

---

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА РЕКУПЕРАТИВНИТЕ РЕЖИМИ НА  
ТРАМВАЙНИ МОТРИСИ PESA 120NaSf ЗА УЧАСТЪЦИ  
ЗАХРАНВАНИ ОТ ТИС “МОТОПИСТА” В СОФИЯ  
ЧАСТ III**

**Мартина Томчева, Любомир Секулов**

[mtomcheva@vtu.bg](mailto:mtomcheva@vtu.bg), [res\\_start@abv.bg](mailto:res_start@abv.bg)

**Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”**

**гр. София, ул. „Гео Милев” 158**

**РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ**

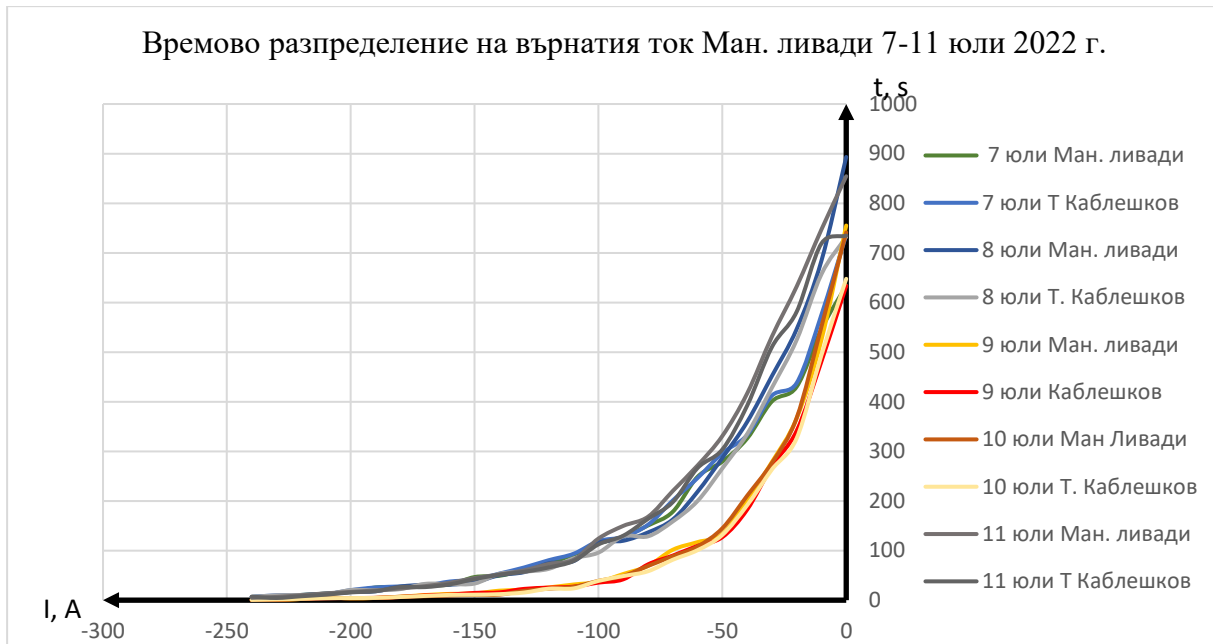
**Ключови думи:** наземен електрически транспорт, електрически транспортни средства, трамвайни мотриси, трамваи, рекуперация, рекуперативно спиране, фидери, токоизправителни станции.

**Резюме:** Изследването е насочено към разходът на енергия за обособено трамвайно трасе по бул. “България”, София, захранвано от токоизправителна станция (ТИС) “Мотописта”. Електрическите транспортни средства (ЕТС), които се експлоатират в участъка са трамвайни мотриси (ТМ) модели PESA 120 NaSf с възможност за рекуперативно спиране. ТМ обслужват линии ТМ№7 и ТМ№27 от мрежата на общественя транспорт на град София и се експлоатират от “Столичен електротранспорт” ЕАД. Експерименталното изследване е направено при нормални експлоатационни условия за периода от 7 юли до 25 юли 2022 г. на територията на ТИС “Мотописта”. Измервани са токовете (прави и обратни) през 6 фидера (Манастирски ливади, Тодор Каблешков, Невестина скала, Метличина поляна, Емил Марков, Широка лъка“) захранващи три секции от трамвайното трасе по бул. България в София. Измервани са в реално време и целодневно токовете за всяка секция, както и напрежението на общата захранваща шина. Направени са записи на стойностите с период на семплиране 100 ms. Основната цел е да се определи разходът на електрическа енергия за участъците в зависимост от режима и графика на движение на ЕТС, както и усвоената рекуперативна енергия при различните режими на движение.

В част III от доклада са представени резултатите от експериментални целодневни изследвания. Измерени са токовете на фидерите, които захранват изследваните участъци. Определени са моментните максимални и минимални стойности на токовете. Определени за среднодневните прави и обратни токове през фидерите, определено е времето за усвоена рекуперация, изчислени са усвоената рекуперативна енергия и сметнат рекуперативния потенциал на участъците. Определено е отношението между усвоената енергия и консумираната енергия за участъците.

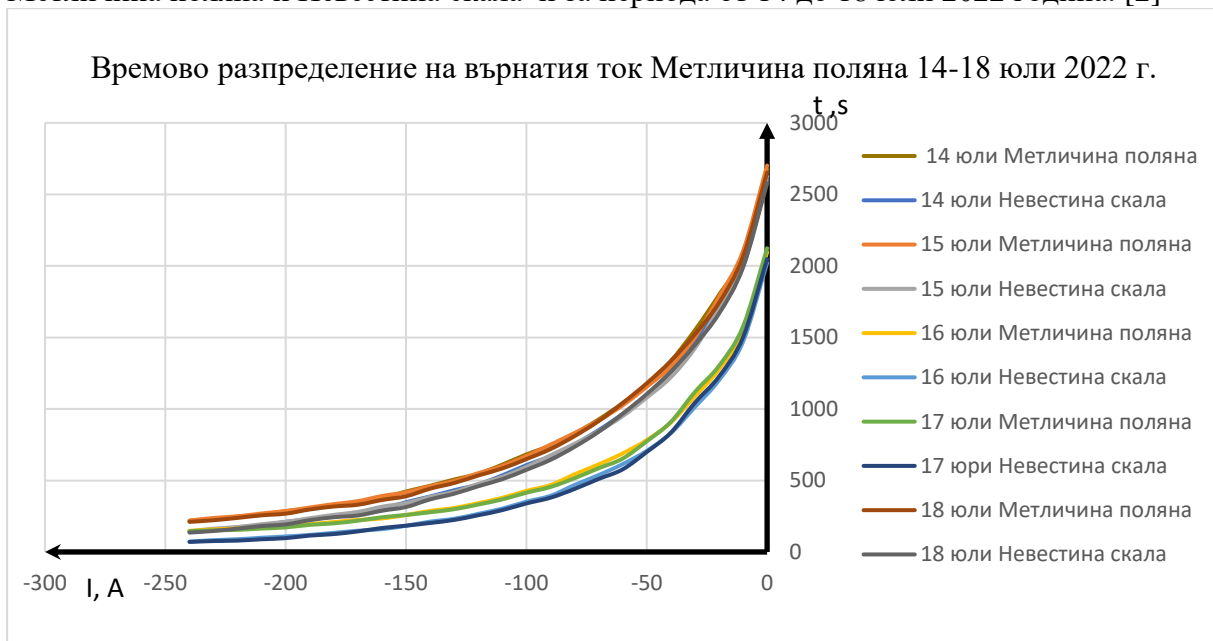
## РЕЗУЛТАТИ ОТ НАПРАВЕНОТО ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ

На Фиг. 1 в графичен вид е отразено времевото разпределение на обратните токове от 0А до -250А с диапазон на изменение -10А за участъка, захранван от фидери Манастирски ливади и Т. Каблешков, и за периода от 7 до 11 юли 2022 година. [1]



Фиг. 1. Времovo разпределение на върнатия ток Ман. ливади 7-11 юли 2022 г.

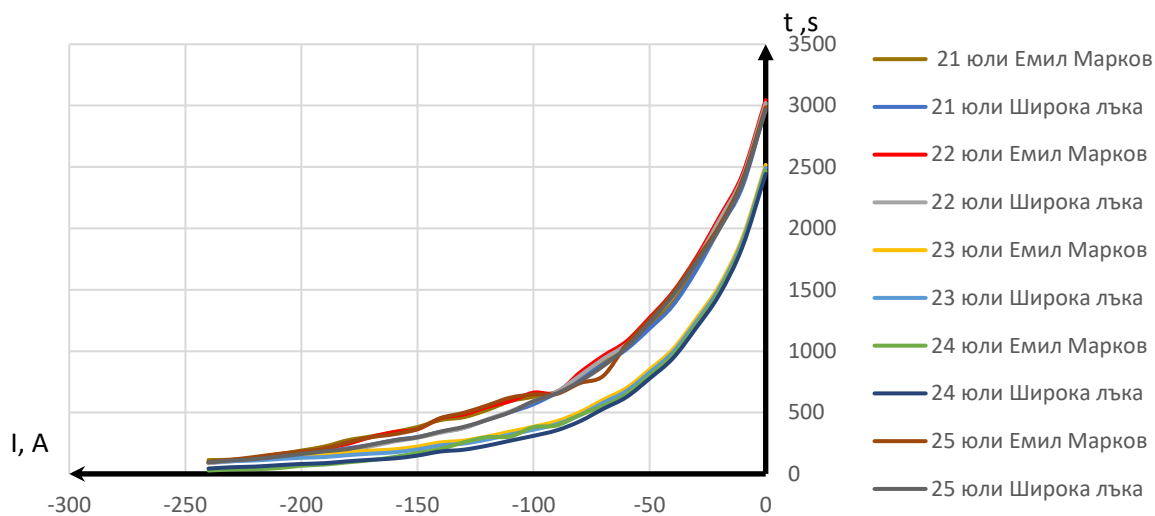
На Фиг. 2 в графичен вид е отразено времевото разпределение на обратните токове от 0А до -250А с диапазон на изменение -10А. За участъка захранван от фидери Метличина поляна и Невестина скала и за периода от 14 до 18 юли 2022 година. [2]



Фиг. 2. Времovo разпределение на върнатия ток Метличина поляна 14-18 юли 2022 г.

На Фиг. 3 в графичен вид е отразено времевото разпределение на обратните токове от 0А до -250А с диапазон на изменение -10А за участъка, захранван от фидери Метличина поляна и Невестина скала, и за периода от 21 до 25 юли 2022 година.

Времово разпределение на върнатия ток Емил Марков 21-25 юли 2022 г.



Фиг. 3. Времово разпределение на върнатия ток Емил Марков 21-25 юли 2022 г.

В Таблица 1 са дадени максималните и минималните моментни стойности в шестте фидера за периода на измерване.

Таблица 1 Минимални и максимални моментни стойности на фидерния ток

Максимални моментни обратни токове към шина					
	7.юли	8.юли	9.юли	10.юли	11.юли
	A	A	A	A	A
Манастирски ливади	-411,18	-375,08	-350,29	-400,18	-336,41
Т. Каблешков	-426,13	-378,87	-371,38	-429,81	-342,94
Общо за секцията	-837,31	-753,95	-721,67	-829,99	-679,35
	14.юли	15.юли	16.юли	17.юли	18.юли
Метличина поляна	-404,35	-363,86	-341,82	-296,22	-400,66
Невестина скала	-919,92	-951,37	-871,17	-820,11	-841,84
Общо за секцията	-1324,27	-1315,23	-1212,99	-1116,33	-1242,5
	21.юли	22.юли	23.юли	24.юли	25.юли
Емил Марков	-586,44	-569,81	-439,74	-774,11	-631,57
Широка лъка	-732,3	-672,63	-667,06	-651,06	-733,01
Общо за секцията	-870,06	-960,93	-799,8	-984,14	-1185,84
Максимални моментни стойности на тока към КМ					
	7.юли	8.юли	9.юли	10.юли	11.юли
	A	A	A	A	A
Манастирски ливади	800,31	793,72	675,33	910,32	852,18
Т. Каблешков	813,85	813,62	660,47	928,7	866,61
Общо за секцията	1614,16	1607,34	1335,8	1839,02	1718,79
	14.юли	15.юли	16.юли	17.юли	18.юли
Метличина поляна	977,6	951,43	878,45	911,26	897,83
Невестина скала	700,79	701,49	749,86	696,86	904,09
Общо за секцията	1678,39	1652,92	1628,31	1608,12	1801,92
	21.юли	22.юли	23.юли	24.юли	25.юли
Емил Марков	971,1	967,51	963,33	966,17	969
Широка лъка	558,69	549,69	475,35	522,65	549,22
Общо за секцията	1389,71	1426,85	1278,22	1372,06	1383,65

<b>Среднодневни стойности на тока към шина</b>					
	7.юли	8.юли	9.юли	10.юли	11.юли
	А	А	А	А	А
Манастирски ливади	70,5064	62,2349	44,1865	44,3419	55,5438
Т. Каблешков	65,8568	56,7883	31,3283	33,803	48,7195

<b>Среднодневни обратни токове към шина</b>					
	7.юли	8.юли	9.юли	10.юли	11.юли
	А	А	А	А	А
Манастирски ливади	-53,1024	-48,2638	-36,1864	-35,8737	-48,2274
Т. Каблешков	-54,1945	-49,8083	-37,2028	-36,7711	-48,8299

<b>Среднодневни стойности на тока към шина</b>					
	14.юли	15.юли	16.юли	17.юли	18.юли
	А	А	А	А	А
Метличина поляна	83,603	84,983	71,7319	70,6988	80,595
Невестина скала	79,5339	81,7044	68,9952	66,0023	78,0485

<b>Среднодневни обратни токове към шина</b>					
	14.юли	15.юли	16.юли	17.юли	18.юли
	А	А	А	А	А
Метличина поляна	-83,0618	-82,8494	-71,357	-75,7999	-81,413
Невестина скала	-86,7058	-88,3842	-76,2321	-74,4456	-86,7562

<b>Среднодневни стойности на тока към шина</b>					
	14.юли	15.юли	16.юли	17.юли	18.юли
	А	А	А	А	А
Метличина поляна	83,603	84,983	61,7319	60,6988	80,595
Невестина скала	79,5339	81,7044	68,9952	66,0023	78,0485

<b>Среднодневни обратни токове към шина</b>					
	14.юли	15.юли	16.юли	17.юли	18.юли
	А	А	А	А	А
Метличина поляна	-83,0618	-82,8494	-71,357	-75,7999	-81,413
Невестина скала	-86,7058	-88,3842	-76,2321	-74,4456	-86,7562

<b>Среднодневни стойности на тока към шина</b>					
	21.юли	22.юли	23.юли	24.юли	25.юли
	А	А	А	А	А
Емил Марков	69,897	68,56	61,526	67,797	63,713
Широка лъка	69,4291	69,1474	62,8199	61,1393	68,5523

<b>Среднодневни обратни токове към шина</b>					
	21.юли	22.юли	23.юли	24.юли	25.юли
	А	А	А	А	А
Емил Марков	-67,6904	-65,4662	-57,6944	-56,8413	-67,9293
Широка лъка	-69,8379	-68,6244	-61,0206	-58,786	-69,9485

В Таблица 2 е показано времето за консумация на ел. енергия с посока на фидерните токове към КМ за съответните дни.

Таблица 2 Време за консумация на ел. енергия на участъците

Време за консумация на енергия					
	s	s	s	s	s
	7.юли	8.юли	9.юли	10.юли	11.юли
Ман. ливади	48117,7	45948,1	29174,2	319858	421488
Т. Каблешков	53874,7	54313	53128,2	524286	540371
	14.юли	15.юли	16.юли	17.юли	18.юли
Метличина поляна	24387,4	25211,1	16897,9	16804,2	25995,4
Невестина скала	24658	24627,9	17184,7	17773,3	25363,9
	21.юли	22.юли	23.юли	24.юли	25.юли
Емил Марков	23874	23797,5	24004,1	23767,3	25432,5
Широка лъка	22637,7	22853,2	14901,1	14826,3	23449

Таблица 3 Време за усвоена рекуперативна енергия

Време за усвоена рекуперативна енергия в секунди					
	s	s	s	s	s
	7.юли	8.юли	9.юли	10.юли	11.юли
Ман. ливади	4177,4	4466,6	2801,4	2796,7	4933,6
Т. Каблешков	3918,2	4137,6	2540,6	2526,2	4574,4
	14.юли	15.юли	16.юли	17.юли	18.юли
Метличина поляна	13125,5	13229,8	7710,5	7836,8	13094,4
Невестина скала	19393,6	19419	12501,5	12375,8	19019,1
	21.юли	22.юли	23.юли	24.юли	25.юли
Емил Марков	13139,2	13185,9	8106,5	8099	13128,5
Широка лъка	19569,1	20047,3	13075,5	12987,9	19797,8

Усвоена рекуперативна енергия от друга секция, kWh

	7.юли	8.юли	9.юли	10.юли	11.юли
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Манастирски ливад рек.	42,78847	41,02988	19,5318	19,302	45,6411
Т. Каблешков рек.	40,84905	39,19637	18,1947	17,847	42,8209

Консумирана обща енергия kWh

	7.юли	8.юли	9.юли	10.юли	11.юли
	s	s	s	s	s
Манастирски ливади	626,1693	525,8817	236,936	261,573	435,329
Т. Каблешков	661,8823	568,369	307,714	328,329	490,695

Отношение на усвоената и консумирана енергия

	7.юли	8.юли	9.юли	10.юли	11.юли
	%	%	%	%	%
Манастирски ливади	6,83	7,80	8,24	7,38	10,48
Т. Каблешков	6,17	6,90	5,91	5,44	8,73

Уسوена рекуперативна енергия от друга секция, kWh					
	14.юли	15.юли	16.юли	17.юли	18.юли
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Метличина поляна рек	158,4816125	158,7857642	76,76342385	69,74947934	154,0153004
Невестина скала рек	166,0059645	166,2133573	82,40471196	75,43595631	164,1586678

Консумирана обща енергия kWh					
	14.юли	15.юли	16.юли	17.юли	18.юли
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Метличина поляна	648,1552	670,0845	402,205	391,658	658,023
Невестина скала	648,1552	670,0845	402,2053	391,6575	658,0233

Отношение на усвоената и консумирана енергия					
	14.юли	15.юли	16.юли	17.юли	18.юли
	%	%	%	%	%
Метличина поляна	24,45	23,70	19,09	17,81	23,41
Невестина скала	25,61	24,80	20,49	19,26	24,95

Уسوена рекуперативна енергия от друга секция, kWh					
	21.юли	22.юли	23.юли	24.юли	25.юли
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Емил Марков рек	245,003	<b>239,98</b>	<b>122,275</b>	<b>120,775</b>	<b>244,212</b>
Широка лъка рек.	256,237	<b>257,787</b>	<b>150,465</b>	<b>144,405</b>	<b>258,56</b>

Консумирана обща енергия kWh					
	21.юли	22.юли	23.юли	24.юли	25.юли
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Емил Марков	<b>977,89</b>	<b>945,21</b>	<b>573,995</b>	<b>543,824</b>	<b>979,765</b>
Широка лъка	<b>977,89</b>	<b>945,21</b>	<b>573,995</b>	<b>543,824</b>	<b>979,765</b>

Отношение на усвоената и консумирана енергия					
	21.юли	22.юли	23.юли	24.юли	25.юли
	%	%	%	%	%
Емил Марков	25,05	25,39	21,30	22,21	24,93
Широка лъка	26,20	27,27	26,21	26,55	26,39

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ И АНАЛИЗ

От получените резултати за среднодневните стойности на токовете за тяга между 31,32 А за празничен ден за фидер Тодор Каблешков и 84,98 А за делничен ден за фидер Метличина поляна. Режимите за движение в делнични дни в отделните секции са сходни помежду си, както и празнични дни са сходни помежду си. Разликата между средните стойности на токовете празничен ден и делничен ден е различен, което обяснява

различното усвояване на рекуперация в делнични и празнични дни в изследваните участъци.

От получените резултати за среднодневните рекуперативни токове се определя, че характерът на товара на ТИС в другите секции, по които се движат ТБ е идентичен за делник и празник и той не влияе съществено за усвояването на рекуперативната енергия.

Получените среднодневни стойности на токовете са определящи за бъдещи изследвания за участъците.

Неусвоената рекуперативна енергия би могла да се установи с математичен модел на базата на измерените и представени резултати в доклада.

В доклада не е отразена нетяговата рекуперативна енергия, която несъмнено присъства, както и енергията от загуби при пренос.

Процентът на усвоената рекуперативна енергия в зависимост от общата консумирана енергия от изследваните участъци също е различен, като най-нисък е в секцията захранвана от фидери Манастирски ливади и Тодор КABLEШКОВ, а най-висок е в секцията захранвана от фидери ЕМИЛ МАРКОВ и ШИРОКА ЛЪКА. Възможни начини за неговото повишаване, освен чрез режима на движение, е чрез системи за съхранение на енергията например използването на супер кондензатори.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Димитров В., Изследване на сензори, специфични за съвременните електрически транспортни средства, Международна научна конференция „КЕИТ–2014”, н. сп. “Механика, Транспорт, Комуникации”, ISSN 1312-3823, том 12, брой 3/2, 2014 г. статия № 1012

[2] Столичен електротранспорт ЕАД

## TESTING OF THE RECUPERATIVE MODES OF TRAM MOTRICE PESA 120NaSf ALONG SEGMENTS OF THE TRACK POWERED BY THE ‘MOTOPISTA’ CURRENT-RECTIFIER STATION IN SOFIA, PART III

**Martina Tomcheva, Lyubomir Sekulov**

***Todor Kableshkov University of Transport  
Sofia, 158 Geo Milev Str.  
THE REPUBLIC OF BULGARIA***

**Key words:** *land electric transport, electric transport vehicles, tram motrice, trams, recuperation, recuperative braking, feeders, current-rectifier stations.*

**Summary:** *This survey explores the consumption of power for the tram line running along the Bulgaria Blvd., Sofia, which is powered by the ‘Motopista’ current-rectifier station. The electric transport vehicles (ETV), which run along this segment of the track are tram motrices (TM) of the model PESA 120 NaSf, which have the option for recuperative braking. The TM provide transportation service coverage for lines Nos. 7 and 27, which pertain to the Sofia public transport network and are managed by Sofia Electric Transport LLC. The experimental testing was conducted under normal exploitative conditions over the period 7-25 July, 2022 in the territory of the ‘Motopista’ current-rectifier station. Current measurements were made (direct and reverse) in 6 feeders (‘Manastirski Livadi’, ‘Todor Kableshkov’, ‘Nevestina Skala’, ‘Metlichina Polyana’, ‘Emil Markov’, ‘Shiroka Laka’), powering three*

*sections of the tram line along the Bulgaria Blvd. in Sofia. The measurements of currents were taken in real time, over full days, for each section, and voltage measurements were taken at the common power bus. Records of the values were made within a sampling period of 100 ms. The main purpose was to determine the power consumption within these segments of the track in relation to the mode and the scheduling of ETV movements, as well as to determine the amount of the recuperative energy used in the different modes.*

*Part II of the report deals with the results of the full-day experimental testing. Current measurements were made in the feeders, which power the surveyed sections. The moment maximum and minimum values of currents were identified. The average daily direct and reverse currents through the feeders were established, as was the time for recuperation use; the used recuperative power was calculated. The used and consumed power ratio was established for the sections.*