



# Tehnici digitale pentru controlul și optimizarea traficului rutier prin utilizarea de algoritmi de inteligentă artificială



# Echipa de cercetare

S.I.dr.ing. Cătălin Dimon

Dr.ing. Mihaela-Ancuța  
Mone

Doct.ing. Marius Teme



# Obiective

- Elaborarea unor tehnici de inteligență artificială pentru controlul timpilor de semaforizare în funcție de încărcarea segmentelor de drum
- Adaptarea vitezei de deplasare a vehiculului în trafic, în scopul reducerii timpilor de așteptare

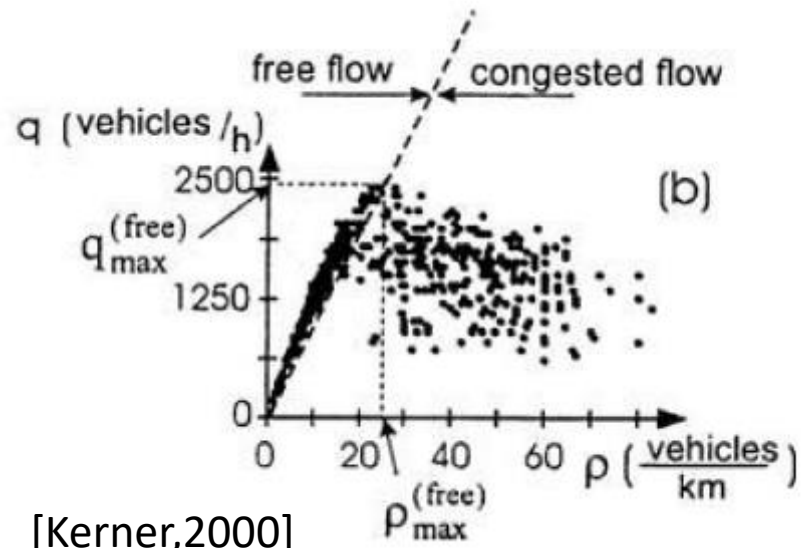


# Cuprins

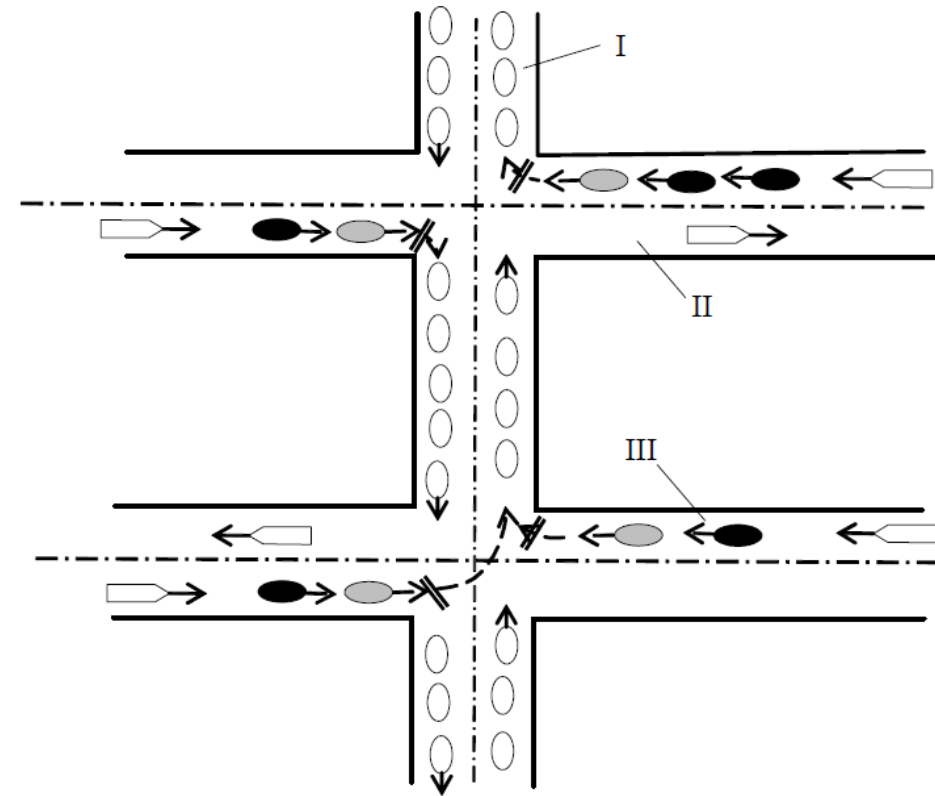
1. Introducere (Congestia rutieră)
2. Soluții pentru reducerea congestiei
3. Stare actuală a traficului în București
4. Semaforizare inteligentă
5. Modularizare algoritmi de optimizare
6. Diseminare rezultate
7. Concluzii



# 1. Congestia rutieră



[Kerner,2000]



Efectele congestiei (impactul congestiei tronsonului I asupra tronsoanelor II si III)

- vehicule blocate datorită congestiei tronsonului I
- vehicule care, din lipsa spațiului în tronsonul I, nu pot să-și continue deplasarea pe traiectoriile indicate
- vehicule blocate datorită vehiculelor din față care nu mai pot să-și continue deplasarea
- vehicule în deplasare

## 2. Soluții pentru reducerea congestiei

Creșterea continuă a traficului duce la necesitatea adoptării unor soluții care să asigure sustenabilitatea în marile orașe și la remedierea efectelor nedorite precum poluarea fonică și aerului. Principalele metode pentru reducerea traficului:

- Modificarea infrastructurii
- Îmbunătățirea transportului public/alternativ
- Controlul traficului (semaforizare inteligentă)



## 2.1 Modificarea infrastructurii

- Podul Grant, o componentă vitală a infrastructurii de transport din București, este supus lucrărilor de consolidare, începute în 2023 și programate să se încheie în primăvara lui 2025. (Restricțiile de trafic instituite din octombrie 2023 au creat deja inconveniente majore pentru șoferi, iar finalizarea lucrărilor va aduce o îmbunătățire a siguranței, dar și va continua să genereze disconfort pentru cei care tranzitează zona.)
- Unul dintre cele mai ambițioase proiecte demarate în 2024 este reabilitarea a 50 de kilometri de linii de tramvai (Semnarea contractelor pentru primele 25 de kilometri în noiembrie 2023 a marcat începutul unei intervenții complexe. Valoarea totală a lucrărilor este estimată la aproximativ 830 de milioane de lei, iar execuția acestora a început în primăvara 2024. Proiectul, cu o durată de 9-18 luni, promite îmbunătățiri semnificative în mobilitatea urbană, dar și generarea unor probleme de trafic pe durata lucrărilor.)



Podul Grant



## 2.1 Modificarea infrastructurii

- Lucrările de lărgire a străzii Prelungirea Ghencea, începute în 2019, se vor extinde și în 2024. Primul tronson, în fața stadionului Ghencea, se estimează că va fi finalizat până cel târziu în august 2024. (Cu o valoare totală a proiectului de aproximativ 336 de milioane de lei, această intervenție promite o îmbunătățire semnificativă a traficului, dar și va implica restricții temporare în zonele afectate de lucrări.)
- Primăriile sectoarelor 1, 2, 4, 5 și 6 au proiecte locale care vizează reabilitarea străzilor secundare și anumite intersecții. Deși acestea nu vor produce un impact major asupra traficului în ansamblu, ele contribuie la îmbunătățirea infrastructurii la nivel local.





## 2.2 Imbunatatirea transportului public/alternativ

Numărul de autoturisme înmatriculate a crescut de 6 ori în București din 1991 până în prezent.

Deși sunt 1.5 mil de mașini înmatriculate în București, unii experți apreciază că Bucureștiul este tranzitat de mai mult 2 mil de mașini.

Transportul public a crescut numărul de unități de 2.5 ori față de 1991.

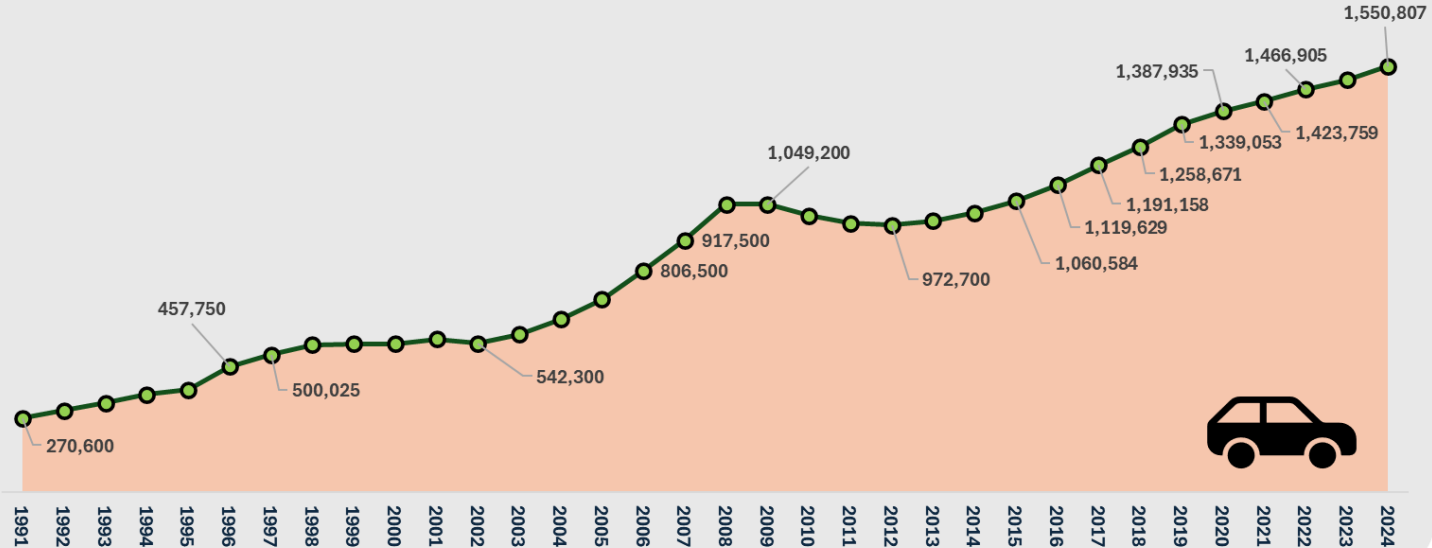
Numărul de călători care utilizează transportul public a crescut cu 23,33% în 2023 față de 2022.

În 2024 Nicușor Dan a anunțat că transportul public își va mări efectivul cu 300 de unități.

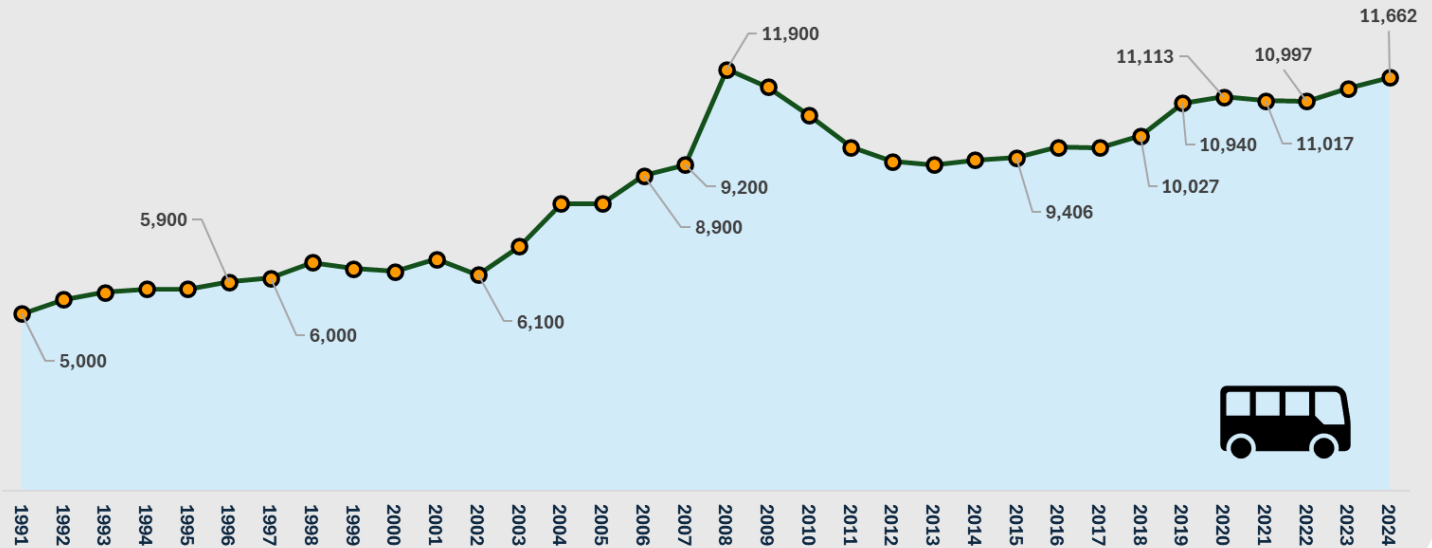


Nicușor Dan promite că toate cele 300 de noi mijloace de transport cumpărate de PMB vor circula în București în 2024: 100 de tramwee, 100 de troleibuze și 100 de autobuze electrice (Sursa foto: Facebook - Stelian Buiđăvescu)











### Autoturisme



### Transportul public



# 3. Starea actuala a traficului din București

Rank by filter	World rank ▼	City	Average travel time per 10 km ▼	Change from 2022 ▼	Congestion level % ▼	Time lost per year at rush hours ▼	Average speed in rush hour ▼
1	1	<b>London</b>  United Kingdom	37 min 20 s	+ 1 min	45	148 hours	14 km/h
2	2	<b>Dublin</b>  Ireland	29 min 30 s	+ 1 min	66	158 hours	16 km/h
3	3	<b>Toronto</b>  Canada	29 min	+ 50 s	42	98 hours	18 km/h
4	4	<b>Milan</b>  Italy	28 min 50 s	+ 20 s	45	137 hours	17 km/h
5	5	<b>Lima</b>  Peru	28 min 30 s	+ 1 min 20 s	61	157 hours	17 km/h
6	6	<b>Bengaluru</b>  India	28 min 10 s	- 1 min	63	132 hours	18 km/h
7	7	<b>Pune</b>  India	27 min 50 s	+ 30 s	57	128 hours	19 km/h
8	8	<b>Bucharest</b>  Romania	27 min 40 s	+ 20 s	55	150 hours	17 km/h
9	9	<b>Manila</b>  Philippines	27 min 20 s	+ 20 s	46	105 hours	19 km/h
10	10	<b>Brussels</b>  Belgium	27 min	+ 20 s	37	104 hours	18 km/h

Bucureștiul este pe locul 8 în topul celor mai aglomerate orașe ale lumii (2023)

*TomTomIndex*

# Bucuresti – rank **8** (2023) **55%**

How much additional time was spent in the car during rush hour in Bucharest?

■ Optimal travel time ■ Extra travel time



How much **extra time** did we spend driving in **rush hours** over the year?

**150 hours = 6 days, 6 hours**

↑ 6 h 42 min more than in 2022

# Washington – rank **55** (2023) **36%**

How much additional time was spent in the car during rush hour in Washington?

■ Optimal travel time ■ Extra travel time



How much **extra time** did we spend driving in **rush hours** over the year?

**86 hours = 3 days, 14 hours**

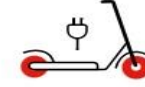
↑ 5 h 20 min more than in 2022

## Average speed in rush hour

How fast can you drive in Bucharest during rush hour?



**Bike**  
17 - 24 km/h  
25 - 35 min



**Electric scooter**  
19 - 25 km/h  
24 - 32 min



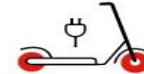
**Electric moped**  
22 - 40 km/h  
15 - 27 min

## Average speed in rush hour

How fast can you drive in Washington during rush hour?



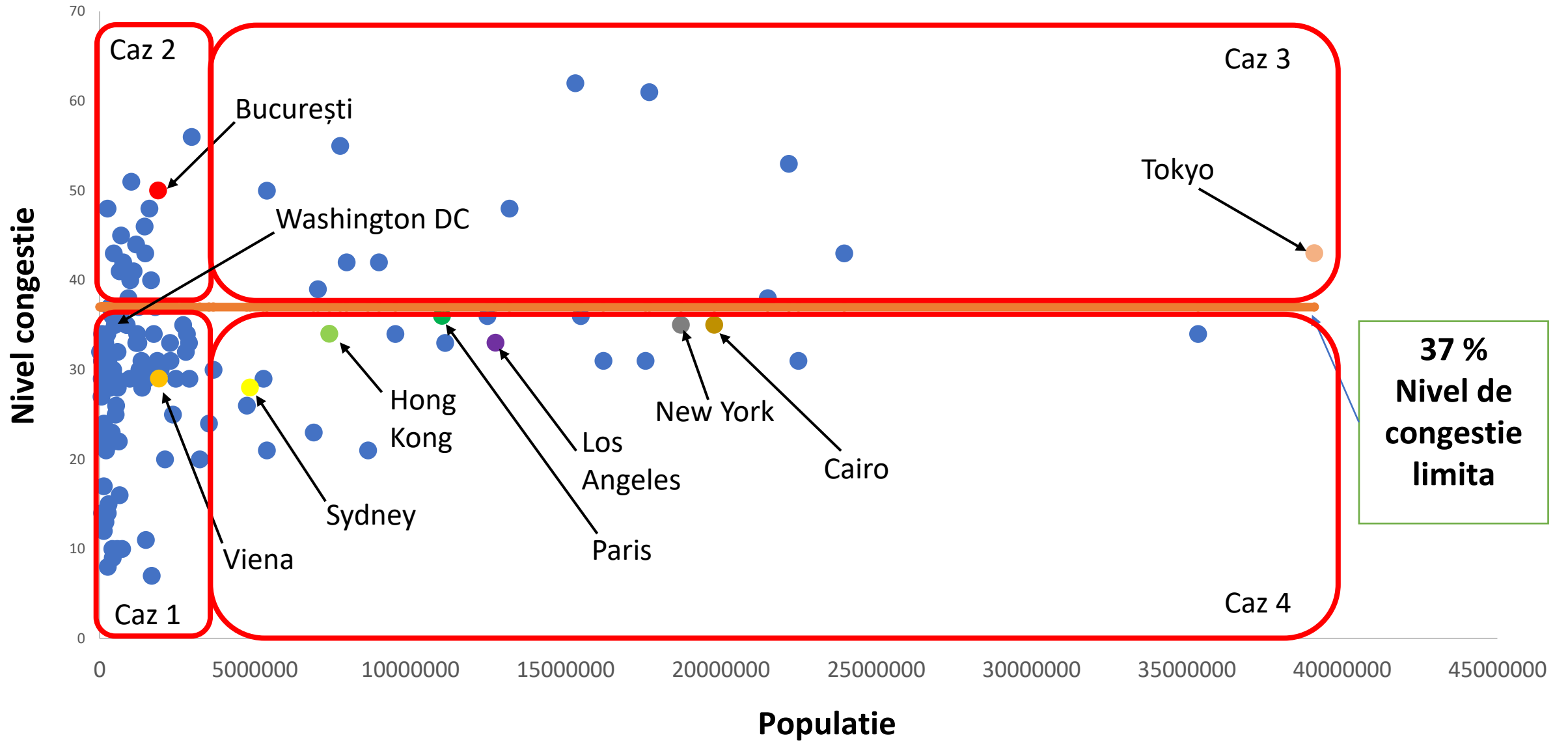
**Bike**  
17 - 24 km/h  
25 - 35 min



**Electric scooter**  
19 - 25 km/h  
24 - 32 min



**Electric moped**  
22 - 40 km/h  
15 - 27 min



# Controlul traficului (semaforizare inteligentă) în București

- Extinderea sistemului de semaforizare inteligentă din București se va face în patru etape distincte, în cadrul cărora va fi crescută și capacitatea centrului de trafic actual.

## **Etapa 1:**

- Vor fi modernizate și, după caz, reconfigurate, 85 de intersecții aferente unui număr de 5 radiale care asigură legătura dintre ieșirile importante din oraș cu zona centrală: Șoseaua Colentina, Șoseaua Alexandriei, Bd. Iuliu Maniu, Șoseaua București – Târgoviște, Șoseaua Berceni.
- Tot în această etapă, în București, vor fi amplasate 220 de stații de încărcare pentru mașinile electrice.

## **Etapa 2:**

- Este prevăzută creșterea capacității centrului de trafic actual, inclusiv prin dotarea lui tehnologică (servere, soft-uri), pentru un management al traficului mai eficient în intersecțiile deja integrate în sistemul centralizat, dar și extinderea acestuia la alte intersecții din București.



*și treceri de pietoni din București vor fi gestionate prin nou  
ntre 3 din cele 4 etape ale proiectului. Sursa foto: Facebook*

### **Etapa 3:**

- Presupune modernizarea a 185 de intersecții care sunt incluse în sistemul actual BTMS, dar care au diverse probleme (lipsă conexiune la fibra optică, bucle inductive defecte etc.). Se dorește montarea de camera video pentru contorizarea masinilor la fel ca în Germania, Austria sau Spania

### **Etapa 4:**

- Vor fi reabilitate/ modernizate 194 de intersecții semaforizate și vor fi înrolate în sistemul actual BTMS, la care se adaugă 80 de intersecții sau treceri de pietoni nesemaforizate, dar care necesită semaforizare și includere în BTMS. Se vor reactualiza diagramele de trafic, vechi de 10 ani.
- Valoarea totală a contractelor este de 25 de milioane de euro, însă din acești bani doar 12,5 milioane de euro vor fi decontați din fonduri nerambursabile.



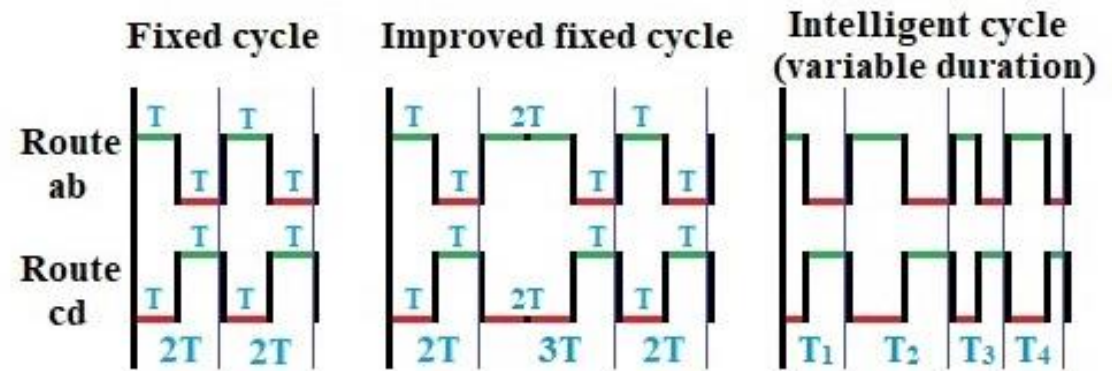
*și treceri de pietoni din București vor fi gestionate prin nou  
ntru 3 din cele 4 etape ale proiectului. Sursa foto: Facebook*

## 4. Controlul traficului (semaforizare inteligentă)

Semafor cu ciclu fix: la acest tip de semafor durata verde ( $T$ ) este egală cu durata roșu ( $T$ ) și durata ciclului este constantă ( $2T$ ).

Semafor cu ciclu modificat: semaforul este setat să mărească timpul de verde în unele momente aglomerate ( $2T$ ), doar pe artera principală (care are trafic intens), apoi să revină la valoarea implicită. Timpul roșu de pe sensul complementar va fi egal cu timpul de verde de pe sensul principal ( $2T$ ).

Semafor inteligent cu ciclu variabil: timpii de semaforizare sunt calculați pentru fiecare ciclu folosind un algoritm care ține cont de numărul de mașini implicate în trafic.



# 4.1. Algoritm QL (Machine Learning)

- Algoritmul QL folosește un tabel Q format din stări și acțiuni, pentru a găsi cea mai bună acțiune posibilă într-o situație dată.
- Algoritmul se bazează pe creșterea sau scăderea recompenselor așteptate pentru o acțiune întreprinsă într-o stare dată.
- Am considerat două stări:
  - starea 1- numărul de mașini care rămân pe sensul 1 după semaforul verde;
  - starea 2 - numărul de mașini care se acumulează pe a 2-a direcție la culoarea roșie;
  - în interiorul tabelului sunt acțiunile (timpii de semaforizare).

QL	State 1 Accumulated cars
State 2 Waiting cars	Q Traffic lights times (actions)

Stările algoritmului

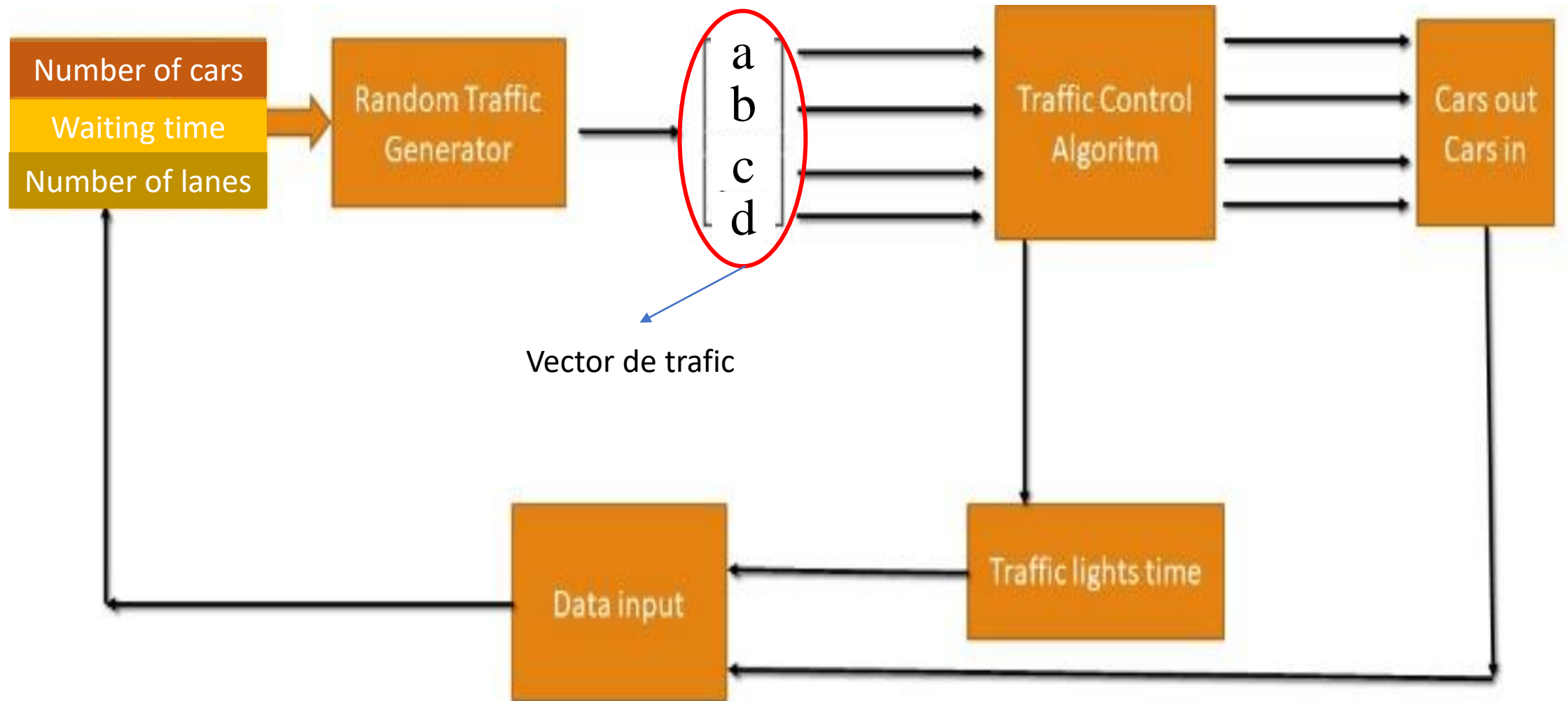
$$Q(S_t^1(i), S_t^2(j)) = Q(S_t^1(i), S_t^2(j)) + \text{sign} \left( \beta \cdot \frac{n_{last}(t-1)}{n_{last}(t-2)} + \gamma \cdot \frac{n_{acc}(t-1)}{n_{acc}(t-2)} \right) \quad (1)$$

- **n\_last** este numărul mașinilor care rămân după culoarea verde,
- **n\_acc** este numărul mașinilor care se acumulează la culoarea roșie pe sensul opus
- **β, λ** – factori de reducere
- **S<sup>1</sup>** - Stare 1 , **S<sup>2</sup>**- Stare 2

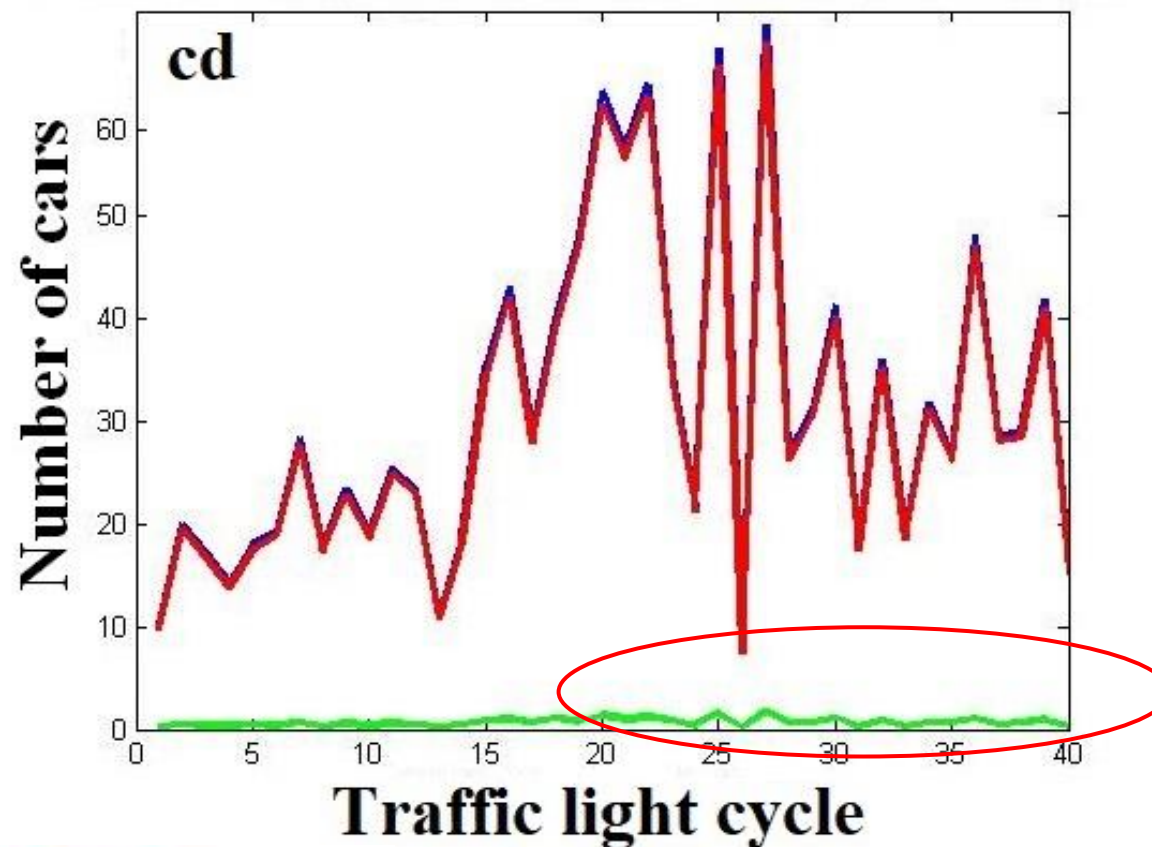
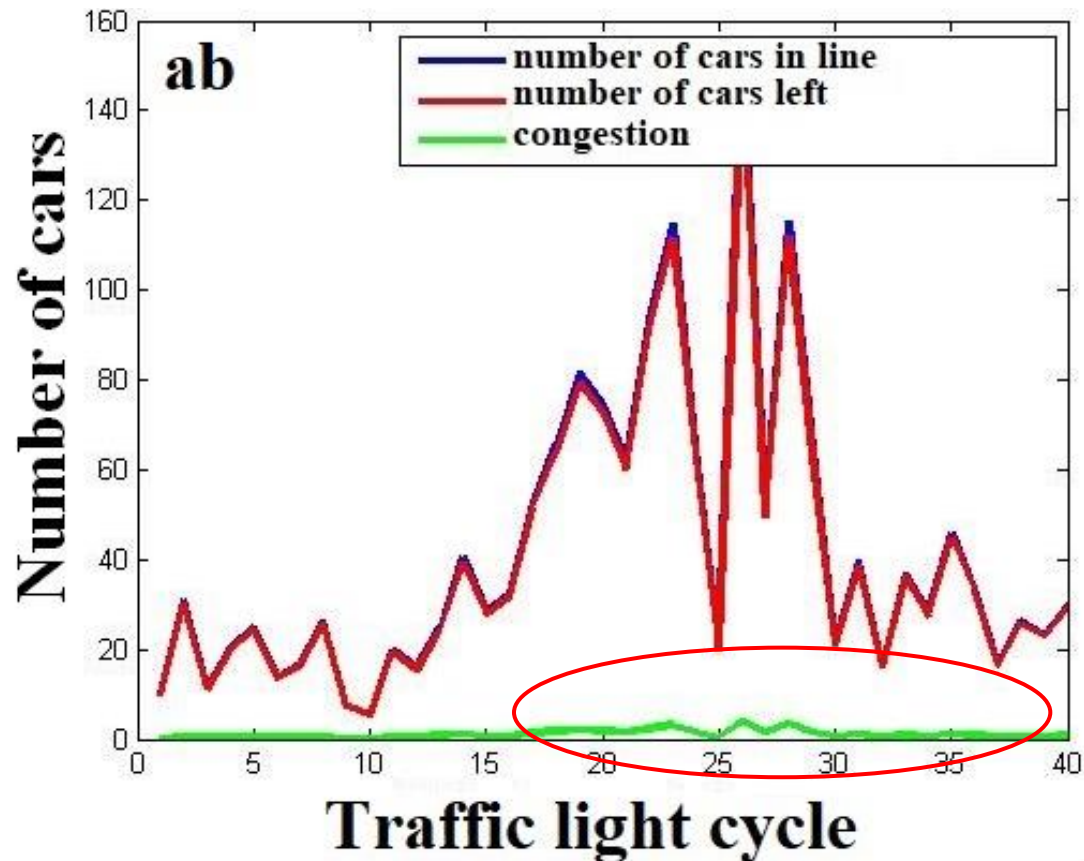
recompensă



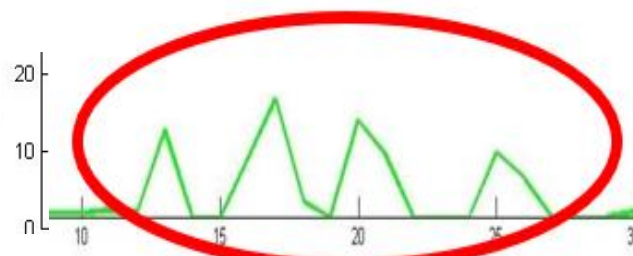
# Simulatorul de trafic



Metodă	Reducerea congestiei	Durata ciclului de trafic	Numarul de mașini a scăzut în intersecție cu:
Ciclu fix	30.38% (doar pentru o ruta - <b>ab</b> )	40 - 110	41
ML	50.18 % (ambele rute)	50 - 130	194

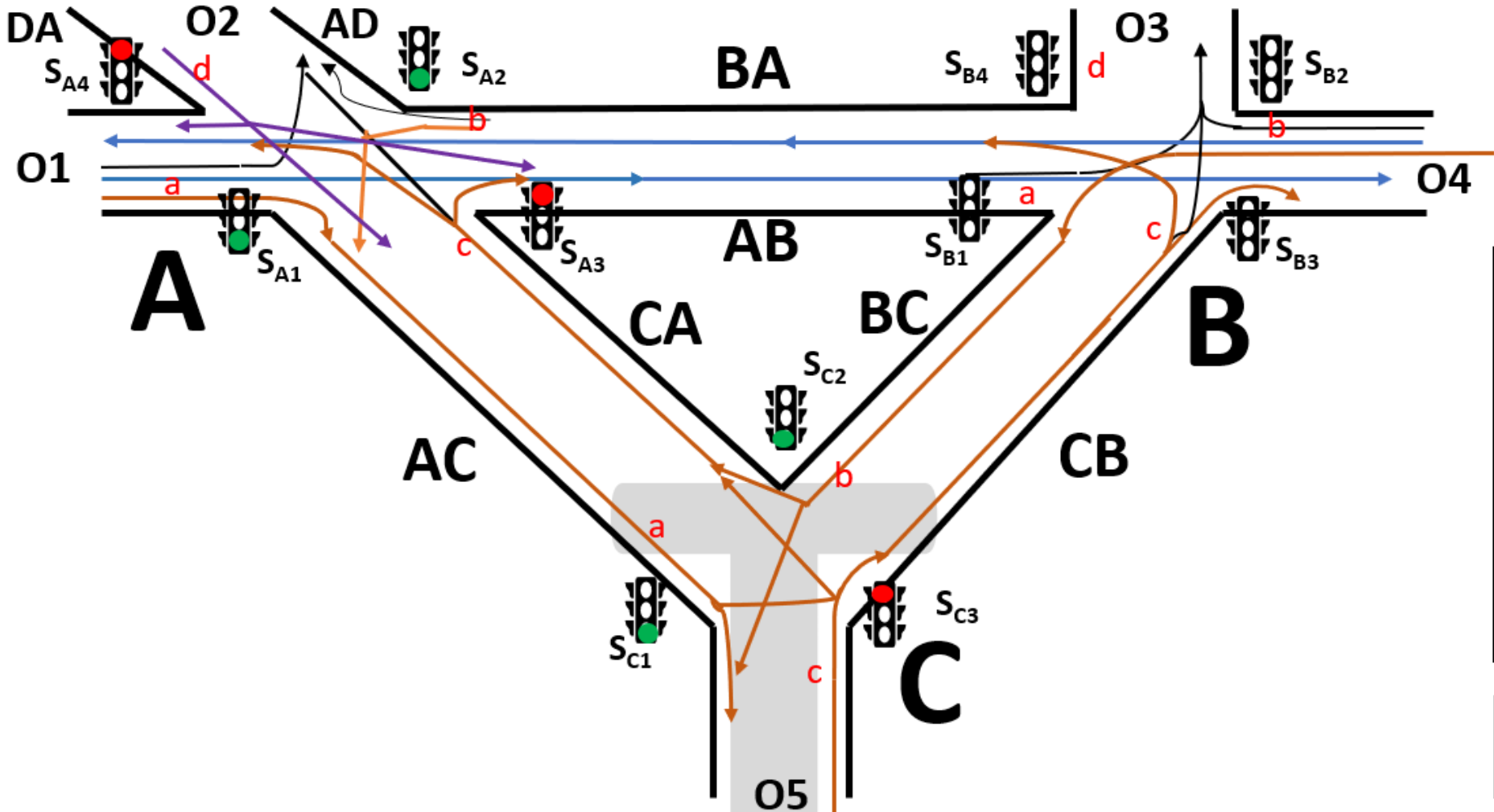


albastru număr de mașini la semaforul roșu;  
 rosu- număr de mașini care au plecat;  
 verde- număr de mașini care prind al doilea  
 semafor roșu.



Ciclu fix

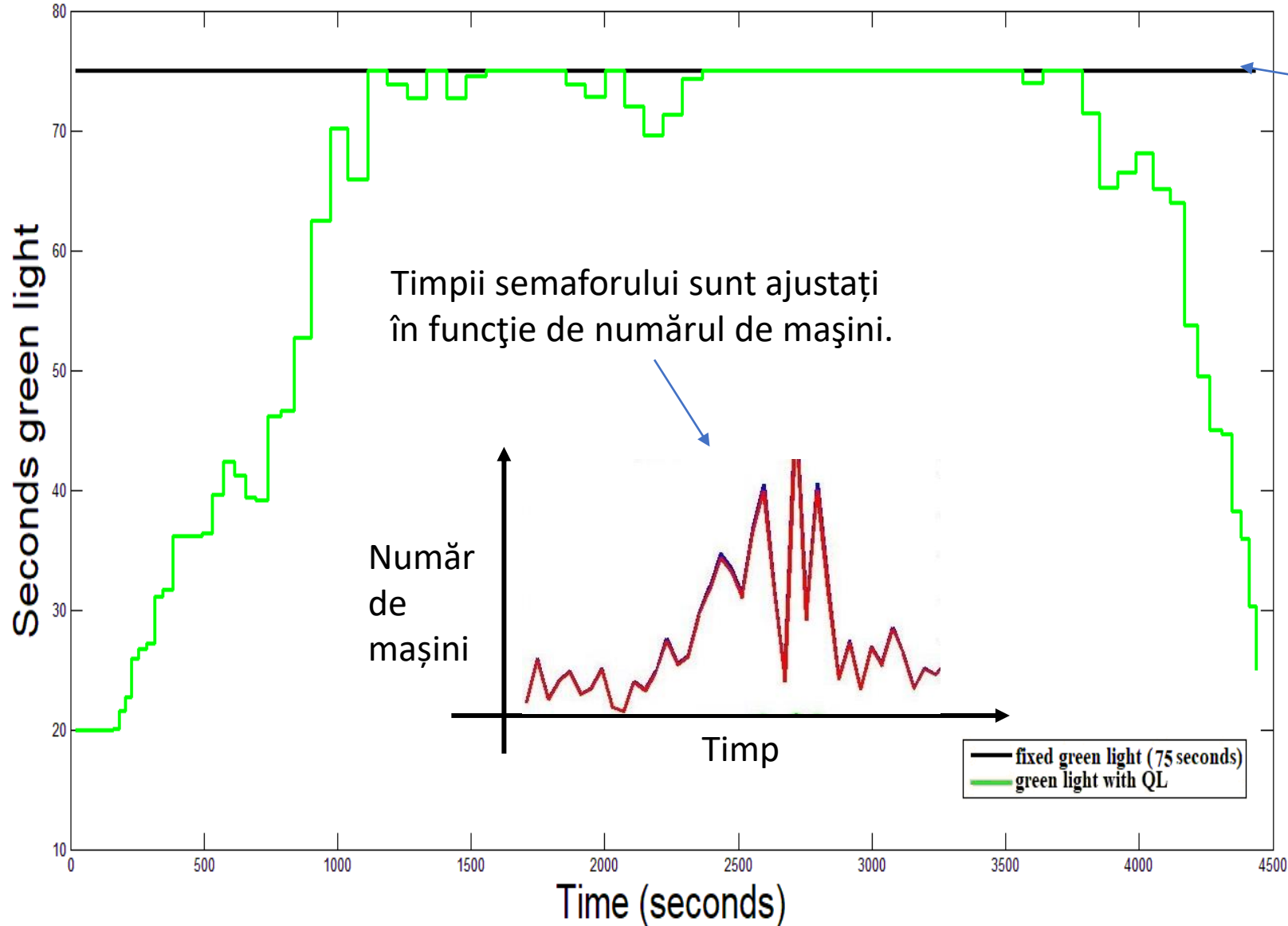
# 4.2. Modelare intersectii



Inters	Semafor	Stanga	Dreapta	Inainte	Flux_in	Flux_out
A	SA1	aO2	aAC	aAB	aO1	all(O1)+ all(O2)
	SA2	bAC	bO2	bO1	-	
	SA3	cO1	cAB	cO2	-	
	SA4	dAB	dO1	dAC	dO2	
B	SB1	aO3	aBC	aO4	-	all(O3)+ all(O4)
	SB2	bBC	bO3	bBA	bO4	
	SB3	cBA	cO4	cO3	-	
	SB4	dO4	dBA	dBC	dO3	
C	SC1	-	aO5	aCB	-	all(O5)
	SC2	bO5	-	bCA	-	
	SC3	cCA	cCB	-	cO5	

A	c(A)=all(CA)	b(A)=all(BA)	a(A)=aO1	d(A)=dO2
B	a(B)=all(AB)	c(B)=all(CB)	b(B)=bO4	d(B)=dO3
C	a'(C)=all(AC)	b'(C)=all(BC)	c'(C)=cO5	d'(C)=-

# Evoluția în timp a culorii verde a semaforului



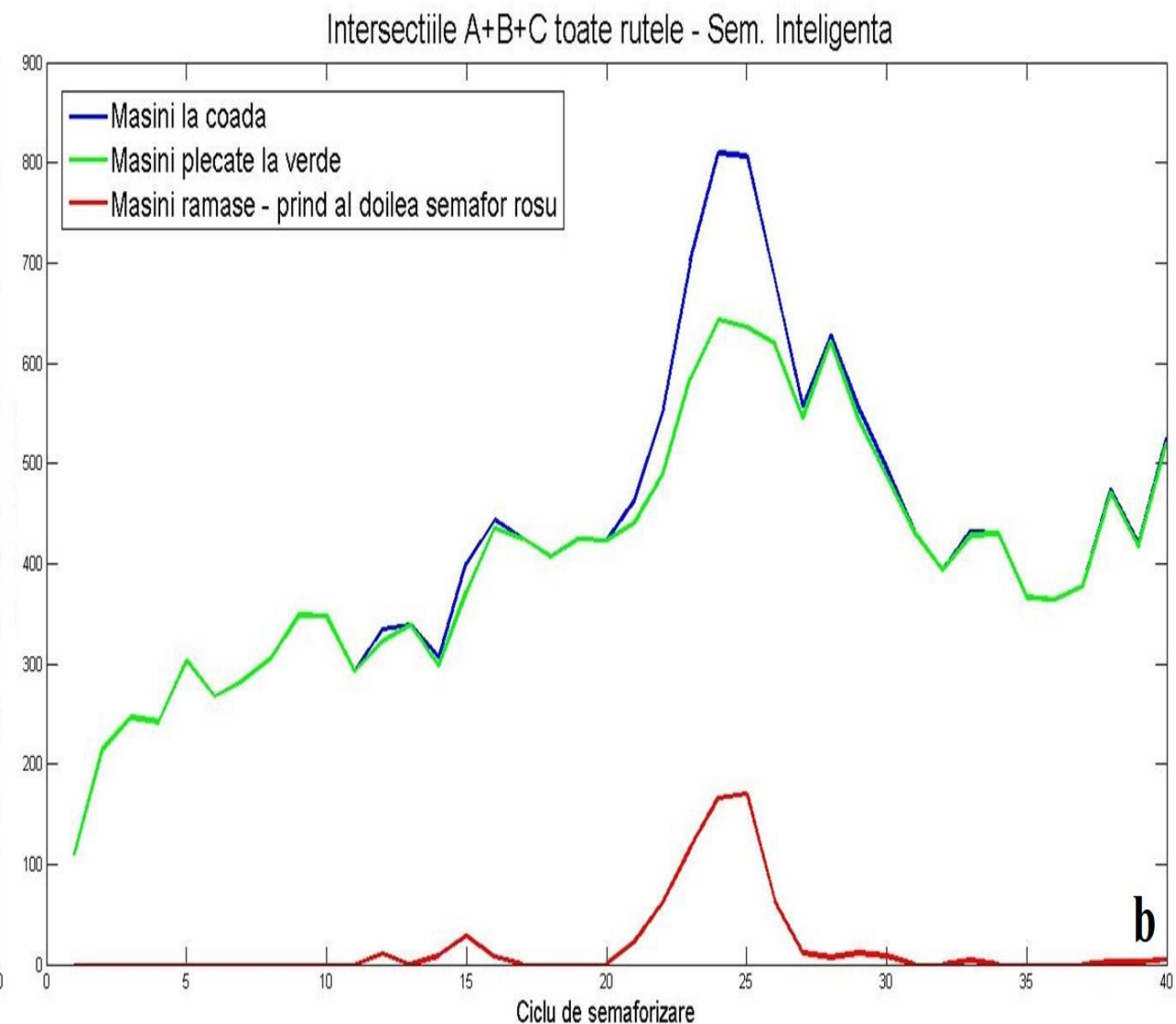
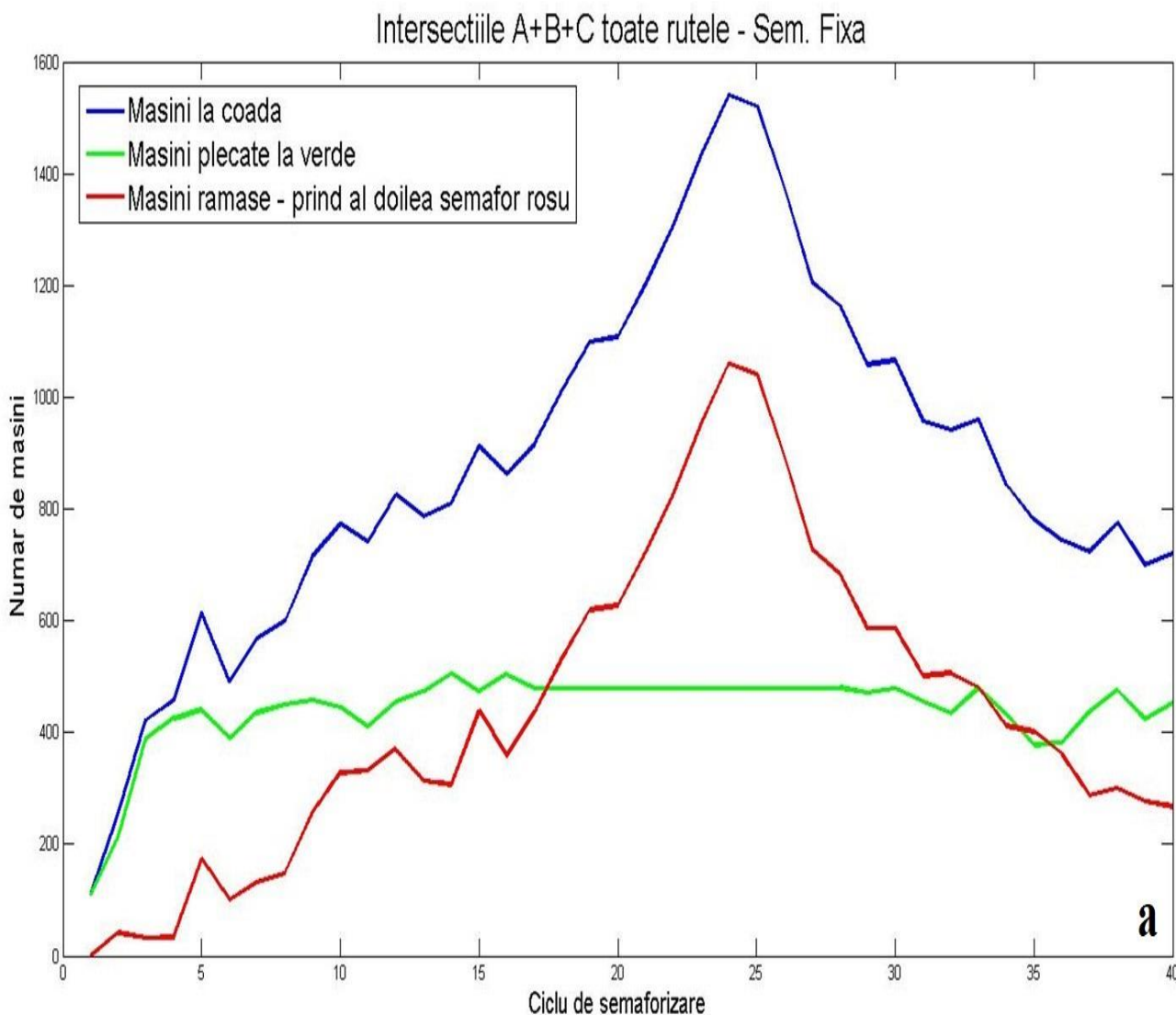
Valoare maximă a semaforului

Timpul semaforului pentru culoarea verde este variabil și depinde de traficul analizat:

- dacă sunt mai puțin de 32 de mașini avem timp verde minim **20 s**;
- dacă numărul de mașini variază între 32 și 160 atunci timpul se calculează folosind algoritmul QL între **20 s** și **75 s**;
- dacă sunt mai mult de 160 de mașini avem timp verde maxim **75 s**.

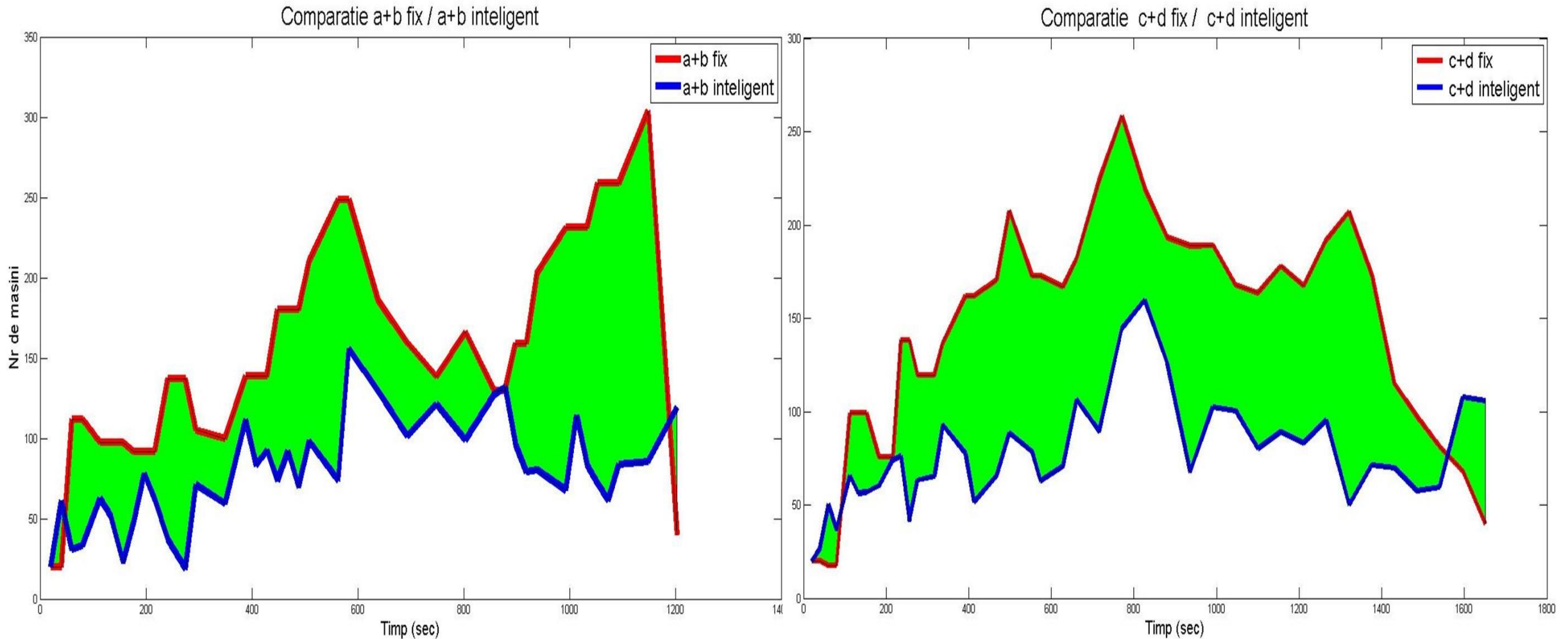
Semafor verde variabil pentru artera ab în intervalul [20, 75] secunde

# Comparație între semaforizarea cu ciclu fix și inteligent



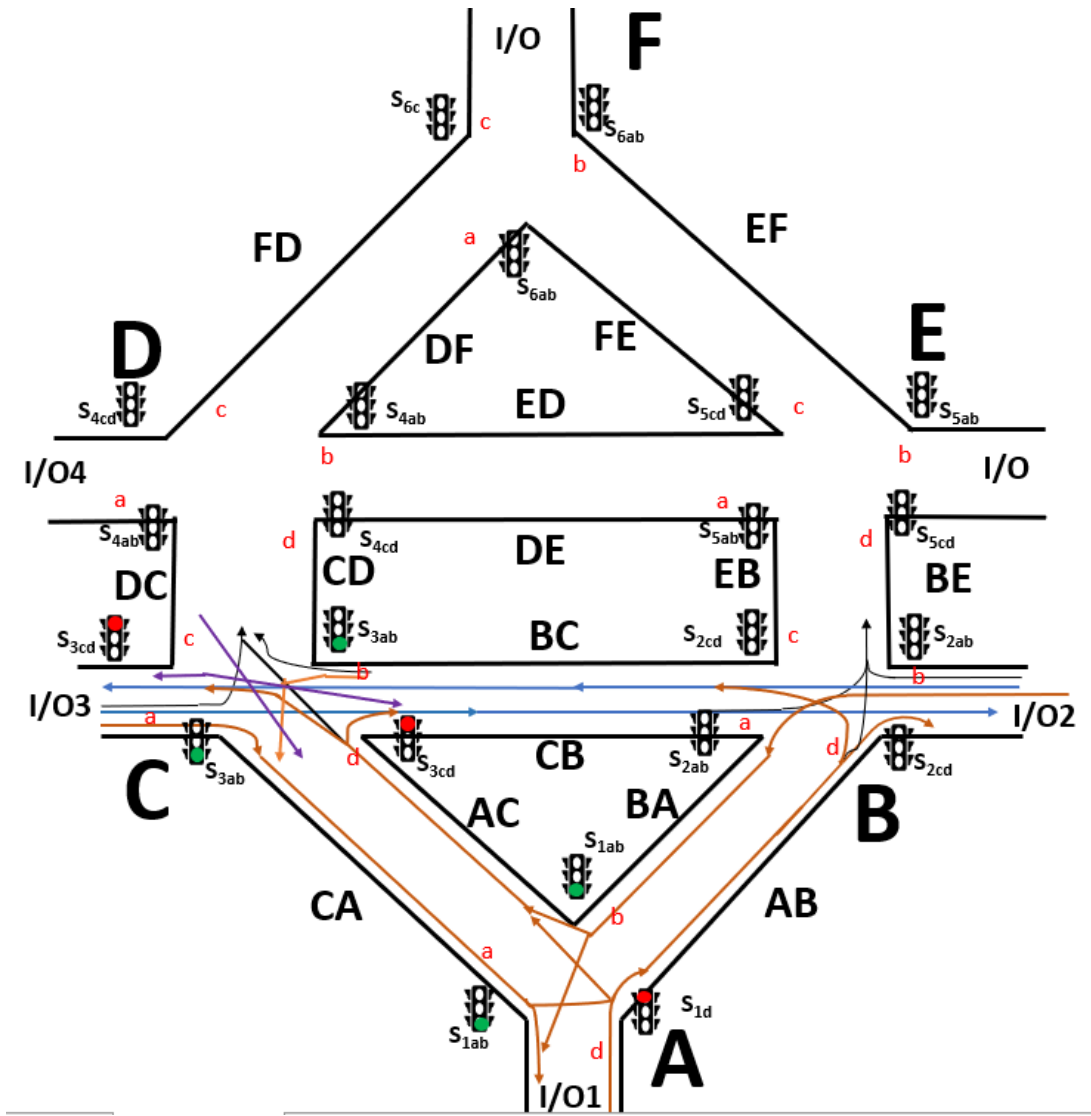
Legenda: **albastru** - număr de mașini care așteaptă la semaforul roșu; **rosu** - număr de mașini care prind al doilea semafor roșu; **verde** - număr de mașini care au plecat

# Comparație între semaforizarea cu ciclu fix și inteligent



Evoluția numărului de masini în timp la culoarea roșie: **rosu**– ciclu fix; **albastru** – ciclu inteligent

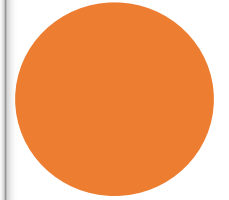
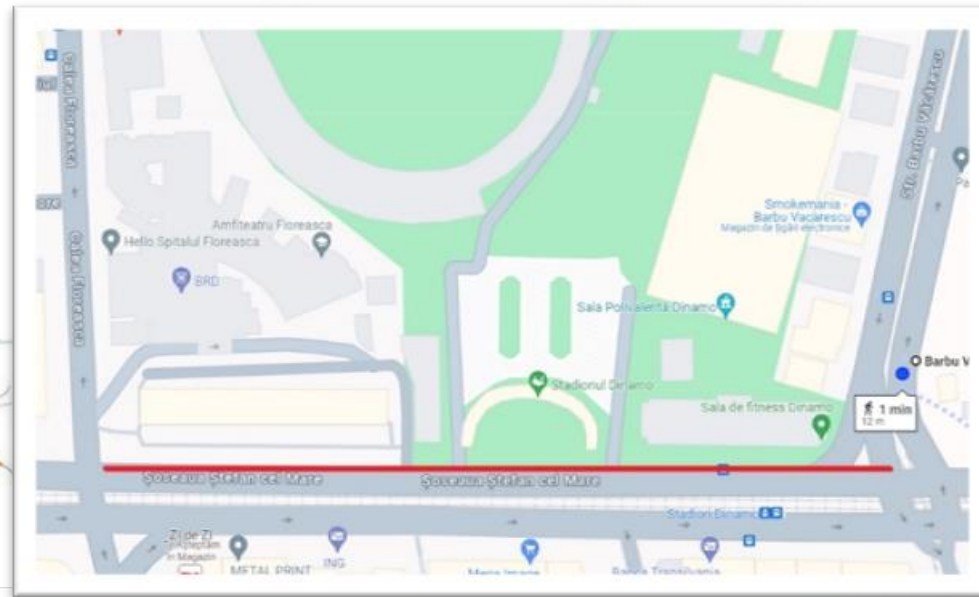
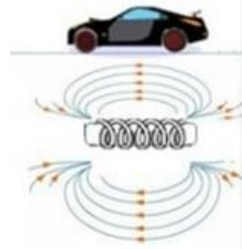
# Model 6 intersectii



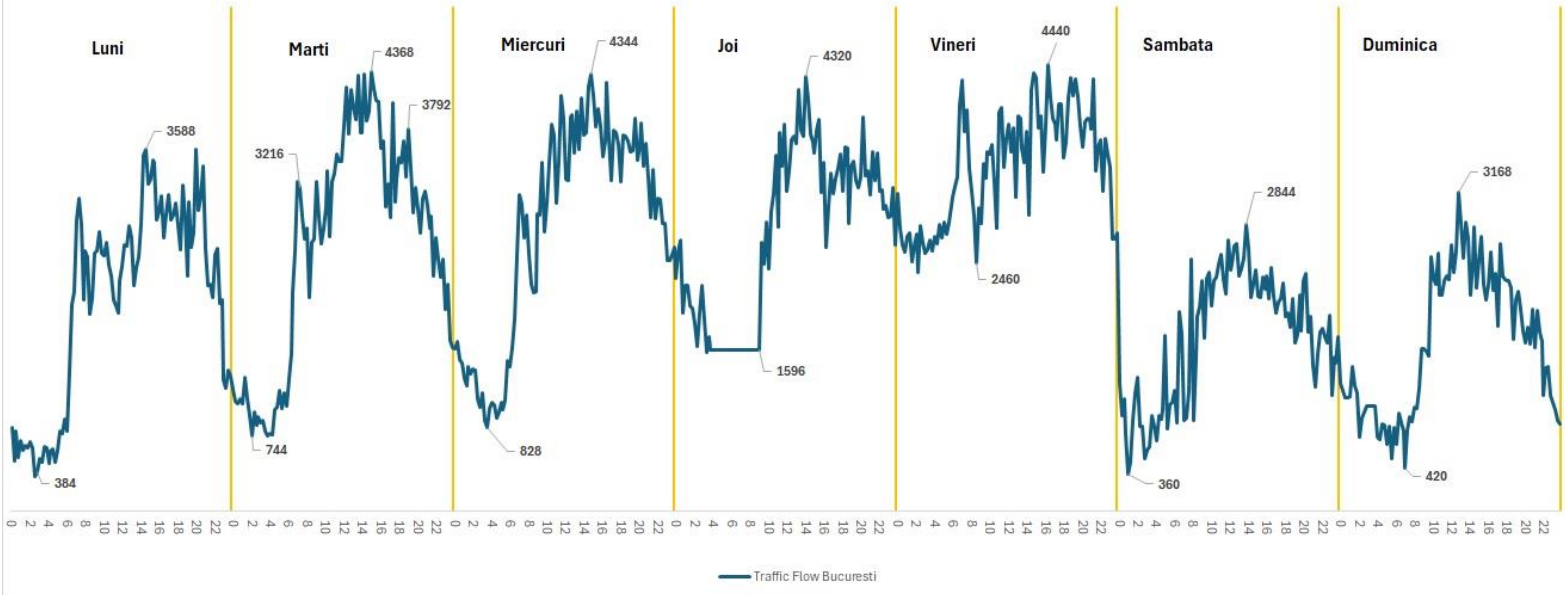
Interse	Traffic Light	Left	Right	Ahead	In Flow	Out Flow
A	SA1/S1ab	-	aO1	aAB	-	sum(O1)
	SA2/S1ab	bO1	-	bAC	-	
	SA4/S1d	dAC	dAB	-	dI1	
B	SB1/S2ab	aBE	aBA	aO2	-	sum(O2)
	SB2/S2ab	bBA	bBE	bBC	bI2	
	SB3/S2cd	cO2	cBC	cBA	-	
	SB4/S2cd	dBC	dO2	dBE	-	
C	SC1/S3ab	aCD	aCA	aCB	aI3	sum(O3)
	SC2/S3ab	bCA	bCD	bO3	-	
	SC3/S3cd	cCB	cO3	cCA	-	
	SC4/S3cd	dO3	dCB	dCD	-	
D	SD1/S4ab	aDF	aDC	aDE	aI4	sum(O4)
	SD2/S4ab	bDC	bDF	bO4	-	
	SD3/S4cd	cDE	cO4	cDC	-	
	SD4/S4cd	dO4	dDE	dDF	-	
E	SE1/S5ab	aEF	aEB	aO5	-	sum(O5)
	SE2/S5ab	bEB	bEF	bED	bI5	
	SE3/S5cd	cO5	cED	cEB	-	
	SE4/S5cd	dED	dO5	dEF	-	
F	SF1/S6ab	aO6	-	aEF	-	sum(O6)
	SF2/S6ab	-	bO6	bFD	-	
	SF3/S6c	cEF	cFD	-	cI6	

A	a(A)=sum(CA)	b(A)=sum(BA)	c(A)=-	d(A)=dI1
B	a(B)=sum(CB)	b(B)=bI2	c(B)=sum(EE)	d(B)=sum(AB)
C	a(C)=aI3	b(C)=sum(BC)	c(C)=sum(DC)	d(C)=sum(AC)
D	a(D)=aI4	b(D)=sum(ED)	c(D)=sum(FD)	d(D)=sum(CD)
E	a(E)=sum(DE)	b(E)=bI5	c(E)=sum(FE)	d(E)=sum(BE)
F	a(F)=sum(DF)	b(F)=sum(EF)	c(F)=cI6	d(F)=-

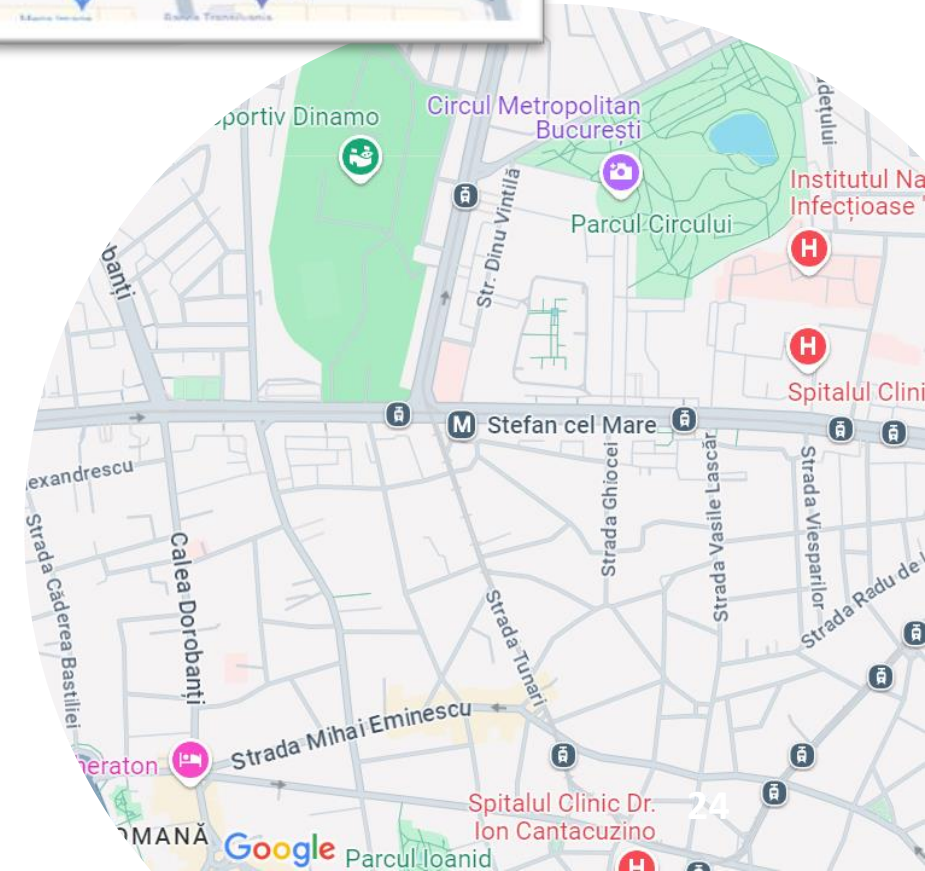
# Flux rutier



Trafic săptămânal zona Ștefan cel Mare - Victoriei (București)

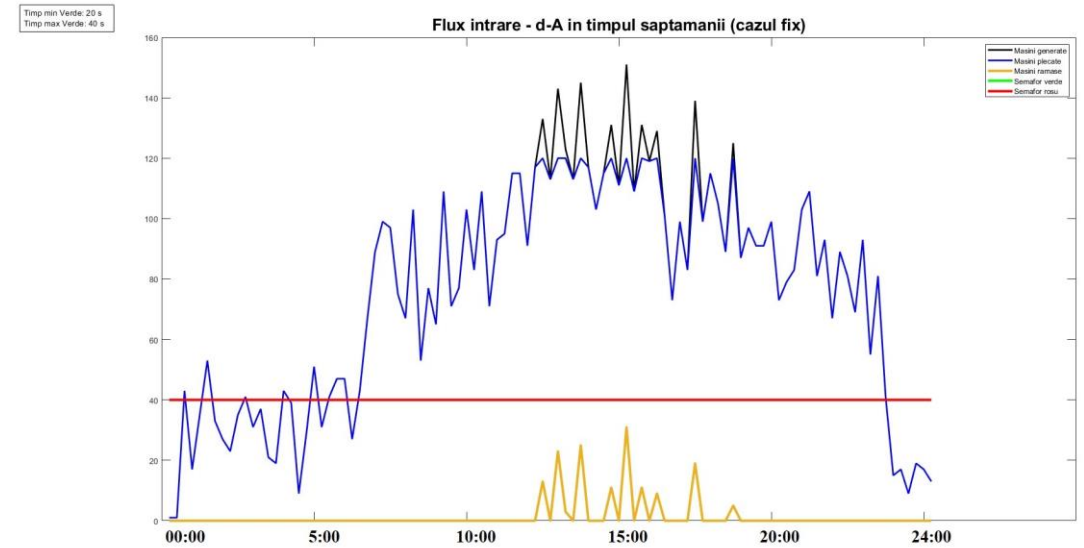
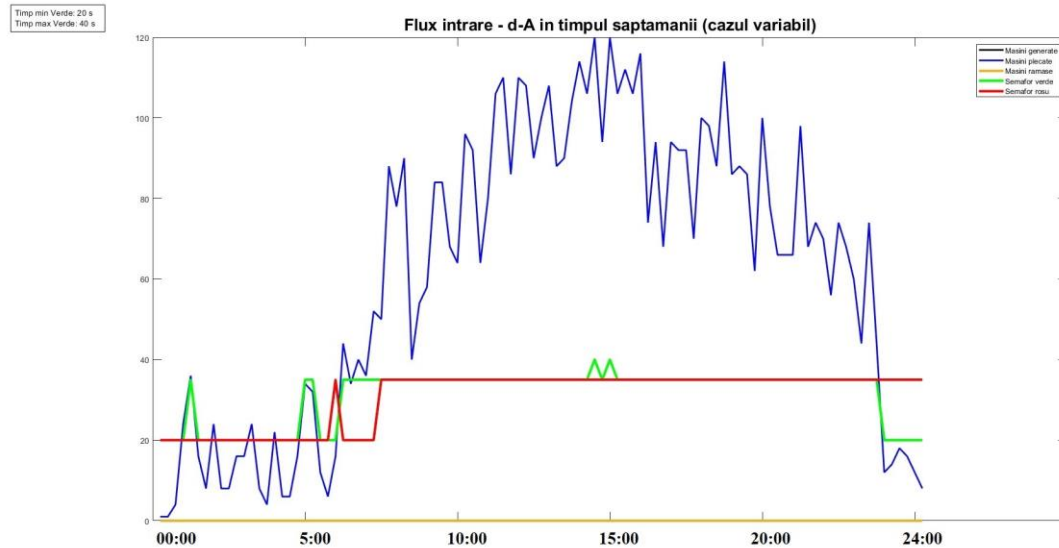


Variatii pe parcursul unei saptamani

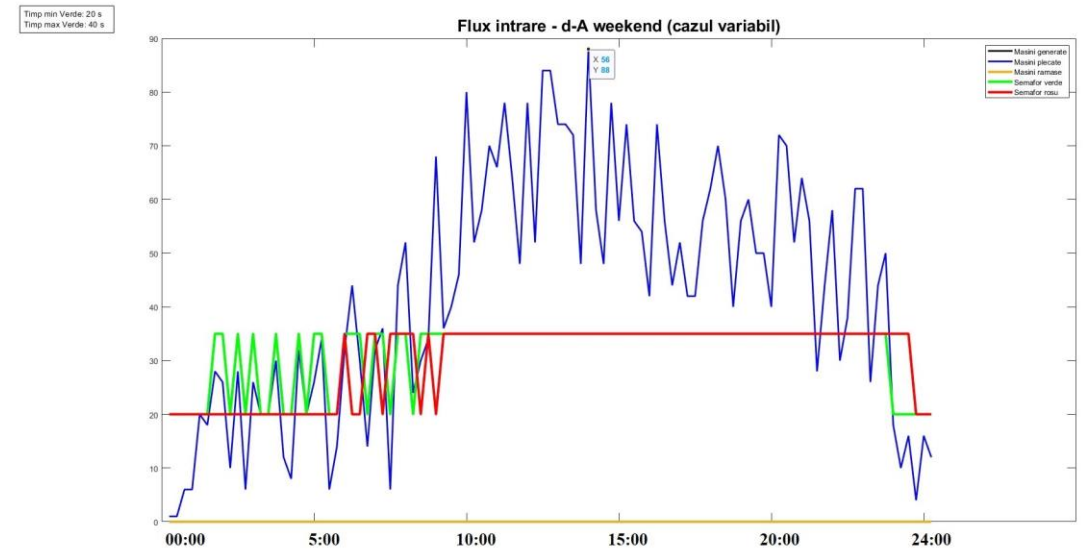
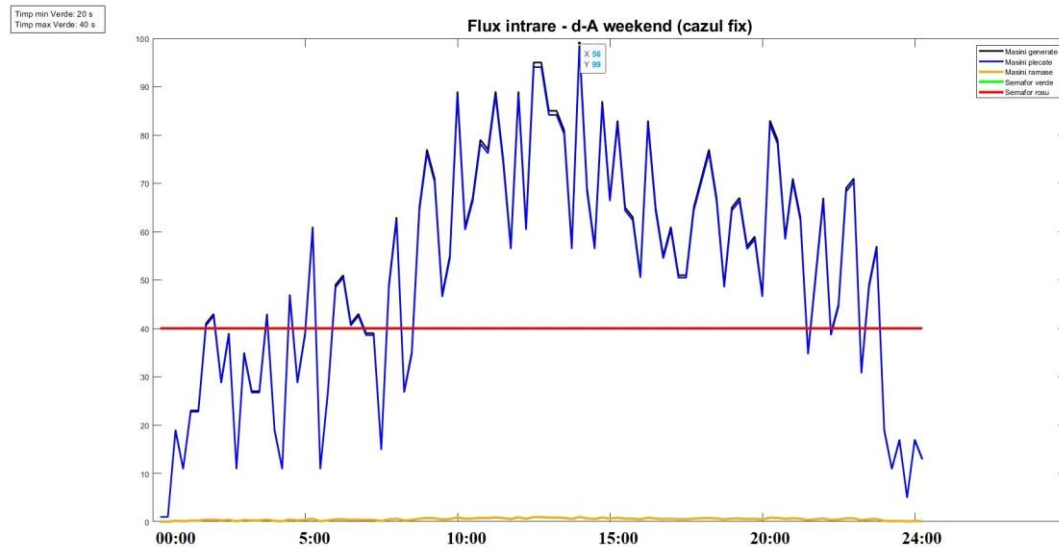




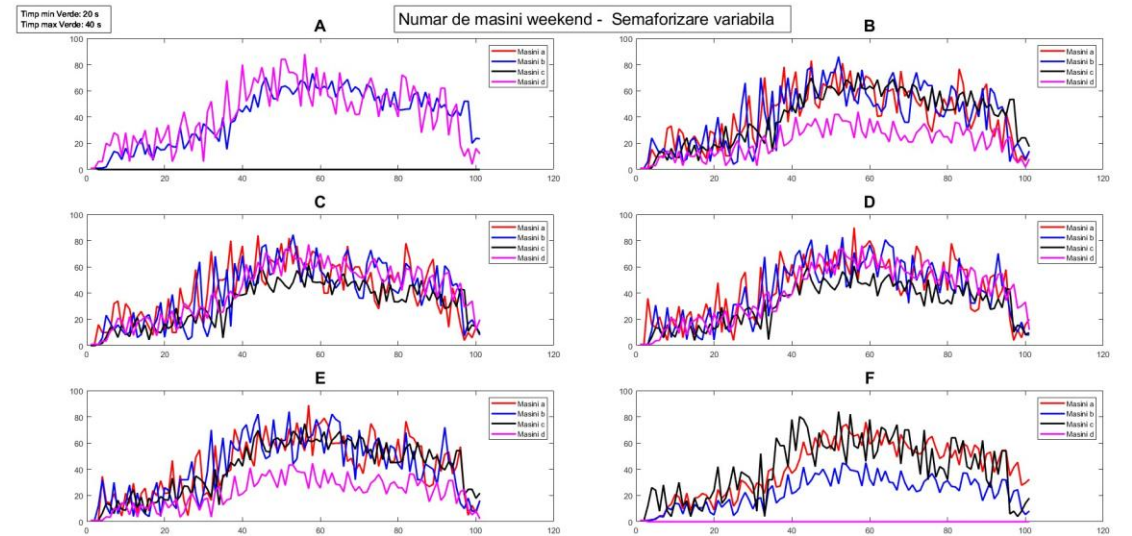
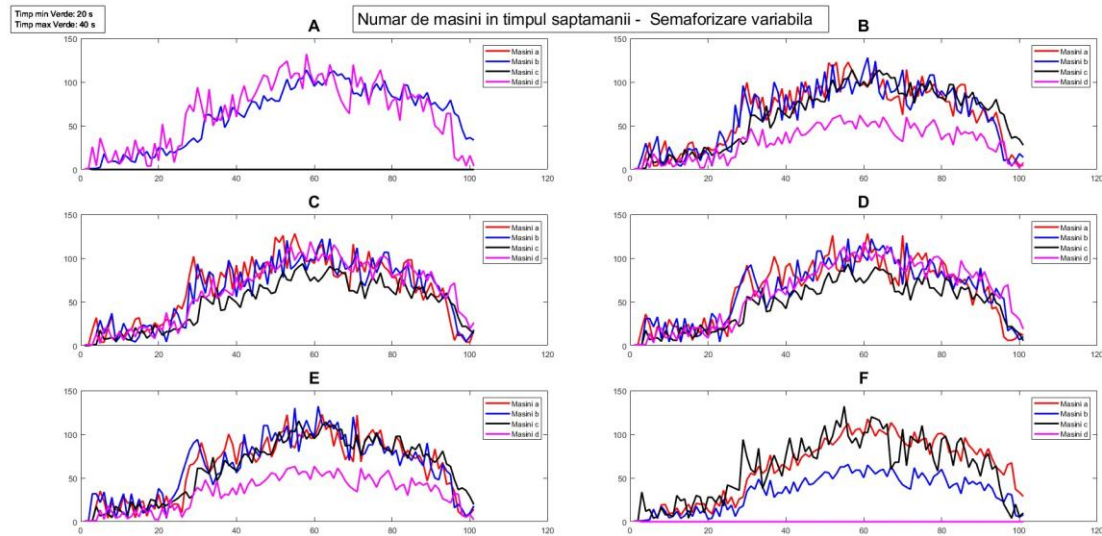
# Variatii durata cicli de semaforizare



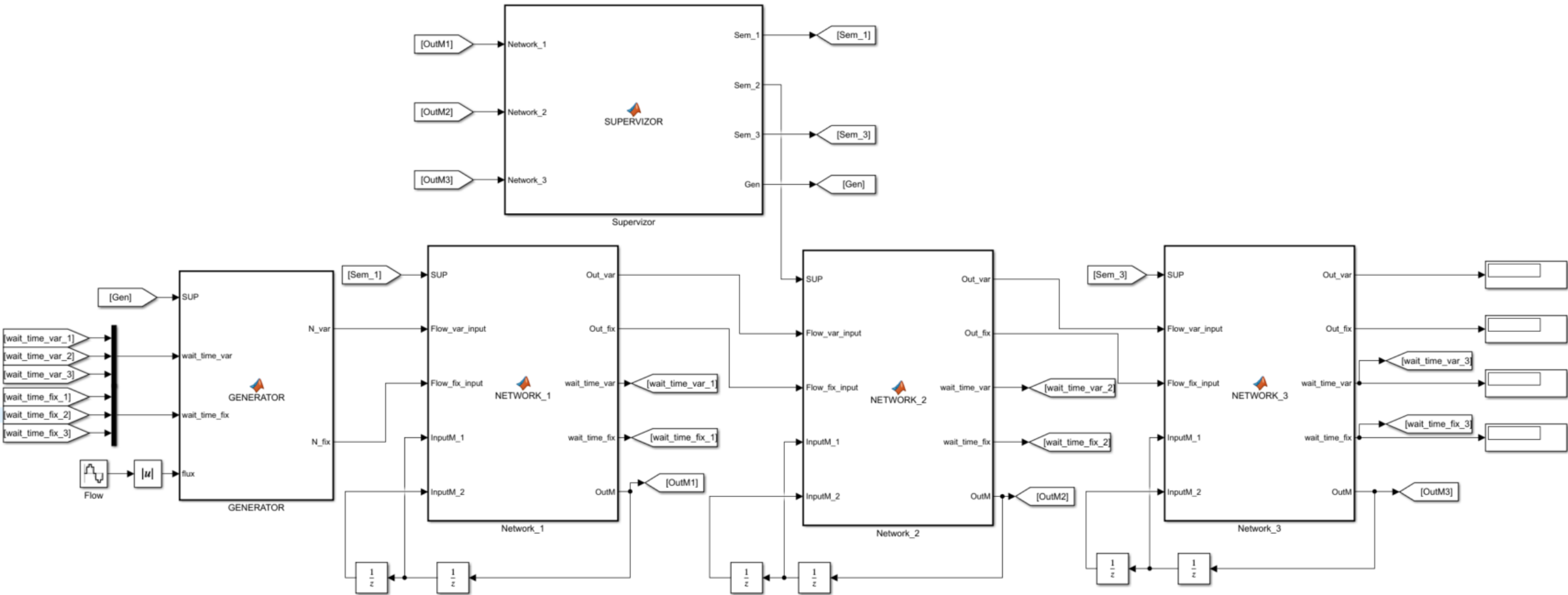
# Variatii durata cicli de semaforizare



# Variatii pe intersectii in cursul saptamanii si in weekend



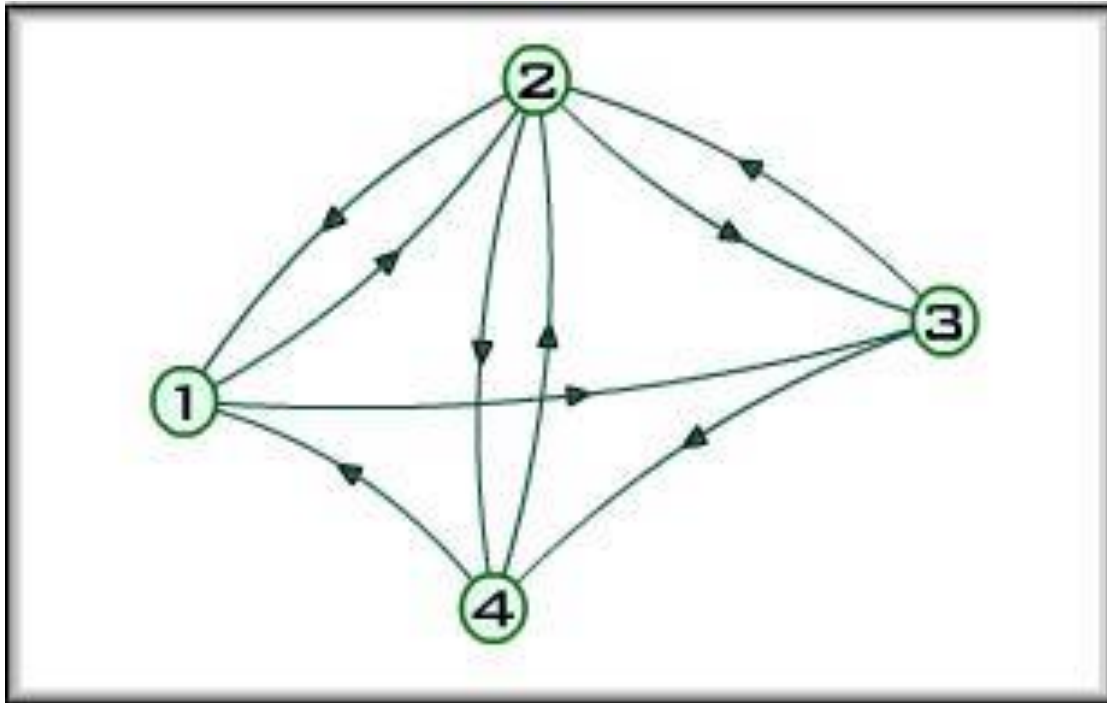
# 5. Modularizarea solutiei de optimizare



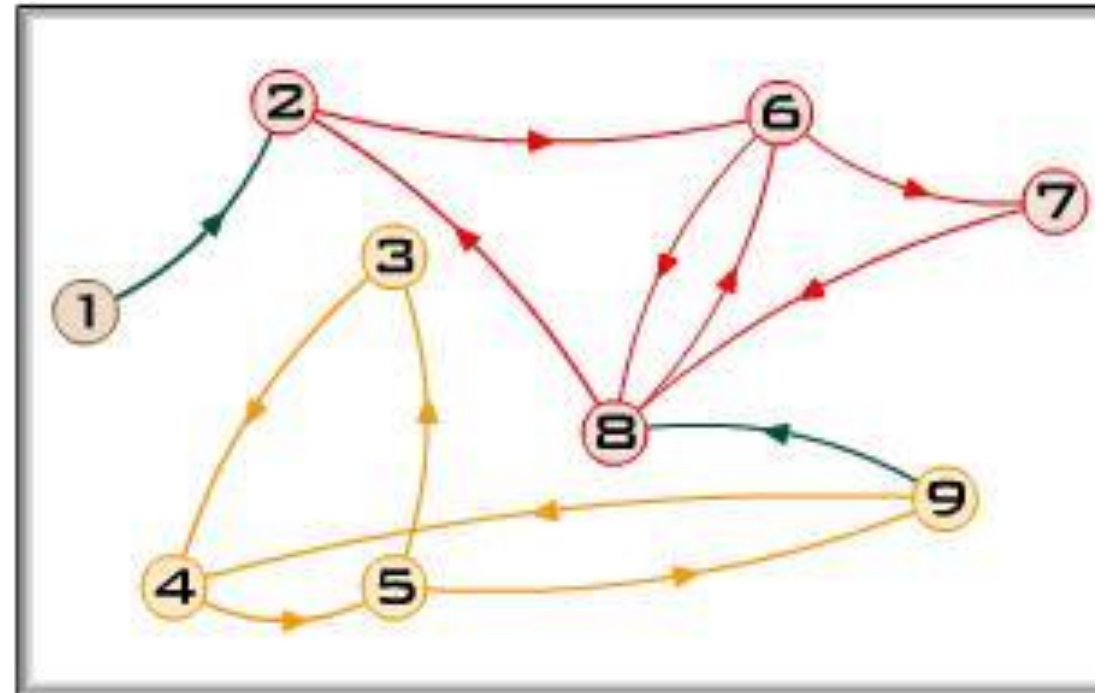
Modularizarea permite interconectarea mai multor rețele de trafic între ele și optimizarea timpilor de semaforizare automat la nivel global prin activitatea unui supervisor care poate gestiona fluxul intern și poate limita intrarea în sistem pentru a nu îl suprasolicita.

# Rutare dinamica

- Pe baza solutiei de optimizare a timpului de semaforizare modulara vom ingloba algoritmi Dijkstra si A\* de calcul al rutei optime pentru un anumit traseu tinand cont de timpii de semaforizare. Acesta va indica soferilor timpul cel mai scurt in mod dinamic de la un nod la altul, in functie de conditiile de trafic.



Graful  $G_1$



Graful  $G_2$



# Diseminare rezultate

- Participarea la Conferinta Stiintifica de Primavara - AOSR 2024, 24-25 mai 2024
  - **Modelarea traficului rutier urban ca sistem descentralizat**, C.Dimon, M. Teme, M.A. Mone, Sectia Stiinta si Tehnologia Informatiei.
- Publicarea unui articol in revista Studies in Information and Control, IF (2023) 1.2
  - **Efficiency for Routing Networks Management in Supplier-customer Distribution Systems**, R.Bilbiie, C.Dimon, D.Popescu, ISSN 1220-1766, vol. 33(2), pp. 51-58, 2024.  
<https://doi.org/10.24846/v33i2y202405>
- Publicarea unui articol la 11th International Conference on Information Technology and Quantitative Management (ITQM 2024), Bucuresti, Romania, 23-25 august 2024
  - **Management of the Traffic Networks Transportation in Supplier-Customers Services by Strategic Games**, R.Bilbiie, D.Popescu, C.Dimon.
- [TBA]Publicarea unui articol in revista IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems
  - Dynamic routing in a road network based on intelligent traffic lights, C.Dimon, M. Teme, M.A. Mone

# Concluzii

- Semafoarele cu ciclu fix introduc congestionarea traficului.
- Utilizarea semafoarelor îmbunătățite cu ciclu fix modificat scade aglomerația pe o singură arteră.
- Utilizarea semafoarelor de învățare automată (QL) reduce congestia pe ambele artere. Utilizarea acestui tip de semafor are efecte pozitive în oraș dacă majoritatea intersecțiilor mari sunt conectate la un sistem central.
- Dacă un anumit drum este supraaglomerat atunci semafoarele nu pot optimiza traficul și este necesar să se intervină asupra infrastructurii (de exemplu introducerea unui sens giratoriu).
  
- Analiza optimizării timpului de parcurs prin descompunerea rețelei rutiere existente la nivelul unui oraș în rețele de dimensiune redusă pentru calcularea unui timp minim între un nod sursă și un nod destinație.

Numar de intersecții interconectate	Reducerea congestiei	Reducerea timpului de așteptare
1 intersecție	50.18 %	48 s
3 intersecții	36.99 %	41 s
6 intersecții	30.75%	56.5 s

**Vă mulțumesc  
pentru atenție !**

