

TRAFFIC FLOWS PASSAGE OPTIMIZATION THROUGH A LIGHT REGULATED CROSSROAD IN THE TOWN OF PLOVDIV¹

Assoc. Prof. Durhan Saliev, PhD

Department of Combustion Engines, Automobile Engineering and Transport,
Technical University of Sofia, Bulgaria
Tel.: +359 (2) 965-2308
E-mail: durhan_saliev@tu-sofia.bg

Ass. Prof. Georgi Mladenov, PhD

Department of Combustion Engines, Automobile Engineering and Transport,
Technical University of Sofia, Bulgaria
Tel.: +359 (2) 965-2308
E-mail: gmladenov@tu-sofia.bg

Dimityr Bechev, Student

Department of Combustion Engines, Automobile Engineering and Transport,
Technical University of Sofia, Bulgaria
Tel.: +359 (2) 965-2308
E-mail: dbechev@tu-sofia.bg

***Abstract:** Traffic management in large cities is a task related to the implementation of many activities, which include the study of traffic and pedestrian flows in places with problems in their passage, identifying activities to solve the observed problems and implementing actions to implement decisions. One of the ways to solve the tasks aimed at facilitating the passage of traffic flows through light-regulated intersections is the application of proven algorithms for optimizing the duration of light signals. This publication presents the possible application of such an algorithm at one of the busiest intersections in the city of Plovdiv.*

***Keywords:** Traffic flows, Traffic research, Traffic lights, waiting time.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Светлинно сигналното регулиране на движението способства в голяма степен за намаляване конфликтността между транспортните потоци, които преминават през кръстовищата и редуцира значително предпоставките за настъпване на пътнотранспортни произшествия. Наред с изтъкнатите полози се появяват нежелани последствия свързани основно с необходимостта всички транспортни потоци да изчакват определено време за своето преминаване. Това налага обосновано въвеждане на този метод за регулиране на движението в кръстовища, което се съпровожда с необходимите изследвания на пътнотранспортното движение. Налага се те да се извършват със съвременни технически средства, с което се постигат необходимите резултати за минимално време (Hristov, V., etc. 2017, pp 11-16, Hristov, V., etc. 2017, pp 17-21) в сравнение с конвенционални методи за изследване (Todorov, T. 1982), което се прилага в съвременни разработки (Stoyanov P., 2018). Резултатите от тях определят необходимите решения свързани с осигуряване на оптималното взаимодействие между транспортните и пешеходните потоци (Damyanov, I., etc., 2017, pp 118-121) и оптимизация на техните параметри (Damyanov, I., etc., 2017, pp 122-125) при преминаване през светлинно регулирани кръстовища, при спазване на определените нормативни изисквания (Ministry of Regional Development and Public Works, 2018).

¹ Докладът е представен на научна сесия на 30 октомври 2021 с оригинално заглавие на български език: ОПТИМИЗАЦИЯ НА ПРЕМИНАВАНЕТО НА ТРАНСПОРТНИТЕ ПОТОЦИ ПРЕЗ СВЕТЛИННО РЕГУЛИРАНО КРЪСТОВИЩЕ В ГРАД ПЛОВДИВ

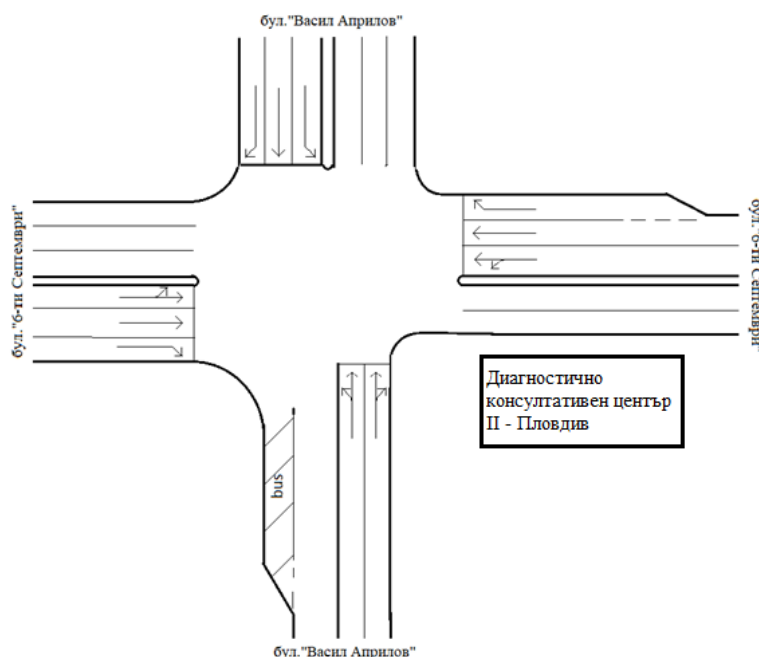
Приложението на подобни решения е наложително в случаите на поява на затруднения при протичането на движението. Такова се предлага за изследвано кръстовище в град Пловдив, за което е установено проблем в преминаването в пиковите периоди от денонощието. Използвана е методика за оптимизиране на времената на фазите и цикъла на светофарната уредба (Madjarski, E., etc., 2016), която се основава на критерий за постигане на минимално общо време за чакане на кръстовище регулирано със светлинни сигнали. Подобен подход се използва в редица разработки (Cigánek J., 2017), някои от които използват и стойности за разпределението на пристигащите автомобили (Xing Y., 2016).

ИЗЛОЖЕНИЕ

Обект на изследването в настоящата публикация е избрано едно от най-натоварените кръстовища на територията на град Пловдив. Това е четириклонното кръстовище на бул. „Васил Априлов“ и бул. „6-ти Септември“, намиращо се в квартал „Мараша“.

Пресичането на транспортните потоци се регулира със светофарна уредба, работеща с гъвкав режим за продължителност на цикъла и фазите. Предполага се, че гъвкавостта зависи от параметрите на транспортните потоци. Въпреки това се наблюдават предизвикани, както задръствания, така и аварийни ситуации.

Кръстовището се характеризира със значителна интензивност на преминаващи транспортни средства, включващи и голям брой автобуси на градския и междуградския транспорт. През кръстовището се осъществява транспортната връзка между кварталите „Мараша“, „Младежки хълм“ и „Христо Смирненски“. Също така бул. „Васил Априлов“ е свързан с един от изходите на град Пловдив, като чрез него се достига пътната връзката с автомагистрала „Тракия“. Кръстовището поема основния трафик от авторанспортни средства от и към град София. Схема на кръстовището е показана на Фиг.1.

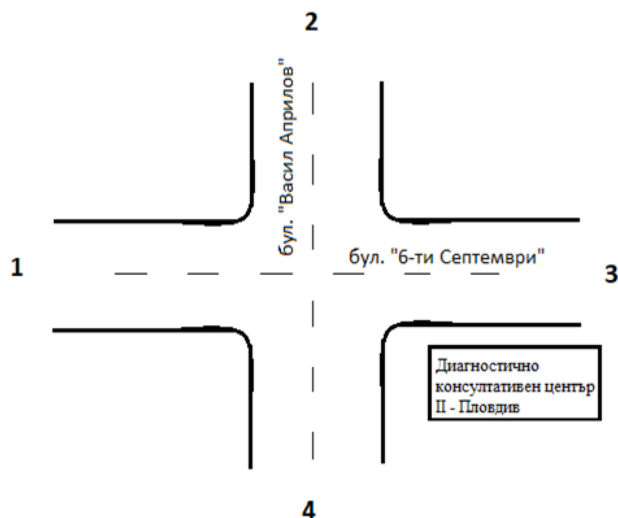


Фиг.1. Схема на кръстовището на бул. „Васил Априлов“ и бул. „6-ти Септември“

Разглежданото кръстовище се състои от четири входящи улици, като три от тях са с отделни платна за всяка посока. Платното за движение на две от тях (от кв. „Мараша“ към ж.к. „Христо Смирненски“ и от ж.к. „Младежки хълм“ към кв. „Мараша“, които са по бул. „Васил Априлов“) се състои от две ленти за движение с ширина от 3,75m и общ габарит 7,5m, като първата в зоната на кръстовището увеличава своя брой. Другите две улици са с по три ленти за движение от по 3,75m.

След проведените наблюдения и измервания става ясно, че на разглежданото кръстовище съществуват проблеми с натрупване на автомобили, при потока от най-натовареното направление по бул. „Васил Априлов” посока ж. к. „Младежки хълм”, както и в обратната посока.

За целите на изследването, транспортните потоци се обозначиха с използването на подхода за номериране на входовете и изходите на кръстовището както е показано на Фиг. 2.



Фиг.2. Схема на обозначението на транспортните потоци на разглежданото кръстовище

За оптимизиране на времената на фазите, съобразно алгоритъма за оптимизиране при пропускане на транспортните потоци в четири фази (Madjarski, E., etc., 2016) са необходими следните входни данни:

- Средните дължини на опашките за всички потоци;
- Интензивността на пристигане на автомобилите;
- Пропускателната способност през кръстовището по потоци;
- Режимът на светлинно-сигналното регулиране.

Измерванията се осъществяват с приемането, че транспортните потоци от съответния вход се разглеждат като един транспортен поток, приемащ номера на входа, от който постъпват.

Средната дължина на опашката включва преброяване на спрелите автомобили, при светване на червен сигнал на светофара. Измерването е проведено в дните вторник, сряда и четвъртък в интервала от 17:10 до 18:10 часа, тъй като е установено, че това е вечерният пиков период за това кръстовище. Отчита се броят на автомобилите спрели в кръстовището при преминаване от червен към зелен сигнал. Стойностите от измерването за средните дължини на опашките са на Таблица 1.

Таблица 1.

Средна дължина на опашката по потоци

Поток №	Средна дължина на опашката [Q_{av}^i],бр. авт.
1	78,4
2	140,3
3	85,1
4	56,6

Интензивността на пристигане на автомобилите е измерена за часовия период от време също за вечерния пик. Отчитани са пристигащите към всеки клон на кръстовището автомобили за всеки 30 секунди от този период. Резултатите от изследването показват, че потокът с най-висока стойност за интензивността е поток 2 с около 900 автомобила за

изследвания период. Същият поток се отличава и със значителна стойност за дължината на опашката, което показва необходимостта от оптимизиране на времената на фазите и цикъла на светофарната уредба на разглежданото кръстовище.

Изменението на интензивността в рамките на измерването при поток 2 се характеризира с циклична амплитуда, като най-високата стойност е 29 автомобила за 30 секунди, а най-ниската – един автомобил за 30 секунди. При останалите три потока разликата между максималните и минималните стойности е сравнително по-малка. Също така за разлика от поток 2, останалите нямат ясно изразена последователност на неравномерността на интензивността им. Резултатите от измерванията за интензивност за показани в Таблица 2.

Таблица 2.

Интензивност по потоци [I_d^f], а/сек.

Поток №	Интензивност [I_d^f] а/сек.
1	0,21
2	0,50
3	0,42
4	0,22

Пропускателната способност през кръстовището по потоци в същия период е установена експериментално с използване на наблюдаел по следната методика:

- наблюдателят застава на определено място от кръстовището;
- регистрират се броят на спрелите по време на червен сигнал автомобили, като се отбелязва последният от тях;
- с включване на зелен сигнал се включва и хронометър, който се спира, когато последният от спрелите автомобили пресече с предната си броня стоп линията;
- ако по време на изтегляне на опашката се приближат други автомобили, които преди изтегляне на последния спрял вече са в непосредствена близост до него – се включват и те;
- ако опашката е достатъчно голяма и не може да се изтегли по време на зелен сигнал, то хронометърът се изключва или в края на зеления сигнал или в края на жълтия сигнал, когато последният навлязъл автомобил пресече с предната си броня стоп линията;
- за всяко измерване се записва броя на преминалите с предната си броня стоп линията автомобили и времето за тяхното преминаване;
- за достоверност на информацията са необходими минимум 15 измервания.

След извършване на измерванията се изчилява действителната пропускателна способност се по следната зависимост:

$$S = \frac{3600}{n} \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{t_i}, \text{ Е/ч} \quad (1)$$

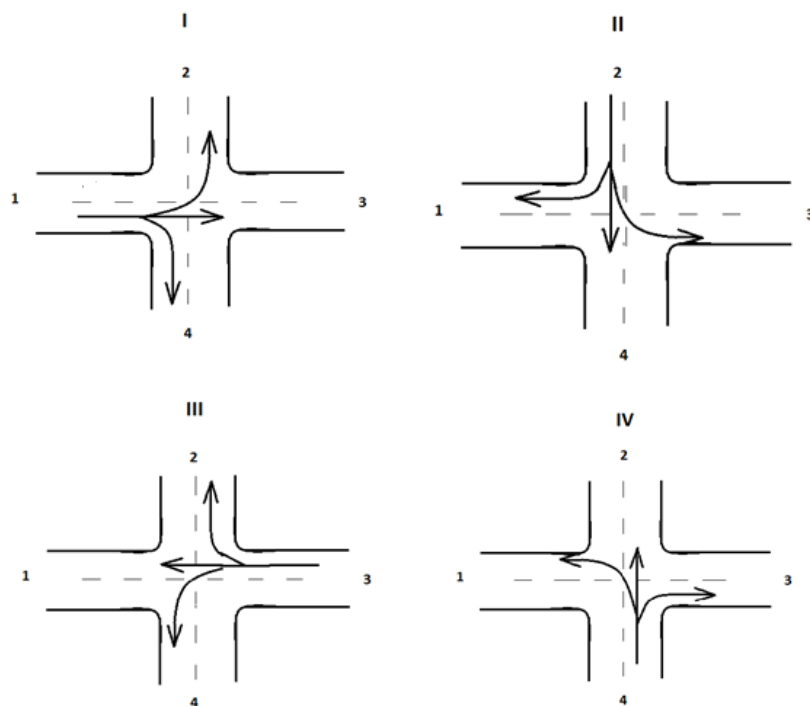
Стойностите за пропускателната способност по потоци са показани в Таблица 3.

Таблица 3.

Пропускателна способност по потоци [I_p^f], а/сек.

Поток №	Пропускателна способност [I_p^f] а/сек.
1	1,10
2	0,87
3	0,89
4	0,88

Изследванията за режима на светлинно сигналното регулиране показва, че движението през кръстовището се пропуса в четири фази, както е показано на Фиг. 3.



Фиг.3. План на фазите на разглежданото кръстовище

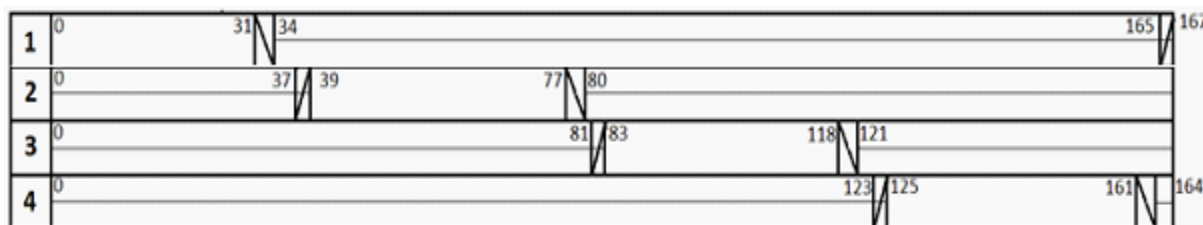
Измерванията за продължителността на зелените сигнали показват, че с най-голямо време за преминаване разполагат транспортните потоци, които преминават по време на фаза II, а с най-малко време тези, които преминават по време на фаза I. Останалите две фази предоставят приблизително равно време за преминаване на транспортните потоци. Стойностите на зелените сигнали за всяка фаза и прилежащите междинни времена са показани в таблица 4.

Таблица 4.

Време за зелен сигнал, междинно време и продължителност на фазите.

Фаза	Зелен сигнал, сек	Междинно време, сек.	Продължителност, сек
I	31	8	39
II	38	6	44
III	35	7	42
IV	36	6	42

Режимът на светлинно сигналното регулиране е представен графично с циклограма на Фиг. 4.



Фиг.4. Циклограма за режима на светлинно сигналното регулиране

Използваната методика за оптимизиране на времената на фазите, при пропускане на транспортните потоци в четири фази (Madjarski, E., etc., 2016) позволи да се определи времето за чакане на кръстовището при съществуващото положение. Установи се, че общото време за чакане на кръстовището е около 50 часа.

Оптимизирането на времето за преминаване през кръстовището използва критерий, който се основава на минимизиране на общото време за чакане на кръстовището (Madjarski, E., etc., 2016). Разгледани са три варианта на оптимизиране, предварително установени като възможни предвид интензивността на транспортните потоци, плана на фазите, изискванията за минимални стойности на тяхната продължителност и големината на опашките по отделните клонове. При първия вариант се оптимизират продължителността на зелените сигнали без да се променя продължителността на съществуващия цикъл на светофарната уредба. При втория вариант се оптимизират времената за зелен сигнал при време за цикъл от 127 секунди, а при третия се оптимизират времена за зелени сигнали за време за цикъл от 207 секунди. Продължителността на времето за цикъл при втория и третия вариант се определят съобразно избраната стъпка за промяна от 10 секунди, което рефлектира съобразно броя на фазите на разглежданото кръстовище.

Получените резултати от изчисленията за първия вариант показват оптимални стойности за продължителност на зелените сигнали за отделните фази (Таблица 5), различаващи се значително от съществуващите в момента.

Таблица 5.

Време за зелен сигнал, междинно време и продължителност на фазите при вариант без промяна на времето за цикъл

Фаза	Зелен сигнал, сек	Междинно време, сек.	Продължителност, сек
I	26	8	34
II	52	6	58
III	40	7	47
IV	22	6	28

При този вариант на разпределение на зелените сигнали времето за чакане на кръстовището е 44,2 часа.

При варианта с продължителност на цикъла от 127 секунди оптималните времена за зелени сигнали са онагледени в таблица 6.

Таблица 6.

Време за зелен сигнал, междинно време и продължителност на фазите при вариант 127 секунди за продължителност на цикъла.

Фаза	Зелен сигнал, сек	Междинно време, сек.	Продължителност, сек
I	18	8	26
II	38	6	44
III	24	7	31
IV	20	6	26

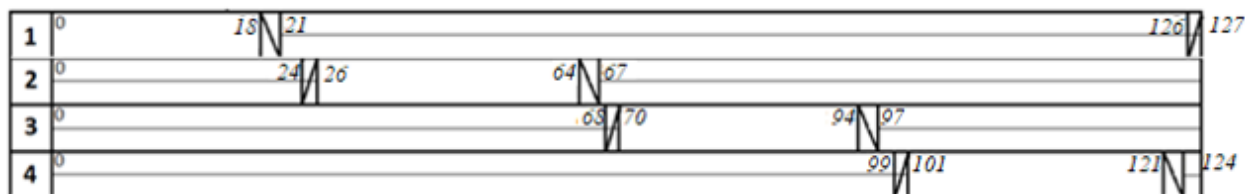
Времето за чакане на кръстовището при този вариант е 43,4 часа.

Вариантът с време за цикъл от 207 секунди се оказва с време за чакане от 58,2 часа. Стойностите на оптималните за варианта времена за зелен сигнали е показан в таблица 7.

Таблица 7. Време за зелен сигнал, междинно време и продължителност на фазите при вариант 207 секунди за продължителност на цикъла.

Фаза	Зелен сигнал, сек	Междинно време, сек.	Продължителност, сек
I	66	8	74
II	52	6	58
III	40	7	47
IV	22	6	28

От направените изчисления и представените резултати се вижда, че оптималната продължителност на зелените сигнали по потоци на даденото кръстовище е при втория вариант, където минималното време за чакане е със стойност 43,3 часа. Това определя прилагането на този вариант като оптимален за разглежданото кръстовище с времената показани в таблица 6. Оптимизирания режим на светлинно сигналното регулиране е изобразен графично с циклограма на Фиг. 5.



Фиг. 5. Циклограма за оптимизирания режим на светлинно сигналното регулиране

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прилагането на предлаганото решение за времената на фазите и продължителността на цикъла, в сравнение със съществуващото положение, ще намали общото време за чакане, през пиковите периоди, на всички потоци на кръстовището с около седем часа, което в рамките на деня намалява с над 80 часа. Това спестява на пътуващите над 30000 човечко-часа за една година.

Посочените ползи се допълват и от намаляването на разхода на гориво от преминаващите автомобили през кръстовището, като за ден ще се спестяват около 170 литра гориво, което неминуемо ще доведе до намаляване на вредните емисии от тяхната работа пропорционално на спестеното гориво, което допринася за положително влияние върху здравето на обществото.

Оптимизацията на пътната мрежа в градски условия е важна не само за по-бързо придвижване от една до друга точка на града, но и за оптимизиране на нежеланите аспекти при движение в затруднени условия.

REFERENCES

Todorov, T. (1982). Urban planning, urban traffic and street network. Sofia: Tehnica, 51-52. (Оригинално заглавие: Тодоров, Т., 1982. Градоустройство, градско движение и улици. София: Издателство „Техника“.)

Hristov, V., Savova-Mratsenkova, M., Damyanov, I., Mladenov, G., Palagachev, G. (2017). Analysis of the means for monitoring the indicators of road traffic and selection of a methodology for determining the indicators. Proc. Conf. TechCo – Lovech 2017, Lovech: Gabrovo University press (Оригинално заглавие: Христов, В., Савова-Мраенкова, М., Дамянов, И., Младенов, Г., Палагачев, Г. 2017. Анализ на средствата за мониторинг на показателите на пътно транспортното движение и избор на методика за определянето на показателите, TechCo – Lovech 2017, Сборник доклади, Габрово: Университетско издателство “Васил Априлов”), ISSN 2535-079X, 11-16.

Hristov, V., Damyanov, I., Savova-Mratsenkova, M., Palagachev, G., Mladenov, G. (2017). An unmanned aerial vehicle selection for the traffic indicators monitoring, Proc. Conf. TechCo – Lovech 2017, Lovech: Gabrovo University press (Оригинално заглавие: Христов, В., Дамянов, И., Савова-Мраенкова, М., Палагачев, Г., Младенов, Г. 2017. Избор на безпилотен летателен апарат за мониторинг на показателите на пътнотранспортното движение, TechCo – Lovech 2017, Сборник доклади, Габрово: Университетско издателство “Васил Априлов”), ISSN 2535-079X, 17-21.

Damyanov, I., Mladenov, G., Savova-Mratsenkova, M., Palagachev, G., Hristov, V., (2017). Examination of interaction between carriage and transport flows for improving the organization and

the safety of movement, Proc. Conf. BulTrans – Sozopol 2017, Technical University Academic Publishing House (Оригинално заглавие: Дамянов, И., Младенов, Савова-Мраенкова, М.,Г., Палагачев, Г., Христов, В. 2017. Изследване взаимодействието между пешеходни и транспортни потоци за подобряване на организацията и безопасността на движението, Научна конференция с международно участие по авиационна, автомобилна и железопътна техника и технологии БулТранс-2017, Созопол, Сборник доклади, София: Издателство на Техническия университет – София) ISSN 1313-955X, 118-121.

Damyanov, I., Mladenov, G., Hristov, V., Savova-Mratsenkova, M., Palagachev, G. (2017). Research, analysis and optimization of the indicators of the road traffic of light regulated crossroads, Proc. Conf. BulTrans – Sozopol 2017, Technical University Academic Publishing House (Оригинално заглавие: Дамянов, И., Младенов, Христов, В., Савова-Мраенкова, М.,Г., Палагачев, Г. 2017. Изследване, анализ и оптимизация на показателите на пътнотранспортното движение на светлинно регулирани кръстовища, Научна конференция с международно участие по авиационна, автомобилна и железопътна техника и технологии БулТранс-2017, Созопол, Сборник доклади, София: Издателство на Техническия университет – София), ISSN 1313-955X, 122-125.

Ministry of Regional Development and Public Works. (2018). Ordinance of December 20, 2017 on planning and design of the communication and transport system in urban areas, amended and supplemented by the State Gazette No. 98 of 2020. (Оригинално заглавие: Министерство на регионалното развитие и благоустройството, 2018. Наредба № РД-02-20-2 от 20 декември 2017 г. за планиране и проектиране на комуникационно-транспортната система на урбанизираните територии, изменена и допълнена с Държавен вестник бр. 98 от 2018г.) Available on 08.10.2020 at: <https://www.mrrb.bg/bg/naredba-rd-02-20-2-ot-20-dekemvri-2017-g-za-planirane-i-proektirane-na-komunikacionno-transportnata-sistema-na-urbaniziranite-teritorii-obn-dv-br-7-ot-2018-g-popr-br-15-ot-2018-g-izm-i-dop-br-98-ot-2018-g/>.

Madjarski, E., Saliev, D., Mladenov, G. (2016). Laboratory exercises manual on modeling and analysis of traffic and transport, Sofia: Technical University Academic Publishing House. (Оригинално заглавие: Маджарски, Е., Салиев, Д., Младенов, Г. 2016. Ръководство за лабораторни упражнения по Моделиране и анализ на трафика и превозите. София: Издателство на Техническия университет – София). ISBN 978-619-167-211-0, 32-37.

Cigánek J., 2017. Modeling and optimal dynamic control of traffic junction using waiting time minimization. 2017 Intl Conf. on Advanced Control Circuits Systems (ACCS) Systems & 2017 Intl Conf. on New Paradigms in Electronics & Information Technology (PEIT), DOI: 10.1109/ACCS-PEIT.2017.8303001.

Stoyanov P., 2018. Investigation and Modeling of Road Traffic in the Area of Intersections in Ruse, PROCEEDINGS OF UNIVERSITY OF RUSE - 2018, volume 57, book 4, FRI-2.203-2-TMS-12, Pages 164-170.

Xing Y., 2016. Study on Vehicle Delay Based on the Vehicle Arriving Distribution at Entrance Lanes of Intersection. Procedia Engineering, Volume 137, 2016, Pages 599-608, GITSS2015, Elsevier, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.297>.