

 <p>Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union</p>	 <p>www.smalog.uniroma2.it</p>	<p>585832-EPP-1-2017-1-IT-EPPKA2-CBHE-JP Master in SMArt transport and LOGistics for cities SMALOG</p>
--	---	--

ERASMUS+ PROGRAMME
Project Number: 585832-EPP-1-2017-1-IT-EPPKA2-CBHE-JP

Master in SMArt transport and LOGistics for cities / SMALOG

Grant Agreement Number 2017-2893/001-001

მედია ქავთარაძე

რიდერი

საგზაო სატრანსპორტო ნაკადების მართვა

ბათუმი
2021

- *This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.*
- *“The authors gratefully acknowledges colleagues from each institution participating in SmaLog with whom almost all topics covered in this report were discussed over the Project development. The authors wishes to thank the editors and reviewers for their suggestions which were most useful in revising the report.*
The activity leading to these results has received funding from the European Community’s Erasmus+, under grant agreement 585832-EPP-1-2017-1-IT-EPPKA2-CBHE-JP’.
- *Supervision: Prof. Antonio Comi, University of Rome Tor Vergata*

რეცენზენტი:

რომან მამულაძე - ბათუმის სახელმწიფო საზღვაო აკადემიის პროფესორი

სალექციო კურსი განხილულია და დამტკიცებულია ბსსა-ს ბიზნესისა და მართვის ფაკულტეტის საბჭოს სხდომაზე, სხდომა #12, 17.09.2020 წელი

 <p>Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union</p>	 <p>www.smalog.uniroma2.it</p>	<p>585832-EPP-1-2017-1-IT-EPPKA2-CBHE-JP Master in SMARt transport and LOGistics for cities SMALOG</p>
--	---	--

ERASMUS+ PROGRAMME
Project Number: 585832-EPP-1-2017-1-IT-EPPKA2-CBHE-JP

Master in SMARt transport and LOGistics for cities / SMALOG

Grant Agreement Number 2017-2893/001-001

Medea kavtaradze

Reader

Traffic management

**Batumi
2021**

<p>Vesion 1.0 april 2021</p>		<p align="right">3</p>
------------------------------	---	------------------------

- *This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.*
- *“The authors gratefully acknowledges colleagues from each institution participating in SmaLog with whom almost all topics covered in this report were discussed over the Project development. The authors wishes to thank the editors and reviewers for their suggestions which were most useful in revising the report.*
The activity leading to these results has received funding from the European Community’s Erasmus+, under grant agreement 585832-EPP-1-2017-1-IT-EPPKA2-CBHE-JP’.
- *Supervision: Prof. Antonio Comi, University of Rome Tor Vergata*

Reviewer:

Roman Mamuladze - Professor at Batumi State Maritime Academy

The course is reviewed and approved at the meeting of the Board of the Faculty of Business and Management of BSMA, Session # 12, 17.09.2020

CONTENTS

შესავალი	9
1. საგზაო სატრანსპორტო ნაკადების მოძრაობის ძირითადი მახასიათებლები	11
2. გაჯერებული სატრანსპორტო ნაკადების მართვა ქალაქებში	24
2.1. სატრანსპორტო ნაკადების მართვა სატრანსპორტო საშუალებების გაჩერების მეშვეობით	24
2.2. სატრანსპორტო ნაკადების მართვა მოძრაობის მახასიათებლების ცვლილებით	25
2.3. ინფორმაციისა და მოძრაობის მიმართულების მართვა	26
2.4. შუქნიშნებით რეგულირების არსებული მეთოდები	28
3. სატრანსპორტო საცობები.....	33
3.1. საცობების წარმოქმნის მიზეზები და მათი აცილება	33
3.2. ერთეულოვანი საცობები და საცობების წყება	34
3.3. ნაკადის ფაზების კლასიფიკაცია	36
4. გზის გამტარუნარიანობა.	40
4.1. გზის გამტარუნარიანობის შემცირების კონსტრუქციული და შემთხვევითი ფაქტორები	43
5. სატრანსპორტო ნაკადების დინამიკის მათემატიკური მოდელირება.....	45
5.1. მოდელირების აქტუალობა	45
5.2. სატრანსპორტო ნაკადების მათემატიკური მოდელირება მოდელების მიმოხილვა.	47
6. გზებზე მოძრაობის უსაფრთხოების უზრუნველყოფა	66
6.1. ხილვადობის უზრუნველყოფა	66

6.2. მოძრაობის უსაფრთხოების უზრუნველყოფა გადაკვეთებზე	68
7. ტრანსპორტის ეკონომიკური ბუნება, პროდუქცია და მომსახურების ხარისხი.....	73
გამოყენებული ლიტერატურა	78

Annotation

The reader was developed within the project of the Master in SMARt transport and LOGistics for cities / SMALOG. Some of the key issues are discussed in the curriculum of the training course “Traffic Management” developed for the new Master's program “Logistics and Forwarding”. The aim of the work is to help students understand and study modern methods of traffic flow management. As a result of the course study, the students will be able to determine the main characteristics of traffic flows and control them in cities, use existing methods of traffic light regulation, analyze the causes of traffic congestion, classify flow phases, determine road capacity, describe the probabilistic models of the traffic, understand through modeling the probable consequences of the decisions related to the transport system operation, ensuring traffic safety at intersections.



CONTENTS

Introduction	9
1. The main characteristics of the road traffic flows movement	11
2. Congested traffic flow control in cities.....	24
2.1. Traffic control by stopping vehicles.....	24
2.2. Traffic control by changing traffic characteristics.....	25
2.3. Information management and traffic direction control	26
2.4. Existing methods of traffic light regulation.....	28
3. Traffic jams	33
3.1. Causes of traffic jams and their prevention.....	33
3.2. Single jams and Series of jams.....	34
3.3. Flow phase classification.....	36
4. Road capacity.....	40
4.1. Constructive and random factors of road capacity reduction	43
5. Mathematical modeling of traffic flow dynamics.....	45
5.1. The relevance of modeling.....	45
5.2. Mathematical modeling of traffic flows	
Model Overview.....	47
6. Ensuring traffic safety on the roads.....	66
6.1. Ensuring visibility.....	66
6.2. Ensuring traffic safety at intersections.....	68
7. Economic nature of transport, products and quality of service.....	73
References	78

შესავალი

თანამედროვე საზოგადოება საჭიროებს სატრანსპორტო მიმოსვლის მოცულობის მუდმივ ზრდას და მისი საიმედოობის, უსაფრთხოებისა და ხარისხის სისტემატურ ამაღლებას. აღნიშნული მოითხოვს მნიშვნელოვან ინვესტიციებს სატრანსპორტო ქსელის ინფრასტრუქტურის გასაუმჯობესებლად, რათა გადააქციოს იგი მოქნილ, მაღალ დონეზე მართვად ლოგისტიკურ სისტემად. ამავდროულად, ინვესტირების რისკი მნიშვნელოვნად იზრდება, თუ არ იქნება გათვალისწინებული სატრანსპორტო ქსელის განვითარების კანონზომიერებები და გზის სხვადასხვა უბნებზე დატვირთულობის გადანაწილების სირთულეები. აღნიშნული კანონზომიერებების უგულებელყოფა იწვევს სატრანსპორტო საცობების სიხშირეს, ქსელის კვანძების გადატვირთვას ან დაუტვირთობას, ავარიების მაჩვენებლის ზრდას და გარემოსთვის ზიანის მიყენებას.

მსხვილი ქალაქების სატრანსპორტო ნაკადების მართვის ეფექტური სტრატეგიების შემუშავებისთვის, საგზაო ქსელის პროექტირებისა და საგზაო მოძრაობის ორგანიზების ოპტიმალური გადაწყვეტილებების მისაღებად აუცილებელია სატრანსპორტო ნაკადის მახასიათებლების ფართო სპექტრის, გარეგანი და შიდა ფაქტორების გავლენის კანონზომიერებების გათვალისწინება შერეული სატრანსპორტო ნაკადის დინამიურ მახასიათებლებზე.

საავტომობილო პარკის ყოველწლიურ ზრდასთან ერთად იზრდება მოძრაობის ინტენსიურობა მაგისტრალებსა და ქალაქის ქუჩებში. თავის მხრივ, სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურა ვერ ვითარდება იგივე ტემპით. ახალი გზების მშენებლობა და არსებულის რეკონსტრუქცია ძვირადღირებული და შრომატევადი პროცესია, რომელიც მოითხოვს დიდ დროს და ძალისხმევას. შედეგად, ქალაქებში საავტომობილო გზებზე საცობები ყოველდღიურ მოვლენად იქცა, მათი რიცხვი და ხანგრძლივობა სტაბილურად იზრდება. საავტომობილო გზების გადატვირთულობას მიყვავართ მომსახურების დანახარჯების ზრდისკენ, ხანგრძლივი შეფერხებების გამო, რასაც ისინი იწვევენ და მათ,

ასევე, აქვთ უარყოფითი ზეგავლენა გარემოზე, რამდენადაც აჭუჭყიანებენ ჰაერს გამონაბოლქვი აირების ტოქსიკური კომპონენტებით და ზრდიან ხმაურის დონეს ქალაქებში. სატრანსპორტო ქსელის გადატვირთვის თავიდან აცილება, ან მისი თუნდაც გარკვეულ დონემდე შემცირება, შესალებელია სატრანსპორტო ნაკადების მართვის თანამედროვე მეთოდების გამოყენების საფუძველზე.

1. საავტომობილო სატრანსპორტო ნაკადების მოძრაობის ძირითადი მახასიათებლები

საგზაო მოძრაობის მდგომარეობის შესახებ ინფორმაციის გაანალიზებისთვის პირველ რიგში მოითხოვება მონაცემები, რომლებიც ახასიათებს სატრანსპორტო ნაკადს.

სატრანსპორტო ნაკადებზე სამეცნიერო კვლევებისა და პრაქტიკული დაკვირვებების მრავალწლიანმა გამოცდილებამ შესაძლებელი გახადა გამოვლენილიყო მათთვის დამახასიათებელი ყველაზე ობიექტური ინდიკატორები.

ყველაზე ხშირად გამოყენებადია:

- სატრანსპორტო ნაკადის ინტენსიურობა (ავტ/სთ; ავტ/დღე-ღამეში);
- სატრანსპორტო ნაკადის შემადგენლობა, სატრანსპორტო საშუალებების სახეობების მიხედვით (%);
- ნაკადის სიმჭიდროვე (ავტ/კმ);
- მოძრაობის სიჩქარე (კმ/სთ);
- მოძრაობის შეფერხება (სთ)

სატრანსპორტო ნაკადის ინტენსიურობა (მოძრაობის ინტენსიურობა) N_a .

სატრანსპორტო ნაკადის ინტენსიურობა (მოძრაობის ინტენსიურობა) N_a . - არის სატრანსპორტო საშუალებების რაოდენობა, რომელიც გაივლის გზის განივკვეთს დროის ერთეულში. გაიანგარიშება ფორმულით:

$$N_a = n_a / t.$$

განასხვავებენ მოძრაობის კუთრ და დაყვანილ ინტენსიურობას. მოძრაობის ინტენსიურობას გზის თითოეულ ზოლზე ეწოდება მოძრაობის კუთრი ინტენსიურობა.

მოძრაობის დაყვანილი ინტენსიურობა - არის სხვადასხვა ტიპის ავტომობილების მოძრაობის ინტენსიურობის ერთობლიობა, ამ ტიპის ავტომობილების შესაბამისი

დაყვანილი კოეფიციენტების გათვალისწინებით.

შერეულ ნაკადში სხვადასხვა ტიპის ავტომობილები იკავებენ გზის სხვადასხვა ფართობს, მათ აქვთ განსხვავებული დინამიური მახასიათებლები. ამიტომ შეფასებების შესადარებლად, გამოიყენებენ მოძრაობის დაყვანილ ინტენსიურობას.

გზის (საგზიო ზოლის) დატვირთულობის კოეფიციენტი გაიანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$Z = N_F / P_F$$

სადაც,

N_F არის მოძრაობის არსებული ინტენსიურობა;

P_F – გზის გამტარუნარიანობა.

უწყვეტი მოძრაობის უზრუნველსაყოფად საჭიროა გამტარუნარიანობის რეზერვი ამიტომ, მიღებულია, რომ $z \leq 0.85$. თუ აღნიშნული მაჩვენებელი უფრო მაღალია, მაშინ გზის ეს უბანი უნდა ჩაითვალოს გადატვირთულად.

მოძრაობის ინტენსიურობის განსაზღვრის საანგარიშო განზომილებად მიღებულია წელი, თვე, დღე, საათი და დროის უფრო მოკლე მონაკვეთიც (წუთი, წამი), დაკვირვებისა და საზომი მოწყობილობების ამოცანებიდან გამომდინარე.

ქვემოთ მოყვანილ ნახაზზე ნაჩვენებია კარტოგრამის მაგალითი, რომელიც ახასიათებს სატრანსპორტო ნაკადების ინტენსიურობას (ავტ/სთ) საქალაქო მაგისტრალურ გზებზე.

საგზაო ქსელში შეიძლება გამოიყოს ცალკეული უბნები და ზონები, სადაც მოძრაობა აღწევს მაქსიმალურ აქტივობას, მაშინ, როდესაც სხვა ადგილებში იგი რამდენჯერმე ნაკლებია. ასეთი სივრცობრივი უთანაბრობა ასახავს, პირველ რიგში, სატვირთო და სამგზავრო პუნქტების ადგილმდებარეობისა და მათი მიზიდულობის უთანაბრობას.



ნახ 1. სატრანსპორტო ნაკადის სადღეღამისო ინტენსივობის კარტოგრამა ქალაქში. [4].

დროში სატრანსპორტო ნაკადების უთანაბრობის გათვალისწინებას (წლის, თვის, დღის და საათების განმავლობაში) უაღრესად დიდი მნიშვნელობა აქვს საგზაო მოძრაობის ორგანიზების პრობლემის დაძლევაში.

სატრანსპორტო ნაკადით საგზაო ქსელის გადატვირთვისას ზოგიერთ დიდ ქალაქში და მაგისტრალებზე, დღე-ღამის აქტიური პერიოდის განმავლობაში, შეინიშნება „პიკური ინტენსივობა“, რომელსაც მოსდევს საცობების წარმოქმნა. ამიტომ მოძრაობის ორგანიზების და რეგულირების სირთულე ყველაზე მეტად მოდის „პიკის საათებზე“.

ტერმინი „პიკის საათი“ პირობითია და მისი გამოყენება აიხსნება იმით, რომ საათი არის დროის ძირითადი საზომი ერთეული. ყველაზე ინტენსიური მოძრაობის ხანგრძლივობა შეიძლება იყოს საათზე მეტიც, ზოგჯერ ნაკლებიც. აქედან გამომდინარე, უფრო ზუსტი იქნება ცნება „პიკური პერიოდი“ გამოყენება, რაშიც იგულისხმება დროის ინტერვალი, რომლის განმავლობაში ინტენსიურობა, გაზომილი დროის მცირე

მონაკვეთებში (მაგ. 15-წუთიანი დაკვირვებებით), აღმატება ყველაზე გადატვირთული მოძრაობის საშუალო ინტენსიურობის პერიოდს.

მოძრაობის ყველაზე აქტიურ პერიოდად საქალაქო და მაგისტრალურ გზებზე, უმეტეს შემთხვევაში, მიიჩნევა დროის 16-საათიანი მონაკვეთი (დაახლოებით 6 საათიდან 22 სთაათამდე) დღე-ღამის განმავლობაში.[4].

როგორც აღვნიშნეთ, განასხვავებენ როგორც საშუალო თვიურს, ისე საშუალო წლიურ დღეღამურ ინტენსიურობას. ზოგჯერ ინტენსიურობას განსაზღვრავენ საათობრივად, განსაკუთრებით პიკის ანუ დილის ან საღამოს საათებში. მოძრაობის ინტენსიურობა განისაზღვრება ავტომობილების რაოდენობით, რომელიც გადის გზის მოცემულ განივკვეთში დროის ერთეულში. ჩვეულებრივად, მის განზომილებად მიღებულია ავტ./დღე-ღამეში.

მოძრაობის ინტენსიურობის მიხედვით საავტომობილო გზები, სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით, იყოფა ხუთ კატეგორიად. იხ.ცხრილი #1. [5].

ცხრილი #1. [5].

გზის კატეგორია	მოძრაობის სანგარიშო ინტენსიურობა	გზის კატეგორია	მოძრაობის საანგარიშო ინტენსიურობა
I ^a	1500-ზე მეტი	IV	200-100-მდე
I ^b	7000-ზე მეტი		
II	3000- 7000-ზე მეტი	V	200-ზე ნაკლები
III	1000-3000-ზე მეტი		

ინტენსიურობას საზღვრავენ ფაქტიური მონაცემების მიხედვით, გზაზე მოძრაობის უშუალო აღრიცხვით ან სტატისტიკური ცნობების შეგროვების საფუძველზე. საანგარიშოდ მიიღება ე.წ. პერსპექტიული ინტენსიურობა გზის ექსპლუატაციის დაწყებიდან 20 წლის შემდგომი პერიოდის გათვალისწინებით.

სარანსპორტო ნაკადების დროითი უთანაბრობა.

სარანსპორტო ნაკადების დროითი უთანაბრობა შეიძლება დახასიათდეს უთანაბრობის შესაბამისი კოეფიციენტით K_{hd} -ით. აღნიშნული კოეფიციენტის გამოთვლა შეიძლება მოძრაობის წლიური, სადღეღამისო და საათობრივი უთანაბრობისთვის.

უთანაბრობა შეიძლება გამოიხატოს როგორც დროის მოცემულ მონაკვეთში მოძრაობის ინტენსიურობის წილი (ან დაკვირვებადი ინტენსიურობის თანაფარდობა საშუალო ინტენსიურობასთან), დროის თანაბარი პერიოდის განმავლობაში.

სადღეღამისო უთანაბრობს კოეფიციენტი გაიანგარიშება ფორმულით:[4].

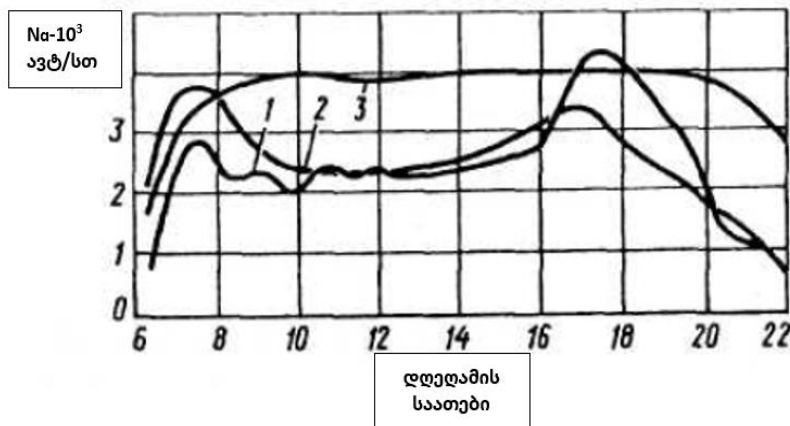
$$K_{hd} = \frac{24N_{ah}}{N_{ad}}$$

სადაც,

24 -არის საათების რაოდენობა დღე-ღამეში;

N_{ah} – შესადარი საათის მოძრაობის ინტენსიურობა (ავტ/სთ);

N_{ad} - მოძრაობის ჯამური ინტენსიურობა დღე-ღამეში (ავტ/დღე-ღამეში).



ნახ.2. სადღეღამისო ინტენსიურობის ცვლილება დღე-ღამეში რადიალურ საქალაქო მაგისტრალზე.[4].



სადაც,

- 1- მოძრაობა ცენტრიდან
- 2- მოძრაობა ცენტრისკენ
- 3- მოძრაობა სატრანსპორტო ნაკადის გაჯერების პირობებში.

წლიური უთანაბრობის კოეფიციენტი გაიანგარიშება ფორმულით: [4].

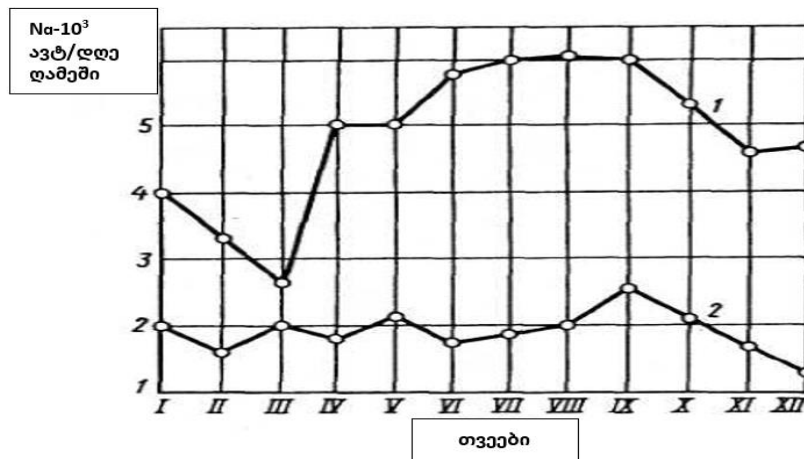
$$K_{mi} = \frac{12N_{am}}{N_{ai}}$$

სადაც,

12 -არის თვეების რაოდენობა წელიწადში;

N_{am} - შესადარი თვის მოძრაობის ინტენსიურობა ავტ/თვე;

N_{ai} – მოძრაობის წლიური ინტენსიურობის ჯამი (ავტ/წ).



ნახ.3. სატრანსპორტო ნაკადის მიახლოებითი ცვლილება წელიწადის განმავლობაში. [4].

- 1- საერთაშორისო მნიშვნელობის საავტომობილო გზაზე
- 2- შიდასახელმწიფოებრივი მნიშვნელობის საავტომობილო გზაზე

სარანსპორტო ან საქვეითო ნაკადების სივრცობრივი უთანაბრობის დახასიათებისთვის ასევე შეიძლება შესაბამისი უთანაბრობის კოეფიციენტების განსაზღვრა ცალკეული ქუჩის თუ გზის კონკრეტული უბნისთვის, დროითი უთანაბრობის ანალოგიურად.

მოდრაობის ორგანიზაციის პრაქტიკაში სატრანსპორტო საშუალებათა და ქვეითთა მოძრაობის ინტენსიურობა ყველაზე ხშირად ხასიათდება მათი საათობრივი მნიშვნელობებით. ამასთან, აღნიშნული მაჩვენებელი უმნიშვნელოვანესია „პიკის პერიოდში“. თუმცა, გასათვალისწინებელია ის გარემოება, რომ „პიკის საათებში“ მოძრაობის ინტენსიურობას კვირის სხვადასხვა დღეებში შეიძლება ჰქონდეს განსხვავებული მნიშვნელობები.

ორზოლიანი გზებისთვის შემხვედრი მოძრაობით, საერთო ინტენსიურობა, ჩვეულებრივ, ხასიათდება საირისპირო დინების მთლიანი მნიშვნელობით, ვინაიდან მოძრაობის პირობებში, კერძოდ, გასწრების შესაძლებლობა განისაზღვრება ორივე ზოლის დატვირთვით.

თუკი გზას აქვს გამყოფი ზოლი და შემხვედრი ნაკადები ერთმანეთისგან იზოლირებულია, მაშინ საპირისპირო მიმართულებების მთლიანი ინტენსივობა არ განსაზღვრავს მოძრაობის პირობებს, არამედ ახასიათებს მხოლოდ გზის, როგორც ნაგებობის მუშაობის ჯამურ მაჩვენებელს. ასეთი გზებისთვის თითოეული მიმართულებით მოძრაობის ინტენსივობას აქვს დამოუკიდებელი მნიშვნელობა.

ხშირ შემთხვევაში, განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც საქმე ეხება საქალაქო პირობებში მოძრაობის რეგულირების საკითხების გადაწყვეტას, მნიშვნელოვანია არა მხოლოდ მოცემული მიმართულებით ნაკადის ჯამური ინტენსივობის განსაზღვრა, არამედ, ასევე მნიშვნელოვანია ინტენსიურობა ცალკეულ ზოლზე, ან ე.წ მოძრაობის კუთრი ინტენსიურობა Ma . თუ ცნობილია ინტენსიურობის განაწილება კონკრეტულ ზოლებში, და იგი მნიშვნელოვნად არათანაბარია, მაშინ საანგარიშო ინტენსივობად Ma , შეიძლება მიღებულ იქნეს მოძრაობის ინტენსივობა ყველაზე მეტად დატვირთულ

ზოლზე. [4].

დროითი ინტრვალი t_i .

დროითი ინტრვალი t_i . ერთ ზოლში ერთიმეორის მიყოლებით მოძრავ სატრანსპორტო საშუალებებს შორის დროითი ინტრვალი t_i წარმოადგენს მოძრაობის ინტენსიურობის საპირისპირო მაჩვენებელს. მათემატიკური ლოდინი $E(t_i)$ განისაზღვრება დამოკიდებულებით: $E(t_i) = 3600 / Ma$.

თუ ინტრვალი t_i ერთ ზოლში ერთიმეორის მიყოლებით მოძრავ მანქანებს შორის 10 წმ-ზე მეტია, მაშინ მათი ურთიერთქმედების გავლენა შედარებით სუსტია და მოძრაობის პირობები ხასიათდება როგორც "თავისუფალი".

სატრანსპორტო ნაკადის შემადგენლობა .

სატრანსპორტო ნაკადის შემადგენლობა ხასიათდება მასში სხვადასხვა ტიპის სატრანსპორტო საშუალებების თანაფარდობით. ეს მაჩვენებელი მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს საგზაო მორაობის ყველა პარამეტრზე. ამავდროულად, სატრანსპორტო ნაკადის შემადგენლობა კარგად ასახავს მოცემულ რეგიონში არსებული ავტოპარკის საერთო შემადგენლობას.

სატრანსპორტო ნაკადის შემადგენლობა გავლენას ახდენს გზების გადატვირთულობაზე (მოძრაობის სიმჭიდროვე), რაც პირველ რიგში განპირობებულია ავტომობილების გაბარიტებს შორის მნიშვნელოვანი განსხვავებულობით. თუმცა, მოძრაობის ინტენსიურობის გაანალიზების დროს აღნიშნული განსხვავება არ წარმოადგენს ნაკადის შემადგენლობის აუცილებელი აღრიცხვის მხოლოდ ერთადერთ მიზეზს.

სატრანსპორტო ნაკადის სიმჭიდროვე qa.

სატრანსპორტო ნაკადის სიმჭიდროვე qa არის სივრცობრივი მახასიათებელი, რომელიც განსაზღვრავს მოძრაობის სიმჭიდროვის ხარისხს საგზაო მოძრაობის ზოლზე. იგი იზომება სატრანსპორტო საშუალებების რაოდენობის მიმოსვლით გზის 1 კმ. სიგრძის მანძილზე.

ზღვრული სიმჭიდროვე მიიღწევა მაშინ, როდესაც ერთმანეთთან მჭიდროდ განლაგებული ავტოკოლონა იმყოფება უმოძრაო მდგომარეობაში საგზაო მოძრაობის ზოლზე. თანამედროვე მსუბუქი ავტომობილების ნაკადისათვის, თეორიულად, ასეთი ზღვრული qmax მნიშვნელობა შეადგენს 200 მანქანა /კმ.

ზოგიერთი კვლევებით დადგენილია, რომ ეს მაჩვენებელი მერყეობს 170 -185 ავტ/სთ-ში. რაც აიხსნება იმით, რომ საცობში მძღოლები წინა ავტომობილს არ უახლოვდებიან ძალიან ახლო მანძილზე. ბუნებრივია, ზღვრული სიმჭიდროვის დროს მოძრაობა შეუძლებელია თუნდაც ცენტრალიზებული ავტომატიზებული მართვის შემთხვევაშიც, რადგან ამ დროს არ არის დაცული უსაფრთხო მანძილი. გარდა ამისა, სიმჭიდროვის qmax მნიშვნელობა ახასიათებს სატრანსპორტო ნაკადის სტრუქტურას. (შემადგენლობა).

დაკვირვებები აჩვენებს, რომ ტრასაზე დაბალი სიჩქარით მსუბუქი ავტომობილების გაჭიმულ რიგში (კოლონა) მოძრაობისას ნაკადის სიმჭიდროვემ შეიძლება მიაღწიოს 100 მანქანას / კმ. ნაკადის სიმჭიდროვის მაჩვენებლის გამოყენებისას აუცილებელია დაყვანის კოეფიციენტის გათვალისწინება სხვადასხვა ტიპის სატრანსპორტო საშუალებებისთვის, რადგან სხვაგვარად qa-ს შედარებამ სხვადასხვა შემადგენლობის ნაკადებისათვის შეიძლება გამოიწვიოს შეუსაბამო შედეგები. მაგალითად, თუ დავუშვებთ, რომ გზაზე მოძრაობს ავტობუსების კოლონა სიმჭიდროვით 100 მანქანა / კმ (რაც შესაძლებელია მსუბუქი ავტომობილებისთვის), მაშინ ასეთი გაჭიმული რიგის რეალური სიგრძე 1 კილომეტრის ნაცვლად, პრაქტიკულად, შეადგენს 2.0–2.5 კმ. თუ გავითვალისწინებთ K_{ϕ} -ის რეკომენდებულ

მნიშვნელობას 2.5-ს ავტობუსებისთვის, მაშინ ავტობუსების კოლონის მოძრაობის მაქსიმალური სიმჭიდროვე, ფიზიკურ ერთეულებში შეიძლება იყოს 40 ავტობუსი 1 კილომეტრზე, რაც რეალურია.

რაც უფრო დაბალია ნაკადის სიმჭიდროვე, მით უფრო თავისუფლად გრძნობენ მძღოლები თავს, მით უფრო მაღალია სიჩქარე, რომელსაც ისინი ირჩევენ. და, პირიქით, როგორც კი qa იზრდება, ანუ იწყება მოძრაობის შეზღუდვა, მძღოლებს მოეთხოვებათ ყურადღებიანობა, მოქმედებების სიზუსტე. უფრო მეტიც, მათი გონებრივი დაძაბულობა იზრდება. შესაბამისად, იზრდება საგზაო შემთხვევების ალბათობა ერთ-ერთი მძღოლის მიერ დაშვებული შეცდომის გამო, ან ავტომობილის გაუმართაობის მიზეზით.

ნაკადის სიმჭიდროვიდან გამომდინარე, მოძრაობა, შეზღუდულობის ხარისხიდან გამომდინარე, იყოფა შემდეგნაირად: თავისუფალი, ნაწილობრივად დაკავშირებული, გაჯერებული და სვეტოვანი.

Qa– ს რიცხვითი მნიშვნელობები ფიზიკურ ერთეულებში (ავტომობილები), რომელიც შესაბამისობასია აღნიშნულ მდგომარეობებთან, მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული გზის პარამეტრებზე და პირველ რიგში მის დაგეგმარებაზე, პროფილზე, მოჭიდების კოეფიციენტზე და ასევე, ნაკადის შემადგენლობაზე მანქანების ტიპის მიხედვით, რაც, თავის მხრივ, გავლენას ახდენს მძღოლების მიერ სიჩქარის არჩევაზე. [4].

მოძრაობის სიჩქარე Va.

მოძრაობის სიჩქარე Va - არის უმნიშვნელოვანესი მაჩვენებელი, რადგან ის წარმოადგენს საგზაო მოძრაობის მიზნობრივ ფუნქციას.

გზაზე სატრანსპორტო საშუალების მოძრაობის პროცესის ყველაზე ობიექტურ მახასიათებელად გვევლინება სატრანსპორტო საშუალების სიჩქარის ცვლილების გრაფიკი მოძრაობის მთელ მარშრუტზე. თუმცა, ასეთი სივრცობრივი მახასიათებლის

მოპოვება მოძრავი ავტომობილების უმეტესობისთვის საკმაოდ რთულია, რადგან მოითხოვს თითოეულ მათგანზე მოძრაობის სიჩქარის უწყვეტ ავტომატურ ჩანაწერებს.

მოძრაობის ორგანიზების პრაქტიკაში მიღებულია სატრანსპორტო საშუალებების მოძრაობის სიჩქარის შეფასება მისი მყისიერი მონაცემებით, V_a , დაფიქსირებულს გზის ცალკეულ (ტიპურ) უბნებში (წერტილებში).

მიმოსვლის სიჩქარე V_c .

მიმოსვლის სიჩქარე V_c - არის ტვირთების მიწოდებისა და მგზავრების გადაყვანის სისწრაფის საზომი და განისზღვრება როგორც პუქტებს შორის მანძილისა და სატრანსპორტო საშუალების მგზავრობის დროის (მიმოსვლის დრო) თანაფარდობა. იგივე მაჩვენებელი გამოიყენება ავტომობილების მოძრაობის სიჩქარის დასახასიათებლად გზის ცალკეულ უბნებზე.

მოძრაობის დაყოვნება.

მოძრაობის დაყოვნება - მნიშვნელოვანი მაჩვენებელია, რომელსაც უნდა მიექცეს განსაკუთრებული ყურადღება საგზაო მოძრაობის არსებული მდგომარეობის შეფასების დროს. მოძრაობის დაყოვნებას მიაკუთვნებენ სატრანსპორტო საშუალებების ნებისმიერ „იძულებითი“ გაჩერებით გამოწვეულ დროის დანაკარგს, არა მხოლოდ გზაჯვარედინების წინ, ლიანდაგების გადასასვლელებზე, საცობებში, არამედ სატრანსპორტო ნაკადის სიჩქარის ვარდნისას, თავისუფალი მოძრაობის საშუალო სიჩქარესთან შედარებით, გზის კონკრეტულ უბანზე. [4].

$$t_{\Delta} = \int_{l_1}^{l_2} \left[\frac{1}{v_o(l)} - \frac{1}{v_p(l)} \right] dl$$

სადაც,

V_o და V_p ფაქტიური და მიღებული საანგარიშო (ოპტიმალური) სიჩქარეებია მ/წ;

dl - გზის მარტივი მონაკვეთი;

დაყოვნებების განსაზღვრის ამოსავალ წერტილად შეიძლება იქნას მიღებული მიმოსვლის ნორმატიული სიჩქარე ან მოძრაობის ნორმატიული ტემპი, გზის მოცემული ტიპისთვის, ასეთის არსებობის შემთხვევაში. მაგალიტად, თუ გზაზე $V_p = 60$ კმ/სთ, რაც შეესაბამება დაყოვნებების გარეშე მოძრაობის ტემპს 60 კმ/სთ, ხოლო გამოცდილებით დადგენილი $V_s = 30$ კმ/სთ (მოძრაობის ტემპი - 120 წმ/კმ), მაშინ თითოეული მანქანის მიერ ნაკადში დროის დაკარგვა იქნება - 60 წმ / კმ.

თუ მაგისტრალის 1 განსახილველი მონაკვეთის სიგრძე არის, მაგალიტად, 5 კმ, თითოეული მანქანის პირობითი დაყოვნება იქნება 5 წუთი.

სატრანსპორტო ნაკადისათვის დროის საერთო დანაკარგი გამოითვლება ფორმულით: [4].

$$T_{\Delta} = N_a t_{\Delta} T$$

სადაც,

t_{Δ} არის ერთი სატრანსპორტო საშუალების საშუალო საერთო დაყოვნება, წმ;

T - დკვირვების ხანგრძლივობა, სთ;

საგზაო ქსელის გარკვეულ კვანძებზე ან მონაკვეთებზე ავტომობილების დაყოვნება ასევე შეიძლება შეფასდეს K_{Δ} დაყოვნების კოეფიციენტით. დაყოვნების კოეფიციენტი $K_{\Delta} = t_{\Delta} / t_p$.

გადაკვეთებზე დაყოვნებები გამოწვეულია სატრანსპორტო საშუალებების და ქვეითების გადასაკვეთ არარეგულირებად გზაჯვარედინებზე მოძრაობისას, მათი გატარების აუცილებლობით, ამკრძალავი შუქციგნალის ჩართვისას. [4].

სატრანსპორტო ნაკადების თეორიის განავითარებაში მნიშვნელოვანი წვლილი მიუძღვის სხვადასხვა დარგის და საქმიანობის სფეროს სპეციალისტებს და მკვლევარებს (ფიზიკოსები, მათემატიკოსები, ოპერაციების კვლევის სპეციალისტები, ტრანსპორტის დარგის სპეციალისტები, ეკონომისტები და სხვ). დაგროვდა დიდი გამოცდილება საგზაო მოძრაობის პროცესებთან დაკავშირებით. ამასთან, კვლევის შედეგების და მათი

პრაქტიკული გამოყენების საერთო დონე არ არის საკმარისი, რიგი ფაქტორების გამო:

- სატრანსპორტო ნაკადი ხასიათდება არასტაბილურობით და მრავალფეროვნებით. მის შესახებ ობიექტური ინფორმაციის მოპოვება მართვის სისტემის ყველაზე რთულ და რესურსტევად ელემენტს წარმოადგენს;
- საგზაო მოძრაობის მართვის ხარისხის კრიტერიუმები წინააღმდეგობრივი ხასიათისაა: ერთი მხრივ, აუცილებელია საგზაო მოძრაობის უწყვეტობის უზრუნველყოფა, მეორე მხრივ, საავტომობილო მოძრაობისგან გარემოსთვის ზიანის მიყენების შემცირება, მოძრაობის სიჩქარეზე და მიმართულებებზე შეზღუდვების დაწესების მეშვეობით;
- საგზაო პირობები არაპროგნოზირებადია, როგორც ამინდის და კლიმატური პარამეტრების ცვლილების, ასევე გზების მდგომარეობის გამოც.
- საგზაო მოძრაობის მართვის შესახებ გადაწყვეტილებების მიღებასა და მათ რეალიზაციას შორის ყოველთვის არსებობს გარკვეული უზუსტობები, რაც, საგზაო მოძრაობის პროცესის ხასიათიდან გამომდინარე, იწვევს გაუთვალისწინებელ უარყოფით ეფექტებს.

2. გაჯერებული სატრანსპორტო ნაკადების მართვა ქალაქებში

2.1. სატრანსპორტო ნაკადების მართვა სატრანსპორტო საშუალებების გაჩერებების მეშვეობით

სატრანსპორტო ნაკადების მართვისთვის გამოიყენებენ რამდენიმე ხერხს:

- სატრანსპორტო საშუალებების გაჩერებას
- მოძრაობის პარამეტრების ცვლილებას
- მძღოლების ინფორმაციის მიწოდებას და მოძრაობის მიმართულების შეცვლას.

სატრანსპორტო საშუალებების გაჩერებათა მეშვეობით მართვის პრინციპი წარმოადგენს ქალაქებში სატრანსპორტო ნაკადების მართვის საფუძველს. ამ ხერხისთვის დამახასიათებელია სატრანსპორტო ნაკადების შუქნიშნების მეშვეობით მართვა.

შუქნიშნების მეშვეობით სატრანსპორტო ნაკადების რეგულირების მთავარი ამოცანაა გზაჯვარედინების მაქსიმალური გამტარუნარიანობის უზრუნველყოფა, გზებზე უსაფრთხო მოძრაობის ხელშეწყობით და სატრანსპორტო საშუალებების მოცდენების მინიმალურ დონემდე დაყვანით. [1].

გზაჯვარედინზე მოძრავ ყოველ სატრანსპორტო ნაკადზე ზემოქმედებს სამი ფერის შუქსიგნალი (მწვანე, ყვითელი და წითელი). თუმცა, გარეგნული სიმარტივის მიუხედავად, შუქნიშნის სიგნალიზაციის მაკონტროლებელ მოქმედებებს აქვს საკმაოდ რთული სტრუქტურა, რაც განპირობებულია მართვის ობიექტის თავისებურებით. აღნიშნული ზემოქმედება შეიძლება წარმოვიდგინოთ მრავალგანზომილებიანი ვექტორის სახით, რომლის კომპონენტებია:

- შუალედური ტაქტების ხანგრძლივობა (გარდამავალი ინტერვალები), რომლის დროსაც მიმდინარეობს მოძრაობის მიმართულების დაკეტვა და გახსნისთვის მზადება;
- ციკლის ხანგრძლივობა (Cycle) - დროის ინტერვალი, რომლის დროსაც მიმდინარეობს ყველა დაშვებული ტაქტის ცვლილება;

- ციკლის ეფექტური ხანგრძლივობის დაყოფა (Split) რეგულირების ფაზებს შორის;
- პერიოდული გადანაცვლებები (Offset) მიმდებარე გზაჯვარედინებზე ფაზების გადართვებს შორის, რომელიც გავლენას ახდენს სატრანსპორტო საშუალებების უწყვეტი მოძრაობის უზრუნველყოფაზე საგზაო ქსელში;
- ციკლში ფაზების თანმიმდევრულობა, რომელიც განაპირობებს გზაჯვარედინებზე მოძრაობის გახსნის რიგითობას. [1].

გარდა შუქნიშნებისა, სატრანსპორტო საშუალებების გაჩერებისთვის გამოიყენება მიმმართველი საგზაო ნიშნები, მაგალითად „შესვლა აკრძალულია“, აგრეთვე, შუქნიშნების სიგნალები, კონკრეტულ ზოლში მოძრაობის უზრუნველსაყოფად, ან მექანიკური თუ სხვა ტიპის დაბრკოლებები.

სატრანსპორტო საშუალებების გაჩერებით მართვის მეთოდის ნაკლოვანებაა ეკოლოგიური გარემოს გაუარესება, გამოწვეული საწვავის გაზრდილი მოხმარებით, რომელიც საჭიროა სატრანსპორტო საშუალებების კინეტიკური ენერჯის აღსადგენად, ყოველი გაჩერების შემდეგ.

2.2. სატრანსპორტო ნაკადების მართვა მოძრაობის მახასიათებლების ცვლილებით

მოძრაობის მახასიათებლების ცვლილების მეშვეობით სატრანსპორტო ნაკადების მართვა გულისხმობს, რომ სატრანსპორტო საშუალება არ ჩერდება, მაგრამ იცვლება მისი მოძრაობის პარამეტრები, როგორცაა, მაგალითად, სიჩქარე, "მაქსიმალური სიჩქარის შეზღუდვა" საგზაო ნიშნის საფუძველზე, ან სატრანსპორტო საშუალება მოძრაობს მითითებულ კონკრეტულ ზოლში.

სატრანსპორტო ნაკადის მართვის აღნიშნული ხერხი გამოიყენება არა მხოლოდ სატრანსპორტო ნაკადების ჰარმონიზაციისთვის ავტომაგისტრალების საგზაო ზოლებში მოძრაობისას, არამედ მას დიდი მნიშვნელობა აქვს საქალაქო სატრანსპორტო სისტემებში უსაფრთხო მოძრაობის უზრუნველსაყოფად. მაგალითად, როდესაც მაქსიმალური სიჩქარის შეზღუდვა იწყება საფრთხის შემცველი მოსახვევების წინ ან მძღოლები იღებენ ინფორმაციას სხვა საფრთხის არსებობის შესახებ.

დამხმარე ელემენტებად ამ შემთხვევაში წარმოდგება სპეციალური საგზაო ნიშნები შუქდიოდებით. ისინი მყისიერად რეაგირებენ სატრანსპორტო ნაკადის პარამეტრების ცვლილებაზე და მათი ეფექტიანობა საკმაოდ მაღალია, რადგან დინამიური ცვლილებები ადეკვატურად აღიქმება მძღოლების მიერ, შესაბამისად, ისინი ითვალისწინებენ მათ. [1].

2.3. ინფორმაციისა და მოძრაობის მიმართულების მართვა

სატრანსპორტო ნაკადის მართვის მესამე კატეგორია ეფუძნება მოძრაობის მარშრუტის ცვლილებას, მძღოლის მიერ მოძრაობის პირობების შესახებ ინფორმაციის მიღების შედეგად. მართვის ეს მეთოდი სულ უფრო მეტად გამოიყენება საქალაქო პირობებში გზების გადატვირთულობისას და მისი ამოცანაა სატრანსპორტო ნაკადის მიმართვა შემოვლითი გზისკენ, საცობების თავიდან ასაცილებლად.

მართვის აღნიშნულ კატეგორიაში მოიაზრება ინფორმაციის მართვა, რომელიც განკუთვნილია როგორც ინდივიდუალური სატრანსპორტო საშუალებებისთვის (Vehicle Information and Communication System), ასევე მთლიანად სატრანსპორტო ნაკადისათვის (Traffic Flow Information System).

საინფორმაციო და მიმმართველი სისტემები, თვით მართვის ობიექტის

მახასიათებლებიდან გამომდინარე, განთავსებულია :

- უშუალოდ ავტომობილებში, ინდივიდუალური სატრანსპორტო საშუალებების მართვისას;
- გზის მახლობლად, მთელ სატრანსპორტო ნაკადზე ზემოქმედებისას.

საინფორმაციო და მიმმართველ სისტემებს შორის ძირეული განსხვავება მდგომარეობს იმაში, რომ ინფორმაციის მართვის შედეგად მძლოლი იღებს საჭირო ინფორმაციას მთელ გზაზე არსებული სიტუაციის შესახებ და მორაობის შემდგომ მარშრუტთან დაკავშირებით გადაწყვეტილებას იღებს თავად, სრულიად დამოუკიდებლად. მიმმართველი სისტემის ზემოქმედებით კი - სატრანსპორტო საშუალებები ახალ მარშრუტზე გადადიან იძულებით.

საქალაქო პირობებში საინფორმაციო და მიმმართველი სისტემების გამოყენებისას აუცილებელია მოძრაობის მარშრუტის ცვლილების შეთანხმებულობა შუქნიშნების სიგნალიზაციის მუშაობასთან, რადგან შუქნიშნების სიგნალიზაციის არადამაკმაყოფილებელი მუშაობის მიზეზით მნიშვნელოვნად იზრდება დაყოვნებები.

ქალაქებში ავტომობილების მოძრაობის თანაბარზომიერების გაზომვისთვის იყენებენ შემდეგი ფორმულას:

$$G = \sigma_{\alpha} / v_s$$

შუქნიშნების მეშვეობით სიგნალიზაციის ოპტიმიზაცია გულიხმობს ფაზების ისეთ ცვლილებას, რომელიც უზრუნველყოფს გზაჯვარედინებზე სატრანსპორტო ნაკადების შეუფერხებელ მოძრაობას. [1].

2.4. შუქნიშნებით რეგულირების არსებული მეთოდები

შუქნიშნები თავდაპირველად შემოღებულ იქნა ავტომობილებისა და ქვეითთა უსაფრთხო მოძრაობის უზრუნველსაყოფად, საკონფლიქტო სატრანსპორტო ნაკადების გადაკვეთისას. თუმცა, სატრანსპორტო მომსახურებაზე მოთხოვნის ზრდამ აჩვენა, რომ შუქნიშნების გამოყენებით შესაძლებელია (მოძრაობის უსაფრთხოების უზრუნველყოფის პირობებში) სატრანსპორტო ნაკადზე შედარებით ეფექტური ზემოქმედება, სატრანსპორტო ქსელის ფარგლებში. აღნიშნული ეფექტი იყო საფუძველი ოპტიმალური მართვის სტრატეგიების შემუშავებისა, რომელიც ემსახურება მოძრაობის სრული დროის შემცირებას.

შუქნიშნების მეშვეობით რეგულირება - საქალაქო სატრანსპორტო ქსელში მოძრაობის მართვის ძირითადი ხერხია. ქალაქების უმრავლესობაში სატრანსპორტო ნაკადების მართვის თანამედროვე მდგომარეობა, ზოგადად, შეიძლება დახასიათდეს შემდეგნაირად: საკონტროლო მოწყობილობები (კვანძები) იმართება ფიქსირებული გრაფიკით ან სატრანსპორტო ნაკადების მდგომარეობის გათვალისწინებით (ადაპტირებადი მართვა).

არსებითი განსხვავება მდგომარეობს იმაში, რომ დროზე დამოკიდებულების გრაფიკით მართვისთვის არაა საჭირო დეტექტორები, მაგრამ სისტემას არ აქვს უნარი ირეაგიროს ნებისმიერ ცვლილებაზე სატრანსპორტო ნაკადში.

ადაპტირებადი მართვის შემთხვევაში კი არსებობენ დეტექტორები, რომლებიც აფიქსირებენ სატრანსპორტო საშუალებების მოძრაობას, და, აგრეთვე, საგზაო მოძრაობის მართვის სხვა მოწყობილობები, რომლებიც რეაგირებენ მყისიერ ცვლილებებზე კვანძში ან სატრანსპორტო ქსელში. [1].

დროზე დამოკიდებული (ავტონომიური) მართვა

მართვა მიმდინარეობს დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის მიხედვით. მეთოდის გამოყენება მოითხოვს სატრანსპორტო ნაკადის მახასიათებლების მდგომარეობის ყოვლისმომცველ შესწავლას კონკრეტული რაიონის ფარგლებში. ინფორმაცია მიიღება გასულ წლებში სატრანსპორტო ნაკადების მოძრაობის მახასიათებლების (მოძრაობის ინტენსიურობა და შემადგენლობა) შესახებ მონაცემების სტატისტიკური ანალიზის საფუძველზე, რომელიც გაზომილ იყო სატრანსპორტო ქსელის განსაკუთრებულ წერტილებში და მათ საფუძველზე განისაზღვრება მართვის სისტემის მუშაობის რეჟიმი.

სატრანსპორტო ნაკადების პარამეტრების ეპიზოდური გაზომვის საფუძველზე წარმოებს მოქმედი სასიგნალო გეგმების ეფექტიანობის გაანალიზება და მისი შედარება საკონტროლო მნიშვნელობებთან. საჭიროების შემთხვევაში ხორციელდება გეგმების კორექტირება, ხელახალი გამოთვლებით მიღებულ მონაცემებზე დაყრდნობით.

გაანგარიშებების შედეგად ხდება შუქნიშნების ნების დამრთველი სიგნალების ხანგრძლივობის, ციკლის ხანგრძლივობისა და პერიოდული გადანაცვლებების ოპტიმიზაცია. შემდეგ ისინი შეიყვანება მაკონტროლებელ მოწყობილობებში და ხორციელდება სასიგნალო გეგმების ცვლილება, შესაბამისი პერიოდიტვის.

მართვის აღნიშნულ მეთოდს აქვს გარკვეული უპირატესობები, კერძოდ :

- კონტროლის მარტივად განხორციელების შესაძლებლობა;
- სასიგნალო გეგმების მოდიფიცირების სიმარტივე;
- შედარებით დაბალი დანახარჯები მოწყობილობებზე და მათ დაყენებაზე;

მართვის აღნიშნულ მეთოდს ამადროულად ახასიათებს გარკვეული ნაკლოვანებები:

- შეუძლებელია ინტენსიურობის პიკის გადაფარვა;
- შეუძლებელია წარმოქმნილი საცობების აღმოფხვრა;

საგზაო მოძრაობზე რეაგირების „traffic-responsive“ სისტემა

საგზაო მოძრაობზე რეაგირების ე.წ. „traffic-responsive“ სისტემა ხასიათდება იმით, რომ ქსელში სატრანსპორტო ნაკადების სხვადასხვა მდგომარეობისთვის, წინმსწრებად გაიანგარიშება სასიგნალო გეგმები, რომლებიც ინახება მოძრაობის მართვის სადგურებში. კონტროლის არეალში ყენდება სატრანსპორტო დეტექტორები. მოძრაობის მართვის პროცესი ითვალისწინებს შუქნიშნების კონკრეტული სასიგნალო გეგმის სინქრონიზაციას სატრანსპორტო ნაკადის მდგომარეობაზე დამოკიდებულებით, საკონტროლო სარანსპორტო დეტექტორების განთავსების ზონაში.

სასიგნალო გეგმების შეცვლა ხდება სატრანსპორტო ნაკადების პარამეტრების გაანალიზების შედეგად, შემდეგი ფორმულით: [1].

$$\bar{X}(T_y) = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{X}_i}{n}$$

„traffic-responsive“ სისტემა დეტექტორების მეშვეობით მოცემულ საგზაო ქსელში უზრუნველყოფს ავტომობილების მოძრაობის ოპტიმიზაციას. ქსელის გადაკვეთებზე შუქნიშნების სინქრონიზაციის გაუმჯობესება, ამ მიზნის მისაღწევად ყველაზე ქმედითი და ეკონომიური საშუალებაა. თუმცა, სატრანსპორტო სისტემის მრავალი რთული ასპექტის გამო, მაგალითად, ადამიანის ქცევის გათვალისწინება, ქსელში ავტომობილების ნაკადის ურთიერთქმედება, ამინდის ზემოქმედება, საგზაო შემთხვევები, გრძელვადიანი (მაგ. სეზონური) რყევები და ა.შ. რთულდება სიგნალის ოპტიმალური ხანგრძლივობის განსაზღვრა. ამ სირთულეების უმეტესობა წარმოიშვა მოძრაობის დინამიკის ამსახველი უკიდურესად რთული მოდელების შექმნის აუცილებლობიდან გამომდინარე. [8].

რეალურ დროში მართვა

რეალურ დროში მართვა აღნიშნული გულისხმობს ისეთ სისტემურ მართვას, რომლის დროსაც მმართველობითი ზემოქმედების დაყოვნება, გაანგარიშებული სისტემის ფუნქციონირების პროცესში, არ აჭარბებს ინტერვალს, რომლის დროსაც შესაძლებელია სატრანსპორტო ნაკადის არასტაციონარულობის უგულებელყოფა.

სისტემებს, რომლებიც მართავენ რეალურ დროში, ეწოდათ საგზაო მოძრაობის მართვის ადაპტირებული სისტემები (Adaptive Traffic Control Systems – ATCS). ისინი მოითხოვენ სატრანსპორტო ნაკადების და საკომუნიკაციო ინფრასტრუქტურის მდგომარეობის კონტროლის განვითარებული სისტემის არსებობას, რომელიც უზრუნველყოფს პერიფერიული მოწყობილობების კავშირს მართვის ცენტრთან.

საგზაო მოძრაობის მართვის ადაპტირებული სისტემები, როგორც წესი, რეალურ დროში ახდენენ მოძრაობის ოპტიმიზაციას: [1].

$$Q(X, U) \rightarrow \min$$

სადაც,

X - კონტროლირებადი ობიექტების მდგომარეობის ვექტორი;

U - შესაბამისი მმართველობითი ზემოქმედებების ვექტორი

შესაბამისი საკონტროლო მოქმედებები.

მიუხედავად იმისა, რომ ოპტიმალური მართვის შესაბამისი ამოცანები შეიძლება იყოს ჩამოყალიბებული ნებისმიერი სატრანსპორტო ქსელისთვის, მის გადაწყვეტას რეალურ დროში და განხორციელებას მართვის სისტემაში აქვს რიგი თავისებურებები:

- წითელი-მწვანე შუქსიგნალის რეჟიმების გადართვა მოითხოვს დისკრეტული ცვლადების არსებობას, რაც ოპტიმიზაციის ამოცანას ხდის კომბინირებულს;
- ამოცანის მოცულობა მთელი ქსელისთვის ძალიან დიდია;

- გაურკვევლობის მაღალი დონე, გამოწვეულია არაპროგნოზირებადი და რთულად შესაფასებელი დარღვევებით (უბედური შემთხვევები, პარკირების წესების დარღვევა, ქვეითა გადასასვლელები, გადაკვეთების ჩახერგვა და ა.შ.)
- სატრანსპორტო ნაკადის მდგომარეობის გაზომვები ლოკალურია (სატრანსპორტო დეტექტორების საშუალებით) და ძალიან ხმაურიანი სხვადასხვა ეფექტების გავლენით;
- არსებობს რეალური დროის მკაცრი შეზღუდვები

ამ გარემოებებიდან გამომდინარე, საგზაო მოძრაობის მართვის სტრატეგიები ითვალისწინებს სხვადასხვა გამარტივებებს ან ხსნის საგზაო მოძრაობასთან დაკავშირებული ამოცანების მხოლოდ ნაწილს. [1].

The students could deep their knowlege based on the following sources:

1. **Boris S. Kerner. Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control. The Long Road to Three-Phase Traffic Theory.**
https://www.academia.edu/36079982/Introduction_to_Modern_Traffic_Flow_Theory_and_Control?email_work_card=title
2. **FrançoisDion· BruceHellinga. A rule-based real-time traffic responsive signal control system with transit priority: application to an isolated intersecion.**
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0191261501000066>
3. **Traffic Control Systems Handbook**
https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop06006/fhwa_hop_06_006.pdf
4. **John E. Tyworth, Joseph L. Cavinato, Jr. Langley, C. John. Traffic Management: Planning, Operations, and Control.**
<https://www.amazon.com/Traffic-Management-Planning-Operations-Control/dp/0881336173>

3. სატრანსპორტო საცობები

3.1. საცობების წარმოქმნის მიზეზები და მათი აცილება

დღეისათვის სატრანსპორტო საცობების საყოველთაოდ აღიარებული განმარტება არ არსებობს, თუმცა, შეიძლება ითქვას, რომ საცობი არის სატრანსპორტო ნაკადის შემჭიდროვების და გზის გამტარუნარიანობის მკვეთრი შემცირება, რომელიც წარმოიქმნება გზის გამტარუნარიანობასთან შედარებით გადაჭარბებული რაოდენობით ავტომობილების შემოდინების გამო.

საცობები წარმოიქმნებიან სწრაფად და ისინი იწვევენ მოძრაობის წყვეტილობას. საცობი იშლება ნელა და იგი იწყება გზის განშტოებასთან.

კარლოს დაგანზო (Carlos F. Daganzo) მიიჩნევს, რომ თავისუფალ გზაზე სატრანსპორტო ნაკადი არ წარმოქმნის საცობებს, თუ სიჩქარის მცირედი დარღვევა (ნორმის დარღვევა), წარმოქმნილი გზის რომელიმე უბანზე, არ ვრცელდება მის წინ, ნაკადის დინების მიმართულებით, და, პირიქით, თუ სიჩქარის დარღვევები, რომლებიც წარმოიქმნება გზის გარკვეულ უბანზე მნიშვნელოვნად სცილდება მის საზღვრებს, მაშინ სატრანსპორტო ნაკადში წარმოიქმნება საცობები. ჩვეულებრივ, აღწერენ ერთეულოვან საცობებს და საცობების წყებას.[3].

სატრანსპორტო საცობი განსხვავდება მანქანების რიგისგან შუქნიშნის წინ, საავტომობილო გზაზე შესვლისას. რიგის წინწაწევის სიჩქარე განისაზღვრება მაგისტრალის გამტარუნარიანობით და შუქნიშნის ნების დამრთველი სიგნალის ხანგრძლივობით.

საცობის მიზეზი, როგორც აღვნიშნეთ, არის სატრანსპორტო ნაკადის სიმჭიდროვის ზრდა გზებზე მანქანების ჭარბი შემოდინების გამო ან გზის გამტარუნარიანობის მკვეთრად შემცირებისას.

სატრანსპორტო ნაკადის ზრდა შეიძლება გამოწვეული იყოს შემდეგი პირობებით:

- მოსახლეობის გამგზავრება სამსახურში, სასწავლებლებში და უკან დაბრუნება;
- მოსახლეობის მასიური სეზონური გამგზავრება დასასვენებელ ადგილებში და უკან დაბრუნება;
- შემოვლითი გზით გადაადგილება გზის გადაკეტვის ან უბედური შემთხვევის დროს.

ყველა აღნიშნულ ფაქტორს აქვს შემთხვევითი ხასიათი, წარმოშობის დროისა და ინტენსიურობის თვალსაზრისით.

ქალაქებში საავტომობილო გზებზე საცობების წარმოქმნა ყოველდღიურ მოვლენად იქცა და, როგორც ჩანს, ყოველწლიურად მათი რიცხვი და ხანგრძლივობა სტაბილურად გაიზარდა.

საცობები ახდენენ უარყოფით ზეგავლენას გარემოზე, რამდენადაც აჭუჭყიანებენ ჰაერს გამონაბოლქვით და ზრდიან ხმაურის დონეს ქალაქებში. [3].

3.2. ერთეულოვანი საცობები და საცობების წყება

ერთეულოვანი საცობები

სატრანსპორტო საცობი შეიძლება გამოწვეული იყოს საგზაო მოძრაობის ისეთი პირობებით, როგორცაა წითელი ფერის შუქსიგნალი, ავარიები, შევიწროებები და სხვა. თუ გზის შევიწროვებას აქვს გამტარუნარიანობა q_{bn} ხოლო ავტომობილების შემოდინება არის q_{in} , მაშინ, თუ $q_{in} > q_{bn}$ საცობი გაიზარდა.

ემპირიული მონაცემები აჩვენებს, რომ საცობები ხშირად წარმოიქმნება გზის ერთგვაროვან უბნებზე, და, გამოიყურება როგორც „ჩასმული“ თავისუფალ ნაკადში. დავუშვათ, რომ ასეთი საცობის მიზეზი იყო უბედური შემთხვევა. გარკვეული დროის

შემდეგ საცობი დაიშლება.

განვიხილოთ n , $n \in \mathbb{N}$ სატრანსპორტო საშუალებები, რომლებიც ერთმანეთის მიყოლებით დგანან ერთხოლიან გზაზე. დროის პირველ მონაკვეთში პირველი მანქანა შეძლებს საცობიდან გასვლას, შემდეგ მეორე და ა.შ. ამ დროის განმავლობაში გარკვეული რაოდენობის ავტომობილი შეიძლება დაემატოს ე.წ. „საცობის კუდს“, სადაც ავტომობილი ჯერ ჩერდება, ხოლო, გარკვეული პერიოდის შემდეგ აგრძელებს მოძრაობას. ეს არის სტანდარტული ტალღის ფენომენი, რომელიც კარგადაა აღწერილი კინემატიკური ტალღების თეორიაში.

საცობის სიჩქარე არის მიმოსვლის სიჩქარე ზღვრული გამტარუნარიანობის შემთხვევაში. [3].

საცობების წყება

დაკვირვებები აჩვენებს, რომ საცობიდან სატრანსპორტო საშუალების გადინება შეადგენს საშუალოდ ერთ მანქანას ორ წამში, მოძრაობის ერთი ზოლისთვის. მოდით აღვნიშნოთ იგი q^* - ით. თუ $q_{in} > q^*$ მაშინ საცობი გაიზრდება.

მაგალითად, თუ გზაზე უბედური შემთხვევა მოხდა საკმაოდ მოშორებით, ერთგვაროვან პირობებში, დიდი საცობი გასასვლელზე არ შეიქმნება. ფაქტიურად, თუ ნაკადი q^* გამოჩნდება პირველი საცობის გასასვლელში, მაშინ მეორე საცობიდან ნაკადი იქნება იგივე სიდიდე q^* . ამრიგად, ჩნდება კითხვა: შეუძლია თუ არა ნაკადს შეინარჩუნოს q^* -ზე (ე.წ. სუპერკრიტიკული ნაკადი) მაღალი მნიშვნელობა, და, თუ ასეა, მაშინ როგორ? კითხვაზე პასუხი ჯერ არ არის ნაპოვნი. [3].

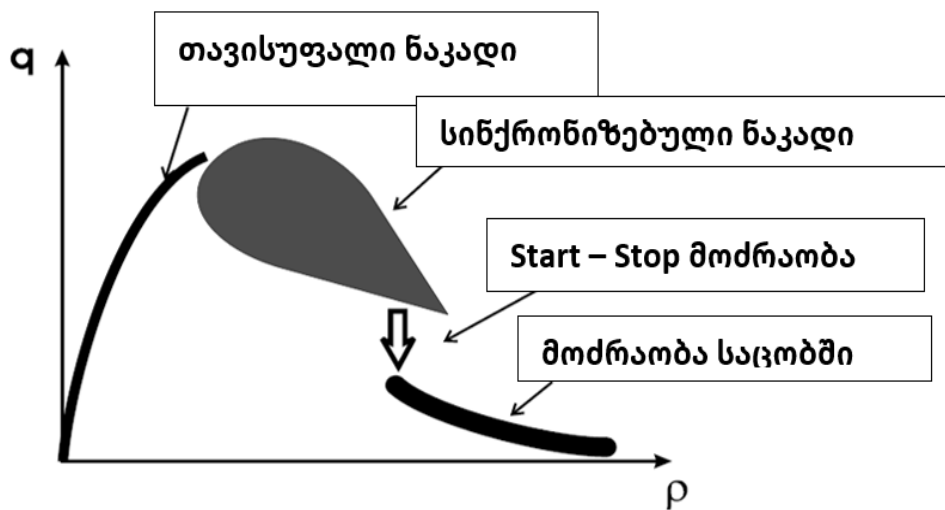
3.3. ნაკადის ფაზების კლასიფიკაცია

ბორის ს. კერნერმა (Boris S. Kerner) შემოგვთავაზა სატრანსპორტო ნაკადის მოძრაობის ფაზების შემდეგი კლასიფიკაცია :

თავისუფალი ნაკადი. სანამ გზა არ არის გადატვირთული, მძღოლები ინარჩუნებენ სასურველ სიჩქარეს და თავისუფლად გადაადგილდებიან ზოლიდან ზოლში. (ამ ეტაპზე ავტომობილები შედარებულია თავისუფალი ნაწილაკების ნაკადთან).

სინქრონიზებული ნაკადი. როდესაც გზა გადაიტვირთება, მძღოლები კარგავენ თავისუფლად მანევრირების შესაძლებლობას და იძულებულნი არიან თავიანთი სიჩქარე შეუსაბამონ ნაკადის სიჩქარეს. ეს სტადია წყლის ნაკადის მსგავსია.

განივად მოძრავი საცობები. აქ ავტომობილებს (ავტომობილების ჯგუფი) ამსგავსებენ სითხის ნაკადში მოძრავ ციწულის ნატეხებს.

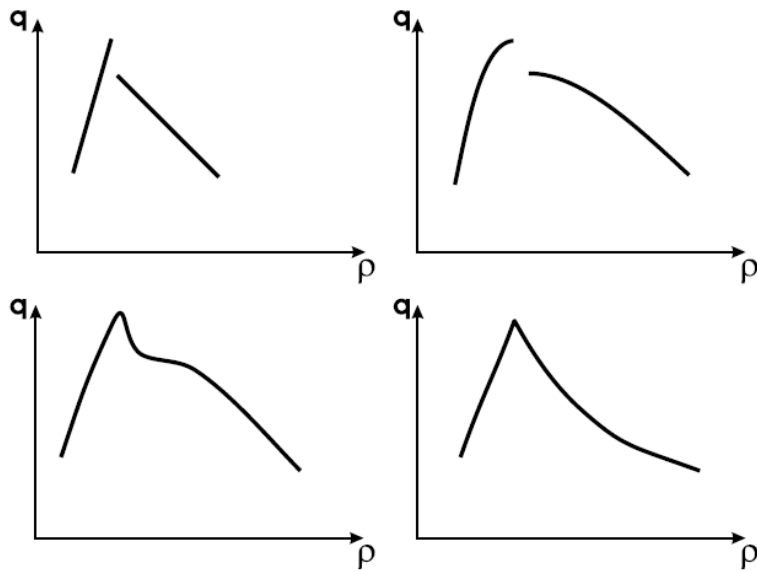


ნახ.4. ნაკადის ფაზების მდგომარეობები მრავალზოლიან გზაზე. [3].

მოძრაობა: სტარტ-სდექ (Start-Stop). ავტომობილების დიდი რაოდენობით შეჯგუფების გამო, ნაკადის მოძრაობა ხაიათდება წყვეტილობით. ამ ეტაპზე

სატრანსპორტო ნაკადი შეიძლება შევადაროთ ყინულის ფენების მოძრაობას სითხეში. მანქანები გარკვეული პერიოდის განმავლობაში, თითქოსდა „შეეწებნენ“ გზის მოცემულ წერტილს.

ნაკადის დაბალი ან ძალიან მაღალი სიმჭიდროვის დროს, არსებობს კორელაცია ნაკადსა და სიმჭიდროვეს შორის, ხოლო განსაზღვრული განშტოება შუალედური სიმჭიდროვისთვის ფუნდამენტურ დიაგრამაზე არ არსებობს, კონკრეტული საგზაო ქსელის სპეციფიკაზე ძლიერი დამოკიდებულების გამო. ბევრი მცდელობა იყო აღნიშნული თავისებურების ახსნის. ზოგიერთი მეცნიერი მიუთითებს სუპერკრიტიკული ნაკადების არსებობის შესაძლებლობაზე, სხვა კვლევები აჩვენებს, რომ ასეთი გაზომვები გამოწვეულია გზის გეომეტრიის თავისებურებებით (მაგ., შევიწროებების არსებობით). [3].



ნახ. 5. თეორიული აპროქსიმაციები ემპირიულ ფუნდამენტურ დიაგრამაზე. [3].

თუმცა, ზოგიერთ შემთხვევაში მაინც გაუგებარია, თუ როგორ წარმოიქმნება საცობები. მაგალითად, ნაკადი, რომელიც თავისუფალ მოძრაობაშია იშლება და გადადის არამდგრად მდგომარეობაში (მოძრაობა: სტარტ-სდექ (Start-Stop)), რაც

ხელსაყრელი პირობაა ახალი საცობის წარმოქმნისთვის.

ერთი მხრივ, ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ხშირად საამისოდ არსებობს გარეგანი მიზეზები. მეორე მხრივ, ჩატარებულმა წრეზე მოძრაობის ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ შესაძლებელია ნაკადის სპონტანური დაშლა (Kikuchi). ამ ექსპერიმენტში მძღოლებს სთხოვეს მაქსიმალური სიჩქარით სვლა. ამგვარ ხელოვნურ პირობებში, ნაკადის განტვირთვის დაახლოებით 10 წუთი დასჭირდა! [3].

მოძრაობის სინქრონიზებული რეჟიმისთვის გაუგებარია მონაცემების გაბნევა გამოწვეულია თუ არა შემავალი და გამავალი გზების არსებობით, თუ მას აქვს სტატისტიკური ხასიათი, მაგალითად, სხვადასხვა ტიპის ავტომობილების ურთიერთქმედების და მძღოლების განსხვავებული მართვის ჩვევების გამო.

საცობის მიზეზი - გზის გეომეტრიული თავისებურება

დაგანცო (Daganzo) ვარაუდობს, რომ საცობების მიზეზი მდგომარეობს "შეფერხებებში" - გზის შევიწროებებსა და გაფართოებებში, პერიოდულად ან სისტემატიურად, რაც წარმოადგენს გზებზე რიგების წარმოქმნისა და მათი გავრცელების მიზეზს. დაგანცო განსაზღვრავს რამდენიმე ასეთ შეფერხებას („ვიწრო ადგილებს“):

აქტიური შეფერხებები

გზის ორ მონაკვეთს შორის არის აქტიური შეფერხება, თუ აღმავალი მიმართულების სატრანსპორტო ნაკადი გადატვირთულია (იწვევს რიგებს) და დაღმავალი - განტვირთული. გზის ცალკეულ უბნებზე აქტიური შეფერხებების გამოვლენა ეფექტურია საგზაო შემთხვევების თავიდან ასაცილებლად;

გაფართოებები. გზაზე რამდენიმე აქტიური შეფერხების ვარიაცია.

თუ ნაკადი, რომელიც კვეთს გაფართოების ერთ -ერთ განშტოებას, აღემატება მის გამტარუნარიანობას დროის გარკვეულ მონაკვეთში, მაშინ გაფართოების საერთო

შესასვლელში შეიძლება წარმოიშვას რიგი. თუ ეს შესასვლელი ვიწროა, რიგი უნდა გაიწოვოს FIFO მეთოდის მიხედვით - „პირველი შევიდა, პირველი გავიდა“ - იმგვარად, რომ გაჩერდება ის სატრანსპორტო საშუალებები, როლებმაც უნდა იმოძრაონ გზის გაფართოების სხვა განშტოებაზე.

სხვა სახის შეფერხებები

შეფერხების აქტივობა შეიძლება შეინიშნებოდეს გზის სხვადასხვა სახის დაზიანების გამო, გვირაბებში, ფერდობებზე და სხვ., სადაც იცვლება გზის მახასიათებლები და ერთგვაროვნება.

მოძრაობის გადატვირთულობას და საცობების წარმოქმნას ასევე იწვევს დროებითი გარეგანი მიზეზები, როგორცაა საგზაო შემთხვევები, მძღოლების ყურადღების მოღუნება, საინფორმაციო ბილბორდებიც კი.

თეორიების უმეტესობა ამტკიცებს, რომ სატრანსპორტო საშუალებების შეფერხებები ძირითადად ორ კომპონენტზეა დამოკიდებული:

- დრო, რომელიც ესაჭიროება ავტომობილს საცობიდან გამოსვლისთვის
- სატრანსპორტო ნაკადის ქცევა საცობში.

The students could deep their knowlege based on the following sources:

1. James C.SpallDaniel C.Chin .Traffic-responsive signal timing for system-wide traffic control
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0968090X97000120>

4. გზის გამტარუნარიანობა

გზების ყველაზე მნიშვნელოვანი მახასიათებელი არის მისი გამტარუნარიანობა. საავტომობილო გზების თეორიაში გზის გამტარუნარიანობა გულისხმობს ავტომობილების მაქსიმალურ რაოდენობას, რომელიც გადის გზის მოცემულ განივკვეთში დროის ერთეულში.

ფაქტობრივი გამტარუნარიანობა იკლებს განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც წვიმა, ნისლი, ან ძლიერი თოვლი ხელისშემშლელ ფაქტორად გვევლინება. თუმცა, ზოგიერთ შემთხვევაში მძღოლების ქცევას შეიძლება ჰქონდეს არანაკლები გავლენა გამტარუნარიანობაზე ვიდრე გზის პარამეტრებს.

გამტარუნარიანობის კონცეფცია შეიძლება განვიხილოთ როგორც::

- საანგარიშო გამტარუნარიანობა
- ფაქტობრივი გამტარუნარიანობა
- ნორმატიული გამტარუნარიანობა

საანგარიშო გამტარუნარიანობის განსაზღვრა ხდება სხვადასხვა ფორმულების მეშვეობით. ამისათვის უმეტესად იყენებენ სატრანსპორტო ნაკადების მათემატიკურ მოდელებს.

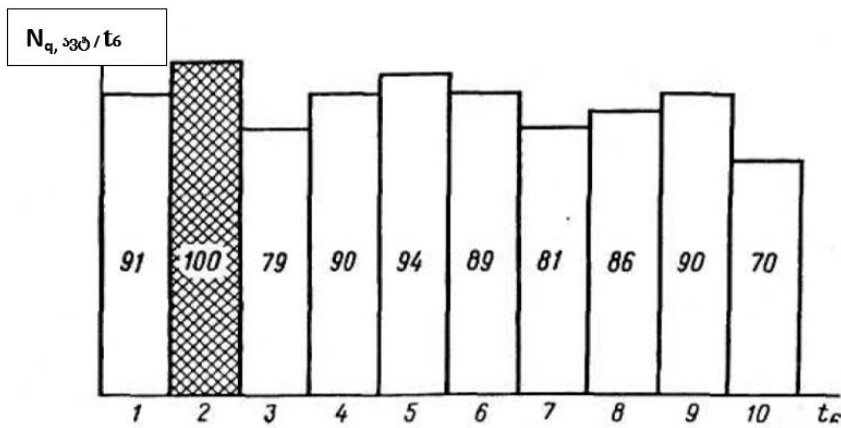
ფაქტობრივი გამტარუნარიანობის განსაზღვრა შესაძლებელია მხოლოდ მოქმედ გზებზე მოძრაობის არსებობის პირობებში. ამ მონაცემებს განსაკუთრებით დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს, ვინაიდან ისინი საშუალებას იძლევიან რეალურად შეფასდეს გზის გამტარუნარიანობა, სიჩქარის გარკვეული დონის და მოძრაობის უსაფრთხოების უზრუნველყოფის პირობებში. თუმცა, უსაფრთხოების უზრუნველყოფასთან დაკავშირებით ობიექტური მონაცემების მოპოვება მოითხოვს საკმაოდ დიდ დროს.

ფაქტობრივ გამტარუნარიანობას ასევე უწოდებენ პრაქტიკულ

გამტარუნარიანობას ან ტევადობას.

ფაქტობრივი გამტარუნარიანობის განსაზღვრის ობიექტურობა დამოკიდებულია გაანგარიშების მეთოდოლოგიის მართებულობაზე, კვლევის შედეგების საფუძვლიან დამუშავებაზე. მკვლევარმა განსაკუთრებული ყურადღება უნდა გაამახვილოს ისეთ ასპექტებზე, როგორცაა გზის დასაკვირვებელი უბნის არჩევა ნაკადში, ავტომობილების სიჩქარის გაზომვა და ინფორმაციის სიზუსტე. [4].

ყველაზე მარტივი არის ნორმატიული გამტარუნარიანობის მეთოდის გამოყენება, რომელიც განისაზღვრება ოფიციალური მარეგულირებელი დოკუმენტებით, დადგენილი ნორმატივებით. თუმცა, უნდა გავითვალისწინოთ ის გარემოება, რომ აღნიშნული ვერ მოიცავს ფაქტორების და პირობების მთელ კომპლექსს, რომელიც ახასიათებს გზის კონკრეტულ უბანს. ასევე, ისიც, რომ ზოგჯერ ნორმატივების შემმუშავებლები იზღვევენ თავს და შეგნებულად ადაბლებენ გამტარუნარიანობის მაჩვენებელს.



ნახ.6. ერთგვაროვანი ნაკადის ინტენსიურობის დიაგრამა, მიღებული დატვირთვის კოეფიციენტის Z განსაზღვრისას (6 წუთიანი დროის მონაკვეთებში). [4].

რეალურ გზებზე (ან გზის ცალკეულ უბნებზე) გამტარუნარიანობის არსებული რეზერვის შესაფასებლად, გამოიყენებენ კოეფიციენტს Z, რომელიც უდრის მოძრაობის

არსებული ინტენსივობის შეფარდებას გამტარუნარიანობასთან.

$Z = N_F / P_F$ ამ ფაქტორს ასევე ეწოდება სატრანსპორტო ნაკადით გზის (საგზაო ზოლის) დატვირთვის დონე.

Z-ის დაახლოებითი მნიშვნელობა შეიძლება განისაზღვროს გზის ცალკეულ უბანზე საათობრივი დაკვირვების ექსპრეს - მეთოდის გამოყენებით, ხერგილის გარეშე, პიკის საათის დროს მოძრაობისას.

ერთ საათის განმავლობაში 6 წუთიანი დროის მონაკვეთებში (t_6) ფიქსირდება მოძრაობის ინტენსიურობა. დიაგრამა ასახავს ერთ ზოლზე მარჯვენა მოსახვევიანი (არარეგულირებადი) ნაკადის პირობებში მიღებულ მონაცემებს.

უმეტესი ინტენსიურობით $N_{a2} = 100$ ავტ/სთ) განისაზღვრება გზის უბნის ფაქტიური გამტარუნარიანობა, როგორც $100 \cdot 10 = 1000$ (ავტ/სთ).

ფაქტიური ინტენსიურობა უდრის ინტენსიურობის ჯამს დროის 10 მონაკვეთის განმავლობაში: [4].

$$\sum iN_{\delta} = 870$$

აქედან $Z = 870/1000 = 0,87$. შესაბამისად, გზის მოცემული უბანი დაშვებულ ზღვრულ დონეზეა დატვირთული.

ნომინალური განმატრუნარიანობა არის განმატრუნარიანობა, სადაც მიმოსვლის ნაკადი მოძრაობს მუდმივი სიჩქარით. ეს არის განმატრუნარიანობა, რომელიც მდგრადია დროის ხანგრძლივი პერიოდით. ზღვრული განმატრუნარიანობა არის შესაძლო მაქსიმალური განმატრუნარიანობა ნაკადის დაშლამდე.

4.1. გზების გამტარუნარიანობის შემცირების კონსტრუქციული და შემთხვევითი ფაქტორები

გზის გამტარუნარიანობის შემცირება შეიძლება იყოს გამოწვეული როგორც კონსტრუქციული ისე შემთხვევითი ფაქტორების გავლენით.

კონსტრუქციულს მიეკუთვნება :

- გზაჯვარედინები წრიული მოძრაობით, რომლებიც სატრანსპორტო ნაკადებისთვის წარმოაგენენ არარეგულირებად გზაჯვარედინებს;
- აჩქარებისა და შენელების დამატებითი ზოლების არარსებობა გზაზე;
- გაჩერებების არასაკმარისი რაოდენობა საზოგადოებრივი ტრანსპორტისთვის;
- გზაზე მკვეთრი მოსახვევების არსებობა;
- არარეგულირებადი გზაჯვარედინების და საფეხმავლო გადასასვლელების არსებობა;
- მრავალფაზიანი შუქნიშნების არსებობა;
- შუქნიშნების სიგნალიზაციის მუშაობის შეუთანხმებლობა, რაც იწვევს ტრანსპორტის გაჩერებას უმეტეს გზაჯვარედინზე და ქვეითთა გადასასვლელებზე.

კონსტრუქციული მიზეზების აღმოფხვრა შესაძლებელია გზების რეკონსტრუქციით და მოძრაობის ორგანიზაციის სრულყოფით. [7].

გზის გამტარუნარიანობის შემცირების შემთხვევითი ფაქტორებია:

- მოძრაობის წესების დარღვევა;
- საგზაო-სატრანსპორტო შემთხვევები;
- მოძრაობისთვის არახელსაყრელი პირობები, რაც აიძულებს მძღოლს შეანელოს სვლა;
- ამინდის პირობები (ნისლი, წვიმა, სეტყვა, თოვლი, და სხვა);
- ადამიანის დაუდევრობით შექმნილი პრობლემები (მაგ. ხანძრის კვამლი);

- გზის სარემონტო ან გაწმენდითი სამუშაოები პიკის საათებში;
- შესვლა გზაჯვარედინზე, რომლის ბოლოში უკვე შექმნილია საცობი, რაც იწვევს საცობის გავრცელებას გადასაკვეთ გზაზე;

შემთხვევითი ფაქტორების ალბათობა შეიძლება შემცირდეს მოძრაობის წესების დაცვის გაკონტროლებით, მაგრამ მათი მთლიანად აღმოფხვრა შეუძლებელია.

საცობების წარმოქმნის მიზეზი არის სატრანსპორტო ნაკადის მოძრაობის პროცესის არასტაბილურობა. გზატკეცილზე, თუნდაც დროებით, ავტომობილების გადაჭარბებული რაოდენობით შემოდინება გამოიწვევს გზის გამტარუნარიანობისა და მოძრაობის სიჩქარის მკვეთრ შემცირებას.

საქალაქო მაგისტრალებზე სატრანსპორტო ნაკადის ოპტიმალური სიმჭიდროვის ხელშეწყობით მიიღწევა საგზაო ქსელის მაქსიმალური გამტარუნარიანობა და მოძრაობა გრძელდება დასაშვებთან დაახლოებული სიჩქარით. მაგისტრალებზე შემავალი და გამავალი რიგებიც გაქრება ან იქნება უმნიშვნელო. [7].

The students could deep their knowlege based on the following sources:

1. P. Roess, Roger, S. Prassas, Elena. The Highway Capacity Manual: A Conceptual and Research History

5. სატრასპორტო ნაკადების დინამიკის მათემატიკური მოდელირება

5.1. მოდელირების აქტუალობა

შესაძლებელია თუ არა მათემატიკური მოდელებისა და ექსპერიმენტების გარეშე სატრანსპორტო ნაკადების ეფექტური მართვა, თუ საკმარისია შემოვიფარგლოთ საინჟინრო გამოთვლების შედეგებით?

მაგალითად, გზის ცალკეული უბნის განტვირთვის გასაანგარიშებლად, უნდა ვიცოდეთ, ავტომობილების რა რაოდენობა უხვევს მარჯვნივ, გარკვეულ გზაჯვარედინზე. ზოგადად, არ არსებობს ასეთი მონაცემები გაანგარიშებებისთვის, ამიტომ, უნდა დავეყრდნოთ უხეშ ექსპერტულ შეფასებებს. უფრო მეტიც, სატრანსპორტო ნაკადი მუდმივად ექვემდებარება მმართველობით ზემოქმედებებს. გაანგარიშებული განტვირთვის ეფექტი გარკვეული პერიოდის შემდეგ გაქრება, სატრანსპორტო ნაკადების გადანაწილების გამო.

თუ ფლუქტუაციის ან ნებისმიერი შემთხვევითი ფაქტორის გამო დროის გარკვეულ პერიოდში მკვეთრად იზრდება საცობების რაოდენობა, შემდგომ პერიოდში მოძრაობის ინტენსიურობა, როგორც წესი, მცირდება. შესაბამისად, მოდელირება აუცილებელია სატრანსპორტო სისტემის შემდეგი თვისებების გამო:

- გამტარუნარიანობის ზრდის კომპენსაცია, ქსელის განვითარებისას;
- თითოეული მძღოლის არაპროგნოზირებადი ქცევა - მარშრუტის შერჩევა, მართვის სტილი და სხვა;
- შემთხვევითი ფაქტორების (საგზაო შემთხვევები, ამინდი და სხვა) და ფლუქტუაციის გავლენა, დაკავშირებული სეზონურ ცვლილებებთან, დასვენების დღეებთან, არდადეგებთან და ა.შ

მოდელირების მეშვეობით შესაძლებელია სატრანსპორტო სისტემის ფუნქციონირებასთან დაკავშირებული გადაწყვეტილებების სავარაუდო შედეგების განსაზღვრა. მაგალითად:

- როგორ შეიცვლება სატრანსპორტო სისტემის ფუნქციონირება ახალი ელემენტების, თუნდაც, მეტროს ხაზების, რადიალური ან წრიული ავტომაგისტრალების დამატებით;
- საქალაქო სატრანსპორტო სისტემაში რა ცვლილებების განხორციელება შეიძლება მოითხოვოს ახალი საცხოვრებელი რაიონის ან მიმზიდველი სავაჭრო ცენტრების მშენებლობამ?
- სატრანსპორტო და მგზავრთნაკადების როგორი გადანაწილება უნდა იყოს მოსალოდნელი სატრანსპორტო სისტემის რომელიმე ელემენტის დროებით დაკეტვის ან, საერთოდ, გაუქმების შემთხვევაში;
- როგორი გავლენა შეიძლება იქონიოს გადასახადების შემოღებამ სისტემის ფუნქციონირებაზე (მაგისტრალზე მოძრაობის, ცენტრალურ ზონაში შესვლის ან მეტროში ზონალური ტარიფის შემოღების შემთხვევაში და სხვა);
- რა ეფექტი შეიძლება ჰქონდეს საგზაო მოძრაობის მართვის ავტომატიზებული სისტემების დანერგვას
- რა ეფექტს მოახდენს სატრანსპორტო სისტემის ფუნქციონირებაზე გზაჯვარედინების ხელახლა დაგეგმვა, ქუჩის გზის გაფართოება, გზაჯვარედინზე მოძრაობის ორგანიზაციის ცვლილება, შუქნიშნის სიგნალიზაციის რეგულირების ოპტიმიზაცია ან მგზავრების გადაყვანის პირობების შეცვლა და ა.შ.

სატრანსპორტო სიტუაციის მოდელირება შესაძლებელია ნებისმიერი სავარაუდო პერიოდისთვის. პირობითად, პროგნოზირების ამოცანები შეიძლება დაიყოს:

- გრძელვადიანი (პერსპექტიული 10 და მეტი წელი);
- საშუალოვადიანი (დაახლოებით 5 წელი);
- მოკლევადიანი (უახლოეს დღეებში, კვირაში, თვეში დაგეგმილი ღონისძიებების შედეგების ანალიზი);
- ოპერატიული (რეალურ დროში).

5.2. სატრანსპორტო ნაკადების მათემატიკური მოდელირება.

მოდელების მიმოხილვა

მოდელირება დღეისათვის ერთადერთი სისტემატიზებული ხერხია, რომლის მეშვეობითაც შესაძლებელია მომავლის ვარიანტების დანახვა და ალტერნატიული გადაწყვეტილებების პოტენციური შედეგების ალბათობის განსაზღვრა.

მოდელი არის სისტემა, რომლის მეშვეობით შესაძლოა სხვა სისტემის შესახებ ინფორმაციის მოპოვება და განსაკუთრებით რთული მოვლენების არსში გარკვევა.

საგზაო მოძრაობის მოდელირებაში ორი ძირითადი მიდგომა ჩამოყალიბდა - დეტერმინისტული და ალბათური (სტოქასტური).

დეტერმინისტული მოდელები ემყარება ცალკეულ მაჩვენებლებს შორის ფუნქციურ დამოკიდებულებას, მაგალითად, სიჩქარისა და მანძილის, ავტომობილებს შორის ნაკადში.

სტოქასტურ მოდელებში სატრანსპორტო ნაკადი განიხილება, როგორც ალბათური პროცესი.

სატრანსპორტო ნაკადების ყველა მოდელი შეიძლება დაიყოს შემდეგნაირად:

- ანალოგური მოდელები,
- „ლიდერის მიმდევარი“ მოდელები
- ალბათური მოდელები.

ანალოგურ მოდელებში სატრანსპორტო საშუალების მოძრაობა შედარებულია ნებისმიერ ფიზიკურ ნაკადთან. მოდელების ამ კლასს, ჩვეულებრივ, უწოდებენ მაკროსკოპულს. ისინი აღწერენ მოძრაობის ნაკადს მოძრავი სითხეების ან აირების ანალოგიურად. ამიტომაც მათ ზოგჯერ ჰიდროდინამიკურ მოდელებსაც უწოდებენ.

დინამიკური ცვლადები - ეს არის ლოკალურად აგრეგირებული სიდიდეები, როგორცაა: სიმჭიდროვე $k(x, t)$, ნაკადი $q(x, t)$, საშუალო სიჩქარე $v(x, t)$, ან სიჩქარის დისპერსია $\sigma^2 v(x, t)$.

სატრანსპორტო ნაკადის სიმჭიდროვე $k(x, t)$.

ავტომობილების რაოდენობა $[a, b]$:-ში

$$m(t) = \int_a^b k(x, t) dx$$

სატრანსპორტო ნაკადი:

$$q = kv$$

სატრანსპორტო საშუალებების რაოდენობის შეცვლა უდრის შემოდინებას $q(a)$ გამოკლებული გადინება $q(b)$:

$$\frac{d}{dt} m(t) = \int_a^b k_t dx = q(a) - q(b) = - \int_a^b q_x dx$$

განტოლება მართებულია a და b -ს ნებისმიერ არჩევანისთვის:

$$k_t + (kv)_x = 0$$

სატრანსპორტო ნაკადების შესწავლისას გამოიყენება ორი მიდგომა: პირველი გულისხმობს ნაკადში შიდა პროცესების შესწავლას და ამიტომ მას უწოდეს მიკროსკოპულ მოდელს. მიკროსკოპული მოდელირება განიხილავს სატრანსპორტო ნაკადს, როგორც ერთმანეთის მიყოლებით მიმავალი ავტომობილების ურთიერთდაშორებას. მათ უწოდებენ „ლიდერის მიმდევარ“ მოდელებს.

„ლიდერის მიმდევარ“ მოდელში არსებითია ვარაუდი კავშირის არსებობისა ლიდერის მიმდევარ ავტომობილის გადაადგილებასა და წინმსწრებ ავტომობილს შორის. თეორიის განვითარებასთან ერთად, ამ ჯგუფის მოდელებში გაითვალისწინეს მძღოლების რეაქციის დრო, გამოიკვლიეს მრავალზოლიან გზებზე მოძრაობის თავისებურებები და შეისწავლეს მოძრაობის სტაბილურობის საკვანძო საკითხები. [3].

მიკროსკოპული მოდელები აღწერენ ინდივიდუალურ "მძღოლი-სატრანსპორტო საშუალება" ელემენტებს α , რომლებიც ერთობლივად ქმნიან მოძრაობის ნაკადს. ეს მოდელები აღწერენ თითოეული მძღოლის რეაქციას (აჩქარებას, დამუხრუჭებას, მოძრაობის ზოლის შეცვლას) მოძრაობის მდგომარეობის შესაბამისად. უფრო ფართო კონტექსტში, სატრანსპორტო ნაკადების მიკროსკოპული მოდელები წარმოადგენს მართვად მრავალი ნაწილაკების მოდელების მაგალითს. დინამიური ცვლადებია სატრანსპორტო საშუალების მდგომარეობები $x\alpha(t)$, სიჩქარე $v\alpha(t)$ და აჩქარება $v'\alpha(t)$.

მიკროსკოპული - ლიდერის მიმდევარი მოდელები აღწერენ მძღოლის ქცევას მხოლოდ სხვა სატრანსპორტო საშუალებებთან ურთიერთქმედებისას, მაშინ როცა თავისუფალი მოძრაობის ნაკადები აღწერილია ცალკე მოდელით. უფრო ზოგადი გაგებით, ლიდერზე მიმდევარი მოდელები მოიცავს ყველა საგზაო სიტუაციას.

პირველი თაობის მოდელი

„General Motors“ მკვლევარებმა დაადგინეს, რომ მძღოლები რეაგირებდნენ i საკვლევი ავტომობილისა და მის წინ მიმავალ $i-1$, $x_{i-1}(t)-x_i(t)$. სატრანსპორტო საშუალებას შორის ფარდობით სიჩქარეზე.

თუ მგრძნობელობა განიხილება როგორც კოეფიციენტი, რომელიც წარმოადგენს მულტიპლიკატურს სტიმულთან მიმართებაში, მაშინ, მძღოლის ოპერატიული მართვა შეიძლება ჩამოყალიბდეს როგორც:

$$\ddot{x}_i(t + \tau_i) = \alpha \left[\dot{x}_{i-1}(t) - \dot{x}_i(t) \right]$$

მეორე თაობის მოდელი

დაშორების ეფექტმა „General Motors“-ის მკვლევარები აიძულა აერჩიათ მგრძნობელობის განსხვავებული კოეფიციენტები

$$\ddot{x}_i(t + \tau_i) = \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{pmatrix} \left[\dot{x}_{i-1}(t) - \dot{x}_i(t) \right]$$

მესამე თაობის მოდელი

წინა მოდელში მგრძნობელობის კოეფიციენტი დამოკიდებული იყო ავტომობილზე მიდევნების დისტანციაზე, და ხშირად საჭირო იყო მისი დაკალიბრება, რამაც განაპირობა მესამე თაობის მოდელის ფორმულირება:

$$\ddot{x}_i(t + \tau_i) = \alpha \frac{\left[\dot{x}_{i-1}(t) - \dot{x}_i(t) \right]}{\left[x_{i-1}(t) - x_i(t) \right]}$$

დღეისათვის სატრანსპორტო სისტემებს ხშირად სწავლობენ და აანალიზებენ საგზაო მოძრაობის მოდელირების მეთოდების გამოყენებით. ბოლო ორი ათწლეულის განმავლობაში შემუშავებულია საგზაო მოძრაობის იმიტაციური მოდელების დიდი რაოდენობა.

მაკრო-იმიტაციური მოდელები ცდილობენ აღწერონ საგზაო მოძრაობა ქსელში სიჩქარის, ნაკადის და სიმჭიდროვის, როგორც მოდელის ძირითადი მახასიათებლების გამოყენებით.

მეორე მხრივ, მიკრო-იმიტაციური მოდელები ცდილობენ მოახდინონ ქსელის მოძრაობის იმიტირება, ინდივიდუალური მძღოლებისა და ცალკეული სატრანსპორტო საშუალებების ქცევიდან გამომდინარე.

საგზაო მოძრაობის იმიტაციური მოდელები მნიშვნელოვნად ეხმარება საგზაო ინჟინრებს და ანალიტიკოსებს მგზავრობის დროის პროგნოზირებაში, მარშრუტების დინამიურ მითითებებში, საცობების მართვაში, ავარიული სატრანსპორტო საშუალებების დინამიურ მარშრუტიზაციაში, ევაკუაციის მართვაში და ა.

ალბათურ მოდელებში სატრანსპორტო ნაკადი განიხილება, როგორც სატრანსპორტო საშუალებების და სატრანსპორტო ქსელის ელემენტების ურთიერთქმედების შედეგი. ქსელის შეზღუდვების მკაცრი ხასიათისა და სატრანსპორტო ნაკადში მოძრაობის მასიური ხასიათიდან გამომდინარე, სატრანსპორტო ნაკადში ყალიბდება რიგების, ინტერვალების, გადატვირთვების წარმოქმნის მკაფიო კანონზომიერებები საგზაო მოძრაობის ზოლებზე. ეს კანონზომიერებები ატარებენ სტოქასტურ ხასიათს.

სატრანსპორტო ნაკადების თეორია აღწერს სატრანსპორტო ნაკადების ძირითად მახასიათებლებს (**ნაკადი, სიჩქარე, სიმჭიდროვე**). სატრანსპორტო ნაკადების შესწავლის ერთერთი შესაძლებლობაა - დროის განსაზღვრულ პერიოდში ცალკეული სატრანსპორტო საშუალებების ქცევის შესწავლა. უფრო ხშირად, ყურადღებას ამახვილებენ მაკროსკოპულ მიდგომაზე, რომელიც გულისხმობს სატრანსპორტო ნაკადის მდგომარეობის აღწერას სხვადასხვა აგრეგატული პარამეტრებით, როგორცაა მოძრაობის საშუალო სიჩქარე, საშუალო ინტერვალი, მოძრაობის სიმჭიდროვე და ა.

სატრანსპორტო ნაკადების მათემატიკური მოდელირება წარმოადგენს სატრანსპორტო ნაკადების თეორიის ნაწილს და განკუთვნილია საგზაო ქსელის ცალკეული უბნების პროექტირების ეტაპზე სატრანსპორტო ნაკადებთან დაკავშირებული ექსპერიმენტების ჩასატარებლად, ლაბორატორიულ პირობებში.

სატრანსპორტო ნაკადის ჰიდროდინამიკური მოდელებში სატრანსპორტო ნაკადი შეიძლება განხილულ იქნეს მსგავსად ერთგანზომილებიანი შეკუმშვადი სითხის ნაკადისა, თუ დავუშვებთ, რომ ნაკადი შენარჩუნებულია და არსებობს ურთიერთკავშირი სატრანსპორტო ნაკადის სიჩქარესა და სიმჭიდროვეს შორის.

პირველი დაშვება გამოისახება უწყვეტობის განტოლებით. მეორე - ფუნქციონალური დამოკიდებულებით სიჩქარესა და სიმჭიდროვეს შორის, ავტომობილების მოძრაობის სიჩქარის შემცირების აღრიცხვისთვის, ნაკადის სიმჭიდროვის ზრდასთან ერთად.

ამ ინტუიციურად სწორმა დაშვებამ თეორიულად შეიძლება გამოიწვიოს სიმჭიდროვის ან სიჩქარის უარყოფითი სიდიდე. ცხადია, სიმჭიდროვის ერთ მნიშვნელობას შეიძლება შეესაბამებოდეს სიჩქარის რამდენიმე მნიშვნელობა.

ამიტომ, მეორე ვარაუდისთვის, ნაკადის საშუალო სიჩქარე დროის კონკრეტულ მონაკვეთში უნდა შეესაბამებოდეს გზაზე ავტომობილების არსებული სიმჭიდროვის პირობებში წონასწორულ მნიშვნელობას.

აღნიშნული მდგომარეობა არის წმინდა თეორიული დაშვება და მასზე დაკვირვება შესაძლებელია მხოლოდ გადაკვეთების არმქონე გზის მონაკვეთებზე. ამიტომ, ზოგიერთმა მკვლევარმა უარი თქვა უწყვეტ მოდელებზე, ზოგი კი მათ ძალიან უხემ მოდელებად მიიჩნევს.

„PTV Visum“ როგორც საგზაო მოძრაობის დაგეგმვის ყველაზე საიმედო პროგრამა დეტალური და რეალისტური მოდელირება

„PTV Vissim“ აღიარებულია როგორც საგზაო მოძრაობის დაგეგმარების მსოფლიო სტანდარტი. იგი იძლევა რეალისტურ და დეტალურ ხედვას საგზაო მოძრაობის მდგომარეობასა და გარემოზე ზემოქმედების შესახებ, მრავალგვარი სცენარის „რა მოხდება, თუ“ განსაზღვრის უნარით. PTV Vissim– ში შესაძლებელია კონკრეტული

ქსელის მოდელირება და სხვადასხვა გეომეტრიული ფორმების, სტანდარტული კვანძების, წრიული მოძრაობის და რთული გადაკვეთების დეტალური მოდელირება. აქ შესაძლებელია დეტალების და მრავალი სირთულის უმაღლეს დონეზე მოდელირება, რომელიც გვიჩვენებს სად, როდის, რა და როგორ ხდება.

აღნიშნული პროგრამა უზრუნველყოფს ყველა სახის სატრანსპორტო საშუალების და მათი ურთიერთქმედების მოდელირებას ერთ პროგრამულ უზრუნველყოფაში, კერძოდ: ავტომობილების, სატვირთო მანქანებისა და ავტობუსების, სარკინიგზო ტრანსპორტის, ტრამვაის, მეტროს, ტაქსების, გარდა ამისა, ველოსიპედისტებისა ქვეითების მოძრაობის მოდელირებას.

მოქნილი და შეუფერხებელი ინტეგრაცია

როგორც PTV Traffic Suite ნაწილი, შესაძლებელია საგზაო მოძრაობის მოდელირების პროგრამული უზრუნველყოფის სწრაფი დაკავშირება PTV-ს სხვა პროგრამულ გადაწყვეტილებებთან. უფრო მეტიც, საერთო COM ინტერფეისი საშუალებას იძლევა სვა პროგრამებთანაც ურთიერთქმედებისთვის. „PTV Vissim“ მოქნილი პროგრამული უზრუნველყოფა გეხმარებათ მიკროსკოპული მოდელირების სტაბილურ სატესტო გარემოდ გადაქცევაში, მიუხედავად იმისა, თუ როგორ გადაწყვეტთ პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებას საგზაო მოძრაობის მოდელირებისთვის.¹

„PTV Vissim“ როგორც მსოფლიოს წამყვანი მულტიმოდალური მოდელირების პროგრამული უზრუნველყოფა, ეხმარება ტრასპორტის დარგის ინჟინრებს, ავტომობილების მწარმოებლებს, ქალაქის მმართველებს გადაწყვეტილებების მიღებაში, მობილობის ხელმისაწვდომი, უსაფრთხო, მდგრადი და დაბალანსებული ეკოსისტემის შექმნასთან დაკავშირებით, საგზაო მოძრაობის ისეთი პრობლემური საკითხების

¹ <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-vissim/>

გადაწყვეტით, როგორცაა სატრანსპორტო საცობების და გამონაბოლქვის რაოდენობის შემცირება ქალაქებში.²

SMART-ქალაქებისთვის და SMART-გზებისთვის

საგზაო მოძრაობის მართვის თანამედროვე ინტეგრირებული სისტემები უზრუნველყოფენ სატრანსპორტო საცობების და უბედური შემთხვევების რაოდენობის შემცირებას, PTV Vissim- ის გამოყენების საფუძველზე. ასევე შესაძლებელია საგზაო ზოლში მოძრაობის მართვის სისტემის ვიზუალურად წარმოდგენა და გაანალიზება, მაგალითად, მოძრაობის სიჩქარის შეზღუდვა, სატვირთო ავტომობილების (HGV) მოძრაობის ზოლის შეცვლა ან სატრანსპორტო საცობების შესახებ გაფრთხილება.

სიჩქარის რეგულირება გამოიყენება ცალკეული სატრანსპორტო საშუალებების სიჩქარეების შეთანხმებისთვის და აქტიური გასწრებების გაკონტროლებისთვის, სატრანსპორტო ნაკადის შეუფერხებელი მოძრაობის უზრუნველსაყოფად მოძრაობის მაღალი ინტენსიურობის პერიოდებში.³

PTV Visum - როგორც საგზაო მოძრაობის დაგეგმვის ყველაზე საიმედო პროგრამა

ტრანსპორტის დარგის პროფესიონალებს აღნიშნული პროგრამის მეშვეობით შეუძლიათ კონკურენტული მოთხოვნების დაბალანსება. ნებისმიერ ქალაქში ყველა ელოდება უსაფრთხო და ხელმისაწვდომ ტრანსპორტს. დარგის სპეციალისტებს შეუძლიათ იპოვონ საიმედო, ხელმისაწვდომი და ეფექტური გადაწყვეტა. 40 წლიანი

² <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-vissim/areas-of-application/traffic-flow-simulation/>

³ <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-vissim/areas-of-application/advanced-traffic-management-systems/>

კვლევისა და განვითარების შედეგად, „PTV Visum“ წარმოადგენს მეცნიერულად დასაბუთებულ, შეუზღუდავი საგზაო მოძრაობის დაგეგმვის საუკეთესო პროგრამას.⁴

გადაზიდვების საიმედო დაგეგმარება

საიმედო ინსტრუმენტის გარეშე შეუძლებელია მულტიმოდალური სატრანსპორტო სტრატეგიების განსაზღვრა. „PTV Visum“-ზე დაყრდნობით შესაძლებელია სატრანსპორტო მოდელის ყოვლისმომცველი ხედვის უზრუნველსაყოფა. იგი ქმნის სატრანსპორტო სისტემის ციფრულ ასლს, მიმდინარე გამოწვევებისა და შესაძლებლობების გამოსავლენად.⁵

„PTV Visum“ – ის გამოყენებით შესაძლებელია ტრანსპორტირების საერთო გეგმის შემუშავება და შემდეგი ფუნქციების განხორციელება:

- საზოგადოებრივი ტრანსპორტისა და საგზაო ქსელის იმპორტირება რამდენიმე წყაროდან (ფორმები DIVA, HAFAS, OpenStreetMap და სხვა);
- ჩაშენებული პროცედურების გამოყენება სხვადასხვა მოდელების გამჭვირვალე გაანგარიშებებისთვის (4-ნაბიჯიანი ალგორითმი, ტურის საფუძველზე, ალგორითმის საფუძველზე) და პროგნოზის სანდოობისთვის, მოხონის დასაბუთებული მოდელირების საფუძველზე;
- მატრიცული კორექციის ყველაზე მძლავრი მეთოდების გამოყენებით, ყველაზე

⁴ <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-visum/areas-of-application/>

⁵ <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-visum/areas-of-application/>

სწრაფი პროცედურების შერჩევა, რეალური ნაკადებისგან გადახრების შემცირებისთვის;

- სატრანსპორტო მოდელის გამოყენება სცენარის განვითარების შესაძლებლობების რაოდენობრივი შეფასებისთვის და მათი ანალიზისთვის მოსამზადებლად;
- მომავლის სცენარების განსაზღვრა მკაფიო რუკების და ცხრილების მეშვეობით⁶

მობილობის მომავლის ფორმირება

PTV Visum არის ციფრული პლატფორმა. იგი წარმოადგენს საგზაო მოძრაობის დაგეგმვის ერთადერთ პროგრამულ უზრუნველყოფას, რომელიც ახდენს ავტომობილების, ველოსიპედების და ქვეითთა გრძელვადიანი გადაადგილების მოდელირებას, ქალაქებზე მათი გავლენის შესწავლის მიზნით.

PTV-Visum ადაპტირდება ცვლილებებთან და მუდმივად ინოვაციურია და ეხმარება ჩვეულებრივი ქალაქების **SMART-ქალაქებად** გადაქცევას.

⁶ <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-visum/areas-of-application/transportation-planning/>

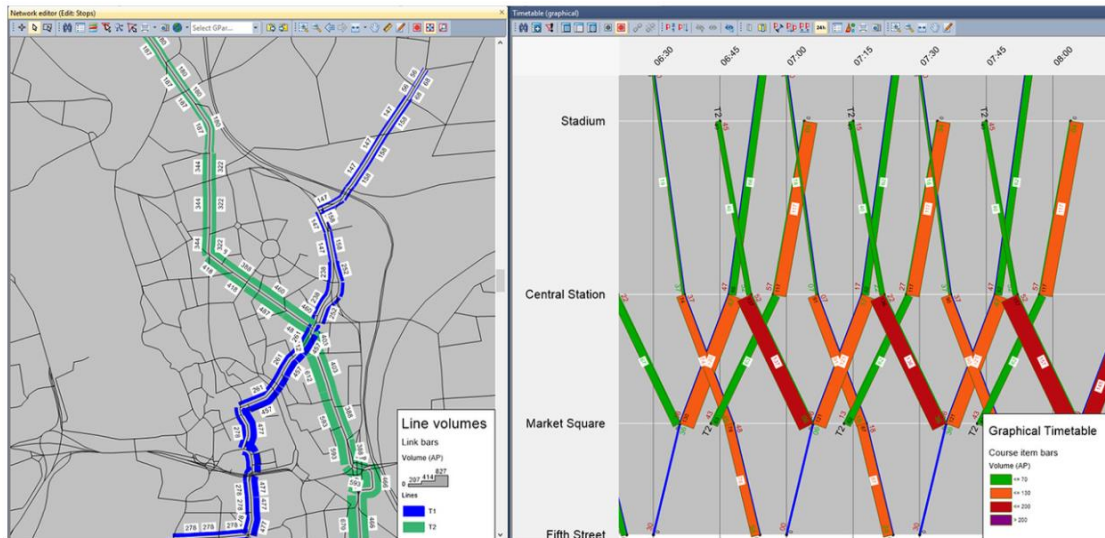


Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



www.smalog.uniroma2.it

585832-EPP-1-2017-1-IT-EPPKA2-CBHE-JP
Master in SMART transport and LOGistics
for cities
SMALOG



ნახ.7. Visualise your public transport volume in 3D with PTV Visum

წყარო: <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-visum/areas-of-application/public-transport-planning/>

საზოგადოებრივი ტრანსპორტის მოძრაობის დაგეგმარება (ნახ.7.) გამარტივდა „PTV Visum“-ის გამოყენებით. მისი დახმარებით შესაძლებელია ეკონომიკურად მომგებიანი, სიცოცხლისუნარიანი სერვის-ორიენტირებული სატრანსპორტო მომსახურებების განვითარება, ახალი ხაზების ან სადგურებისთვის დანახარჯების გაანგარიშების და მათი მართვის გრაფიკის შემუშავების ჩათვლით.⁷

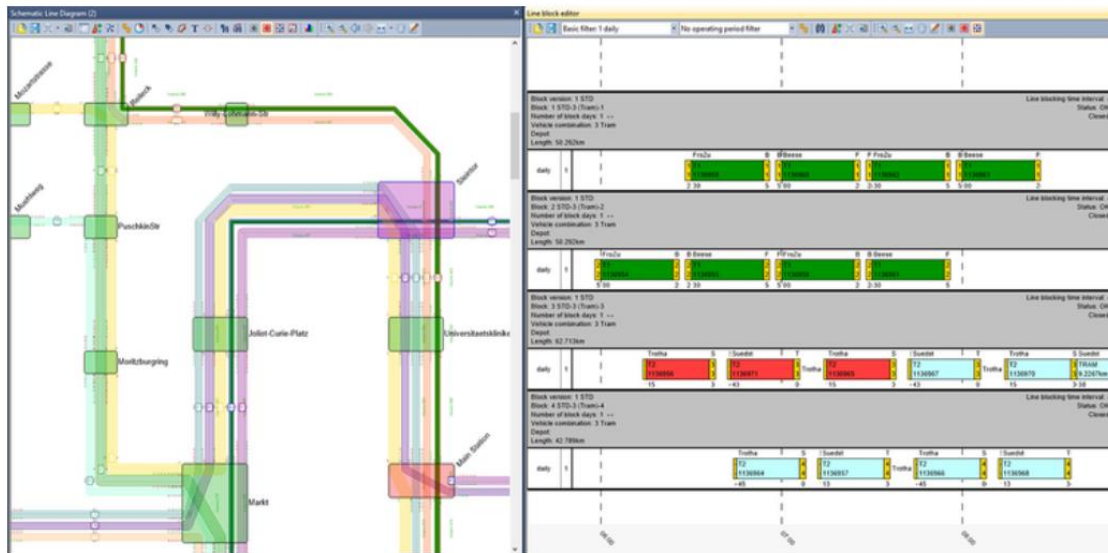
PTV Visum -ის გამოყენება იძლევა ხარჯების დაზოგვის შესაძლებლობას

მომსახურების მიმწოდებელმა, ყოველთვის უნდა შეამოწმოს მომსახურების გაწევის ეკონომიკური ეფექტიანობა. ეს მოიცავს ოპერატორების, ხაზების, მგზავრების და მრავალი სხვა შედეგების ყოვლისმომცველ ანალიზს. PTV Visum გთავაზობთ შეფასების ვარიანტების ფართო სპექტრს და გეხმარებათ საზოგადოებრივი ტრანსპორტის

⁷ <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-visum/areas-of-application/public-transport-planning/>



დაგეგმვისას ხარჯების ეკონომიის განსაზღვრაში .



ნახ.8. Analyse time tables for different transport modes

წყარო: <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-visum/areas-of-application/public-transport-planning/>

სწრაფი და მარტივი მოდელირება “PTV Visum”– ით

ფართომასშტაბიანი მოდელირების განხორციელებას, როგორც წესი, დრო, ძალისხმევა და ფული სჭირდება. რამდენადაც, გამოთვლითი რესურსები შეზღუდული და ძვირია, გვმართებს რესურსების რაციონალურად გამოყენება. (SBA) PTV Visum-ის მოდელირების საფუძველზე შესაძლებელია სწრაფად და მარტივად, ზედმეტი ხარჯების გარეშე, ფართომასშტაბიანი მოდელირების განხორციელება, პროგრამული უზრუნველყოფის მეშვეობით. მაშინაც კი, თუ ის ძალიან დიდია, არ არის საჭირო მისი დამოუკიდებელ კომპონენტებად დაყოფა, რადგან PTV Visum ამას ადვილად უმკლავდება.

საგზაო სისტემის დეტალური სურათი

საგზაო მოძრაობის დინამიური განაწილების მოდელები (DTA) იძლევა უფრო დეტალურ ხედვას საგზაო სისტემების და მათი შესაბამისი მოძრაობის ნაკადების შესახებ, ვიდრე სტატიკური მოდელები. „PTV Visum“ და „PTV Vissim“ კომბინირება იძლევა ექსპლუატაციის პირობების გაანალიზების და ვიზუალურად წარმოდგენის შესაძლებლობას, საგზაო მოძრაობის მართვის სხვადასხვა მოთხოვნებისათვის და სტრატეგიებისათვის.

მაკროსკოპული და მეზოსკოპიული მოდელები

PTV Visum იძლევა საშუალებას შეიქმნას მაკროსკოპული რეგიონალური მოდელები ფართომასშტაბიანი საგზაო მოძრაობის სიმულაციების გასაგებად. საგზაო მოძრაობის დაგეგმვის პროგრამული უზრუნველყოფა აერთიანებს მოძრაობის დაგეგმვის მაკროსკოპულ და მეზოსკოპიულ ტექნიკებს, რომლებიც გამოიყენება საგზაო მოძრაობის მრავალი საერთო პრობლემის შეფასებაში და შეიძლება ადაპტირებული იყოს თითოეული პრობლემის გადაწყვეტაზე.⁸

The students could deep their knowlege based on the following sources:

1. <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-visum/>
2. <http://www.traffic-simulation.de/>
3. https://www.ptvgroup.com/fileadmin/user_upload/Service_Support/Training_Education/eCourse_PTV-Vissim-Scenario-Management/Handout_-_PTV_Vissim_-_Scenario-management.pdf
4. <https://ru.scribd.com/document/345292821/PTV-Vissim-Basic-Handout>

⁸ <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-visum/areas-of-application/large-scale-simulation/>

სატრანსპორტო ნაკადის შენარჩუნების კანონი

განვიხილოთ სატრანსპორტო ნაკადი ერთზოლიან გზაზე, ე.ი. მოძრაობისას გასწრების გარეშე. ავტომობილების სიმჭიდროვე არის (ავტომობილების რაოდენობა გზის სიგრძის ერთეულზე) $\rho(x,t)$, $x \in R$ დროის $t \geq 0$ მომენტში. მანქანების რაოდენობა ინტერვალში (x_1, x_2) დროის t მომენტში უდრის: [3].

$$\int_{x_1}^{x_2} \rho(x, t) dx. \tag{1}$$

დავუშვათ $v(x, t)$ არის მანქანების სიჩქარე x წერტილში t დროის მომენტში. x (სიგრძის ერთეულში) წერტილში გამვლელ მანქანათა რიცხვი t დროში არის $\rho(x, t) v(x, t)$. ვიპოვოთ სიმჭიდროვის ცვლილების განტოლება. მანქანების რაოდენობა ინტერვალში (x_1, x_2) , t დროის განმავლობაში იცვლება შემავალ-გამავალი მანქანების რიცხვის შესაბამისად :

$$\frac{d}{dt} \int_{x_1}^{x_2} \rho(x, t) dx = \rho(x_1, t)v(x_1, t) + \rho(x_2, t)v(x_2, t). \tag{2}$$

დროში ინტეგრირებით და დაშვებით, რომ ρ და v უწყვეტი ფუნქციებია, მივიღებთ:

$$\begin{aligned} \int_{t_1}^{t_2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\partial \rho(x, t)}{\partial t} dx dt &= \int_{t_1}^{t_2} \left(\rho(x_1, t)v(x_1, t) + \rho(x_2, t)v(x_2, t) \right) dx dt = \\ &= - \int_{t_1}^{t_2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\partial (\rho(x, t)v(x, t))}{\partial x} dx dt. \end{aligned} \tag{3}$$

რამდენადაც $x_1, x_2 \in \mathbb{R}$ $t_1, t_2 > 0$ თავისუფალი სიდიეებია,

$$\rho_t + (\rho v)_x = 0, \quad x \in \mathbb{R}, t > 0 \quad (4)$$

შევავსოთ გატოლება საწყისი პირობებით

$$\rho(x, 0) = \rho_0(x), \quad x \in \mathbb{R}. \quad (5)$$

ვიპოვოთ განტოლება v სიჩქარისთვის. დაუშვათ v დამოკიდებულია მხოლოდ ρ სიმჭიდროვეზე.

თუ გზა თავისუფალია ($\rho = 0$), ავტომობილები მოძრაობენ მაქსიმალური სიჩქარით $v = v_{max}$. გზის მაქსიმალურ შევსებასთან ერთად, სიჩქარე ეცემა სრულ გაჩერებამდე ($v = 0$), როდესაც მანქანები განლაგებულნი არიან „ზამპერიდან ზამპერამდე“ ($\rho = \rho_{max}$). ეს მარტივი მოდელი გამოისახება შემდეგი წრფივი თანაფარდობით: (ნახ. 1)

$$v(\rho) = v_{max} \left(1 - \frac{\rho}{\rho_{max}} \right), \quad 0 \leq \rho \leq \rho_{max}. \quad (6)$$

მაშინ განტოლება (4) მიიღებს შემდეგ სახეს:

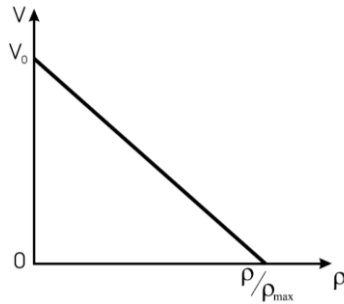
$$\rho_t + \left[v_{max} \rho \left(1 - \frac{\rho}{\rho_{max}} \right) \right]_x = 0, \quad x \in \mathbb{R}, t > 0. \quad (7)$$

როგორც ჩანს, ეს არის ავტომობილების რაოდენობის შენახვის კანონი.

მართლაც, (7) ინტეგრირებით $x \in \mathbb{R}$ -თან ვიღებთ:

$$\frac{d}{dt} \int_{\mathbb{R}} \rho(x, t) dx = - \int_{\mathbb{R}} \frac{\partial}{\partial x} \left[v_{max} \rho(x, t) \left(1 - \frac{\rho(x, t)}{\rho_{max}} \right) \right] dx = 0, \quad (8)$$

შესაბამისად, \mathbb{R} -ში მანქანების რაოდენობა მუდმივია ნებისმიერი მნიშვნელობისთვის $t \geq 0$.



ნახ. 9. გრინშილდსის წრფივი აპროქსიმაცია. [3].

გრინდშილდსის და გრინბერგის მოდელები

შესაძლებელია აიგოს მაკროსკოპული მოდელი, რომელშიც გრინშილდსის განტოლება არის კერძო შემთხვევა.

განვიხილოთ კავშირი v სიჩქარესა და გზაზე მანქანების სიმჭიდროვე ρ – ს შორის. ზოგადად, როდესაც სიმჭიდროვე ρ იზრდება, მძღოლები ანელებენ სვლას და პირიქით, ამიტომ: [3].

$$v = v \left\{ \rho(x(t), t) \right\} \tag{9}$$

სადაც $x(t)$ - ნაკადის ელემენტის მოძრაობის კოორდინატია.

დავაკვირდეთ სიჩქარის ცვლილებას ნაკადის რომელიმე მოძრავი ელემენტისთვის დროში, რომელიც განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{d\rho} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{dv}{d\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} \frac{dx}{dt}. \tag{10}$$

(4)-დან გამომდინარეობს თანაფარდობა :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\rho \frac{dv}{dx} - v \frac{\partial \rho}{\partial x}, \quad (11)$$

რომელიც (10) - ში ჩასმით იღებს შემდეგ სახეს:

$$\frac{dv}{dt} = -\rho \frac{dv}{dx} \left(\frac{dv}{d\rho} \right) - v \frac{\partial \rho}{\partial t} \left(\frac{dv}{d\rho} \right) + v \frac{\partial \rho}{\partial t} \left(\frac{dv}{d\rho} \right) = -\rho \frac{dv}{dx} \left(\frac{dv}{d\rho} \right). \quad (12)$$

რადგანაც (9) -ს თანახმად:

$$\frac{dv}{dx} = \frac{dv}{d\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x}, \quad (13)$$

თანაფარდობა (12) შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$\frac{dv}{dt} = -\rho \left(\frac{dv}{d\rho} \right)^2 \frac{\partial \rho}{\partial x} = -\rho (v')^2 \frac{\partial \rho}{\partial x}, \quad (14)$$

სადაც, $V' = dv / d\rho$, და პროპორციულობის უარყოფითი კოეფიციენტი $[-\rho (v')^2]$ შეიძლება ინტერპრეტირებულ იყოს როგორც სიბლანტე სითხეში. შეკუმშვადი სითხისთვის განტოლებას (14) ეწოდება ეილერის განტოლება, ამ შემთხვევაში:

$$\frac{dv}{dt} = -C^2 \rho^{-1} \frac{\partial \rho}{\partial x}, \quad (15)$$

ჩვეულებრივ, მიღებულია უფრო ზოგადი მოდელების განხილვა, რომლებშიც

$$\frac{dv}{dt} = -C^2 \rho^n \frac{\partial \rho}{\partial x}, \quad (16)$$

განტოლება (15) შეესაბამება შემთხვევას $n \neq -1$, შესაბამისად, განტოლებებიდან (14) და (15) $v' = C^2 \rho^{(n-1)} / 2$. ამ განტოლების ამოხსნა იქნება:

$$v = C \ln \frac{\rho_{max}}{\rho} \quad (17)$$

როდესაც, $n = -1$, და

$$v = \frac{C}{n+1} \left[\rho_{max}^{(n+1)/2} - \rho^{(n+1)/2} \right] \quad (18)$$

როდესაც, $n \neq -1$.

მოდელი (17) პირველად მიიღებულ იქნა გრინბერგის მიერ [Greenberg]. როცა v_0 ვლნიშნავთ სიჩქარეს, სადაც $\rho = 0$, მნიშვნელობებისთვის $n \leq 0$, შეიძლება ჩაიწეროს

$$v = v_0 \left(1 - \left[\frac{\rho}{\rho_{max}} \right]^{(n+1)/2} \right) \quad (19)$$

განტოლება (6), რომელიც პირველად იქნა მიღებული გრინდშილსის (Greenshields) მიერ, არის განტოლების (19) კერძო შემთხვევა $n = 1$ – ისთვის. [3].

ლაიტჰილ - უიზემის (Lighthill-Whitham) მოდელი

მოდელის აგებისას გაკეთდა შემდეგი დაშვებები:

მოდერობის ნაკადი უწყვეტია, მისი სიმჭიდროვე $\rho(x, t)$ არის მანქანების რაოდენობა, გზის სიგრძის ერთეულზე;

ნაკადის სიდიდე $q(x, t)$ უდრის მანქანების რაოდენობას, რომლებიც კვეთენ x წერტილს დროის ერთეულში, განისაზღვრება ლოკალური სიმჭიდროვით ρ : [3].

$$q=Q(\rho). \tag{20}$$

ნაკადის სიჩქარე უდრის $V(\rho) = [(Q(\rho))/(\rho)]$, ე.ი. საშუალო სიჩქარე არის სიმჭიდროვის ფუნქცია $V(x, t) = V_e(\rho(x, t))$;

გზის მონაკვეთზე სადაც არ არსებობს შემავალი და გამავალი გზები მანქანების რაოდენობა შენარჩუნდება. განტოლებები (20) და (7) ქმნიან სრულ სისტემას. ჩანაცვლების შედეგად, ვიღებთ

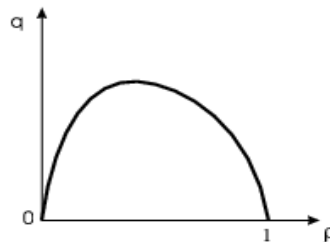
$$\rho_t + c(\rho)\rho_x = 0 \tag{21}$$

სადაც,

$$c(\rho) = Q'(\rho) = V_e(\rho) + \rho V_e'(\rho)$$

მიმართება $Q(\rho) = \rho V_e(\rho)$ მნიშვნელოვან როლს ასრულებს სატრანსპორტო ნაკადების თეორიაში და ეწოდება ფუნდამენტური დიაგრამა (ნახ.8). ლაიტჰილ - უიზემის მოდელში ეს დამოკიდებულება უწყვეტია. შესაბამისად, გზის მონაკვეთის მაქსიმალური გამტარუნარიანობა განისაზღვრება ნაკადის სიმჭიდროვით. განტოლების ამოხსნისთვის გამოიყენებენ ფორმულას:

$$c(x, t) = F(x - vt).$$



ნახ. 10. სატრანსპორტო ნაკადის ფუნდამენტური დიაგრამა. [3].

6. გზებზე მოძრაობის უსაფრთხოების უზრუნველყოფა

6.1. ხილვადობის უზრუნველყოფა

საავტომობილო გზაზე მოძრაობის უსაფრთხოებისათვის მძღოლი უნდა ხედავდეს მის წინ საკმაო სიგრძის უბანს, იმ მიზნით, რომ დაბრკოლების შემჩნევისას, მიიღოს სათანადო ზომები დროული დამუხრუჭებისათვის.

ხილვადობის საჭირო მანძილს ადგენენ ავტომობილის სრული გაჩერების პირობიდან, რომელიც საანგარიშო სიჩქარით მოძრაობს დაბრკოლების წინ. მანძილი, რომელსაც ამ დროს გაივლის ავტომობილი შედგება შემდეგი უბნებიდან: [5].

$$S = l_1 + l_2 + l_3$$

სადაც l_1 – არის მანძილი მეტრებში, გავლილი ავტომობილისაგან მძღოლის რეაქციის პერიოდში დაბრკოლების შემჩნევის მომენტიდან, დამუხრუჭების დაწყების მომენტამდე; $l_1 = v \cdot t$, t მიღებულია 1 წმ-ის ტოლად;

l_2 - სამუხრუჭო მანძილი, მ-ში;

l_3 - ავტომობილის გაჩერების უსაფრთხო მანძილი დაბრკოლებამდე

$l_3 = 5-10$ მეტრი, მარაგისათვის.

სამუხრუჭო მანძილი გამოითვლება ფორმულით: [5].

$$l_2 = \frac{v^2}{2g(\varphi_1 \pm i + f)}$$

სადაც, v სიჩქარეა, კმ/სთ;

f - გორვის წინაღობის კოეფიციენტი;

φ - საფართან საბურავის შეჭიდულობის კოეფიციენტი, გამოყენებული მძღოლის მიერ სიგრძივი მიმართულებით.

g – თავისუფალი ვარდნის აჩქარებაა (9,82 მ/წმ²);

i - გზის გრძივი ქანობი.

ამრიგად, ხილვადობის მანძილი განისაზღვრება ფორმულიდან: [5].

$$S = \frac{v}{3,6} + \frac{v^2}{254(\varphi_1 \pm i + f)} + \ell_3$$

გზებს, რომელთაც არ გააჩნიათ გამყოფი ზოლი, შემხვედრი მოძრაობის შემთხვევაში ერთ ზოლზე ხილვადობის მანძილი ორკეცდება.

ხილვადობის არე შეიძლება მკვეთრად შეიზღუდოს სწორ უბნებზე კლიმატური ფაქტორების გავლენით, განსაკუთრებით ღამით, როცა ინტენსიურად წვიმს, თოვს ან ნისლია ჩამოწოლილი.

ასეთ პირობებში საგზაო-სატრანსპორტო შემთხვევების რაოდენობა მკვეთრად იზრდება. ამიტომაც, რომ ასეთ დროს საჭიროა მოძრაობის სიჩქარის მკვეთრად შემცირება და ჩართული მაშუქებით მოძრაობა.

ხილვადობის არის არასაკმარისობა შეიძლება ნაწილობრივ კომპენსირებულ იქნეს საფარების სათანადო მონიშვნით, გამაფრთხილებელი და ამკრძალავი საგზაო ნიშნების გამოყენებით და სხვა სახის საგზაო სიგნალიზაციით მოძრაობის უსაფრთხოებისთვის დიდი მნიშვნელობა აქვს მოსახვევზე ავტომობილის წინ საჭირო ხილვადობის არის დაცვას. თუ ამ მანძილზე მძღოლი კარგად ხედავს გზას დაბრკოლების შემჩნევის შემთხვევაში ასწრებს ავტომობილის დამუხრუჭებას ან სათანადო მანევრირებას.

ხილვადობის არის დაცვა მეტად მნიშვნელოვანია აგრეთვე გასწრების მომენტში. ტექნიკური მოთხოვნების მიხედვით ხილვადობის მინიმალური მანძილი დაბალი და მაღალი კატეგორიის გზებისათვის შესაბამისად არ უნდა იყოს 75-107 250 მ-ზე ნაკლები. საერთოდ კი სასურველია, რომ იგი იყოს არანაკლებ 700 მ.

გასწრების მანევრისათვის მხედველობის ასეთი მანძილი სრულიად საკმარისია. ხილვადობის არის არასაკმარისობა შეიძლება ნაწილობრივ კომპენსირებულ იქნეს საფარების სათანადო მონიშვნით, გამაფრთხილებელი და ამკრძალავი საგზაო ნიშნების გამოყენებით და სხვა სახის საგზაო სიგნალიზაციით. [5].

6.2. მოძრაობის უსაფრთხოების უზრუნველყოფა გადაკვეთებზე

გზების ურთიერთგადაკვეთის ან მიმხრობის (მიერთების) კვანძების ტიპის შერჩევა ხდება მოძრაობის პერსპექტიული ინტენსიურობის გამოთვლის საფუძველზე პიკის საათების გათვალისწინებით. საანგარიშო ინტენსიურობად მიიღება გადამკვეთი გზების ინტენსიურობების დაჯამებული სიდიდე.

პირველი კატეგორიის გზის გადაკვეთას სხვა გზებთან ჩვეულებრივად ახდენენ სხვადასხვა დონეზე, ნაკადების გადაკვეთაში, როგორც წესი, გამორიცხული უნდა იყოს ავტომობილების მარცხენა მოხვევა. ყველა სხვა

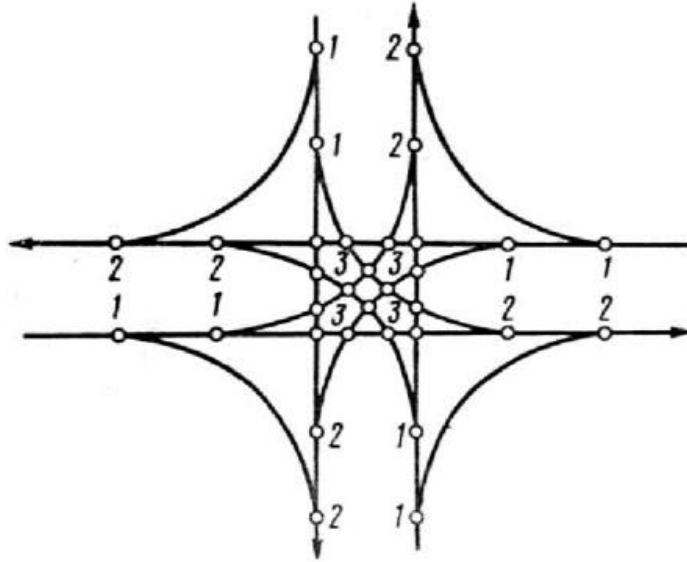
დანარჩენ შემთხვევაში სხვადასხვა დონეზე გადაკვეთის მოწყობის საკითხი წყდება ტექნიკურ-ეკონომიური დასაბუთების საფუძველზე. სამი და მეტი რაოდენობის გზის გადაკვეთისას მიმართავენ წრიული მოძრაობის ტიპის გადაკვეთის მოწყობას ერთ დონეზე.

თუ ერთი მიმართულების ნაკადები მოძრაობენ რამდენიმე რიგად (ორ და მეტ ზოლზე), მაშინ საქმე ძალიან რთულდება და შესაბამისად იზრდება საკონფლიქტო წერტილების რაოდენობა. ასევე, გადაკვეთის წერტილში მეტად რთულდება საქმე, როცა 3 მარტივი გადაკვეთის წერტილი (ნახ.7). ერთ წერტილში მოიყრის თავს.

საკონფლიქტო წერტილების ავარიულობის ხარისხი დამოკიდებულია გადამკვეთი ნაკადების ურთიერთმიმხრობის კუთხეზე. კუთხის შემცირებით



მოდრაობის ხიფათიანობა მცირდება.



ნახ.11. ტრანსპორტის ნაკადების გადაკვეთის, შერწყმის და განშტოების წერტილები ერთ დონეზე გზების გადაკვეთის (გზაჯვარედინების) ადგილებზე. [5].

- 1 - ნაკადების გაყოფის (განშტოების) წერტილები;
- 2 - ნაკადების შერწყმის წერტილები;
- 3 - ნაკადების გადაკვეთის წერტილები.

ნაკადების ურთიერთგადაკვეთის აცილება შესაძლებელია სამი გზით:

- ა) გადაკვეთის საკონფლიქტო წერტილების გადაქცევით საკონფლიქტო მიმართულებებად, გადაჯგუფების ანუ შერწყმისა და განშტოებისგარკვეული სიგრძის უზნებად (ე.წ. ფარულ გადაკვეთებამდე);
- ბ) ნაკადების რეგულირებით საკონფლიქტო წერტილებში ან მიმართულებებზე რიგობრივი შენაცვლებით, ხელით ან შუქნიშნებით;

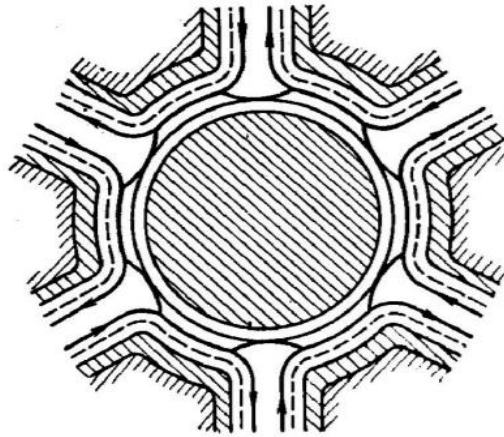
გ) გზების გადაკვეთების მოწყობით სხვადასხვა დონეზე. როცა მოძრაობის ინტენსიურობა შეადგენს 1000-4000 ავტ/დღე-ღამეში, ერთ დონეზე გადაკვეთის მოწყობის რაციონალურ ღონისძიებად ითვლება;

მიმმართველი კუნძულების (შემადლებების) მოწყობა ან საგზაო საფარის სათანადო მონიშვნა ე.წ. „გაკვალიანი მოძრაობის“ ორგანიზაციისთვის, გადასასვლელ-ჩქაროსნული ზოლების და უსაფრთხო ზოლების მოწყობა, მარცხნივ მომხვევი ავტომობილებისათვის მოსაცდელი ზოლის მოწყობა და სხვა. როცა გადაკვეთაზე თავს იყრის ოთხზე მეტი გზა, მაშინ მიზანშეწონილია წრიული მოძრაობის ორგანიზაცია თვითმარეგულირებელი ცენტრალური წრის მონიშვნით ან წრიული კუნძულის (შემადლებების) მოწყობით. წრეზე მოძრავი ნაკადი ჩაირთვება და გამოირთვება წრიულ ნაკადში საკონფლიქტო მიმართულებაზე ე.წ. გადაჯგუფების უბნებზე. გადაჯგუფების უბნების სიგრძე დამოკიდებულია მოძრაობის სიჩქარეზე. წრიული მოძრაობის კვანძის დაპროექტება ითვალისწინებს კვანძის ძირითადი ელემენტების;

ცენტრალური კუნძულის ფორმისა და ზომების, შერწყმის უბნების სიგრძის, წრიული სავალი ნაწილის სიგანის, შესასვლელი და გამოსასვლელი მრუდეების სიგრძისა და მიმმართველი კუნძულების ფორმის განსაზღვრას.

წრის გამტარუნარიანობა დამოკიდებულია შერწყმის ხაზის სიგრძესა და მოძრაობის სიჩქარეზე.

გადაკვეთებზე აუცილებლად იდგმება მაჩვენებელი საგზაო ნიშნები, ხოლო რთულ კვანძებთან „გადაკვეთის სქემები“.



ნახ. 12. წრიული კვანძი. [5].

თუ გადაკვეთებზე მოძრაობის საერთო ინტენსიურობა აღემატება 1000 ავტ. დღელამეში, როგორც წესი, უნდა მოეწყოს ღამის მუდმივი განათება. განსაკუთრებით საყურადღებოა საავტომობილო გზის გადაკვეთა რკინიზასთან, სადაც მეტად ხშირია ავარიული შემთხვევები. ყველა ქვეყანაში ასეთი გადაკვეთები უმეტესად სრულდება ორ დონეზე, თუმცა მაინც რკინიგზებთან ბევრგან ვხვდებით ერთ დონეზე გადაკვეთას. ამდენად ჯერ კიდევ საჭირო ხდება ფართოდ გამოვიყენოთ ინფორმაციის სხვადასხვა ღონისძიება. ასეთებია: საგზაო ნიშნები, მოციმციმე შუქნიშნები, ხმოვანი სიგნალიზაცია, ავტომატიზებული ბაიერები და სხვა.

მიუხედავად აღნიშნული ღონისძიებებისა, ერთ დონეზე გადაკვეთის ადგილებზე მოძრაობა შედარებით რთულია. ამიტომ, რომ რთულდება გადაკვეთებზე მოძრაობის უსაფრთხოების შეფასებაც. სატრანსპორტო კვანძის გახსნა დიდი ინტენსიურობის გზებსა და ქუჩებზე შესაძლებელია მხოლოდ გადაკვეთების მოწყობით სხვადასხვა დონეზე.

ავტომობილების ნაკადების ურთიერთჩართვისა და გამორთვის დამატებითი ზოლები, გადასასვლელ-ჩქაროსნული, ანუ აჩქარებისა და შენელების ზოლები თეთრი ხაზებით ან განსხვავებული ფერის საფარებით უნდა გამოიყოს.

სამგზავრო და სატვირთო საავტომობილო მიმოსვლების რაციონალური ორგანიზაცია და საგზაო ინფრასტრუქტურის როლი საავტომობილო მოძრაობა თავისი ორგანიზაციის მიხედვით შეიძლება დაყოფილი იქნას სამ ჯგუფად:

- ავტომობილთა მოძრაობა, რომელიც არ არის დაქვემდებარებული გარკვეულ განრიგზე;
- ავტომობილთა მოძრაობა, რომელიც მიეკუთვნება სხვადასხვა მეწარმე გადაზიდვებს და სამუშაოს ასრულებენ გარკვეული გრაფიკით, რომელიც გადაზიდვების საჭიროების მიხედვით პერიოდულად იცვლება;
- ავტომობილების მოძრაობა საავტომობილო ხაზებზე გარკვეული განრიგით, ანუ მუდმივად მოქმედი საავტომობილო მიმოსვლები.

ავტომობილები, როგორც წესი, მოძრაობენ არაორგანიზებული ნაკადის სახით და ემორჩილებიან სტატისტიკურ კანონზომიერებებს. ტვირთბრუნვის გარკვეული ნაწილი შედგება სასოფლო მეურნეობის ნაწარმის, სამრეწველო ტვირთების, ნედლეულისა და სამშენებლო ტვირთებისაგან. ამ სახის ტვირთების გადაზიდვა, როგორც დიდი სიგრძის მარშრუტებზე, ასევე მისასვლელ გზებზე, შესაძლებელია წინასწარ იქნეს განსაზღვრული სეზონისა და სხვა გარემოებების მიხედვით და შესრულდეს გარკვეული განრიგით.

საერთაშორისო მასშტაბით ტვირთების მასიური გადაზიდვები მაღალ მოთხოვნილებებს უყენებს გზების გამტარიანობას მთელი წლის განმავლობაში და მათი სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო მახასიათებლების საერთაშორისო სტანდარტების შესაბამის დონეზე შენარჩუნებას.

გადაზიდვებზე კანონმდებლობით აუცილებელი ხდება ავტომობილის მოძრაობის ყველა პარამეტრის უწყვეტი რეგისტრაცია ელექტრონული ხელსაწყოების საშუალებით. ეს მეტად ეფექტური საშუალებაა გადაადგილების ოპტიმალური პირობების უზრუნველსაყოფად. [5].

7. ტრანსპორტის ეკონომიკური ბუნება, პროდუქცია და მომსახურების ხარისხი

ტრანსპორტი გავლენას ახდენს ეკონომიკურ განვითარებაზე, აერთებს რა ერთმანეთთან სხვადასხვა რეგიონებს, კომპანიებს, საწარმოებსა და ფირმებს. გადაადგილებს რა მატერიალურ რესურსებსა და მზა პროდუქციას წარმოების სფეროდან საწარმოო ან და პირადი მოხმარების სფეროში, ტრანსპორტი ამით მონაწილეობს მატერიალური დოვლათის წარმოების პროცესში.

მატერიალური წარმოების სხვა დარგებისაგან განსხვავებით, ტრანსპორტირების დროს გრძელდება წარმოების პროცესი მიმოქცევის პროცესის ფარგლებში და მიმოქცევის პროცესისათვის. წარმოებისა და მოხმარების პროცესები ტრანსპორტზე არაა გაყოფილი დროში. ტრანსპორტის პროდუქცია მოხმარება წარმოების (გადაადგილების) პროცესში, როგორც მისი სასარგებლო ეფექტი და არა ნივთი. ეს შეიძლება გამოვსახოთ კაპიტალის წრებრუნვის ფორმულების მიხედვით სამრეწველო და სატრანსპორტო კაპიტალისათვის. [6].



ნახ. 13. კაპიტალის წრებრუნვა

შს - შრომის საშუალებები (მოწყობილობები, შენობები, ნაგებობები);

სმ - სამუშაო ძალა;

შსაგ - შრომის საგნები (მატერიალური და სხვა რესურსები)

ნახაზიდან ჩანს, რომ სამრეწველო კაპიტალის წრებრუნვა შედგება სამი სტადიისაგან, კერძოდ:

პირველ სტადიაზე კაპიტალის ფულადი ფორმა (ფ) გადადის საქონელში (ს), ე.ი. ფული გარდაიქმნება შრომის საშუალებებში (მოწყობილობები, შენობები, ნაგებობები),

შრომის საგნებში (მატერიალური რესურსები) და სამუშაო ძალა(სმ).

მეორე სტადიაზე (საწარმოო) იქმნება ახალი საქონელი ს', რომელიც ღირებულებით მეტია, ვიდრე პირველად ნაყიდი საქონელი (ს). მესამე სტადია– მიმოქცევის სტადიაა, რომელშიც საქონელი გარდაიქმნება ფულად. (ს'–ფ') დამატებითი ღირებულების ΔAD სიდიდით.

სატრანსპორტო კაპიტალის წრებრუნვის დროს არ არის მესამე სტადია. (ის შეერთებულია მეორესთან), ე.ი. წარმოების პროცესი არის იგივე მოხმარების პროცესი). ტრანსპორტის პროდუქციას არ აქვს მატერიალური ფორმა, მაგრამ იმავე დროს ის მატერიალურია თავისი ხასიათით, რადგანაც გადაადგილების პროცესში იხარჯება მატერიალური საშუალებები.

რამდენადაც ტრანსპორტის პროდუქციას არ აქვს ნივთობრივი ფორმა, **მეორე თავისებურება** მდგომარეობს იმაში, რომ მისი დაგროვება შეუძლებელია. ამ თავისებურებას აქვს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა. თუ საწარმოებში და ფირმებში პროდუქციის განსაზღვრული მარაგების შექმნა ხელს უწყობს წარმოების დაკმაყოფილებას საჭიროების მიხედვით, მაშინ ტრანსპორტს უნდა ჰქონდეს გამტარი და გადაზიდვის უნარიანობის რეზერვები გადაზიდვებში სხვადასხვა პირობების არსებობის დროს.

მესამე თავისებურება მდგომარეობს იმაში, რომ ტრანსპორტის პროდუქცია ესაა დამატებითი სატრანსპორტო დანახარჯები, რომლებიც დაკავშირებულია სამრეწველო პროდუქციის გადაადგილებასთან. მათ მიაკუთვნებენ საბრუნავ ხარჯებს, რაც ხაზს უსვამს დანახარჯების ორმაგ ხასიათს. ერთი მხრივ, ისინი აუცილებელია, რადგანაც გადაზიდვები წარმოადგენს წარმოების პროცესის გაგრძელებას, ხოლო მეორე მხრივ უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ტრანსპორტი ახალ პროდუქტს არ ქმნის. ამიტომ, საჭიროა გამოვიყენოთ იგი ისე, რომ სატრანსპორტო ხარჯები იყოს უმცირესი, სხვა თანაბარ პირობებში, გადაზიდვისათვის გამოყენებული უნდა იქნას ტრანსპორტის ის სახე, რომელიც ყველაზე ეფექტურია პროდუქციის მოცემული სახისა და მანძილისათვის.

ტრანსპორტის პროდუქცია იყიდება, ე.ი გამოდის საქონლის როლში და, შესაბამისად, აქვს სამომხმარებლო ღირებულება: სატრანსპორტო პროდუქციის სამომხმარებლო ღირებულება წარმოადგენს მის უნარს დააკმაყოფილოს მოთხოვნა გადაზიდვებზე სხვადასხვა სახის ტვირთებისათვის. სატრანსპორტო პროდუქციის სამომხმარებლო ღირებულება შეიძლება გამოხატულ იქნას მის მიწოდებაში მომხმარებელთან ზუსტად დროში (განსაზღვრულ დღესა და საათში) და განსაზღვრული რაოდენობით. მრავალ უცხოურ ფირმაში ზუსტად დროში მიზიდვის შესაძლებლობას აფასებენ უფრო მეტად, ვიდრე კომპანია-მიმწოდებლის სასაქონლო ნიშანს. პროდუქციის ან/და გადაზიდვის ღირებულება, როგორც სატრანსპორტო საწარმოების, ან ფირმების ან/და ტვირთების გადაზიდვის საჭირო დანახარჯების ჯამით ყიდულობენ რა სატრანსპორტო პროდუქციას, მომხმარებლები იხდიან ამ დანახარჯებს ტარიფების და საფრახტო განაკვეთების ფორმით. ისინი ერთდროულად წარმოადგენენ სატრანსპორტო პროდუქციის ღირებულების ფულად გამოხატულებას. ლოჯისტიკური მომსახურების პროცესში მნიშვნელოვანია არა მარტო გავიანგარიშოთ ლოჯისტიკური სისტემის ცალკეული მაჩვენებლები, არამედ უნდა უზრუნველვეყოთ კლიენტურის მომსახურების ხარისხის მაქსიმალურად მაღალი დონე. ლოჯისტიკური სერვისის სრულყოფაზე მიმართული მოქმედებები შეიძლება წარმოდგენილ იქნას სქემის სახით .

სატრანსპორტო პროდუქციის ხარისხი - ეს არის მომხმარებლებისათვის პროდუქციის დროული მიწოდება განსაზღვრული ხარისხითა და განსაზღვრულ დროში. სატრანსპორტო პროდუქციის ხარისხის ინსტრუმენტი უნდა იყოს შეთანხმებული გრაფიკი, რომელიც აკავშირებს ლოჯისტიკური სისტემის ორგანიზაციის ყველა მონაწილეს. მათემატიკურად ეს დამოკიდებულება გამოიხატება ასე:[6].

$$\gamma = f(QK)$$

სადაც,

γ – სატრანსპორტო პროდუქცია

Q - მატერიალური ნაკადის მასა (რაოდენობა)

K - მატერიალური ნაკადის ხარისხი

სატრანსპორტო სისტემის პარამეტრები *Q* და *K* შეთანხმებული უნდა იქნას მართვის ფუნქციებთან, ამავე დროს პარამეტრი *K* შეიძლება ტრანსფორმირებულ იქნას სხვადასხვა ხარისხიანი კომპონენტების სიმრავლეში $K_1=K_1, K_2, \dots, K_n$, რომელიც წარმოადგენს სამმართველო, ტექნოლოგიური ეკონომიკური და ტრანსპორტის მუშაობის სხვა მაჩვენებლების ნაკრებს. სატრანსპორტო პროდუქციის წარმომადგენელს შეუძლია თვით განსაზღვროს სატრანსპორტო პროდუქცია, სატრანსპორტო ორგანიზაციის მუშაობის პირობებიდან და ხასიათიდან გამომდინარე.[6].

გამოყენებული ლიტერატურა

1. А.А. Власов, Н.А, N.A. Орлов. Управление насыщенными транспортными потоками в городах. Пенза 2014.А. Э. ГОРЕВ. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ. Учебное пособие. Санкт-Петербург. 2010. 209 стр.
2. В.В. Семенов. Математическое моделирование динамики транспортных потоков.
3. С. Д. Терешкина. Организация движения на автомобильномТранспорте. Учебное пособие. (курс лекций) Москва2018.
4. კ. მჭედლიშვილი, ა. ბურდულაძე, ო. გელაშვილი, გ. არჩვაძე. საავტომობილო გზები. დამხმარე სახელმძღვანელო. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. თბილისი. 2009. 163 გვ.
5. ლ. ბოცვაძე, კ. ერაძე, ვ. ბოცვაძე. „ლოჯისტიკური მენეჯმენტი და მოდელირება“. თბილისი. 2010.
6. Владимир Гимпельсон. Причины образования и способ предотвращения дорожных заторов.
7. James C. Spall, Daniel C. Chin. Traffic-responsive signal timing for system-wide traffic control

ელექტრონული რესურსები

¹ <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-vissim/>

² <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-vissim/areas-of-application/traffic-flow-simulation/>



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



www.smalog.uniroma2.it

585832-EPP-1-2017-1-IT-EPPKA2-CBHE-JP
**Master in SMART transport and LOGistics
for cities
SMALOG**

³ <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-vissim/areas-of-application/advanced-traffic-management-systems/>

⁴ <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-visum/areas-of-application/>

⁵ <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-visum/areas-of-application/>

⁶ <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-visum/areas-of-application/transportation-planning/>

⁷ <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-visum/areas-of-application/public-transport-planning/>

⁸ <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-visum/areas-of-application/large-scale-simulation/>