode predstavljeni na obravnavanem odseku, varianta 2.....	59
Slika 55: Rezultati metode kritične stopnje nezgod na obravnavanem odseku z upoštevanjem nezgod v območju križišč, varianta 2.....	60
Slika 56: Rezultati metode kritične stopnje nezgod na obravnavanem odseku brez upoštevanja nezgod v območju križišč, varianta 2.....	60

1 UVOD

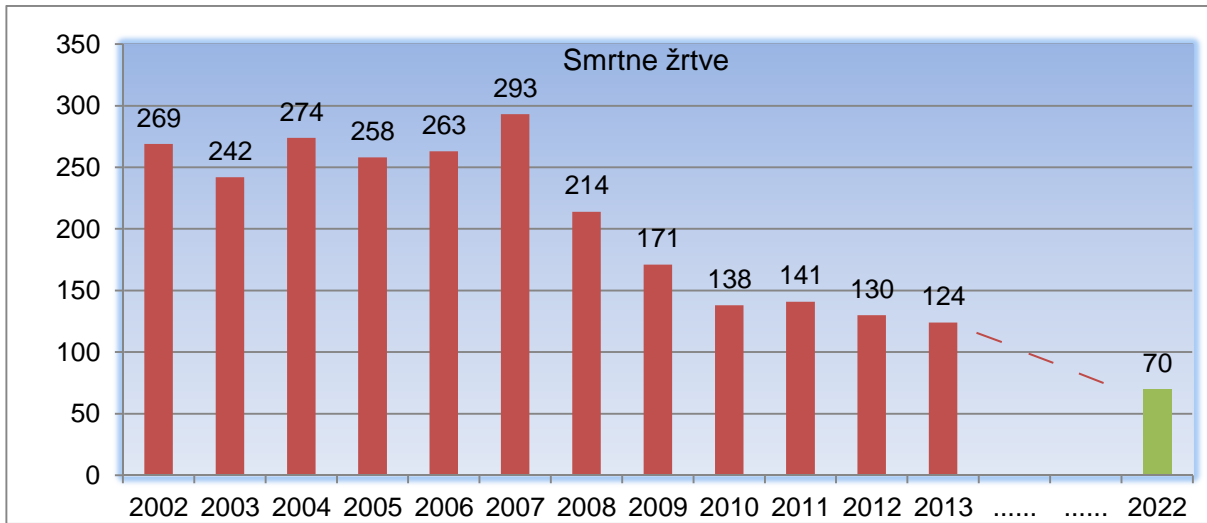
Prometna varnost je področje, ki mu Republika Slovenija in Evropska unija namenjata veliko pozornosti. Prometne nezgode nastanejo zaradi različnih dejavnikov v sistemu voznik-vozilo-cesta-okolje [1]. Na spodnji sliki je prikazana soudeležba osnovnih dejavnikov prometnih nezgod.



Slika 1: Soudeležba osnovnih dejavnikov prometnih nezgod [5]

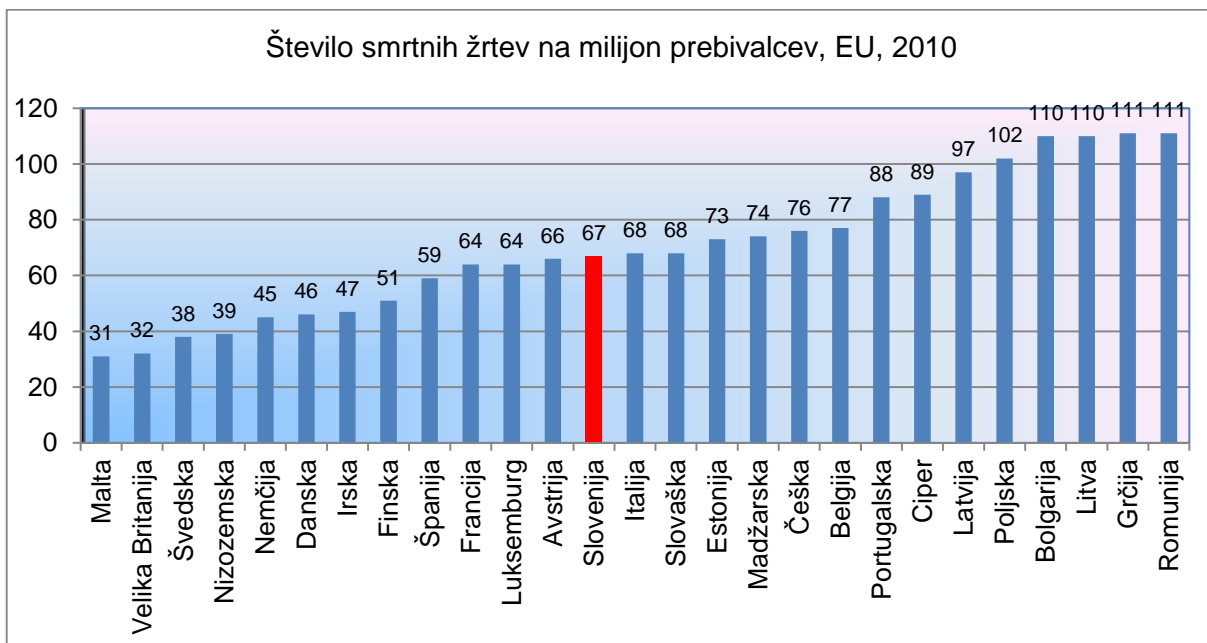
V Nacionalnem programu varnosti cestnega prometa [1], za obdobje od 2013-2022, je kot dolgoročen cilj varnosti cestnega prometa zastavljena Vizija 0. To pomeni, da je vizija nič smrtnih žrtev in nič hudo telesno poškodovanih udeležencev prometnih nezgod. Za doseg te vizije bo potrebno izboljšati vse dejavnike, ki vplivajo na nastanek prometnih nezgod. Strateški cilj je, da konec leta 2022 ne bi na slovenskih cestah umrlo več kot 70 oseb in se ne bi hudo telesno poškodovalo več kot 460 oseb.

V spodnji tabeli je prikazan trend padanja smrtnih žrtev v prometnih nezgodah v obdobju 2002-2013 s strateškim ciljem za leto 2022.



Slika 2: Število smrtnih žrtev v obdobju 2002-2013 v Sloveniji in strateški cilj za leto 2022

V primerjavi z EU po številu smrtnih žrtev v prometnih nezgodah na milijon prebivalcev je Slovenija v sredini. 67 žrtev na milijon je malo pod povprečjem, ki znaša 71 žrtev na milijon.



Slika 3: Število smrtnih žrtev na milijon prebivalcev v EU v letu 2010 [2]

1.1 Namen

Namen diplomske naloge je preučiti metode prostorske statistike in jih uporabiti za določitev mest zgoščevanja prometnih nezgod. Metode bomo uporabili na testnih in realnih primerih. Rezultate bomo nato primerjali z metodo kritične stopnje nezgod, ki je trenutno v uporabi v Sloveniji.

V kolikor se na določeni lokaciji pogosto pojavljajo prometne nezgode istega tipa ali vzroka, je potrebno preveriti ali je vzrok v infrastrukturi, uporabniku ali vozilu. Te lokacije je potrebno detajlno analizirati.

1.2 Črne točke

Črne točke so mesta, kjer se dogaja večje število prometnih nezgod oziroma je možno opaziti zgostitev prometnih nezgod. Nevarna mesta so odseki na cestnem omrežju, kjer obstaja povečana verjetnost za nastanek prometne nezgode. Običajno na teh mestih nastajajo prometne nezgode enakega ali podobnega tipa oz. prevladuje določen vzrok za nastanek prometnih nezgod [3]. Najpogostejši vzrok za prometne nezgode po podatkih policije [4] je neprilagojena hitrost. Slovenski vozni park je posodobljen in razmeroma nov. Novi avtomobili nam dajejo lažni občutek varnosti, kar privede do večjega števila prometnih nezgod.

1.3 Omejitve pri določevanju črnih točk

V praksi se pokažejo različni problemi pri določitvi črnih točk, ki jih je treba upoštevati. Najlažje jih opišemo z naslednjimi pojmi: naključen značaj prometnih nezgod, regresija k povprečju in migracija nezgod [5].

- Naključen značaj prometnih nezgod: lokacija in število prometnih nezgod se z leti spreminja. Razlogi za to so v zunanjih dejavnikih in v samem naključnem značaju prometnih nezgod. Pri analizi moramo uporabiti reprezentativen časovni okvir. Upoštevati moramo tudi infrastrukturne ukrepe, če so bili izvedeni v opazovanem časovnem obdobju.
- Regresija k povprečju: je posledica naključnega značaja prometnih nezgod. Ko najdemo potencialno nevaren odsek, v nekem časovnem obdobju, se moramo zavedati, da bo najverjetneje v naslednjem časovnem obdobju zaradi regresije k povprečju nezgod manj, tudi če ne izvedemo nobenega ukrepa za izboljšanje varnosti.
- Migracija nezgod: nezgode v različnih časovnih presekih ugasnejo ali migrirajo na drugo lokacijo (upad prometa, rekonstrukcija odseka ali križišča, večji policijski nadzor, spremembe v vedenju udeležencev v prometu, itd.).

2 METODE

Metodi prostorske statistike, ki jih bomo raziskali in uporabili, sta indeks Moran I in Getis-Ord G-metoda. Indeks Moran I ima globalno in lokalno verzijo. Globalni indeks Moran I zazna zgoščevanje podatkov na celotnem opazovanem območju. Če ta metoda ne zazna zgoščevanja, uporabimo njeno lokalno verzijo. Lokalni indeks Moran I nam za vsako prostorsko enoto poda stopnjo zgoščevanja [6]. G-metoda in lokalni indeks Moran I sta del LISA statistike.

LISA je kratica za »Local indicator of spatial association«, kar pomeni lokalni kazalnik prostorske zveze. V [7] je predlagana definicija, da je LISA vsaka statistika, ki zadosti naslednjim pogojem:

- LISA daje oceno obsega prostorske povezave obravnavane lokacije glede na sosednje lokacije,
- vsota vseh LISA opazovanj je sorazmerna globalnemu kazalniku prostorske zveze.

Lokalno prostorsko združevanje, ki mu lahko rečemo vroče točke ali nevarna mesta, se določi kot lokacije ali skupek sosednjih lokacij, za katere je vrednost LISA značilna. LISA se lahko uporabi kot osnova za test ničelne hipoteze lokalne prostorske nepovezanosti.

2.1 Moran I

2.1.1 Prostorska avtokorelacija: globalni indeks Moran I

Statistika prostorske avtokorelacije meri in analizira stopnjo odvisnosti med podatki v geografskem prostoru. Moran I je eden najstarejših kazalcev globalne prostorske avtokorelacije in se še vedno uporablja za določitev prostorske avtokorelacije. Ovrednoti ali je vzorec razporejen gručasto, razpršeno ali naključno. Primerja vrednost na določeni lokaciji z vrednostmi vseh drugih lokacij po enačbi:

$$I = \frac{N \sum_i \sum_j W_{i,j} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{(\sum_i \sum_j W_{i,j}) \sum_i (X_i - \bar{X})(X_i - \bar{X})^2}$$

Kjer je:

N... število primerov

Xi... vrednost spremenljivke na določeni lokaciji

X_j ... vrednost spremenljivke na drugih lokaciji

\bar{X} ... srednja vrednost spremenljivke

W_{ij} ... utež, ki predstavlja obratno vrednost razdalje med lokacijo i in j

Orodje prostorske analize v programskem paketu ArcGIS izračuna vrednost indeksa Moran I in vrednost Z , ki kaže statistično značilnost. Na splošno vrednost indeksa Moran okoli 1 pomeni združevanje, vrednost okoli -1 pa razpršenost. V primeru prostorske avtokorelacije je prisotna ničelna hipoteza, ki se glasi: tukaj ni prostorskega združevanja vrednosti. Ko je ničelna hipoteza zavrnjena, sledi naslednji korak, to je pregled vrednosti Moran I. Če so vrednosti večje od 0, je vzorec gručast, če so pa manjše, je pa razpršen [8].

2.1.2 Uporaba lokalnega indeksa Moran I

Najprej je bil v uporabi Globalni indeks Moran I, iz njega so kasneje razvili lokalni indeks Moran I. Pri iskanju nevarnih mest bomo uporabili njeno lokalno verzijo. Le ta mora ustrezati določenim omejitvam:

- meriti mora obseg prostorske avtokorelacije okoli posameznega opazovanja in to za vsako opazovanje v nizu podatkov,
- vsota lokalnih indeksov mora biti sorazmerna z globalnim obsegom prostorske zveze.

Če vse to upoštevamo, lahko zapišemo enačbo:

$$I_i = \frac{n}{(n-1)S^2} (x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_j - \bar{x})$$

Kjer je:

x_i ...vrednost v točki i

\bar{x} ... povprečna vrednost števila nezgod

W_{ij} ... predstavlja bližino lokacije točke i in j , W_{ii} je nič za vse točke

n ... število vseh točk

$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$... varianca opazovanih vrednosti

Dobra lastnost Moran I je dejstvo, da rezultate predstavi relativno glede na povprečno vrednostjo. Običajno je nemogoče izračunati indeks za celotno območje naenkrat, zato ga

moramo razdeliti na manjša območja. Če uporabimo povprečje celotnega območja, dosežemo primerljivost rezultatov [9].

Ta metoda se uporablja za določitev koncentracije visokih vrednosti, koncentracije nizkih vrednosti in prostorskih osamelcev. Odgovarja na vprašanja, kot so na primer:

- Kje je na študijskem območju prisotno zgoščevanje prometnih nezgod?
- Kje so najbolj strme meje med bogastvom in revščino na študijskem območju?
- Ali obstajajo mesta na študijskem območju z nepravilnim vzorcem porabe?
- Kje so nepričakovano visoke stopnje sladkorne bolezni na študijskem območju?

Metoda ima svojo vlogo na številnih področjih, vključno z ekonomijo, upravljanjem virov, biografijo, politično geografijo in demografijo. [10]

2.1.3 Prilagoditve

Za izračun vrednosti W_{ij} se uporablja geografsko določene koordinate x in y , ki določijo vsako lokacijo. Razdalje se po navadi določijo kot zračna razdalja z enačbo:

$$d = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2}$$

Prometne nezgode se zgodijo na cestni mreži, zato tak način ni najbolj primeren. Lahko se zgodi, da sta dve lokaciji blizu skupaj v prostoru, vendar sta na mreži težko dosegljivi (npr. ena od njih se nahaja v enosmerni ulici). Logično je, da uporabimo prevoženo razdaljo na cestnem omrežju. Vsako nezgodo je treba določiti na karti cestnega omrežja, oddaljenost se tako določi preko omrežja. Upoštevati moramo križišča kot tudi uvozne in izvozne rampe. To je prva prilagoditev, ki jo je potrebno upoštevati v primerjavi z normalno uporabo LISA [9].

V literaturi [9] so predstavljene še štiri druge prilagoditve, ki jih moramo upoštevati. Prvič je treba uporabiti indeks na pravi način. Moramo upoštevati tudi območja brez nezgod. V nasprotnem primeru bi bila povprečna vrednost precenjena. Lokacije z nezgodami bi bile ocenjene kot preveč kritične.

Po navadi se za vrednost \bar{x} uporabi povprečno število nezgod na obravnavanem območju. Lahko pa uporabimo tudi priporočeno vrednost. Če moramo celotno območje razdeliti na več delov, za vse dele uporabimo isto vrednost za \bar{x} . S tem dosežemo primerljivost rezultatov. Z

vidika prometne varnosti bi bilo zanimivo primerjati povprečja za neki tip ceste, povprečje regije ali države.

Pri računu lokalnega indeksa Moran I se uporablja osnovno prostorsko enoto (OPE). Obravnavano območje razdelimo z mrežo na manjše enote. Znotraj vsake enote seštejemo nezgode. Te seštevke nato uporabimo za nadaljnjo analizo. Pomembne so le enote, ki prikazujejo pozitivno vrednost prostorske avtokorelacije. Vendar pa ni nujno, da so te lokacije izrazita nevarna mesta. Lahko so tudi varna mesta. Zato mora tudi veljati:

- število nezgod mora biti večje od povprečja ($x_i - \bar{x} > 0$),
- okolica mora ravno tako kazati več nezgod, kot je pričakovano povprečje $\sum_{j=1}^n W_{ij}(x_j - \bar{x}) > 0$.

Kjer prostorska avtokorelacija pokaže izrazito negativno vrednost, to pomeni:

- da je lokacija z večjim številom nezgod od povprečja obdana z lokacijami z manj nezgod od povprečja,
- da je lokacija, z manjšim številom nezgod od povprečja, obdana z lokacijami z več nezgod od povprečja.

2.1.4 Ničelna hipoteza

Ničelna hipoteza je hipoteza, ki je nasprotna osnovni hipotezi, jo zanika. S tem ko ničelno hipotezo zavrnilo, potrdimo osnovno hipotezo. Veliko statističnih testov se začne s postavitvijo ničelne hipoteze. Pri analizi prostorskih vzorcev se le ta glasi: prostorski vzorec je čisto prostorsko naključje. Z izračunom z-rezultata in p-vrednosti lahko ničelno hipotezo zavrnilo.

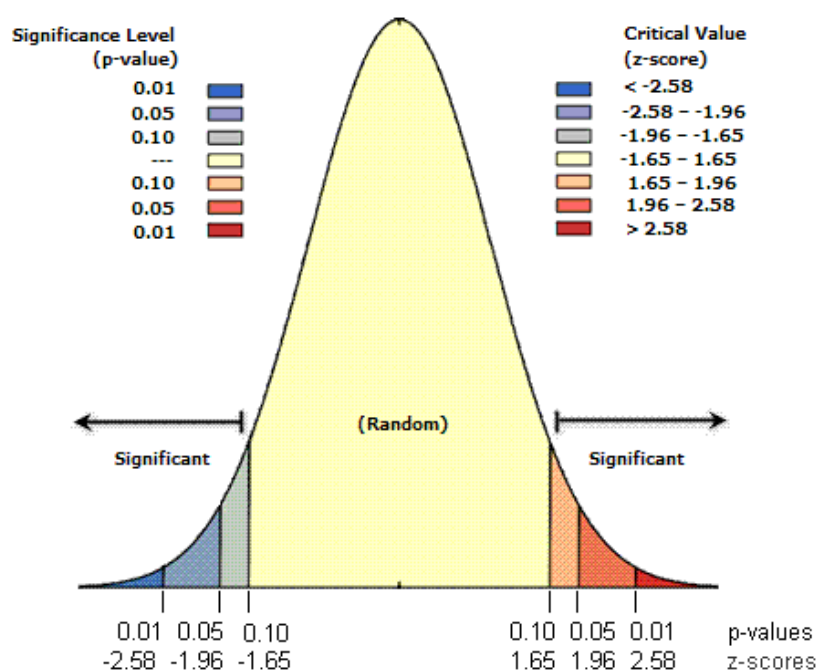
Lokalni indeks Moran I je relativna vrednost, interpretira se lahko le v kontekstu z z-rezultatom ali p-vrednostjo.

2.1.5 Z-rezultat in p-vrednost

P-vrednost je verjetnost. Pri analizi vzorcev je to verjetnost, da je opazovan prostorski vzorec nastal z naključnim procesom. Ko je p-vrednost zelo majhna, to pomeni, da je zelo majhna verjetnost, da je opazovani prostorski vzorec posledica naključnega procesa. S tem lahko zavrnemo ničelno hipotezo.

Z-rezultat je standardni odklon. Če izračunamo npr. z-rezultat 2,5, lahko rečemo, da je rezultat 2,5 standardnega odklona. Standardni odklon meri razpršenost enot v populaciji.

Obe vrednosti sta povezani s standardno normalno porazdelitvijo, kar lahko vidimo na spodnji sliki.



Slika 4: Standardna normalna porazdelitev [10]

Zelo visoki in zelo nizki (negativni) z-rezultati skupaj z zelo majhnimi p-vrednostmi se nahajajo v repih normalne porazdelitve.

Za zavrnitev ničelne hipoteze moramo subjektivno presoditi, glede na stopnjo tveganja, ki smo ga pripravljene sprejeti za to, da nimamo prav (za lažno zavrnitev ničelne hipoteze). Pred izračunom si je treba izbrati stopnjo zaupanja. Tipične stopnje zaupanja so 90, 95, 99 odstotkov, kjer je stopnja zaupanja 99 odstotkov najbolj konservativna.

Z-rezultat izračunamo po naslednji enačbi:

$$z = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}}$$

$E[I_i]$... pričakovana vrednost I_i

$V[I_i]$... varianca

$$E = - \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij}}{n - 1}$$

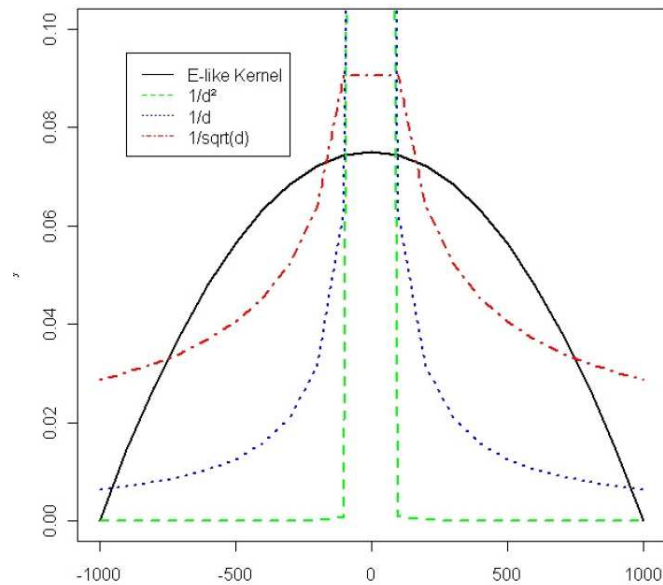
$$V[I_i] = E[I_i^2] - E[I_i]^2$$

2.1.6 Funkcije uteži

S pomočjo uteži določamo vpliv sosednjih osnovnih prostorskih enot (OPE) na opazovano OPE. Večja je razdalja med njima, manjši je vpliv.

Na splošno je velika slabost prostorske avtokorelacije, da postopek ni enolično določen. Ne obstaja optimalna specifikacija za uteži. Moramo upoštevati dva različna vidika, t.j. število sosedov (stopnja povezanosti) in vrednost uteži. Kar se tiče stopnje povezanosti, je zahtevno določiti optimalno razdaljo med dvema OPE, kjer bi obe OPE še vedno kazali povezanost. Optimalna razdalja variira glede na tip in karakteristike ceste. Nanjo vpliva tudi konfiguracija ceste, omejitve hitrosti in podobno.

Za določevanje vrednosti uteži lahko uporabljamo različne postopke. Po navadi se uporablja inverz korena razdalje. To pomeni, da bolj ko je neka lokacija oddaljena od lokacije, ki se jo preučuje, manjšo utež prejme. Uteži so po navadi normirane, kar pomeni, da je vsota vseh uteži neke lokacije enaka 1. Na spodnji sliki je z debelo črno črto označeno modificirano Epanechnikovo jedro, ki se ga po navadi uporablja pri jedrni gostoti. Zelena črta predstavlja inverz kvadrata razdalje ($1/d^2$). V grafikonu lahko opazimo, da je pri razdalji 150 m utež skoraj enaka 0. Modra črta predstavlja inverz razdalje ($1/d$). Na ta način lahko damo nekaj teže tudi lokacijam na razdalji do 750 m. Rdeča črta pa predstavlja inverz korena razdalje ($1/\sqrt{d}$). Ta primer daje nekaj teže vsem lokacijam. Za izbiro funkcije za uteži, kot tudi za izbiro števila sosedov ni optimalne variante. Mogoče lahko z več različnimi simulacijami in z nekaj izkušnjami pridemo do boljših rezultatov.



Slika 5: Vpliv funkcij uteži [9]

2.2 Getis Ord G - statistika

Tudi ta postopek nam pove, kje se pojavljajo območja zgozstitev oziroma območja z večjo vrednostjo parametra. Lokacija je kritična, če ima parameter visoko vrednost, poleg tega pa morajo tudi okoliške vrednosti kazati visoke vrednosti. Na podoben način se določi tudi t.i. hladne točke. Lokacija mora imeti nizko vrednost, poleg tega morajo tudi okoliške lokacije imeti nizko vrednost. Vidimo, da se rezultate interpretira nekoliko drugače kot pri prvi metodi. Vrednosti parametra G_i se izračuna po enačbi:

$$G_i = \frac{\sum_{j \neq i} W_{ij}(d)x_j}{\sum_{j \neq i} x_j}$$

kjer je:

- W_{ij} utež, ki predstavlja razdaljo med opazovano točko in vplivno točko, če je točka znotraj določene razdalje, je W_{ij} 1, drugače 0,
- x_j vrednost v točki j.

Na podoben način se izračuna vrednost G_i^* :

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij}(d)x_j}{\sum_{j=1}^n x_j}$$

Razlika med G_i in G_i^* je v tem, da pri G_i ni upoštevana tista OPE, v kateri računamo vrednosti. Ni pomembno, kako velika vrednost je v tej enoti, rezultat bo vedno enak, kar pa ne velja za G_i^* .

Pri tej metodi je zanimivo, da imajo vse lokacije, ki so znotraj določene razdalje, enak vpliv na vrednost določene lokacije. Dobimo t.i. oblake visokih vrednosti.

Metodo se lahko uporablja tudi na področjih:

- sledenja kriminalu,
- kartiranja kriznih območij,
- zemljevid stopnje zdravja,
- zemljevid vrednosti nepremičnin,
- sledenja vladnih izdatkov in drugih [11].

Slaba lastnost te metode je, da ne more zaznati negativne prostorske avtokorelacije, kar pomeni, da ne zazna lokacije z veliko nezgodami, ki je obdana z lokacijami z zelo malo nezgodami.

2.3 Določitev črnih točk v Sloveniji

Metodologija, ki jo uporablja DRSC za državne ceste, ne temelji na principih LISA. Z njo bomo primerjali rezultate, ki nam jih bodo dale prej opisane metode. V tej metodi je predstavljen drugačen način pristopa k določevanju nevarnih mest. Metoda izračuna kritično stopnjo nezgod na odseku. V [5] je opisan postopek zbiranja podatkov in identifikacija črnih točk. Postopek je razdeljen na 11 korakov:

1. korak: določimo obdobje analize. Opazujemo prometne nezgode s poškodbo na državnem cestnem omrežju v treh letih. Podatke dobimo iz policijskih zapisnikov.

2. korak: pripis prometnih nezgod in povprečnega letnega dnevnega prometa na aktualno cestno mrežo. Z uporabo ustreznih orodij se za posamezno leto pripišejo PLDP in prometne nezgode. Le te predstavljajo zabeležene konfliktno dogodke na državni cestni mreži. Cestna mreža se v času razvija: gradijo se avtoceste, nekateri odseki se ukinjajo, odpirajo se novi.

Zaradi tega je treba lokacije prometnih nezgod pripisati na aktualno cestno mrežo. Osnova za pripis je lokacija prometne nezgode, izražena v (X,Y) koordinatah.

3. korak: razdelitev cestne mreže: razdelimo jo na križišča in cestne odseke. Območje križišča vsebuje križišče samo in pododseke, ki se sekajo v križišču. Vključena so križišča z državnimi in lokalnimi cestami. Nezgode, ki se zgodijo na lokalni cesti v območju križišča, se pripiše v križišče.

Odseke ločimo glede na tip ceste:

- ceste z ločenimi voznimi pasovi,
- ceste z omejenim dostopom in
- ostale ceste.

4. korak: izračun števila prometnih nezgod s poškodbo na odseku s pomočjo tekočega odseka - pododseka. Le ta se začne pri prvi nezgodi na odseku in v naslednjih 300 m prešteva prometne nezgode s poškodbo. Če je v bližini (1-30 m) še kakšna prometna nezgoda, se tekoči odsek iterativno podaljšuje. Vendar samo do dolžine 1000 m. S tem zagotovimo primerljivost pododsekov.

5. korak: izračun števila prometnih nezgod s poškodbo v križišču. V območju križišča se preštejejo vse prometne nezgode s poškodbo. Območja križišč imamo na državnih cestah metodološko definirana. Upoštevajo se prometne nezgode s poškodbo na državni in lokalni cestni mreži v območju križišča.

6. korak: za posamezne pododseke izračunamo stopnjo prometnih nezgod (A_r). Izračunamo jo po naslednji enačbi:

$$A_r = \frac{\sum(\text{nezgod s poškodbo})}{PLDP * \text{dolžina}}$$

Za odseke podobnih cest se nato izračuna povprečna vrednost stopnje prometnih nezgod (aAR_r).

7. korak: izračun kritične stopnje prometnih nezgod za pododseke podobnih cest. Izračunamo jo s pomočjo mejne vrednosti intervala zaupanja povprečne stopnje (aAR_r).

Kritična stopnja predstavlja 95 % stopnjo zaupanja. Pri računanju je treba upoštevati tudi prometno obremenitev. Stopnje prometnih nezgod (A_r) so porazdeljene po Poissonovi porazdelitvi. Kritična vrednost (CR_r) je spremenljivka, ki prikazuje 95. percentil Poissonove porazdelitve. Ocenjuje se za cestne pododseke podobnih cest po naslednji enačbi:

$$CR_r = aAR_r + K * \sqrt{\frac{aAR_r}{M} + \frac{1}{2M}}$$

Kjer je:

aAR_r ...povprečna vrednost stopnje prometnih nezgod za odseke podobnih cest
 M ...povprečna količina prometa na cestnem pododseku v opazovalnem časovnem intervalu
 K ...stopnja zaupanja verjetnostne funkcije

Preglednica 1: Stopnja zaupanja verjetnostne funkcije [12]

Stopnja zaupanja	99,5%	99,25%	95%	92,5%	90%
Verjetnost	0,005	0,0075	0,05	0,075	0,1
K-vrednost	2,576	1,96	1,645	1,44	1,282

Za 95% stopnjo zaupanja izberemo K-vrednost 1,645.

8. korak: kritični odseki in križišča so tisti, ki imajo višjo stopnjo prometnih nezgod od kritične stopnje za odseke podobnih cest ($A_r > CR_r$).

9. korak: razvrstitev odsekov z visoko stopnjo prometnih nezgod. Izvede se na osnovi stopnje resnosti nezgod (G). Izračunana je na osnovi teže posledic prometnih nezgod. Prometne nezgode se razdeli v skupine glede na najtežjo posledico.

S...število nezgod s smrtnim izidom

H...število nezgod s hudo poškodovanim udeležencem

L...število nezgod z lažje poškodovanim udeležencem

M...število nezgod z materialno škodo

P... število nezgod s prasko

Za posamezen cestni odsek se nato izračuna stopnja resnosti nezgod po naslednji formuli:

$$G = K_1 * S + K_2 * H + K_3 * L + K_4 * P + K_5 * M$$

kjer je K_n koeficient teže posledic prometne nezgode. Dobimo ga na osnovi ocen stroškov posledic prometnih nezgod.

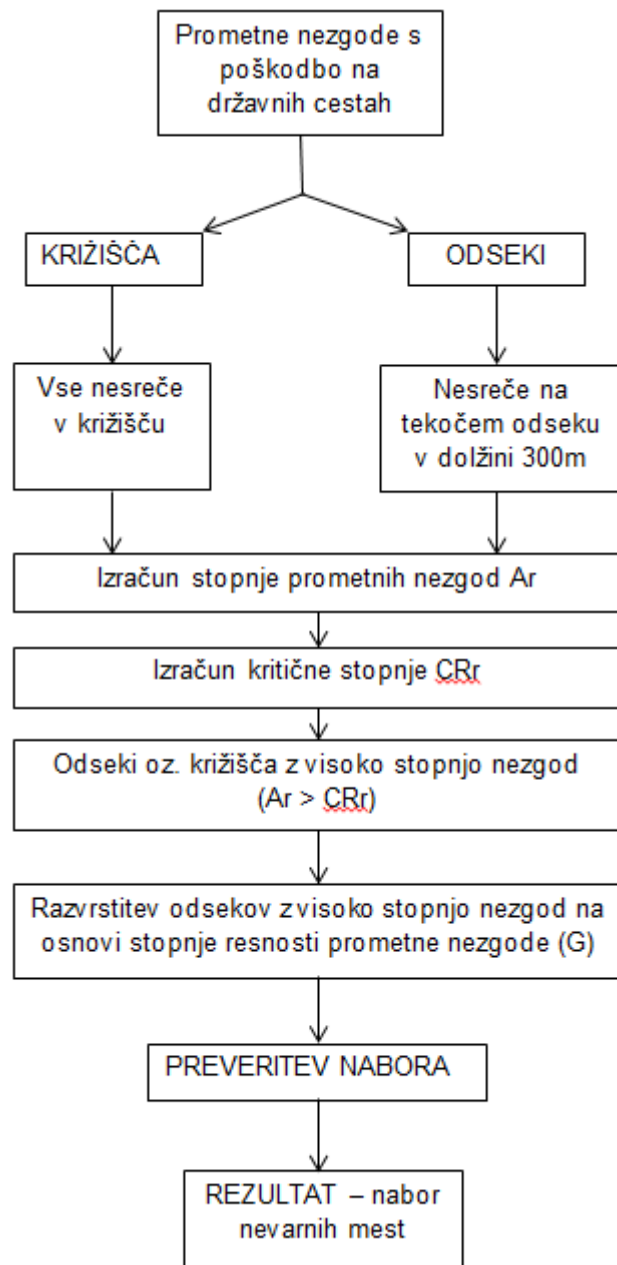
Preglednica 2: Koeficient za posamezen tip prometne nezgode

Tip prometne nezgode	Oznaka	Koeficient
Smrt	K_1	554
Huda poškodba	K_2	55
Lahka poškodba	K_3	10
Praska	K_4	3
Brez poškodb	K_5	1

10. korak: preveritev izračunanega nabora nevarnih mest na državnem cestnem omrežju. Izvede se v skladu z »Metodologijo za določitev postopka preveritve črnih točk«.

11. korak: rezultat je nabor nevarnih mest na državnem cestnem omrežju.

V primerjavah v okviru diplomske naloge se bomo osredotočili na določitev nevarnih mest oz. kritičnih odsekov in križišč. Izpustili bomo korake 9,10 in 11, ker to ni obravnavana tema naloge.



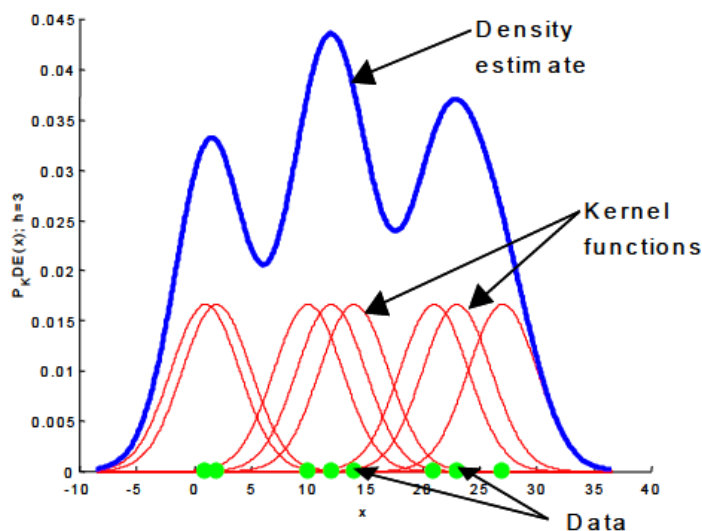
Slika 6: Shematski pregled identifikacije nevarnih mest [5]

2.4 Ostale metode

Obstaja še več prostorskih statističnih metod, s katerimi bi lahko določevali nevarna mesta, ki pa jih v raziskavi ne bomo uporabili:

- jedrna gostota,
- analiza »Nearest Neighbor«,
- K-funkcija.

Jedrna gostota določa naboru točk površinsko gostoto. Površinska gostota jedra je opredeljena za vsako posamezno točko z najvišjo vrednostjo na svoji lokaciji in se zmanjšuje z oddaljevanjem od lokacije točke proti 0. Določimo radij, do katerega ima neka lokacija še vpliv. Vsaka od teh posameznih površin se sešteje in ustvari neprekinjeno površino čez celotno študijsko območje [13]. Na spodnji sliki imamo primer v 2D. Zelene pike predstavljajo lokacije nezgod. Nad vsako nezgodo je napeta krivulja jedrne gostote. Ko te krivulje seštejemo med sabo, dobimo površino jedrne gostote. Metodo lahko enostavno razširimo v 3D prostor.

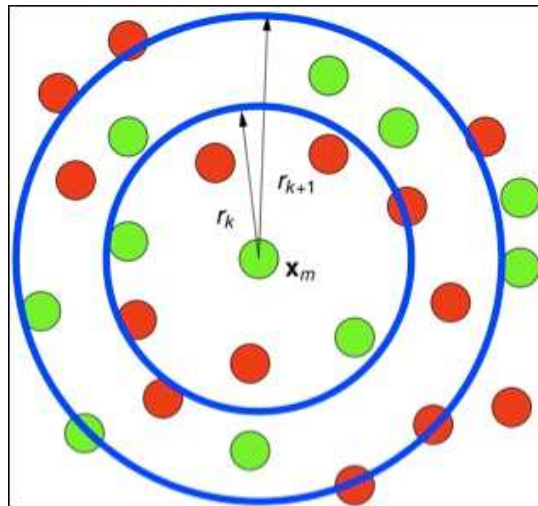


Slika 7: Primer jeder in jedrne gostote

Analiza »Nearest Neighbor« ocenjuje, ali so lokacije točk naključne ali pa je mogoče opaziti zgoščevanje. Primerja najkrajše razdalje med lokacijo nezgode in lokacijo najbližje sosednje nezgode. Primerjajo se te razdalje s pomočjo ničelne hipoteze naključne in neodvisne

distribucije. Če je povprečna razdalja najbližjega soseda bistveno manjša, kot bi bilo pričakovati v naključnem vzorcu, lahko zavrnilo ničelno hipotezo in ugotovimo zgostitev nezgod.[13]

K-funkcija omogoča globljo preučitev razporeditve točk. Namesto da bi obravnavala samo najkrajšo razdaljo, K-funkcija prešteje število točk na določeni razdalji od vsake posamezne točke. Ko je število točk na določeni razdalji sešteto za vsako točko v nizu podatkov, je določeno povprečno število točk za vsako razdaljo. Ista metoda je uporabljena za izbrano število naključnih točkovnih vzorcev. Kot pri analizi »Nearest Neighbor«, K-funkcija omogoča vnos stopnje zaupanja, najpogosteje 95 %.[13]



Slika 8: Vplivno območje K-funkcije

3 VHODNI PODATKI

3.1 Baza podatkov o prometnih nezgodah

Uradna zbirka podatkov o prometnih nezgodah je policijska baza podatkov. Zabeležene so vse nezgode, za katere obstaja policijski zapisnik. Obravnavajo se nezgode na državnih cestah, občinskih cestah ter na ostalih površinah, na katerih se odvija promet (nekategorizirane ceste, gozdne ceste, zasebne ceste, javne površine) [14].

Podatki so razdeljeni v dve relacijsko povezani tabeli:

- tabela »nezgode«,
- tabela »udeleženci«.

V našem primeru potrebujemo le podatke iz tabele »nezgode«. Tabela vsebuje za vsako nezgodo naslednje podatke:

- šifra,
- klasifikacija,
- datum,
- ura,
- naselje,
- kategorija ceste,
- številka ceste,
- potek ceste,
- odsek ceste,
- opis,
- stacionaža,
- kraj,
- vzrok nezgode,
- tip nezgode,
- vreme,
- promet,
- vozišče,
- površje.

Podatke smo obdelali s pomočjo orodja MS Access. Za potrebe analize na realnem primeru smo izbrali odsek »0262« Rašica-Žlebič na cesti G2-106 Škofljica-Kočevje. Odsek je znan kot nevarna cesta v Sloveniji, kar dokazujejo tudi EuroRAP analize. Uporabili smo naslednjo poizvedbo:

Field:	DATUM	STAC	KLAS	CESTA	ODSEK
Table:	NEZGODE	NEZGODE	NEZGODE	NEZGODE	NEZGODE
Sort:		Ascending			
Show:	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Criteria:	Between #1.1.2008# And #31.12.2012#		"L" Or "H" Or "S"		"0262"
or:					

Slika 9: Poizvedba z orodjem MS Access

Najprej smo podatke razvrstili glede na datum nezgode. V konkretnem primeru nas zanimajo nezgode, ki so se zgodile v letih med 2008-2012. V naslednjem stolpcu se nahaja stacionaža. Pri njej smo uporabili ukaz, ki nam bo razvrstil lokacije nezgod od nič naprej. V stolpcu klasifikacija nezgod zagotovimo, da obravnavamo samo nezgode, ki imajo za posledice lažjo poškodbo (L), hujšo poškodbo (H) ali smrt (S). V stolpcu odsek izberemo obravnavani odsek. V tem primeru odsek 0262. V stolpcu cesta in opis preverimo, če so podatki pravilni. Lahko pride do kakšne napake in se nezgoda ne nahaja na izbranem odseku.

Poizvedba nam poda stacionaže nezgod, ki so razvrščene od najmanjše do največje. Te podatke bomo uporabili za nadaljnjo analizo.

3.2 PLDP

Pri metodi kritične stopnje nezgod potrebujemo tudi vrednost PLDP (povprečni letni dnevni promet).

PLDP predstavlja prometne obremenitve na posameznem cestnem odseku. Pove nam, koliko vozil povprečno prevozi določen odsek v enem dnevu, glede na celoletne podatke.

Izračuna se ga tako, da se število vseh vozil, ki prevozijo določen odsek v enem letu, deli s številom dni:

$$PLDP_i = \frac{VOZ_i}{365}$$

kjer je

- PLDP_i... povprečni letni dnevni promet na odseku
- VOZ_i... število vseh vozil, ki prevozijo določen odsek v enem letu

Podatki o številu vozil so pridobljeni s posameznimi ročnimi štetji ali iz avtomatskih števcov prometa. Na državnih cestah izvaja štetje prometa DRSC.

Pri analizi bomo primerjali med sabo tudi tri, pet in desetletno obdobje, zato potrebujemo podatke med leti 2003-2012, ki so predstavljeni v spodnji tabeli.

Preglednica 3: PLDP po letih na odseku 0262 [15]

ODSEK	LETO	PLDP
0262	2003	6000
0262	2004	6144
0262	2005	6306
0262	2006	6504
0262	2007	6731
0262	2008	6872
0262	2009	6896
0262	2010	6773
0262	2011	6754
0262	2012	6562

Za posamezno časovno obdobje bomo sešteli vrednosti vseh let, ki so zajeta v tem obdobju.

3.3 Združevanje podatkov

Kot je že omenjeno zgoraj, moramo pri prostorski statistični analizi podatkov uporabiti združevanje. Celotno območje je treba razdeliti na OPE. Kako združevati te podatke, je veliko vprašanje. V literaturi [16] je moč zaslediti različne rešitve za ta problem. Različni avtorji podajajo različne rešitve za velikost OPE. Dolžine se začnejo pri 100 m in vse do 2,5 km. V [9] uporabijo 100 m za velikost OPE. To jim omogoča dovolj natančno beleženje lokacij nezgod. Vse njihove ceste imajo stacionažne oznake na 100 m. Lokacija nezgode je določena zelo natančno. Okoli teh stacionažnih oznak so določili OPE, 50 m na vsako stran.

Večina izbranih dolžin OPE ne temelji na teoretičnih ozadjih. Nekateri avtorji so te vrednosti izbrali glede na podatke, ki so jim bili na voljo. Ponekod pa ni točno določeno, kako so do teh podatkov prišli. Za avtoceste je primernejša večja OPE, kot pri cestah nižjega reda. V [17] je uporabljena razdalja 500 m za OPE za analizo nezgod na avtocesti.

V našem primeru smo izbrali OPE dolžine 200 m. OPE leži oziroma poteka vzdolž cestne osi. Sešteli smo vse nezgode, ki se zgodijo v posamezni OPE.

Pri izbiri velikosti OPE moramo biti tudi pozorni na število OPE glede na število nezgod. Če izberemo tako velikost OPE, da bo njihovo število večje kot pa število nezgod, bomo dobili slabe rezultate. V najslabšem primeru naj bo število OPE enako številu nezgod.

3.4 Časovni okvir

Pomemben parameter pri pridobivanju dobrih rešitev je tudi pravilna določitev časovnega okvira. Upoštevati moramo določene kriterije:

- obdobje analize mora biti dovolj dolgo, da se določi pravo število nezgod. Predpostavlja se, da je obdobje 3-5 let v večini primerov dovolj veliko, da se dobi zanesljive rezultate;
- v določenih primerih je možno uporabiti tudi krajše časovno obdobje, če je prišlo do nenadne spremembe v številu nezgod npr. sprememba prometnega režima;
- v nekaterih primerih je možno uporabiti dva časovna okvira. Prvi, ki traja 3-5 let in drugi, ki traja eno leto. Tako je možno zaznati spremembe v številu nezgod, ki nastanejo zaradi novih ukrepov [18].

V naših primerih bomo uporabili 3, 5 in 10-letno časovno obdobje. Ta obdobja bomo primerjali med sabo. Poskusili bomo opaziti eno izmed lastnosti nezgod in sicer regresijo k povprečju. Krajšega časovnega obdobja ne bomo uporabili. V enem primeru pa bomo primerjali med sabo 3-letna časovna obdobja, ki se raztezajo čez 9 let. Imeli bomo štiri različna obdobja 2012-2010, 2010-2008, 2008-2006, 2006-2004. Tukaj pa bomo poskusili zaznati migracije nezgod.

3.5 Utež posledice nezgode

Posamezne nezgode klasificiramo glede na posledice, ki jih utrpijo udeleženci. Merodajna je najhujša posledica enega od udeležencev. Nezgode so razdeljene v 4 skupine, ki jih pri obdelavi podatkov označimo z B, L, H in S. Njihov pomen je razložen v preglednici 11.

Preglednica 4: Klasifikacija nezgode in njen pomen

Klasifikacija nezgode	Pomen
B	Brez poškodbe
L	Lažja telesna poškodba
H	Hujša telesna poškodba
S	Smrt

Nezgodam z različnimi posledicami bi nato dodali uteži. Nezgoda s smrtnim izidom bi imela največjo težo. Kako določiti pravilne uteži, je posebno vprašanje. V literaturi se pojavljajo različne vrednostne lestvice. Na ta način v našem primeru nismo utežili nezgode.

Primer: lahko imamo neko lokacijo, kjer se zgodi veliko nezgod, vendar vedno samo z materialno škodo, oz. udeleženci niso utrpeli nobenih poškodb. (npr. nepravilno konstruiran ovinek, iz katerega nekateri vozniki zaradi prehitre vožnje zdrsnejo s ceste). Na drugi lokaciji pa npr. en pijan voznik povzroči prometno nezgodo s smrtnim izidom, na delu cestnega odseka, kjer ni nobenih konstrukcijskih napak. Vprašanje, ki se tukaj pojavi, je, kako ovrednotiti te dve lokaciji, kako predpisati uteži različnim posledicam oziroma katere nezgode v analizi upoštevati in katerih ne. S tem vprašanjem se sicer ne bomo veliko ukvarjali v tej diplomski nalogi.

3.6 Relativizacija glede na PLDP – izračun stopnje nezgod

Zgornji primer lahko razširimo tako, da posameznim odsekom pripišemo PLDP. Na ta način dobijo nezgode, ki so se zgodile na odsekih z manjšim PLDP-jem, realno večjo težo.

4 ANALIZA

Metode bomo preizkušali na testnih in realnih primerih. Izbrali smo si štiri testne primere:

- v prvem testnem primeru smo analizirali odsek dolžine 5 km z OPE dolžine 100 m. Določili smo število nezgod za posamezno OPE, nekatere so imele 5 nezgod, nekatere pa tudi 0. Vpliv sosednjih OPE smo omejili le na sosednja dva,
- v drugem testnem primeru smo razširili prvega, in sicer tako, da smo upoštevali več sosednjih OPE. Določili smo tudi drugačne vrednosti števila nezgod,
- v sklopu tretjega testnega primera smo preverili, kako različne funkcije uteži vplivajo na končni izračun lokalnega indeksa Moran I,
- v četrtem testnem primeru pa smo analizirali dve križišči sestavljeni iz 4 odsekov. En glavni odsek, na katerega se priključijo ostali trije.

Analizirali smo tudi dva realna primera:

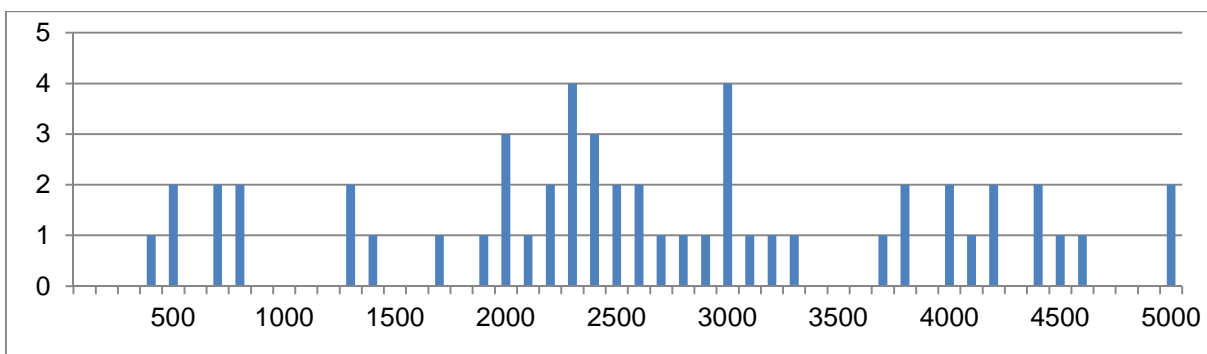
- za prvi realni primer smo si izbrali odsek 0262 (Rašica-Žlebič) na glavni cesti G2-106 (Škofljica-Kočevje). Odsek meri 12425m. Razdelili smo ga na OPE, ki so dolge 200 m. Lokacije nezgod za obravnavano časovno obdobje smo dobili s pomočjo orodja Microsoft Access iz Baze podatkov o prometnih nezgodah. Primer smo razdelili na 4 podvariante. Opazovali smo različna časovna obdobja in nezgode z različnim tipom. V dveh variantah smo upoštevali tudi nezgode brez poškodb, v dveh pa ne. V prvi podvarianti smo primerjali 3, 5, in 10-letno obdobje za vse nezgod, v tretji pa smo izpustili nezgode brez poškodb. Podobno smo v drugi varianti upoštevali vse nezgode, v četrti pa smo izpustili nezgode brez poškodb. V teh dveh variantah pa smo primerjali različna triletna časovna obdobja med sabo (2004-2006, 2006-2008, 2008-2010, 2010-2012),
- v drugem realnem primeru pa smo ta odsek razširili še na sosednja dva in mu dodali 4 križišča z regionalnimi cestami. Tukaj pa smo analizirali dve varianti. Pri prvi smo upoštevali vse nezgode med leti 2010-2012. V drugi pa smo analizirali nezgode, ki so se končale s smrtjo ali poškodbo v petletnem obdobju, in sicer med leti 2008-2012.

4.1 Orodja za analizo

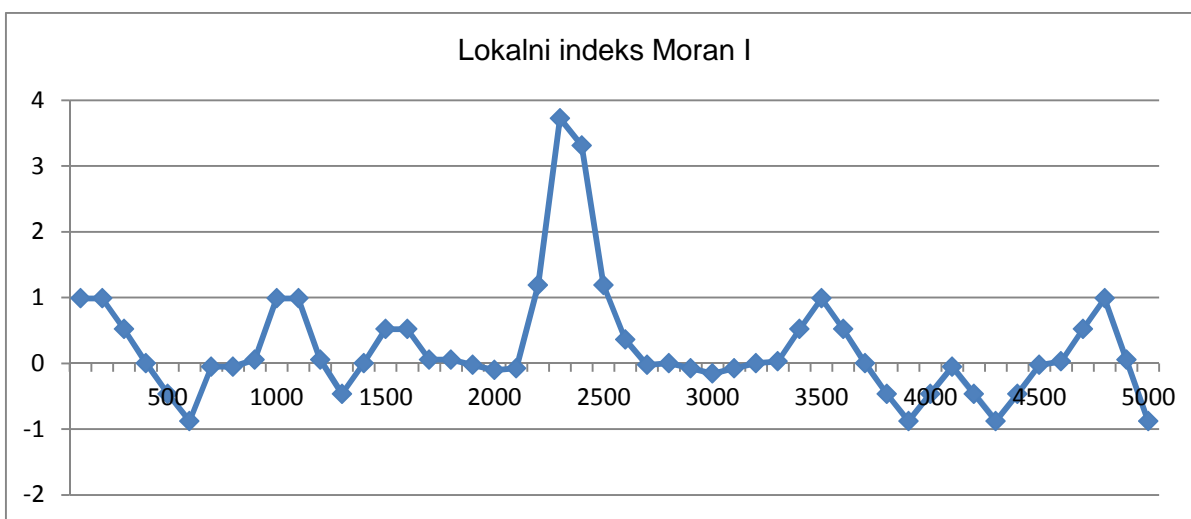
Za računanje primerov bomo uporabili orodje MS Excel. Primere bomo analizirali po treh metodah, prostorske statistične metode bomo nato preverili še v programskem okolju ArcGIS. Uporabili bomo orodje ArcMap. To orodje ima že vgrajeni funkciji za prostorske statistične poizvedbe. S tem bomo preverili pravilnost uporabljenih formul v MS Excel.

4.2 Testni primer 1

V prvem primeru smo si izmislili odsek dolg 5 km, razdelili smo ga na osnovne prostorske enote (OPE) dolžine 100 m. Za vsako OPE smo določili število nezgod, nekaj OPE ni imelo nobene nezgode, nekaj pa tudi 5 ali več. Za analizo tega odseka smo izračunali lokalni indeks Moran I za vsako OPE. Pri računanju smo upoštevali le sosednji dve OPE, ki sta imeli utež 0,5. Na opazovano OPE po navadi vpliva več sosednjih OPE, vendar smo za začetek izbrali le najbližji dve.

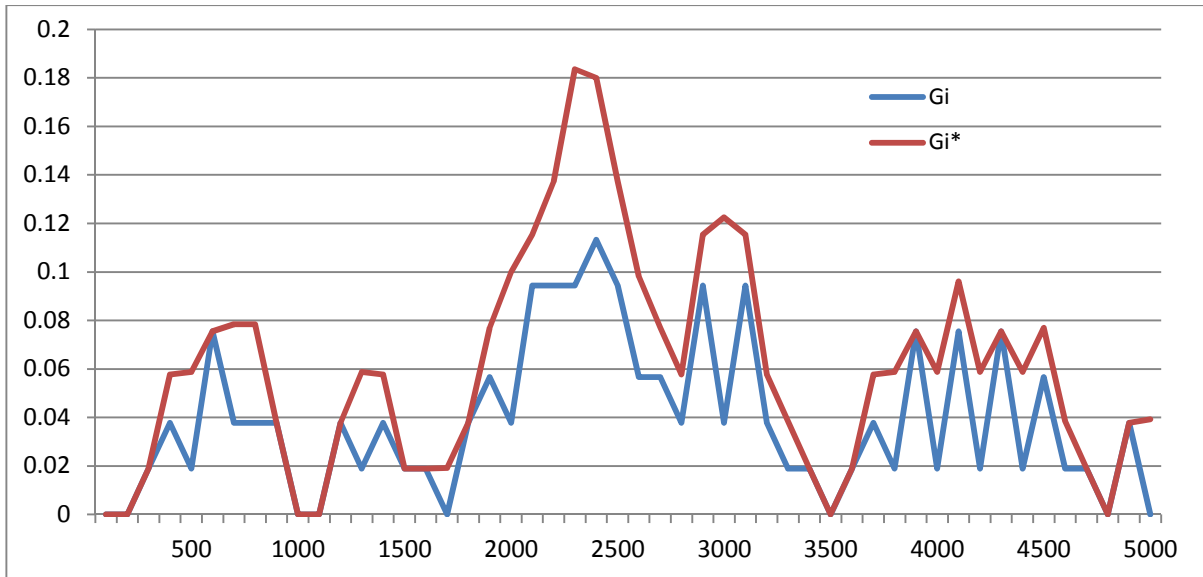


Slika 10a: Število nezgod, testni primer 1



Slika 10b: Grafikon lokalnega indeksa Moran I, testni primer 1

Krivulja, ki smo jo dobili, nam pove, da je pri stacionaži 2200 m nevarno mesto. Na tem mestu je prisotno zgoščevanje nezgod. Stacionaže, kjer je vrednost lokalnega indeksa Moran I okoli 1, nimajo nezgod, prav tako njuna soseda. Kjer pa je vrednost lokalnega indeksa Moran I negativna imajo lokacije 2 nesreči.

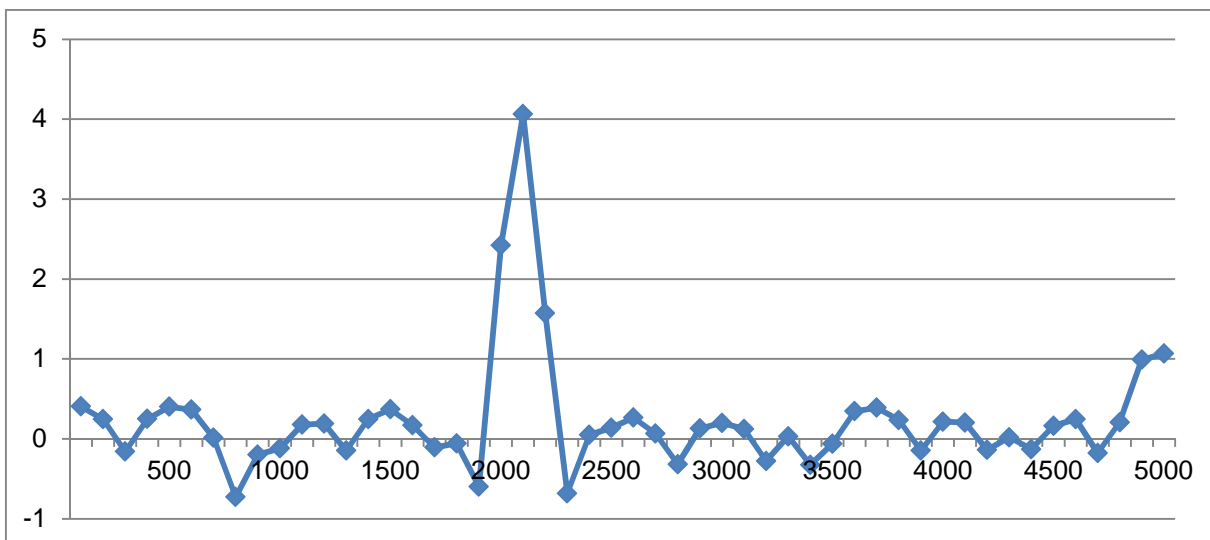


Slika 11: Grafikon G-metode, testni primer 1

Tudi po postopku Getis Ord G je zaznati večjo stopnjo zgoščevanja okoli stacionaže 2200. Pri stacionažah, ki so imele pri lokalnem indeksu Moran I vrednost 1, imajo tukaj vrednost 0. Kar pomeni, da v tej OPE res ni nezgod, prav tako v sosednjih dveh. Rezultati so pričakovani, saj smo si zavestno izbrali število nezgod tako, da se bo enostavno določilo območje zgoščevanja. Pri stacionaži 3000 m se lepo vidi razlika med vrednostma G_i in G_i^* . Tukaj se pojavijo 4 nezgode, ki jih G_i^* upošteva, G_i pa ne.

4.3 Testni primer 2

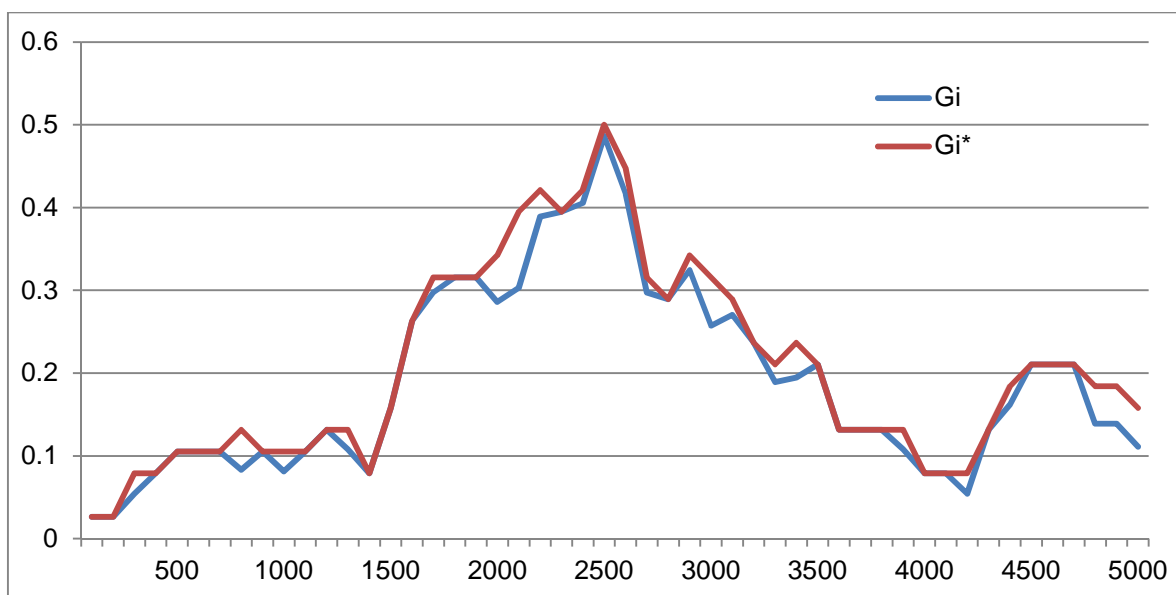
Drugi primer je podoben prvemu, ravno tako smo izbrali odsek dolg 5 km in ga razdelili na OPE, ki so dolge 100 m. Tukaj pa smo že upoštevali vpliv več sosedov, in sicer do razdalje 500 m, kar pomeni, da na opazovano OPE vpliva 10 sosednjih OPE, v kolikor obstajajo. Izbrali smo si tudi drugačne vrednosti števila nezgod. V tem primeru je malo težje določiti vrednosti uteži. Določili smo jih po formuli $W=1/d^2$. Pri taki določitvi vrednosti uteži imajo sosednje OPE, ki so oddaljene več kot 200 m od opazovane OPE zelo majhen vpliv na njeno vrednost. Bilo bi bolj smiselno izbrati formulo $W=1/d$. Več o tem kasneje.



Slika 12: Grafikon lokalnega indeksa Moran I, testni primer 2

Rezultati so v skladu s pričakovanji, saj se pojavi zgostitev nezgod na stacionaži 2000 m, manjša zgostitev se pojavi tudi na koncu odseka pri stacionaži 4900 m. Se pa v tem primeru ne pojavi nobena OPE, kjer bi se pojavilo izrazito malo število nezgod, t.i. hladne točke.

Pri Getis-Ord G statistiki smo izbrali isto število vplivnih sosednjih OPE. Vrednost uteži je pri vsaki OPE 1. Dobimo naslednji grafikon:



Slika 13: Grafikon G-metode, testni primer 2

Ta metoda nam pokaže t.i. oblake največjih vrednosti. Za OPE, ki ima največjo vrednost, to pomeni, da ima v okolici 500 m največ nezgod. Tukaj je zanimivo, da ima stacionaža 2500 m

največjo vrednost in ne stacionaža 2100 m, ki ima največ nezgod. Očitno ima ta OPE največ nezgod v radiju 500 m. Vse OPE, ki imajo v svojem radiju stacionažo 2100 m, imajo visoko vrednost G_i^* . Za to metodo je izbranih preveč sosednjih vplivnih OPE. Če hočemo, da je neka OPE izbrana kot nevarno mesto, mora imeti visoko vrednost, poleg tega morajo pa tudi sosednje OPE imeti visoko vrednost. V tem primeru bi lahko določili nevarno mesto na stacionaži 2500 m. Rezultat je malo drugačen kot pri lokalnem indeksu Moran I.

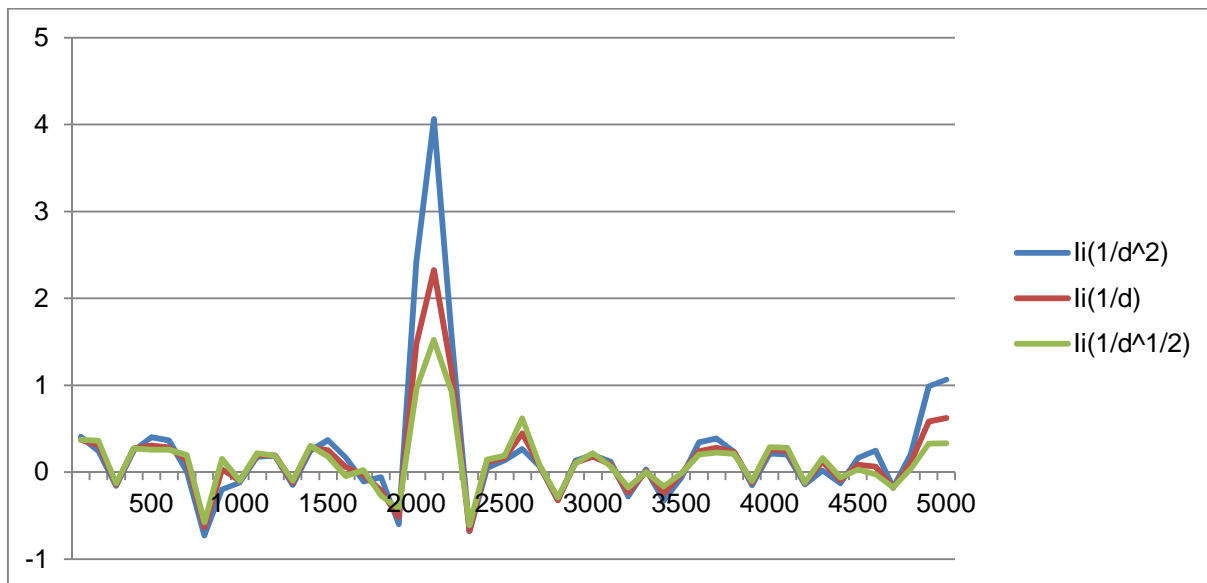
Isti primer smo preverili še z metodo kritične stopnje nezgod, ki je trenutno v veljavi v Sloveniji. Določili smo tekoče pododseke, ki so dolgi 300 m. V enem primeru pa je dolg 400 m, ker se nezgode pojavljajo tako, da je to smiselno. Tekoči odsek je sicer lahko dolg do največ 1000 m. V tem primeru tako dolgega odseka ni mogoče uporabiti, saj se nezgode pojavljajo preveč na redko.

Za izračun potrebujemo tudi PLDP. Ker je naš testni odsek brez križišč, je PLDP enak v vseh točkah, izbrali smo si neko vrednost, in sicer 500.

Metoda najde dva pododseka z visoko stopnjo nezgod. Prvi je okoli stacionaže 2100 m, drugi pa okoli 4900 m. Rezultati so identični rezultatom lokalnega indeksa Moran I.

4.4 Testni primer 3

V sklopu tega primera bomo preverili kako vplivajo različne vrednosti uteži pri izračunu lokalnega indeksa Moran I na končne rezultate. Uporabili bom iste podatke o številu nezgod kot pri drugem primeru, prav tako bo izbrano isto število vplivnih sosednjih OPE. Za izračun uteži bomo uporabili enačbe $W_1=1/d^2$ (modra črta), $W_2=1/d$ (rdeča črta) in $W_3=1/\sqrt{d}$ (zelena črta).

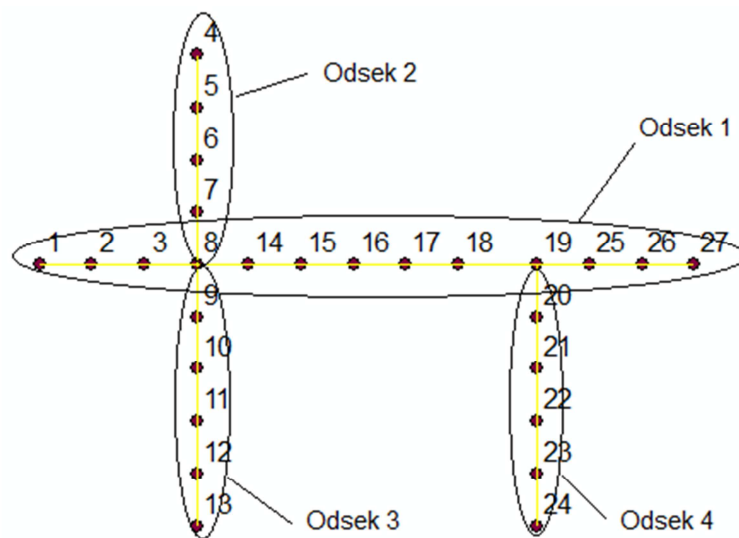


Slika 14: Grafikon lokalnega indeksa Moran I, testni primer 3

Krivulje kar dobro sledijo ena drugi. Vse tri najdejo naš ekstrem, ki se nahaja na stacionaži 2000 m. Manjša zgoštevitev na koncu odseka, pa ne pride do izraza v vseh treh primerih. Zelena črta ima drugi maksimum na stacionaži 2600 m, kjer je res nekaj več nezgod. Zanimivo je, da je na stacionaži 2100 m zeleni ekstrem manjši od modrega, pri stacionaži 2600 m pa je ravno obratno. To se pojavi zaradi tega, ker OPE okoli 2100 m še vpliva na OPE okoli 2600 m in ker ima v primeru W_3 ta OPE sorazmerno velik vpliv.

4.5 Testni primer 4 – križišče

V naslednjem primeru bomo obravnavali krajši odsek, na katerega se priključijo trije odseki. Skupaj tvorijo dve križišči, eno štirikrako in eno trikrako. Odseke smo označili z odsek 1, odsek 2, odsek 3 in odsek 4.



Slika 15: Obravnavano območje, testni primer 4

Celotno območje smo razdelili na OPE dolge 100 m. Prvo OPE (točka 8) smo postavili v križišče. Ta OPE obsega nezgode v vse smeri v radiju 50 m od križišča. Nato smo si vsako naslednjo točko(središče OPE) izbrali 100 m stran od prejšnje. Središče OPE bi postavili v vsako križišče. Zato bo na koncu kakšna OPE malo večja od ostalih ali pa tudi malo manjša. To bo potrebno upoštevati pri matriki razdalj/uteži.

Najprej smo morali določiti razdalje med točkami. To smo naredili tako, da smo napisali koordinate vseh točk.

Preglednica 5: Koordinate točk in število nezgod

Točka	x	y	Število nezgod
1	0	500	0
2	100	500	0
3	200	500	1
4	300	900	0
5	300	800	2
6	300	700	0
7	300	600	1
8	300	500	2
9	300	400	1
10	300	300	0
11	300	200	0
12	300	100	1
13	300	0	1
14	400	500	3
15	500	500	2
16	600	500	0
17	700	500	0
18	800	500	0
19	950	500	1
20	950	400	3
21	950	300	3
22	950	200	2
23	950	100	1
24	950	0	0
25	1050	500	0
26	1150	500	0
27	1250	500	0

Nato pa smo po spodnji enačbi izračunali razdaljo med točkami na mreži.

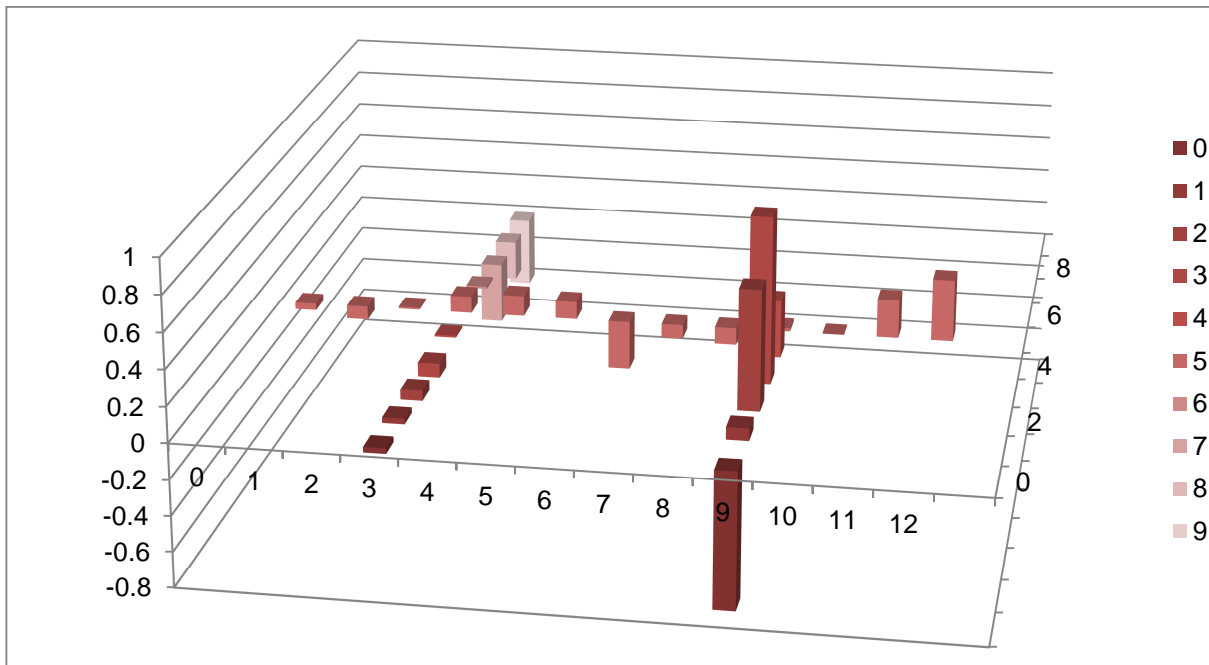
$$d = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|$$

Kjer x_i in y_i predstavljata koordinate točk.

To enačbo lahko uporabimo, ker smo si izbrali idealiziran primer, kjer so odseki ravni in pravokotni med sabo.

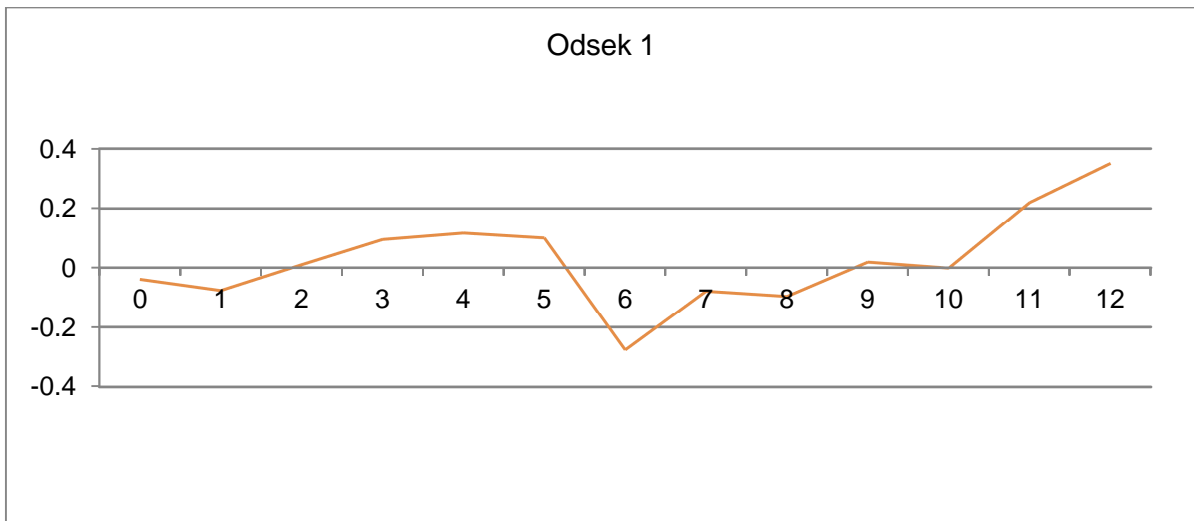
Izbrali smo si, da upoštevamo razdalje, ki so manjše od 500 m. Za določitev uteži smo si izbrali formulo $1/d$.

Izračun lokalnih indeksov Moran I nam da naslednje rezultate.

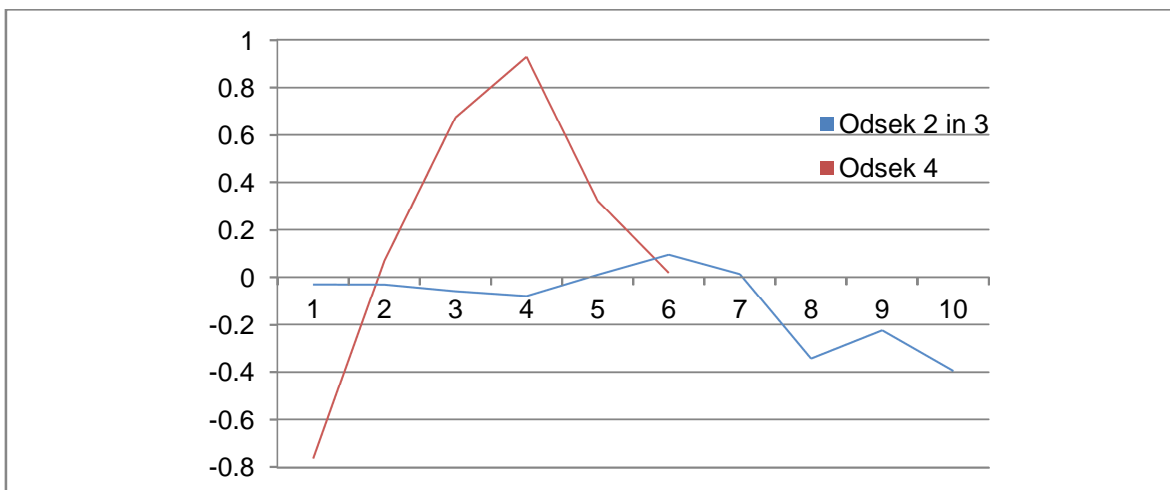


Slika 16: Grafikon lokalnega indeksa Moran I, testni primer 4

Za boljšo predstavo:



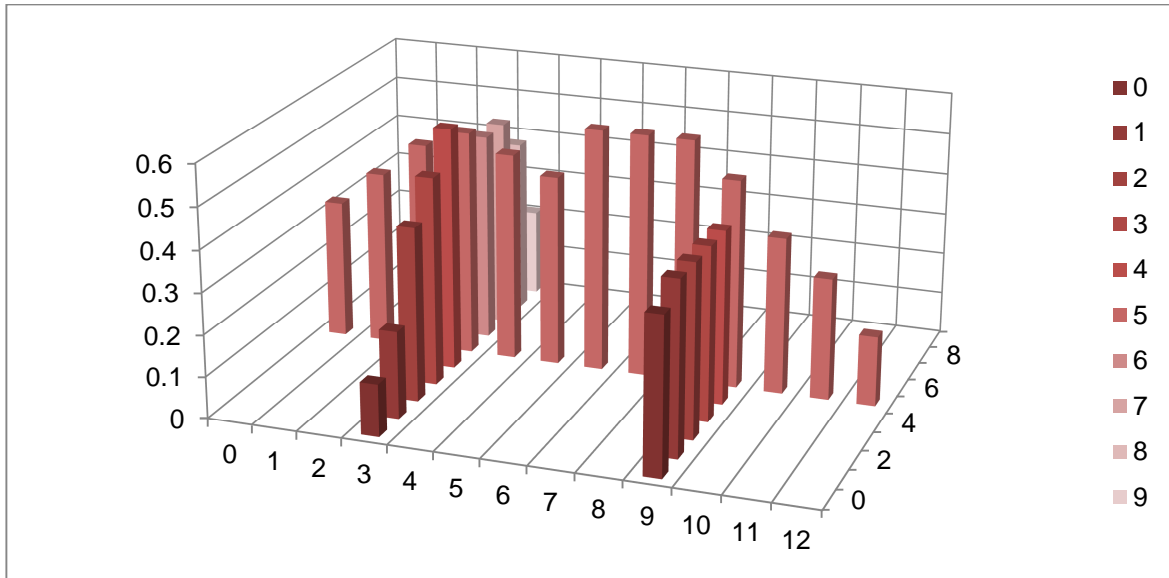
Slika 17: Grafikon lokalnega indeksa Moran I, odsek 1, testni primer 4



Slika 18: Grafikon lokalnega indeksa Moran I, odsek 2,3,4, testni primer 4

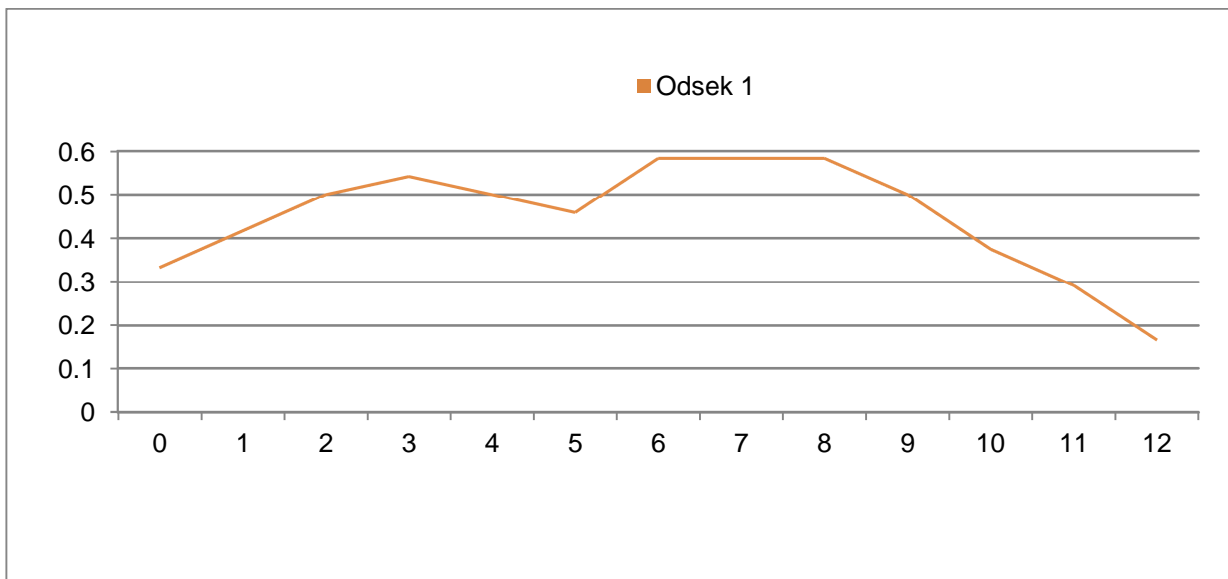
Ekstrem se pojavi na odseku 4, in sicer v točki 21. V tej OPE se pojavi največje zgoščevanje nezgod. V točki 24 pa je izrazito negativna vrednost. To pomeni, da je v tej točki negativna avtokorelacija. Tukaj ni nobene nezgode, okolica pa izkazuje večje število nezgod.

Naslednji postopek, ki smo ga uporabili, je Getis Ord G:

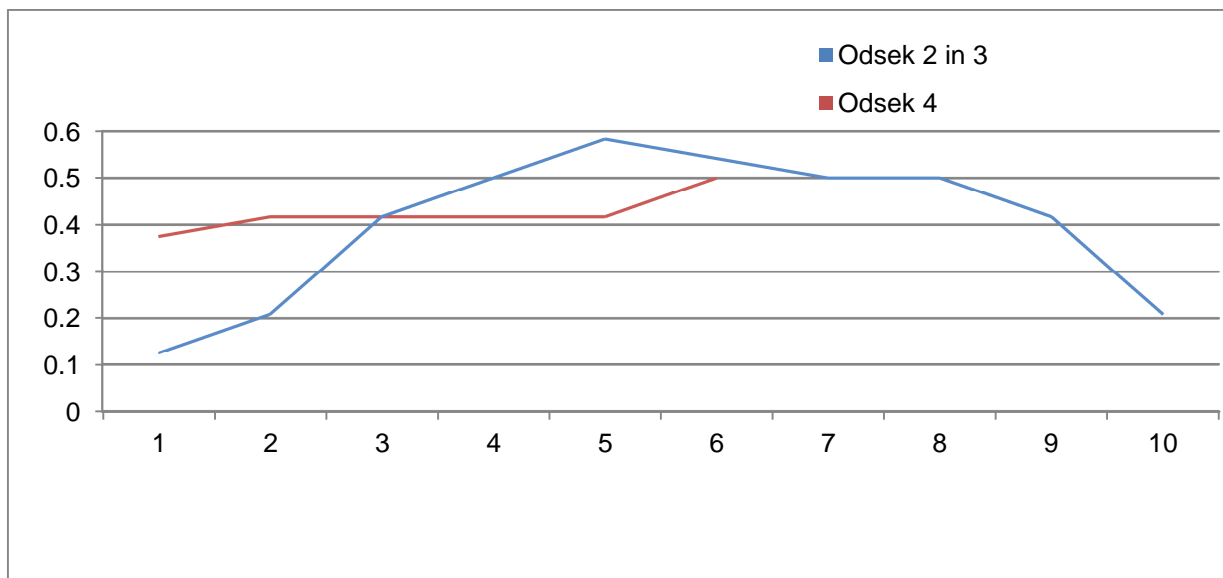


Slika 19: Grafikon G-metode, testni primer 4

Za boljšo predstavbo:



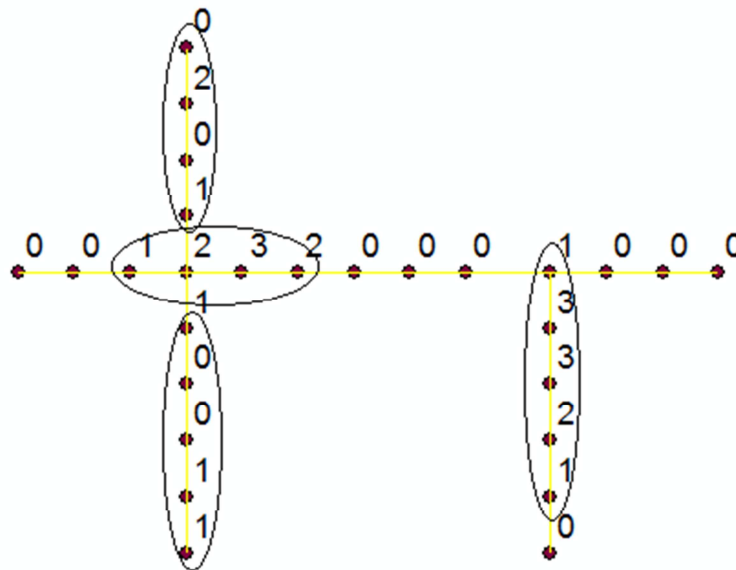
Slika 20: Grafikon, G-metode, odsek 1, testni primer 4



Slika 21: Grafikon G-metode, odsek 2,3,4, testni primer 4

Ta postopek nam najde dve območji z večjo zgoščitvijo nezgod. Prvo je pri točki devet, na odseku 3, drugo pa pri točki 17, na odseku 1. Te točke so drugačne kot pri prvem postopku, to pa zato ker ima npr. točka 9 14 sosednjih OPE, ki vplivajo nanjo in pri tem postopku imajo vse enak vpliv. Zaradi tega bodo točke, ki so v okolici križišč in ki bodo imele več sosednjih OPE, avtomatsko imele večjo vrednost. Pri prejšnjem postopku to ni tako izrazito.

Na koncu smo ta primer primerjali še z metodo kritične stopnje nezgod, ki je trenutno v veljavi v Sloveniji. Uporabljeni so štirje pododseki, prvi zajema točke 4,5,6,7 in je dolg 300 m, drugi točke 3,8,14,15 in je tudi dolg 300 m, tretji zajema točke 9-13, dolg je 400 m. Četrty pa vsebuje točke 19-23 in je tudi dolg 400 m.



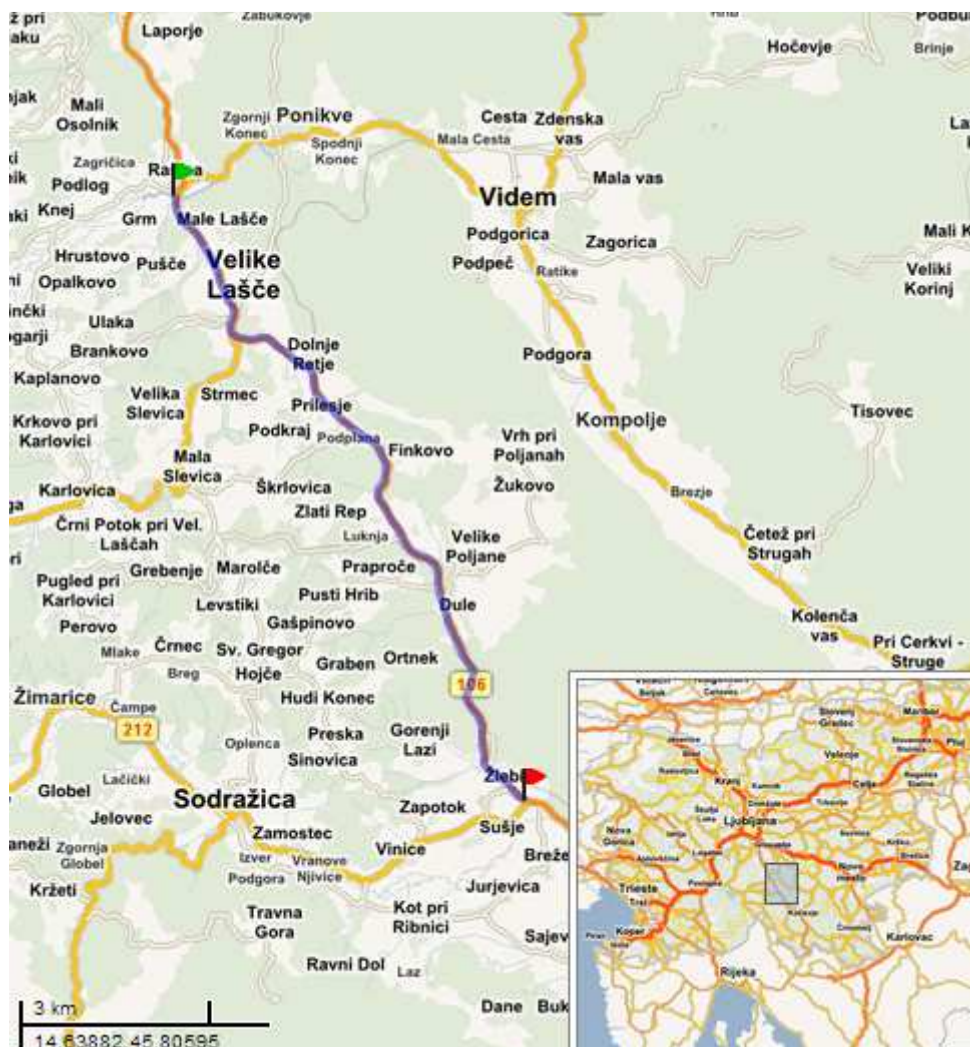
Slika 22: Pododseki na obravnavanem območju in število nezgod v posamezni OPE

Že takoj vidimo, da izstopata drugi in četrti pododsek, kar nam prikaže tudi izračun. Uporabili smo isto vrednost za PLDP (500), čeprav bi lahko imeli različni odseki različne vrednosti. Nekaj točk je izpuščenih, to pa zato ker nimajo nobene nezgode. Po metodologiji bi morali cestno omrežje razdeliti na križišča in odseke in jih nato posebej obravnavati. Tega v tem primeru nismo upoštevali. Drugi pododsek je samo ta metoda določila kot nevarnega. Četrti pa vsebuje tudi ekstrem, ki smo ga dobili po postopku lokalnega indeksa Moran I.

4.6 Realni primer – odsek 0262

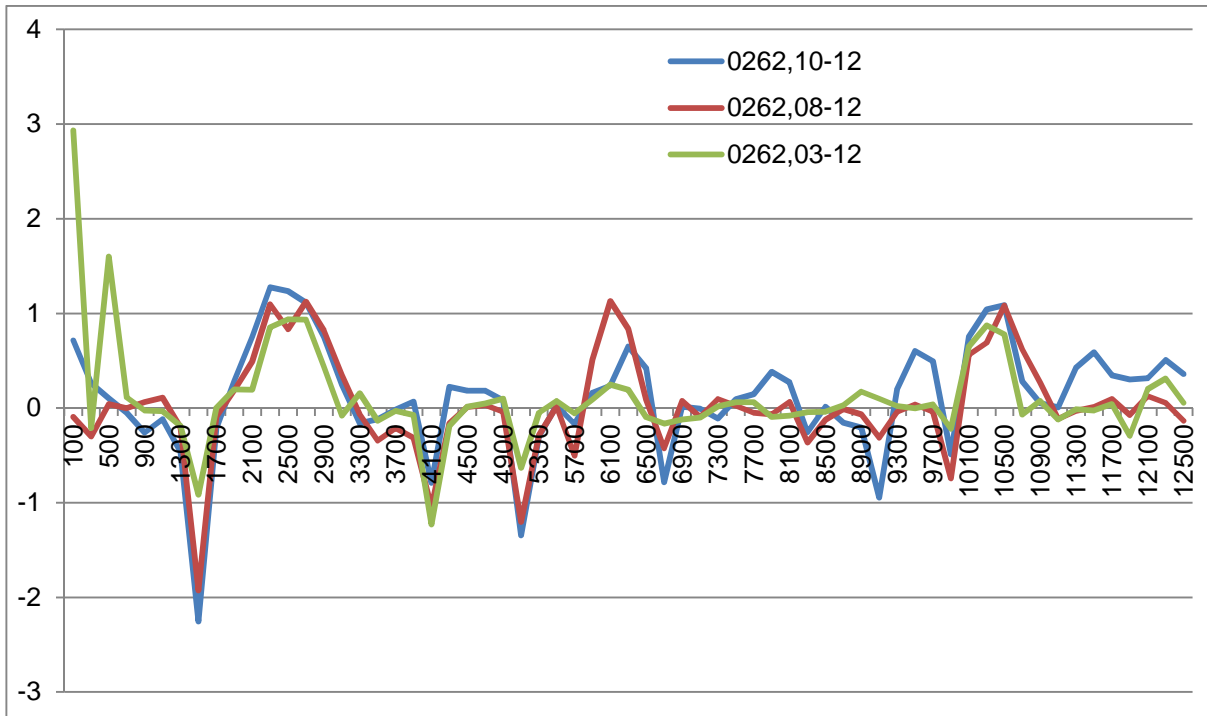
4.6.1 Primer 1

V naslednjem primeru smo preizkusili metode na realnem primeru. Izbrali smo si odsek 0262 (Rašica-Žlebič), ki meri 12425 m. Je del glavne ceste G2-106 (Škofljica-Kočevje). S pomočjo Baze podatkov o prometnih nezgodah in orodja Microsoft Access smo dobili lokacije nezgod za obravnavano časovno obdobje. Odsek bomo razdelili na OPE, ki so dolge 200 m, na vsaki OPE bomo prešteli število nezgod. Tako je prvi OPE dolg od 0-199 m, drugi 200-399 m itd. Pri računu lokalnega indeksa Moran I in koeficienta G bomo upoštevali vplive OPE, ki so od opazovane OPE oddaljene največ 600 m. To pomeni, opazovana OPE ima lahko največ 6 OPE, ki vplivajo nanjo. Za matriko uteži si bomo izbrali enačbo $W=1/d$.



Slika 23: Zemljevid, ki prikazuje odsek 0262

Pri računu po metodi kritične stopnje nezgod smo celoten odsek razdelili na tekoče pododseke, ki so v večini primerov dolgi 300 m. Pododsek se začne pri prvi nezgodi in se zaključi po 300 m, če je v bližini še kakšna nezgoda, pododsek podaljšamo. Pododseka ne moremo podaljševati v nedogled. Le ta naj ne bi bil daljši kot 1000 m zaradi primerljivosti rezultatov. V našem primeru ni noben pododsek daljši kot 500 m.



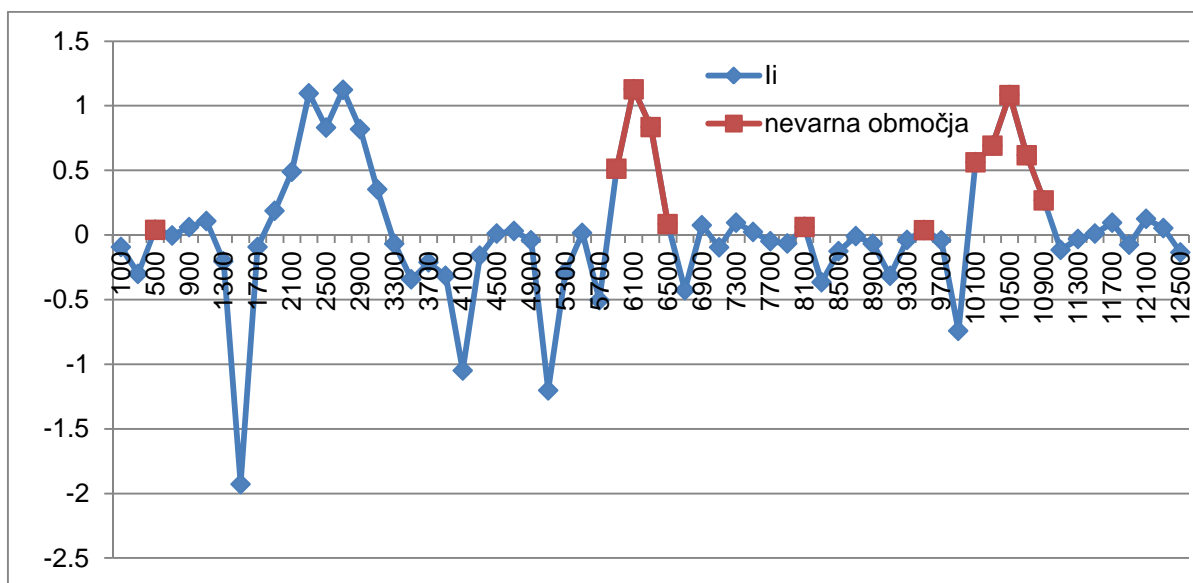
Slika 24: Grafikon lokalnega indeksa Moran I na odseku 0262 v 3,5 in 10-letnem obdobju, primer 1

Tabela predstavlja lokalne indekse Moran I na odseku 0262 v treh časovnih obdobjih. V tem primeru so zajete vse nezgode, tudi tiste brez poškodb. Modra predstavlja analizo med leti 2010 in 2012, torej je časovno okno tri leta. Rdeča predstavlja analizo petih let, in sicer med leti 2008 do 2012. Zelena pa ima časovni razpon dolg 10 let, in sicer zajema nezgode med leti 2003 in 2012. V podatkih se pojavlja veliko število nezgod v prvem pododseku, to je med 0 in 199m (veliko nezgod ima stacionažo 0 m). To je zaradi tega, ker je na začetku odseka križišče, v katerem se zgodi več nezgod. Prav tako se pojavlja večje število nezgod na stacionaži 1500 m. Morda je za to krivo zaokroževanje pri vnosu lokacije nezgode. Navsezadnje to ni prva in najpomembnejša stvar, ki jo mora policist zabeležiti pri obravnavi nezgode. Vendar te napake lahko vplivajo na našo analizo.

Če pogledamo grafikon bolj natančno, vidimo da se črte v nekaterih točkah kar dobro ujemajo, ponekod pa malo manj. Vrednosti so pri časovnem razponu desetih let absolutno manjše kot pri razponu petih in treh let. Iz tega lahko sklepamo, da pri večjem številu podatkov ekstremi ne izstopajo tako kot pri manjšem – regresija k povprečju. Na hitro bi lahko rekli, da imajo te funkcije tri »ekstreme« oz. nevarna območja oz. vroče točke, vendar so ti ekstremi lahko tudi hladne točke. Za določitev pravih nevarnih območij morata veljati še pogoja:

- število nezgod na določeni lokaciji je večje od povprečja,
- število nezgod okoli določene lokacije je večje od povprečja.

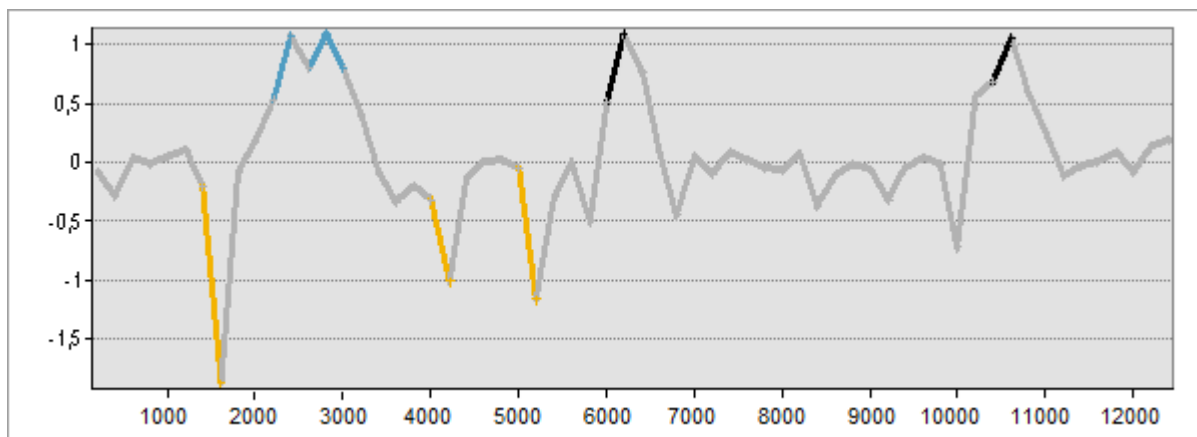
Ko upoštevamo ta dva pogoja, dobimo nekaj lokacij, ki jih nadaljnje obravnavamo. Na spodnjem grafikonu so prikazane te točke za primer 5 let.



Slika 25: Grafikon lokalnega indeksa Moran I na odseku 0262 v 5-letnem obdobju, MS Excel, primer 1

Vidimo, da prvi »ekstrem« ne zadostuje našemu pogoju. Tam se pojavi hladna točka, oz. območje z manj nezgod od povprečja, kjer imajo tudi okoliške točke manj nezgod od povprečja. Na grafikonu se pojavi tudi nekaj rdečih točk, ki niso v »ekstremih. Lahko bi rekli, da so lokalni ekstremi, vendar te lokacije niso nevarna mesta. Dobimo eno območje, pri katerem se pojavi zgoščevanje nezgod v vseh treh časovnih obdobjih, to je na stacionaži 10500 m. Ostali ekstremi se pojavijo le v določenem časovnem obdobju, pri triletnem obdobju je povečano zgoščevanje še okoli stacionaže 6500 m, 7900 m in 9500 m. Pri petletnem obdobju je okoli stacionaže 6100 m opaženo večje število nezgod. Desetletno obdobje prav tako izkazuje povečano združevanje okoli stacionaže 6100 m. Več nezgod se pojavi tudi okoli stacionaže 0 m.

Pri analizi ne smemo pozabiti na velike negativne vrednosti. V zgornjem primeru se te pojavijo pri stacionaži 1500 m, 4000 m, 5000 m, 10000 m. Te vrednosti se pojavijo takrat, ko ima okolica lokacije z veliko nezgodami malo nezgod. Tudi taka točka je lahko nevarno mesto. Ker so tukaj same okrogle številke, dopuščamo možnost, da je pri kateri od njih prišlo do zaokroževanja stacionaž, kot smo omenili že zgoraj. Tako ta lokacija pobere nezgode okoliških točk. S tem pride do teh anomalij.

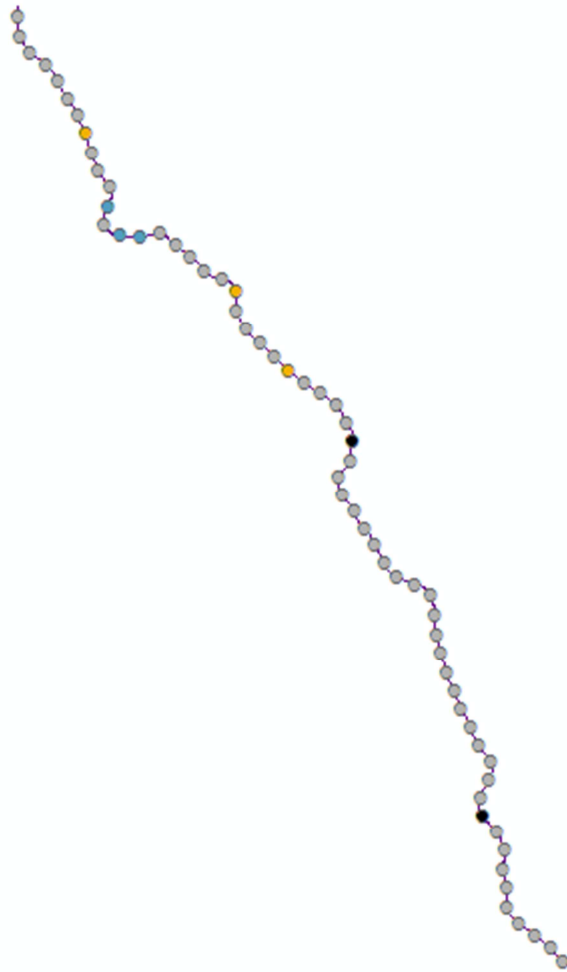


Slika 26: Grafikon lokalnega indeksa Moran I na odseku 0262 v 5-letnem obdobju, ArcMap, primer 1

Na zgornjem grafikonu pa je prikazan izračun v orodju ArcMap. Lahko vidimo, da se vrednosti zelo dobro ujemajo. Grafikon je večbarven, vsaka barva ima svoj pomen:

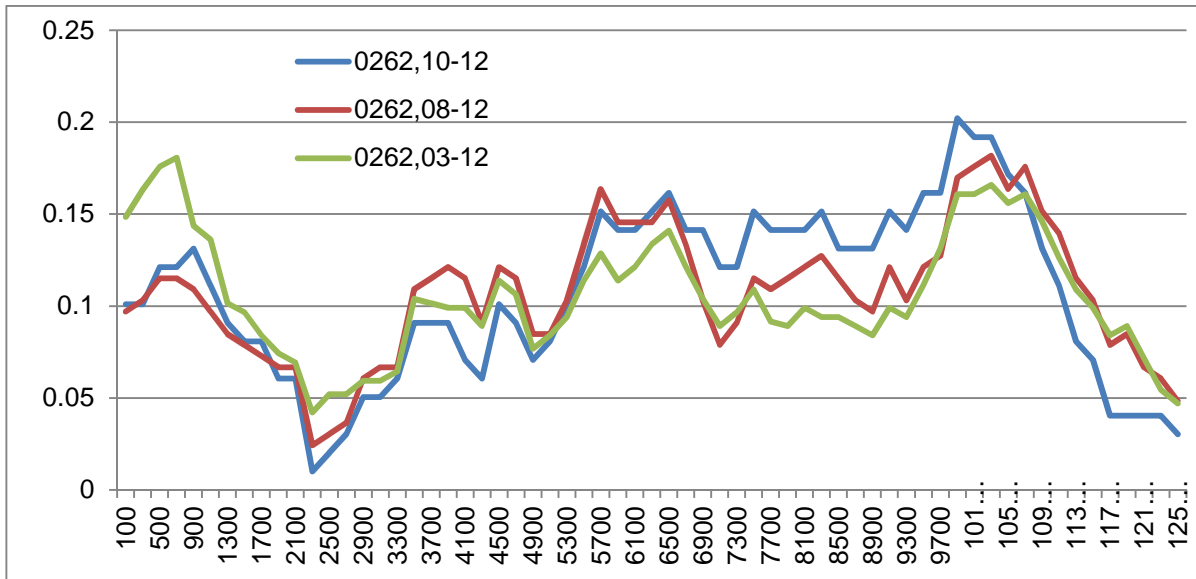
- nepomembno
- visoko-visoko združevanje
- visoko-nizko
- nizko-visoko
- nizko-nizko združevanje

Na spodnji sliki pa so rezultati prikazani na obravnavanem odseku.



Slika 27: Rezultati lokalnega indeksa Moran I predstavljeni na odseku 0262, primer 1

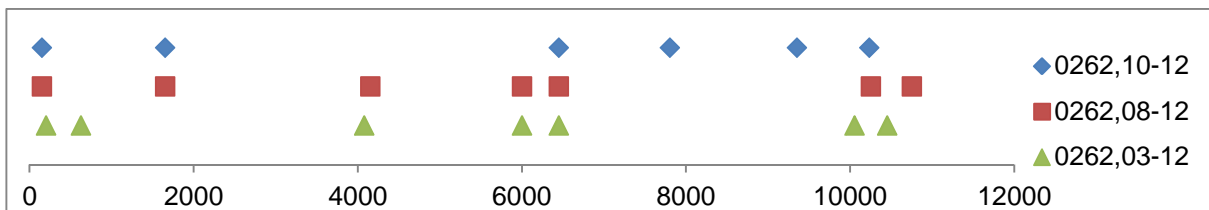
Nato smo isti primer analizirali po postopku, Getis-Ord G^* . Ta postopek nam pove, okoli katerih točk se pojavlja oblak visokih vrednosti. Če hočemo neko lokacijo označiti za nevarno mesto, mora imeti visoko vrednost pri tej analizi, poleg tega pa morajo imeti tudi sosede visoke vrednosti.



Slika 28: Grafikon G-metode na odseku 0262 v 3,5 in 10-letnem obdobju, primer 1

Tudi pri tem postopku si črte kar lepo sledijo ena drugi. Vidimo, da je res okoli stacionaže 2500 m t.i. hladna točka. Tukaj se pojavlja izrazito malo nezgod, kar nam prikazuje tudi grafikon. Okoli stacionaže 6300 m in 10300 m se pojavlja največ nezgod. Rezultati so podobni kot pri prvem postopku.

Pri metodi kritične stopnje nezgod dobimo stacionaže območij z večjim številom nezgod. Vsaka pika predstavlja nevaren pododsek.

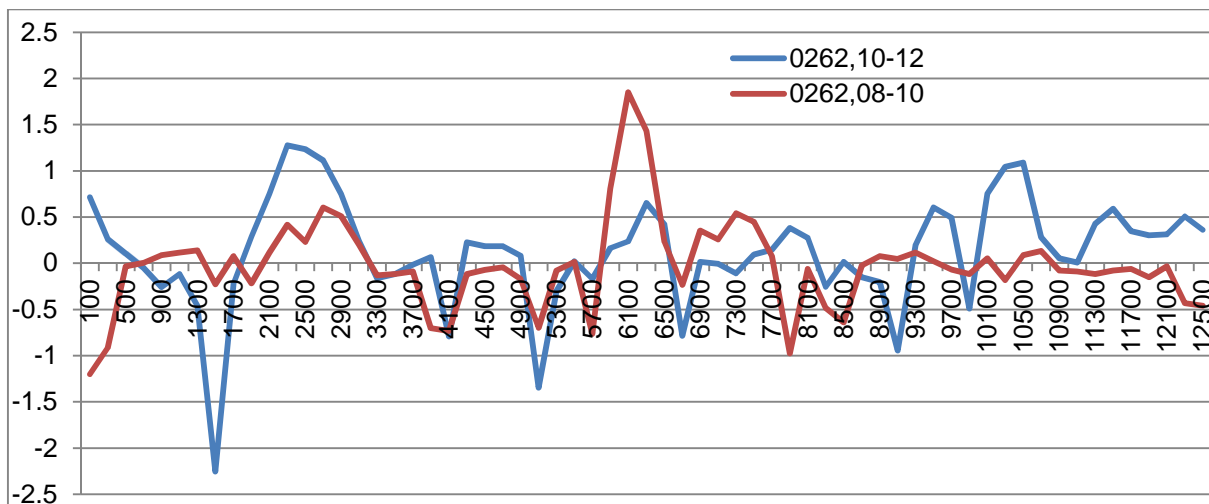


Slika 29: Rezultati metode kritične stopnje nezgod na odseku 0262 v 3,5,10-letnem obdobju, primer 1

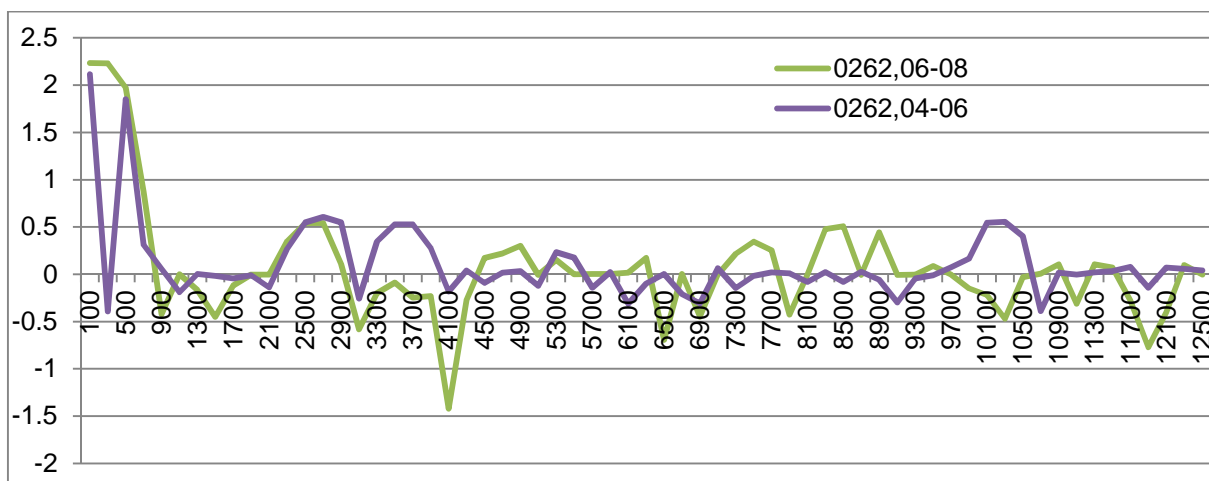
Tukaj se lepo vidi, kako nekatera nevarna mesta izginjajo, druga se pojavljajo, nekatera se pa tudi malo premaknejo. Odvisno od tega, kako se je celoten odsek razdelil na pododseke. Pri stacionaži 600 m je izračunano nevarno mesto samo pri desetletnem obdobju. Rezultati so zelo podobni rezultatom, ki smo jih dobili pri prvih dveh postopkih. Zanimive so stacionaže 1650 m in 4100 m, ker je tam lokalni indeks Moran I izračunal izrazito negativno prostorsko avtokorelacijo. Tudi G-statistika ne zazna ekstremnega povečanja nezgod na teh lokacijah.

4.6.2 Primer 2

Naslednji analizo smo si zastavili tako, da gledamo, kako se čez čas spreminjajo lokacije nezgod. Izbrali smo si štiri časovna obdobja, in sicer med leti 2010-2012 (modra), 2008-2010 (rdeča), 2006-2008 (zelena), 2004-2006 (vijolična). Časovni okvir je v vseh analizah 3 leta. Eno leto se pojavi v dveh sosednjih analizah. Obdobja si ne sledijo zaporedno, ampak so zamaknjena.



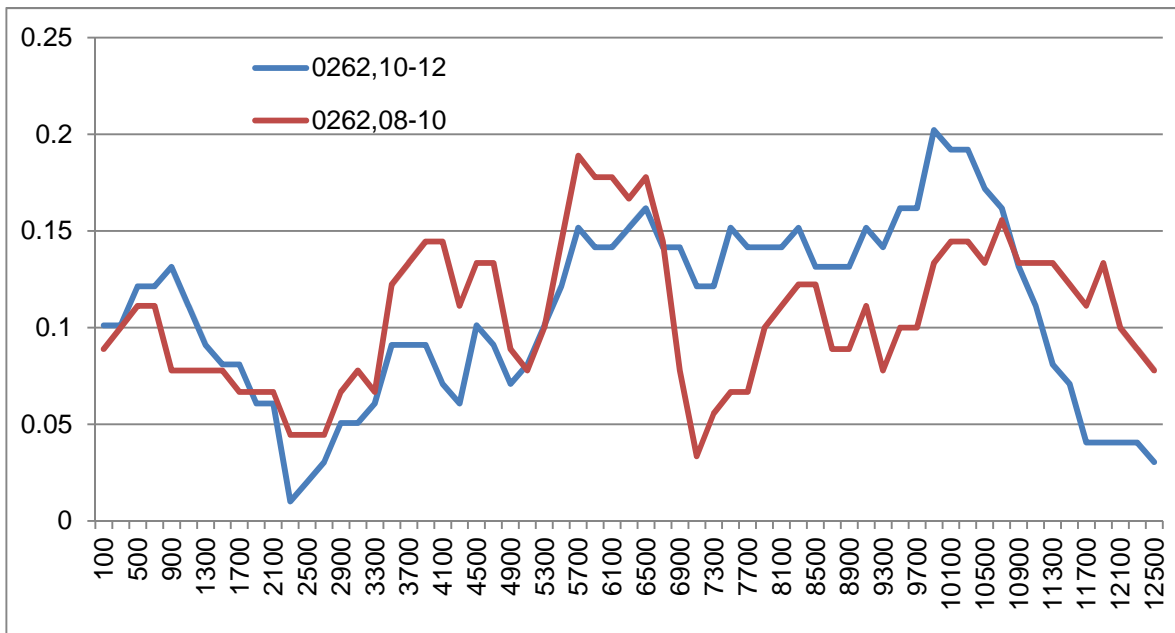
Slika 30: Grafikon lokalnega indeksa Moran I na odseku 0262 v obdobju 2008-2010 in 2010-2012, primer 2



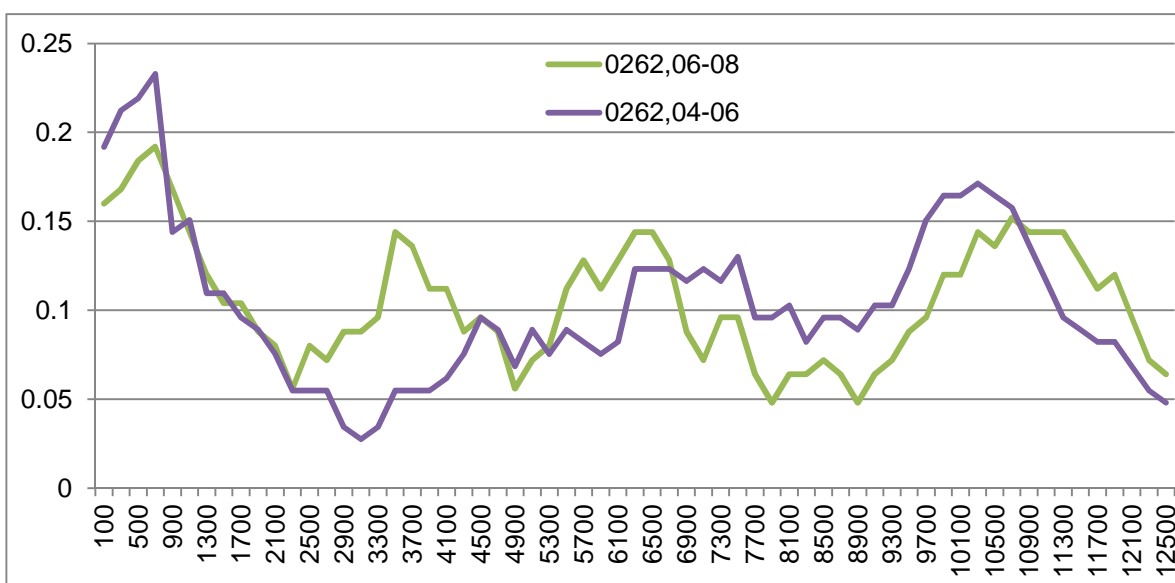
Slika 31: Grafikon lokalnega indeksa Moran I na odseku 0262 v obdobju 2004-2006 in 2006-2008, primer 2

V tem primeru pa si črte ne sledijo tako lepo kot v prejšnjem. To nam pove, da nezgode migrirajo na druge lokacije. V obdobju 2004-2006 se pojavi samo ena OPE, ki ima večje

združevanje nezgod okoli sebe. Le ta se nahaja okoli stacionaže 10300 m. Grafa na drugi sliki imata visoke vrednosti okoli stacionaže 100 m in 500 m. V največji meri je za to krivo tudi križišče. V obdobju 2008-2010 se pojavi največji ekstrem okoli stacionaže 6100 m. V nobenem drugem obdobju se ne pojavi na tej lokaciji. Zanimivo je tudi, da se samo pri obdobju 2006-2008 pojavi negativna prostorska avtokorelacija okoli stacionaže 4100 m.



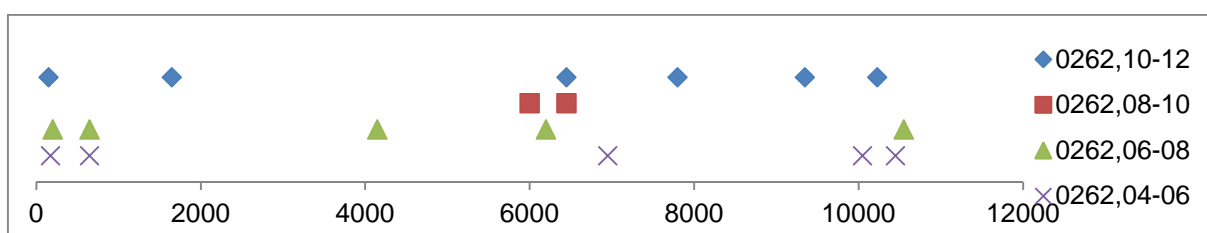
Slika 32: Grafikon G-metode na odseku 0262 v obdobju 2008-2010 in 2010-2012, primer 2



Slika 33: Grafikon G-metode na odseku 0262 v obdobju 2004-2006 in 2006-2008, primer 2

Tudi tukaj si črte ne sledijo lepo. Rezultati so zelo podobni prejšnjim. Ravno tako je v obdobju 2004-2006 zaznati povečano število nezgod okoli stacionaže 10300 m in 500 m. Pri stacionaži 3100 m pa je opaziti izrazito hladno točko. Pri obdobju 2006-2008 ni zaznati povečanja nezgod, razen okoli stacionaže 500 m. Pojavi se še rahlo povečanje nezgod okoli stacionaže 10500 m, ki pa najverjetneje ni kritično. Obdobje 2008-2010 kaže zgoščevanje nezgod med stacionažami 5700 m in 6500 m, kar nam je izračunala tudi prva metoda.

Metoda kritične stopnje nezgod nam da sledeče rezultate:



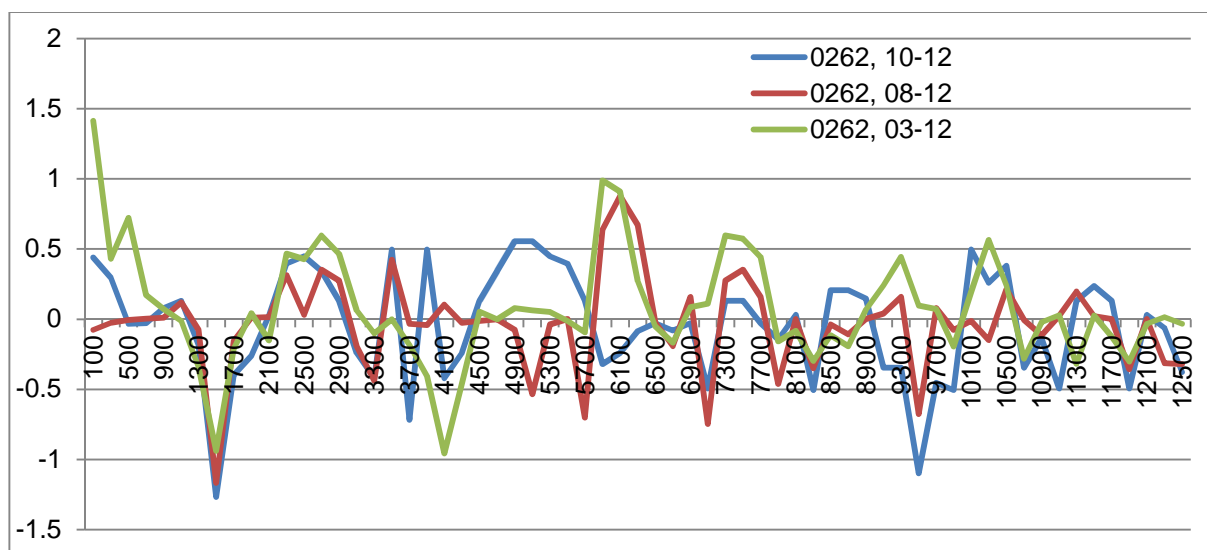
Slika 34: Rezultati metode kritične stopnje nezgod na odseku 0262 v obdobjih 2004-2006, 2006-2008, 2008-2010, 2010-2012, primer 2

Zanimivo je, da pri obdobju 2008-2010 metoda najde samo dve nevarni mesti, ki sta blizu skupaj, in sicer okoli stacionaž 6000 m in 6450 m. Sedaj lahko vidimo manjše razlike pri rezultatih različnih metod. Lokalni indeks Moran I je izračunal območje največjega združevanja na stacionaži 6100 m. G-statistika nam poda območje visokih vrednosti med stacionažami 5700 m in 6500 m. V tem območju sta zajeta oba pododseka, ki jih zazna tudi s metoda kritične stopnje nezgod.

V obdobju 2006-2008 nam metoda kritične stopnje nezgod najde 5 nevarnih pododsekov. Prva dva sta na stacionažah 200 m in 650 m, kar nam najdeta tudi ostali dve metodi. Naslednji nevarni pododsek se nahaja na stacionaži 4150 m. Na tej lokaciji nam lokalni indeks Moran I izračuna negativno prostorsko avtokorelacijo. Še en dokaz več, da moramo pri lokalnem indeksu Moran I tudi OPE, ki kažejo izrazito negativno prostorsko avtokorelacijo, upoštevati kot potencialna nevarna mesta. Ostala dva nevarna pododseka se pojavita na stacionažah 6200 m in 10550 m. Lokalni indeks Moran I ne zazna teh mest. Pri G-statistiki pa je na teh lokacijah opaženo manjše povečanje zgoščevanja nezgod.

4.6.3 Primer 3

Tretji primer bo zelo podoben prvemu, le da bomo tokrat izpustili nezgode, pri katerih ni nobenih poškodb. Obravnavali bomo le nezgode, pri katerih se pojavijo smrtne žrtve, hujše in lažje poškodbe. Če bi hoteli obravnavati samo nezgode s smrtnim izidom in hujšimi poškodbami, bi bilo premalo podatkov za dobre rezultate. Lahko bi lokacijam s smrtnimi žrtvami in hujšimi poškodbami dodali določene uteži, da bi bolj izstopale, vendar tega ne bomo zajeli v tej nalogi.



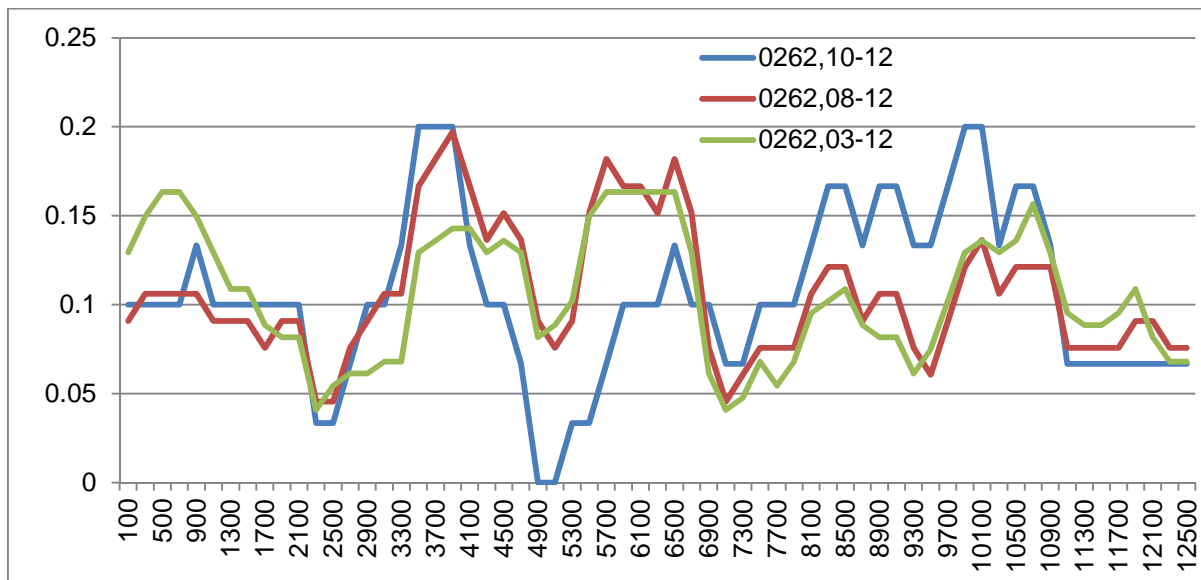
Slika 35: Grafikon lokalnega indeksa Moran I na odseku 0262 v 3,5 in 10-letnem obdobju, primer 3

Tudi v tem primeru si črte ne sledijo tako lepo kot v prvem. Opaziti je sicer nekaj podobnosti, predvsem negativna prostorska avtokorelacija okoli stacionaže 1500 m. Ker so ti rezultati skoraj identični v obeh primerih, smo šli pogledat, kaj je tako posebnega pri tej lokaciji. Vzrok večine nezgod je bila prevelika hitrost in nepreglednost. Na tej stacionaži je malo ostrejši ovinek skozi gozd, na obeh straneh pa je cesta skoraj ravna. Ko enkrat poznamo te okoliščine, nas rezultati v tej točki ne presenečajo več.

V obdobju 2010-2012 je nezgod že skoraj premalo za dobro analizo. Graf ima kar nekaj hladnih točk. Največji dve sta okoli stacionaže 2500 m in 5100 m. Opazi pa se tudi rahlo zgoščevanje nezgod okoli stacionaž 3500 m, 3900 m ter 10300 m.

Med leti 2008-2012 se pojavi eno območje zgoščevanje nezgod, to je okoli stacionaže 6100 m.

Desetletno obdobje pa ima kar tri območja, kjer je zaznati večje število nezgod, in sicer okoli stacionaže 100 m (vpliv križišča), 5900 m in okoli 10300 m. Pojavijo pa se tudi tri t.i. hladne točke, in sicer okoli stacionaž 2700 m, 7300 m in 9300 m.



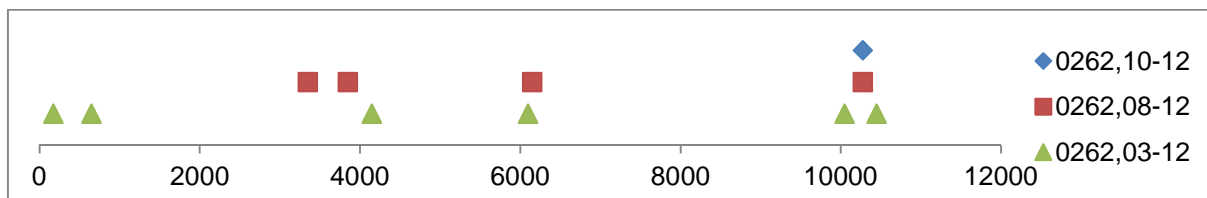
Slika 36: Grafikon G-metode na odseku 0262 v 3,5 in 10-letnem obdobju, primer 3

Na grafikonu lahko vidimo, da si rdeča in zelena črta kar lepo sledijo, medtem ko modra malo izstopa.

V obdobju 2010-2012 so rezultati zelo podobni rezultatom lokalnega indeksa Moran I.

Med leti 2008-2012 pa ta metoda najde še eno območje zgoščevanja nezgod, ki je lokalnem indeksu Moran I ni, in sicer okoli stacionaže 3900 m. Podobno je tudi pri desetletnem obdobju, kjer je novo območje zgoščevanja okoli stacionaže 4100 m.

Metoda kritične stopnje nezgod.



Slika 37: Rezultati metode kritične stopnje nezgod na odseku 0262 v 3.5 in 10-letnem obdobju, primer 3

Zanimivo je, da je pri obdobju 2010-2012 najdeno samo eno nevarno mesto. Tudi pri tej metodi se pozna, da ni veliko nezgod v tem obdobju. Nevarno mesto se nahaja okoli stacionaže 10300 m, ki je nevarno mesto v vseh treh časovnih obdobjih.

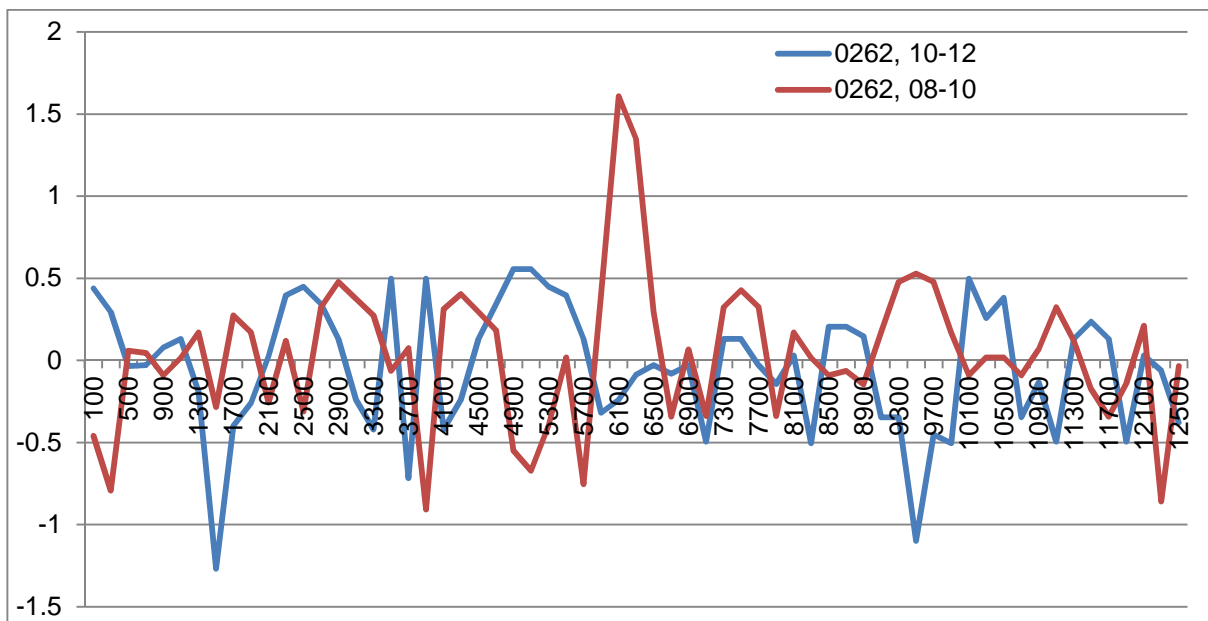
Petletno obdobje ima še tri druga nevarna mesta, dve sta odkrili že prvi dve metodi, enega pa ne, in sicer tistega okoli stacionaže 3300 m.

Med leti 2003 in 2012 pa nam ta metoda najde 6 nevarnih območij, vendar med njimi ni nobenega novega. Mogoče je katera lokacija samo zamaknjena za kakih 100 m.

4.6.4 Primer 4

Zadnji primer v tem sklopu, bo podoben drugemu. Tukaj prav tako ne bomo upoštevali nezgod brez poškodb kot v prejšnjem primeru. Uporabili bomo ista časovna obdobja kot v drugem primeru.

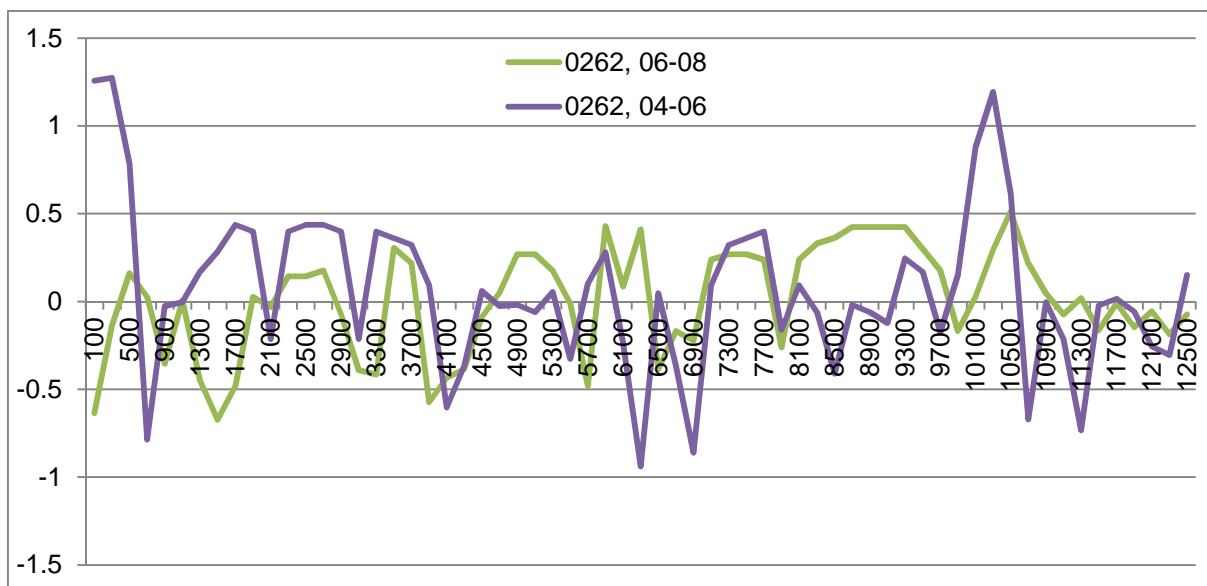
Rezultati lokalnega indeksa Moran I



Slika 38: Grafikon lokalnega indeksa Moran I na odseku 0262 v obdobju 2008-2010 in 2010-2012, primer 4

Če pogledamo grafikon za obdobje med leti 2008-2010, vidimo, da je malo podoben tistemu, ki smo ga dobili, ko smo upoštevali vse nezgode. Ravno tako ima območje zgoščevanja nezgod okoli stacionaže 6100 m. Tukaj se pojavi še eno območje, ki izkazuje manjše zgoščevanje, to je okoli stacionaže 4300 m. Ostali vrhovi so hladne točke. V tem primeru je

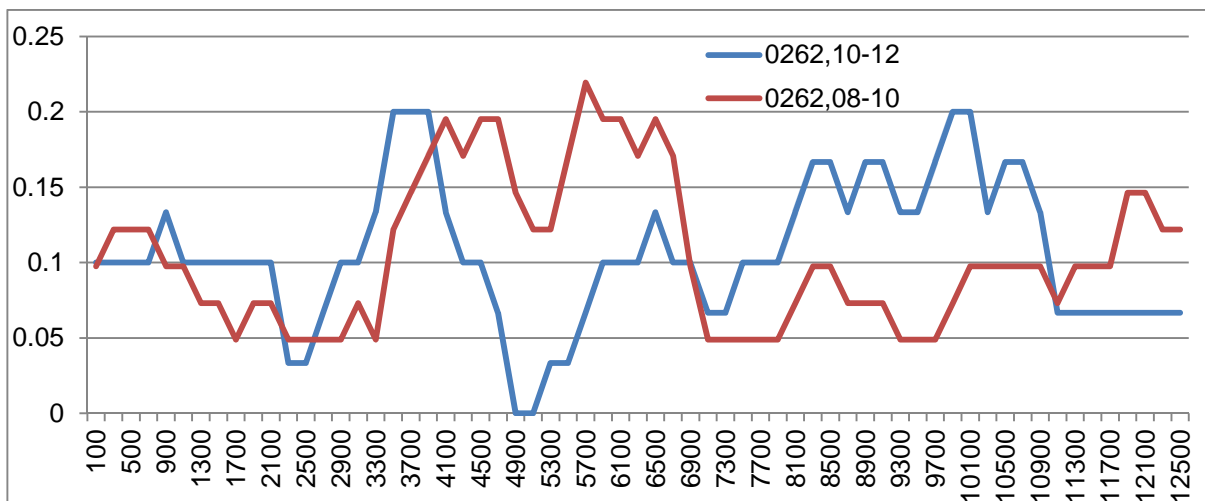
tudi nekaj območij, ki izkazujejo negativno prostorsko avtokorelacijo, vendar niso zelo izstopajoči.



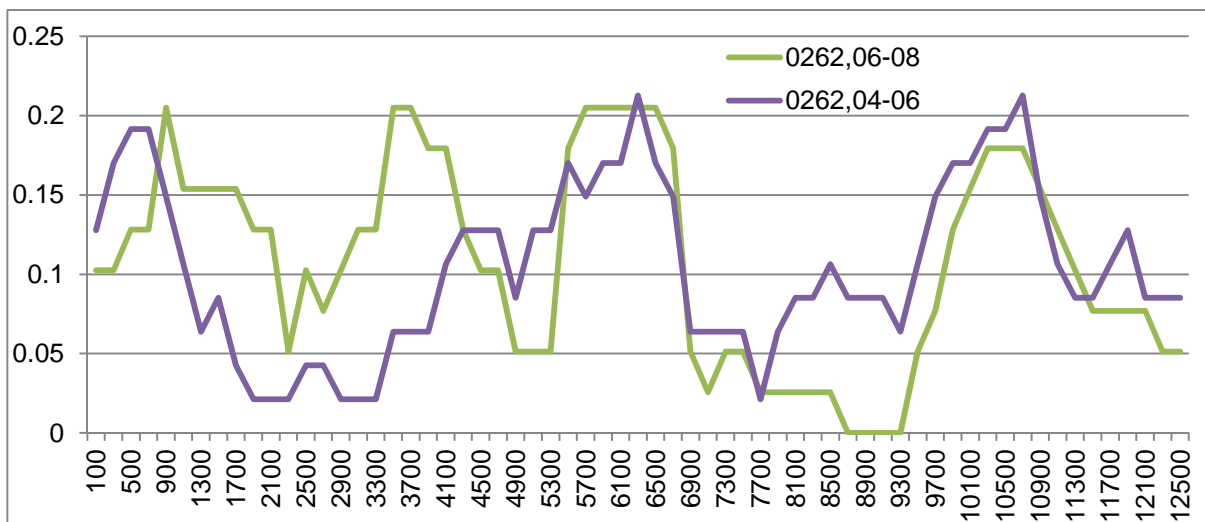
Slika 39: Grafikon lokalnega indeksa Moran I na odseku 0262 v obdobju 2004-2006 in 2006-2008, primer 4

Graf obdobja med leti 2006-2008 prikazuje tri območja zgoščevanja nezgod. Okoli stacionaže 3500 m, 6100 m in 10700 m. Ostali vrhovi so hladne točke, in sicer okoli stacionaž 5100 m, 7500 m in 8900 m.

Pri obdobju 2004-2006 se v tem primeru ravno tako kot v primeru z vsemi nezgodami pojavi zgoščevanje nezgod okoli stacionaže 10300 m. Le da je tukaj to zgoščevanje bolj izrazito. Pojavi se še eno območje, ki izkazuje večje število nezgod, in sicer okoli stacionaže 100 m, za kar je spet kriva bližina križišča. V tem primeru se pojavi kar nekaj lokacij, ki izkazujejo negativno prostorsko avtokorelacijo, to so stacionaže 700 m, 6300 m, 6900 m, 10700 m in 11300 m. Pozorni moramo biti tudi na njih, vendar ni nujno, da so tukaj nevarna mesta.



Slika 40: Grafikon G-metode na odseku 0262 v obdobju 2008-2010 in 2010-2012, primer 4



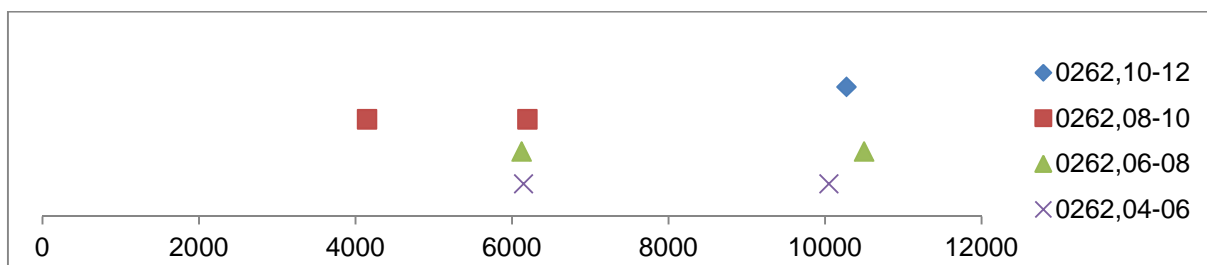
Slika 41: Grafikon G-metode na odseku 0262 v obdobju 2004-2006 in 2006-2008, primer 4

V obdobju med leti 2008-2010 se pojavita dve območji večjega združevanja nezgod. Okoli stacionaže 4500 m je malo manj opazno združevanje, okoli stacionaže 6100 m pa je združevanje bolj vidno. Rezultati so podobni kot pri lokalnem indeksu Moran I.

Obdobje 2006-2008 izkazuje tri lokacije povečanega števila nezgod. Graf ima sicer štiri vrhove, vendar prvi ni prava vroča točka. Pri tej metodi mora le ta imeti tudi sosednje OPE, ki izkazujejo zgoščevanje nezgod. Nevarna mesta so tukaj okoli stacionaže 3700 m, 6300 m in 10500 m. Rezultati se ne razlikujejo veliko od rezultatov po metodi lokalni indeks Moran I. Razlika med lokacijami je samo 200 m, oz eno OPE.

V obdobju 2004-2006 se pojavijo tri območja povečanega števila nezgod. Kritična so območja okoli stacionaže 500 m, 6300 m in 10500 m. Tretje območje je našel že postopek lokalnega indeksa Moran I. Prvi dve območji pa sta pri prejšnjem postopku izkazovali negativno prostorsko avtokorelacijo.

Metoda kritične stopnje nezgod



Slika 42: Rezultati metode kritične stopnje nezgod na odseku 0262 v obdobjih 2004-2006, 2006-2008, 2008-2010, 2010-2012, primer 4

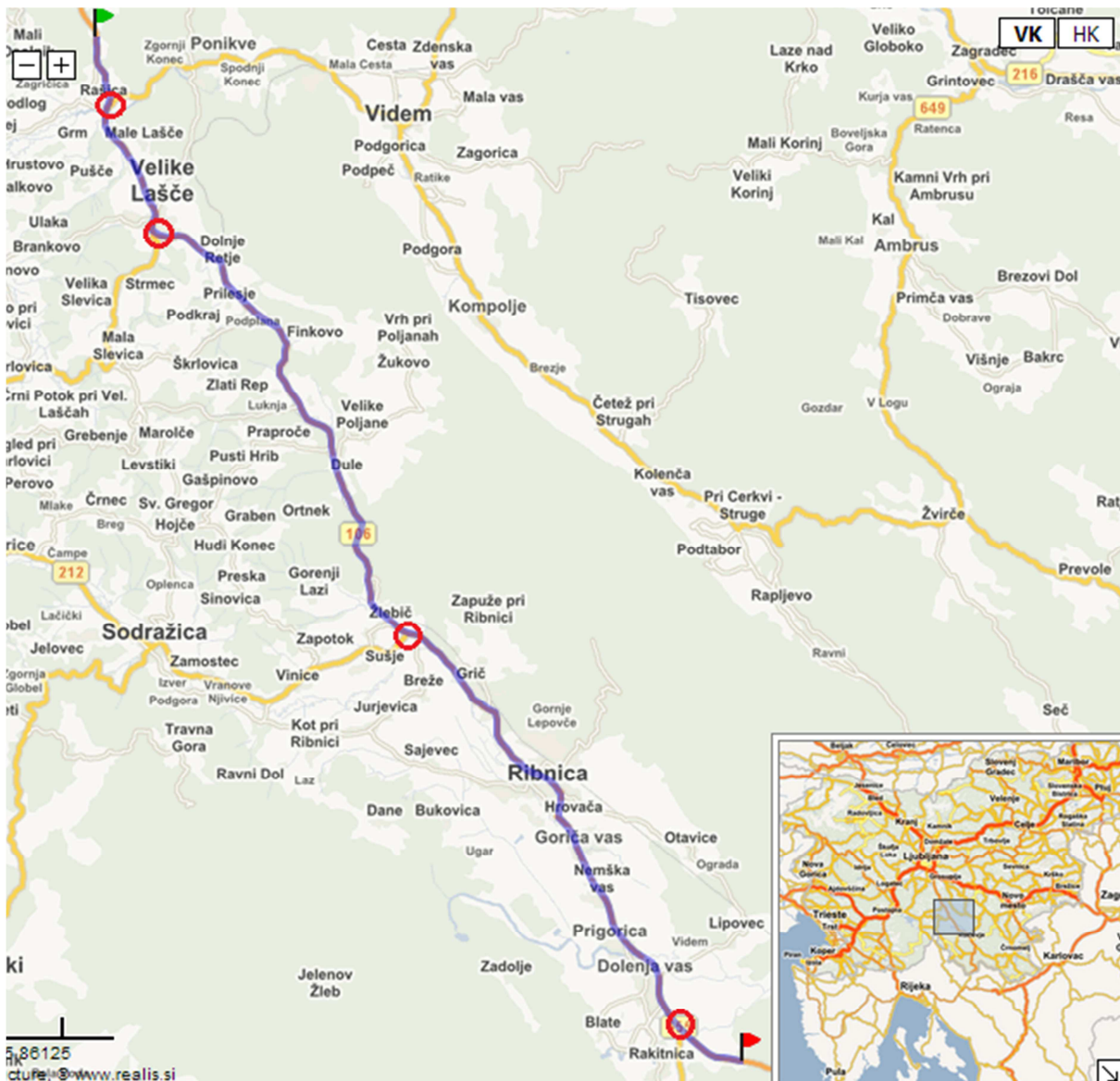
Ta postopek najde zelo malo nevarnih mest. V vseh štirih obdobjih le tri različne. Območje okoli stacionaže 6100 m je kritični mesto v treh obdobjih. Zanimivo je, da v zadnjem ni več. Lahko da so sprejeli določene ukrepe, s katerimi so izboljšali varnost na tem območju. Ali pa je bilo enostavno zaradi narave nezgod v tem obdobju na tem območju malo manj nezgod. Še eno območje je kritično v treh obdobjih, to je okoli stacionaže 10300 m. Pri tem nevarnem mestu je zanimivo, da v obdobju 2008-2010 ni več kritično, v naslednjem pa spet. Samo v tem obdobju je nevarno mesto izračunano okoli stacionaže 4100 m.

V tem primeru se lepo vidi, da metoda, ki se trenutno uporablja v Sloveniji, najde nekaj manj lokacij kot prvi dve metodi.

4.7 Realni primer - odsek s križišči

Izbrali smo si del glavne ceste G2 med Škofljico in Kočevjem, le ta vsebuje del odseka Škofljica-Rašica(0261), odsek Rašica-Žlebič(0262) in del odseka Žlebič-Kočevje(0263). Na obravnavanem delu so 4 križišča z regionalnimi cestami. Prvo križišče je med odsekoma 0261 in 0262, kjer se priključi regionalna cesta Mlačevo-Rašica(1368). Naslednje križišče je na odseku 0262 na stacionaži 2530 m, kjer se priključi regionalna cesta Velike Lašče-Lužarji-Nova vas(2412). Tretje križišče deli odseka 0262 in 0263. Tukaj se priključi cesta Sodražica-Žlebič(1120). Po 9545 m se na odsek 0263 veže regionalna cesta Dolenja vas-Gotenica-Kočevska Reka(6643). Kmalu po tem križišču bomo zaključili obravnavani odsek, in sicer na

stacionaži 11000 m. Za analizo nas zanimajo tudi nezgode, ki se zgodijo na regionalnih cestah in so od križišča oddaljene 100 m ali manj. Le te pripadajo območju križišč. Obravnavali bomo 2 primera, pri prvem bomo upoštevali vse nezgode, ki so se zgodile med leti 2010 in 2012. V drugem primeru pa bomo obravnavali samo nezgode, ki so se končale s poškodbo ali smrtjo med leti 2008 in 2012, torej bo časovno okno 5 let. Izpustili bomo nezgode brez poškodb. Spodnja slika prikazuje izbrani odsek. Lokacije križišč so označene z rdečimi krogi.



Slika 43: Zemljevid obravnavanega odseka

V križiščih z regionalnimi cestami je zelo malo nezgod, ki se zgodijo na regionalni cesti in so v bližini križišča. Konkretno je v prvem primeru samo ena nezgoda v križišču 4, v drugem pa

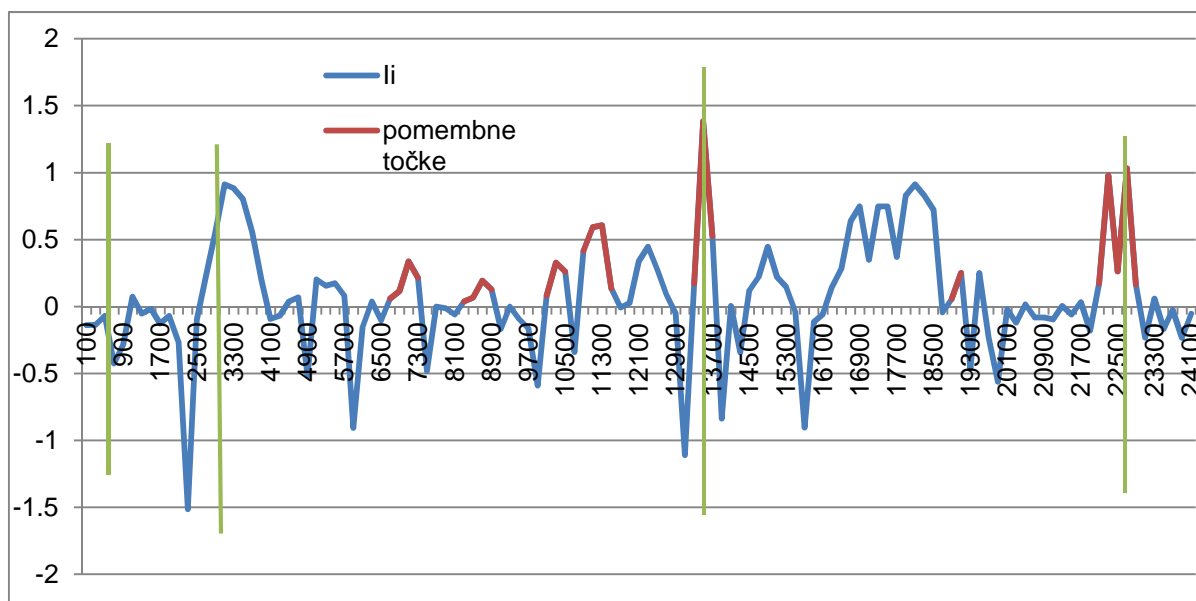
ni nobene take nezgode. To je zaradi tega, ker se vse nezgode, ki se zgodijo v križišču, pišejo na cesto višjega reda.

Nezgode bomo ponovno združili v OPE, ki so dolge 200 m. Pri tem bomo vpeljali nekaj poenostavitvev. Začeli bomo na stiku odsekov 0261 in 0262, in šli v vsako smer. Odsek 0262 se konča na stacionaži 12425 m, tako smo 25 m prenesli v naslednji odsek. Celotni obravnavan odsek je dolg 24100 m.

Za izračun uteži bomo ponovno izbrali enačbo $W=1/d$. Vplivno območje med OPE bo spet 600 m.

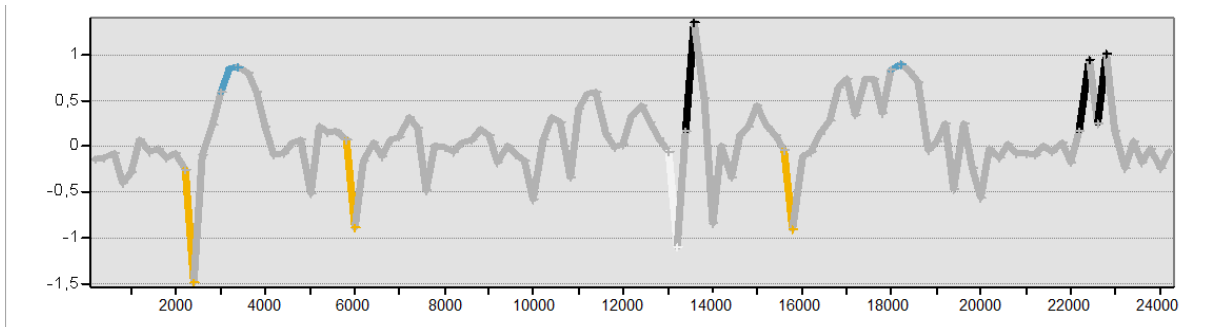
4.7.1 Varianta 1

Rezultati lokalnega indeksa Moran I:



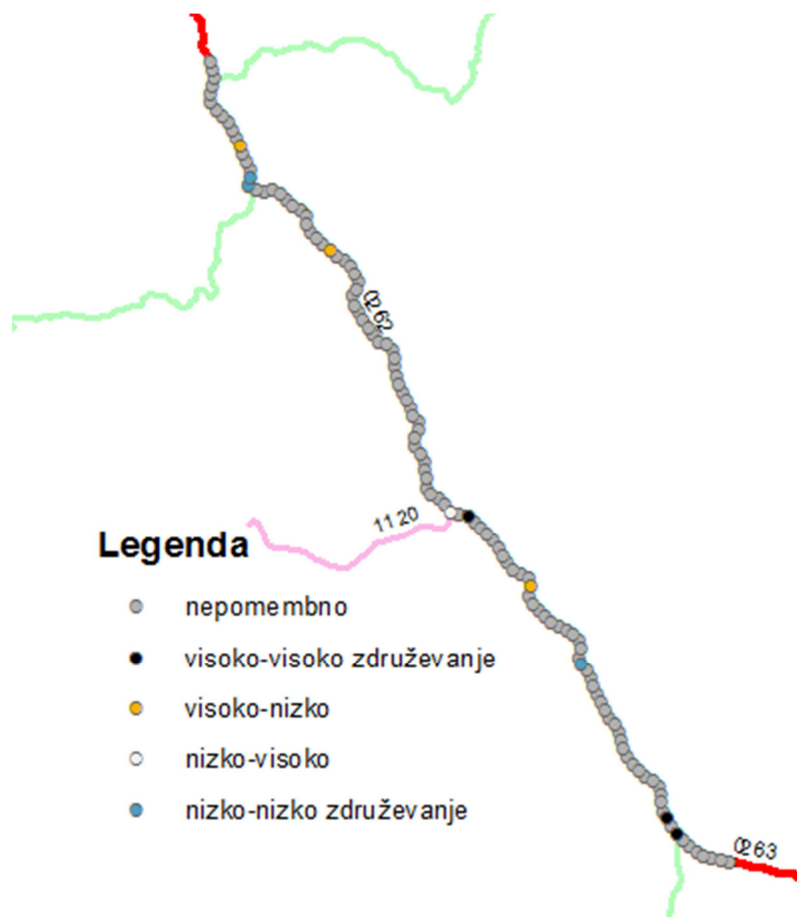
Slika 44: Grafikon lokalnega indeksa Moran I na obravnavanem odseku, MS Excel, varianta 1

Na sliki so z zeleno črto označene lokacije križišč. Z rdečo barvo je označen graf tam, kjer so potencialna nevarna mesta. Lahko vidimo, da sta tretje in četrto križišče znotraj območja povečane zgoščitve prometnih nezgod. Okoli lokacije drugega križišča pa je t.i. hladno območje.



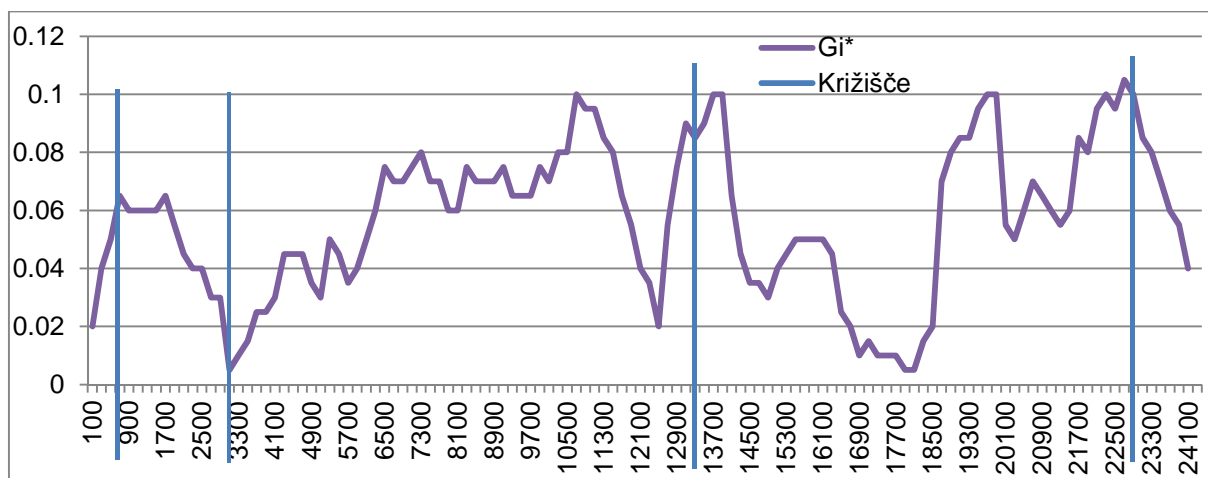
Slika 45: Grafikon lokalnega indeksa Moran I na obravnavanem odseku, ArcMap, varianta 1

Identične rezultate dobimo z orodjem ArcMap. Rezultate lahko grafično predstavimo na obravnavanem cestnem odseku:



Slika 46: Rezultati lokalnega indeksa Moran I predstavljeni na obravnavanem odseku, varianta 1

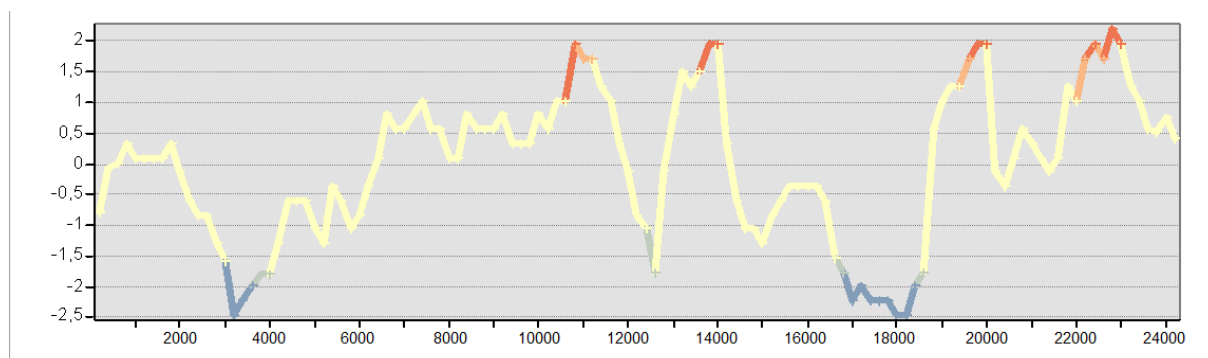
Rezultati G*-statistike:



Slika 47: Grafikon G-metode na obravnavanem odseku, MS Excel, varianta 1

Iz tega grafikona lahko ravno tako sklepamo, da je okoli križišč 3 in 4 območje zgoščevanja nezgod. Tukaj se lepo vidi, da je pri križišču 2 hladna točka.

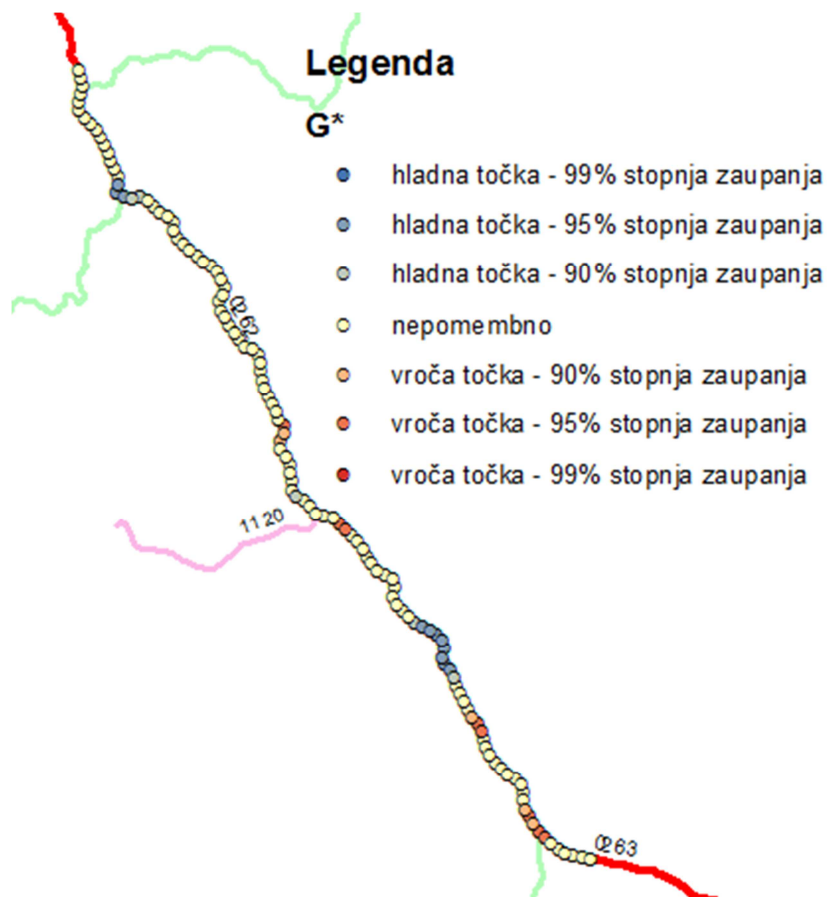
Rezultati z orodjem ArcMap so podobni, oblika grafa je identična, vrednosti pa se razlikujejo:



Slika 48: Grafikon G-metode na obravnavanem odseku, ArcMap, varianta 1

Na grafikonu rdeča barva predstavlja območje zgoščevanja nezgod – vroče točke, modra pa območja z malo nezgodami – hladne točke. Če natančno pogledamo grafikon, lahko vidimo različne odtenke modre in rdeče. Predstavljajo različne stopnje zaupanja, za katere lahko trdimo, da je to vroča oz. hladna točka.

Grafična predstavitev rezultatov:



Slika 49: Rezultati G-metode predstavljeni na obravnavanem odseku, varianta 1

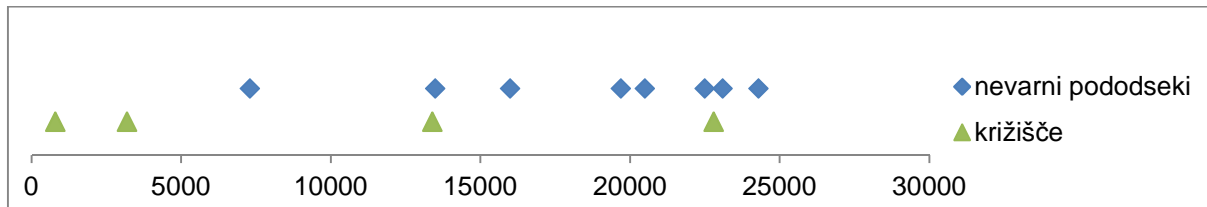
Po metodi kritične stopnje nezgod smo najprej primerjali med sabo križišča. Sešteli smo vse nezgode, ki so se zgodile v radiju 100 m okoli križišč in dobili naslednje vrednosti.

Preglednica 6: Število nezgod v posameznem križišču, primer 1

Križišče	Število nezgod
1	5
2	0
3	7
4	6

Nato smo po postopku dobili rezultate. Kritični sta križišči 3 in 4. Kar smo ugotovili tudi pri prvih dveh metodah.

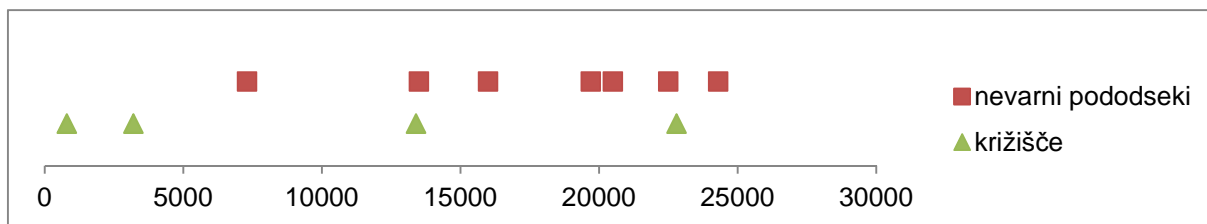
Naslednji izračun smo naredili tako kot vse prejšnje, celotno obravnavano območje smo razdelili na tekoče pododseke dolge 300 m, kakšen je tudi malo daljši. Tekoči pododsek je segal tudi čez križišče. Dobili smo naslednje rezultate:



Slika 50: Rezultati metode kritične stopnje nezgod na obravnavanem odseku z upoštevanjem nezgod v območju križišč, varianta 1

Modre točke predstavljajo lokacije nevarnih odsekov, zelene pa lokacije križišč. Ponovno sta tretje in četrto križišče del nevarnega odseka.

Postopek smo ponovili tako, da smo izpustili območja križišč. Tekoči pododsek se je končal 100 m pred križiščem, ni zajel nezgod, ki so zgodile v okolici križišč. Dobili smo naslednje rezultate:

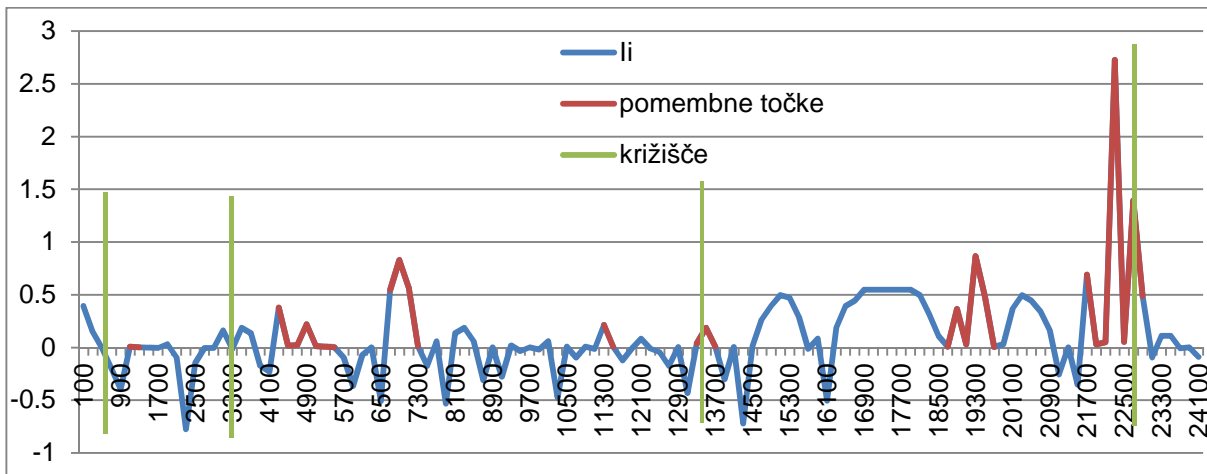


Slika 51: Rezultati metode kritične stopnje nezgod na obravnavanem odseku brez upoštevanja nezgod v območju križišč, varianta 1

Rdeče točke predstavljajo lokacije nevarnih odsekov, zelene pa lokacije križišč. Rezultati se od prejšnjega postopka razlikujejo le v tem, da pri stacionaži 23100 m ni najdenega nevarnega mesta. Ta lokacija je tako blizu križišča, da je večino nezgod všteti v križišče.

4.6.2 Varianta 2

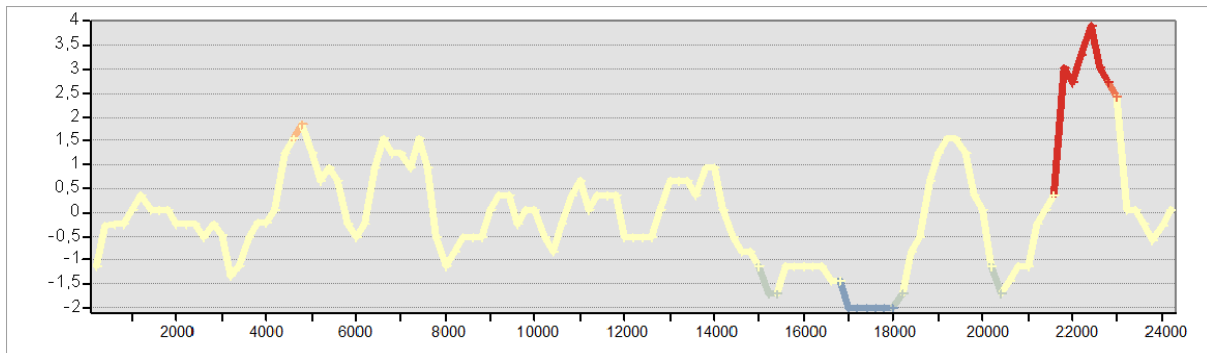
Rezultati lokalnega indeksa Moran I:



Slika 52: Grafikon lokalnega indeksa Moran I na obravnavanem odseku, MS Excel, varianta 2

V tem primeru pa je samo okoli 4 križišča zaznati zgoščevanje nezgod. Ostala križišča ne izstopajo v ničemer. Okoli njih ni opaziti niti negativne prostorske korelacije, niti nobene druge posebnosti.

Rezultati G-statistike:



Slika 53: Grafikon G-metode na obravnavanem odseku, ArcMap, varianta 2

Tudi po tej metodi dobimo nevarno mesto le okoli četrtega križišča. Zaznati je manjše povečanje nezgod okoli tretjega križišča, vendar ni tako veliko, da bi ga lahko razglasili za nevarno mesto.

Poglejmo še grafično predstavitev rezultatov:



Slika 54: Rezultati G-metode predstavljeni na obravnavanem odseku, varianta 2

Pri metodi kritične stopnje nezgod smo podobno kot v prejšnjem primeru najprej med sabo primerjali križišča. Število nezgod po križiščih:

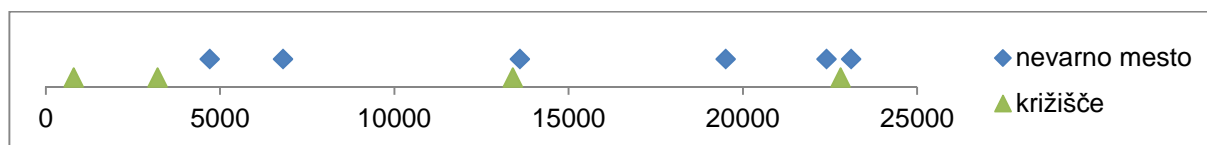
Preglednica 7: Število nezgod v posameznem križišču, primer 2

Križišče	Število nezgod
1	3
2	1
3	4
4	4

Metoda nam izračuna kritično križišče 4. Zanimivo je, da imata križišča 3 in 4 enako število nezgod. Kritično pa je samo križišče 4. To je zato, ker ima malo manjšo vrednost PLDP. Pri

njima stopnja nezgod ni tako zelo različna, vendar pade kritična stopnja nezgod ravno mednju.

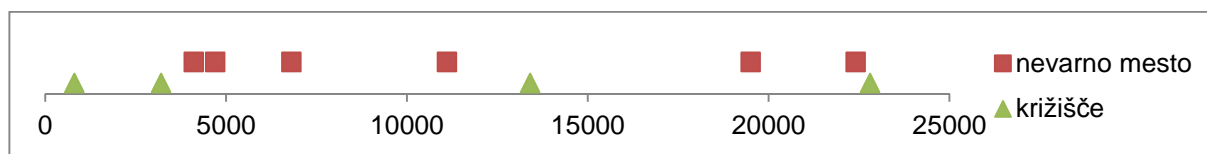
Nato smo celoten odsek obravnavali po metodi kritične stopnje nezgod. Odsek smo podobno kot v prvem primeru najprej obravnavali v celoti. Upoštevali smo vse nezgode na odseku. Tekoči pododsek je segal tudi v križišče. Dobili smo naslednje rezultate:



Slika 55: Rezultati metode kritične stopnje nezgod na obravnavanem odseku z upoštevanjem nezgod v območju križišč, varianta 2

Modre točke predstavljajo lokacije nevarnih odsekov, zelene pa lokacije križišč. Zanimivo je, da se pojavi nevarno mestu tudi okoli tretjega križišča. Ostali dve metodi nista našli tega nevarnega mesta.

V drugem primeru nezgode, ki so se zgodile okoli križišč, nismo upoštevali. Tekoči pododsek se je končal 100 m pred križiščem. Dobili smo naslednje rezultate:



Slika 56: Rezultati metode kritične stopnje nezgod na obravnavanem odseku brez upoštevanja nezgod v območju križišč, varianta 2

Rdeče točke predstavljajo lokacije nevarnih odsekov, zelene pa lokacije križišč. V tem primeru pa ni najdeno nevarno mesto v okolici tretjega križišča. Dve nevarni mesti sta spremenili svojo lokacijo. V prvem primeru sta bili najdeni dve nevarni mesti okoli križišča 4, v drugem pa samo eden.

4.8 Razlika pri rezultatih po metodi Getis Ord G

Pri primerjavi rezultatov smo opazili razliko med vrednostmi parametra G^* med tem, kar smo izračunali v Excelu, in kar nam je izračunal ArcMap. Oblika grafikona pa je enaka. ArcMap nam kot rezultat G^* ponudi kar z-rezultat [10], zato se ti dve vrednosti razlikujeta.

5 ZAKLJUČEK IN UGOTOVITVE

Z določevanjem nevarnih mest in njihovo odpravo bomo izboljšali varnost v cestnem prometu in s tem uresničili strateški cilj nacionalnega programa varnosti. Seveda gre le za infrastrukturni del oziroma prispevek.

Za določitev nevarnih mest smo preučili dve statistični prostorski metodi (lokalni indeks Moran I in Getis Ord G^*) in ju primerjali z metodo kritične stopnje nezgod, ki je trenutno v uporabi v Sloveniji.

Pri lokalnem indeksu Moran I smo morali vpeljati določene prilagoditve, da smo lahko obravnavali nezgode kot dogodke na cestni mreži. Poskusili smo tudi določiti pravilne vrednosti uteži.

Metode smo uporabili na testnih in realnih primerih. Pričakovati je, da bodo osnovne prostorske enote, ki imajo največ nezgod, tudi ugotovljene kot nevarna mesta, vendar to ni vedno tako. V kakšnem primeru npr. pri metodi G^* dobimo nevarno mesto lahko tudi tam, kjer je manj nezgod, vendar jih je okoli te osnovne prostorske enote toliko več.

.

Pri primerjavi vseh treh metod smo ugotovili, da moramo biti pozorni tudi na osnovne prostorske enote, ki pri metodi lokalnega indeksa Moran I kažejo izrazito negativno prostorsko avtokorelacijo (osnovna prostorska enota, ki ima veliko nezgod, okoli nje pa je zelo malo nezgod).

Za realni problem smo si izbrali odsek 0262 (Rašica-Žlebič) na glavni cesti G2, ki velja za enega bolj nevarnih na slovenski cestni mreži. Obdelali smo podatke o nezgodah v zadnjih desetih letih. Z različnimi prijemi smo prišli do zanimivih rezultatov. Ugotovili smo, da določene omejitve pri nezgodah veljajo (regresija k povprečju, migracije nezgod).

Metodi prostorske statistične analize nam v določenih primerih najdeta več nevarnih mest kot pa metoda kritične stopnje nezgod.

Tudi v okolici križišč metodi prostorske statistike dobita dobre rezultate. Ravno tako najdeta kritična mesta v križišču, če obstajajo.

Obe metodi prostorske statistične analize bi lahko ob ustrezni nadgradnji nadomestili ali pa nudili dodatno kontrolo obstoječi metodi kritične stopnje nezgod, ki je v uporabi v Sloveniji.

Osnovnim prostorskim enotam bi lahko dodali uteži glede na posledice prometnih nezgod, upoštevali bi lahko tudi PLDP. S tem bi lahko razširili to diplomsko nalogo.

VIRI

- [1] Resolucija nacionalnega programa varnosti cestnega prometa za obdobje od 2013 do 2022. 2014.
http://www.avp-rs.si/images/dokumenti/SARK/nacionalni_program/nacionalni_program_2013_2022.pdf
(Pridobljeno 27. 1. 2014.)
- [2] Annual Statistical Report 2012. 2012.
http://ec.europa.eu/transport/road_safety/pdf/statistics/dacota/dacota-3.5-asr-2012.pdf
(Pridobljeno 29. 1. 2014.)
- [3] Črne točke na državnih cestah. 2009.
http://www.dc.gov.si/fileadmin/dc.gov.si/pageuploads/Novice_OJ/pdf_datoteke/Microsoft_Word_-_CT_bilten.pdf (Pridobljeno 27. 1. 2014.)
- [4] Policija. 2014.
www.policija.si (Pridobljeno 29. 1. 2014.)
- [5] Zotlar, S. Metodologija za določitev nevarnih mest in za njihovo odpravo na državnem cestnem omrežju. 2014.
http://www.dc.gov.si/fileadmin/dc.gov.si/pageuploads/pdf_datoteke/METODOLOGIJA_ZA_DOLOCITEV_NEVARNIH_MEST_IN_ZA_NJIHOVO_ODPRAVO_NA_DRZAVNEM_CESTNEM_OMREZJU_-_Celje.pdf (Pridobljeno 31. 1. 2014.)
- [6] Indikatorji prostorske zveze. 2014.
http://en.wikipedia.org/wiki/Indicators_of_spatial_association 26.2.2014_ (Pridobljeno 4. 2. 2014.)
- [7] Anselin, L. 1995. Local Indicators of Spatial Association – LISA. Geog. An. 27, 2: 93-115.
- [8] Prasannakumar, V., Vijith, H. Charutha R., Geetha N. 2011. Spatio-Temporal Clustering of Road Accidents: GIS Based Ananalysis and Assessment. Procesia Social and Behavior Sciences 21: 317-325.
- [9] Moons, E., Brijs, T., Wets, G. 2009. Improving Moran`s Index to Identify Hot Spots in Traffic Safety. Studies in Computational Intelligence 176: 117-132.

- [10] How Cluster and Outlier Analysis (Anselin Local Moran's I) works. 2014. http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/How_Cluster_and_Outlier_Analysis_Anselin_Local_Moran_s_I_works/005p00000012000000/ (Pridobljeno 22. 1. 2014.)
- [11] Getis – Ord. 2014. http://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/fspat/presentations/group5_getis_g/Uses%20for%20Getis-Ord%20Statistic.pptx (Pridobljeno 22. 1. 2014.)
- [12] Datta, T. 2002. CE 4640: Transportation Design. http://www.slidefinder.net/4/4640_transportation_design/ce4640_slides11/29655402 (Pridobljeno 8. 2. 2014.)
- [13] Larsen, M. A. 2010 Philadelphia Traffic Accident Cluster Analysis using GIS and SANET. http://penniur.upenn.edu/uploads/media_items/larsen-capstone-musa.original.pdf (Pridobljeno 8. 2. 2014.)
- [14] Smernica za razvrščanje cestnega omrežja glede na varnost (NSM). 2014. http://www.mzip.gov.si/fileadmin/mzip.gov.si/pageuploads/DC_splosno/predpisi/NSM-SMERNICA.pdf (Pridobljeno 23. 1. 2014.)
- [15] Statistični urad republike Slovenije. 2014. <http://www.stat.si/> (Pridobljeno 4. 2. 2014.)
- [16] Thomas, I. 1995 Spatial Data Aggregation: Exploratory Analysis of Road Accidents. *Accid. Anal. And Prev.* 28: 251-264.
- [17] Lipar, P., Kostanjšek, J., Žura, M. 2010. Uporaba prostorske statistike za določevanje zgostitev prometnih nesreč. *Geodetski vestnik* 54, 1: 61-69.
- [18] Šarič, Ž., Zovak, G., Koronc, N. Comparison of Methods for determining Crash Hotspots in the Road Traffic. http://mech-ing.com/journal/Archive/2011/4/92_Zeljko%20Saric.pdf (Pridobljeno 8. 2. 2014.)