

# FIABILITATEA - COMPONENTĂ A REZILIENȚEI REȚELELOR DE TRAFIC

Student doctorand Cristian ZANFIR <sup>1</sup>, Student doctorand Mihai Flavius GRIGORE <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Universitatea Națională de Știință și Tehnologie „Politehnica București”,  
București, România

**REZUMAT.** Fiabilitatea rețelelor de trafic reflectă capacitatea acestora de a menține un anumit nivel al eficacității lor sau de a păstra valorile anumitor parametri ori indicatori funcționali între anumite limite specificate. De asemenea, în vederea analizei eficiente a fiabilității rețelelor de trafic sunt necesare modele care să analizeze în mod explicit schimbările asupra structurii și proprietăților acestora. Prin urmare, în raport cu gradul de importanță alocat studiului în ansamblul literaturii se diferențiază trei interpretări principale ale fiabilității rețelelor de trafic, sub aspectul fiabilității conexității, fiabilității capacității și fiabilității duratei de călătorie.

**Cuvinte cheie:** rețele, fiabilitate, eficacitate, limite, schimbări, proprietăți, conexitate, capacitate, durată.

**ABSTRACT.** The reliability of traffic networks reflects their ability to maintain a certain level of their effectiveness or to keep the values of certain parameters or functional indicators between certain specified limits. Also, in order to effectively analyze the reliability of traffic networks, models are needed that explicitly analyze changes in their structure and properties. Therefore, in relation to the degree of importance assigned to the study in the literature as a whole, three main approaches to the reliability of traffic networks are differentiated, under the aspect of connection reliability, capacity reliability and travel time reliability.

**Keywords:** networks, reliability, effectiveness, limits, changes, properties, connection, capacity, travel time.

## 1. CONSIDERAȚII GENERALE

Reziliența, termen provenit din industria metalurgică, unde reflectă comportarea materialelor la solicitările prin șoc („rezistența la șoc”), se extinde și la nivelul altor arii de studiu înglobând nu doar răspunsul la traumă, ci și capacitatea de auto-protecție. Din punct de vedere tehnic („ingineresc”), reziliența „presupune rezistența, flexibilitatea și revenirea cât mai rapidă la o stare anterioară de echilibru”, urmărind capacitatea unui sistem de a se dezvolta și a prospera în condiții nefavorabile. Referitor la rețelele de trafic, reziliența poate fi studiată luând în considerare fiabilitatea acestora, astfel că în prezenta lucrare sunt prezentate principalele considerente asupra fiabilității rețelelor de trafic, prilej pentru cercetări viitoare privind legătura dintre reziliență și fiabilitate.

„Din punctul de vedere al ingineriei sistemului, fiabilitatea rețelei este capacitatea acesteia de a îndeplini funcții predeterminate în condiții specificate într-un interval de timp considerat” [15]. Economii țării dezvoltate devin din ce în ce mai dependente de fiabilitatea rețelelor de trafic [19] datorită rolului tot mai important pe care îl au acestea în solidarizarea teritoriului deservit. Prin urmare, fiabilitatea este un indicator important al calității rețelelor de trafic actuale, cu implicații asupra stabilității viitoarelor rețele de trafic [26].

Literatura de specialitate propune diverse măsuri de apreciere a fiabilității și tehnici de modelare a fiabilității, care exprimă, sub o formă sau alta, calitativ și cantitativ fiabilitatea. Acestea au în vedere considerente privind simplitatea, stabilitatea din punct de vedere statistic și importanța lor în raport cu structura și atributele rețelelor de trafic.

Modelate cu ajutorul teoriei grafurilor, rețelele de trafic au ca elemente principale arcele și nodurile, în funcție de care se stabilesc proprietățile acestora. Fiabilitatea rețelelor este dependentă de fiabilitatea principalelor lor componente, ceea ce implică o analiză a fiabilității în raport cu proprietățile rețelelor considerate. Astfel, extinderea literaturii din domeniu a atras după sine modificări ale interpretării noțiunilor de fiabilitate ale rețelelor de trafic, prin aceea că inițial s-a considerat că „există două tipuri de definiții ale fiabilității rețelelor, respectiv fiabilitatea conexității și fiabilitatea duratei de călătorie” [3] [13], ulterior afirmându-se că „din cauza ineficienței conexității în descrierea fluxului de trafic în timp real, se propun din punct de vedere al sistemului și din punct de vedere al utilizatorilor fiabilitatea duratei de călătorie și fiabilitatea capacității” [8]. Cu toate acestea, cercetătorii au acordat o importanță similară tuturor acestor modele de analiză ale fiabilității, unii dintre ei afirmând că studiile privind fiabilitatea rețelelor de trafic sunt concentrate în principal pe toate aceste trei aspecte: fiabilitatea conexității, fiabilitatea capacității

și fiabilitatea duratei de călătorie [1] [2] [4] [12] [15] [18]. Dar, considerentele asupra interpretării noțiunii de fiabilitate a rețelelor de trafic nu s-au limitat doar la aceste trei aspecte, astfel că suplimentar au fost luate în analiză fiabilitatea întâlnită („probabilitatea ca o călătorie să poată fi efectuată cu succes fără a întâmpina legături degradate pe calea costului cel mai mic între origine și destinație” [4] [21] sau , sub o formulare inversă, „probabilitatea ca utilizatorii să întâmpine o întrerupere pe ruta lor preferată, implicând identificarea tuturor utilizatorilor care au preluat o legătură preferată care este degradată, fără a include utilizatorii deviați de la alte legături degradate pe legătura considerată” [4] [19] [20] [21]), fiabilitatea scăderii debitului („probabilitatea reducerii debitului într-o legătură degradată de a nu depăși un prag specificat, considerând că fluxul va fi afectat pe o legătură degradată din cauza costului modificat al călătoriei” [19] [20]), fiabilitatea programului („probabilitatea ca un călător, între o pereche origine-destinație dată și care pleacă într-un anumit moment, să ajungă la destinație la timp sau într-un prag de al duratei de călătorie mai devreme sau mai târziu” [8]), fiabilitatea parcurii („probabilitatea ca un călător să poată găsi un loc de parcare disponibil la o anumită destinație și la un anumit moment într-un interval acceptabil al duratei de călătorie” [8]), fiabilitatea legăturii („probabilitatea ca traficul să implice un anumit nivel de serviciu pentru o anumită perioadă de timp” [10]) etc. Toate aceste formulări suplimentare referitoare la analiza fiabilității rețelelor de trafic pot fi considerate drept o „extindere a celor trei interpretări principale ale fiabilității rețelelor de trafic” [8].

## 2. FIABILITATEA CONEXITĂȚII

Fiabilitatea conexității, una dintre principalele interpretări ale fiabilității rețelelor de trafic, este intens tratată în literatura de specialitate, astfel că de-a lungul timpului au fost formulate diferite definiții, mai mult sau mai puțin asemănătoare, dar care în esență exprimă același lucru. Pe scurt, fiabilitatea conexității este „probabilitatea de a ajunge la o destinație aleasă” [4] sau „probabilitatea ca nodurile din rețea să fie conectate” [15] [20] [23] [26], „un caz special de fiabilitatea conexității fiind fiabilitatea terminalului care se referă la existența unei căi între o pereche origine-destinație specifică” [21]. Totuși, aceste definiții sunt simpliste și pot duce la interpretări eronate ale conceptului în sine, dar prin unificarea lor se consideră fiabilitatea conexității, numită și fiabilitatea terminalului, sub următoarele formulări:

(i) „fiabilitatea conexității (sau a terminalului) reprezintă probabilitatea ca să existe cel puțin o cale fără întreruperi sau întârzieri puternice către o

anumită destinație într-o anumită perioadă de timp” [11] [13] [20] [25];

(ii) „fiabilitatea conexității (sau a terminalului) reprezintă probabilitatea ca perechile de noduri ale rețelei de tipul origine-destinație să fie conectate cu anumite niveluri de serviciu de trafic pentru perioade date de timp” [3] [4] [8] [10] [19] [21] [22].

Conectarea origine-destinație se realizează prin intermediul arcelor, cărora le sunt atribuite variabile de stare de tipul „funcțional sau nefuncțional” și pentru care nu se ține cont de restricțiile de capacitate, ceea ce implică faptul că acest tip de analiză a fiabilității se potrivește în cazul situațiilor extreme, cum ar fi cutremure, mai degrabă decât pentru analiza operațională zilnică, deoarece implică doar funcționarea la capacitate maximă sau defecțiunea completă cu capacitate zero [8] [21] [22] [26]. De asemenea, se admite faptul că fiabilitatea nodurilor rețelei este ideală, defecțiunile acestora putând fi convențional transferate arcelor rețelei. În plus, se au în vedere noțiunea de cale, prin care înțelegem secvența de arce care permit utilizatorului rețelei să ajungă din nodul de origine al deplasării în cel de destinație, respectiv noțiunea de secțiune, prin care se înțelege combinația de arce a cărei excludere duce la întreruperea utilizării căii [22]. Astfel, se formulează următoarele ipoteze:

(i) prin extensie, calea care leagă o pereche de noduri de tipul origine-destinație este fie funcțională, fie nefuncțională (întreruptă);

(ii) fiecare arc de legătură din compunerea căii are proprietatea că la un moment dat poate fi funcțional sau nu;

(iii) starea rețelei de trafic depinde doar de starea elementelor sale componente și este reprezentată printr-o funcție de structură de forma :

$$\Phi(x) = \begin{cases} 1, & \text{noduri conectate} \\ 0, & \text{noduri neconectate} \end{cases} \quad (2.1)$$

unde  $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)$  este un vector care implică capacitatea de funcționare a diferitelor arce  $k$  de legătură, a căror secvență asigură conectarea nodurilor considerate :

$$x_k = \begin{cases} 1, & \text{dacă arcul „}k\text{” este funcțional} \\ 0, & \text{în caz contrar} \end{cases} \quad (2.2)$$

Prin urmare, în ceea ce privește fiabilitatea rețelelor de trafic în raport cu proprietatea de conexitate, funcția de structură este necesară în stabilirea probabilității ca o cale să lege două noduri, adică probabilitatea ca sistemul să funcționeze,  $P(\Phi(x))$ .

Se poate utiliza teoria grafurilor pentru a evalua fiabilitatea călătoriei între o pereche de noduri origine-destinație dintr-o rețea de trafic, motiv pentru care s-a propus o metodă care implică excluderea tuturor căilor care sunt sinuoase și nu sunt percepute

## FIABILITATEA - COMPONENTĂ A REZILIENȚEI REȚELOR DE TRAFIC

ca alternative fezabile de către utilizatori, întrucât astfel de căi nu sunt foarte relevante în studiul fiabilității conexității. Astfel, folosind un algoritm pentru calcularea limitelor superioare și inferioare pentru fiabilitatea terminală, se arată că limitele converg rapid către fiabilitatea exactă [19]. Prin urmare, pentru a înțelege mai bine cele menționate anterior, se consideră următoarele [22]:

(i) rețeaua de trafic poate fi reprezentată formal cu ajutorul căilor și a secțiunilor minime ;

(ii) calea minimă este acea cale pentru care defectarea oricărui arc duce la întreruperea ei („refuzul” rețelei). Fiecare cale minimă  $A_j$  a rețelei poate fi pusă în legătură cu funcția logică:

– dacă toate arcele căii minime funcționează normal:

$$A_j(x) = \bigcap_{k \in A_j} x_k = 1 \quad (2.3)$$

– dacă toate arcele căii minime nu funcționează normal:

$$A_j(x) = \bigcap_{k \in A_j} x_k = 0 \quad (2.4)$$

(iii) secțiunea minimă este acea secțiune pentru care refacerea funcționalității chiar a unui singur element duce la refacerea capacității de funcționare a întregii rețele. Fiecare secțiune minimă  $B_i$  a rețelei poate fi pusă în concordanță cu funcția logică:

– dacă toate arcele secțiunii minime sunt defecte:

$$B_i(x) = \bigcup_{k \in B_i} x_k = 0 \quad (2.5)$$

– cel puțin unul dintre arce funcționează normal:

$$B_i(x) = \bigcup_{k \in B_i} x_k = 1 \quad (2.6)$$

(iv) pentru o rețea se poate defini lungimea rețelei, ca fiind un număr natural  $\lambda$ , dat de relația

$$\lambda = \min \{k \mid c_k > 0\} \quad (2.7)$$

unde  $c_k$  este numărul de căi minime cu  $k$  componente;

(v) pentru o rețea se poate defini lățimea rețelei, ca fiind numărul natural  $\mu$ , dat de relația

$$\mu = \min \{k \mid s_k > 0\} \quad (2.8)$$

unde  $s_k$  este numărul de secțiuni minime cu  $k$  componente ;

(vi) se constată că în reprezentarea formală a rețelilor de trafic unele secțiuni și/sau căi minime sunt dependente deoarece un element poate intra în diferite căi și/sau secțiuni minime. Astfel, nu se poate aprecia fiabilitatea funcționării pe baza unui model matematic conceput pe ipoteza independenței elementelor, dar este posibil să se evalueze limitele maxime și minime ale probabilității utilizării rețelei de trafic, limite ce sunt exprimate prin următoarea inegalitate:

$$1 - \prod_{j=1}^Q (1 - \prod_{k \in A_j} p_k) \geq P(\Phi(x) = 1) \geq \prod_{i=1}^S (1 - \prod_{k \in B_i} (1 - p_k)) \quad (2.9)$$

unde

$p_k$  – este probabilitatea ca arcul  $k$  al rețelei să funcționeze;

$Q$  – numărul căilor minime;

$S$  – numărul secțiunilor minime.

Deoarece unele secțiuni și / sau căi minime sunt dependente, metodele de calcul ale fiabilității rețelilor de trafic din punct de vedere al conexității pot fi clasificate în metode exacte și metode euristice. [9] [22] . „Metodele exacte dau rezultate mult mai apropiate de realitate, dar volumul de calcul pe care îl presupun crește exponențial cu numărul de elemente ale rețelei de trafic” [22], astfel că ele sunt eficiente doar pentru acele rețele care au structuri regulate sau sunt foarte mici. Acest aspect poate conduce în anumite situații la recomandarea folosirii metodelor euristice [22].

În continuare, sunt evidențiate câteva exemple de metode exacte, respectiv metode euristice de analiză.

### 3. METODE EXACTE DE ANALIZĂ A FIABILITĂȚII CONEXITĂȚII

#### (i) Metoda enumerării

Dacă rețeaua de trafic poate fi descompusă în subsisteme de dimensiuni mai mici, legate serie, paralel sau o combinație ale acestora, se utilizează următoarea ecuație în vederea calculului final al fiabilității rețelei :

$$R(r) = P\{x_k = 1\} \cdot R(1_k, r') + P\{x_k = 0\} \cdot R(0_k, r') \quad (2.10)$$

unde:

$R(1_k, r')$  – fiabilitatea sistemului când componenta  $k$  funcționează .

$R(0_k, r')$  – fiabilitatea sistemului când componenta  $k$  nu funcționează .

$r'$  – valoarea vectorului de fiabilitate excluzând componenta  $k$ .

În sisteme complexe, cum este rețeaua de trafic, metoda este dificil de aplicat datorită volumului mare de calcule.

**(ii) Metoda includerii-excluderii**

Fie  $E_s$  evenimentul ca o cale minimă  $P(s)$  să funcționeze. Dacă cel puțin o cale minimă funcționează, atunci sistemul funcționează. Fiabilitatea sistemului va fi dată de relația:

$$R = P\left\{\bigcup_{s=1}^p E_s\right\} \quad (2.11)$$

Utilizând formula de includere-excludere, relația fiabilității devine:

$$R = \sum_{s=1}^p P(E_s) - \sum_{s=1}^p \sum_{t \neq s} P(E_s \cap E_t) + \dots + (-1)^{p-1} \cdot P\left(\bigcap_{s,p} E_s\right) \quad (2.12)$$

În cazul secțiunilor minime se notează  $\bar{E}_s$  (complementul lui  $E_s$ ) evenimentul ca toate elementele secțiunii minime  $I(s)$  să nu mai funcționeze. Dacă cel puțin o secțiune minimă nu mai funcționează, sistemul nu mai funcționează, iar probabilitatea ca sistemul să nu mai funcționeze este:

$$F = P\left\{\bigcup_{s=1}^i \bar{E}_s\right\} \quad (2.13)$$

pentru care se poate aplica relația de includere-excludere după modelul de mai sus, iar fiabilitatea sistemului va fi:  $R = 1 - F$ .

Dezavantajul acestei metode este acela că trebuie cunoscute toate căile și secțiunile minime.

**(iii) Metoda sumării logice a evenimentelor reunite logic**

Metoda utilizează transformarea sumării logice în sumare algebrică, astfel:

$$R = P\left\{E_1 \cup E_2 \cup E_3 \cup \dots\right\} = P\left\{E_1 + \left[nonE_1 \cap \left(E_2 \cup E_3 \cup \dots\right)\right]\right\} \quad (2.14)$$

Transformarea este repetată până când evenimentul din paranteza pătrată devine evenimentul nul. Utilizarea acestei metode presupune cunoașterea tuturor căilor și secțiunilor semnificative ale rețelei,

deci realizarea unei ierarhii a tuturor legăturilor în rețea care să se bazeze pe un anumit criteriu de ierarhizare.

**4. METODE EURISTICE DE ANALIZĂ A FIABILITĂȚII CONEXITĂȚII**

**(i) Metode care folosesc toate căile și secțiunile minime**

Plecând de la premisa că fiabilitatea rețelei este valoarea medie a funcției de structură, respectiv :

$$R = M\{\Phi(x)\} \quad (2.15)$$

valoarea fiabilității sistemului de deservire prin rețea a unei perechi de noduri origine-destinație poate fi obținută cu ajutorul relațiilor:

$$R_1 = M\left\{1 - \prod_{s=1}^p \left(1 - \prod_{k \in P(s)} x_k\right)\right\} \quad (2.16)$$

dacă se folosește metoda căilor minime; este o funcție monoton crescătoare în raport cu numărul  $p$  al căilor minime, pentru care limita superioară este dată de relația:

$$U = \left\{1 - \prod_{s=1}^p \left(1 - \prod_{k \in P(s)} r_k\right)\right\} \quad (2.17)$$

$$R_2 = M\left\{\prod_{s=1}^i \left(1 - \prod_{k \in I(s)} (1 - x_k)\right)\right\} \quad (2.18)$$

dacă se folosește metoda secțiunilor minime; este o funcție monoton descrescătoare în raport cu numărul  $i$  al secțiunilor minime, pentru care limita inferioară este dată de relația:

$$L = \prod_{s=1}^i \left(1 - \prod_{k \in I(s)} (1 - r_k)\right) \quad (2.19)$$

Curbele  $U$  și  $L$  sunt cunoscute drept „limitele Esary-Proschan”. Valoarea reală a fiabilității rețelei se află între aceste două limite.

**(ii) Metode care folosesc fiabilitatea arcelor**

Se prezintă o metodă de calcul a fiabilității conexității rețelei bazată pe fiabilitățile performanțelor arcelor estimate în raport cu starea reală a rețelei. Astfel, se afirmă că fiabilitatea conexității în perechea origine-destinație  $w$  este :

$$R_w^{connect} = \left(R_w^{\min} + R_w^{\max}\right) / 2 \quad (2.20)$$

## FIABILITATEA - COMPONENTĂ A REZILIENȚEI REȚELOR DE TRAFIC

unde  $R_w^{connect}$ ,  $R_w^{min}$  și  $R_w^{max}$  sunt media, limita inferioară și limita superioară a fiabilității conexității în perechea origine-destinație  $w$ , calculate în raport cu fiabilitățile performanțelor arcelor  $k$  care compun perechea  $w$ , estimate în raport cu starea reală a rețelei.

Fiabilitatea conexității tuturor perechilor origine-destinație sub forma unui indice unic se calculează ca media ponderată a fiabilităților conexității perechilor origine-destinație  $w$  în raport cu cererile în perechile origine-destinație  $w$ :

$$R_{net}^{connect} = \sum_{w \in W} \left( \frac{R_w^{connect} \cdot q_w}{\sum_{w \in W} q_w} \right) \quad (2.21)$$

unde  $q_w$  este cererea în perechea origine-destinație  $w$ .

Astfel, se consideră că fiabilitatea conexității rețelei este o funcție a fiabilității arcelor:

$$R_{net}^{connect} = f(R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_n) \quad (2.22)$$

„Odată cu cererea în creștere, scara rețelei de trafic se extinde, ceea ce face ca cercetarea fiabilității să fie din ce în ce mai complexă și dificilă” [12]. De asemenea, „concentrarea pe conexitate poate fi adecvată atunci când congestia nu este o problemă, însă fiabilitatea rețelei este acum concentrată în mare măsură pe performanța rețelelor aglomerate” [19]. Astfel, stabilitatea acestora a devenit o problemă importantă, iar „pentru analiza fiabilității rețelei trebuie mai întâi determinată fiabilitatea legăturilor din cadrul rețelei” [13].

## 5. FIABILITATEA CAPACITĂȚII

„Este evident că rețeaua este absolut fiabilă atunci când cererea este zero și absolut nesigură când cererea este infinită” [8]. Fiabilitatea capacității ia în considerare în mod explicit incertitudinile asociate cu capacitățile de legătură prin tratarea capacităților drept cantități continue supuse degradării de rutină din cauza factorilor fizici și operaționali. În plus, dacă se presupun capacitățile ca luând doar valori binare discrete (zero pentru defecțiune totală și unu pentru funcționarea la capacitatea ideală) atunci fiabilitatea capacității include fiabilitatea conexității ca un caz special [21].

Fiabilitatea capacității este una dintre principalele interpretări ale fiabilității rețelelor de trafic, astfel că în literatura de specialitate a fost intens tratată, fiind definită sub următoarele formulări mai mult sau mai puțin asemănătoare:

(i) „fiabilitatea capacității este probabilitatea ca rețeaua să poată găzdui un anumit nivel de cerere de

trafic și implică conceptul de capacitate de rezervă a rețelei, unde capacitatea de rezervă a rețelei este definită ca cel mai mare multiplicator aplicat unei matrice de cerere existentă origine-destinație fără a încălca capacitățile de legătură sau a depăși un raport prespecificat între volum și capacitate (nivel de serviciu)” [7];

(ii) „fiabilitatea capacității este probabilitatea ca rețeaua să poată „înghiți” o anumită cantitate de trafic” [4], adică „probabilitatea ca o anumită cerere de trafic să poată fi acomodată la un nivel acceptabil de serviciu” [4];

(iii) „fiabilitatea capacității este probabilitatea ca rețeaua să poată găzdui/satisface un anumit nivel de cerere la un anumit nivel de serviciu” [1] [6] [15] [16] [19] [20] [21] [23] [28];

(iv) „fiabilitatea capacității este probabilitatea ca maximul capacității rețelei să fie mai mare sau egal cu nivelul de cerere necesar pentru pierderea de capacitate dată datorată degradării [8] [23];

Se consideră faptul că „traficul este neaglomerat atunci când oferta depășește cererea” [8], astfel că fiabilitatea capacității este direct implicată în „probabilitatea ca utilizatorii să întâmpine dificultăți pe calea aleasă” [19] „atunci când capacitățile legăturilor sunt supuse unor variații aleatorii” [1] [8]. Prin urmare, importanța interpretării fiabilității rețelelor de trafic din punct de vedere al fiabilității capacității a atras după sine diferite metode de analiză ale acestora din urmă, dintre care menționăm:

(i) *Calcul fiabilității performanțelor arcelor* bazată pe capacitățile arcelor raportate la volumul lor de flux de trafic:

Se presupune că efectele incidentelor sunt incluse în funcțiile de capacitate ale arcelor, capacitățile fiind variabile aleatoare specifice fiecărui arc. De asemenea, se consideră faptul că funcțiile de capacitate sunt funcții independente, respectiv reflectă relația dintre diferitele niveluri de capacitate ale fiecărui arc și probabilitățile acestora. Prin urmare, fiabilitatea performanței arcului  $i$  este definită drept probabilitatea ca capacitatea arcului  $i$  să fie mai mare sau egală cu volumul lui de flux (debit):

$$R_i(C_i \geq v_i) = \begin{cases} a, v_i \geq C_{\min}^i \\ 0, C_{\max}^i < v_i \end{cases} \quad (3.1)$$

unde:

$v_i$  și  $C_i$  – volumul de flux și capacitatea aleatorie a arcului  $i$ ;

$C_{\min}^i$  și  $C_{\max}^i$  – limitele inferioară și superioară ale capacității aleatorii a arcului  $i$ ;

$$a = \int_{v_i}^{C_{\max}^i} f_i^P(c)dc = \int_{v_i}^{C_{\max}^i} \left( f_i(c) + C_i^0 \right) dc \quad (3.2)$$

$$\Rightarrow a = \int_{v_i}^{C_{\max}^i} \left( f_i(c) + \frac{1 - \int_{C_{\min}^i}^{C_{\max}^i} f_i(c)dc}{C_{\max}^i - C_{\min}^i} \right) dc \quad (3.3)$$

$f_i^P(c)$  – funcția de densitate de probabilitate

pseudo-normală pentru capacitatea arcului  $i$ , definită pentru a depăși problema limitelor inferioară și superioară ale capacității aleatorii a arcului  $i$  astfel:

$$\int_{C_{\min}^i}^{C_{\max}^i} \left( f_i^P(c) \right) dc = \int_{C_{\min}^i}^{C_{\max}^i} \left( f_i(c) + C_i^0 \right) dc = 1 \quad (3.4)$$

unde

$$\int_{C_{\min}^i}^{C_{\max}^i} \left( f_i(c) \right) dc \neq 1. \quad (3.5)$$

$C_i^0(c)$  – parametru constant ;

$f_i(c)$  – funcția de densitate de probabilitate

normală pentru capacitatea arcului  $i$  ;

$$f_i(c) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \sigma_i}} \exp \left( -\frac{(c - \mu_i)^2}{2 \cdot \sigma_i^2} \right) \quad (3.6)$$

unde  $\mu_i$  și  $\sigma_i$  sunt media și abaterea standard ale capacității arcului  $i$ .

În cazul unei rețele reale, arcele sunt proiectate astfel încât să poată opera la un nivel de serviciu dorit în rețea. Pentru aceasta se utilizează raportul  $v_i / C_i = \alpha_i$ , considerat indicele nivelului de serviciu al arcului  $i$ . Astfel, fiabilitatea performanței arcului  $i$  estimată în raport cu starea reală a rețelei poate fi considerată drept probabilitatea ca capacitatea arcului  $i$  să fie mai mare sau egală cu  $v_i / \alpha_i$  :

$$R_i = P(C_i \geq v_i / \alpha_i) = \begin{cases} \int_{v_i / \alpha_i}^{C_{\max}^i} f_i^P(c)dc, v_i / \alpha_i \geq C_{\min}^i \\ 0, C_{\max}^i < v_i / \alpha_i \end{cases} \quad (3.7)$$

dacă  $\alpha_i = 1$  indică faptul că toate arcele rețelei pot funcționa cu capacitățile lor maxime.

(ii) *Fiabilitatea capacității* rețelei bazată pe fiabilitatea duratei de călătorie drept probabilitatea capacității de rezervă a rețelei degradate  $\mu(c)$  de a fi mai mare sau egală cu un prag de multiplicare a cererii predeterminat  $\mu_t$  :

$$CR(\mu_t, \pi_t) = \Pr \left\{ \mu(c) \geq \mu_t \mid t_w(c, q) \leq \pi_t \cdot t_w(c_0, q_0) \right\} \quad (3.8)$$

unde :

$CR(\mu_t, \pi_t)$  – fiabilitatea capacității rețelei cu

multiplicatorul cererii  $\mu_t$  și pragul duratei de călătorie  $\pi_t$  ;

$\mu_t$  – pragul predeterminat de multiplicare a cererii, reprezentând nivelul cererii de trafic pentru care rețeaua este menținută la o anumită constrângere de fiabilitate a duratei de călătorie a perechii origine-destinație  $w$  ;

$\pi_t$  – pragul duratei de călătorie care ar trebui menținut și care variază de obicei în funcție de diferitele perechi origine-destinație ;

$\mu(c)$  – capacitatea de rezervă a rețelei degradate, reprezentând pragul de multiplicare a cererii origine-destinație  $w$  care depinde de capacitatea  $c$  corespunzătoare unei stări degradate ;

$t_w(c_0, q_0)$  – durata medie de călătorie în perechea origine-destinație  $w$  nedegradată, căreia îi corespunde cererea de bază  $q_0$  și capacitatea maximă  $c_0$  ;

$t_w(c, q)$  – nivelul de serviciu considerat drept durata medie de călătorie în perechea origine-destinație  $w$  degradată, căreia îi corespunde cererea de bază multiplicată  $q = \mu_t \cdot q_0$  și capacitatea  $c$  corespunzătoare unei stări degradate, respectiv care nu depășește de  $\pi_t$  ori durata medie de călătorie de bază  $t_w(c_0, q_0)$  ;

De asemenea, fiabilitatea capacității rețelei cu o dimensiune a eșantionului  $N_{\max}$  și multiplicatorul cererii  $\mu_t$  poate fi calculată ca :

$$CR_{N_{\max}}^{\mu_t} = \frac{1}{N_{\max}} \cdot \sum_{n=1}^{N_{\max}} Z_G(n) \quad (3.9)$$

unde

$Z_G(n)$  este funcția de performanță a fiabilității

capacității rețelei definită ca raportul dintre cel mai mare multiplicator al cererii origine-destinație

$\mu(c^{(n)})$  și pragul predeterminat de multiplicare a cererii  $\mu_t$  :

$$Z_G^{(n)}(c^{(n)}, \mu_t) = \begin{cases} 1 & , \mu(c^{(n)}) \geq \mu_t \\ 0 & , \mu(c^{(n)}) < \mu_t \end{cases} \quad (3.10)$$

iar  $c^{(n)}$  este un vector de capacități bazate pe distribuția normală trunchiată .

## 6. FIABILITATEA DURATEI DE CĂLĂTORIE

Trebuie făcută distincția între valoarea duratei de călătorie și valoarea fiabilității duratei de călătorie [5] [17] deoarece durata alocată călătoriei are implicații asupra considerentelor privind costul călătoriei [19] , în timp ce „fiabilitatea duratei de călătorie este consecința incertitudinii temporale experimentate de utilizatori în deplasarea lor între oricare două noduri dintr-o rețea, importanța acesteia depinzând de penalitățile suportate de utilizatori” [5]. Astfel, întrucât valoarea duratei alocate călătoriei este din ce în ce mai mare datorită expansiunii activităților economice și îmbunătățirii calității vieții, stabilitatea duratei de călătorie este una dintre problemele de bază din domeniul transporturilor [13]. Durata de călătorie începe să crească mult mai rapid odată ce intensitatea traficului depășește o anumită limită [19]. Astfel, în ceea ce privește modelarea orelor de plecare, călătorul consideră adesea o durată a călătoriei suficientă pentru a compensa riscul de întârziere, având în vedere fluctuația stării traficului rețelei. Durata de rezervă a călătoriei a fost exprimată în diferite forme, cum ar fi durata efectivă de călătorie, bugetul duratei de călătorie, durata tampon etc. , și este proporțională cu intensitatea fluctuației traficului din rețea [8].

Considerată cea mai importantă dintre principalele interpretări ale fiabilității rețelilor de trafic, fiabilitatea duratei de călătorie a fost intens tratată în literatura de specialitate, astfel că în raport cu percepția analistului asupra acesteia, ea fost definită sub următoarele formulări mai mult sau mai puțin asemănătoare:

(i) „fiabilitatea duratei de călătorie (sau a performanței) este probabilitatea de a ajunge la o anumită destinație într-un interval de timp stabilit / într-un interval de timp dat” [4] [8] [13] [20] [25] ;

(ii) „fiabilitatea duratei de călătorie este probabilitatea ca durata de călătorie între două noduri

date să nu depășească o anumită durată de călătorie, tratată alternativ ca durata maximă de călătorie necesară pentru a ajunge la destinație cu o probabilitate dată” [4] ;

(iii) „fiabilitatea duratei de călătorie este probabilitatea ca o călătorie origine-destinație să poată fi finalizată cu succes într-un interval de timp specificat la un anumit nivel de serviciu oferit de rețeaua de trafic” [11] [15] [19] [20] [21] [22] [23] [25] [28] .

În ceea ce privește măsurătorile privind determinarea valorii fiabilității duratei de călătorie, cercetările din domeniu fac trimitere la diverși indici sau metode de analiză, menționându-se totuși că „o predicție a distribuției probabilității duratei de călătorie poate fi mai valoroasă decât o predicție deterministă a duratei de călătorie, luând în considerare nu doar congestiunea traficului măsurat și alte condiții cunoscute, ci și prezența condițiilor nemăsurate” [27]. Dintre indicii și metodele de analiză existente, menționăm următoarele:

(i) În literatura de specialitate, în funcție de percepția cercetătorilor, fiabilitatea duratei de călătorie a fost definită fie ca abaterea standard a distribuției duratelor de călătorie, fie ca inversul abaterii standard a distribuției duratelor de călătorie, fie ca variația procentuală a abaterii standard a distribuției duratelor de călătorie în raport cu media acestora. De asemenea, fiabilitatea duratei de călătorie a fost definită fie prin indicele rezidual, reprezentat de numărul mediu de minute cu care cele mai defavorabile călătorii depășesc media, fie prin indicele duratei tampon, care indică durata suplimentară necesară pentru a ajunge la timp pentru 95% dintre călătorii.

Dintre acestea, menționăm următoarele, determinabile astfel [14] [11]:

$$\begin{aligned} & \text{Variația procentuală a Duratei de Călătorie} \\ & = \frac{\text{Abaterea standard a Duratei de Călătorie}}{\text{Media duratei de călătorie}} \times 100 ; \end{aligned} \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} & \text{Indicele Duratei Tampon} = \\ & = \frac{\text{DuratăCălătorie}_{95} - \text{MedieDuratăCălătorie}}{\text{MedieDuratăCălătorie}} \times 100 \end{aligned} \quad (4.2)$$

unde indicele duratei tampon reprezintă durata suplimentară pe care un călător ar trebui să o acorde pentru a ajunge la timp în 95% din toate călătoriile sale, fiind astfel „o durată rezervată pentru a asigura punctualitatea. Cu cât este rezervată o durată tampon mai mare, cu atât rețeaua este mai nesigură” [8] ;

$$\begin{aligned} & \text{Indicele Rezidual} \\ & = \frac{\text{MedieDuratăCăl}20\% - \text{MedieDuratăCăl}}{\text{MedieDuratăCăl}} \end{aligned} \quad (4.3)$$

unde  $\text{MedieDuratăCăl}20\%$  reprezintă media duratei de călătorie pentru 20% dintre călătoriile cu durata cea mai mare ;

(ii) Fiabilitatea duratei de călătorie definită ca probabilitatea duratei de călătorie pe o anumită cale de a fi mai mică decât o anumită valoare de prag  $t$  :

$$P(T < t) = \Phi \left( \frac{t - \sum_{k \in P(s)} \mu_k}{\sqrt{\sum_{k \in P(s)} \sigma_k^2}} \right) \quad (4.4)$$

unde :

$T$  – durata de călătorie pe ruta  $P(s)$  ;

$$T \sim N \left( \sum_{k \in P(s)} \mu_k, \sum_{k \in P(s)} \sigma_k^2 \right) \quad (4.5)$$

$P(s)$  – mulțimea arcelor care formează calea  $s$  ;

$\mu_k$  – valoarea medie a duratei de călătorie pe legătura  $k$  ;

$\sigma_k^2$  – dispersia duratei de călătorie pe legătura  $k$  ;

„Stabilirea unui prag de acceptabilitate pentru durata călătoriei este destul de dificilă, deoarece așteptările depind de scopul călătoriei și de caracteristicile călătorilor” [19].

(iii) Fiabilitatea duratei de călătorie pentru un anumit nivel de serviciu  $F$  la momentul de referință  $t$  ca media în raport cu numărul de zile de analiză  $n_d$  a valorilor nivelelor de serviciu  $F$  pentru fiecare zi de analiză  $d$  la momentul de referință  $t$  raportate la cele  $n_x$  locații detector considerate:

$$R_F(t) = \frac{1}{n_d} \sum_{d=1}^{n_d} P_F(d, t) \quad (4.6)$$

unde :

$P_F(d, t)$  – valoarea nivelului de serviciu  $F$  pentru ziua  $d$  la momentul de referință  $t$  raportat la cele  $n_x$  locații detector considerate :

$$P_F(d, t) = \frac{1}{n_x} \sum_{x=1}^{n_x} [L(d, t, x) = F] \quad (4.7)$$

unde  $L(d, t, x)$  – valoarea nivelului de serviciu  $F$  pentru ziua  $d$  la momentul de referință  $t$  în locația detector  $x$  considerată.

(iv) Fiabilitatea duratei de călătorie calculată ca probabilitatea ca durata de călătorie  $t_t$  să fie mai mică decât o durată de călătorie arbitrară  $t$ , presupunând că duratele de călătorie sunt normal distribuite :

$$\Pr \left\{ t_t < t \right\} = \Phi \left( \frac{t - \mu_t}{\mu_t \cdot CV_t} \right) \quad (4.8)$$

unde :

$$\Phi \left( \frac{t - \mu_t}{\mu_t \cdot CV_t} \right) - \text{aria de la } -\infty \text{ la } \frac{t - \mu_t}{\mu_t \cdot CV_t} \text{ în cazul}$$

distribuției normale a duratelor de călătorie ;

$CV_t$  – coeficientul de variație al duratei de călătorie (abaterea standard a duratei de călătorie împărțită la media duratei de călătorie) ;

$\mu_t$  – media duratei de călătorie ;

(v) Călătorii dobândesc variabilitatea duratelor de călătorie pe rută pe baza experiențelor anterioare și au în vedere această variabilitate în luarea în considerare a alegerii rutei, astfel că se propune „conceptul de buget al duratei de călătorie pentru a descrie decizia de alegere a rutei, considerând în ceea ce privește călătorul faptul că va pleca mai devreme pentru a evita riscul de a întârzia”.

Astfel, „bugetul duratei de călătorie descrie aversiunea la risc a călătorilor asupra alegerilor de rută în prezența variabilității duratei de călătorie” [24] și depinde de caracteristicile călătorilor, respectiv de scopurile călătoriei. Bugetul duratei de călătorie este definit astfel:

Bugetul duratei de călătorie = Durata estimată a călătoriei + Marja duratei de călătorie

$$b_p = E \left( T_p \right) + \lambda \cdot \sigma_{T_p} \quad (4.9)$$

unde :

$b_p$  – bugetul duratei de călătorie asociat rutei  $p$ ;

$T_p$  – durata de călătorie asociată rutei  $p$ ;

$E(T_p)$  și  $\sigma_{T_p}$  – media duratei de călătorie și abaterea standard de la media duratei de călătorie pentru ruta  $p$ ;

$\lambda \cdot \sigma_{T_p}$  – „costul de planificare” [24] ;

$\lambda$  – gradul de aversiune la risc determinat printr-un instrument de sondaj și este un parametru care se referă la cerința sosirilor punctuale, fiind direct legat de fiabilitatea sosirilor punctuale [24] ;



## FIABILITATEA - COMPONENTĂ A REZILIENȚEI REȚELOR DE TRAFIC

Probabilitatea de a ajunge la destinație în cadrul bugetului duratei de călătorie este :

$$P \left\{ T_p \leq b_p = E(T_p) + \lambda \cdot \sigma_{Tp} \right\} = \rho \quad (4.10)$$

unde  $\rho$  este denumită fiabilitatea duratei de călătorie în cadrul bugetului duratei de călătorie, iar relația anterioară poate fi rescrisă ca :

$$P \left\{ S_{Tp} = \frac{Tp - E(Tp)}{\sigma_{Tp}} \leq \lambda \right\} = \rho \quad (4.11)$$

unde  $S_{Tp}$  este varianța normală standard asociată  $T_p$  ;  
 Dacă călătorii se așteaptă să rezerve un buget al duratei de călătorie relativ mare, atunci  $\lambda$  mare, ceea ce menține  $\rho$  la un nivel ridicat. Dacă  $\lambda > 0$  călătorii sunt considerați „supuși la risc”, respectiv „neutri la risc” dacă  $\lambda = 0$  , aceștia din urmă fiind preocupați doar de durata medie de călătorie [24] .

(vi) Conform literaturii din domeniu, fiabilitatea duratei de călătorie a mai fost definită ca :

$$\tau(\theta) = P \left( \frac{u(C)}{u(C_0)} \leq \theta \right) \quad (4.12)$$

unde :

- $u(C)$  – durata de călătorie în cazul în care rețeaua funcționează normal ;
- $u(C_0)$  – durata de călătorie în cazul în care rețeaua este degradată;
- $\theta$  – nivel de serviciu ;

(vii) Dacă se consideră durata călătoriei origine-destinație ca valoarea medie a duratelor de călătorie ale tuturor rutelor, fiabilitatea duratei de călătorie în rețea poate fi exprimat astfel:

$$R(\mu_r) = P \left( \mu \geq \mu_r \right) \quad (4.13)$$

unde :

- $\mu$  – durata de călătorie origine-destinație ;
- $\mu_r$  – durata de călătorie în rețea, ca medie a duratelor de călătorie ale tuturor rutelor;

(viii) Fiabilitatea duratei de călătorie a perechii origine-destinație  $w$  pentru diferite niveluri de cerere introducând un factor  $\mu_t$  pentru a mări sau micșora cererea origine-destinație în mod uniform.

Astfel, este definită fiabilitatea duratei de călătorie a perechii origine-destinație  $w$  drept probabilitatea ca

raportul dintre  $t_w(c,q)$  și  $t_w(c_0,q_0)$  să fie menținut la un anumit prag  $\pi_t$  :

$$TR_w(\pi_t, \mu_t) = \Pr \left\{ t_w(c,q) \leq \pi_t \cdot t_w(c_0,q_0) \mid q = \mu_t \cdot q_0 \right\} \quad (4.14)$$

unde :

$TR_w(\pi_t, \mu_t)$  – fiabilitatea perechii origine-destinație  $w$  cu multiplicatorul cererii  $\mu_t$  și pragul duratei de călătorie  $\pi_t$  ;

$\pi_t$  – nivelul de serviciu / pragul duratei de călătorie care ar trebui menținut și care variază de obicei în funcție de diferitele perechi origine-destinație ;

$t_w(c_0, q_0)$  – durata medie de călătorie în perechea origine-destinație  $w$  nedegradată, căreia îi corespunde cererea de bază  $q_0$  și capacitatea maximă  $c_0$  ;

$t_w(c,q)$  – durata medie de călătorie în perechea origine-destinație  $w$  degradată , căreia îi corespunde cererea de bază multiplicată  $q = \mu_t \cdot q_0$  și capacitatea  $c$  corespunzătoare unei stări degradate.

## 7. CONCLUZII

Principalele interpretări ale noțiunii de fiabilitate a rețelilor de trafic sunt fiabilitatea conexității, fiabilitatea capacității și fiabilitatea duratei de călătorie, acestea evidențiind legătura strânsă dintre fiabilitatea rețelilor de trafic și fiabilitatea principalelor lor componente.

Există mulți factori de incertitudine în analiza fiabilității rețelilor de trafic, motiv pentru care literatura de specialitate propune diverse metode de analiză a acesteia. De asemenea, nivelul de acuratețe al analizei fiabilității rețelilor de trafic nu este la fel de ridicat precum cel întâlnit în mod obișnuit în aplicațiile de inginerie de sisteme. Prin urmare, măsurile de apreciere și tehnicile de modelare a fiabilității rețelilor de trafic necesită implicarea, de la caz la caz, a multiple discipline, precum statistica matematică, programarea matematică, teoria deciziei etc., iar „simularea este o alegere atunci când datele reale sunt dificil de obținut.

Analiza fiabilității rețelilor de trafic depinde de percepțiile cercetătorilor, anume de modul în care ei interpretează atât sistemul în ansamblu, cât și cum percep conceptele în sine.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] AI-Deek, H., Emam, B.E., *New methodology for estimating reliability in transportation networks with degraded link capacities*. Journal of Intelligent Transportation Systems

- Technology: Planning, and Operations Volumul 10, 2006, Philadelphia, United States.
- [2] Asakura, Y., Hato, E., Kashiwadani, M., *Stochastic Network Design Problem: An Optimal Link Investment Model for Reliable Network*. 1st International Symposium on Transportation Network Reliability, 2003, Kyoto, Japan.
- [3] Bell, M.G.H., Iida, Y., *Transportation Network Analysis*. Editura Wiley, Michigan, United States, 1997.
- [4] Berdica K., *An introduction to road vulnerability: What has been done, is done and should be done*. Transport Policy Volumul 9, 2002, United Kingdom.
- [5] Carrion, C., Levinson, D., *Value of travel time reliability: A review of current evidence*. Transportation research part A: policy and practice, 2012, Amsterdam, Netherlands.
- [6] Chen, A., Ji, Z., Recker, W., *Travel Time Reliability with Risk-Sensitive Travelers*. Transportation Research Volumul 1783, 2002, United States.
- [7] Chen, A., Yang, H., Lo, H.K., Tang, W.H., *A capacity related reliability for transportation networks*. Journal of Advanced Transportation Volumul 33, 1999, Egypt.
- [8] Dianhai, W., Hongsheng, Cheng, X.U., *Reviewing Traffic Reliability Research*. Journal Of Transportation Systems Engineering And Information Technology, Volumul 10, 2010, China.
- [9] Du, Z.P., Nicholson, A., *Degradable transportation systems: sensitivity and reliability analysis*. Transportation Research Part B Volumul 31, 1997, United Kingdom.
- [10] Fang, S., Wakabayashi, H., *Cost-benefit Analysis for Traffic Network Reliability Improvement*. Procedia-Social and Behavioral Sciences Volumul 54, 2012, United Kingdom.
- [11] Higatani, A., Kitazawa, T., Tanabe, J., Suga, Y., Sekhar, R., Asakura, Y., *Empirical Analysis of Travel Time Reliability Measures in Hanshin Expressway Network*. Journal of Intelligent Transportation Systems Volumul 13, 2009, Japan.
- [12] Hongwei, M., Xizhao, Z., *An Evaluation Method for the Connectivity Reliability Based on the Transportation Network of Critical Links*. International Journal of Transportation Volumul 3, 2015.
- [13] Iida, Y., *Basic Concepts And Future Directions Of Road Network Reliability Analysis*. Journal of Advanced Transportation Volumul 33, 1999, Egypt.
- [14] Kaparias, I., Bell M.G.H., Belzner, H., *A New Measure of Travel Time Reliability for In-Vehicle Navigation Systems*. Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations Volumul 12, 2008, Japan.
- [15] Kuang, A., Tang, Z., Shan, L., *Road Network Capacity Reliability Considering Travel Time Reliability*. Procedia-Social and Behavioral Sciences Volumul 96, 2013, Netherlands.
- [16] Lo, H.K., Luo X.W., Siu B.W.Y., *Degradable transport network: Travel time budget of travelers with heterogeneous risk aversion*. Transportation Research Part B Volumul 40, 2006, United Kingdom.
- [17] Mishra, S., Tang, L., Ghader, S., Mahapatra, S., Zhang, L., *Estimation and valuation of travel time reliability for transportation planning applications*. Case Studies on Transport Policy Volumul 6, 2018, Netherlands.
- [18] Nam, D., Park, D., Khamkongkhun, A., *Estimation of Value of Travel Time Reliability*. Journal of Advanced Transportation Volumul 39, 2005, Egypt.
- [19] Nicholson, A., *Transport Network Reliability Measurement and Analysis*. TRANSPORTES Volumul XI, 2003, Portugal.
- [20] Pokharel, R., IEDA, H., *Road Network Evaluation from a Reliability Perspective: An Accessibility and Network Closure Vulnerability Approach*. Asian Transport Studies Volumul 4, 2016, China.
- [21] Recker, W., Chung, Y., Park, J., Wang, L., Chen, A., Ji, Z., Liu, H., Horrocks, M., Oh, J.S., *Considering Risk-Taking Behavior in Travel Time Reliability*. California PATH Program of the University of California, 2005, United States.
- [22] Ruscă, F., *Fiabilitatea rețelelor de transport*. Teză de doctorat, București, România, 2012.
- [23] Shariat-Mohaymany, A., Babaei, M., *An approximate reliability evaluation method for improving transportation network performance*. Transport Volumul 25, 2010, Vilnius, Lithuania.
- [24] Siu B.W.Y., Lo, H.K., *Doubly uncertain transportation network: Degradable capacity and stochastic demand*. European Journal of Operational Research Volumul 191, 2008, Netherlands.
- [25] Taylor, M.A.P., *Travel through time: the story of research on travel time reliability*. Transportmetrica B: Transport Dynamics Volumul 1, 2013, Hong Kong, China.
- [26] Wakabayashi, H., Iida, Y., *Upper and lower bounds of terminal reliability of road networks: An efficient method with boolean algebra*. Journal of Natural Disaster Science, Volumul 14, 1992, Japan.
- [27] Woodard, D., Nogin, G., Koch, P., Racz, D., Goldszmidt, M., Horvitz, E., *Predicting travel time reliability using mobile phone GPS data*. Transportation Research Part C Volumul 75, 2017, United Kingdom.
- [28] Zhang, L., Zeng, G., Guo, S., Li, D., Gao, Z., *Comparison of traffic reliability index with real traffic data*. EPJ Data Science Journal Volumul 6, 2017, United States.

## Despre autor

Student Doctorand **Cristian ZANFIR**<sup>1</sup>

Universitatea Națională de Știință și Tehnologie „Politehnica București”, București, România

Absolvent al Facultății de Transporturi, specializarea „Ingineria Transporturilor și a Traficului” și al masterului de „Management în Transporturi” în cadrul Universitatea Națională de Știință și Tehnologie „Politehnica București”, iar în prezent student doctorand în cadrul aceleiași facultăți, domeniul „Ingineria Transporturilor”. În cei câțiva ani de muncă în domeniu a activat în cadrul unei firme ca planificator al transporturilor interne de mărfuri, apoi în cadrul altei firme ca inginer în vederea realizării de achiziții sectoriale în transporturi, iar în prezent lucrează la o altă firmă ca inginer în cadrul departamentului de planificare a transportului public de suprafață din regiunea București-Ilfov.

Student Doctorand **Mihai Flavius GRIGORE**<sup>2</sup>

Universitatea Națională de Știință și Tehnologie „Politehnica București”, București, România

Absolvent al Facultății de Transporturi, specializarea „Ingineria Transporturilor și a Traficului” și al masterului de „Transport și Trafic Urban” în cadrul Universitatea Națională de Știință și Tehnologie „Politehnica București”, iar în prezent student doctorand în cadrul aceleiași facultăți, domeniul „Ingineria Transporturilor”. Lucrează ca inginer în cadrul departamentului „Cercetare Dezvoltare Inovare” de la Institutul de Cercetări în Transporturi INCERTRANS S.A. .