

MODELE PENTRU ESTIMAREA ACCIDENTELOR DE CIRCULAȚIE RUTIERĂ LA NIVELUL ZONELOR URBANE

Prof. em. dr. ing. Șerban RAICU¹, Conf. dr. ing. Dorinela COSTESCU²,
Ș.l. dr. ing. Mircea Augustin ROȘCA²

¹ Academia de Științe Tehnice din România, ² Universitatea „Politehnica” din București, România

REZUMAT. Impactul riscului asociat circulației rutiere este rareori inclus în evaluarea proiectelor de creștere a fluenței traficului urban, deși costurile sociale ale accidentelor sunt apreciate ca fiind foarte mari. În ultima vreme însă, tot mai frecvent riscul asociat traficului rutier urban este inclus ca un criteriu suplimentar în selecția celor mai bune variante de planificare urbană, cu scopul de a minimiza a-priori numărul accidentelor. Cu scopul de a dezvolta un instrument util în planificarea urbană, care să permită analiza influențelor diferitelor configurații urbane asupra performanțelor de siguranță a circulației rutiere, lucrarea prezintă un model de estimare a accidentelor de circulație la nivelul zonelor urbane din București. Pe baza modelului spațiului urban și al modelului rețelei rutiere, cu ajutorul procedurilor de analiză spațială sunt evaluate influențele funcțiilor urbane asupra performanțelor de siguranță a circulației rutiere și este definit și calibrat un model de estimare a accidentelor de circulație.

Cuvinte cheie: siguranță rutieră; accidente de circulație rutieră; zone de analiză a traficului; modelare; analiză spațială.

ABSTRACT. Rarely the impact of the traffic associated risk is included in the evaluation of the urban traffic flow projects, even though the social costs of road crashes are quantified as very high. Recently, however, more frequently the risk associated with urban traffic has been included as an additional criterion in selection of the best urban planning alternative in order to a-priori minimize the crash number. Aiming to develop a useful tool in urban planning for analysis of the influences of different urban configurations on the road safety performances, the paper presents a crash estimate model at the urban zone level for Bucharest. Based on the urban area model and the road network model and using spatial analysis procedures, the influences of the urban functions on the road traffic safety performances are evaluated and a crash estimate model is defined and calibrated.

Keywords: road safety; road crashes; traffic analysis zones; modelling; spatial analysis.

1. INTRODUCERE

În ansamblul preocupărilor pentru reducerea efectelor negative ale traficului rutier urban, o atenție deosebită se acordă - atât la nivel local, cât și global - problemelor care vizează siguranța circulației rutiere [5]. Sub aspect fenomenologic, spațiul urban în care apare riscul de producere a accidentelor de circulație, este un sistem spațial complex. Clasele de intrări în sistem, definiții pentru situația de risc asociat traficului, se pot clasifica în patru categorii [16]: obiecte (entități mobile - vehicule, pietoni etc. și entități funcționale ale infrastructurii de trafic), actori (autorități locale, administratori ai infrastructurilor de trafic etc.), structuri spațiale și structuri temporale. În ultimele două decenii, toate aceste clase au suferit modificări importante în București, zona de studiu la care se referă această lucrare. Schimbările radicale ale vieții socio-economice, modificările majore ale structurii sectorului comercial - cauzate de dezvoltarea marilor centre comerciale,

noi concentrări ale zonelor rezidențiale și de birouri, amplasate în aria urbană sau la perimetrul acesteia, modificările structurale și spațiale ale punctelor de interes (pentru muncă, educație, petrecerea timpului liber) au determinat intensificarea și creșterea eterogenității traficului, adică expunerea la risc. Identificarea zonelor urbane vulnerabile la accidente de circulație, înțelegerea cauzelor accidentelor, identificarea unor direcții de acțiune pentru reducerea riscului de producere a accidentelor și aplicarea lor încă din etapa de planificare urbană pot conduce la ameliorarea siguranței circulației rutiere [5, 7, 14, 15].

În acest cadru a fost inițiat proiectul „Cercetări pentru estimarea și creșterea performanțelor de siguranță intrinsecă a rețelelor traficului urban” (SAFENET), care include studii asupra siguranței circulației specifice spațiului urban, particularizate pentru orașul București [20]. Subordonat obiectivelor proiectului de identificare a unui set de soluții pentru scăderea riscului asociat circulației rutiere în București [2, 20], scopul studiului prezentat în

MODELE PENTRU ESTIMAREA ACCIDENTELOR DE CIRCULAȚIE RUTIERĂ

această lucrare constă în dezvoltarea unui model de estimare a accidentelor în raport cu funcțiile zonelor urbane.

Diferite variante de modele pentru estimarea numărului de accidente de circulație sunt prezentate în literatură [9], în special în ultimele două decenii. Cele mai multe modele au fost propuse pentru estimarea numărului de accidente pentru diferite tipuri de intersecții [9, 10, 12] și pentru segmente omogene ale arterelor rutiere [6]. Nu atât de numeroase sunt modelele dezvoltate pentru determinarea influenței caracteristicilor zonelor urbane asupra producerii accidentelor de circulație. Există modele dezvoltate pentru identificarea relațiilor dintre producerea accidentelor de circulație și structura rețelei rutiere [11], funcțiile urbane [5, 15], mediul complex al elementelor rețelei rutiere [4]. În această lucrare este prezentat un model pentru estimarea accidentelor de circulație în raport cu atributele zonelor urbane din București.

Inițial, analiza s-a realizat la nivelul împărțirii orașului București în raport cu funcțiile urbane ale zonelor. Din cauza indicatorilor statistici necorespunzători pentru definirea relațiilor de independență între variabile, a fost necesară modificarea nivelului de analiză. Astfel, modelul propus este definit pentru atributele la nivelul zonelor de analiză a traficului. În continuare, sunt descrise procedurile parcurse pentru prelucrarea datelor și etapele urmate pentru definirea modelului de estimare a accidentelor.

2. MODELAREA SPAȚIULUI URBAN ÎN VEDEREA ESTIMĂRII ACCIDENTELOR DE CIRCULAȚIE

Pentru identificarea tipologiei și caracteristicilor zonelor cu premise specifice de risc la accidente, s-au prelucrat următoarele seturi de date:

- Baza de date geografice a rețelei rutiere din București, care include atribute pentru caracterizarea intersecțiilor și arterelor [2, 3, 17];
- Statistica accidentelor de circulație înregistrate în București în perioada 2008 – 2014 (fig. 2.1); datele disponibile, pentru un total de 1769 accidente, includ înregistrări ale evenimentelor de circulație grave, care au implicat persoane rănite, decese și/sau pagube materiale semnificative. Datele au fost prelucrate cu ajutorul procedurilor disponibile în sistemele informatice geografice (GIS – *Geographic Information System*); rezultatele prezentate în această lucrare au fost obținute cu pachetul de programe ArcGIS. În urma prelucrărilor [2, 16, 21], a rezultat baza de date geografice cu alocarea

accidentelor pe elementele rețelei rutiere (fig. 2.2). Seturile de date obținute au fost utilizate pentru determinarea categoriilor de elemente ale rețelei rutiere (intersecții și artere) pe care s-au înregistrat cele două tipuri de accidente: vehicul–vehicul, vehicul–pieton. Eșantioanele seturilor de date clasificate în funcție de tipul accidentelor au fost însă prea mici [8] pentru a permite definirea și calibrarea unor modele de estimare specifice, pe categorii. Ca urmare, prelucrările pentru definirea și calibrarea modelului (prezentate în continuare) s-au realizat pentru mulțimea agregată a înregistrărilor asupra accidentelor (indiferent de tipul lor), pentru întreaga perioadă considerată (2008 – 2014).

- Baza de date a zonelor urbane delimitate în raport cu funcțiile lor; datele disponibile, pentru aria orașului București (228 km², cu aproximativ 1.890.000 locuitori), includ 9675 zone definite pentru 12 funcții urbane (tab. 2.1).

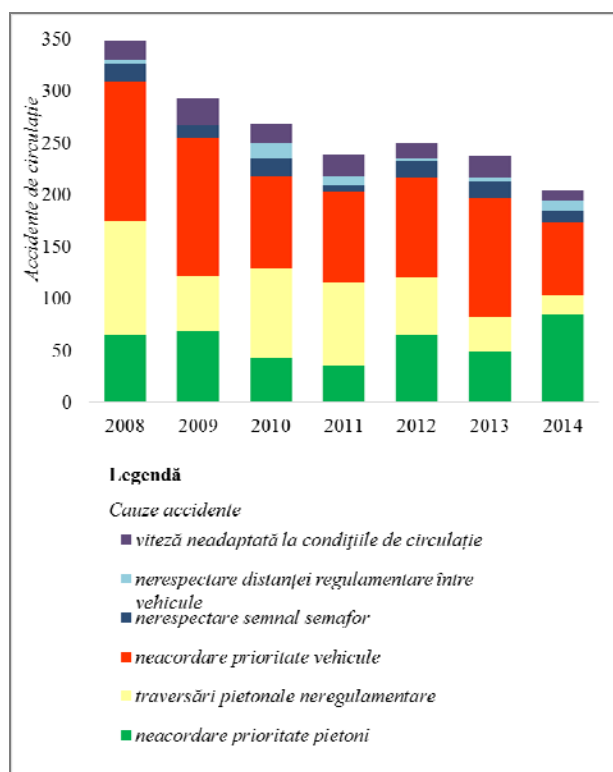


Fig. 2.1. Situația accidentelor de circulație grave înregistrate în București în perioada 2008 - 2014.

Deoarece scopul studiului este de a determina dependența dintre atributele zonelor urbane și numărul accidentelor de circulație, am eliminat din setul de date zonele ocupate de infrastructura de trafic și am alocat accidentele zonelor urbane (cu alte funcții decât cele de circulație) adiacente elementelor rețelei rutiere pe care acestea au fost înregistrate. După acest pas, au fost selectate 7650 zone pentru continuarea analizei.

SOLUȚII PENTRU UN ORAȘ INTELIGENT

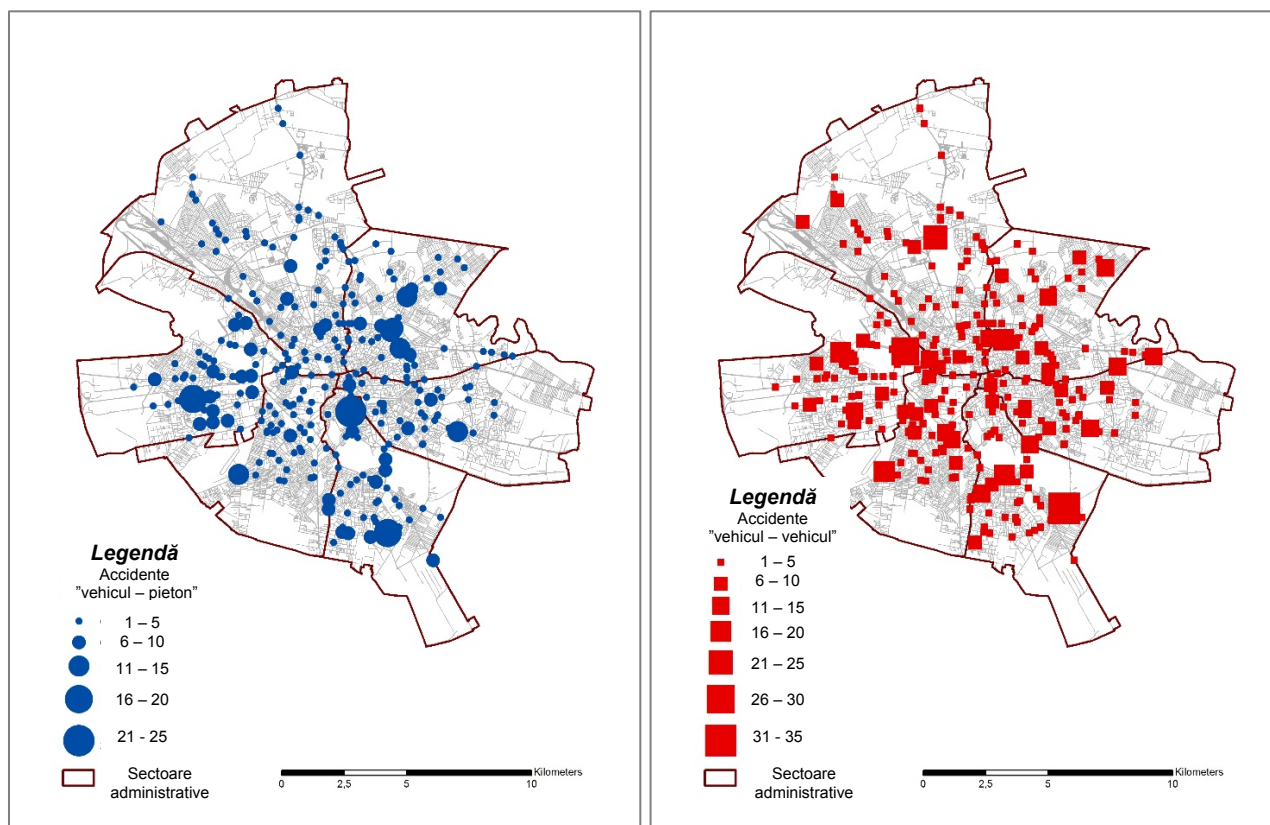


Fig. 2.2. Repartizarea spațială a accidentelor de circulație înregistrate în București (valori pentru perioada 2008 – 2014, cumulate pe elementele rețelei rutiere).

Tabelul 2.1. Clasificarea zonelor urbane

| <i>i</i> | <i>Codificare</i> | <i>Descriere zonă</i> |
|----------|-------------------|---|
| 1 | ZDC | Zone cu construcții înalte, în ansambluri cu funcționalități multiple (preponderant rezidențiale, dar și comerciale, pentru birouri), cu coeficient ridicat de utilizare a terenului ("zone dens construite") |
| 2 | ZSC | Zone cu construcții cu număr redus de niveluri (în special cu funcții rezidențiale), cu coeficient de utilizare a terenului redus ("zone slab construite") |
| 3 | ADM | Zone cu funcții administrative, destinate instituțiilor guvernamentale și administrative naționale și locale |
| 4 | COM | Zone cu funcții comerciale: ansambluri comerciale, centre comerciale, hipermarketuri |
| 5 | IT | Infrastructuri de trafic: zone destinate circulației (străzi, piețe) și parcărilor, zone ocupate pentru operarea mijloacelor de transport public (depouri, autobaze etc.) |
| 6 | TTP | Terminale de transport de persoane: arii ocupate de aeroporturi, stații de cale ferată pentru călători, autogări pentru transport regional și național |
| 7 | IND | Zone industriale, ocupate de unități cu funcționalități de producție, platforme logistice, terminale de transport de mărfuri |
| 8 | EDU | Zone cu funcții de educație: arii ocupate de universități, școli, grădinițe, cluburi școlare |
| 9 | CU | Zone cu funcții culturale: muzee, teatre, institute culturale |
| 10 | PRC | Zone cu parcuri, zone de agrement, locuri de joacă |
| 11 | ST | Arii ocupate de stadioane și facilități adiacente acestora |
| 12 | ZV | Zone verzi: păduri, spații verzi, grădini, sere |

Rezultatele alocării accidentelor zonelor urbane (fig. 2.3) arată ca un procent semnificativ de accidente (82 %) s-au înregistrat în zone dens construite (fapt previzibil, având în vedere structura spațiului construit din București și procentul de aproximativ 40% pe care aceste zone îl ocupă în aria de studiu). La diferență mare, următoarele categorii de zone din punct de vedere al accidentelor înregistrate sunt: zonele de

agrement (7%), zonele industriale (5%), zonele cu funcțiuni administrative și zonele comerciale (fiecare cu câte 2%), zonele cu coeficienți reduși de utilizare a terenului și zonele destinate unităților de educație (cu câte 1%).

Funcțiile urbane ale fiecărei zone influențează direct fluxurile de trafic generate și atrase. De asemenea, au efecte asupra modului de amenajare și a

MODELE PENTRU ESTIMAREA ACCIDENTELOR DE CIRCULAȚIE RUTIERĂ

funcțiilor zonelor adiacente. De aceea, înainte de a analiza influențele atributelor zonelor urbane asupra numărului de accidente, este necesar să se verifice corelația spațială a distribuției accidentelor în aria de studiu. Pentru această verificare s-a utilizat coeficientul *Moran I* [1, 13] calculat în funcție de numărul accidentelor alocate în fiecare zonă. S-a obținut valoarea 0,39 pentru coeficientul *Moran I* cu un scor z de 264, valori care indică o repartizare concentrată a punctelor în care s-au înregistrat accidente și relații spațiale între acestea și zonele adiacente. În concluzie, analiza influenței atributelor spațiale asupra accidentelor la acest nivel de zonificare nu este adecvată și trebuie ales alt nivel de analiză.

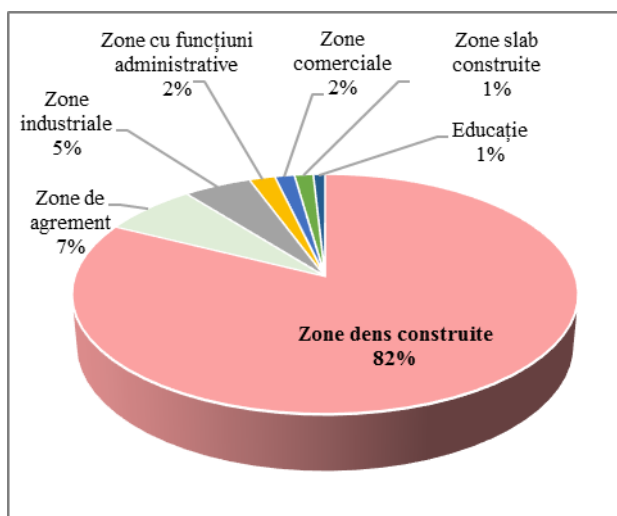


Fig. 2.3. Ponderele accidentelor de circulație, în raport cu tipul funcțiilor zonelor urbane în care au fost înregistrate.

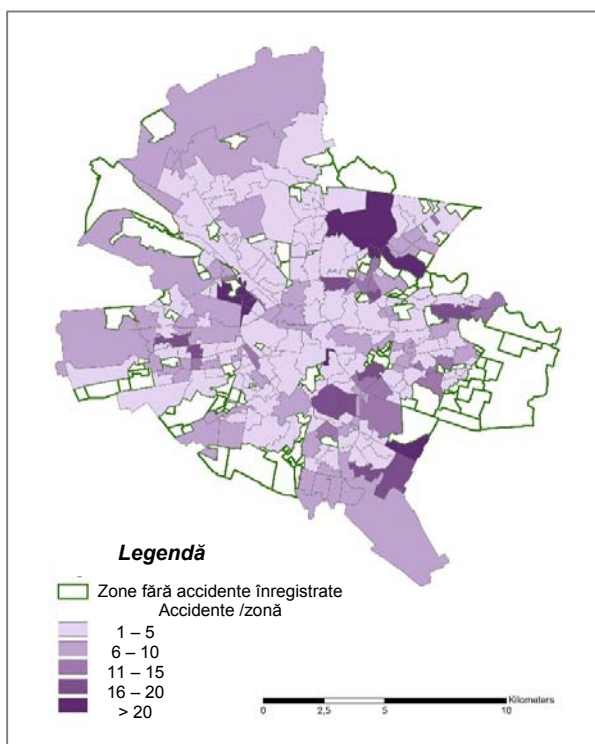


Fig. 2.4. Alocarea accidentelor de circulație zonelor de analiză.

S-a decis continuarea studiului pentru cele 366 zone de analiză a traficului (ZAT) definite în planul de mobilitate urbană durabilă pentru București – Ilfov [19].

S-au parcurs aceleași proceduri descrise anterior, de alocare a accidentelor zonelor de analiză (fig. 2.4) și apoi s-a verificat corelația spațială a distribuției accidentelor la acest nivel de zonificare. Valorile 0,016 pentru coeficientul *Moran I* cu scorul z de 0,74 și 0,51 pentru coeficientul p indică o distribuție aleatoare a accidentelor pe zone și faptul că accidente dintr-o zonă nu sunt influențate de zonele adiacente. Ca urmare, seturile de date rezultate sunt potrivite pentru continuarea analizei asupra dependențelor dintre atributele spațiale ale zonelor urbane și numărul de accidente.

3. ESTIMAREA NUMĂRULUI DE ACCIDENTE DE CIRCULAȚIE LA NIVELUL ZONELOR URBANE

Pentru a obține valorile variabilelor care caracterizează zonele de analiză (ZA), necesare în definirea modelului de estimare a numărului de accidente, s-au aplicat proceduri de analiză spațială GIS [18] seturilor de date pentru ZAT (completat cu distribuția spațială a accidentelor), modelul rețelei de transport urban, zonele urbane funcționale (fig. 3.1).

Rezultatele obținute sunt sintetizate în tabelul 3.1 și au constituit baza testelor statistice pentru evaluarea corelațiilor dintre variabilele caracteristice zonelor și numărul de accidente. Pentru a avea un eșantion satisfăcător de date, înregistrările asupra accidentelor de circulație disponibile pentru perioada 2008 – 2014 s-au cumulat la nivelul ZA (tab. 3.1). Chiar și în aceste condiții, 101 zone (ocupând aproximativ 24,5% din aria de studiu) dintre cele 366 considerate, au avut valori nule pentru numărul de accidente înregistrate (fig. 2.4), reprezentând o dificultate în definirea și calibrarea modelului.

În urma a numeroase teste statistice aplicate diferitelor seturi de variabile aparținând mulțimii $\{Y_i | i=1..19\}$ (tab. 3.1), pe baza valorilor rezultate pentru coeficientul de corelație R^2 , coeficientul de corelație ajustat, criterial informației Akaike *AICC* și factorul de modificare a dispersiei *VIF* (*variance inflation factor*) [1, 13], s-a determinat mulțimea de variabile cu influențe semnificative asupra accidentelor: $\{\rho_z, S_{ZDC}, \rho_{IT}, S_{IND}, S_{COM}\}$. Deși 2% dintre accidente au fost înregistrate în zone cu funcții administrative, datele disponibile nu au permis stabilirea unei corelații între caracteristicile acestor zone și producerea accidentelor.

SOLUȚII PENTRU UN ORAȘ INTELIGENT

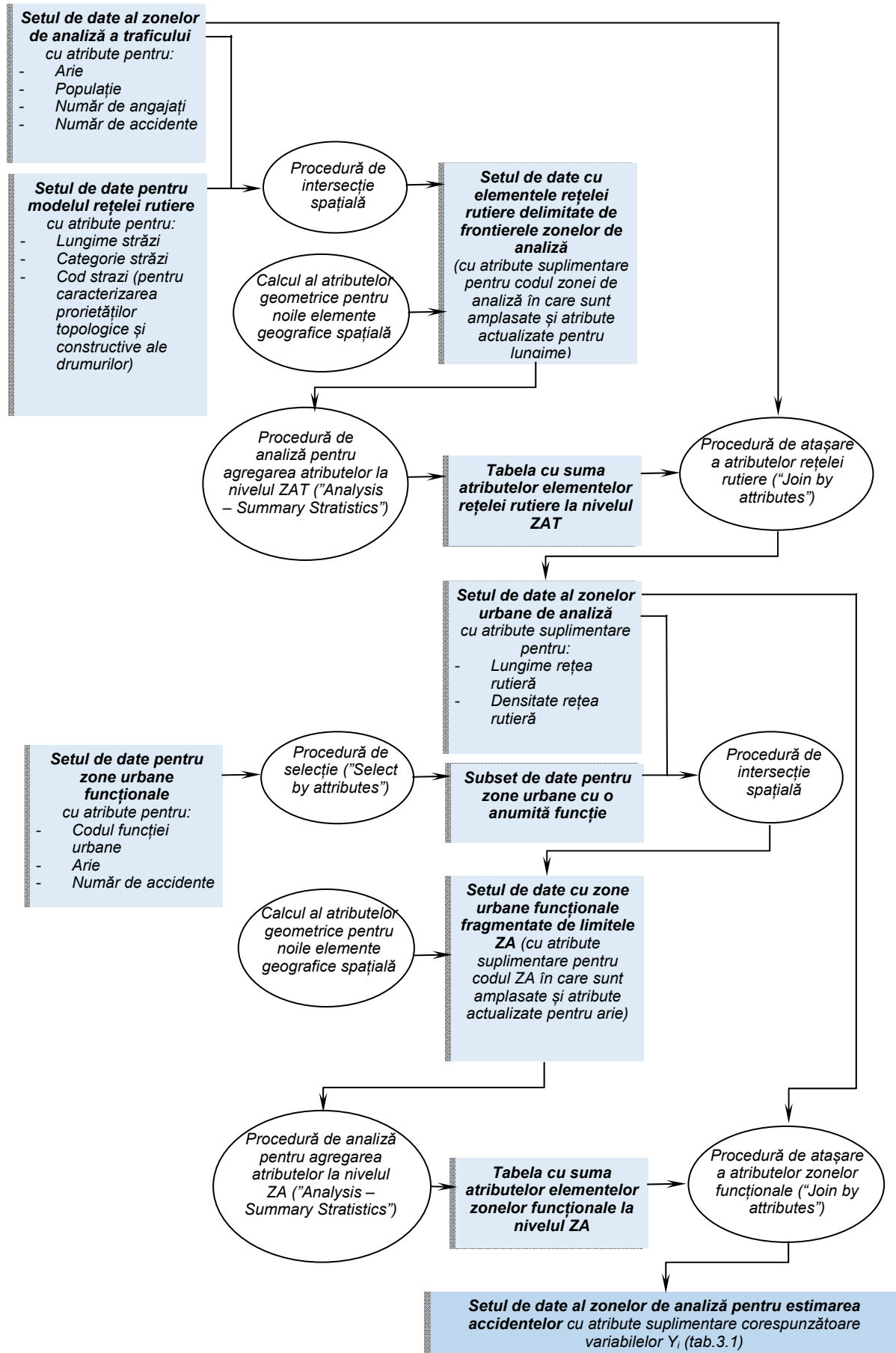


Fig. 3.1. Schema bloc a modului pentru obținerea datelor necesare definirii și calibrării modelului de estimare a accidentelor.

MODELE PENTRU ESTIMAREA ACCIDENTELOR DE CIRCULAȚIE RUTIERĂ

Tabelul 3.1. Caracteristicile zonelor urbane utilizate în estimarea numărului de accidente

| <i>i</i> | Variabila Y_i | Descriere | Numărul zonelor de analiză N_z | Medie | Valoare minimă | Valoare maximă | Abatere standard |
|----------|-----------------|--|----------------------------------|-------|----------------|----------------|------------------|
| 1 | S_z | Arie [km ²] | 366 | 0,65 | 0,01 | 19,50 | 1,43 |
| 2 | P_z | Populație [loc.] | 366 | 5148 | 0 | 24190 | 5690 |
| 3 | ρ_z | Densitatea populației [loc./km ²] | 366 | 16632 | 0 | 99095 | 19183 |
| 4 | P_{Az} | Număr angajați [loc.] | 366 | 2442 | 0 | 11960 | 2768 |
| 5 | ρ_{Az} | Densitatea numărului de angajați [loc./km ²] | 366 | 7926 | 0 | 41078 | 9283 |
| 6 | L_R | Lungimea rețelei rutiere (incluzând toate categoriile de străzi) [km] | 366 | 6,7 | 0 | 70,0 | 7,7 |
| 7 | ρ_z | Densitatea rețelei rutiere [km/km ²] | 366 | 14,5 | 0 | 31,5 | 6,1 |
| 8 | S_{IT} | Aria infrastructurii traficului [km ²] | 366 | 0,06 | 0 | 0,98 | 0,09 |
| 9 | ρ_{IT} | Densitatea infrastructurii traficului [km ² /km ²] | 366 | 0,12 | 0 | 0,38 | 0,06 |
| 10 | S_{ZDC} | Aria zonelor dens construite [km ²] | 366 | 0,22 | 0 | 1,86 | 0,24 |
| 11 | ρ_{ZDC} | Densitatea zonelor dens construite [km ² /km ²] | 366 | 0,53 | 0 | 0,91 | 0,27 |
| 12 | S_{PRC} | Aria zonelor de agrement [km ²] | 366 | 0,08 | 0 | 2,67 | 0,26 |
| 13 | ρ_{PRC} | Densitatea zonelor de agrement [km ² /km ²] | 366 | 0,27 | 0 | 12,07 | 1,09 |
| 14 | S_{IND} | Aria zonelor industriale [km ²] | 366 | 0,20 | 0 | 6,62 | 0,55 |
| 15 | ρ_{IND} | Densitatea zonelor industriale [km ² /km ²] | 366 | 0,87 | 0 | 85,95 | 4,74 |
| 16 | S_{COM} | Aria zonelor comerciale [km ²] | 366 | 0,02 | 0 | 0,59 | 0,08 |
| 17 | ρ_{COM} | Densitatea zonelor comerciale [km ² /km ²] | 366 | 0,06 | 0 | 2,50 | 0,25 |
| 18 | S_{ADM} | Aria zonelor cu funcții administrative și guvernamentale [km ²] | 366 | 0,05 | 0 | 1,10 | 0,18 |
| 19 | P_{ADM} | Densitatea zonelor cu funcții administrative și guvernamentale [km ² /km ²] | 366 | 0,31 | 0 | 17,85 | 1,61 |
| D_v | A | Accidente/7 ani | 366 | 4,83 | 0 | 34 | 5,77 |

În continuare, au fost utilizate succesiv instrumentele GIS de regresie spațială [13] pentru calibrarea modelului, până când s-au obținut relația:

$$\hat{A}(j) = 3,87 \cdot \rho_{z,j}^{0,81} \cdot S_{ZDC,j}^{0,87} \cdot \rho_{IT,j} \cdot e^{0,07 \cdot S_{IND,j} + 0,03 \cdot S_{COM,j}} \text{ accidente/7 ani} \quad (3.1)$$

sau

$$\hat{A}(j) = 0,552 \cdot \rho_{z,j}^{0,81} \cdot S_{ZDC,j}^{0,87} \cdot \rho_{IT,j} \cdot e^{0,07 \cdot S_{IND,j} + 0,03 \cdot S_{COM,j}} \text{ accidente/an} \quad (3.2)$$

pentru estimarea numărului de accidente \hat{A} pentru zona j , cu $j = 1..N_z$.

Aplicând relația (3.1), au rezultat valorile 0,56 pentru coeficientul de corelație R^2 și 0,51 pentru coeficientul de corelație ajustat. Deși aceste valori pot părea mici, ele sunt totuși considerate satis-

făcătoare în cazul estimării accidentelor de circulație [11, 15], ținând seama de complexitatea factorilor care pot conduce la producerea unui accident de circulație și de faptul că aceste modele țin seama doar de proprietățile intrinseci ale elementelor rețelei rutiere și ale spațiului urban. Această concluzie este susținută și de valorile erorilor reziduale rezultate în urma aplicării relației (3.1) pentru cele 366 de zone. Pentru aproximativ 75% din aria de studiu au rezultat erori reziduale mai mici de 1,5.

O calibrare mai bună a modelului, și implicit rezultate mai bune pentru estimarea accidentelor de circulație la nivelul zonelor urbane, ar putea fi obținută prin utilizarea unor serii mai ample de date, pe perioade mai îndelungate (obținute prin continuarea înregistrărilor accidentelor, cu atribute mai detaliate asupra producerii lor și prin constituirea unor baze de date mai complexe asupra activităților socio-economice din zonele urbane).

4. CONCLUZII

✓ Soluțiile pentru asigurarea nevoilor de mobilitate, dependente de mărimea, forma și structura aglomerației urbane sunt potențial responsabile de mărimea riscului asociat circulației. Raportate la exigențele dezvoltării durabile, aceste soluții trebuie să armonizeze nevoile de accesibilitate ale locuitorilor cu cerințele de protecție a mediului natural și antropoc și cu cele de calitate a locuirii, care include și nevoia imperioasă de reducere a riscului accidentelor de circulație.

✓ Spațiile urbane sunt sediul mobilității urbane, cu diferitele sale forme de deplasare, motorizate și nemotorizate, caracterizate de diverse intensități ale consumului de teren, tipuri de impact ambiental și niveluri de siguranță. Pentru a identifica soluții adecvate de ameliorare a siguranței circulației, este necesară identificarea atributelor funcțiilor urbane în zonele cu performanțe reduse ale siguranței circulației.

✓ Funcțiile urbane (rezidențiale, comerciale, industriale, afaceri, utilizări mixte etc.) ale fiecărei zone determină mărimea și structura fluxurilor generate și atrase. Aplicarea unor noi măsuri de planificare urbană influențează direct activitățile sociale și economice și implicit fluxurile de trafic și riscul asociat lor. Modelele de estimare a accidentelor de circulație constituie instrumente utile în identificarea corelațiilor dintre caracteristicile zonelor urbane și riscul de producere a accidentelor. În etapa de planificare urbană, aceste instrumente, pe lângă studiile de trafic necesare, permit estimarea riscului asociat traficului și includerea lui ca un criteriu suplimentar în analiza diferitelor variante de dezvoltare și structurare a spațiului urban.

✓ Studiul prezentat în această lucrare pentru dezvoltarea unui model de estimare a accidentelor la nivelul zonelor urbane din București constituie un pas în realizarea unor astfel de instrumente pentru evaluarea riscului asociat traficului și pentru identificarea măsurilor de creștere a performanțelor de siguranță încă din etapa de planificare (înainte de producerea accidentelor și consolidarea unor puncte negre, care să atragă atenția asupra necesității aplicării unor măsuri de ameliorare a siguranței circulației rutiere).

Această lucrare include cercetări realizate în cadrul proiectului „Cercetări pentru estimarea și creșterea performanțelor de siguranță intrinsecă a rețelelor traficului urban”, PN-II-PT-PCCA-2011-3.2-1439, finanțat prin Programul Parteneriate în domenii prioritare – PN II, derulat cu sprijinul ANCS, CNDI – UEFISCDI, contract nr. 193/2012.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Cameron, A. C., Trivedi, P. K., *Regression analysis of count data*, University Press, 1998, Cambridge, UK.
- [2] Costescu, D., Raicu, Ș., *Evaluarea performanțelor de siguranță a elementelor rețelei rutiere urbane*, Buletinul AGIR nr. 2, pag. 120-126, 2014, București, România.
- [3] Costescu, D., Roșca, M. A., *Analysis of urban areas with low road safety performances*, Mechanics. Transport. Communications, Vol. 13, issue 3/1, p. II.8 – II.13, 2015, Sofia, Bulgaria.
- [4] Fernandes, A., Neves, J., *An approach to accidents modeling based on compounds road environments*, Accident Analysis and Prevention, Vol. 53, pag. 39-45, 2013.
- [5] Fleury, D. (Coord.), *Projets urbains de cohérence fonctions/réseaux*, PREDIT Groupe Opérationnel N°2 : Qualité des systèmes de transport. 08 MT S 027 et 08 MT S 028, IFSTTAR, 2011, France.
- [6] Hauer, E., *Overdispersion in modelling accidents on road sections and in Empirical Bayes estimation*, Accident Analysis and Prevention, Vol. 33 (6), pag. 799–808, 2001.
- [7] Ladron de Guevara, F., Washington, S.P., Oh, J., *Forecasting Crashes at the Planning Level: Simultaneous Negative Binomial Crash Model Applied in Tucson, Arizona*, Transportation Research Record, Vol. 1897, pag. 191–200, 2004.
- [8] Lord, D., *Modeling motor vehicle crashes using Poisson-gamma models: examining the effects of low sample mean values and small sample size on the Estimation of the fixed dispersion parameter*, Accident Analysis and Prevention, Vol. 38 (4), pag. 751–766, 2006.
- [9] Lord, D., Mannering, F., *The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives*, Transportation Research Part A, Vol. 44, pag. 291–305, 2010. Lord, D. & Persaud, B.N. Estimating the safety performance of urban road transportation networks. Accident Analysis and Prevention. 2004. Vol. 36 (4). P. 609–620.
- [10] Lord, D., Persaud, B., *Accident Prediction Models With and Without Trend: Application of the Generalized Estimating Equations Procedure*, Transportation Research Record, Vol. 1717, pag. 102 – 108, 2000.
- [11] Marshall, W. E., Garrick, N., *Does Street Network Design Affect Traffic Safety?* Accident Analysis and Prevention, Vol. 43 (3), pag. 769-781, 2011.
- [12] Miaou, S.P., Lord, D., *Modeling Traffic Crash-Flow Relationships for Intersections: Dispersion Parameter, Functional Form, and Bayes Versus Empirical Bayes Methods*, Transportation Research Record, Vol. 1840, pag. 31-40, 2003.
- [13] Mitchell, A., *The ESRI Guide to GIS Analysis*, Vol. 2, ESRI Press, USA.
- [14] Negulescu, M. H., *Măsuri pentru creșterea siguranței deplasărilor pe rețeaua rutieră majoră și secundară a orașelor*, Lucrările conferinței naționale TRANSLU'16 "Interacțiuni dintre transporturi și dezvoltarea regională", 24 iunie 2016, Universitatea Politehnica din București, pag. 11-18, 2016, București, România.
- [15] Pulugurtha, S.S., Duddu, V. D., Kotagiri, Y., *Traffic analysis zone level crash estimation models based on land use characteristics*, Accident Analysis and Prevention, Vol. 50, pag. 678– 687, 2013.
- [16] Raicu, Ș., Costescu, D., *On estimate of risk associated with urban road traffic*, în Mastorakis, N. et al. (Eds.), "Advances in Automatic Control. Proceedings of the 16th International Conference on Automatic Control, Modelling & Simulation (ACMOS 2014), Brașov, Romania, June 26-28", Recent Advances in Electrical Engineering Series – 35, pag. 92-97, 2014, WSEAS Press.

MODELE PENTRU ESTIMAREA ACCIDENTELOR DE CIRCULAȚIE RUTIERĂ

- [17] Raicu, Ș., Costescu, D., Burciu, Ș., *Evaluation of road safety performances in urban areas*, în C.A. Brebbia (Ed.), "Urban Transport XX. The Built Environment", Vol. 38, pag. 447 – 458, WIT Press, Southampton, Boston.
- [18] *** ArcGIS Resouces, ArcGIS Help 10.1,
- [19] http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/What_is_geoprocessing/002s00000001000000/
- [20] *** *Planul de mobilitate urbană durabilă 2016-2030. Regiunea București – Ilfov*, Rom Engineering Ltd., AVENSA Consulting SRL, 2016, București, <http://pmud.ro/>.
- [21] *** SAFENET, *Raportul etapei I a proiectului "Cercetări pentru estimarea și creșterea performanțelor de siguranță intrinsecă a rețelelor traficului urban" - "Studiul rețelei rutiere urbane și elaborarea modelului pentru estimarea funcțiilor de siguranță intrinsecă a rețelei rutiere"*, Contract 193/2012, ANCS, CNDI – UEFISCDI, Universitatea Politehnica din București, 2012, București, România,
- [22] <http://www.safenet.pub.ro/content/etapaI.html>.
- [23] *** SAFENET, *Raportul etapei a II-a a proiectului "Cercetări pentru estimarea și creșterea performanțelor de siguranță intrinsecă a rețelelor traficului urban" – "Soluții pentru creșterea performanțelor de siguranță intrinsecă a rețelei rutiere urbane a municipiului București"*, Contract 193/2012, ANCS, CNDI – UEFISCDI, Universitatea Politehnica din București, 2013, București, România,
- [24] <http://www.safenet.pub.ro/content/etapaII.html>.