

# UTILIZAREA SISTEMULUI DE LOCALIZARE AUTOMATĂ A VEHICULELOR ÎN EVALUAREA RITMICITĂȚII CIRCULAȚIEI AUTOBUZELOR

Drd. ing. Paula IONESCU

Regia Autonomă de Transport București, România

**REZUMAT.** Respectarea indicatorilor de calitate planificați reprezintă o condiție pentru asigurarea atractivității serviciilor de transport public. În această lucrare este analizată o metodă de evaluare a ritmicității serviciilor de transport public cu autobuze, în funcție de probabilitatea sosirii vehiculelor în stație. Studiul de caz prezentat este realizat pentru o linie de transport public cu autobuze din București, utilizând date furnizate de sistemul de localizare automată a vehiculelor. Rezultatele obținute demonstrează utilitatea metodei în planificarea și exploatarea circulației autobuzelor, în mod special în problemele de dispecerizare și control, în scopul îmbunătățirii performanței serviciului de transport.

**Cuvinte cheie:** calitatea transportului public, ritmicitatea circulației, interval de succedare.

**ABSTRACT.** Fulfillment of designed quality indicators is a condition for ensuring the attractiveness of public transport services. This paper presents a method for assessing the rhythmicity of buses function on the probability of arrival of vehicles at the station. The case study presented is developed for a public transport bus line in Bucharest, using data provided by automatic vehicle location system. The obtained results demonstrate the usefulness of the method in the planning and management of bus services, particularly on dispatching and control issues, in order to improve the performance of transport services.

**Keywords:** public transport quality, traffic rhythmicity, vehicle headway.

## 1. INTRODUCERE

Principala preocupare a operatorilor de transport public urban, în condițiile în care populația preferă în pondere semnificativă deplasările cu autoturismele, o reprezintă performanța serviciului oferit. Indicatorii de calitate a serviciilor de transport public determină atractivitatea acestora și influențează populația în alegerea modală. Din punct de vedere al utilizatorilor, este importantă asigurarea punctualității serviciilor (asociată cu timpul de așteptare în stații) și respectarea duratelor călătoriei [7, 8, 14, 15]. Sondajele de opinie au aratat că, în anumite condiții, regularitatea și ritmicitatea circulației reprezintă cele mai importante atribute ale serviciilor [9, 10].

Metodele prin care operatorii de transport public cu autobuze pot îmbunătăți regularitatea și ritmicitatea serviciilor includ: modificarea comportamentului șoferilor prin perfecționare, adaptarea graficelor de circulație la condițiile de circulație, introducerea unor acțiuni de control - cum ar fi prelungirea timpului de staționare în punctele de oprire, implementarea sistemelor de semaforizare preferențială și redefinirea traseelor (lungime, reamplasarea și concentrarea stațiilor).

În raport cu natura diferitelor cauze și al măsurilor care pot conduce la reducerea efectelor acestora,

factorii determinanți pentru regularitate și ritmicitatea serviciilor pot fi clasificați în două grupe distincte [1]. În prima categorie sunt incluși factorii care pot fi controlați de către operatorii de transport, clasificați la rândul lor în trei subcategorii generale: factori de exploatare, factori de întreținere și factori de natură umană (tabelul 1).

Factorii de exploatare depind de topologia rețelei, de principiile aplicate în planificarea serviciilor și de modul de operare. În categoria factorilor asociați activității de întreținere, se regăsesc cei care se referă la dimensiunea, vechimea și solicitarea parcului, la planurile de întreținere. Ultima categorie, factorii umani, se referă la nivelul de calificare, la procedurile de comunicare între departamente sau între echipele de conducere și cele de execuție.

Factorii exogeni, pe de altă parte, se referă la condițiile externe (de mediu, sociale) și sunt independenți de influența directă a operatorului. Aceștia includ condițiile meteorologice, evenimente imprevizibile (defecțiuni ale infrastructurii tehnice), variații neprevăzute ale cererii de transport (în cazul unor evenimente în care programul stabilit se prelungeste). Un alt criteriu de clasificare a factorilor care determină regularitatea și ritmicitatea serviciilor se referă la frecvența lor și la modul în care pot fi considerați în planificarea pe termen lung. De exemplu, factorii care

## UTILIZAREA SISTEMULUI DE LOCALIZARE AUTOMATĂ A VEHICULELOR

afectează în mod constant sistemul de transport sau care presupun un grad de apariție relativ previzibil trebuie să determine schimbări fundamentale în structura serviciului în scopul preîntâmpinării posibilelor surse. Strathman et al. (2000) [13] subliniază faptul că prin modificarea graficelor de circulație, întârzierile cauzate de congestia traficului în cazul transportului cu autobuze pot fi integrate în planurile de exploatare, reducându-se astfel impactul asupra abaterilor și întârzierilor. Pe de altă parte, se regăsesc factorii care trebuie tratați în timp real din cauza caracterului imprevizibil și al impactului asupra serviciului. Acest grup de factori este mai dificil de gestionat, chiar și în condițiile unei capacități de acționare rapidă a operatorului. Măsurile adoptate în aceste cazuri sunt pe termen scurt, orientate în primul rând spre revenirea procesului la graficul proiectat și mai puțin pe corectarea ineficiențelor de natură structurală în furnizarea serviciului.

În cele ce urmează, este prezentată o metodă pentru evaluarea ritmicității serviciilor de transport public cu autobuze pe baza probabilității sosirii în stație a vehiculelor. Utilitatea metodei este demonstrată printr-un studiu de caz realizat cu date preluate de la sistemul de localizare automată a vehiculelor pentru o linie de transport public urban cu autobuze, oferită de Regia Autonomă de Transport București (RATB). Studiul prezentat este util în planificarea și exploatarea autobuzelor, în mod special în problemele de dispecețizare și control, în scopul îmbunătățirii performanței serviciului de transport și creșterea numărului de călătorii.

## 2. ANALIZA DATELOR

Asigurarea indicatorilor de calitate care să corespundă percepției călătorilor este obținută și prin

furnizarea informațiilor actualizate cu privire la timpii de așteptare și duratele de călătorie. Acestea se adresează în primul rând călătorilor care nu utilizează în mod frecvent serviciul și depind de informațiile publicate pentru a-și planifica călătoriile [2]. Respectarea orariilor prevăzute poate constitui un argument pentru reorientarea celor care utilizează autoturismul către transportul public. De aceea, prin reducerea timpului de așteptare în stație, a abaterilor acestuia, dar și a duratelor deplasărilor, atractivitatea transportului public va crește. În condițiile nerespectării momentelor din stații prevăzute pe durata călătoriei, utilizatorii trebuie să ia în calcul un timp suplimentar de așteptare în stație, dar și pentru întârzierile de-a lungul deplasării, astfel încât momentul sosirii la destinație să fie cel planificat [3, 4].

În cazul liniilor de transport public cu frecvență de circulație ridicată, călătorii sunt preocupați în special de ritmicitatea circulației mijloacelor de transport alocate traseelor (și mai puțin de punctualitatea sosirii autobuzelor în stații, conform graficului de circulație programat). Sosirea autobuzelor în stații la intervale de timp foarte scurte (circulație grupată) sau foarte mari influențează performanța serviciului [5, 6, 11].

RATB asigură serviciul de transport public în București cu 82 de linii de autobuze, servite în perioadele de maximă solicitare cu 835 de vehicule. Toate autobuzele sunt dotate cu sistem AVL (*Automatic Vehicle Location*) și în proporție de 10% cu sistem automat de numărare a călătorilor. Datele colectate cu ajutorul computerului de bord de-a lungul perioadei de serviciu sunt descărcate pe server la sfârșitul programului zilnic, la retragerea autobuzelor în autobaze, fiind arhivate cu ajutorul unei aplicații speciale de gestionare a acestor date.

Tabela 1. Factorii care influențează regularitatea și ritmicitatea serviciilor de transport public

Categoria	Aspecte incluse în strategii pe termen lung/ planificare	Aspecte incluse în conducerea operativă
<b>Factori intrinseci/controlabili</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Topologia rețelei de transport;</li> <li>– Elaborarea graficelor de circulație;</li> <li>– Neuniformitățile cererii de transport și a duratelor de deplasare în funcție de perioadele caracteristice din zi sau sezoniere;</li> <li>– Densitatea stațiilor și localizarea acestora;</li> <li>– Comportamentul personalului – aspecte previzibile;</li> <li>– Lungimea traseului;</li> <li>– Supraaglomerarea vehiculelor;</li> <li>– Frecvența de circulație;</li> <li>– Cursele pierdute – previzibile.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Imobilizarea vehiculelor;</li> <li>– Slaba dispecețizare în terminale;</li> <li>– Expedieri cu întârzieri din autobaze;</li> <li>– Absentism imprevizibil;</li> <li>– Comportamentul personalului – aspecte imprevizibile;</li> <li>– Cursele pierdute – neprevizionate.</li> </ul>
<b>Factori exogeni/de mediu</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Variația cererii de transport;</li> <li>– Condiții meteorologice.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Accidente;</li> <li>– Incidente legate de călători;</li> <li>– Evenimente neprevăzute (prelungirea unor evenimente);</li> <li>– Variație considerabilă a cererii de transport.</li> </ul>

## INTERACȚIUNI DINTRE TRANSPORTURI ȘI DEZVOLTAREA REGIONALĂ



Fig. 1. Traseul liniei de autobuz 104.

Informațiile disponibile prin intermediul aplicației se referă la timpii de plecare a autobuzelor din stații, timpii de staționare în stații, vitezele maxime de deplasare a autobuzelor pe fiecare interstație, distanțele parcurse de vehicul. În cazul autobuzelor dotate cu sistemul automat de numărare a călătorilor, aplicația contabilizează numărul călătorilor care urcă/coboară în stațiile amplasate pe traseul unei linii.

Pentru studiul prezentat în această lucrare, a fost selectată linia de autobuz 104, care asigură legătura zonei de nord-est a orașului cu zona centrală (fig. 1). Traseul are o lungime de 23,8 km și 51 de stații, amplasate la o distanță medie de aproximativ 490 m. Monitorizarea circulației autobuzelor se realizează pe întregul traseu, la trecerea prin stații, unde acestea efectuează obligatoriu opriri pentru preluarea călătorilor. Având în vedere faptul că stația terminus Piața Operei este amplasată într-o zonă centrală a orașului, unde trama stradală nu permite staționarea autobuzelor, graficul de mers programat nu prevede timpii de staționare alocăți acestui terminal. Din această cauză, posibilitatea reglării intervalului de succedare între autobuze la acest terminal este minimă, putând fi adoptate măsuri de redirejare cu

limitarea staționării la maxim 2 minute, astfel încât să nu fie perturbată circulația generală.

Linia 104 preia fluxuri importante de călători, în special în orele de vîrf, de-a lungul traseului existând puncte de transfer către alte linii urbane de suprafață dar și către liniile de metrou. În studiu sunt analizate datele întregite în luna aprilie 2014, în zilele de lucru, în intervalul orar 6.50 – 8.50. La vârful de dimineață, autobuzele sunt programate să circule la intervale de succedare ce variază între 3 – 5 min, cu o valoare medie de 3 min 54 s.

Trasele semicurselor efectuate de către autobuzele liniei 104 pe fiecare sens de mers în intervalul orar 6.50-8.50 în ziua de 16 aprilie 2014 sunt prezentate în figurile 2 și 3. După cum se poate observa, există situații în care autobuzele circulă grupat și chiar se schimbă succesiunea traselor de-a lungul unor secțiuni de linie. În cazul grupării vehiculelor alocate unei linii, timpul de așteptare a următorului autobuz crește din cauza măririi intervalului de succedare. Circulația grupată a vehiculelor este dezavantajoasă din punct de vedere al calității în cazul unor abateri, întrucât primul vehicul va prelua fluxuri mai mari de călători, în timp ce următorul nu va fi utilizat la capacitate.

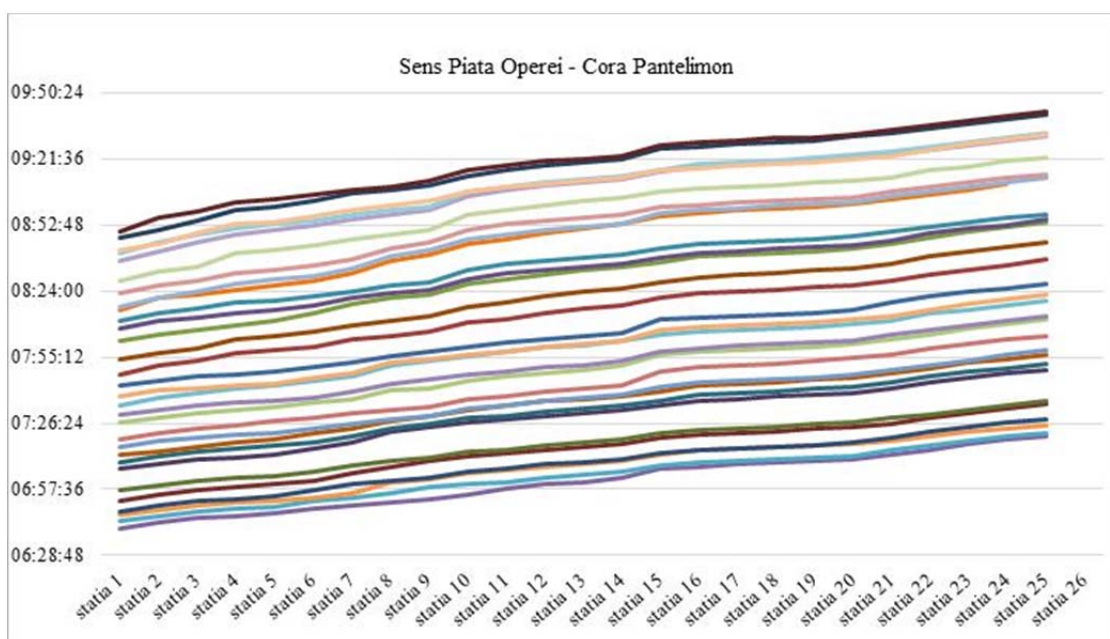


Fig. 2. Graficul semicurselor pe sensul Piata Operei – Cora Pantelimon (înregistrări pentru intervalul 6.50-8.50/16.04.2014).

## UTILIZAREA SISTEMULUI DE LOCALIZARE AUTOMATĂ A VEHICULELOR

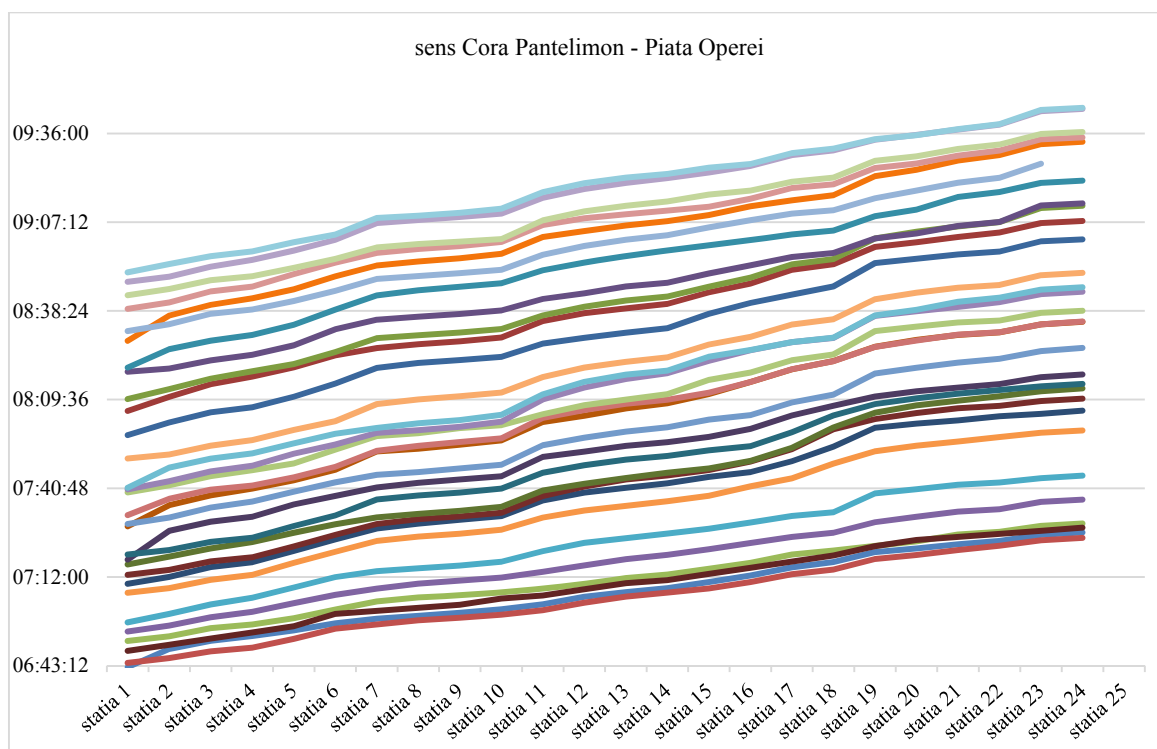


Fig. 3. Graficul semicurselor pe sensul Cora Pantelimon - Piata Operei (înregistrări pentru intervalul 6.50-8.50/16.04.2014).

Reprezentarea grafică sugerează faptul că apariția circulației grupate a autobuzelor este mult mai probabilă în situația unor expedieri neregulate în cursă din stația terminus.

Operatorul realizează urmărirea circulației autobuzelor de-a lungul traseului pe baza intervalului de succedare programat, comunicând conducătorilor de vehiculele abaterea față de graficul de mers programat. Respectarea intervalului de succedare programat între autobuze este urmărită în stațiile terminus ale liniei.

În figura 4 este prezentat intervalul de succedare dispecerizat, observându-se că intervalul de succedare cel mai probabil se situează între 3 - 4 min la terminalul Piața Operei, respectiv 1 - 3 min la terminalul Cora Pantelimon. Cazurile în care se constată intervale de succedare foarte mici sau mari sunt determinate de decizii de dispecerizare la in-

tervale scurte de timp, fie pentru preluarea unor fluxuri de călători punctual mai mari, fie de sosiri întârziate ale autobuzelor din cursă, care conduc la decalarea orelor de plecare programate de la terminale.

În figurile 5 și 6 sunt prezentate distribuțiile intervalelor de succedare pentru stațiile de pe traseu, pentru fiecare sens de mers. În general, se poate observa că există o corelare între mărirea intervalului de succedare între autobuze și gruparea autobuzelor pe traseu. Cu cât ponderea circulației grupate a autobuzelor este mai mare, cu atât crește numărul cazurilor în care intervalul de succedare se majorează.

Comparativ cu intervalul de succedare dispecerizat în stațiile terminus, reprezentarea grafică evidențiază o tendință de creștere a dispersiei distribuției acestuia pe măsura trecerii prin stațiile de pe traseu.

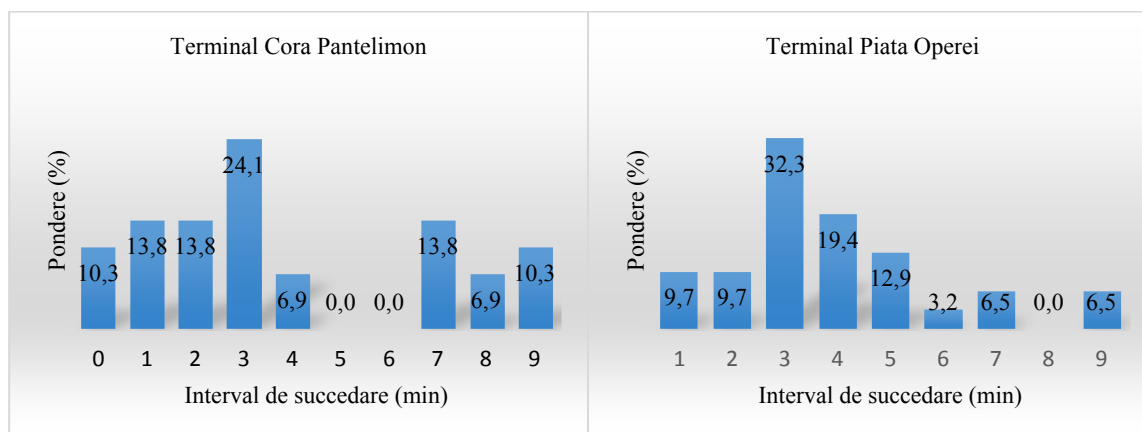


Fig. 4. Distribuția intervalului de succedare în stațiile terminus.

## INTERACȚIUNI DINTRE TRANSPORTURI ȘI DEZVOLTAREA REGIONALĂ



Fig. 5. Distribuția intervalelor de succedare în stații pe sensul spre terminalul Cora Pantelimon.

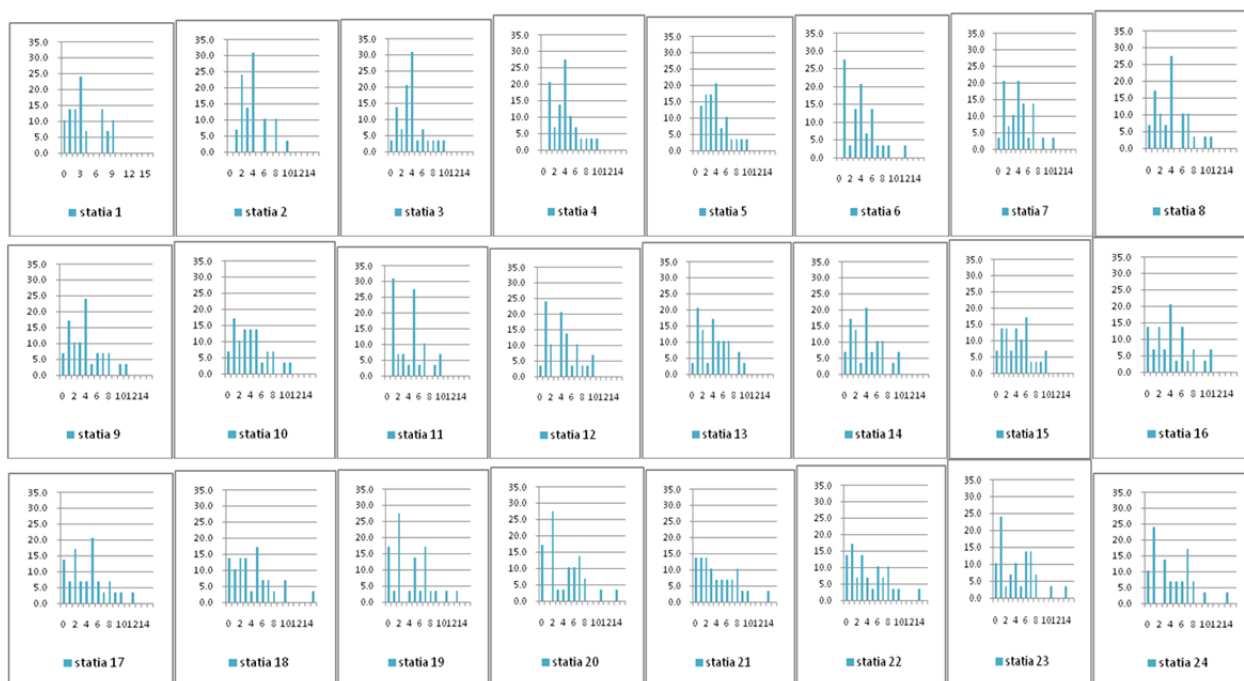


Fig. 6. Distribuția intervalelor de succedare în stații pe sensul spre terminalul Piata Operei.

### 3. CARACTERIZAREA RITMICITĂȚII VEHICULELOR PE O LINIE DE TRANSPORT PUBLIC

#### 3.1. Definirea probabilității de asigurare a ritmicității

Pentru o stație  $k$ , definim probabilitatea  $p$  ca sosirea unui autobuz să satisfacă condițiile de

calitate din punct de vedere al timpului de așteptare prevăzut de călători ca:

$$p = P(i_s^k < I_b) \quad (3.1)$$

unde  $i_s^k$  este intervalul de succedare a două vehicule în stația  $k$ ;  
 $I_b$  - momentul ca un autobuz să sosească în stație la intervalul de succedare cel mai anticipat de către călători.

## UTILIZAREA SISTEMULUI DE LOCALIZARE AUTOMATĂ A VEHICULELOR

După cum se observă, relația (3.1) nu impune restricții pentru limita inferioară a intervalului de succedare, întrucât, din punctul de vedere al călătorilor, un serviciu este cu atât mai bun cu cât timpul de așteptare este mai mic. Din perspectiva operatorului, un serviciu cu frecvență de circulație ridicată presupune costuri de exploatare mai mari.

Considerând două opriri consecutive,  $k-1$  și  $k$ , pe același traseu, se consideră următoarele notații:

- $i_k$  – intervalul de succedare între două autobuze în stația  $k$ ;
- $d_k^p$  – durata de deplasare a autobuzului precedent de-a lungul legăturii ( $k-1, k$ );
- $d_k$  – durata de deplasare a autobuzului curent de-a lungul legăturii ( $k-1, k$ );
- $t_{k-1}^p$  – timpul de oprire în stația  $k-1$  a autobuzului precedent;
- $t_{k-1}$  – timpul de oprire în stația  $k-1$  a autobuzului curent.

Intervalul de succedare în stația  $k$  este definit prin relația:

$$\begin{aligned} i_k &= i_{k-1} + t_{k-1} + d_k - t_{k-1}^p - d_k^p = \\ &= i_{k-1} + t_{k-1} - t_{k-1}^p + \Delta d \end{aligned} \quad (3.2)$$

unde  $\Delta d = d_k - d_k^p$  este diferența dintre duratele de deplasare de-a lungul legăturii ( $k-1, k$ ) a autobuzului curent și a celui precedent.

Dacă se consideră sosiri uniforme a călătorilor în stație și îmbarcări/debarcări, timpul de oprire în stație a autobuzului  $t_{k-1}$  sau  $t_{k-1}^p$  conform ecuației (3.2) poate fi scris:

$$\begin{aligned} t_{k-1} &= \lambda_{k-1}^s (i_{k-1} - t_{k-1}^p) / \mu_{k-1}^i = \\ &= \rho_{k-1} (i_{k-1} - t_{k-1}^p) \end{aligned} \quad (3.3)$$

unde  $\lambda_{k-1}^s$  est intensitatea sosirilor călătorilor e în stația  $k-1$ ;  
 $\mu_{k-1}^i$  – intensitatea îmbarcării călătorilor în stația  $k-1$ ;  
 $\rho_{k-1}$  – coeficientul de solicitare definit ca raport între intensitatea sosirilor și intensitatea îmbarcărilor ( $\rho_{k-1} = \lambda_{k-1}^s / \mu_{k-1}^i$ ).

Diferența dintre intervalul de succedare și timpul de oprire a autobuzului precedent în stația  $k-1$ , ( $i_{k-1} - t_{k-1}^p$ ), reprezintă timpul maxim de așteptare a călătorilor între două autobuze consecutive, egal cu diferența dintre timpul de sosire al autobuzului curent și timpul de plecare al autobuzului precedent.

Se presupune că autobuzul are capacitate pentru preluarea tuturor călătorilor care așteaptă în stație îmbarcarea în autobuz. De asemenea, se presupune că valorile coeficientului  $\rho$  nu înregistrează valori mai mari decât 1 și că timpul de debarcare poate fi ignorat.

În ecuația (3.2), dacă se consideră că durata de deplasare de-a lungul legăturii ( $k-1, k$ ) rămâne constantă pentru două autobuze consecutive (în aceeași perioadă din zi), ceea ce presupune că nu se înregistrează variații de trafic, timpi de semaforizare diferiți sau condiții de conducere pentru șoferi, atunci  $\Delta d = 0$ .

Înlocuind  $t_{k-1}$  din ecuația (3.3) cu expresia din ecuația (3.2), rezultă intervalul de succedare:

$$\begin{aligned} i_k &= i_{k-1} + \rho_{k-1}(i_{k-1} - t_{k-1}^p) - t_{k-1}^p \\ &= (1 + \rho_{k-1})(i_{k-1} - t_{k-1}^p) \\ i_{k-1} &= (1 + \rho_{k-2})(i_{k-2} - t_{k-2}^p) \\ i_{k-2} &= (1 + \rho_{k-3})(i_{k-3} - t_{k-3}^p) \\ &\dots \\ i_2 &= (1 + \rho_1)(i_1 - t_1^p) \end{aligned} \quad (3.4)$$

Astfel,  $i_k$  devine:

$$\begin{aligned} i_k &= (1 + \rho_{k-1})(1 + \rho_{k-2})(i_{k-2} - t_{k-2}^p) - (1 + \rho_{k-1})t_{k-1}^p = \\ &= \prod_{j=2}^k (1 + \rho_{j-1})(i_1 - t_1^p) - \prod_{j=3}^k (1 + \rho_{j-1})t_2^p - \prod_{j=4}^k (1 + \rho_{j-1})t_3^p = \\ &= \prod_{j=2}^k (1 + \rho_{j-1})i_1 - \sum_{l=2}^k \prod_{j=l}^k (1 + \rho_{j-1})t_{l-1}^p \end{aligned} \quad (3.5)$$

În final, înlocuind ecuația (3.5) în ecuația (3.1), se obține:

$$p = P\left\{\left[\prod_{j=2}^k (1 + \rho_{j-1})i_1 - \sum_{l=2}^k \prod_{j=l}^k (1 + \rho_{j-1})t_{l-1}^p\right] \leq I_b\right\} \quad (3.6)$$

Ecuația (3.6) definește probabilitatea de asigurare a ritmicității determinată prin intensitatea serviciului, timpul de oprire a autobuzului precedent în toate stațiile de-a lungul traseului până în stația  $k$ , intervalul de succedare în prima stație și intervalul de succedare maxim anticipat.

Ecuația (3.6) poate fi simplificată dacă se presupune că intensitatea serviciului și timpii de oprire ai autobuzului precedent în aceste stații înregistrează valori constante, ceea ce înseamnă:  $\rho_{k-1} = \dots = \rho_3 = \rho_2 = \rho_1 = \rho$  și  $t_{k-1}^p = \dots = t_3^p = t_2^p = t_1^p = t^p$ , adică:

$$\begin{aligned} p &= P\left[\left((1 + \rho)^{k-1}i_1 - \sum_{l=2}^k (1 + \rho)^{k-l+1} t_{l-1}^p\right) \leq I_b\right] \leq \\ &= P\left(i_1 \leq \left[t^p \left(\frac{(1+\rho)}{\rho} - \frac{1}{\rho((1+\rho))^{k-2}}\right) + \frac{I_b}{(1+\rho)^{k-1}}\right]\right) \end{aligned} \quad (3.7)$$

Din ecuația (3.7) se poate observa că, în situația în care  $I_b > (1 + \rho)t^p/\rho$ , probabilitatea ca intervalul de succedare să fie la nivelul celui mai anticipat interval scade pe măsură ce crește numărul stațiilor.

Aceasta sugerează faptul că există un prag pentru  $I_b$  sub care probabilitatea de ritmicitate crește pentru opririle ulterioare.

**3.2. Determinarea corespondenței repartiției empirice a intervalelor de succedare cu repartiții teoretice**

Pentru datele analizate, utilizând intervalele de succedare determinate pentru terminalul Cora Pantelimon, cu ajutorul pachetului software *EasyFit*, a fost analizată corespondența repartiției datelor empirice cu diferite modele de repartiții teoretice [12]. În tabelul 2

sunt prezentate rezultatele analizei pentru trei repartiții: Gamma, Weibull, Lognormal. Repartiția Gamma este identificată ca fiind cea mai potrivită datelor înregistrate. În condițiile în care parametrul de localizare are valoarea 0, funcția de densitate de probabilitate pentru repartiția gamma cu doi parametri este:

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \exp(-\frac{x}{\beta}). \tag{3.8}$$

Utilizând repartiția Gamma pentru intervalele de succedare, se calculează probabilitatea de asigurare a ritmicității. Pentru realizarea calcului, sunt considerate următoarele ipoteze.

Tabelul 2. Repartiții teoretice identificate

Repartiția	Testul Kolmogorov-Smirnov	Testul Anderson-Darling	Testul $\chi^2$	Parametri
Gamma	<b>0,17487</b>	<b>4,9854</b>	<b>0,69637</b>	Forma $\alpha=1,6742$ scala $\beta=2,3068$ localizare $\gamma=0$
Lognormal	0,19539	6,1573	0,92959	Forma $\sigma=0,72516$ scala $\mu=1,2219$ localizare $\gamma=0$
Weibull	0,20045	5,745	1,7941	Forma $\alpha=1,6153$ scala $\beta=4,8296$ localizare $\gamma=0$

Întrucât datele furnizate de sistemul automat de numărare călători sunt insuficiente pentru modelare, timpul de oprire în stație a autobuzului este stabilit la valoarea medie de 18 s, calculată ca medie a datelor înregistrate din sistemul de urmărire.

Acest fapt presupune stabilirea unui comportament similar al conducătorilor de vehiculele, respectiv timpul de oprire este determinat de oprirea efectivă în stație a autobuzului pentru transfer de călători. Rata de sosire în stație a călătorilor este estimată la 2,25 căl/min, calculată pe baza numărului mediu de 9 călători îmbarcați în autobuze și a intervalului mediu de succedare de 4 min. Având în vedere că îmbarcarea se realizează pe toate cele 3 uși ale autobuzului, acesta având și podeaua coborâtă, se presupune că timpul mediu necesar îmbarcării în vehicul a unui călător este de 2 secunde. În aceste condiții, inten-

sitatea serviciului este de 0,075. Intervalul de succedare maxim anticipat este stabilit ca fiind egal cu intervalul maxim programat de 5 min. Valorile probabilității de ritmicitate calculate pentru stațiile de pe traseu sunt prezentate în tabelul 3.

În plus față de condițiile actuale ( $\rho = 0,075$ ,  $I_b = 5$ ), sunt considerate următoarele scenarii:

- Scenariul A, cu  $\rho = 0,075$  și  $I_b = 3$ ;
- Scenariul B, cu  $\rho = 0,15$ ,  $I_b = 5$ ;
- Scenariul C, cu  $\rho = 0,15$ ,  $I_b = 3$ .

Cu excepția scenariului A, toate celelalte cazuri îndeplinesc condiția  $I_b > (1 + \rho)t^p/\rho$ .

În scenariul A, probabilitatea de asigurare a ritmicității scade de-a lungul stațiilor consecutive. Probabilitatea de ritmicitate în cazul intervalului de succedare maxim anticipat de 5 min este în general mai mare decât în cazul celui de 3 min.

Tabelul 3. Probabilitatea de asigurare a ritmicității serviciului pentru diferite condiții de exploatare

Stația	Situația actuală ( $\rho = 0,075$ , $I_b = 5$ )	Scenariul A ( $\rho = 0,075$ , $I_b = 3$ )	Scenariul B ( $\rho = 0,15$ , $I_b = 5$ )	Scenariul C ( $\rho = 0,15$ , $I_b = 3$ )
<i>Probabilitatea de asigurare a ritmicității serviciului</i>				
2	0,72252	0,49458	0,69275	0,4662
3	0,71823	0,50737	0,65994	0,45349
4	0,71419	0,51906	0,62904	0,44227
5	0,71038	0,52974	0,60031	0,43239
6	0,7068	0,53952	0,5739	0,42372
7	0,70343	0,54848	0,54983	0,4161
8	0,70027	0,55669	0,52806	0,40944
9	0,6973	0,56422	0,50851	0,4036
10	0,69452	0,57114	0,49103	0,3985
11	0,69191	0,5775	0,47547	0,39405

# UTILIZAREA SISTEMULUI DE LOCALIZARE AUTOMATĂ A VEHICULELOR

Tabelul 3 (continuare)

Stația	Situația actuală ( $\rho = 0,075, I_b = 5$ )	Scenariul A ( $\rho = 0,075, I_b = 3$ )	Scenariul B ( $\rho = 0,15, I_b = 5$ )	Scenariul C ( $\rho = 0,15, I_b = 3$ )
	<i>Probabilitatea de asigurare a ritmicității serviciului</i>			
12	0,68947	0,58335	0,46168	0,39016
13	0,68718	0,58873	0,4495	0,38676
14	0,68504	0,59369	0,43875	0,3838
15	0,68303	0,59826	0,4293	0,38122
16	0,68116	0,60247	0,421	0,37898
17	0,67941	0,60636	0,41373	0,37702
18	0,67777	0,60994	0,40736	0,37531
19	0,67624	0,61326	0,40178	0,37383
20	0,67482	0,61632	0,39691	0,37253
21	0,67348	0,61915	0,39266	0,37141
22	0,67224	0,62176	0,38895	0,37043
23	0,67108	0,62419	0,38571	0,36958
24	0,66999	0,62643	0,38288	0,36884

Gradul de toleranță a călătorilor care anticipează un interval de succedare de 5 min este mai mare decât în cazul celor care anticipează un interval de succedare de 3 min. Astfel, se poate concluziona că, în aceleași condiții de performanță a serviciului, ritmicitatea este percepută ca fiind mai bună la un interval de succedare anticipat de 5 min.

Probabilitatea de asigurare a ritmicității unui serviciu cu intensitate de 0,075 este mai bună decât în cazul unui serviciu cu intensitate de 0,15. Intensitatea ridicată a serviciului semnifică un nivel ridicat de activitate în stații și tinde să fie asociată cu o scădere a indicatorilor serviciului.

În condițiile în care atât intensitatea serviciului, cât și așteptările utilizatorilor sunt ridicate, cea mai scăzută valoare a probabilității ca următorul autobuz să sosească în stație la 3 min după cel anterior este 0,369.

## 4. CONCLUZII

Asigurarea nevoii de mobilitate durabilă populației urbane este condiționată de dezvoltarea unor sisteme de transport public, care, prin calitatea oferită, să confere atractivitate și să contribuie la modificarea comportamentului persoanelor în alegerea modului de deplasare (adică orientarea utilizatorilor de autoturisme către servicii de transport public). În aceste condiții, operatorii de transport sunt preocupați de creșterea calității serviciilor de transport public. Această lucrare se referă la unul dintre aspectele calității, și anume acela al respectării programului de circulație planificat.

Studiul prezentat se bazează pe datele colectate prin sistemul AVL pentru linia 104 de transport cu autobuze în București. Linia selectată se caracterizează prin frecvențe de circulație ridicate și prin

faptul că unul dintre punctele terminus (Piața Operei) este amplasat astfel încât nu dispune de spațiu de garare pentru staționări prelungite la finalul unei semicurse, staționări care ar permite reglarea intervalelor dintre vehicule în cazul apariției unor abateri de la grafic. Lucrarea propune o metodă de evaluare a ritmicității autobuzelor și prezintă analiza modului în care este asigurată ritmicitatea pentru diferite condiții de exploatare.

Una din limitările modelului constă în presupunerea că rata de sosire a pasagerilor în stații, timpul de oprire în stație a vehiculelor și duratele de parcurgere a interstațiilor sunt constante. Cu toate acestea, studiul de caz prezentat a demonstrat că rezultatele empirice corespund cu cele obținute cu ajutorul modelului matematic. În concluzie, modelul propus este util în planificarea și exploatarea autobuzelor, în mod special în problemele de dispecerizare și control, în scopul îmbunătățirii performanței serviciului de transport și creșterea atractivității lui.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Abkowitz, M.D.S., Waksam, R., English, L., Wilson, N., *Transit Service Reliability*, TSC Urban and Regional Research Series U.S. Department of Transportation (DOT): Cambridge, 1978.
- [2] Abkowitz, M., *Transit service reliability*, No. UMTA/MA-06-0049-78-1, U.S.D.O.T., Transportation Systems Center and Multisystems Inc., Cambridge MA, 1978.
- [3] Bowman, L.A., Turnquist, M.A., *Service frequency, schedule reliability and passenger wait times at transit stops*. Transportation Research Part A, 1981. **15**(6): p. 465-471.
- [4] Fu, L., Yang, X., *Design and Implementation of Bus-Holding Control Strategies with Real-Time Information*, Transportation Research Record, Issue 1791, No. 02-2325, 2002.
- [5] Furth, P.G., Muller, TH.J., *Service Reliability and Hidden Waiting Time: Insights from AVL Data*, The 85th TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 25, 2006.



## INTERACȚIUNI DINTRE TRANSPORTURI ȘI DEZVOLTAREA REGIONALĂ

- [6] Jordan, W.C., Turnquist, M.A., *Zone Scheduling of Bus Routes to Improve Service Reliability*, Transportation Science. Vol. 13, Issue 3, 1979, pag. 242-269.
- [7] Kimpel, T. J., *Time point level analysis of transit service reliability and passenger demand*. Unpublished, Doctor of Philosophy in Urban Studies, Portland State University, (2001). Portland OR, USA.
- [8] Levinson, H., *Supervision strategies for improved reliability of bus routes*, Synthesis of Transit Practice No. 15, Transportation Research Board, Washington DC, 1991.
- [9] Nakanishi, Y.J., *Bus Performance Indicators On-Time Performance and Service Regularity*, Transportation Research Record. Issue 1571, 1997, pag. 3-13.
- [10] Osuna, E.E., Newell, G.F., *Control Strategies for an Idealized Public Transportation System*, Transportation Science, Vol. 6, No. 1, 1972, pag. 52-72.
- [11] Polus, A., *Modeling and Measurements of Bus Service Reliability*, Transportation Research, Vol. 12, No. 4, 1978, pag. 253-256.
- [12] Raicu, Ș., *Sisteme de transport*, Editura AGIR, București, 2007.
- [13] Strathman, J. G., Dueker, K. J., Kimpel, T. J., Gerhart, R. L., Turner, K., Taylor, P., *Automated Bus Dispatching, Operations Control, and Service Reliability*, Transportation Research Record, Issue 1666, 1999, pag. 28-36.
- [14] Turnquist, M., *Strategies for improving reliability of bus transit service*, Transportation Research Record, Issue 818, 1981, pag. 7-13.
- [15] Turnquist, M., Blume, S., *Evaluating potential effectiveness of headway control strategies for transit systems*, Transportation Research Record, 746, 1980, pag. 25-29.

---

### Despre autor

Drd. ing. **Paula IONESCU**

Regia Autonomă de Transport București, România

E-mail: paula.ionescu@ratb.ro

A absolvit masterul de Transport și trafic urban din cadrul Facultății de Transporturi a Universității Politehnice din București (2012). În prezent, este angajat al Regiei Autonome de Transport București, cu experiență în elaborarea programelor de circulație și doctorand la Școala doctorală Transporturi din Universitatea Politehnica din București.