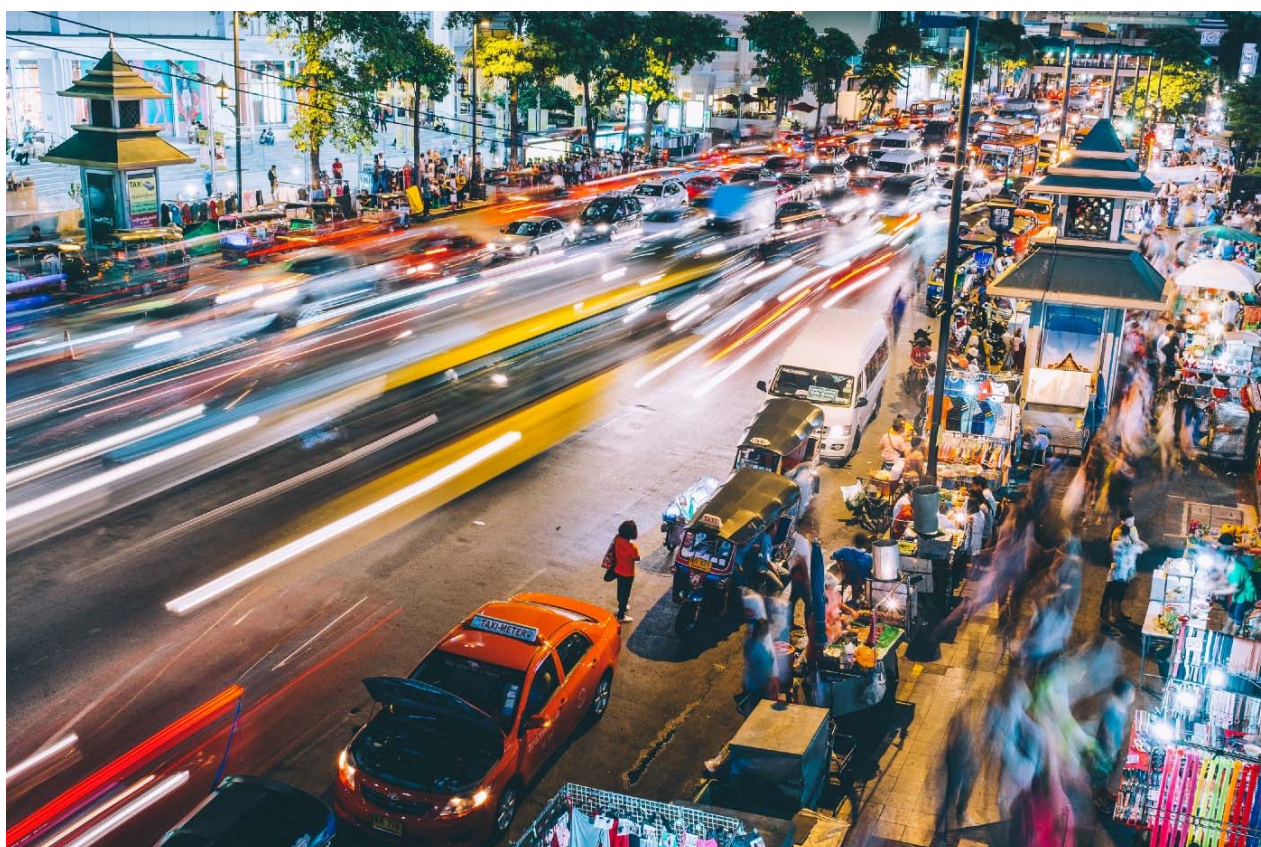


RAPORT DE CERCETARE NR. 3

Prezentarea unei microsimulării cu date de trafic reale care sa încorporeze informații rezultate din dezvoltarea unei rețele neuronale artificiale

aferent tezei de doctorat

"Contribuții privind utilizarea rețelelor neuronale in ingineria de trafic"



Elaborat
ing. Măleanu Mihai Alexandru

Îndrumător
prof.dr.ing. Răcănel Carmen

Cuprins:

CAPITOLUL 1. INTRODUCERE	3
CAPITOLUL 2. MODELELE DE TRAFIC	6
2.1 Metodologia de lucru	6
2.2 Studiul de caz nr. 3 - utilizarea rețelelor neuronale artificiale cu învățare aprofundată prin întărire	7
2.3 Dezvoltarea unei metodologii de calcul a nivelului de serviciu multimodal	19
2.4 Dezvoltarea unei metodologii detaliate de realizare a studiilor de trafic	24
CAPITOLUL 3. CONCLUZII	31
CAPITOLUL 4. BIBLIOGRAFIE	32

Capitolul 1. Introducere

Odată cu stabilirea arhitecturii unei rețele neuronale este necesar ca aceasta să fie antrenată printr-un proces de învățare în scopul asigurării unor rezultate cât mai apropiate de realitate. Distingem în acest caz următoarele tipologii de învățare care se pot aplica rețelelor neuronale:

- metoda de învățare nesupervizată;
- metoda de învățare parțial supervizată;
- metoda de învățare supervizată;
- metoda de învățare prin întărire.

În cadrul metodei de învățare nesupervizată principalul obiectiv constă în detectarea obiectelor similare dintr-un grup și separarea celor care sunt complet diferite, în lipsa unui "ghid" din exterior, care să ofere posibilități de supervizare. Aceasta metodă se folosește cu preponderență în situațiile în care nu se cunosc rezultatele dorite sau în absența unei metode de aproximare a acestora. Principalele utilizări ale acestei metode sunt următoarele:

- clusteringul: permite gruparea obiectelor sau datelor similare;
- detectarea anomaliilor oferind posibilitatea stabilirii dintr-un set de date de mari dimensiuni a unor parametri, care ies în evidență. Aplicabilitatea acestei caracteristici este folosită în cazul tranzacțiilor financiare frauduloase, stabilirea anomaliilor la unele componente de hardware sau descoperirea unor greșeli umane de introducere manual a datelor.
- stabilirea datelor asociate. Se folosește în cazul analizelor de marketing pentru evidențierea unor categorii de mărfurilor, care sunt cel mai des achiziționate într-o perioadă de timp.

În cazul învățării supervizate utilizatorul are la dispoziție un set de date formate din intrări și ieșiri cunoscute, prin care o rețea neuronală poate să fie antrenată într-o anumită perioadă de timp. Algoritmii folosiți în acest caz se bazează pe o funcție de răspuns, ajustând erorile până când acestea sunt minimizate [1]. În felul acesta după antrenare rețeaua neuronală artificială va fi capabilă să analizeze un alt set de date nou și să ofere rezultate corecte.

În prezent există o multitudine de rețele neuronale, care pot să difere între ele în funcție de structura sau metoda de antrenare. Astfel în cadrul studiului de caz numărul 2 s-a antrenat un RNA de tip feed-forward echipată cu algoritm de propagare înapoi (back-propagation). Din perspectiva definiției oferite de cercetătorul Leon Florin, algoritmul backpropagation este cel mai cunoscut și utilizat algoritm de învățare supervizată. Numit și algoritmul delta generalizat deoarece extinde modalitatea de antrenare a rețelei Adaline (regula delta), el se bazează pe minimizarea diferenței dintre ieșirea dorită și ieșirea reală, tot prin metoda gradientului descendent [2].

Pentru o astfel de rețea neuronală propagarea informației este descrisă prin ecuația de mai jos:

$$b_j = f(\sum_{i=1}^n (w_{ij} a_i) - T_j), \text{ unde}$$

a_i reprezintă vectorul de intrare.

b_j reprezintă vectorul de ieșire,

w_{ij} reprezintă ponderile sinaptice,

T_j reprezintă valoarea prag

f este funcția de activare

După calcularea erorilor se face o corecție a ponderilor sinaptice și a valorilor prag în baza ecuațiilor de mai jos:

$$w_{ij}^{actual} = w_{ij}^{initial} + \eta * \sum_p \delta_{pj} O_{pi} + \alpha * \Delta w_{ij}^{initial} ,$$

$$T_j^{actual} = T_j^{initial} + \eta * \sum_p \delta_{pj} O_{pi} + \alpha * \Delta T_j^{initial} , \text{ unde}$$

η reprezintă rata de învățare,

Δw reprezintă modificarea ponderilor sinaptice ,

ΔT reprezintă modificarea valorilor de prag,

O reprezintă ieșirile,

δ reprezintă corecția adusă de gradientul descendent

Spre deosebire de celelalte metode în cadrul învățării prin întărire se folosesc în locul informațiilor statice, date dinamice, generate de mediul de lucru.

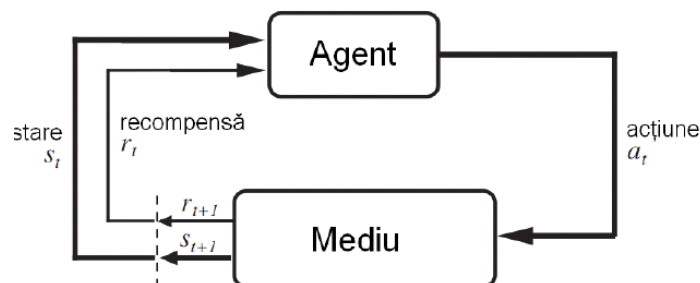


Figura 1. Schema logică a metodei de învățare prin întărire [3,4]

Scopul acestui procedeu constă în antrenarea unui agent virtual, care poate fi o entitate autonomă, pentru a completa o anumită sarcină, prin intermediul unor acțiuni (a), într-un mediu necunoscut. Agentul virtual primește observații și recompense de la mediu, transmitând la rândul lui acțiuni către mediu. Recompensa (r) primită este în funcție de gradul de succes al acțiunilor sale pentru completarea sarcinii [3]. De asemenea mediul prezintă diverse situații agentului numite stări (s).

Agentul virtual cuprinde două componente:

- politica sau tactică (π): constă în strategia pe care o va folosi pentru a determina următoarea acțiune, ținând cont de starea curentă. În practică aceasta este o funcție de aproximare cu o multitudine de parametri ajustabili.

- algoritmul de învățare: consta din actualizarea in permanenta a tacticilor de urmat in baza acțiunilor, observațiilor sau a recompenselor. Prin algoritmul de învățare se caută o strategie optimizata, care sa maximizeze recompensele cumulative [3].

Suplimentar se definește utilitate (V) drept suma recompenselor pentru o secvență de stări, reprezentând câștigul total pe termen lung, spre deosebire de recompensa care este câștigul pe termen scurt [5]. In plus se descrie utilitatea unei stări s (Q (a.s)), similar cu noțiunea de utilitate (V), dar care adaugă un parametru adițional acțiunea curenta (a).

In concluzie prin aceasta metoda se stimulează ca agentul sa exploreze si sa exploateze diversele perechi stări - acțiuni, astfel încât sa se obțină cele mai multe recompense odată cu trecerea timpului. [6].

Prin aceasta metoda se parcurg următorii pași:

1. într-o prima faza agentul observa o anumita stare a mediului st si efectuează o acțiune at;
2. in a doua etapa agentul observa o nou stare si primește o recompensa sau penalizare (cost) imediat r_{t+1} , actualizând-se utilitățile stărilor;
3. se calculează valoarea unei politici π ca fiind valoarea așteptată a sumei tuturor recompenselor actualizate observate după toate secvențele posibile de stări [5]

Astfel valoarea cumulativa a recompenselor viitoare in urma unei acțiuni pentru o stare s este definita prin ecuația de mai jos [7]:

$$Q^{\pi}(s,a)=E(r_t + \gamma r_{t+1} + \gamma^2 r_{t+2} + \dots | s_t = s, a_t = a, \pi) = E\left[\sum_{k=1}^{\infty} \gamma^k r_{t+k} \mid s_t = s, a_t = a, \pi\right],$$

in care γ reprezintă factorul de discountare si are valori situate in intervalul [0,1). Acest interval a fost ales astfel încât recompensele imediate sa aibă o importanta mai mare in raport cu cele pe termen mai lung, in vederea evitării gratificațiilor întârziate.

Prin urmare, daca agentul cunoaște valorile Q ale următorilor stări, acesta va alege in baza acțiunilor, care oferă cele mai mari recompense cumulative. In acest caz, utilitatea optima π^* a unei stări este recompensa imediată pentru acea stare la care se adaugă utilitatea așteptată maximă a stării următoare [5]. Aceasta poate sa fie exprimata prin ecuația lui Bellman, după cum urmează [7]:

$$Q^{\pi^*}(s, a) = E_{s'}[r_t + \gamma \max_a Q(s_{t+1}, a | s, a)]$$

Dacă se obține recompensa viitoare optimă estimată, recompensa cumulativa poate fi calculată. Această ecuație poate fi rezolvată prin programare dinamică, dar necesită ca numărul de stări sa fie finit pentru a face complexitatea de calcul controlabila [7].

Folosirea rețelelor neuronale ca si funcții de aproximare devine folositoare in cazul metodei de învățare prin întărire datorită faptului ca starea sau acțiunea sunt prea complexe pentru a fi corect percepute. Prin urmare o rețea neuronală poate fi folositoare in aproximarea utilității unei stări sau a unei politici [8].

Capitolul 2. **Modelele de trafic**

2.1 **Metodologia de lucru**

În vederea realizării studiilor de caz s-a folosit programul de microsimulare Vissim, care are posibilitatea discretizării individuale ale fiecărui vehicul. Cu ajutorul acestui program se poate modela comportamentul în trafic al conducătorilor auto, precum și dinamica traficului. Deși acest program de calcul are o bună interfață grafică, în cazul unor proiecte complexe sau lucrări de cercetare sunt necesare o serie de calcule pre- sau post-procesare, care necesită rularea pe alte platforme software. Prin urmare Vissim are posibilitatea de a fi folosit împreună alte aplicații ca o platformă pentru rularea algoritmilor de planificare a traficului.

Prin intermediul interfeței COM cu care este echipat programul VISSIM se pot exporta elementele componente ale unui model de trafic. Având în vedere faptul că interfața COM suportă automatizările Microsoft se pot folosi o serie de limbaje de programare ca Visual Basic sau medii de programare precum Visual C++ or Visual J++. În cazul acestei lucrări s-a optat pentru folosirea limbajului de programare Matlab care include un modul aferent rețelelor neuronale.

Algoritmul de lucru folosit pentru realizarea legături informaționale dintre cele două programe de calcul constă din următorii pași:

1. realizarea modelului de trafic în programul de microsimulare VISSIM. În cadrul acestei etape se va avea în vedere realizarea calibrării și validării modelului de trafic conform cerințelor prezentate în capitolele anterioare.
2. Crearea posibilității de exportare a informațiilor din programul de microsimulare prin activarea opțiunii COM.
3. Crearea unei rețele neuronale în programul Matlab/Visual Gene Development. Aceasta va analiza fluxurile de trafic, modalitatea de trecere de la faza de semaforizare la alta, cozile de vehicule, întârzierile, timpii de călătorie, etc.
4. Cu ajutorul unui program elaborat în Matlab se va interveni în cadrul modelului de trafic. Spre exemplu rețelele neuronale pot modifica parametrii comportamentului conducătorilor auto contribuind la o validare mai rapidă a modelului de trafic. Sau prin antrenarea rețelelor neuronale se vor obține indicatori de performanță mai buni ai modelului de trafic, precum cozi de vehicule mai mici, timpii de călătorie diminuați, coordonarea mai eficientă a unor rețele de intersecții semaforizate, etc.
5. Rularea modelului de trafic folosind parametri optimizați prin intermediul rețelelor neuronale dezvoltate în programul Matlab/ Visual Gene Development..

2.2 Studiul de caz nr. 3 - utilizarea rețelelor neuronale artificiale cu învățare aprofundată prin întărire

În continuarea studiului de caz nr. 1, prezentat în detaliu în cadrul raportului de cercetare nr. 2, s-a trecut la semaforizarea intersecțiilor Blvd. Aurel Vlaicu - acces Vivo Mall și Blvd. Aurel Vlaicu - str. Ștefănița Voda. În acest caz s-a făcut o simulare a efectelor echipării automatelor de dirijare ale intersecțiilor cu rețele neuronale cu învățare aprofundată prin întărire de tip "deep reinforcement learning".

Abordarea de calcul a cărei schema logică este prezentată la începutul capitolului 4 se bazează pe crearea unui model de trafic în programul de microsimulare Vissim. Acest model este încărcat cu valorile de trafic, metoda de control al intersecțiilor și cu elementele geometrice reale. Apoi date din rețeaua de detecție virtuală sunt exportate prin intermediul interfeței COM în programul Matlab care rulează datele într-o RNA.

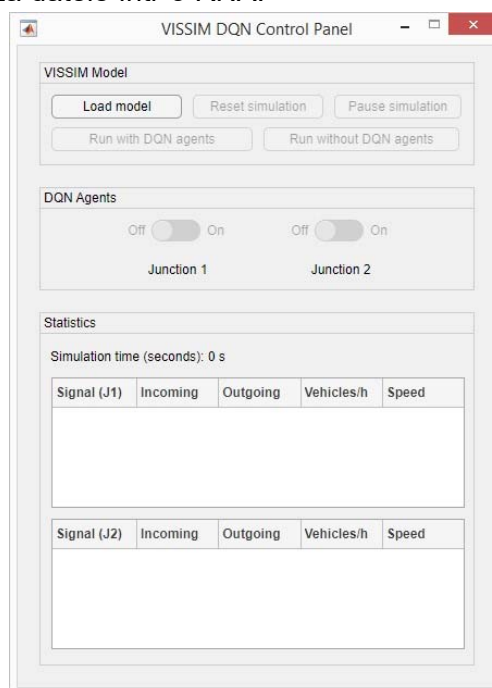


Figura 2– Panoul de control al programul de calcul

Cadrul general al acestei metodologii de lucru este format dintr-un grup de două intersecții semaforizate care împreună cu echipamentele de semaforizare sunt considerate mediul de lucru. Agentul reprezintă gândirea analitică a rețelei neuronale care prin explorarea și exploatarea diverselor perechi stări - acțiuni, încearcă să obțină cele mai multe recompense. Politica de control se obține prin asocierea diverselor stări precum timpul de așteptare, cozile de vehicule, întârzierile cu acțiunile de control optime din care enumerăm modificarea succesiunii fazelor de semaforizare, creșterea/scăderea perioadei de verde la o anumită fază, modificare ciclului de semaforizare, etc.[6, 9]

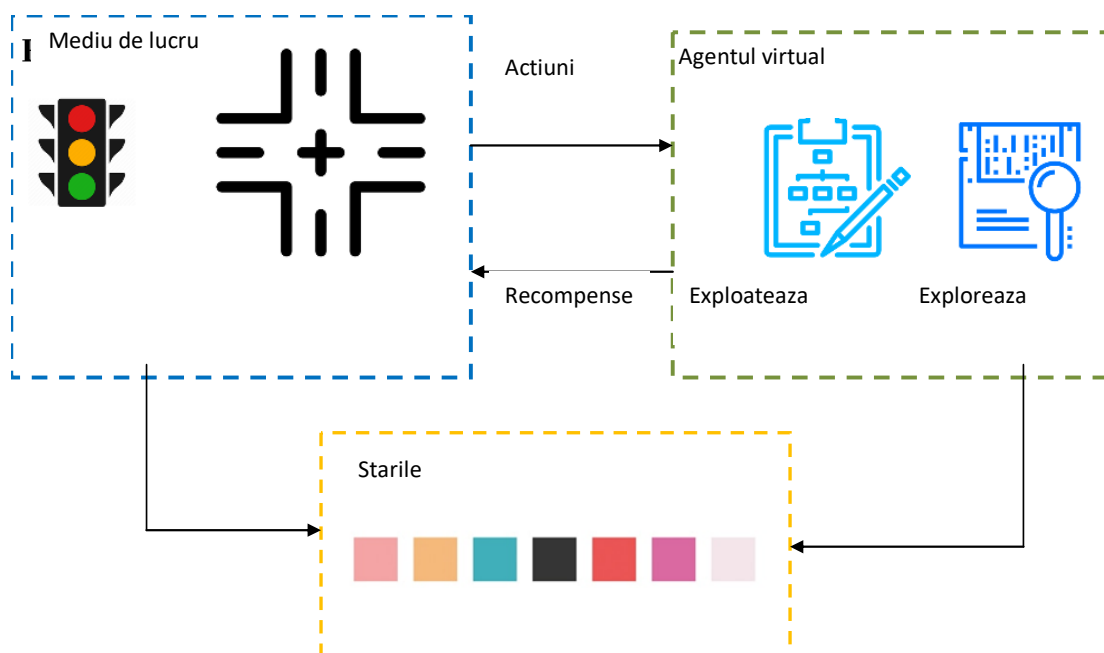


Figura 3– Cadrul general al metodologie de calcul [9]

Folosirea acestui algoritm de calcul necesita rezolvarea a doua probleme importante:

1. stabilirea succesiune corecte a fazelor de semaforizare;
2. durata unei faze de semaforizare. In acest caz pentru setarea parametrilor de semaforizare se pot stabili valorile maxime si minime pentru o faza. In felul acesta se evita timpi de așteptare prea mari pentru fazele antagonice prin setarea unui maxim de verde. In plus prin configurarea timpilor minim al unei faze se asigura ca un număr minimal de vehicule pot sa evacueze intersecția după apariția culorii verde la semafor.

Pentru început s-au efectuat următoarele operații:

- în funcție de elementele geometrice ale intersecțiilor menționate mai sus și de marcajele transversale de oprire pentru vehicule și de traversare pentru pietoni pentru s-au stabilit punctele de conflict între vehicule sau între vehicule și pietoni.
- În etapa a doua s-au determinat lungimile de evacuare a intersecției de către vehicule și pietoni, respectiv timpii necesari evacuării, iar rezultatele obținute s-au introdus în matricea de interverde.

In figurile nr. 4 si 5 de mai jos sunt prezentate matricile de interverde pentru semaforizarea intersecțiilor.

Figura 4– Matricea de interverde a intersecției blvd. Aurel Vlaicu - acces Vivo Mall

	1	2	3	4	5	6
►1: V1			5	5		6
2: V2				5		6
3: V3	5			5		
4: V4	5	5	5		5	
5: P1				5		
6: P2	5	5				

unde V1- blvd. Aurel Vlaicu spre blvd. Tomis, V2- blvd. Aurel Vlaicu spre blvd. I.C. Brătianu, V3 - blvd. Aurel Vlaicu spre acces Mall, V4- acces Vivo Mall, P1, P2- treceri de pietoni

Figura 5– Matricea de interverde a intersecției blvd. Aurel Vlaicu - str. Ștefănița Voda

	1	2	3	4	5	6
1: V1			5	5	5	
2: V2				5	6	
3: V3	5			5		
4: V4	5	5	5			5
5: P1	5	5				
6: P2				5		

unde V1- blvd. Aurel Vlaicu spre blvd. Tomis, V2- blvd. Aurel Vlaicu spre blvd. I.C. Brătianu, V3 - blvd. Aurel Vlaicu spre Ștefănița Voda, V4- Ștefănița Voda, P1, P2- treceri de pietoni

Metodologia de calcul a continuat cu stabilirea succesiunii fazelor de semaforizare, prezentată în figurile 6 și 7 de mai jos.

Figura 6– Succesiunea propusă a fazelor de semaforizare la intersecția dintre blvd. Aurel Vlaicu - acces Vivo Mall

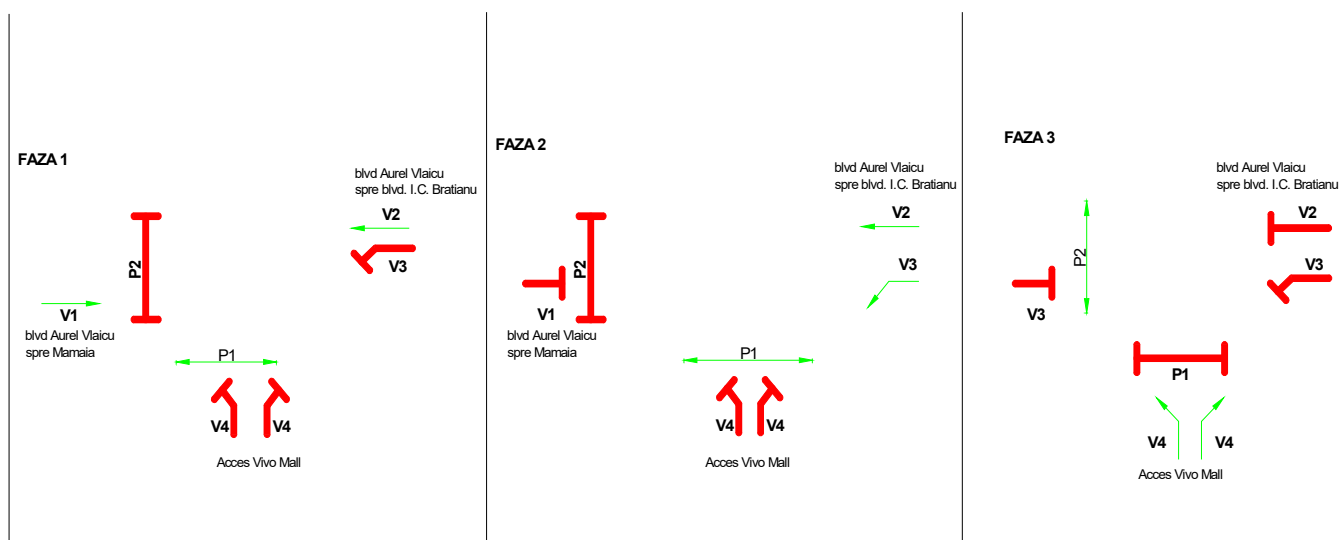
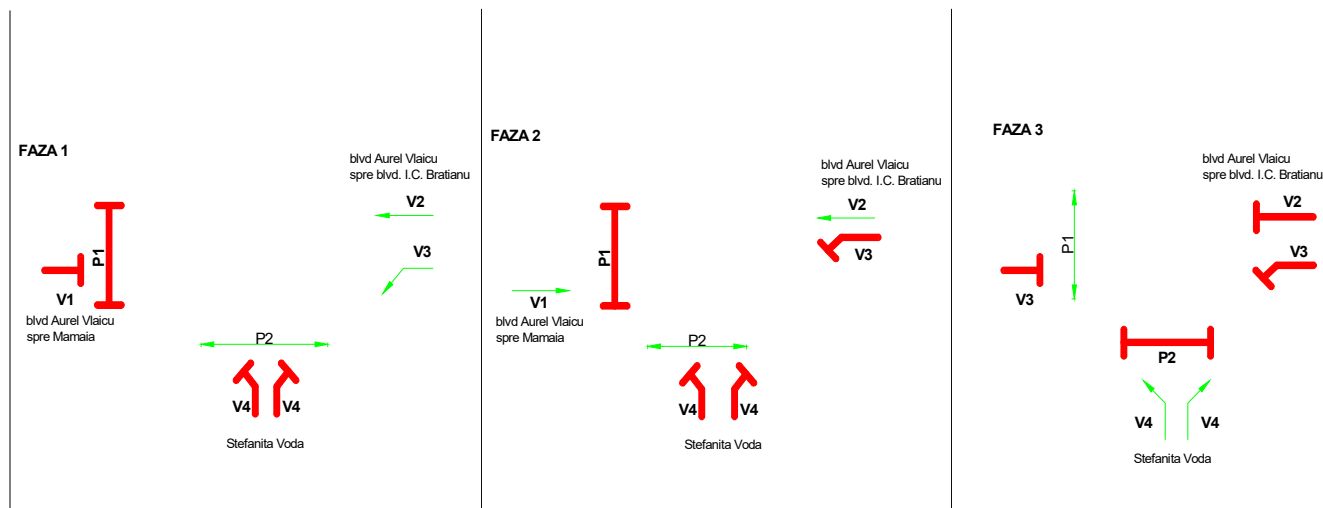


Figura 7– Succesiunea propusa a fazelor de semaforizare la intersecția dintre blvd. Aurel Vlaicu - str. Ștefănița Voda



Rețeaua neuronală folosită în cadrul acestei analize este de tip Deep Q - Network, a cărei arhitectură este caracterizată prin două trăsături principale: reluarea experienței și rețeaua "țintă" [10, 11]. Agentul virtual este reprezentat de automatul de dirijare a semaforizării, care primește date din mediul exterior. Procedul de lucru constă în folosirea de către agentul virtual a datelor stocate (din experiențele anterioare) $D_t = (e_1, e_2, \dots, e_n)$ pe măsura ce acestea s-au acumulat din interacțiunea agentului cu mediul pe măsura trecerii timpului ($t=1, 2, \dots, n$). Apoi aceste informații stocate sunt selectate în mod aleatoriu, astfel încât să se optimizeze procesul de învățare. Prin folosirea rețelelor "țintă", un agent virtual creează un duplicat al rețelei principale și folosește ponderile θ_k pentru a calcula valorile țintă Q , care conțin stările și acțiunile pentru fiecare etapă. În timpul procesului de învățare valorile țintă Q sunt folosite pentru a evalua pierderile/costurile unei acțiuni și pentru a stabili procesul de învățare. Practic prin folosirea ponderilor θ_k rețeaua principală, aproximează valorile Q de tipul $Q(s, a, \theta_k)$, unde s reprezintă o stare și a o acțiune la o anumită iterație k [12].

În cadrul algoritmului de lucru rețeaua principală este folosită pentru a selecta o acțiune a_t la o anumită stare s_t observată în urma analizării mediului, de către agentul virtual în vederea obținerii celei mai bune recompense/penalizări la starea următoare s_{t+1} . Rețeaua "țintă" care reprezintă un duplicat al rețelei principale are rolul de a aproxima valorile Q de tipul $Q(s, a, \theta_k)$, după un număr de k iterații. Prin folosirea rețelei "țintă" valorile $Q(s, a, \theta_k)$ ale rețelei principale sunt actualizate la fiecare iterație k . Ponderile θ_j ale rețelei țintă sunt actualizate prin copierea ponderilor θ_j , ale rețelei "țintă" din rețeaua principală, astfel încât să se ofere valori actualizate ale $Q(s, a, \theta_k)$, pe parcurs avansării algoritmului. Astfel ponderile θ_j sunt utilizate pentru a minimiza aproximarea erorilor dintre valorile Q ale rețelei principale și rețelei "țintă". [6, 12]

Funcția obiectiv (de minimizare a erorilor) care se va folosi în procesul de învățare va avea forma următoare:

$$L_j(\theta_j) = E_{s_j, a_j \sim p} [(y_j - Q_j(s_j, a_j; \theta_j))^2]$$
, unde $p(s, a)$ reprezintă probabilitatea distribuției a perechilor stare/acțiune (s, a) și y_j , reprezintă valoarea țintă a ponderii θ_{j-1} , în iterația precedentă $j - 1$ [67, 79].

Prin urmare gradientul funcției obiectiv este dat de expresia de mai jos [6, 13]:

$$\Delta_{\theta} L_j(\theta_j) = E_{s_j, a_j \sim p} [(y_j - Q_j(s_j, a_j; \theta_j)) \Delta_{\theta} Q_j(s_j, a_j; \theta_j)]$$

În figura de mai jos nr.8 este prezentată arhitectura unei rețele neuronale de tip Q network folosită în procesul de simulare.

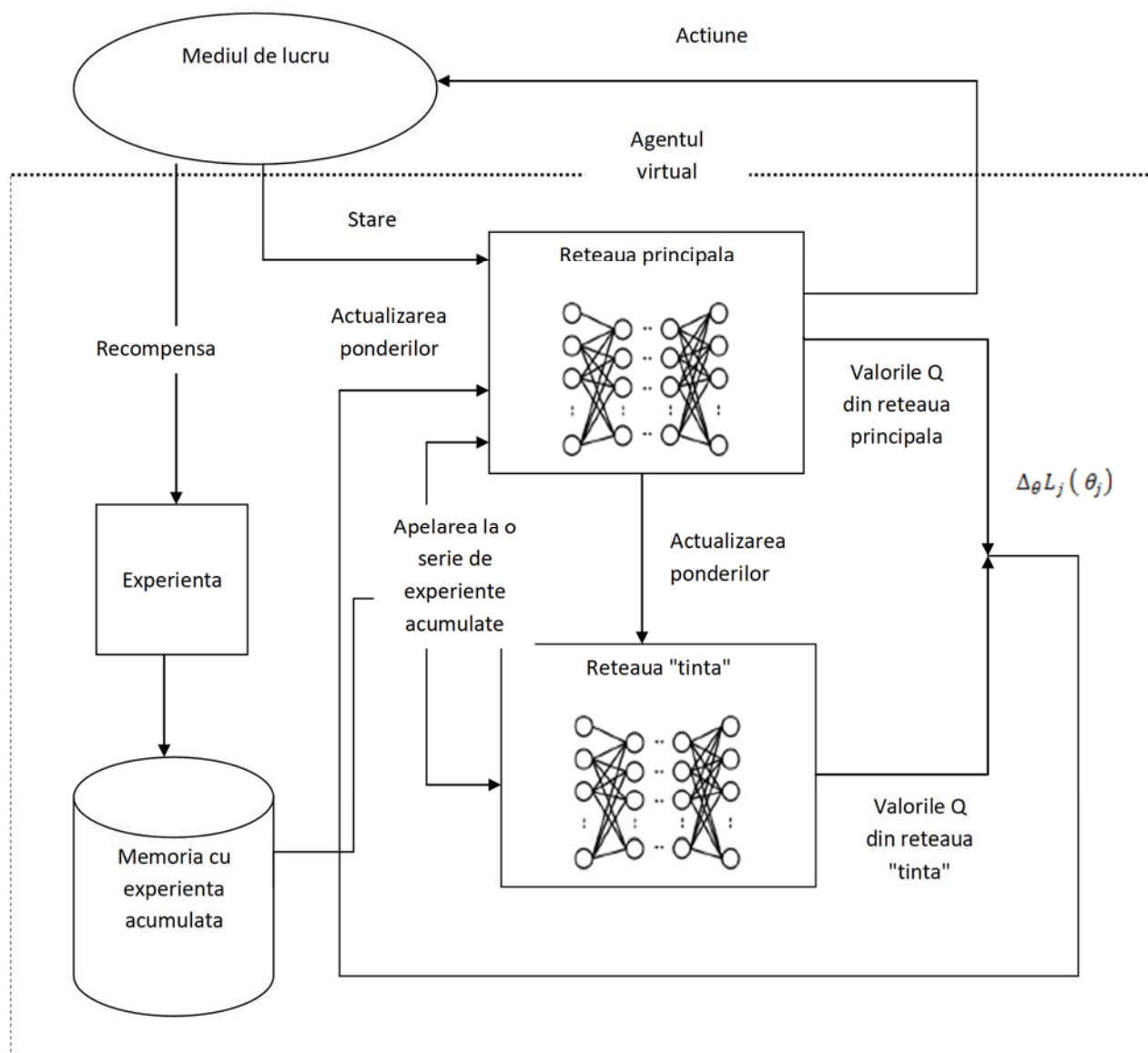


Figura 8– Arhitectura unei rețele de tip deep Q network [6]

Cu ajutorul programului Matlab s-a creat o rețea neuronală de tipul celei descrise mai sus în care sunt implementate următoarele elemente :

1. stările rețelei neuronale

Mediul în care operează agentul virtual este caracterizat de o stare a traficului, care poate fi formată din mai multe componente, numite substări. În cazul unei intersecții semaforizate se definesc următoarele substări ce pot caracteriza parametrii mediului de lucru. Acestea sunt următoarele:

- cozile de vehicule care așteaptă la semafor pe o banda sau un braț al unei intersecții. O stare s_t^i reprezintă numărul maxim de vehicule pe care detectorul de trafic le înregistrează;
- timpul de roșu corespunzător unei faze este reprezentat printr-o stare $s_t^{i,l} = 1$, iar când culoarea la semafor se schimbă în galben sau verde prin starea $s_t^{i,l} = 0$.
- timpul de verde;
- faza curentă în operare. În cadrul rețelei neuronale o anumită stare s_t^i de la intersecția i , poate să conțină mai multe substări ale unor faze posibile de semaforizare. Spre exemplu la timpul t , putem avea o stare $s_t^i = (s_t^{i,1}, s_t^{i,2}, s_t^{i,3}, s_t^{i,4}) = (0,1,0,0)$, în care faza activată este cea de a doua, conform succesiunii predefinite.
- poziția vehiculului;
- viteza vehiculelor.

2. acțiunile agentului virtual

Acțiunile posibile ale agentului virtual sunt următoarele:

- aplicarea unei durate de verde pentru o anumită fază de semaforizare. Spre exemplu o acțiune $a_t^i = \{a_1^i, a_2^i \dots\}$, reprezintă modalitatea prin care agentul virtual menține faza curentă a_1^i sau trecere la următoarea fază a_2^i , în cazul în care faza curentă nu primește cea mai bună recompensă [6];
- succesiunea fazelor. Acestea pot fi în ordinea predefinită de utilizator sau în cazul absentei unde cereri de trafic, într-o succesiune aleatorie.

3. recompensele /penalizările acordate

Acțiunile posibile ale agentului conduc la un răspuns din partea mediului de lucru sub forma unor recompense sau penalizări/costuri. De obicei o recompensă are o valoare fixă în timp ce o penalizare este reprezentată printr-o valoare nulă. În cadrul metodologiei de calcul abordate s-a avut în vedere următoarele tipuri de recompense/penalizări:

- coada de vehicule relativă. Pentru acest parametru agentul virtual recepționează din partea mediului de lucru o recompensă sau o penalizare în funcție de lungimea cozilor. Valoarea recompenselor sau penalizărilor se obține din calcularea diferenței între vehiculele care evacuează intersecția și coada rezultată la sfârșitul perioadei de roșu. În cazul în care cozile de vehicule încep să crească se primesc penalizări, iar dacă aceasta scade se primesc recompense;
- timpul de așteptare la semafor pentru ca un vehicul să evacueze intersecția. Acesta se calculează sub forma diferențelor dintre timpul mediu de așteptare al vehiculelor de pe o bandă sau un braț al intersecției la un timp t în raport cu cel de la timpul $t+1$.
- tranziția dintre fazele de semaforizare. Aceasta se evaluează în funcție de timpul pierdut pentru comutarea de la o fază la alta, în funcție de valorile minimale impuse prin matricea de interverde.

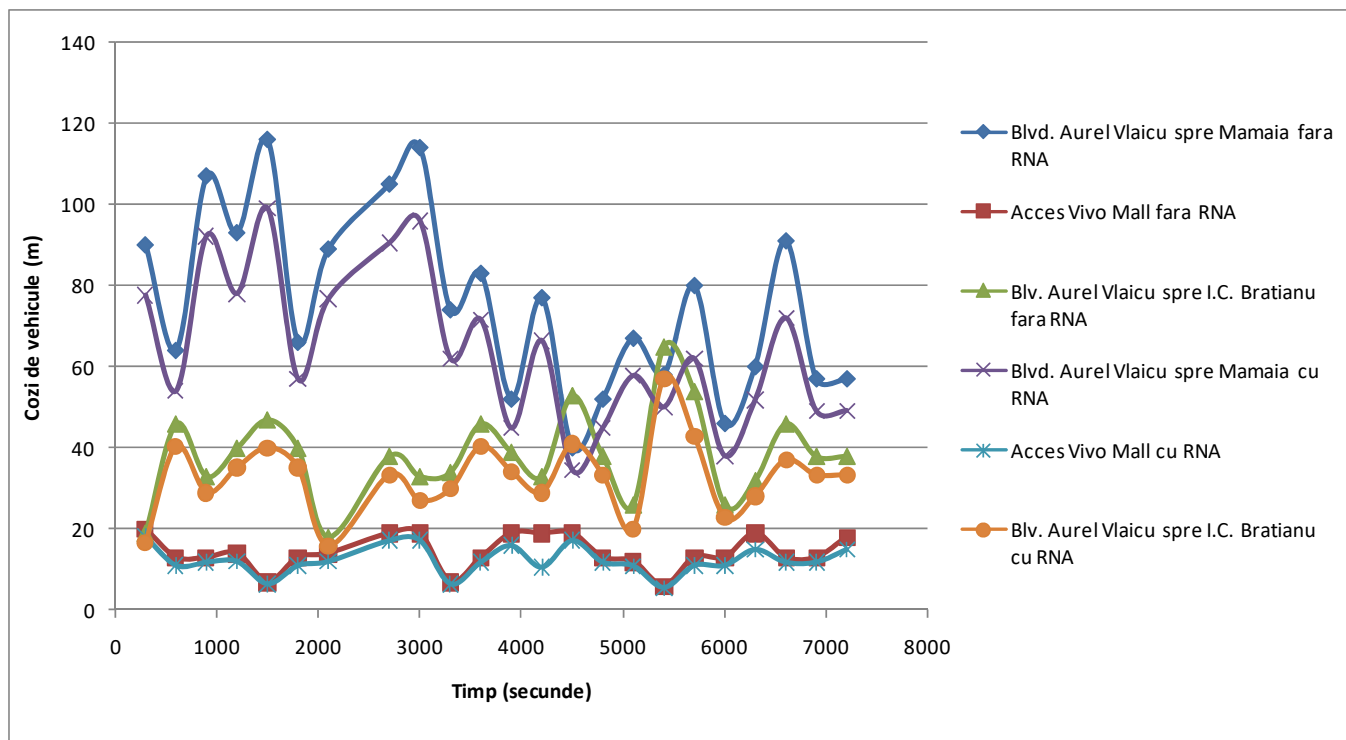
În cadrul acestui studiu de caz s-a efectuat o analiză comparativă între intersecțiile echipate cu algoritmul de calcul propus și cel cu timpi ficți de semaforizare extrăgându-se principali indicatori de performanță.

După "rularea" modelului de trafic cu datele primite de la programul elaborat în Matlab în care au fost dezvoltate RNA s-au obținut următoarele rezultate:

Tabelul 1. Valorile obținute ale cozilor de vehicule între cele două metode de control la intersecției blvd. Aurel Vlaicu - acces Vivo Mall

Interval de timp (secunde)	Metoda de control cu timpi fiși de semaforizare			Metoda de control cu algoritmul propus		
	Bratul intersecției			Bratul intersecției		
	Blvd. Aurel Vlaicu spre Mamaia	Acces Vivo Mall	Blvd. Aurel Vlaicu spre I.C. Brătianu	Blvd. Aurel Vlaicu spre Mamaia	Acces Vivo Mall	Blvd. Aurel Vlaicu spre I.C. Brătianu
0-300	90	20	19	78	18	17
300-600	64	13	46	54	11	40
600-900	107	13	33	92	12	29
900-1200	93	14	40	78	12	35
1200-1500	116	7	47	99	6	40
1500-1800	66	13	40	57	11	35
1800-2100	89	14	18	77	12	16
2400-2700	105	19	38	91	17	33
2700-3000	114	19	33	96	17	27
3000-3300	74	7	34	62	6	30
3300-3600	83	13	46	72	12	40
3600-3900	52	19	39	45	16	34
3900-4200	77	19	33	66	11	29
4200-4500	40	19	53	34	17	41
4500-4800	52	13	38	45	12	33
4800-5100	67	12	26	58	11	20
5100-5400	58	6	65	50	5	57
5400-5700	80	13	54	62	11	43
5700-6000	46	13	26	38	11	23
6000-6300	60	19	32	52	15	28
6300-6600	91	13	46	72	12	37
6600-6900	57	13	38	49	12	33
6900-7200	57	18	38	49	15	33
Medie	76	14	38	64	12	33

Figura 9. Reprezentare grafica a modului de acumulare cozilor de vehicule între cele doua metode de control la intersecției blvd. Aurel Vlaicu - acces Vivo Mall

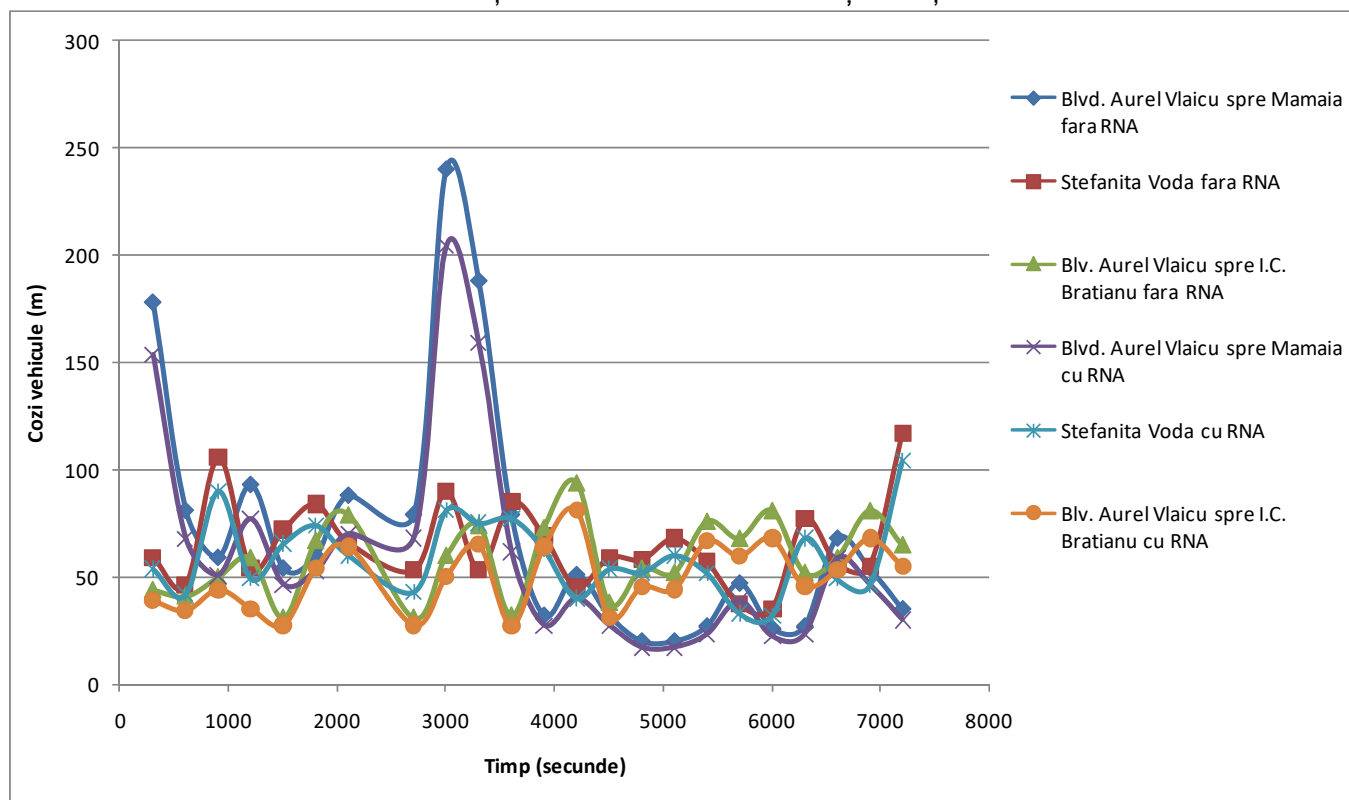


Tabelul 2. Valorile obținute ale cozilor de vehicule între cele doua metode de control la intersecției blvd. Aurel Vlaicu - str. Ștefănița Voda

Interval de timp (secunde)	Metoda de control cu timpi ficși de semaforizare			Metoda de control cu algoritmul propus		
	Bratul intersecției			Bratul intersecției		
	Blvd. Aurel Vlaicu spre Mamaia	Ștefănița Voda	Blvd. Aurel Vlaicu spre I.C. Brătianu	Blvd. Aurel Vlaicu spre Mamaia	Ștefănița Voda	Blvd. Aurel Vlaicu spre I.C. Brătianu
0-300	178	59	44	153	54	39
300-600	81	46	41	68	42	34
600-900	59	106	50	51	90	44
900-1200	93	54	59	77	49	35
1200-1500	54	72	31	47	65	27
1500-1800	60	84	67	53	74	54
1800-2100	88	66	79	70	60	64
2400-2700	79	53	31	68	43	27
2700-3000	240	90	60	204	81	50
3000-3300	188	53	74	159	75	65
3300-3600	79	85	32	62	77	27

Interval de timp (secunde)	Metoda de control cu timpi fiși de semaforizare			Metoda de control cu algoritmul propus		
	Bratul intersecției			Bratul intersecției		
	Blvd. Aurel Vlaicu spre Mamaia	Ștefănița Voda	Blvd. Aurel Vlaicu spre I.C. Brătianu	Blvd. Aurel Vlaicu spre Mamaia	Ștefănița Voda	Blvd. Aurel Vlaicu spre I.C. Brătianu
3600-3900	32	69	73	28	63	64
3900-4200	51	45	94	40	40	81
4200-4500	32	59	38	28	54	31
4500-4800	20	58	54	17	52	45
4800-5100	20	68	52	17	60	44
5100-5400	27	57	76	23	52	67
5400-5700	47	37	68	39	33	60
5700-6000	26	35	81	22	32	68
6000-6300	27	77	52	23	68	46
6300-6600	68	56	59	59	49	53
6600-6900	54	55	81	47	46	68
6900-7200	35	117	65	30	104	55
Medie	71	65	59	60	59	50

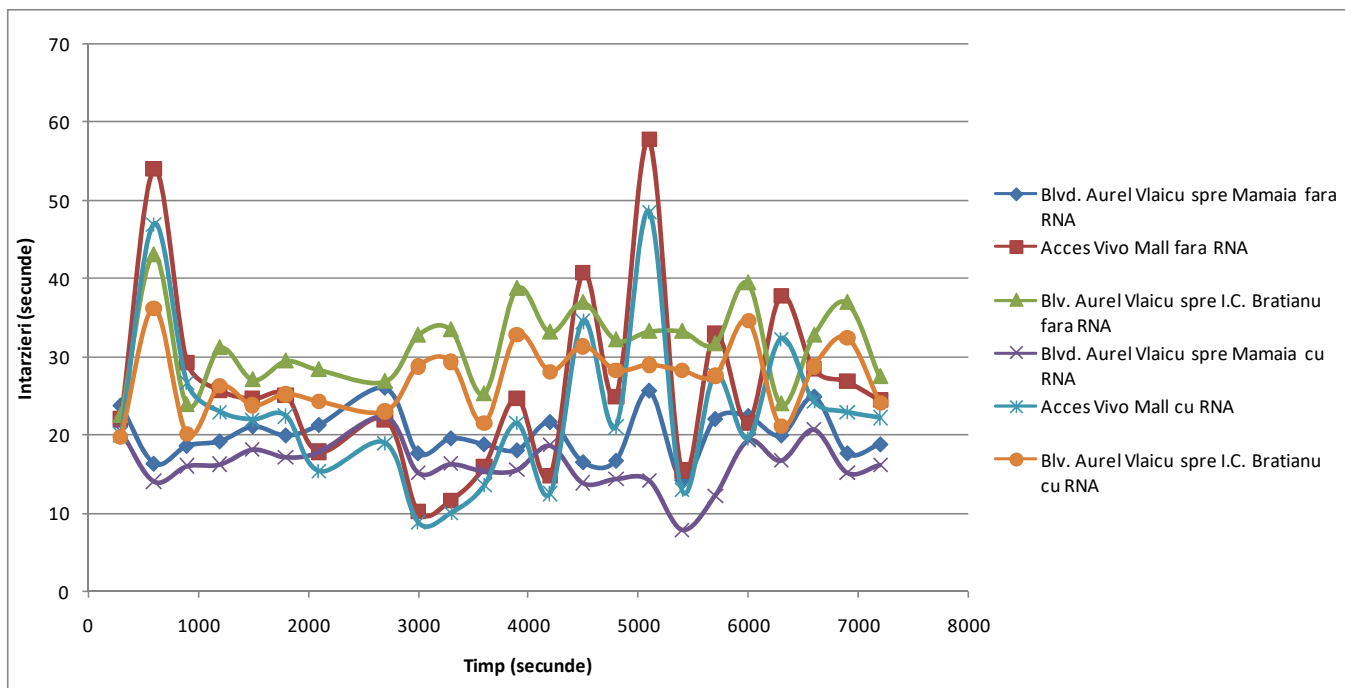
Figura 10. Reprezentare grafica a modului de acumulare coziilor de vehicule între cele doua metode de control la intersecției blvd. Aurel Vlaicu - str. Ștefănița Voda



Tabelul 3. Valorile întârzierilor medii ale vehiculelor între cele două metode de control la intersecției blvd. Aurel Vlaicu - acces Vivo Mall

Interval de timp (secunde)	Metoda de control cu timpi fiși de semaforizare			Metoda de control cu algoritmul propus		
	Bratul intersecției			Bratul intersecției		
	Blvd. Aurel Vlaicu spre Mamaia	Acces Vivo Mall	Blvd. Aurel Vlaicu spre I.C. Brătianu	Blvd. Aurel Vlaicu spre Mamaia	Acces Vivo Mall	Blvd. Aurel Vlaicu spre I.C. Brătianu
0-300	23.75	22	22.5	20.47	20.00	19.74
300-600	16.34	54	43.1	14.09	46.96	36.22
600-900	18.62	29.3	23.9	16.05	26.64	20.08
900-1200	19.19	25.7	31.2	16.26	22.95	26.22
1200-1500	21.09	24.6	27.1	18.18	21.96	23.77
1500-1800	19.95	25.1	29.5	17.20	22.41	25.21
1800-2100	21.28	17.8	28.4	17.88	15.34	24.27
2400-2700	26.03	22	26.9	22.44	18.97	22.99
2700-3000	17.67	10.2	32.8	15.23	8.79	28.77
3000-3300	19.57	11.6	33.5	16.31	10.00	29.39
3300-3600	18.81	15.9	25.3	15.42	13.47	21.44
3600-3900	18.05	24.7	38.8	15.56	21.48	32.88
3900-4200	21.66	14.7	33.2	18.67	12.46	28.14
4200-4500	16.53	40.8	37	13.89	34.58	31.36
4500-4800	16.72	24.8	32.2	14.41	21.02	28.25
4800-5100	25.65	57.8	33.3	14.25	48.57	28.96
5100-5400	14.25	15.4	33.3	7.92	12.94	28.22
5400-5700	22.04	32.9	31.7	12.24	27.65	27.57
5700-6000	22.42	21.5	39.5	19.33	19.55	34.65
6000-6300	19.95	37.8	24	16.76	32.31	21.05
6300-6600	24.89	28.4	32.8	20.74	24.27	28.77
6600-6900	17.67	26.8	37	15.23	22.91	32.46
6900-7200	18.81	24.4	27.5	16.22	22.18	24.12
Medie	20.0	26.4	31.5	16.3	22.9	27.2

Figura 11. Reprezentare grafica întârzierilor medii ale vehiculelor între cele două metode de control la intersecției blvd. Aurel Vlaicu - acces Vivo Mall

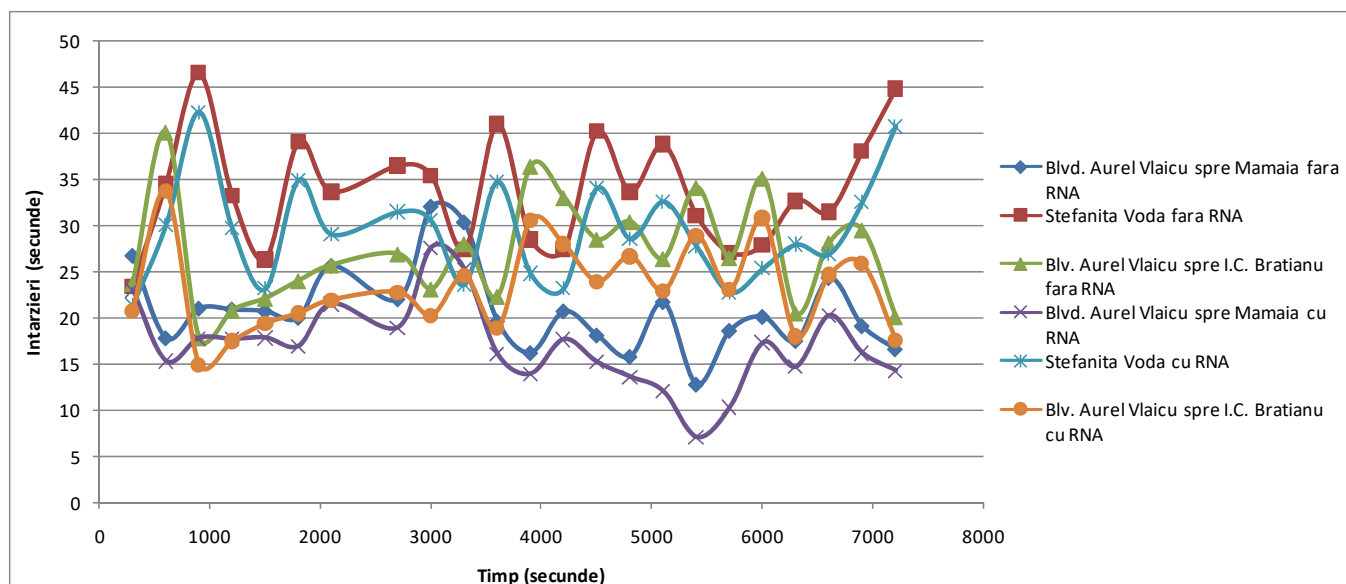


Tabelul 4. Valorile întârzierilor medii ale vehiculelor între cele două metode de control la intersecției blvd. Aurel Vlaicu - str. Ștefănița Voda

Interval de timp (secunde)	Metoda de control cu timpi ficși de semaforizare			Metoda de control cu algoritmul propus		
	Bratul intersecției			Bratul intersecției		
	Blvd. Aurel Vlaicu spre Mamaia	Ștefănița Voda	Blvd. Aurel Vlaicu spre I.C. Brătianu	Blvd. Aurel Vlaicu spre Mamaia	Ștefănița Voda	Blvd. Aurel Vlaicu spre I.C. Brătianu
0-300	26.7	23.5	23.7	23.02	21.36	20.79
300-600	17.8	34.5	40.1	15.34	30.00	33.70
600-900	21	46.5	17.8	17.80	42.27	14.96
900-1200	20.9	33.3	20.8	17.71	29.73	17.48
1200-1500	20.7	26.4	22.1	17.84	23.16	19.39
1500-1800	20	39.1	24	16.95	34.91	20.51
1800-2100	25.6	33.7	25.7	21.51	29.05	21.97
2400-2700	22	36.5	26.9	18.97	31.47	22.80
2700-3000	32	35.4	23.1	27.59	30.52	20.26
3000-3300	30.3	27.4	28	25.25	23.62	24.56
3300-3600	19.6	41	22.3	16.07	34.75	18.90
3600-3900	16.2	28.5	36.4	13.97	24.78	30.59

Interval de timp (secunde)	Metoda de control cu timpi fiși de semaforizare			Metoda de control cu algoritmul propus		
	Bratul intersecției			Bratul intersecției		
	Blvd. Aurel Vlaicu spre Mamaia	Ștefănița Voda	Blvd. Aurel Vlaicu spre I.C. Brătianu	Blvd. Aurel Vlaicu spre Mamaia	Ștefănița Voda	Blvd. Aurel Vlaicu spre I.C. Brătianu
3900-4200	20.7	27.4	33	17.69	23.22	27.97
4200-4500	18.1	40.2	28.5	15.21	34.07	23.95
4500-4800	15.8	33.7	30.4	13.62	28.56	26.67
4800-5100	21.7	38.8	26.4	12.06	32.61	22.96
5100-5400	12.8	31.1	34.1	7.11	27.77	28.90
5400-5700	18.6	27.1	26.5	10.33	22.77	23.04
5700-6000	20.1	27.9	35.1	17.33	25.36	30.79
6000-6300	17.5	32.7	20.5	14.71	27.95	17.98
6300-6600	24.3	31.5	28.1	20.25	26.92	24.65
6600-6900	19.1	38.1	29.5	16.19	32.56	25.88
6900-7200	16.6	44.8	20.1	14.31	40.73	17.63
Medie	20.8	33.9	27.1	17.0	29.5	23.3

Figura 12. Reprezentare grafica a întârzierilor medii ale vehiculelor între cele două metode de control la intersecției blvd. Aurel Vlaicu - str. Ștefănița Voda



Din analiza rezultatelor obținute se pot trage următoarele concluzii:

- prin implementarea automatelor de dirijare a circulației cu elemente de inteligența artificială se obține o reducere a cozilor de vehicule pentru intersecțiile menționate mai sus cu 12% până la 16% în funcție de brațul unei intersecții;

- scăderea întârzierilor medii ale vehiculelor prin folosirea algoritmului propus se situează între 14% - 20% în funcție de brațul unei intersecții;
- în cazul unei analize care cuprinde mai multe intersecții cu forme geometrice complexe și cu grad mai mare de saturare, folosirea algoritmului propus va conduce la beneficii mai mari. În aceste cazuri vor fi necesare puteri de calcul superioare, pentru a diminua timpii de antrenare ai rețelelor neuronale.

2.3 Dezvoltarea unei metodologii de calcul a nivelului de serviciu multimodal

Politicile de dezvoltarea ale orașelor s-au bazat decenii la rând pe sporirea infrastructurii rutiere, combinate cu creșterea gradului de motorizare. Rezultatele unor astfel de strategii de transport au condus la extinderea tramei stradale, având de multe ori consecințe urbanistice negative și conducând într-un final la amplificarea ambuteiajelor. Pentru a se încerca o cuantificare a condițiilor de trafic, în anul 1965, un grup de cercetători au creat unul din primele manuale de trafic (Highway Capacity Manual), în care s-a pus bazele teoretice ale unui nou parametru : nivelul de serviciu.

Prin definiția acestuia nivelul de serviciu prezintă o încadrare a condițiilor de circulație dintr-o intersecție/segment de strada [14] folosind în funcție de metodologia de calcul ca parametrii de evaluare întârzierile, viteza, raportul debit/capacitate de circulație pentru un vehicul, o bandă sau mai multor ramuri ale intersecțiilor. Folosirea nivelului de serviciu oferă informații doar din perspectiva conducătorului auto și nu poate conduce la o apreciere diferențiată ale tipurilor de deplasării multimodale.

Cu toate ca se inventase un element teoretic, care ar fi trebuit să evalueze congestiile din trafic, acesta a condus în mod indirect la potențarea proiectelor de infrastructura rutiera care au fost acompaniate de creșterea nivelului de segregare ale comunităților, creșterea pe o perioadă limitată a vitezei de circulației, sporirea evenimentelor rutiere și scăderea calității vieții. Critica care se aduce nivelului de serviciu constă în faptul că acesta pune un accent prea mare pe automobil în raport cu celelalte mijloace de transport.

Metodele moderne de planificare a circulației rutiere pun prioritate pe diminuarea poluării din marile orașe, scăderea aglomerației generate de automobile, îmbunătățirea mobilității între cartiere/centre de interes, diminuarea consumurilor de carburant și a timpilor de deplasare, creșterea speranței de viață, etc. Acest lucru a făcut ca atenția autorităților publice să se deplaseze și asupra călătoriilor desfășurate cu transportul în comun, cu bicicleta sau pe jos.

În vederea aprecierii calitative a alternativelor de transport în literatura de specialitate s-a abordat ideea îmbunătățirii conceptul menționat mai sus prin utilizarea unui **nivel de serviciu multimodal**. Acesta soluții au încercat să acopere experiența folosirii modurilor alternative de transport ținând cont de percepția utilizatorului.

Din cadrul studiilor de specialitate consultate de autorul tezei de doctorat putem enumera analiza făcută în manualul de transport al orașului Charlotte, din statul North Carolina, SUA [15] asupra nivelelor de serviciu ale pietonilor și bicicliștilor. Nivelul de serviciu se calculează în funcție de punctajul obținut de un set de variabile privind facilitățile de traversare a intersecțiilor de către

bicicliști și pietoni. Un dezavantaj al acestei metode îl constituie faptul că nu se poate aplica la segmente de stradă, iar modul de selecție al unor factori folosiți în evaluarea (ex: raza de racordare între străzi, prezența verdei intermitent la semafor) sunt discutabili.

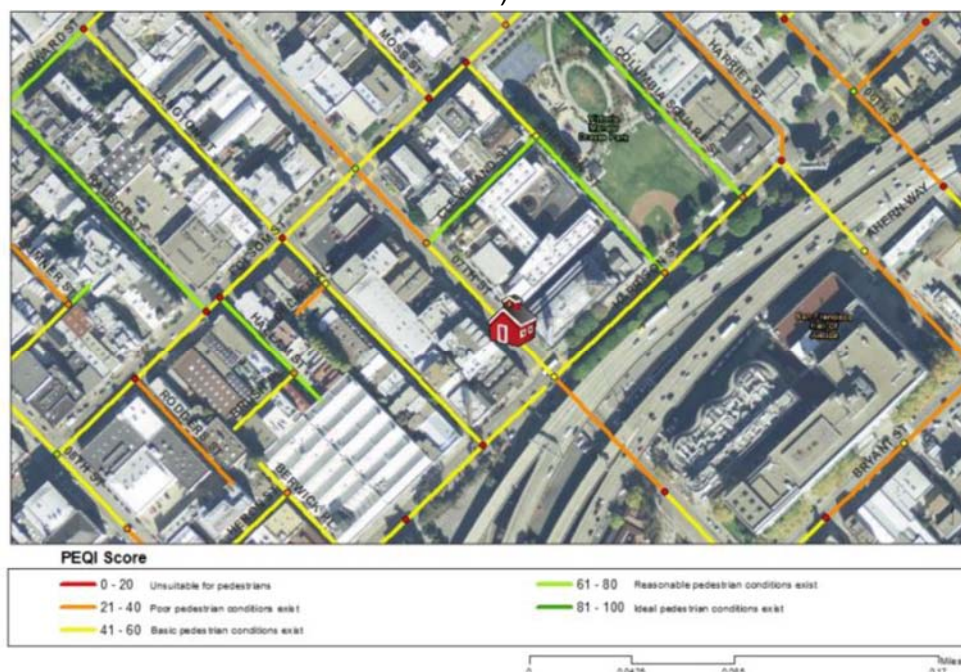


Figura 13– Extras din harta electronica realizata in orașul San Francisco [16]

Un alt punct de vedere al acestei probleme a fost realizat de către Departamentul de Sănătate Publică din orașul San Francisco, SUA. În acest caz s-a folosit un sistem bazat pe indici de la 0 la 100, care măsoară modul în care un tronson de stradă sau o intersecție satisface nevoia de mobilitate pietonală sau folosirea bicicletei. Acesta metodă a permis realizarea unor hărți de tip GIS în care indicii au fost ponderați și reprezentanți cu o anumită culoare în funcție de condițiile puse la dispoziție utilizatorilor. Spre exemplu culoarea roșie reprezintă un mediu mai "ostil" pietonilor și bicicliștilor, în timp ce culoarea verde oferă condiții apropiate de cele ideale. În figura numărul 93 se prezintă un exemplu dintr-o astfel de hartă.[16].

În manualul privind transportul multimodal elaborat de orașul Fort Collins, statul Colorado, SUA [74], evaluarea nivelului de serviciu al bicicliștilor depinde de gradul de conformare cu standardele de proiectare locale pentru facilitățile existente, fiind unul din elementele de limitare a acestei metode. Pentru pietoni metodologia ia considerare factori precum continuitatea căilor de rulare, siguranța circulației și facilitățile oferite pentru acest mod de transport. În raport cu alte metodologii de calcul se prezintă și o abordare a nivel de serviciu pentru transport public. Factorii de influență ai acestuia sunt caracteristicile rutelor operare și suprafața geografică acoperită.

În scopul realizării unui concept unitar care să reliefeze un nivel de serviciu multimodal cât mai apropiat de realitate, în cadrul tezei de doctorat se propune o metodologie de calcul care să ofere un rezultat cât mai apropiat de realitate. Astfel în evaluarea nivelului de serviciu pentru transportul public prezența sau lipsa unor cai rulare dedicate doar acestui mijloc de transport nu trebuie să fie factorul cu ponderea cea mai mare. Evaluarea unui serviciu de transport trebuie să țină cont de următoarele elemente:

- accesibilitatea serviciului de către pietoni;

- regularitatea liniei mijlocului de transport public;
- timpul de călătorie a unui mijloc de transport public.

În vederea cuantificării unui nivel de serviciu global al transportului public se vor alocă ponderii fiecărui factor menționat mai sus. În privința accesibilității serviciului de către pietoni se considera un punctaj bazat pe o distanță de la punctul de origine al călătoriei până la stația de transport în comun precum și facilitățile pietonale existente conform tabelului de mai jos:

Tabelul 5. Numărul de puncte aferent distanței de la punctul de origine al călătoriei până la stația de transport

Distanța de la punctul de origine până la stația de transport în comun (m)	Număr de puncte
100	10
200	8
300	6
400	4
500	2

Tabelul 6. Numărul de puncte alocate în funcție de traversări ale unor cai de comunicații

Număr de treceri de pietoni	Număr de puncte
1	10
2	8
3	6
4	4
5	2

În cazul unor treceri de pietoni semaforizate deși siguranța pietonală sporește, timpii de călătorie vor crește, prin urmare punctajul se diminuează la jumătate.

Pentru stabilirea punctajului referitor la regularitatea se propune folosirea frecvenței dintre vehiculele liniei de transport în comun accesate de călători

Se recomandă ca folosirea acestui factor să se utilizeze doar pentru serviciu de transport public care include cel puțin două -trei opriri în stațiile de transport în comun, liniile expres fiind eliminate din această categorie.

Tabelul 7. Numărul de puncte alocate în funcție de frecvența dintre vehiculele liniei de transport în comun

Distanța temporală între vehicule (minute)	Frecvența mijloacelor de transport (vehicule/oră)	Număr de puncte
60	1	1
45	1.33	4
30	2	6
15	4	8
10	6	10
5	20	12

La stabilirea timpului de călătorie pe kilometru parcurs pe o ruta de transport in comun se va include durata de călătorie propriu zisa cat si durata de așteptare in stație.

Tabelul 8. Numărul de puncte alocate in funcție de timpii de călătorie

Timp de călătorie al vehiculelor (minute/km)	Număr de puncte
2	12
2.5	10
3	8
5	6
10	4
15	2
20	1

Suplimentar este recomandabil ca sa se punctaje condițiile de confort din transportul in comun precum dotările din stațiile de autobuz, densitatea calatorilor in vehiculul de transport in comun sau prezenta aerului condiționat. Gradul de aglomerare in vehiculul de transport in comun se exprima prin raportul dintre numărul de persoane si numărul de locuri pe scaune disponibil

Prin urmare se propune adăugarea a următoarelor conform tabelelor de mai jos.

Tabelul 9. Numărul de puncte alocate in funcție de gradul de aglomerare in transportul in comun

Raportul dintre numărul total de persoane si numărul locuri pe scaun	Număr de puncte
0.8	18
1	16
1.4	14
1.8	12
2	10
2.2	8
2.4	6
2.6	4
2.8	2
3	1

Tabelul 10. Numărul de puncte alocate dotărilor privind confortul călătoriei

Prezenta copertinelor in stațiile de transport in comun	Număr de puncte
DA	10
NU	1

Prezența aerului condiționat în vehiculul de transport în comun	Număr de puncte
DA	20
NU	1

În concluzie formula de calcul propusă pentru evaluarea nivelului de serviciu multimodal al transportului în comun este următoarea:

Punctaj Transport Public (TP) = Accesibilitatea serviciului TP x 0.15 + Număr treceri pietoni x 0.12 + Frecvența liniei x 0.2 + Timp călătorie x 0.25 + Raportul dintre numărul total de persoane și numărul de locuri pe scaune x 0.1 + Prezența copertinelor în stațiile de transport în comun x 0.05 + Prezența aerului condiționat în vehiculul de transport în comun x 0.13

Transformarea punctajului obținut în urma aplicării formulei de mai sus în clasele de mărime ale niveluri de serviciu notat cu litere de A la F se va realiza conform tabelului de mai jos.

Tabelul 11. Nivelul de serviciu al transportului public în raport cu punctajul calculat

Punctaj transport public	Nivel de serviciu
Peste 11 puncte	A
Între 9.5 și 11 puncte	B
Între 7.5 și 9,5 puncte	C
Între 5.5 și 7.5 puncte	D
Între 2.5 puncte și 5.5 puncte	E
Sub 2.5 puncte	F

În exemplu de calcul mai jos se prezintă modalitatea de aplicare a metodologiei de calcul propuse. Se va analiza comparativ un tronson din două linii de tramvai 55 și 41. Pentru linia 55 se va calcula nivelul de serviciu între stația de capăt Granitul și Piața Iancului, pe care sunt amplasate 6 stații. Lungimea acestui tronson este de 4,5 km. Timpul de călătorie de la prima până la ultima stație luată în evaluare este de 25 minute, rezultând o medie de 5.5 minute/km. Tramvaiele operate de STB pe această rută nu au instalație de aer condiționat, iar în stații sunt dotate cu copertine. La ora de vârf numărul de călătorii total este în medie cu 40% mai mare în raport cu numărul de scaune. Distanțele între clădirile rezidențiale și stațiile de tramvai sunt între 150 - 200m.

În baza algoritmului de mai sus rezultă un total de 7,3 puncte, încadrând linia 55 la nivelul de serviciu D.

Pentru linia 41 se va lua în calcul traseul dintre podul Grant și Drumul Taberei. Lungimea traseului este de 4,8km, parcurs în 12 minute, rezultând un timp de 2.5 min/km. Celelalte condiții de călătorie sunt similare cu linia 55.

În baza algoritmului de mai sus rezultă un total de 9,6 puncte, încadrând linia 41 la nivelul de serviciu B.

Din analiza comparativa a condițiilor de călătorie și a nivelelor de serviciu pe cele două linii de tramvai se pot trage următoarele concluzii:

- chiar dacă ambele linii de transport în comun au o cale de rulare dedicată, frecvența liniei 41 este mai bună datorită sistemului de prioritizare a mijloacelor de transport în comun;
- linia 41 poate să obțină timpi de călătorie mai scăzuți deoarece timpii de așteptare la semafor sunt mai scăzuți;
- confortul călătoriei poate să conducă la o modificare a nivelului de serviciu;
- existența unor pasaje denivelate au rolul de a îmbunătăți condițiile de călătorie. Un exemplu elocvent în acest sens este linia de tramvai (metrou ușor) din orașul britanic Sheffield, care beneficiază de cale proprie de rulare și o multitudine de intersecții denivelate;
- pentru ca o linie de transport public să fie preferată de călători în detrimentul automobilului timpii de călătorie cu mijloacele de transport publice este necesar să fie mai scăzuți. În plus alegerea traseelor de transport public trebuie să fie bazată pe direcțiile de mobilitate rezultate dintr-un model macroscopic al unui oraș împreună cu zona metropolitană adiacentă;
- operarea unor mijloace de transport moderne conduce la un îmbunătățirea nivelului de serviciu;
- nivelul de serviciu D pentru linia 55 conduce la scăderea atractivității parcurii intermodale de la Granitul, care ar trebui să fie diminuate călătoriile cu autoturismele pentru deplasările din județul Ilfov spre/din București;
- metodologia folosită mai sus poate fi aplicată atât pe diverse tronsoane ale liniilor de transport, oferind posibilitatea de a stabili măsurile de prioritizare sau îmbunătățire a condițiilor de călătorie.

2.4 Dezvoltarea unei metodologii detaliate de realizare a studiilor de trafic

Realizarea studiilor de trafic reprezintă o etapă importantă în stabilirea soluțiilor și elementelor geometrice ale drumurilor și străzilor. În vederea atingerii acestui scop este necesar să se cuantifice în mod corect beneficiile și impactul pe care un proiect îl are asupra infrastructurii rutiere existente sau propuse. În prezent se constată faptul că legislația din țara noastră nu descrie într-o manieră laborioasă întreaga procedură metodologică pentru elaborarea unor studii de trafic, care să permită implementarea cu succes a obiectivelor unui proiect și să rezolve posibilele efecte adverse. Normativul AND 600/2010 sau standardele din seria 10144/4-5 descriu doar formulele matematice recomandabile pentru realizarea unor calculele ale capacităților de circulație.

În cadrul acestei teze de doctorat se pun bazele unei metodologii prin care specialiștii în trafic să poată identifica în mod cert etapele necesare în realizarea unor analize de trafic, care să ofere prognoze cu o acuratețe ridicată ale principalelor variabile critice (de trafic). Principali pași în realizarea unui model de trafic, care să ofere informații relevante, constau în următoarele :

- Faza pregătitoare înainte de începerea dezvoltării modelului de trafic;
- Modelarea inițială;
- Calibrarea și validarea modelului de trafic;
- Analizarea alternativelor propuse;
- Raportul tehnic cu prezentarea rezultatelor și finalizarea părților desenate.

Etapa nr. 1. În cadrul acestei faze se va defini tema de proiectare și obiectivele proiectului, care trebuie să fie prezentate pentru aprobarea factorilor decidenți. Totodată se va efectua o analiză analitică privind aria de influență a proiectului, ținând cont de repartiția traficului

rutier generat si atras de proiect. In cazul unei dezvoltări private se vor lua in considerare următorii factori:

- care este poziția geografica a principalelor accese la o dezvoltare, in raport cu rețeaua stradala actuala, precum si cu cea propusa;
- care sunt perioadele temporale critice. In acest caz se verifica daca perioadele de vârf ale fluxurilor de tranzit coincid cu cele ale dezvoltări pe parcursul unei zile sau exista o anumita sezonalitate a debitelor de trafic. Un exemplu elocvent in acest sens îl reprezintă municipiul Constanta, in care vârfurile de trafic atrase / generate de turismul de pe litoral sunt cu preponderenta la sfârșitul săptămânii, iar vârfurile de trafic locale sunt in timpul săptămânii.
- se va stabili in funcție de cerințele avizatorului si complexitatea proiectului care sunt programele de calcul de simulare necesare. In acest sens putem menționa ca in capitalele europene sunt impuse anumite pachete de software de care autoritățile locale. Spre exemplu in Londra, autoritatea de avizare Transport for London (TfL) necesita folosirea unor programe de macromodelare (TRANSYT, LINSIG, ARCADY) in cazul unor proiecte cu intersecții nesaturate sau care conțin elemente geometrice mai puțin complexe si obligatoriu folosirea unor software-uri de microsimulare (VISSIM) in cazul unor artere mai congestionate.

Ca o comparație sugestiva, pentru orașul București, in cazul oricărui proiect care debrușează fluxuri de trafic pe axele nord - sud, est - vest si inelul central ale capitalei ar trebui sa includă realizarea unor microsimulări de mare precizie.

Etapă nr. 2.

Aceasta etapă consta in colectarea datelor necesare pentru realizarea modelelor de trafic. Având in vedere ca rezultate unei analize de trafic depind de calitatea si cantitatea datelor utilizate se impune ca duratele minime de colectate sa respecte recomandările din normativul AND 600/2010. Evidențierea orelor de vârf se va putea realiza fie printr-o măsurătoare automata pe mai multe zile, fie prin consultarea unor baze de date digitale ale hărților de pe internet (Ex: Google Maps). Pentru măsurătorile de trafic pe direcții de mers este necesar alegerea unei zile "normale", care sa nu fie influențată de condițiile meteo, evenimente rutiere, festivaluri/concerte sau lucrări la partea carosabila.

In funcție de programul de calcul folosit specialistul de trafic poate solicita o varietate mai mica sau mai mare de informații. Acestea se pot grupa in următoarele categorii:

- informații privind elementele geometrice ale străzii/drumului sau intersecțiilor analizate;
- informații privind modalitățile de control ale intersecțiilor;
- informații privind cererea de transport exprimata prin intensități ale traficului sau valori origine - destinație;
- date necesare in procesul de validare a modelelor de trafic;

In funcție de programul de calcul folosit elementele geometrice vor include informații privind numărul lungimea, lățimea benzilor de circulație si a buzunarelor de stocaj pentru viraje (in cazul in care exista), precum si razele de curbura. Programele de microsimulare avansate mai pot

necesita date privind declivitățile longitudinale, starea tehnica a părții carosabile, poziția stațiilor de transport în comun sau parcurile adiacente. Acest tip de informații se pot colecta cu ajutorul ortofotoplanurilor, baze de date GIS sau ridicări topografice.

În funcție de tipul de control a unei intersecții se vor identifica următoarele date: căile de acces cu și fără prioritate, iar în cazul prezentei semaforizări numărul și succesiunea fazelor de semaforizare, lungimea ciclului de semaforizare, diagramele de semaforizare, matricea de interverde, mișcările permise aferente fiecărei faze de semaforizare, etc. Se recomandă pe cât posibil ca aceste informații să provină de la administratorul drumului/străzilor, însă este preferabil să se facă și unele verificări pentru fiecare locație.

Pentru stabilirea componentei traficului rutier măsurătorile de trafic pe direcții de mers se vor efectua la orele de vârf pe intervale de timp situate între 5- 15 minute. De asemenea se vor colecta lungimea cozilor de așteptare, exprimate în număr vehicule pe fiecare categorie de vehicul, urmând ca apoi aceste date să fie transformate în metri.

În funcție de complexitatea programului de calcul vor fi necesare măsurători ale timpilor de călătorie, fluxurilor de saturație sau comportamentului conducătorilor auto conform descrierilor detaliate prezentate în capitolul nr. 2 al tezei de doctorat. La această etapă este important să se verifice dacă tendința generală a conducătorilor auto este să respecte cât mai mult regulile de circulație sau dacă comportamentul auto actual conține și elemente de "curtoazie" privind asistarea altor vehicule în vederea înscrierii cât mai ușor în flux.

Un element important care poate afecta măsurătorile de trafic îl reprezintă prezenta ambuteiajelor. În acest caz, este de preferat ca măsurătorile să înceapă înainte de apariția congestiilor și să se finalizeze după terminarea lor astfel încât să se poată evalua cât mai exact cererea de transport. Pe de altă parte în cadrul perioadelor critice ale orelor de vârf este necesar să se stabilească cât mai exact capacitatea de circulație pentru anumite direcții de mers. Se va avea în vedere regula gradului de saturare maximal. Aceasta constă în introducerea în modelul de trafic a unui flux de trafic care prin cozile de trafic generate de modelul de trafic să nu depășească lungimea dintre două intersecții analizate.

Etapa nr. 3. În cadrul acestei faze se va construi modelul de trafic în baza datelor colectate în etapele descrise mai sus. În general majoritatea programelor de calcul necesită definirea nodurilor care sunt asimilate cu intersecțiile (semaforizate sau nesemaforizate) și cu legăturile dintre acestea (link-urile). Definirea în plan a nodurilor se face de obicei într-un sistem de referință ortogonal, de tip x-y, iar în unele programe de calcul mai complexe se vor introduce și cotele (z). În cazul modelelor de microsimulare se vor putea importa ortofotoplanurile sau ridicări topografice realizate în fișiere de tip dxf sau dwg.

În cadrul modelelor de trafic cu complexitate ridicată comportamentul conductorului auto poate fi definit cu ajutorul parametrilor prestabiliți. În baza observațiilor realizate pe teren, specialistul de trafic poate modifica agresivitatea în trafic a conductorilor auto. Aceasta poate să fie replicată în modelele de trafic prin distanța medie între vehicule, numărul de secunde între vehicule pentru cedarea trecerii sau timpul de răspuns la apariția culorii galben de la semafor.

Cu toate că modelele de trafic moderne au multe opțiuni pentru a simula condițiile de trafic, în anumite situații, datele colectate din teren pot fi insuficiente sau necesită lungi perioade de observație, pentru a obține un comportament al conducătorilor auto apropiat de cel din realitate. Astfel de cazuri ceva mai dificil de modelat apar în următoarele situații:

- la schimbarea benzilor de circulație pe zone cu congestii de trafic;

- intersecții controlate prin reguli de prioritate cu nivele scăzute ale capacității de circulație. Un exemplu în acest sens îl reprezintă intersecțiile la nivel de pe centura București, unde deși vehiculele, care intra pe șoseaua de centura au prioritate, datorită curtoaziei unii conducători auto permit accesul autovehiculelor fără prioritate;

- variația maximă la accelerare și decelerare;

- folosirea unei benzi de circulație pentru multiple opriri sau staționari datorită livrărilor de marfa, intrări sau ieșiri dintre- o parcare amenajată. În acest caz dacă modelul de trafic nu permite "închiderea" parțială pe o anumită lungime a benzii de circulație, astfel încât să se simuleze o diminuare a capacității de circulație este de preferat ca aceasta bandă să fie eliminată local din modelul de trafic;

După finalizarea modelului de trafic se va realiza o rulare a acestuia cu valori prestabilite. Se vor avea în vedere în principal următoarele:

- perioada temporală de simulare. Alegerea acesteia va depinde de intervalul orei de vârf. În cazul în care ora de vârf de dimineață este între 8 AM și 9 AM se va simula cel puțin o jumătate de ora înainte de ora de vârf, pentru a permite încărcarea vehiculelor în modelul de trafic și formarea coziilor observate la colectarea datelor de pe teren și minim o jumătate de ora după ora de vârf pentru a evidenția simularea disipării traficului;

- rezoluția rezultatelor simulării pe intervale de timp (5 minute, 15 minute, 30 de minute, 1 ora, etc). În mod normal datele sunt introduse pe intervale de 15 minute/60 de minute și rezultatele sunt exportate în același mod. În unele intersecții din care enumerăm mini-sensul giratoriu de la intersecția blvd. I.C. Brătianu cu strada Pasajului din municipiul Constanța sau intersecția A312 Uxbridge Road / Harlington Road East din Londra, Marea Britanie, cozile de vehicule cresc rapid până la o valoare maximă și se mențin doar câteva minute, urmată de o perioadă de acalmie. În aceste cazuri particulare este recomandabil ca datele colectate să fie introduse în modelul de trafic pe intervale de timp mai mici, respectiv indicatorii de performanță să fie exportati în mod similar;

- setarea tipurilor de rapoarte rezultate sau randările video obținute.

Etapa nr. 4. În această fază a studiului de trafic accentul se va pune pe verificarea posibilelor erori de modelare și corectarea acestora. În funcție de complexitatea programului de calcul verificările se împart în două categorii:

- verificări analitice prin compararea datelor de trafic măsurate cu cele extrase din modelul de trafic. Este necesar ca datele extrase din program să fie pe cât posibil altele decât cele folosite la realizarea modelului de trafic.

- verificări vizuale ale animației programului de calcul.

Din punct de vedere al verificărilor necesare prezentate și în studiile de caz din rapoartele anterioare se recomandă următoarele:

- compararea fluxurilor de trafic măsurate cu cele din model pe brațele principalelor artere de legătură cu intersecțiile conform tabelului de mai jos. Se va folosi parametrul statistic GEH descris în raportul de cercetare nr. 1.

Tip vehicule	Bratul intersecției	Valori măsurate	Valori din modelul de trafic	GEH	Diferența procentuala

- realizarea unor înfășurătoare ale parametrilor critici pentru validarea modelului de trafic. Se recomanda verificarea timpilor de călătorie si fluxurilor de saturație. In cazul programelor de calcul mai simple in absenta parametrilor de mai sus se vor compara cozile de trafic.

La finalizarea verificărilor menționate mai sus se poate concluzia faptul ca sunt necesare modificări minore ale parametrilor intrinseci ai modelului de trafic sau se poate considera ca modelul de trafic este valid. După validarea modelului de trafic se vor prezenta principali indicatori de performanta din zona de studiu pentru situația actuala, din care enumeram: cozile de vehicule, gradul de saturare, întârzierile, nivelul de serviciu, rezerva de capacitate de circulație, etc.

Etapa nr. 5. După finalizarea validării modelului de trafic este necesara prognozarea traficului pentru perioada de perspectiva. Orizontul de timp al perioadei de perspectivă se va considera in funcție de clasa intersecțiilor analizate si a perioadelor de timp recomandate in normativul AND 600/2010.

In cazul unor dezvoltări propuse in aria de influenta a studiului de trafic se pot folosi una dintre cele doua metode prezentate mai jos:

- metoda generării călătoriilor;
- metoda gradului de ocupare.

Metoda generării călătoriilor (Trip Generation)

Aceasta metodologie de calcul se bazează pe manualele elaborate de Institutul de Inginerie al Transportului (ITE) versiunile 8 si 9 [17].

In vederea estimării numărului de calatorii generate de către o dezvoltare se folosesc următoarele ecuații:

- ecuația liniara – $T = aX + b$
 - ecuația logaritmica – $T = a \ln(X) + b$
- unde T = numărul de calatorii prognozate

X = variabila independenta

a si b = constante rezultate din procesarea datelor brute

In esența aceasta metoda se bazează pe estimarea a calatoriilor atrase si generate de o dezvoltare, in funcție pe suprafețele desfășurate construite. Numărul total de calatorii este format din următoarele:

- calatorii care au ca punct de destinație dezvoltarea propusa. Acestea vor genera fluxuri de trafic suplimentare asupra rețelei de străzi din zona de analiza;

- calatorii care au punct intermediar de oprire la dezvoltare între o origine și o destinație finală (pas by trips). Această categorie de calatorii nu produc fluxuri de trafic suplimentare asupra rețelelor de străzi din zona de influență a proiectului;
- calatorii între diverse locații ale aceleași dezvoltări. Acest tip de calatorii nu se aplică la acest proiect și sunt specifice investițiilor cu suprafețe mari și funcțiuni variate. Un exemplu ar putea fi Băneasa Shopping Center din nordul municipiului București;
- calatorii atrase de rețeaua de cai de comunicații rezultate în urma implementării investiției.

Mai trebuie menționat faptul că pentru stabilirea numărului de vehicule atrase/generate de o dezvoltare este necesar să se stabilească gradul de încărcare al unui vehicul. Cu titlu de exemplu în figura de mai jos se prezintă gradul de ocupare al vehiculelor măsurate pe mai mulți ani în Uniunea Europeană și SUA. Comparativ cu datele menționate mai jos la studiul de mobilitate al municipiului București din perioada 2007-2008 s-a înregistrat un grad de ocupare al vehiculelor din categoria autoturismelor de doar 1,21 persoane/vehicul.

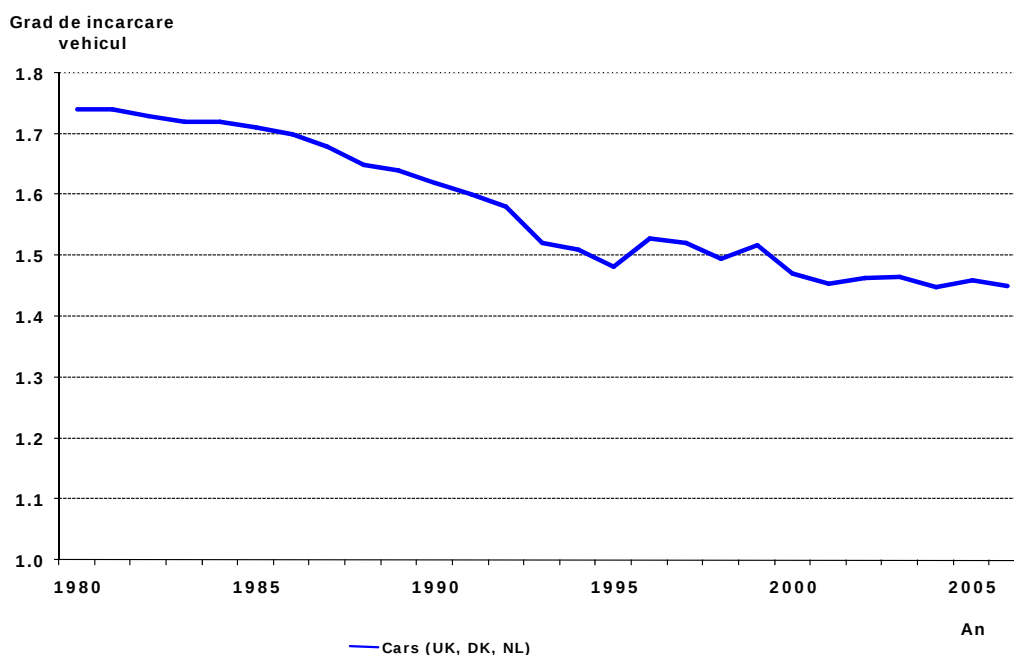


Figura 14– Gradul de ocupare ale vehiculelor [18]

În figura nr. 17 de mai jos se prezintă distribuția călătoriilor în funcție de tipul acestora.

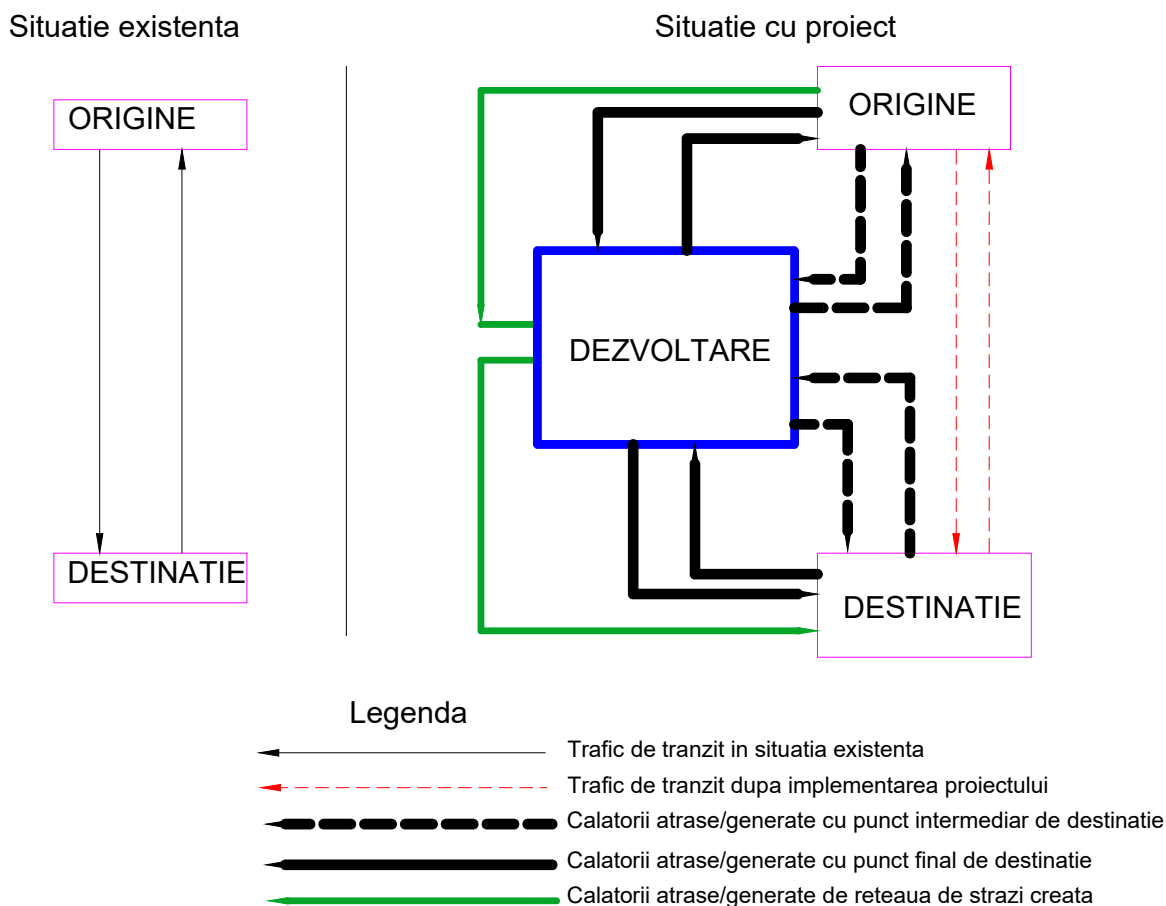


Figura 15– Grafic privind modul de generare al călătoriilor prin metoda călătoriilor

Metoda gradului de ocupare

Această metodologie de calcul se bazează pe analizarea statistică a următoarelor informații:

- Numărul locurilor de parcare;
- informații din studiul de marketing privind media zilnică anuală de vizitatori;
- date statistice de la alte dezvoltări deschise în prezent privind gradul de ocupare al parcarilor;
- prevederile normativului P132 / 93- Normativ pentru proiectarea parcarilor urbane în localități.

Un element al acestei metode îl constituie aproximarea gradului de folosire a parcarilor de la ora de vârf a unei dezvoltări, ținând cont de informațiile menționate mai sus. În plus se va ține cont de perioada de timp, pe care un vizitator o petrece în dezvoltare comercială, în funcție de caracteristicile acesteia. Spre exemplu din experiența autorului la centrele comerciale de tip Mall sau magazine comerciale cu suprafețe cu showroom, timpul mediu de așteptare este în jur de 1,5 ore, în timp ce în magazine de tip bricolaj timpul mediu este de maxim o oră. La polul opus sunt dezvoltările comerciale alimentare de dimensiuni mai reduse de tip supermarket, unde clienții petrec în jur de 45 de minute.

În cadrul acestei metode de calcul traficul generat de dezvoltare se bazează pe un grad de rotație între 10- 25% din totalul locurilor de parcare.

Etapă nr. 6. În ultima fază se vor calcula indicatorii de performanță pentru fiecare intersecție (existentă sau propusă), cu evidențierea efectelor influenței fluxurilor de trafic atrase și generate în raport cu situația existentă. Memoriul tehnic va cuprinde o sinteză a tuturor etapelor descrise mai sus. Rezultate extinse ale rulării modelului de trafic este necesar să fie introduse într-o anexă a memoriului tehnic, astfel încât un alt specialist în trafic să le poată analiza sau folosi în consecință.

Capitolul 3. Concluzii

Cercetările atât în domeniul rețelelor neuronale sunt în plină expansiune și preocupă un număr însemnat de oameni de știință din domenii variate. Acest lucru se datorează potențialului deosebit al acestora și al aplicabilității lor într-un spectru deosebit de larg de activități (după cum se poate deduce din titlurile menționate în lucrare și domeniile foarte diverse în care rețelele neuronale au fost utilizate). În procesul de proiectare a unei rețele neuronale cu învățare supervizată, principala problemă este minimizarea timpului de antrenare.

În acest sens la alegerea arhitecturii trebuie făcut un compromis între performanțele rețelei și volumul de memorie și timpul de calcul necesare. Totuși, în ciuda unelor dificultăți întâlnite la implementarea rețelelor neuronale, avantajele pe care le oferă le recomandă drept soluții viabile, cu performanțe deosebite în identificarea, modelarea și conducerea sistemelor.

În cadrul redactării tezei de doctorat se va introduce un capitol denumit "Concluzii finale, contribuții originale, diseminarea informațiilor și direcții viitoare de cercetare". Acesta va conține următoarele:

- o prezentare a obiectivului principal al tezei de doctorat;
- rolul predicțiilor în ingineria de trafic prin folosirea unor algoritmi de calcul moderni;
- concluzii privind folosirea RNA-urilor pentru îmbunătățirea metodelor de control ale intersecțiilor;
- contribuții teoretice și aplicative detaliate pentru aplicarea inteligenței artificiale și dezvoltarea metodologiei de calcul;
- posibilității de cercetare post-doctorală;
- compatibilitatea cercetării doctorale cu obiectivele aliniate politicilor europene.

Capitolul 4. Bibliografie

1. What is supervised learning? [Internet]. Ibm.com. Disponibil la adresa: <https://www.ibm.com/cloud/learn/supervised-learning>
2. Leon F. Agenti inteligenți cu capacitati cognitive. Editura Tehnopress, Iasi , 2006
3. What is reinforcement learning? - MATLAB & Simulink [Internet]. Mathworks.com. Disponibil la adresa: <https://www.mathworks.com/help/reinforcement-learning/ug/what-is-reinforcement-learning.html>
4. Lall S., Sadhu A.K., Konar A., Mallik K.K., Ghosh S. Multi-agent reinforcement learning for stochastic power management in cognitive radio network. In: 2016 International Conference on Microelectronics, Computing and Communications (MicroCom). IEEE; 2016. p. 1–6.
5. Leon F. Curs inteligenta artificiala. Disponibil la adresa: http://florinleon.byethost24.com/Curs_IA/IA13_Intarire.pdf
6. Rasheed F., Yau K-L.A., Noor R.M., Wu .C, Low Y-C. Deep reinforcement learning for traffic signal control: A review. IEEE Access [Internet]. 2020; 8:208016–44. Disponibil la adresa : <http://dx.doi.org/10.1109/access.2020.3034141>
7. Liang X., Du X., Wang G., Han Z. A deep reinforcement learning network for traffic light cycle control. IEEE Trans Veh Technol [Internet]. 2019;68(2):1243–53. Disponibil la adresa: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8600382>
8. Pathmind.com. Disponibil la adresa : <https://wiki.pathmind.com/deep-reinforcement-learning>
9. Li Z., Xu C., Zhang G. A deep reinforcement learning approach for traffic signal control optimization. arXiv [eess. SP]. 2021. Disponibil la adresa: <http://arxiv.org/abs/2107.06115>
10. Li Y. Deep Reinforcement Learning: An overview. arXiv [cs. LG]. 2017. Available from: <http://arxiv.org/abs/1701.07274>
11. Ye H., Li G.Y., Juang B-HF. Deep reinforcement learning based resource allocation for V2V communications. IEEE Trans Veh Technol [Internet]. 2019;68(4):3163–73. Disponibil la adresa : <https://ieeexplore.ieee.org/document/8633948>
12. Anschel O., Baram N., Shimkin N. Averaged-DQN: Variance reduction and stabilization for Deep Reinforcement Learning [Internet]. arXiv [cs.AI]. 2016. Disponibil la adresa: <http://arxiv.org/abs/1611.01929>
13. Ruder S. An overview of gradient descent optimization algorithms [Internet]. arXiv [cs. LG]. 2016. Available from: <http://arxiv.org/abs/1609.04747>
14. AND 600/2010 -Normativ pentru amenajarea intersecțiilor la nivel pe drumurile publice. Buletinul Tehnic Rutier nr.4. 2010.
15. Urban Street Guidelines. City of Charlotte, North Carolina, 2007
16. Brozen M., Huff H. Exploration and implications of multimodal street performance metrics: What's a passing grade? 2014; Disponibil la adresa: <https://escholarship.org/uc/item/0mf1h7xk>.
17. Trip Generation Manual, 9th Edition. Institute of Transportation Engineers (ITE) Washington, DC United States. 2012
18. Occupancy rates of passenger vehicles. European Environment Agency. 2008. Disponibil la adresa: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/occupancy-rates-of-passenger-vehicles/occupancy-rates-of-passenger-vehicles>