

## INVESTIGATION OF TRAFFIC LOAD OF CROSSROADS IN THE ROAD NETWORK THROUGH THE USE OF AERO MAPPING<sup>1</sup>

---

**Asst.Prof. Iliyan Damyanov, PhD**

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

**Asst.Prof. Georgi Mladenov, PhD**

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

**Abstract:** *The object of study is the traffic load at the crossroads between the boulevards "Kliment Ohridski" and "GM Dimitrov" on the territory of Sofia. For the purpose of the study, a method was used to study the parameters of traffic by one observer. It allows their determination by aerial photography using an unmanned aerial vehicle of transport flows, and analysis of the results obtained. In addition, it is possible to obtain information on delays, throughput, determining the correspondence between the entrances and exits of the investigated intersection and other indicators of traffic. The main advantage of the ability to process video images taken by an unmanned aerial vehicle is that they are taken above the road instead of on the road. The successful implementation of such solutions for research and analysis of road traffic would only lead to better traffic organization, optimal traffic flow through intersections, which allows to significantly reduce the harmful effects of road use in cities.*

**Keywords:** *Unmanned aerial vehicle, Crossroads, Road traffic indicators.*

### ВЪВЕДЕНИЕ

Навлизането на безпилотните летателни апарати (дронове) в ежедневието и бързото развитие на технологиите в тези системи позволява да бъдат успешно използвани за определяне на параметрите на пътнотранспортния поток на движение (M. Khan, W. Ectors, T. Bellemans, D. Janssens, G. Wets, 2018), (E. Barmounakis, E. Vlahogianni, J. Golias, 2016), (H. Shakhathreh, A. Sawalmeh, A. Al-Fuqaha, Z. Dou, E. Almaita, I. Khalil, N. Othman, A. Khreishah, M. Guizani, 2019). Голямо предимство при тях е, че не се спира движението с цел инсталиране на съответния възприемател (детектор). Необходимостта от монтаж на видеокамери за заснемане на трафика на всяко кръстовище отпада, което е икономически целесъобразно и би спестило много финансови средства. Възможността за запис и директно предаване на данни от пътния трафик в реално време на оператор в център за управление на трафика е от съществено значение за добрата организация и управление. Съществуват достатъчно мощни и евтини софтуерни продукти за обработване на данните от видеокамерите. Технологиите при видеозаснемането са в такъв напреднал етап и с такава голяма резолюция, че може успешно да се заснема от височина 100 ÷ 150 метра, да се обхване достатъчно голямо разстояние на трафика, потока от автомобили, велосипедисти и пешеходци по тротоарите. Мобилността на летателните апарати (дронове) е от съществено значение (L. Verntzen, A. Florea, C. Molder, N. Bouhmala, 2019), тъй като дава възможност за отчитане на трафика на различни кръстовища, което позволява да бъде използван от

---

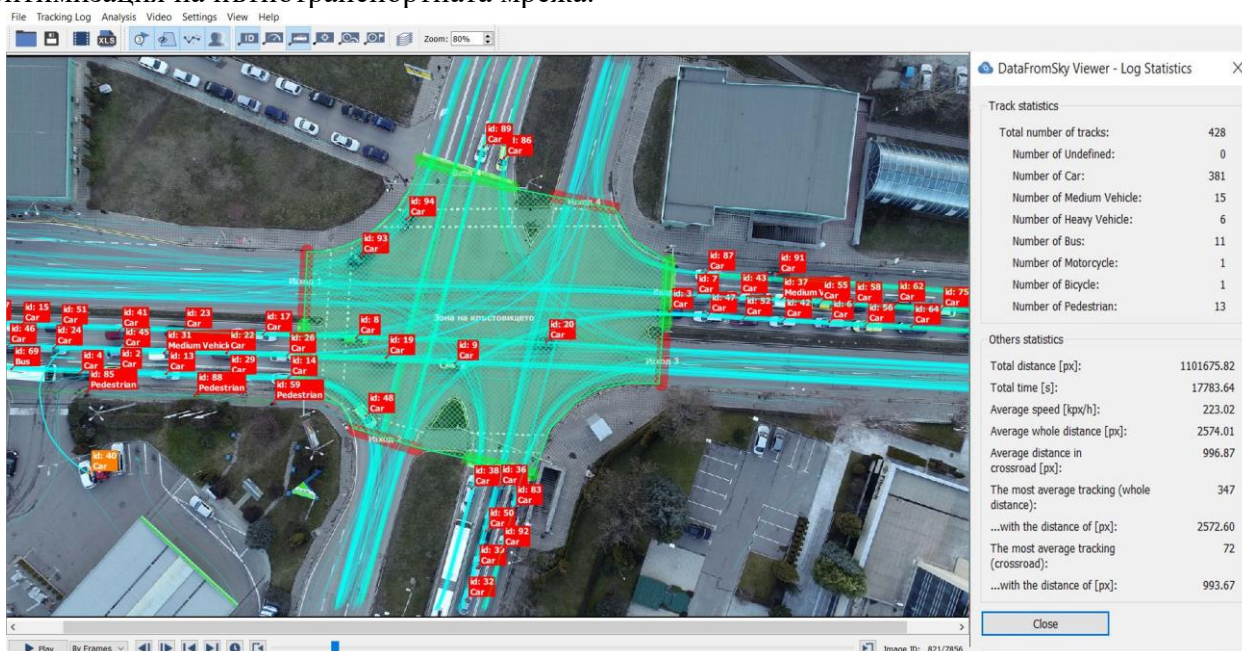
<sup>1</sup> Докладът е представен на пленарната сесия на 13 ноември 2020 с оригинално заглавие на български език: ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТРАНСПОРТНОТО НАТОВАРВАНЕ НА КРЪСТОВИЩА В ПЪТНАТА МРЕЖА ЧРЕЗ ИЗПОЛЗВАНЕ НА АЕРОЗАСНЕМАНЕ

различни екипи и да бъдат изследвани достатъчно голям брой пътни артерии за кратък период от време.

Един от пътищата за решаване на проблемите свързани с организацията и безопасността на пътнотранспортното движение е внедряване на съвременни системи за наблюдение, управление и оптимизиране на показателите на транспортните потоци (Saliev D.,2017),(Madjarski E., Mladenov G., Saliev D., Draganov D. 2009),( Mladenov G, Velinov B, 2014). Методът основаващ се на аеро-заснемане намира все по голямо приложение при определяне на основни показатели на транспортното движение (Saliev D.,2017),( Saliev D.,2020). Използването на безпилотни летателни апарати, получили наименованието „дронове“ позволява да се проучват и изследват пътни възли от уличната градска мрежа с цел да се вземат необходимите конкретни мерки за подобряване на организацията и безопасността на движението.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

За целта на изследването е използван метод за изследване на параметри на пътнотранспортното движение от един наблюдател. Той позволява определянето им чрез аерозаснемане с използване на безпилотен летателен апарат на транспортните потоци, и анализ на получените резултати. Основното предимство на възможността за обработка на видеоизображения, заснети от безпилотен летателен апарат, е че са заснети са над пътя, вместо на пътя. При аерозаснемането може да се получи информация за редица показатели на пътнотранспортното движение: разпределение на кореспонденциите между входовете и изходите на изследваните пътни артерии; плътност на транспортните потоци; интервали на движение на транспортните потоци; време за преминаване през изследваното кръстовище; състав на транспортните потоци; интензивност на транспортните потоци; скорост на превозните средства и други. Тези показатели обхващат изследване на автомобилите, участващи в движението, на пешеходните зони, велосипедистите и велоалеите. По този начин се натрупва голяма експериментална база данни, която да даде възможност за оптимизация на пътнотранспортната мрежа.



Фигура 1. Кадър от изследваното кръстовище и статистически данни.

Обект на изследване е транспортното натоварване на кръстовище между булевардите „Климент Охридски“ и „Г.М.Димитров“ (фиг.1) на територията на гр. София. Проведеното експериментално изследване на показателите на транспортните потоци е осъществено чрез безпилотен летателен апарат, който е издигнат на 150 метра височина и е осъществено

видеозаснемане с продължителност от 15 минути. Използването на камера с висока разделителна способност позволява постигане на високо качество на записа и възможност да се проследи движението на всеки пешеходец и превозно средство, а оттам и да се получат съответните транспортни потоци.

Софтуерът (datafromsky.com) обработва информацията от записаното видео, свързва данни за изображения (видео), геореференция, пояснения и траектории на проследяваните превозни средства и др. ,като безплатния лиценз предоставя подробни данни само за първите пет минути от записа. Проследявания участник в движението се разбира като обект (с определени геометрични размери), който има непосредствена позиция по всяко време и пълната траектория във времевото пространство. От предоставения от софтуера статистически анализ (фиг.1) на обработения видеоматериал информация за първите пет минути от записа са разпознати общо 428 „елемента“ участващи в движението, от които: 381 леки автомобили; 15 лекотоварни автомобили; 6 тежкотоварни автомобили; 11 автобуса; 1 мотоциклетист; 1 велосипедист и 13 пешеходци. За целия изследван период от 15 минути разпознатите участници в движението са общо 1043, но не се предоставя информацията за видът на участниците в движението. Вид на участник в движението (лек или товарен автомобил, мотоциклетист, пешеходец, автобус, велосипедист или др.), при анализа се определя и проследява по различни параметри: геометрични размери; форма и скорост. Останалите статистически параметри при първоначалния анализ са следните: общо изминато разстояние, общо следвано време на всички разпознати обекти, средна скорост, дистанция и др. В таблица 1 са представени резултатите от изследваното кръстовище за преминалите автомобили през входовете и изходите, а в таблица 2 са представени кореспонденциите между изходите и входовете на изследваното кръстовище, като информацията за кореспонденциите между тях може да се предоставена и по всички разпознати видовете участници в движението. При изследването условните изходи и входове на кръстовището са : бул. Г.М.Димитров посока Цариградско шосе– вход/изход1; бул. Климент Охридски посока Технически Университет София– вход/изход 2; бул. Г.М.Димитров посока към Симеоновско шосе – вход/изход 3; Бул. Драган Цветков вход/изход4.

Таблица 1. Статистиката за преминалите автомобили през вход и изход.

Survey report - Gate Statistics								
	Вход 1	Вход 2	Вход 3	Вход 4	Изход 1	Изход 2	Изход 3	Изход 4
<b>Car count</b>	<b>106</b>	<b>77</b>	<b>75</b>	<b>95</b>	<b>82</b>	<b>109</b>	<b>87</b>	<b>69</b>
<b>Medium Vehicle count</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>2</b>
<b>Heavy Vehicle count</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>3</b>
<b>Bus count</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
<b>Motorcycle count</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>Bicycle count</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>Pedestrian count</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Number of all vehicles</b>	<b>115</b>	<b>84</b>	<b>79</b>	<b>103</b>	<b>90</b>	<b>116</b>	<b>95</b>	<b>75</b>

От данните прави впечатление, че входящите транспортни потоци 1 (бул. Г.М.Димитров посока Цариградско шосе) и поток 4 (Бул. Драган Цветков) са по-натоварени с около 25% повече в сравнение с потоци 2 (бул. Климент Охридски посока Технически Университет София) и 3 (бул. Г.М.Димитров посока към Симеоновско шосе).

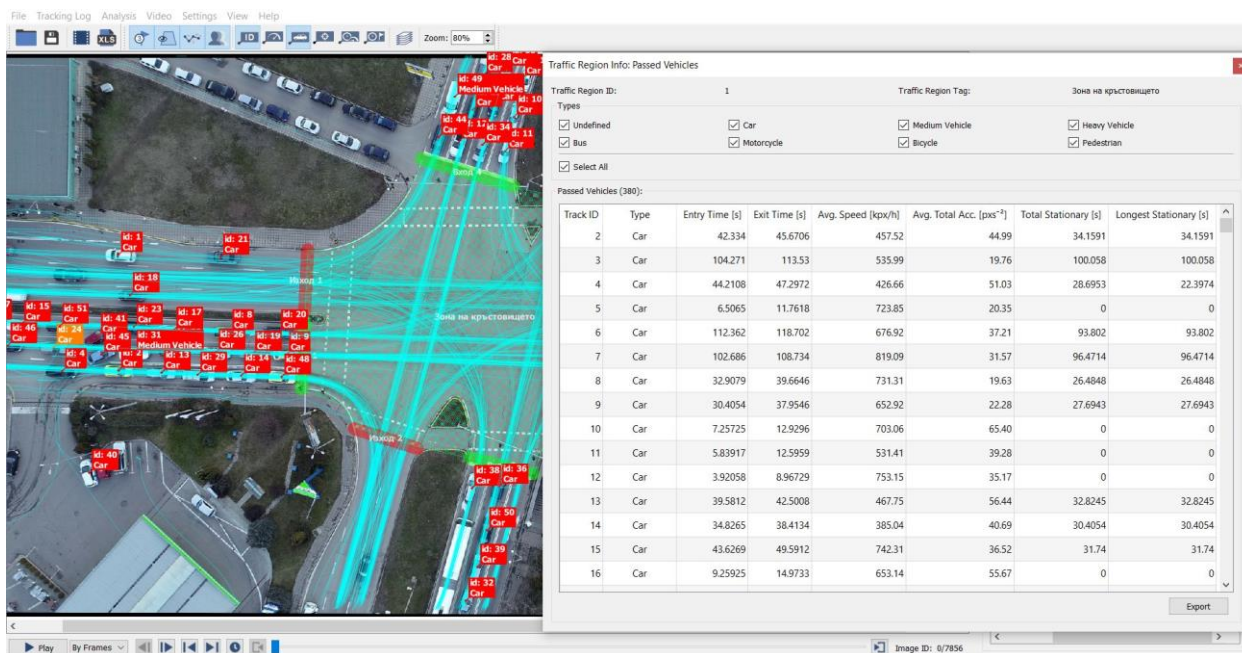
Изходящите транспортни потоци се разпределят неравномерно по изходите на кръстовището, като най-натоварен е изход 2 посока към Технически Университет София и жилищен квартал Младост. Изходи 1 и 3 са равномерно натоварени, а изход 4 посока бул. Драган Цанков е най-малко натоварен.

Таблица 2. Информация за кореспонденции между входове/изходи.

Survey report - Turning movements - Summary - Period 11:22:42 - 11:27:41 (5 minutes), 11:27:42 - 11:28:09 (28 seconds) DJI_0156_ffmpeg.mp4 Total (whole sequence)				
Entry gate - Вход 1				
Изход 1	Изход 2	Изход 3	Изход 4	Total
0	31	43	14	88
0	4	9	4	17
0	35	52	18	105
Entry gate - Вход 2				
Изход 1	Изход 2	Изход 3	Изход 4	Total
25	4	19	35	83
0	0	0	0	0
25	4	19	35	83
Entry gate - Вход 3				
Изход 1	Изход 2	Изход 3	Изход 4	Total
36	22	0	20	78
0	0	0	1	1
36	22	0	21	79
Entry gate - Вход 4				
Изход 1	Изход 2	Изход 3	Изход 4	Total
26	52	21	0	99
2	2	0	0	4
28	54	21	0	103

На фигура 1 са представени и определените разположения на входовете и изходите на кръстовището, както и определената за най-опасната зона от екологична гледна точка на изследваното кръстовище, в която автомобилите потеглят и се ускоряват. Анализът на данните предоставя информация за времето за престой в опашка на автомобилите, като в тези режими на работа (на празен ход) двигателите с вътрешно горене също отделят много вредни емисии. Данните които предоставя софтуера за определената зона е достатъчно подробна като съдържа следната информация (фиг. 2) и таблица 3:

- време на навлизане и излизане, както на всеки един определен участник в движението в определената зона, така и на всички;
- скоростта на движението на всеки един участник в движението и средната скорост на всички;
- времето за престой на всеки, от което може да се изчисли и отделяните вредни емисии на автомобилите при работа на празен ход на ДВГ.
- ускорението на всеки  $[ms^2]$ , като от тази информация може да се определи количеството отделяни вредни емисии от автомобилите по време на ускорение.



Фигура 2. Данни предоставяни от софтуера в определената зона за ускорение на автомобилите в кръстовището.

Таблица 3. Частична информация за определената зона на кръстовището.

Passed vehicles for traffic region with ID 61734956, Columns									
№	Track ID	Type	Entry Time [s]	Exit Time [s]	Avg, Speed [kpx/h]	Avg, Total Acc. [pxs <sup>-2</sup> ]	Total Stationary[s]	Longest Stationary [s]	Time [s]
1	53	Car	0	1,75175	520,074	51,5702	0	0	1,75175
2	30	Car	2,16883	4,54621	585,069	74,2894	0	0	2,37738
3	34	Car	3,62862	8,88387	727,246	36,8838	0	0	5,25525
4	12	Car	3,92058	8,96729	753,153	35,1665	0	0	5,04671
5	44	Car	5,21354	9,75975	504,457	43,0772	0	0	4,54621
6	11	Car	5,83917	12,5959	531,413	39,2824	0	0	6,75673
7	25	Car	6,42308	12,6793	608,483	15,8033	0	0	6,25622
8	5	Car	6,5065	11,7617	723,851	20,3475	0	0	5,2552
9	10	Car	7,25725	12,9296	703,062	65,4023	0	0	5,67235
.									
.									
125	56	Car	114,156	120,287	682,126	35,8607	93,5101	93,5101	6,131
126	62	Car	114,156	119,995	849,052	12,247	90,5071	90,5071	5,839
127	75	Car	115,741	120,287	1104,79	32,7707	87,4624	87,4624	4,546
128	64	Car	115,949	122,247	702,107	37,4745	89,9232	89,9232	6,298
129	80	Car	117,284	122,247	999,628	20,6116	83,6669	83,6669	4,963
130	73	Car	117,909	123,206	933,234	15,7469	82,1654	61,6449	5,297
131	90	Car	118,785	123,915	967,72	17,4884	73,2815	65,5238	5,13
.									
.									
375	317	Car	323,49	326,743	811,528	50,0815	82,4157	82,4157	3,253
376	349	Car	324,533	327,661	730,527	35,2047	49,0907	49,0907	3,128
377	394	Car	324,95	327,661	418,12	59,2113	0	0	2,711
378	417	Car	325,575	327,661	878,677	25,387	6,5065	6,5065	2,086
379	421	Car	325,992	327,661	700,956	125,098	0	0	1,669
380	422	Car	327,41	327,661	597,884	266,162	0	0	0,251
							9662,192	9131,037	1860,114

Предоставената информация в таблица е достатъчно подробна, като включва данни за идентификационния номер и вида на превозното средство, времето на навлизане и излизане от определената зона на опашка, средна скорост и ускорение в зоната на опашката, както и времето за престой (пълен покой) на превозните средства в опашката (общото и максималното време на всеки един автомобил). От предоставената малка част от извадка в таблица 3 от информация за петте минути преминалите автомобили са 380, 138 от които са престояли в опашка, а 242 броя автомобили са преминали в кръстовището без спиране за престой. Общото време за престой на автомобилите в опашка е 161 минути, като средното време за престой на автомобилите е малко повече от 70 секунди. Общото време за ускорение в зоната на кръстовището е 31 минути, съответно средно времето за ускоряване на автомобилите е около 5 секунди.

### ИЗВОДИ

Подходът при решаването на една многосвързана задача, каквато е една оптимизация на пътнотранспортното движение при избягването на тежките и скъпи проекти по внедряването на детектори по пътното платно е използването на видеозаснемане, което ще даде възможност за сравнително бързо отчитане на параметрите на транспортния трафик и оптимизацията му в реално време. При оптимизирането на пътнотранспортната мрежа (L. Mimbela, L. Klein, A, 2007),( E. Madjarski, D. Saliev, G. Mladenov, V. Markova, 2009) е

необходимо да бъдат взети под внимание и допълнителни параметри, характеризиращи възможността на движение на редица транспортни средства, пристигащи от други населени места в рамките на работния ден, което допълнително затруднява входно-изходните артерии на тази мрежа в сутрешните и вечерни часове.

Внедряването на съвременни решения за контрол и управление на пътнотранспортното движение биха довели единствено и само до подобряване на условията на движението, повишаване на безопасността, намаляване на екологичното въздействие и подобряване на икономическото състояние на страната.

## REFERENCES

M. Khan, W. Ectors, T. Bellemans, D. Janssens, G. Wets, Unmanned Aerial Vehicle-Based Traffic Analysis: A Case Study for Shockwave Identification and Flow Parameters Estimation at Signalized Intersections, *Remote Sens.* 2018, 10,458, doi:10.3390/rs10030458 [www.mdpi.com/journal/remotesensing](http://www.mdpi.com/journal/remotesensing).

E. Barmounakis, E. Vlahogianni, J. Golias, Unmanned Aerial Aircraft Systems for transportation engineering: Current practice and future challenges, *International Journal of Transportation Science and Technology*, Volume 5, Issue 3, October 2016, <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.02.001>.

H. Shakhathreh, A. Sawalmeh, A. Al-Fuqaha, Z. Dou, E. Almaita, I. Khalil, N. Othman, A. Khreishah, M. Guizani, Unmanned Aerial Vehicles: A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges, *IEEE Access* ( Volume: 7 ), DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2909530, 2019.

L. Berntzen, A. Florea, C. Molder, N. Bouhmala, A Strategy for Drone Traffic Planning Dynamic Flight-paths for Drones in Smart Cities, *The Eighth International Conference on Smart Cities, Systems, Devices and Technologies (SMART 2019)*, At Nice, France, 2019.

Saliev D., "Calculation algorithm for cycle length of signalized intersection", *Machines, Technologies, Materials – International Scientific Journal*, ISSN Print: 1313-0226, ISSN Web: 1314-507X, Year XI, Issue 1, 2017, p. 33-34.

Madjarski E., Mladenov G., Saliev D., Draganov D. "Survey of transport and analysis of complex flows in cross rounds ", *Scientific Conference on Aeronautics, Automotive and Railway Engineering and Technologies - September 24-26, 2009, Sozopol, Bulgaria*, p. 212-215.

Mladenov G, Velinov B, 2014 Study of transport flows and analysis of options for reconstruction at the intersection of square "Lavov Most" in Sofia, XX Scientific and Technical Conference with international participation Eco Varna, ISSN 2367-6299, (*Оригинално заглавие: Изследване на транспортните потоци и анализ на вариантите за реконструкция на кръстовището на площад "Лъвов мост" в София*) p. 37- 41.

Saliev D., Clearance speed study for intergreen time determination, 9TH INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE "TechSys 2020" – ENGINEERING, TECHNOLOGIES AND SYSTEMS 14-16, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 878, May 2020, Plovdiv, Bulgaria

Saliev D., "Calculation algorithm for pedestrian green time", *Trans Motauto World – International Scientific Journal*, ISSN Print: 2367-8399, ISSN Web: 2534-8493, Issue 1, 2017, p. 17-18.

L. Mimbela, L. Klein, A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies Used in Intelligent Transportation Systems, FHWA Intelligent Transportation Systems Program Office, 2007.

E. Madjarski, D. Saliev, G. Mladenov, V. Markova, Determination of the Cycle Duration and Phase Times of Traffic Lights during the Summer Period, *Scientific Conference on Aeronautics, Automotive and Railway Engineering and Technologies - September 24-26, 2009, Sozopol, Bulgaria*, p. 208-212.

<https://datafromsky.com/>