



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





Echipa de cercetare

S.I.dr.ing. Cătălin Dimon



Doct.ing. Marius Teme



Dr.ing. Mihaela-Ancuța Mone



Obiective

- Modelarea unei regiuni urbane ca o retea compartimentala, sub forma unui graf orientat
- Realizarea unui algoritm pentru optimizarea timpului de parcurs prin utilizarea de ponderi asociate segmentelor de drum



Cuprins

1. Introducere
2. Semaforizarea rutiera – clasic si inteligent
3. Optimizarea traficului
4. Rutare dinamica
5. Diseminare rezultate
6. Concluzii

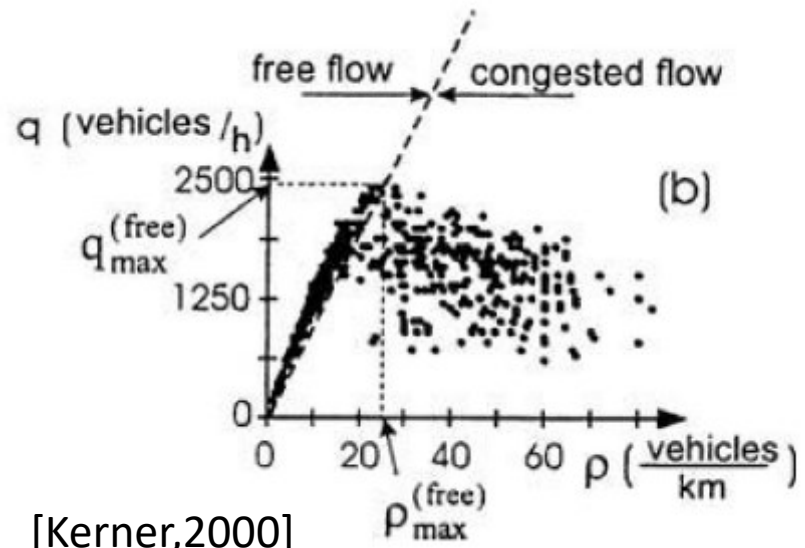


1. Introducere

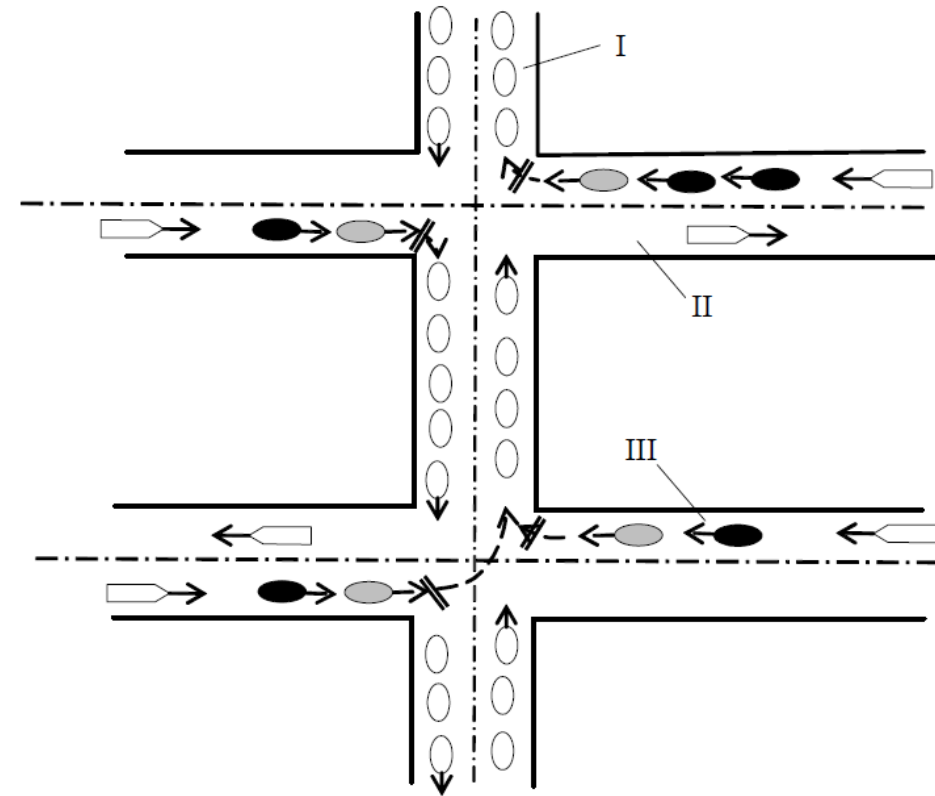
- Pe măsură ce industria auto a crescut exponențial dincolo de ritmul dezvoltării infrastructurii rutiere, problemele moderne de trafic au devenit astăzi preocupări majore în întreaga lume.
- În 2020 în București rata aglomerației ajunsese la 42% (o cursă cu mașina de 30 de minute, durează 42 de minute).
- Infrastructura stradala: 1900 - 2020



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

Solutii

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
- Imbunatatirea transportului public/alternativ
- Controlul traficului (semaforizare inteligentă)



2. Semaforizarea rutiera

Se consideră o intersecție clasică, cu patru semafoare (pentru fiecare sens **a**, **b**, **c** și **d**).

- Pe direcția **ab** sunt sincronizate semafoarele **a** și **b** (au aceeași durată de verde și roșu), analog pentru **cd**.
- Când pe direcția **ab** este verde, pe direcția **cd** va fi roșu și invers.
- Se va calcula doar timpul de verde pentru fiecare direcție, deoarece timpul de roșu va fi egal cu timpul de verde calculat pentru direcția complementară.

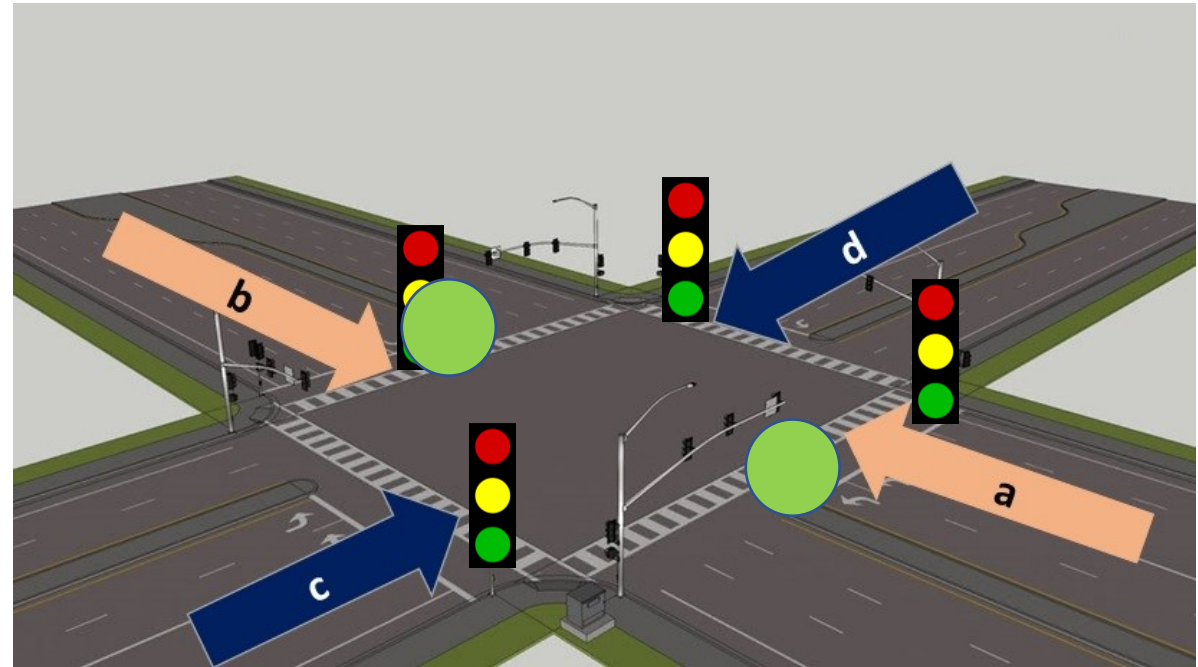
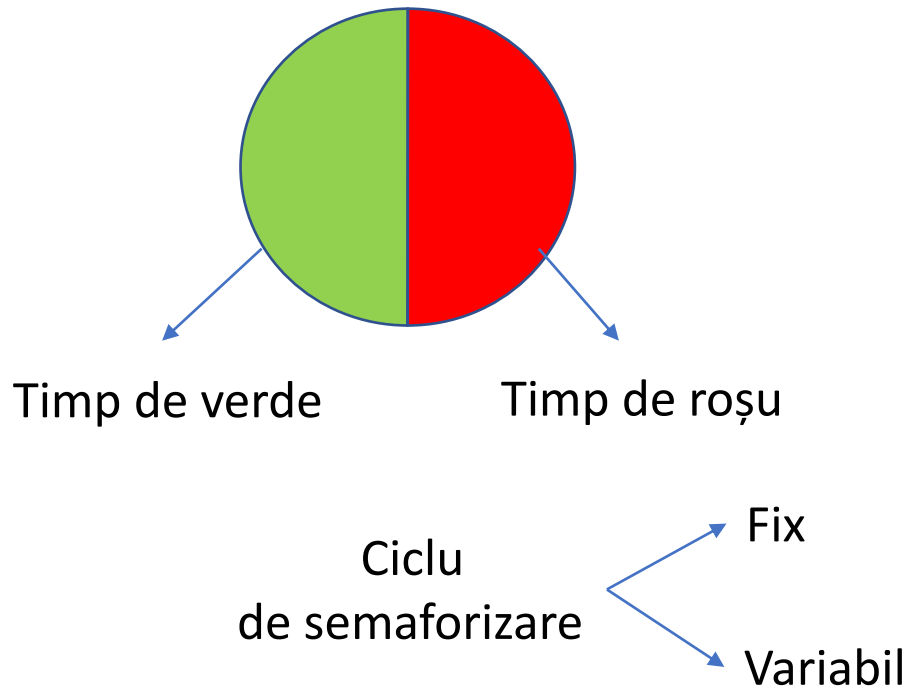


Fig. 1 – Intersecție

2. Semaforizarea rutiera

Se consideră o intersecție clasică, cu patru semafoare (pentru fiecare sens **a**, **b**, **c** și **d**).

- Pe direcția **ab** sunt sincronizate semafoarele **a** și **b** (au aceeași durată de verde și roșu), analog pentru **cd**.
- Când pe direcția **ab** este verde, pe direcția **cd** va fi roșu și invers.
- Se va calcula doar timpul de verde pentru fiecare direcție, deoarece timpul de roșu va fi egal cu timpul de verde calculat pentru direcția complementară.

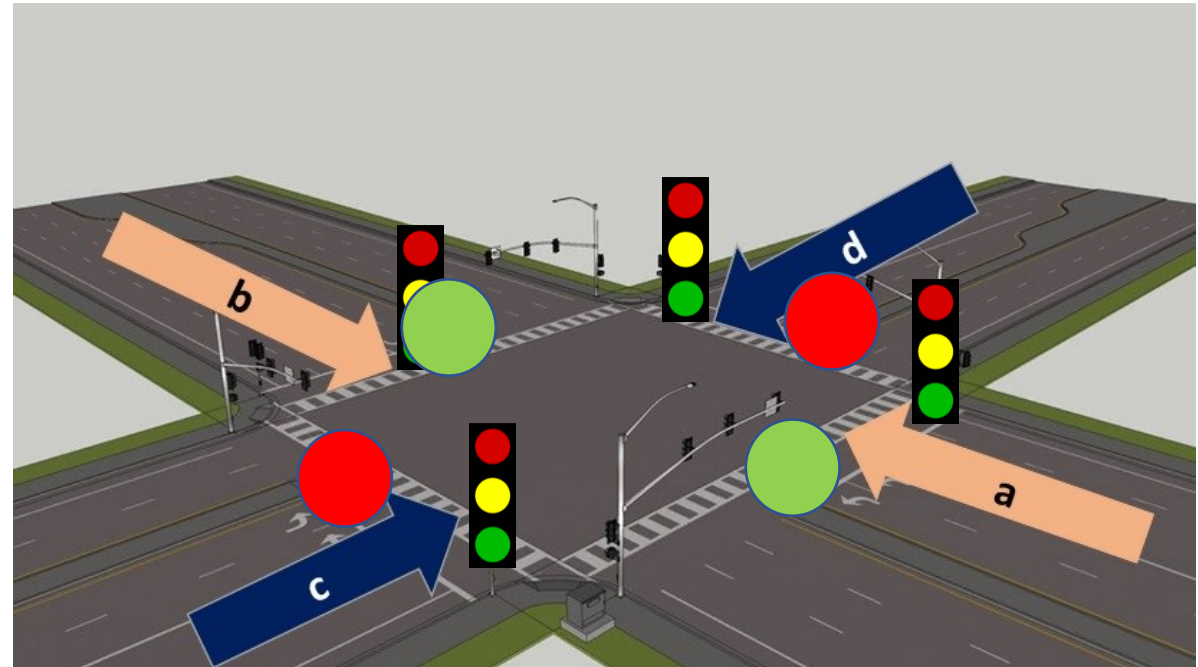
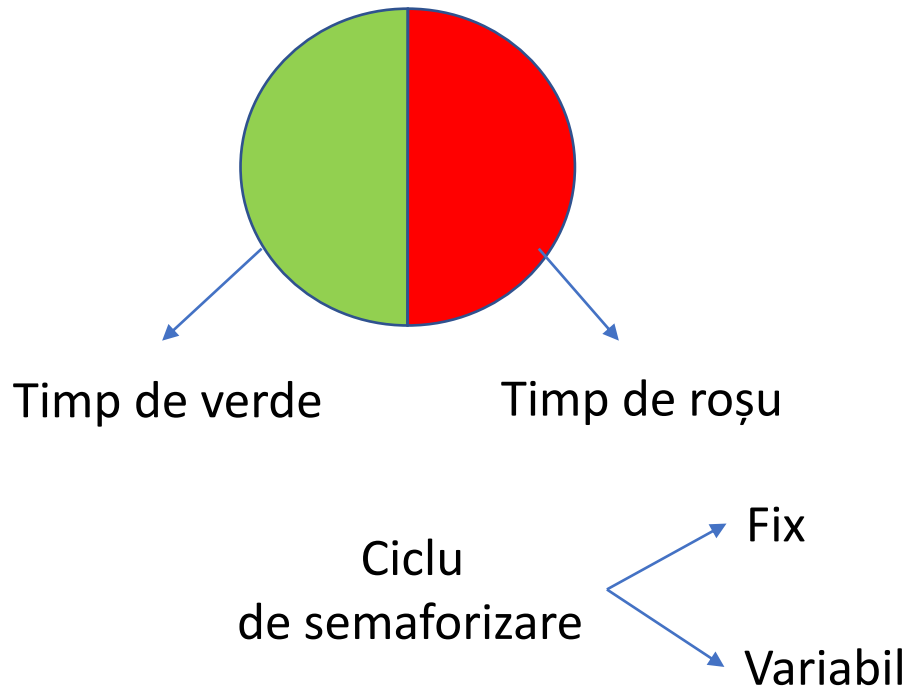


Fig. 1 – Intersecție

2. Semaforizarea rutiera

Se consideră o intersecție clasică, cu patru semafoare (pentru fiecare sens **a**, **b**, **c** și **d**).

- Pe direcția **ab** sunt sincronizate semafoarele **a** și **b** (au aceeași durată de verde și roșu), analog pentru **cd**.
- Când pe direcția **ab** este verde, pe direcția **cd** va fi roșu și invers.
- Se va calcula doar timpul de verde pentru fiecare direcție, deoarece timpul de roșu va fi egal cu timpul de verde calculat pentru direcția complementară.

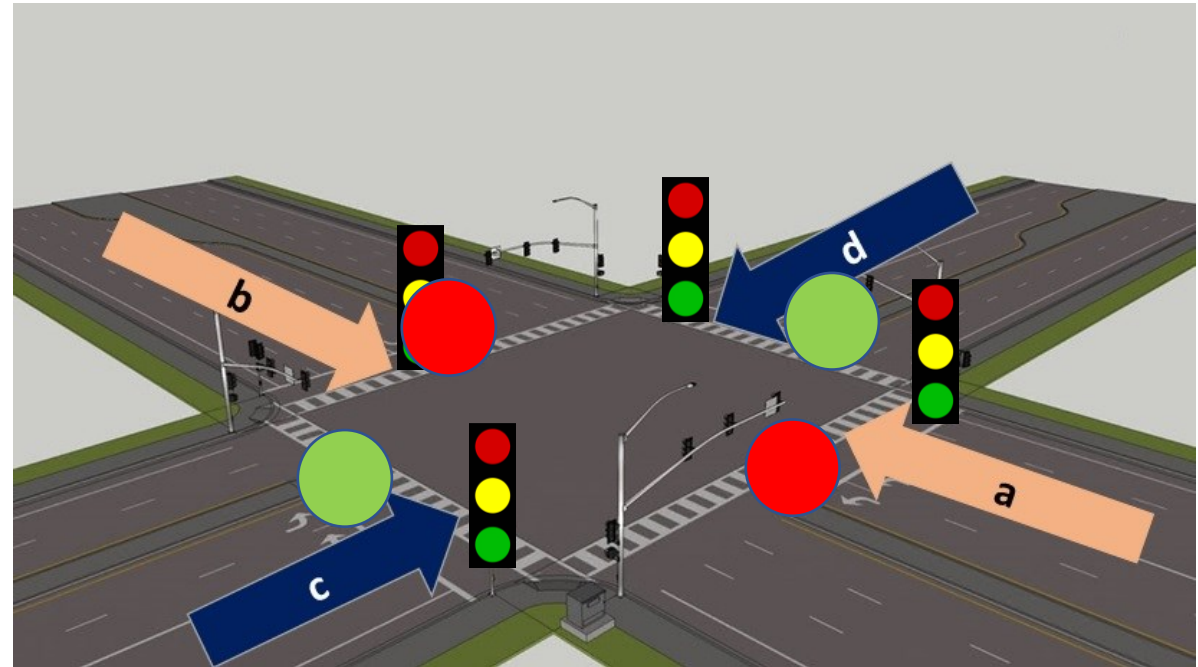
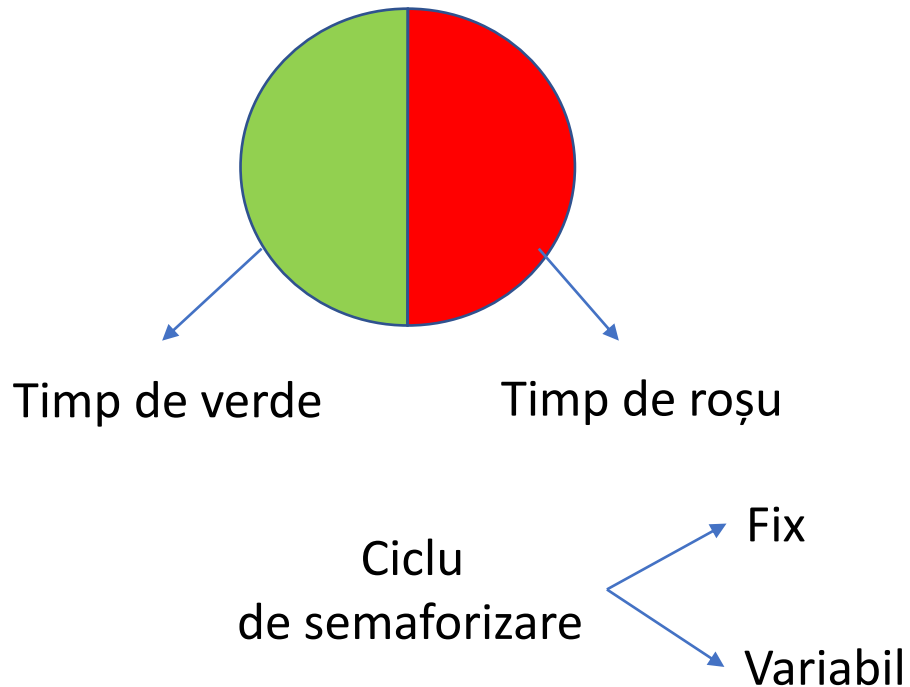


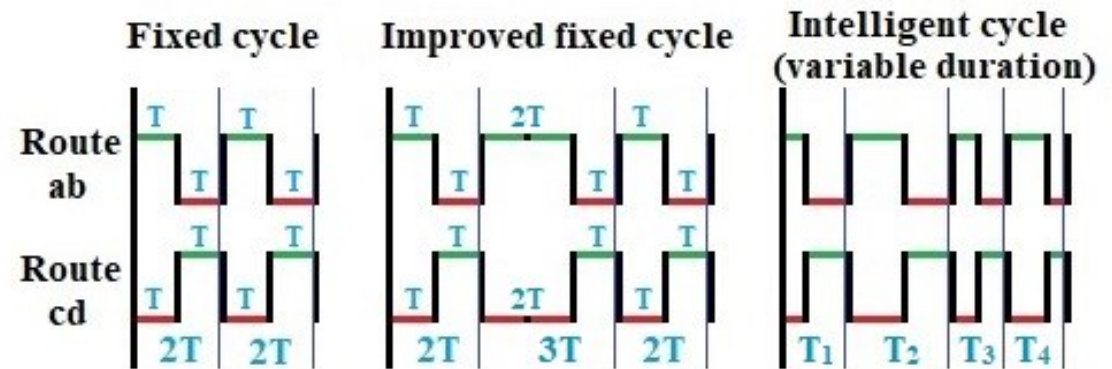
Fig. 1 – Intersecție

Metode de semaforizare

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.

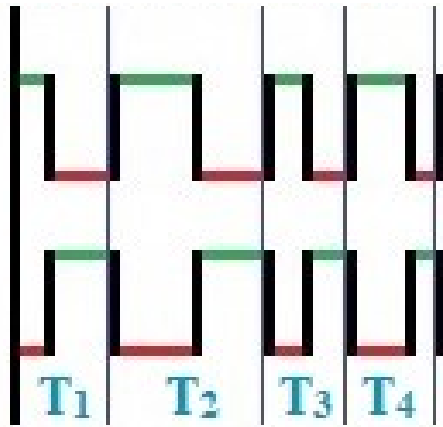


3. Optimizare trafic

Ciclu inteligent (timp variabili)

Ruta ab

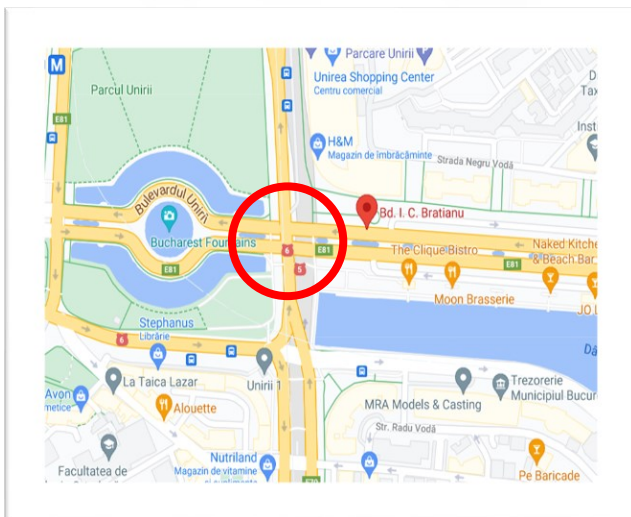
Ruta cd



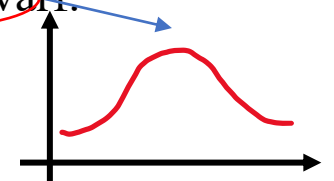
Semaforul cu ciclu inteligent presupune că timpii de verde și roșu sunt calculați pentru fiecare ciclu folosind un algoritm care ia în considerare numărul de mașini implicate în trafic.

- Timpii de verde și roșu sunt complementari și variabili între artere.
- Ciclul semaforului este variabil (T_1, T_2, T_3, T_4).

Pentru simulare s-au folosit valorile de trafic dintr-o configurație de rețea urbană din **București** înregistrată într-o bază de date. Am ales intersecția din **Piața Unirii** dintre IC Brătianu și Tineretului unde direcția principală ab este de 6 ori mai aglomerată decât direcția cd.



Pentru această intersecție am făcut o comparație între semafoarele cu timp fix (utilizate în prezent) și semafoarele cu ciclu inteligent folosind un algoritm QL (Reinforcement learning). Traficul a fost analizat la ora de vârf.



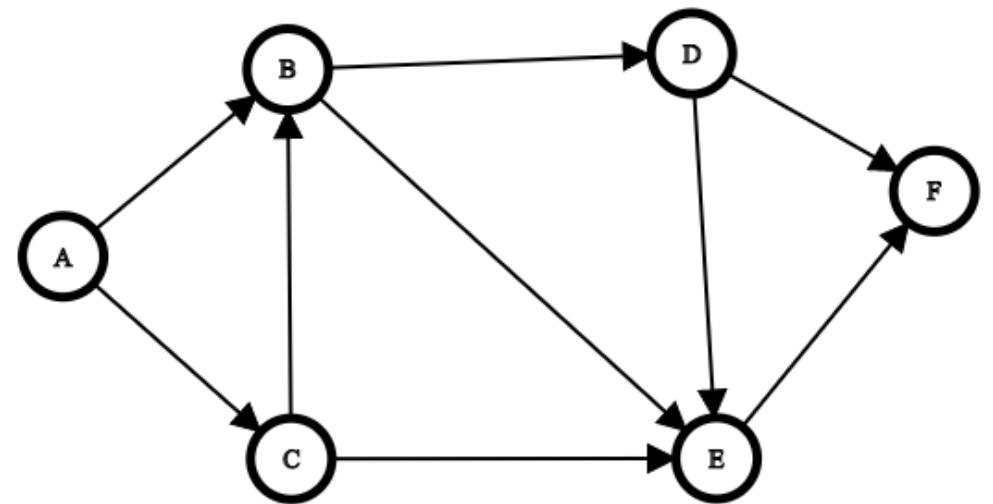
- Descriere schema 3 intersectii

- De introdus grafice evolutie nr vehicule

- De introdus variante criterii

4. Rutare dinamica

- Rețeaua utilizată este reprezentată printr-un grafic orientat, cu 6 noduri și 9 arce. Arcele reprezintă drumurile, iar nodurile conexiunile dintre ele.
- Date considerate:
 - Orizont de timp: 100T (perioada de esantionare: T=30s)
 - Densitate maxima: $\rho_{max} = 0,15$ veh/m
 - Densitate critica: $\rho_{min} = 0,07$ veh/m
 - Viteza de circulatie: $v_{free} = 13,8$ m/s (50 km/h)
 - Flux maxim de iesire: $Q_{max} = 0,6$ veh/s pentru arce: AB, AC, CB, BD, EF, DF si $Q_{max} = 0,3$ veh/s pentru arce: BE, CE, DE
 - Lungimea fiecarui arc: AB : 2,3 km, AC : 2 km, BD : 1 km, CB: 0,5 km, BE: 0,7 km, CE : 0,5 km, DE : 0,5 km, DF: 0,9 km, EF: 0,5 km

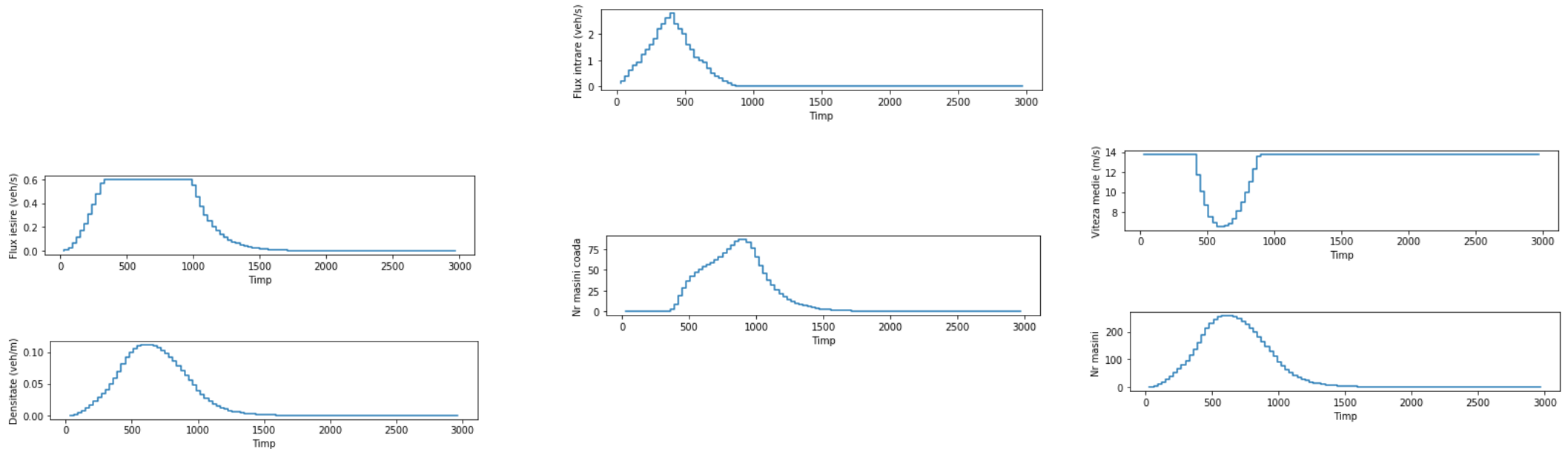




În zona $[0, 450]$ s-a considerat un debit de intrare în creștere, care va scădea treptat în zona $[450, 900]$.



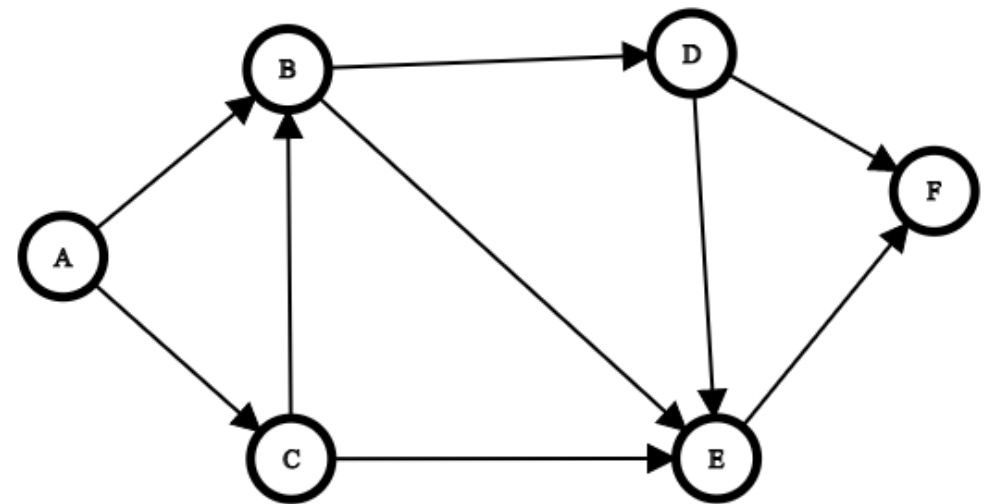
Datorită debitului de ieșire limitat, densitatea crește peste valoarea critică a densității (0,7), ceea ce determină și o scădere a vitezei. Se poate observa apariția aglomerației, caracterizată prin $Q = Q_{max}$, și apariția cozii. După reducerea suficientă a fluxului de intrare, densitatea începe să scadă, coada scade, iar viteza medie revine la valoarea inițială.



Nodul E este punctul de interes deoarece aici se formează pentru prima dată congestia, iar efectele sale se vor propaga în arcele anterioare.

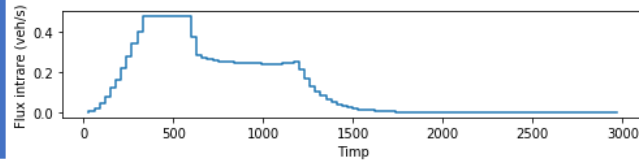
Arcul CE are un debit maxim admisibil de ieșire de 0,3 veh/s. Debitul de ieșire încearcă să se stabilizeze la valoarea maximă, îndeplinind condiția $Q_{CE} + Q_{BE} + Q_{DE} < q_{E,max}$.

Când suma debitelor de ieșire depășește debitul maxim admis de intrare, debitul de ieșire ale fiecărui arc de intrare în E sunt redistribuite astfel încât să respecte condiția de mai sus, având prioritate cele cu densitate mai mare.

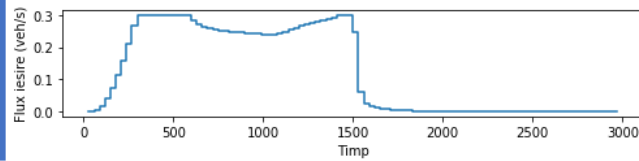


Dinamica arc CE

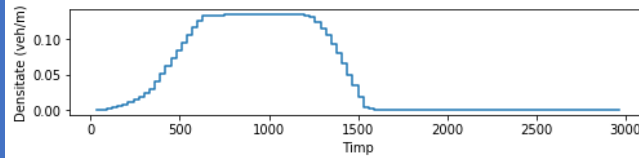
Intrare



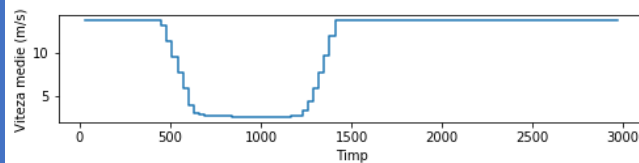
Iesire



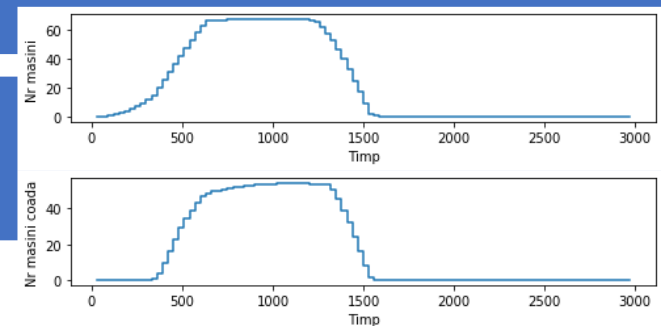
Densitate

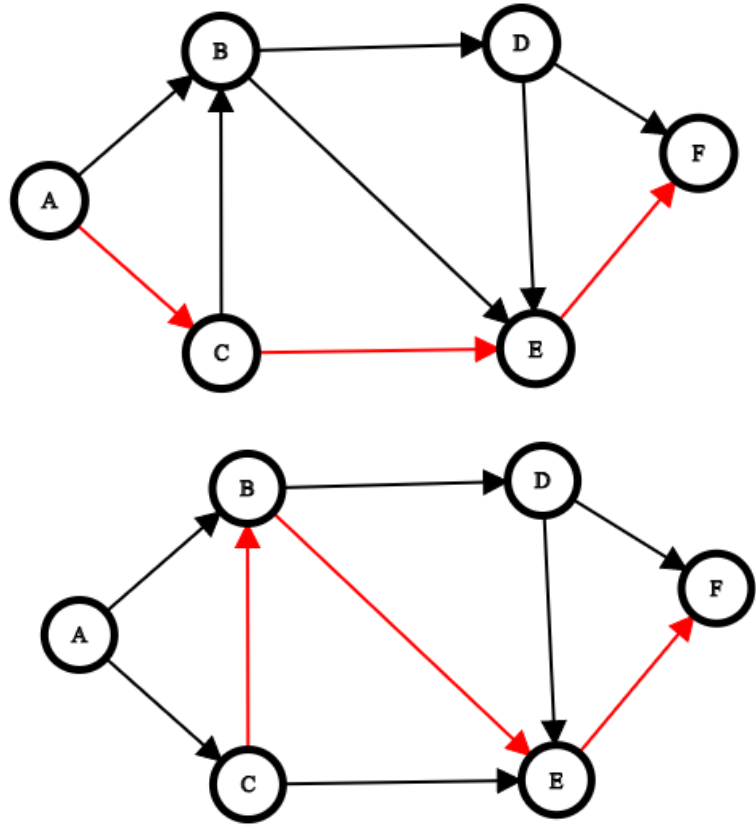


Viteza



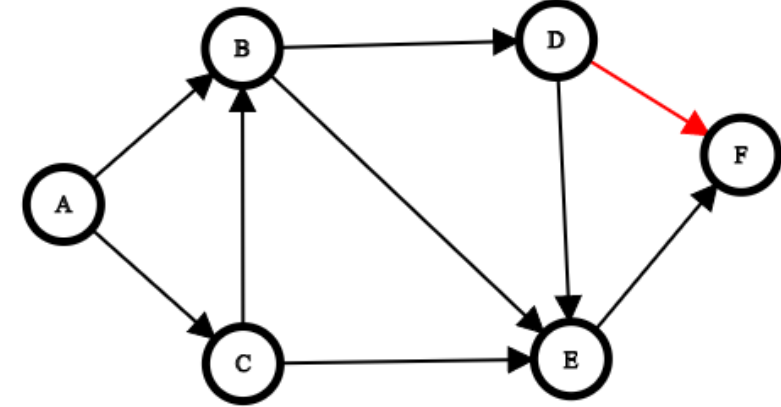
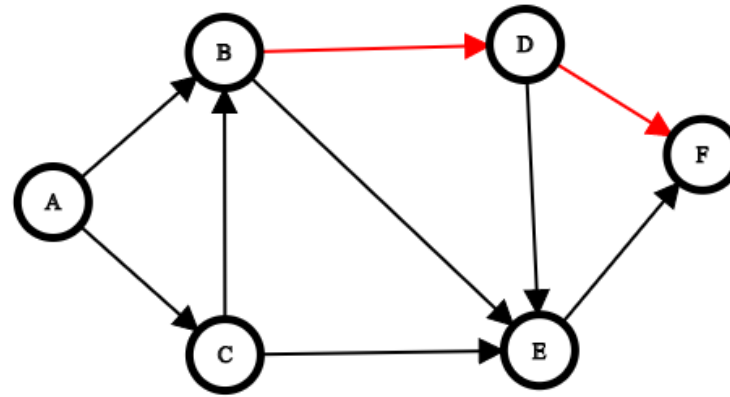
Nr. Vehicule/Coada de vehicule

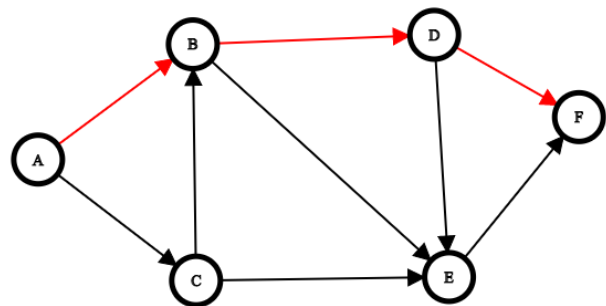




Timp intrare = 330 (k = 11)

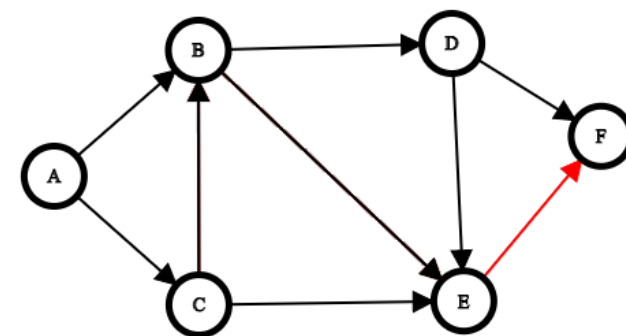
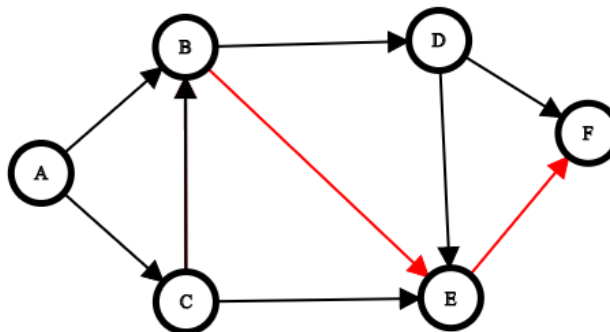
Nod	Schimbare rută	Ruta estimată	Noua rută	Timp arc	Timp total
A	-	ACEF	ACEF	AC: 146s	232s
C	CBEF (155s) < CEF (178s)	CBEF	ACBEF	CB: 37s	301s
B	BDF (137s) < BEF (139s)	BDF	ACBDF	BD: 72s	320s
D	-	DF	ACBDF	DF: 65s	320s





Timp intrare = 1380 (k = 46)

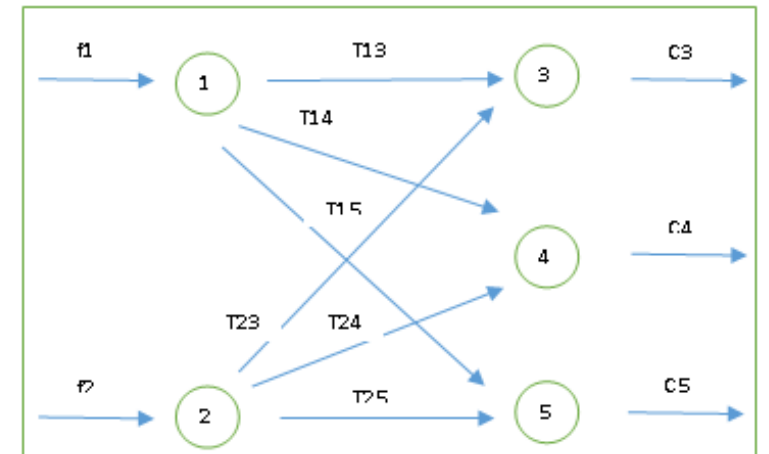
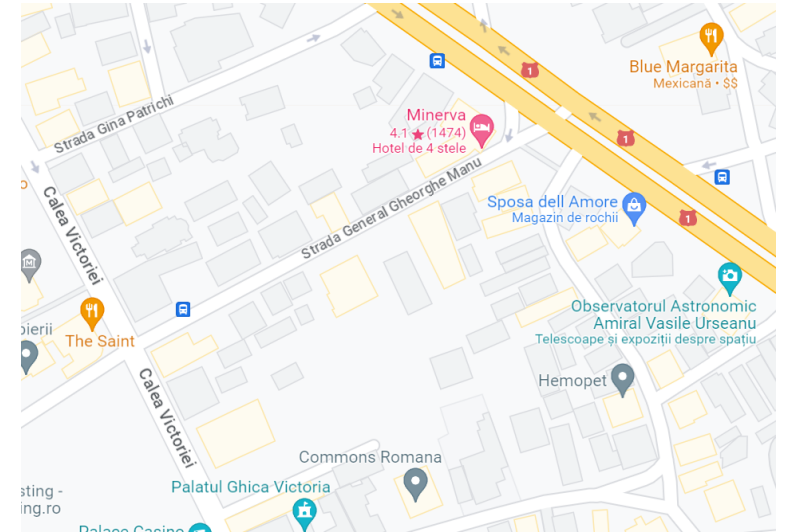
Nod	Schimbare rută	Ruta estimată	Noua rută	Timp arc	Timp total
A	-	ABDF	ABDF	AB: 164s	302s
B	BEF (110s) < BDF (137s)	BEF	ABEF	BE: 50s	274s
E	singura ruta	EF	ABEF	EF: 35s	249s



În primul caz se vede cum rețeaua se aglomera treptat, în cazul 2 rețeaua este decongestionată și traseul optim revine la cel inițial.

Teoria jocurilor

- Teoria jocurilor este utilizată în cazul în care variabilele care descriu sistemul au evoluții aleatoare imprimând acestuia un pronunțat caracter stohastic și sistemele ce urmează să fie optimizate nu pot fi descrise de un model matematic redat sub formă explicită.
- Presupunând că sistemul de optimizat este redat printr-un model de joc matricial putem organiza variabilele sistemului astfel încât să reprezinte strategiile posibile ale jucătorilor (furnizori și clienți).



Procedee

$$\max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \min_{1 \leq j \leq m} (y_{ij}) \right\}$$

u	p	p ₁	p ₂	...	p _m
u ₁		y ₁₁	y ₁₂	...	y _{1m}
u ₂		y ₂₁	y ₂₂	...	y _{2m}
...	
u _n		y _{n1}	y _{n2}	...	y _{nm}

$$\min_{1 \leq j \leq m} \left\{ \max_{1 \leq i \leq n} (y_{ij}) \right\}$$

- **max-min**

$$\max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \min_{1 \leq j \leq m} (y_{ij}) \right\} = \min_{1 \leq j \leq m} \left\{ \max_{1 \leq i \leq n} (y_{ij}) \right\} = f_0$$

- **Hurwicz**

$$M = \frac{p \cdot \min_j \{y_{ij}\} + q \cdot \max_i \{y_{ij}\}}{2} \quad p + q = 1 \quad \min_i |y_{ij} - M|$$

- **Laplace**

$$\bar{y}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m y_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \max_i \bar{y}_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

- **Bayes – Laplace**

$$\sum_{i=1}^m q_i = 1 \quad \min_i \{E_i\}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

- **Savage**

$$Y_{1k} = \max_i \{y_{ik}\} - y_{1k}$$

$$Y_{2k} = \max_i \{y_{ik}\} - y_{2k}$$

$$\vdots$$

$$Y_{nk} = \max_i \{y_{ik}\} - y_{nk}$$



Diseminare rezultate

- Participarea la 10th International Conference on Information Technology and Quantitative Management (ITQM 2023), Oxford, Marea Britanie
 - Game theory system optimization in a supplier-customer transport network , R.Bilbiie, D.Popescu, C.Dimon, M.Teme, P.Borne, Procedia Computer Science, Vol. 221, Pages 1036-1043
- Participarea la Conferinta de Toamna AOSR, Constanta, Romania

Concluzii

- Utilizarea semafoarelor inteligente poate reduce congestia, imbunatatind semafoarele clasice, daca existe date/senzori pe baza carora pot fi ajustati cicli de semaforizare.
- Efecte pot fi resimtite într-un oraș dacă majoritatea intersecțiilor mari sunt conectate la un sistem central.
- Daca un anumit drum este permanent supraaglomerat atunci semafoarele nu pot optimiza traficul si este necesar sa se intervina asupra infrastructurii (introducerea unui sens giratoriu).



**Vă mulțumesc
pentru atenție !**

