

KSENIJA BUTORAC*, DUBRAVKA MAURER**, DUBRAVKO GAJSKI***

Model optimiziranja funkcije smanjivanja udaljenosti u odnosu na prostorne obrasce ponašanja počinitelja razbojništava na području Grada Zagreba

Sažetak

Geografsko profiliranje pokazalo se kao koristan alat prilikom utvrđivanja moguće lokacije boravišta serijskih počinitelja kaznenih djela. Osnova je proučavanje puta koji prelazi počinitelj kako bi počinio kazneno djelo pri čemu je efekt smanjivanja udaljenosti dobro poznata činjenica. U ovome radu opisan je model odabira optimalne funkcije smanjivanja udaljenosti i određivanje njezinih parametara tako da funkcija bude što bolja procjena vjerojatnosti počinjenja u odnosu na duljinu kriminalnog puta. Izjednačenjem Gauss-Markovljevim modelom postiže se da funkcija poprima najmanja odstupanja u odnosu na referentne vrijednosti dobivene na temelju testnih podataka. Testni su podaci prikupljeni iz dostupnih medija, te sadrže mali broj serijskih slučajeva za koje su se mogle odrediti lokacije počinjenja i procijeniti lokacije boravišta počinitelja. Iako je zbog nepouzdanosti i nedostataka izvora pouzdanost testnih podataka upitna, oni se u ovome radu ne rabe radi modeliranja stvarnog prostornog ponašanja počinitelja, već samo kao ilustracija načina određivanja optimalne funkcije smanjivanja udaljenosti i njezinih najvjerojatnijih parametara. Iz istog su razloga za usporedbu odabrane dvije funkcije smanjivanja udaljenosti: linearna i negativna eksponencijalna funkcija. Za Republiku Hrvatsku nismo pronašli empirijski provedena istraživanja o funkcionalnosti modela za geografsko profiliranje i njegovu primjenu u praksi. Stoga bi bilo nužno odrediti parametre funkcije smanjivanja udaljenosti na reprezentativnom skupu podataka, dobivenih iz vjerodostojnih izvora i na taj način stvoriti relevantnu osnovu za daljnja istraživanja prostornog ponašanja počinitelja uvođenjem dodatnih uvjeta i složenijih matematičkih modela.

Ključne riječi: geografsko profiliranje, počinitelji razbojništava, prostorni obrasci ponašanja, kriminalni put, efekt smanjivanja udaljenosti, kalibracija.

* prof. dr. sc. Ksenija Butorac, Visoka policijska škola, Ministarstvo unutarnjih poslova, Zagreb, Hrvatska.

** Dubravka Maurer, mag. ing. geod. et geoinf., asistentica, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Katedra za fotogrametriju i daljinska istraživanja, Hrvatska.

*** doc. dr. sc. Dubravko Gajski, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Katedra za fotogrametriju i daljinska istraživanja, Hrvatska.

1. UVOD

Tradicionalne kriminološke teorije bile su usmjerene na razumijevanje bioloških faktora i društvenih sila koje pokreću motivaciju pojedinca ili grupe za počinjenje kaznenog djela kroz stečeno ili naslijeđeno delinkventno ponašanje te na kreiranje programa za rehabilitaciju počinitelja (Wortley i Mazerolle, 2008). Posljednjih nekoliko desetljeća znatno je porastao interes za geografskim pristupom u proučavanju kriminaliteta s obzirom na to da se kriminalitet ne može razmatrati odvojeno od prostora u kojem se događa (Butorac, 2011), te se težište kriminoloških istraživanja izmješta s počinitelja na prostornu komponentu kaznenog djela. Počinitelj se smatra jednom od komponenti kaznenog djela dok se veća pozornost pridaje samoj dinamici događaja (Gdje se dogodio?; Kada se dogodio?; Tko su bili sudionici događaja?; Kako su se kretali?) (Wortley i Mazerolle, 2008). Grana kriminologije koja se bavi proučavanjem prostorne komponente kriminalnog događaja jest ekološka kriminologija i ona je zajednički termin za nekoliko kriminoloških teorija koje objašnjavaju prostorne obrasce kretanja počinitelja i utjecaj okoline na izbor lokacije za počinjenje kriminalnog djela s obzirom na njegov prostor osviještenosti, racionalni izbor i rutinske aktivnosti. Koncept okoline je širok i uključuje fizički dizajn prostora, izgrađenu okolinu te društvene institucije. Svaki pojedinac odgovara, prilagođava se i mijenja kao rezultat okruženja kojeg je dio; stoga je i kriminalno ponašanje određen oblik prilagodbe okolini, a prostorno-vremenski obrasci svakog kretanja, pa tako i kriminalnog, vrlo su predvidljivi (Andresen, 2010).

Brzi razvoj tehnologija za obradu prostornih podataka poput geoinformacijskih sustava (GIS) i njihova sve veća raširenost i primjenjivost otvorili su mogućnosti analiziranja i vizualiziranja prostornih podataka unutar kriminoloških analiza, i u praktičnoj primjeni, i u znanstvenim istraživanjima. Otkako je tehnologija GIS-a dovoljno sazrela da omogućuje složene geoprostorne analize, ona dobiva sve veću ulogu u istraživanju kriminaliteta. Kriminološke analize temeljene na geokodiranim podacima daju uvide u prostorne obrasce pojedinačnih kriminalnih događaja ili agregiranih skupova podataka o kriminalitetu. Analiza velikih količina prostornih informacija u praćenju urbane kriminologije i integracija GIS-a u društvenim znanostima omogućuje interaktivno i dinamično proučavanje podataka o kaznenim djelima u vremenu i prostoru (Ceccato, 2008).

1.1. Geografsko profiliranje

Jedna od metoda proučavanja prostorne komponente kriminaliteta jest geografsko profiliranje. Metodologija počiva na kriminološkim teorijama i empirijskim istraživanjima ekološke kriminologije, a definirao ju je Rossmo (2000) kao istražnu metodu za analiziranje lokacija povezane serije zločina u svrhu utvrđivanja najvjerojatnije lokacije boravišta počinitelja. Glavna je svrha geografskog profiliranja pomoć istražiteljima u manipuliranju informacijama kod prioritiziranja osumnjičenih (Rossmo, 2012). Geografskim se profilom, na osnovi lokacija serije zločina koji su povezani s istim počiniteljem, koristeći geostatističke metode ili matematičke modele, pokušava ograničiti područje pretrage za mogućim počiniteljem u svrhu ekonomičnije raspodjele policijskih resursa. Dok kriminalističko profiliranje koristi informacije prikupljene s mjesta događaja kako bi se donijeli zaključci o osobnim karakteristikama počinitelja, geografsko profiliranje nije jednoznačan proces već je

skup hipoteza o obrascima kriminalnih ponašanja (Canter i Hammond, 2007). Cilj geografskog profiliranja jest otkriti postojeću vezu između mjesta kriminalnog događaja i počinitelja kako bi se otkrila njegova sidrišna točka (boravište ili sjedište), koja se smatra polaznom točkom ili mjestom s kojim počinitelj ima jaku povezanost - bilo kojeg uobičajenog geografskog područja ili sektora koje je poznato kao čvor ili operativno područje počinitelja (Rossmo, 2012). Rezultat je geografskog profila površina vjerojatnosti unutar koje se nalazi moguća lokacija sidrišne točke počinitelja. Prvotno razvijena metodologija za rješavanje slučajeva serijskih ubojstava počela se uskoro primjenjivati i na druge vrste kaznenih djela. Rossmo (2000) je primijetio da se zločini u pravilu rješavaju istraživanjem jedinstvenih odnosa između počinitelja i žrtve. Međutim, kod serijskih zločina često nedostaje očita povezanost, stoga povezana serija zahtijeva specijalizirane strategije koje nadilaze tradicionalne istražne metode (Kent, 2009). Prema Emeno i sur. (2016), postoji više različitih strategija za kreiranje geografskog profila. Većina njih utemeljena je na dvije teorijske pretpostavke. Prva je postojanje efekta smanjivanja udaljenosti, što znači da većina serijskih počinitelja ne prelazi velike udaljenosti kako bi počinila zločin. Druga pretpostavka jest da većina počinitelja živi unutar područja koje pokriva njihovo kriminalno djelovanje. Da bi izrada geografskog profila bila moguća, Rossmo (2000, prema Butković, 2018) tvrdi kako mora biti ispunjeno sljedećih pet uvjeta:

1. Počinitelj mora počiniti najmanje 5 kaznenih djela;
2. Kaznena djela su povezana s istim počiniteljem i serija je relativno dovršena;
3. Počinitelj nije mijenjao područje kriminalne aktivnosti;
4. Počinitelj nije promijenio sidrišnu točku (niti ima više sidrišnih točaka) tijekom počinjenja serije kaznenih djela;
5. Distribucija odgovarajućih meta (objekata napada) relativno je jednoobrazna oko boravišta počinitelja.

Različite strategije geografskog profiliranja mogu biti klasificirane kao strategije prostorne distribucije ili strategije vjerojatnosti udaljenosti (Snook i sur., 2005). U osnovi se rabe dvije vrste prostornih modela: modeli prostorne distribucije i modeli prostorne interakcije (Kent i Leitner, 2009). Modeli prostorne distribucije utemeljeni su na različitim statističkim formulacijama, dok su modeli prostorne interakcije bazirani na različitim funkcijama smanjivanja udaljenosti (O'Leary, 2010).

1.2. Efekt smanjivanja udaljenosti

Prema teorijama ekološke kriminologije većina počinitelja neće prelaziti velike udaljenosti kako bi počinili kazneno djelo. Smanjivanje udaljenosti jest činjenica koja pokazuje da će većina počinitelja počiniti kazneno djelo ponajprije na lokacijama koja su bliža njihovim boravištima, negoli na onima koja su udaljenija (O'Leary, 2011). Teoretičari racionalnog izbora naglašavaju da se obrazac smanjivanja udaljenosti može objasniti kroz smanjivanje troška puta koji počinitelj mora proći kako bi počinio kazneno djelo, dok teoretičari rutinskih aktivnosti tvrde da je taj obrazac tipičan za svakodnevno, uobičajeno ponašanje, a ne samo za delinkventno (Bernasco i Kooistra, 2010). Put koji počinitelj prelazi od lokacije svoje sidrišne točke do lokacije zločina naziva se kriminalni put. Metode geografskog profiliranja uglavnom se zasnivaju na ključnim zaključcima studija o kriminalnome putu. Duljina kriminalnog puta

jedna je od važnih varijabli koja karakterizira geografiju kriminaliteta, a postojanje efekta smanjivanja udaljenosti kod takvog puta dobro je poznata činjenica (O'Leary, 2011). Dokaze o efektu smanjivanja udaljenosti pružaju brojna empirijska istraživanja koja su provedena na raznim vrstama kaznenih djela (Hesseling, 1992; Bennell i Canter, 2002; Bernasco i Luykx, 2003; Bernasco i Nieuwbeerta, 2005). Osim blizine boravišta počinitelja, na duljinu kriminalnog puta mogu utjecati i druge karakteristike počinitelja, kaznenog djela i mete napada (Koppen i Jansen, 1998) - kao što su pristupačnost i atraktivnost mete (Bernasco i Luykx, 2003; Bernasco, 2006) ili mobilnost počinitelja (Block i Bernasco, 2009). Vjerojatnost pojavnosti kriminalnog događaja na određenoj lokaciji analitički se može predstaviti funkcijom smanjivanja udaljenosti koja predstavlja vezu između vjerojatnosti da će se zločin dogoditi i udaljenosti mjesta počinjenja zločina od boravišta počinitelja (Canter i sur., 2000). Santtila i sur. (2008) navode da je funkcija smanjivanja udaljenosti prikladan model za opisivanje prostornog ponašanja počinitelja te da je moguće identificirati značajke kriminaliteta koje statistički koreliraju s kriminalnim putem.

Prostorno kretanje počinitelja radi počinjenja kaznenog djela ovisi o mnogo uvjeta (psihološki profil, sociološko-ekonomski uvjeti, okolina) i ne može se jednoznačno opisati nekom matematičkom funkcijom. Stoga se procjena udaljenosti sidrišne točke od mjesta počinjenja opisuje korištenjem statističkih modela i referentnim vrijednostima određenim na temelju riješenih slučajeva. Svaki počinitelj djeluje unutar određenog područja i vjerojatnost počinjenja se, općenito, može opisati funkcijom smanjivanja udaljenosti. Matematički model i parametri ove funkcije određuju se postupcima kalibracije na većem broju riješenih slučajeva te stoga ona opisuje vjerojatnost počinjenja u odnosu na duljinu kriminalnog puta samo za prosječnog počinitelja; dok kod svakog konkretnog počinitelja odstupa u pozitivnom, odnosno negativnom smislu prema obrascima i zakonitostima koje se ne mogu izraziti određenom matematičkom funkcijom, što pak znači da poprima slučajni karakter. Stoga ima smisla pretpostaviti da distribucija stvarne vjerojatnosti počinjenja u odnosu na procijenjenu (tj. modeliranu) poprima karakteristike Gaussove kontinuirane normalne razdiobe.

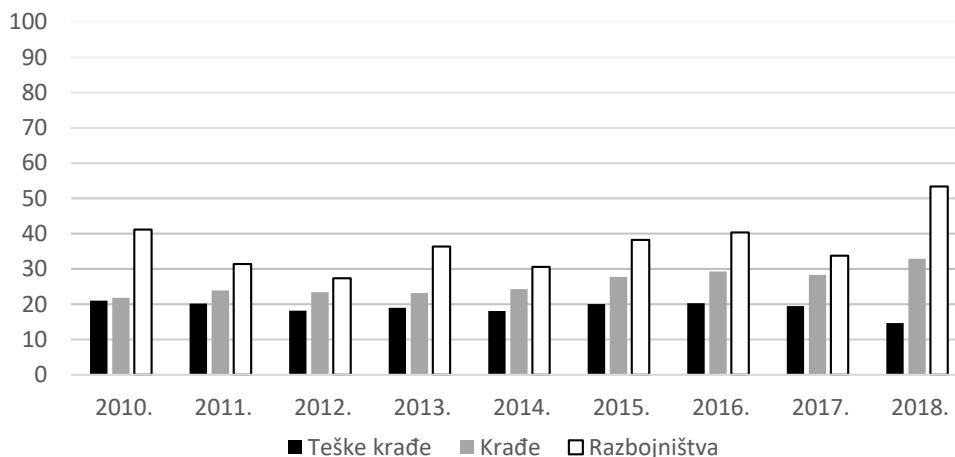
2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Budući da Hrvatskoj nedostaju sustavno provedena empirijska istraživanja geografskog profiliranja, za potrebe ovoga rada preliminarno je ispitan model optimiziranja funkcije smanjivanja udaljenosti. Cilj je ovoga rada pokazati hodogram odabira optimalne funkcije smanjivanja udaljenosti uspoređujući standardne devijacije dobivene izjednačenjem Gauss-Markovljevim modelom (Larocca, 2012). Krajnji je cilj - prilagoditi matematički model funkcije smanjivanja udaljenosti uobičajenim prostornim obrascima ponašanja počinitelja na području Grada Zagreba. U nedostatku podataka za ilustraciju hodograma korištena su tri slučaja serijskog razbojništva na području Grada Zagreba koji su objavljeni i opisani u medijima.

3. GEOGRAFSKO PROFILIRANJE POČINITELJA RAZBOJNIŠTVA NA PODRUČJU GRADA ZAGREBA

Prema statistikama Policijske uprave zagrebačke za razdoblje od 2010. godine do 2018. godine najveći udio kriminaliteta odnosi se na imovinski kriminalitet od kojih su najčešća kaznena djela teške krađe, krađe i razbojništva koji čine preko 80 % općeg kriminaliteta na godišnjoj razini. Udio riješenih slučajeva prikazan je u grafikonu 1. Nadalje se navodi da je u 2018. godini kriminalističkim istraživanjem utvrđeno da je od ukupno 369 kaznenih djela razbojništva razriješeno 53,4 % (197) koje je počinio 71 počinitelj (Izvjешće o stanju i kretanju sigurnosnih pokazatelja u radu PU zagrebačke u 2018. godini), što ukazuje na to da je ova vrsta kaznenog djela kategorizirana kao serijska te da među počiniteljima ima značajan broj multirecidivista. Takva saznanja o razbojništvima daju dobru podlogu za istraživanje modela geografskog profiliranja za Grad Zagreb.

Razriješenost kaznenih djela u %



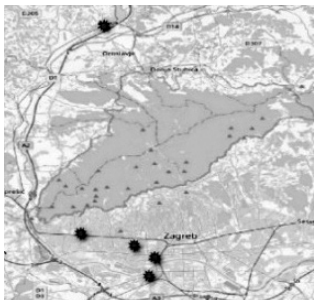
Grafikon 1: Postotak razriješenosti kaznenih djela Policijske uprave zagrebačke u razdoblju od 2010. do 2018. godine

Izvor: Dostupan na: <https://zagrebacka-policija.gov.hr/statistika/90> (15.07.2020.)

U sklopu razvojno-istraživačkog projekta „Geografsko profiliranje počinitelja razbojništva na području Grada Zagreba za 2018. godinu“, čiji je cilj unaprjeđenje predikatnog modela identifikacije počinitelja serijskih kaznenih djela razbojništva na temelju podataka o razbojništvima iz 2018. godine, provest će se ispitivanja u svrhu uspostave optimalnog modela koji bi najbolje odgovarao karakteristikama područja istraživanja.

S obzirom na to da Hrvatska nema javno dostupne podatke o kaznenim djelima u mjeri koja je potrebna za uspostavu geografskog profila (lokacije boravišta počinitelja i lokacije kaznenih djela), za potrebe ovoga rada postupak kalibracije preliminarno je testiran na tri slučaja razbojništva koji su objavljeni i opisani u medijima, a naknadno će biti proveden na prikupljenim podacima MUP-a u sklopu Projekta.

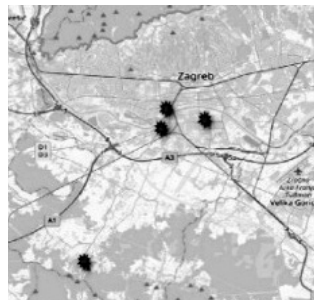
Prvi je slučaj (slika 1) slučaj serijskih počinitelja koji su počinili pet kaznenih djela razbojništva od čega su četiri bila u Zagrebu, a jedno u Zaboku. Počinitelji su uhićeni u Zagrebu u pokušaju razbojništva, međutim kako su se kretali automobilom krapinske registracije, može se pretpostaviti da im je sidrišna lokacija u Zaboku. Slika prikazuje procijenjenu prostornu distribuciju lokacija kaznenih djela. Drugi je slučaj (slika 2) slučaj serijskog počinitelja kojeg se tereti za pet kaznenih djela razbojništva na području Grada Zagreba. Budući da su počinitelja uhitili policijski službenici Policijske postaje Trešnjevka, može se pretpostaviti da se njegovo boravište nalazi na spomenutu području. Slika prikazuje procijenjenu prostornu distribuciju lokacija kaznenih djela. Treći je slučaj (slika 3) slučaj serijskog počinitelja kojeg se tereti za četiri razbojništva, jedno u Kupinečkom Kraljevcu i tri na području Grada Zagreba. Kako je priveden Županijskom državnom odvjetništvu u Velikoj Gorici, može se procijeniti da je to područje i njegovo boravište. Slika prikazuje procijenjenu prostornu distribuciju lokacija kaznenih djela.



Slika 1: Prostorna distribucija KD-a za prvi slučaj



Slika 2: Prostorna distribucija KD-a za drugi slučaj



Slika 3: Prostorna distribucija KD-a za treći slučaj

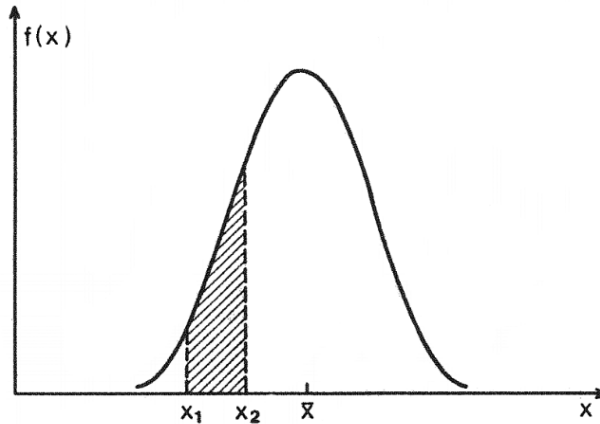
Tradicionalno se razlikuju dvije vrste prostornih obrazaca prema tipu počinitelja: obrazac putnika i obrazac lokalnog počinitelja. Lokalni su počinitelji kategorizirani kao počinitelji čije je boravište ili sidrišna lokacija povezana s lokacijama počinjenja, dok putnik predstavlja serijskog počinitelja koji živi dalje od područja u kojem kriminalno djeluje (Block i Bernasco, 2009). Istraživanja su pokazala da geografski profil putnika ima nisku razinu vjerojatnosti i da putnici nisu uvijek prikladni za uključivanje kada se profil generira (Emmeno, 2016; Canter i Hammond 2007; Öhrn, 2016), a točno definiranje je li neki počinitelj putnik ili nije - može predstavljati izazov za istražitelje tijekom istrage. Paulsen (2007) je ustvrdio kako varijable geografskih i vremenskih prediktora omogućuju predikciju kategorije počinitelja s vrlo visokim stupnjem vjerojatnosti od 81 %. Također je otkrio važnu razliku u geografskim i vremenskim karakteristikama putnika i lokalnih počinitelja. Putnici, čini se, djeluju na značajno manjem području i s grupiranim lokacijama počinjenja.

Lokacije mjesta događaja za tri počinitelja razbojništva na području Grada Zagreba procijenjene su prema parametrima koji su opisani u medijima te se na osnovi njih može zaključiti da bi prvog počinitelja (slika 1) mogli kategorizirati kao putnika. No, u nedostatku vjerodostojnih podataka, uključen je u analizu za potrebe ovoga istraživanja.

U svrhu odabira optimalnih parametara funkcije smanjivanja udaljenosti te odabira optimalnog modela, provedena je kalibracija na podacima triju slučajeva serijskog razbojništva korištenjem Gauss-Markovljeva modela.

4. METODA I POSTUPAK: GAUSS-MARKOVLJEV MODEL OPTIMIZIRANJA FUNKCIJE SMANJIVANJA UDALJENOSTI

Vjerojatnost da neka slučajna varijabla x poprimi vrijednost između x_1 i x_2 definirana je površinom ispod krivulje funkcije gustoće vjerojatnosti (grafikon 2).



Grafikon 2: Funkcija gustoće vjerojatnosti - Gaussova normalna razdioba (Feil, 1989)

Prema Ghilani (2010), funkcija gustoće Gaussove normalne razdiobe definira se kao:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

gdje je $f(x)$ funkcija gustoće vjerojatnosti, e je baza prirodnog logaritma, x je odstupanje, a σ je standardno odstupanje.

Ako za odabrane funkcije smanjivanja udaljenosti potražimo njihove parametre, tako da odstupanja procijenjenih i referentnih vrijednosti imaju najveće vjerojatnosti, dobivamo jednoznačno rješenje (izjednačenje):

Slijedi uvjet izjednačenja

$$\sum pv^2 \rightarrow \min$$

gdje je p matrica težina, a v vektor odstupanja.

Mjera točnosti kojom matematički model opisuje vjerojatnost počinjenja djela smanjivanjem udaljenosti definiranu referentnim vrijednostima dobivenim na temelju riješenih slučajeva, često se iskazuje standardnom devijacijom ili standardnim odstupanjem (s):

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-r} \sum_1^n v_i^2} = \sqrt{\frac{v^t v}{n-r}}$$

– odnosno varijancom (s^2), koja je kvadrat standardne devijacije

$$s^2 = \frac{1}{n-r} \sum_{i=1}^n v_i^2 = \frac{v^t v}{n-r}$$

gdje su v odstupanja procijenjenih od referentnih vrijednosti, n je broj uzoraka, a r je broj nepoznanica.

Standardna devijacija zadržava dimenzije odstupanja, u predmetnome su slučaju to vjerojatnosti počinjenja djela u odnosu prema udaljenosti od sidrišne točke; stoga se zadržava ovaj kriterij za odabir optimalne funkcije smanjivanja udaljenosti.

Optimiziranje funkcije smanjivanja udaljenosti možemo svesti u dvije faze:

1. Odabir optimalnog matematičkog modela;
2. Kalibracija (određivanje parametara) odabranog modela.

Gauss-Markovljevi teoremi određuju uvjete pod kojima je estimator najmanjih kvadrata ujedno i najbolji nepristrani estimator (Larocca, 2012). Gauss-Markovljev model pretpostavlja normalnu razdiobu odstupanja procijenjenih od referentnih vrijednosti, a kao rezultat daje najbolju procjenu parametara zadane funkcije, tako da suma kvadrata odstupanja procijenjenih vrijednosti od referentnih vrijednosti bude minimalna. Kvaliteta navedene procjene može se opisati standardnim odstupanjem ili varijancom. Na temelju ovog kriterija odabire se optimalni matematički model funkcije smanjivanja udaljenosti uz minimalna odstupanja od referentnih vrijednosti.

Prema procijenjenim sidrišnim lokacijama za sva tri počinitelja - distribucija duljina kriminalnih puteva izračunata je u kilometrima i prikazana je u tablici 1.

Tablica 1: Duljine kriminalnih putova

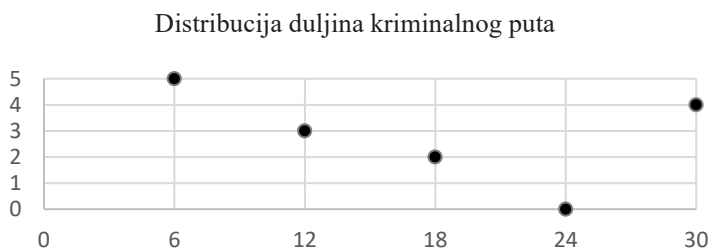
Prvi slučaj	Drugi slučaj	Treći slučaj
1,104 km	6,051 km	16,016 km
24,156 km	0,921 km	10,216 km
25,546 km	1,878 km	12,548 km
26,980 km	3,360 km	11,916 km
29,968 km	3,580 km	

Izračunate duljine podijeljene su u 5 razreda od 0 do 30 kilometara kako bi se mogla izračunati vjerojatnost pojavnosti kaznenog djela ovisno o duljini kriminalnog puta. Distribucija duljina kriminalnih putova podijeljena je u razrede za tri slučaja serijskih razbojnika i prikazana je u grafikonu 3. Izračunata vjerojatnost pojavnosti dana je u tablici 2, iz čega je vidljivo da se najveća vjerojatnost pojavnosti kriminalnog djela pojavljuje u intervalu od 0 do 6 kilometara od počiniteljeva boravišta i pokazuje da bi optimizirani model smanjivanja udaljenosti mogao biti adekvatan prilikom izrade geografskog profila počinitelja na području Grada Zagreba. Kako je ispitivanje provedeno na samo tri slučaja serijskog razbojništva s podacima koji nisu reprezentativni, može se ustvrditi značajan porast vjerojatnosti počinjenja razbojništva na udaljenosti od 24 do 30 kilometara od njegova sidrišta, što je uzrokovano utjecajem kategorije

putnika u ulaznim podacima. Stoga bi kategoriji putnika trebalo pristupiti izdvojeno prilikom ispitivanja modela kalibracije na reprezentativnome uzorku.

Tablica 2: Vjerojatnost pojavnosti kriminalnih djela u odnosu na razrede udaljenosti

Udaljenost - km	Vjerojatnost
0-6	0.36
6-12	0.21
12-18	0.14
18-24	0
24-30	0.29



Grafikon 3: Distribucija duljina kriminalnih putova

Procijenjene udaljenosti i izračunate vjerojatnosti korištene su kao ulazni podaci za određivanje najvjerojatnijih parametara funkcije udaljenosti, kao i njezina optimalnog matematičkog modela.

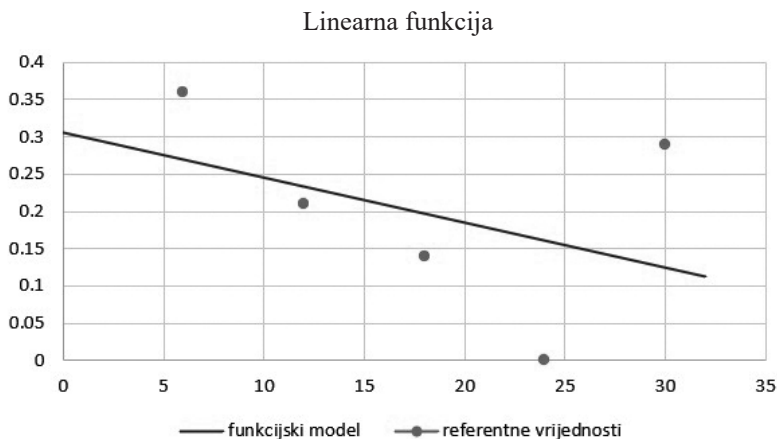
REZULTATI I RASPRAVA

S obzirom na to da je uzorak od tri slučaja serijskog razbojništva malen i stoga nije reprezentativan, autori su se opredijelili za samo dvije distribucije - linearnu i negativno eksponencijalnu, kako bi pokazali hodogram za odabir optimalne funkcije uspoređujući njihove varijance.

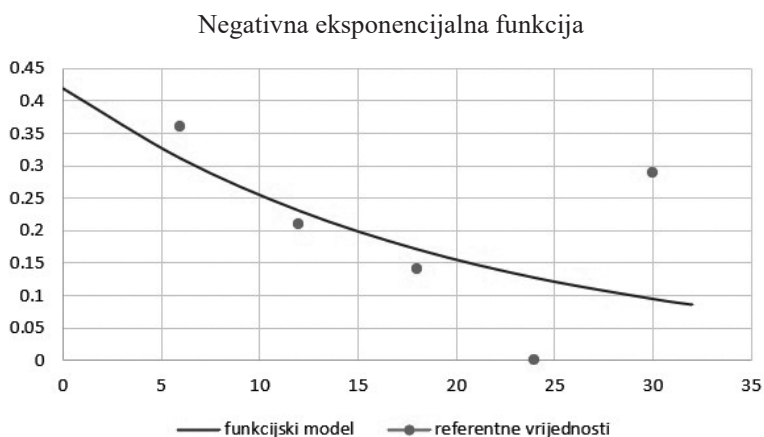
- Linearna funkcija: $f(d)=A+Bd$
- Negativna eksponencijalna funkcija: $f(d)=Ae^{-\beta d}$

Linearna funkcija pokazuje da vjerojatnost počinjenja zločina na nekoj određenoj lokaciji opada konstantnom vrijednosti s udaljenosti od boravišta počinitelja; dok negativna eksponencijalna funkcija također ima najveću vjerojatnost u blizini boravišta te naglo opada s povećanjem udaljenosti dok se ne približi nuli (Levine, 2013).

Na osnovi zadanih ulaznih podataka izračunate su funkcije smanjivanja udaljenosti korištenjem Gauss-Markovljeva modela. Dobivene vrijednosti parametara za linearnu funkciju jesu: $A=0.305$, $B= -0.006$ i $s=0.085$; dok za negativno eksponencijalnu iznose: $A=0.42$, $\beta=0.05$ i $s=0.080$.



Grafikon 4: Izjednačena linearna funkcija



Grafikon 5: Izjednačena negativna eksponencijalna funkcija

Funkcija linearne distribucije (grafikon 4) najjednostavniji je model opadanja vjerojatnosti počinjenja u odnosu prema duljini kriminalnog puta. Određivanje optimalnih parametara ove funkcije primjenom Gauss-Markovljeva modela izravno je (bez iteracija) i nisu potrebne njihove približne vrijednosti. Gradijent opadanja vjerojatnosti neovisan je o udaljenosti, što se manifestira kao ujednačeni intervali smanjivanja vjerojatnosti u odnosu na udaljenost t od vjerojatne sidrišne točke počinitelja.

Negativna eksponencijalna funkcija (grafikon 5) ima veći gradijent opadanja vjerojatnosti počinjenja u odnosu prema duljini kriminalnog puta na kratkim udaljenostima, koji se smanjuje kako se udaljenost povećava. Kada se negativna eksponencijalna funkcija na kratkim udaljenostima zamijeni linearnom, tada nastaje krnja eksponencijalna funkcija. Ovaj se model u radovima navodi kao model koji najbolje opisuje stvarne distribucije vjerojatnosti počinjenja kaznenog djela razbojništva (Levine, 2013).

Usporedbom linearne funkcije i negativne eksponencijalne funkcije s njihovim referentnim vrijednostima na korištenom uzorku može se zaključiti da negativna eksponencijalna funkcija manje odstupa od referentnih vrijednosti u području udaljenosti do 20 km od sidrišta ili boravišta počinitelja. Nakon toga postaje dominantan utjecaj tzv. putnika - te su varijance u oba slučaja u najvećoj mjeri uvjetovane upravo pojavom putnika u testnim podacima. Stoga se kod oba modela varijance bitno ne razlikuju. Ipak, nešto je manja varijanca kod negativne eksponencijalne funkcije i može poslužiti kao kvantitativan kriterij odabira optimalnog funkcijskog modela.

Kalibrirana rutina identificira optimalnu funkciju smanjivanja udaljenosti temeljenu na karakteristikama kriminalnog puta serijskih počinitelja istraživanog područja. Prema Kentu (2003), geografsko profiliranje sastavljeno je iz dva dijela. Prvo je identifikacija optimalne funkcije smanjivanja udaljenosti na temelju karakteristika kriminalnih putova utvrđenih kalibracijom. Drugi dio integrira kalibriranu funkciju smanjivanja udaljenosti unutar procjene kriminalnog puta u svrhu dobivanja lokacije boravišta serijskog počinitelja. Stoga je odabir odgovarajuće funkcije smanjivanja udaljenosti za modeliranje prostorne distribucije lokacija mjesta počinjenja iz kalibriranih podataka važan korak u kreiranju geografskog profila.

Prostorni obrasci i kriminalni putovi mogu se bitno razlikovati unutar jedne države budući da bi svaka nadležnost mogla biti jedinstvena u pogledu obrazaca kriminalnih putova i gustoće naseljenosti, povijesnih obrazaca cesta i fizičke geografije (Santtila i sur., 2008). Različiti tipovi funkcija smanjivanja udaljenosti opisuju različite obrasce i stopu smanjivanja vjerojatnosti za počinjenje zločina kako raste udaljenost od sidrišne točke. Također, u izboru funkcije smanjivanja udaljenosti bitno je odlučiti koji je dio distribucije najvažniji, jer nijedna od njih neće odgovarati svim podacima, nego stupanj predviđanja varira o tipu zločina (Hammond i Youngs, 2011; Levine, 2013).

5. ZAKLJUČAK

Geografsko profiliranje pokazuje se kao koristan alat u kriminalističkom istraživanju za prikazivanje mobilnosti počinitelja i distribuciju prostornih obrazaca u svrhu lociranja područja sidrišne točke počinitelja. Analiziranje i razumijevanje obrazaca kriminaliteta ima značajan potencijal za poboljšanje rada policije, prevenciju kriminaliteta i javnu sigurnost. Porast interesa za geografsko profiliranje pokazuje snagu ekološke kriminologije i ilustrira njezinu vrijednost kao znanosti s multidisciplinarnim pristupom i znanstvenim fokusom na smanjenje kriminaliteta kroz nove tehnike prevencije i detekcije (Rossmo, 2012). Iako je u radu riječ o malome uzorku slučajeva razbojništva upitne pouzdanosti zbog manjka potrebnih podataka kao ozbiljnog ograničenja ovog istraživanja, oni, ipak, mogu poslužiti za demonstraciju primjene Gauss-Markovljeva modela u postupcima kalibracije funkcije smanjivanja udaljenosti i određivanju optimalnog matematičkog modela na temelju standardne devijacije. Ovi rezultati ne mogu poslužiti za cjelovitu i egzaktnu interpretaciju prostornog ponašanja počinitelja, ali mogu prikazati hodogram kalibracije kod primjene većeg reprezentativnog uzorka.

U rješavanju zadataka geografskog profiliranja najčešće se rabe raznolike geostatističke metode, pri čemu je potrebno poznavati njihova svojstva primjene kako bi se ispravno primijenile i dale rezultat prihvatljive razine pouzdanosti. Iako su neposredne prostorne informacije i veze među njima najčešće jasno i jednoznačno definirane, većina kontekstualnih

informacija može se pretpostaviti s većom ili manjom vjerojatnošću, stoga je ključno da se modeli za geografsko profiliranje kalibriraju i ispituju na podacima koji su karakteristični za područje istraživanja. Prilikom generiranja treba uzeti u obzir geografske i druge uvjete koji su karakteristični za područje istrage - poput vremenske komponente kriminalnog događaja i socioekonomskih uvjeta područja za koje se generira profil.

U budućim istraživanjima trebalo bi odrediti prostorne obrasce kretanja počinitelja koji su karakteristični na zagrebačkom području na reprezentativnome uzorku. Na temelju podataka riješenih slučajeva treba odrediti distribuciju učestalosti duljine kriminalnog puta. Tako bi određeni tipični obrazac kretanja počinitelja služio za kalibraciju najčešće korištenih pet matematičkih funkcija koje opisuju distribuciju prostornog kretanja počinitelja. Utvrđeni kalibracijski parametri, ispitani na riješenim slučajevima, uz mogućnost implementacije i drugih parametara (vrijeme, socioekonomski uvjeti i sl.), mogu rezultirati modelom geografskog profiliranja koji će pružiti potencijalno bolju predikciju područja u kojem se očekuje sidrišna točka, odnosno boravište počinitelja.

Iako dobro određen i prostorno prilagođeni geografski profil ne služi kao dokaz u sudskome postupku, on predstavlja vrijedan alat koji pridonosi ekonomičnijoj raspodjeli vremena i resursa policijskih snaga. Također, GIS pruža niz mogućnosti kroz multikriterijske analize i pomaže u razumijevanju prostornih i vremenskih obrazaca kriminaliteta koje je neophodno ustanoviti za bolje shvaćanje ovoga fenomena. Dugoročno gledano, takav pristup može dati informacije ne samo o rasprostranjenosti kriminaliteta, već i o mogućoj prevenciji i predikciji budućih kriminalnih događaja.

LITERATURA

1. Andresen, M.A. (2010). The place of environmental criminology within criminological thought. In M.A. Andresen, P.J. Brantingham, and J.B. Kinney (eds.) *Classics in Environmental Criminology*. Co-published: Burnaby, BC, SFU Publications and Boca Raton, FL, Taylor & Francis, 5-28.
2. Bennell, C., Canter, D. (2002). Linking commercial burglaries by modus operandi: Tests using regression and ROC Analysis. *Science & Justice: Journal of the Forensic Science Society*. 42(3), 153-64.
3. Bernasco, W., Luykx, F. (2003). Effects of Attractiveness, Opportunity, and Accessibility to Burglars on Residential Burglary Rates of Urban Neighborhoods. *Criminology* 41(3), 981-1001.
4. Bernasco, W., Nieuwebeerta, P. (2005). How Do Residential Burglars Select Target Areas? *British Journal of Criminology* 45(3), 296-315.
5. Bernasco, W. (2006). Co-Offending and the Choice of Target Areas in Burglary. *Journal of Investigative Psychology and Offender Profiling* 3(3), 139-155.
6. Bernasco, W., Kooistra, T. (2010). Effects of Residential History on Commercial Robbers' Crime Location Choices. *European Journal of Criminology* 7(4), 251-265.
7. Block, R., Bernasco, W. (2009). Finding a Serial Burglar's Home Using Distance Decay and Conditionl Origin-Destiantion Patterns: A Test of Empirical Bayes Journey-to-Crime Estimation in The Hague, *Journal of Investigative Psychology and Offender Profiling*, 6(3), 187-211.

8. Butković, A., Mrdović, S., Uludag, S., Tanović, A. (2018). Geographic profiling for serial cybercrime investigation, *Digital Investigation*, 28, 176-182.
9. Butorac, K. (2011). Geografija kriminaliteta – kriminološki i kriminalistički diskursi. *Policija i sigurnost*, 20(3), 363-379.
10. Canter, D., Coffey, T., Huntley, M., Missen, C. (2000). Predicting Serial Killers' Home Base Using a Decision Support System. *Journal of Quantitative Criminology*, 16(4), 457-478.
11. Canter, D., Hammond, L. (2007). Prioritizing Burglars: Comparing the Effectiveness of Geographical Profiling Methods, *Police Practice and Research*, 8(4), 371-384.
12. Ceccato, V. (2008). Crime and space: patterns of offences and offenders' paths to crime portrayed by Geographic Information Systems (GIS), In: Kartan och Verkligheten, The Swedish society for anthropology and geography - YMER 2008, Thomas Lunden (red.), 191-208.
13. Emeno, K., Bennell, C., Snook, B., Taylor, P. (2016). Geographic profiling survey: A preliminary examination of geographic profilers views and experiences. *International Journal of Police Science & Management*, 18(1), 3-12.
14. Feil, L. (1989). Teorija pogrešaka i račun izjednačenja - prvi dio. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
15. Ghilani, C.D. (2010). Adjustment computations – Spatial data analysis, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.
16. Hammond, L., Youngs, D. (2011). Decay Functions and Criminal Spatial Processes: Geographical Offender Profiling of Volume Crime. *Journal of Investigative Psychology and Offender Profiling*, 8(2), 90-102.
17. Hesseling, R.B.P. (1992). Using Data on Offender Mobility in Ecological Reserach. *Journal of Quantitative Criminology*, 8(1), 95-112.
18. Kent, J. D. (2003). Using functional distance measures when calibrating journey-to-crime distance decay algorithms. *MNSO Thesis, Department of Geography and Anthropology*, Louisiana State University, Baton Rouge, LA.
19. Kent, J. D. (2009). Essay on the integration of anisotropic landscapes within conteporary geographic profiling models, *A Dissertation, The Department of Geography & Anthropology*, Louisiana State University.
20. Kent, J., Leitner, M. (2009). Utilizing land cover characteristics to enhance journey-to-crimeestimation models. *Crime mapping: a Journal of Research and Practice*, 1(1), 33-54.
21. Koppen, P., Jansen, R. (1998). The road to the robbery: Travel patterns in commercial robberies. *British Journal of Criminology*. 38(2), 230-246.
22. Larocca, R. (2012). Gauss-Markov Theorem. In: *Encyclopedia of Research Design*. . Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc.
23. Levine, N. & Associates (2013). Crimestat IV: A spatial statistics program for the analysis of crime incident locations, version 4.0. *The National Institute of Justice*. <https://nij.ojp.gov/topics/articles/crimestat-spatial-statistics-program-analysis-crime-incident-locations#about>
24. O'Leary, M. (2010). Implementing a Bayesian approach to criminal geographic profiling. *ACM International Conference Proceeding Series*.
25. O'Leary, M. (2011). Modeling criminal distance decay. *Cityscape: A Journal of Policy Development and Research*, 13(3), 161-198.
26. Öhm, M. (2016). Geographic Profiling: A scientific tool or merely a guessing game? Bachelor thesis, *Malmö University*.

27. Paulsen, Derek (2007). Improving Geographic Profiling through Commuter/Marauder Prediction. *Police Practice and Research*. 8(4), 347-357.
28. Rossmo, K. (2000). Geographic profiling. Boca Raton.: *CRC Press*.
29. Rossmo, K. (2012). Recent Developments in Geographic Profiling. *Policing*, 6(2), 144-150.
30. Santtila, P., Laukkanen, M., Zappala, A., Bosco, D. (2008). Distance travelled and offence characteristics in homicide, rape, and robbery against business. *Legal and Criminological Psychology*, 13(2), 345-356.
31. Snook, B., Zito, M., Bennell, C., Taylor, P. J. (2005). On the Complexity and Accuracy of Geographic Profiling strategies, *Journal of Quantitative Criminology*, 21(1), 1-25.
32. Wortley, R., Mazerolle, L. (2008). Environmental criminology and crime analysis: Situating the theory, analytic approach and application. In Wortley, R., Mazerolle, L. (Eds.), *Environmental criminology and crime analysis* (pp. 1-18). London, England: Willan Publishing.

Summary

Ksenija Butorac, Dubravka Maurer, Dubravko Gajski

Distance Decay Function Optimization Model in Relation to the Spatial Patterns of Behavior of the Perpetrator in the Area of the City of Zagreb

Geographic profiling has proven to be a useful tool in determining the possible whereabouts of serial offenders. The basis is the study of the path taken by the perpetrator to commit a crime where the effect of reducing the distance is a well-known fact. This paper describes a model of selecting the optimal distance decay function and determining its parameters so that the function is the best possible estimate of the probability of committing in relation to the length of the criminal path. Complying with the Gauss-Markov model allows for the function to assume the smallest deviations from the reference values obtained on the basis of test data. The test data were collected from available media, and contain a small number of serial cases for which the locations of the perpetrators could be determined and assessed. Although the reliability of test data is questionable, due to unreliable and insufficient sources, they are not used in this paper to model the actual spatial behavior of the perpetrator, but only as an illustration of how to determine the optimal distance decay function and its most probable parameters. For the same reason, two distance decay functions were selected for comparison: linear and negative exponential function. For the Republic of Croatia, we did not find empirically conducted research on the functionality of the model for geographical profiling and its application in practice. Therefore, it would be necessary to determine the parameters of the distance decay function on a representative set of data, obtained from credible sources and thus create a relevant basis for further research on spatial behavior of perpetrators - by introducing additional conditions and more complex mathematical models.

Keywords: geographical profiling, robbery perpetrators, spatial patterns of behavior, criminal path, distance decay effect, calibration.