

АНАЛИЗ НА ЕНЕРГИЙНОТО ПОТРЕБЛЕНИЕ И РЕКУПЕРАЦИЯ НА ТЯГОВ ПОДВИЖЕН СЪСТАВ НА ТРЕТИ МЕТРОДИАМЕТЪР СПРЯМО ПЪТНИКОПОТОКА

Димитър Конов, Любомир Секулов
l_sekulov@vtu.bg, konoff@mail.bg

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”,
София 1574, ул. „Гео Милев” № 158
БЪЛГАРИЯ*

Резюме: На 24 април 2021 г. влиза в експлоатация цялата метролиния М3 между станциите „Хаджи Димитър“ и „Горна баня“. В настоящия доклад е направен анализ на енергийното потребление и рекуперацията, които се отнасят за участъка между МС 305 – МС 314, дължината на цялата метро линия е 14,0 km, която включва 15 метростанции. Разгледано е енергийното потребление на тяговия подвижен състав в работен режим спрямо моментното местоположение на всеки метро влак и броя на пътници в него. Направена е съпоставка между различно натоварени тягови състави по един и същ маршрут, в един и същи час. Разгледано е какво влияние има интензитетът на пътничкопотока върху рекуперацията на подвижния състав и зависимостта между рекупериранията енергия и теглото на тяговия подвижен състав.

Трасето се характеризира с максимален наклон от 40 % и минимален радиус на кривите 2000 m. Енергийната ефективност зависи и се променя от основните параметри, каквито са теглото, скоростта на движение, ускорението, инерционното движение и спирането. Друг основен фактор влияещ върху енергийната ефективност е дължината на участъка и начинът на тяхното електрозахранване, профилът на пътя и кривите, определят необходимостта от изработване на метод за определяне на енергийната ефективност на пътните участъци.

Предмет на настоящия доклад е анализът на енергийното потребление и рекуперация на тяговия подвижен състав в участъка на метролиния М3 спрямо броя пътници. Данните за потреблението са свалени от метротрекотовете, а броят на пътниците е взет от метростанциите.

Ключови думи: Тягов подвижен състав, енергийна ефективност, пътничкопоток, специфичен разход на енергия, електрически превозни средства, метростанция, метрополитен.

УСЛОВИЯ ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ЕКСПЕРИМЕНТА

При измерването е разгледан пътничко потокът в целия участък на метролиния М3. Данните са отчетени при зимно разписание и делничен график за движение на влакове. Изразходваната електроенергията е отчетена чрез измервателните уреди в тяговите подстанции, а метро влаковете са оборудвани със специални системи за отчитане на потреблението на електроенергия (в ССУ модула на влака може да се отчете върната и изразходена енергия за 24h). Данните за пътничко потока са отчетени от валидаторите на метростанциите.

Съществена особеност на метрото, че то се движи по установен диспечерски график, това дава основание да се очакват доста точни и коректни стойности в изследването. Единствената неизвестна е пътничко потокът на 2-те трансферни мертостанции „НДК“ и „Орлов мост“. Друга съществена особеност на метрото е сравнително постоянна температура и климатични условия в тунела.

ОСНОВНИТЕ ПАРАМЕТРИ НА РАЗГЛЕЖДАННИЯ УЧАСТЪК

Трасето на метро линия М3 е дължина 14,0 km. и разполага с 15 метростанции, 6 бр. тягови подстанции (ТПС) и 6 бр. подстанции (ПС). Електрозахранването в Метрополитен - София е

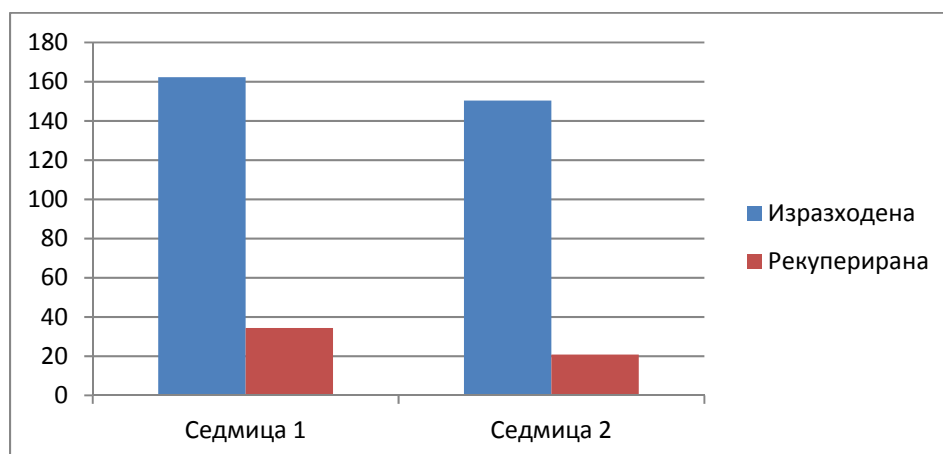
реализирано със средно напрежение 10 kV AC от две независими градски подстанции. Максимален наклон от 40 % . Минимален радиус на кривите 2000m[4].

По време на провеждане на изследването метрото се движи в зимен график изпълняваш се с 14 маршрута, обслужвани от 16 метротрека. От показанията на подвижния състав може да се свалят данните за 24 часа. От графика за движение на влаковете може да се види пропътуването разстояние от тяговия подвижен състав. Общо пропътуваното разстояние от всички съставите е 4595km. За 15.05.2025г. пътничко потокът е 490132 човека, за 04.06.2025г.е 377256 човека. На таблица 1 е показан дневният разход на трети метродиаметър 15.05.2025г., за часовия диапазон от 04:00 до 00:00. В този часови диапазон реално има движение на метро влакове с пътници. Резултатите са получени от осреднени стойности за интервал от 5 работни дни при зимен график на движение на влаковете в две различни седмици.

Таблица 1.

Справка консумирана ел. енергия трети метродиаметър												
Дата	КРУ 30082, (MWh)	КРУ 30681, (MWh)	КРУ 30682, (MWh)	КРУ 31081, (MWh)	КРУ 31082, (MWh)	КРУ 31481, (MWh)	КРУ 31482, (MWh)	КРУ 31681, (MWh)	КРУ 31682, (MWh)	КРУ 31881, (MWh)	КРУ 31882, (MWh)	Общо, (MWh)
16.5.2025 00:00	0,049	0,118	0,071	0,147	0,059	0,147	0,189	0,21	0,0504	0,0624	0,111	1,2138
16.5.2025 01:00	0,053	0,065	0,028	0,072	0,052	0,072	0,056	0,1296	0,0306	0,0366	0,0312	0,626
16.5.2025 02:00	0,043	0,092	0,045	0,087	0,052	0,087	0,127	0,1422	0,036	0,0438	0,0462	0,8012
16.5.2025 03:00	0,047	0,075	0,032	0,066	0,047	0,066	0,081	0,135	0,0336	0,0408	0,0408	0,6642
16.5.2025 04:00	0,043	0,062	0,034	0,072	0,05	0,072	0,068	0,1284	0,0318	0,039	0,036	0,6362
16.5.2025 05:00	0,044	0,078	0,055	0,091	0,064	0,091	0,097	0,1554	0,0492	0,0498	0,0564	0,8308
16.5.2025 06:00	0,047	0,126	0,093	0,163	0,101	0,163	0,144	0,1854	0,0942	0,0972	0,0954	1,3092
16.5.2025 07:00	0,055	0,158	0,095	0,189	0,104	0,189	0,174	0,2004	0,108	0,1164	0,1026	1,4914
16.5.2025 08:00	0,054	0,189	0,098	0,221	0,115	0,221	0,28	0,2322	0,1368	0,1482	0,1236	1,8188
16.5.2025 09:00	0,044	0,21	0,094	0,223	0,189	0,223	0,292	0,2196	0,1872	0,1992	0,1134	1,9944
16.5.2025 10:00	0,055	0,215	0,091	0,212	0,203	0,212	0,273	0,2406	0,165	0,1776	0,1248	1,969
16.5.2025 11:00	0,057	0,205	0,063	0,176	0,205	0,176	0,25	0,2166	0,1764	0,1854	0,105	1,8154
16.5.2025 12:00	0,056	0,205	0,091	0,205	0,173	0,205	0,197	0,2052	0,153	0,1656	0,0984	1,7542
16.5.2025 13:00	0,052	0,212	0,093	0,213	0,182	0,213	0,215	0,2136	0,1026	0,1188	0,1134	1,7284
16.5.2025 14:00	0,059	0,211	0,097	0,217	0,18	0,217	0,186	0,1962	0,1428	0,1542	0,0948	1,755
16.5.2025 15:00	0,056	0,224	0,103	0,222	0,157	0,222	0,198	0,2034	0,1128	0,1266	0,1056	1,7304
16.5.2025 16:00	0,043	0,224	0,108	0,224	0,112	0,224	0,234	0,2154	0,108	0,1236	0,1176	1,7336
16.5.2025 17:00	0,062	0,233	0,113	0,23	0,108	0,23	0,235	0,2316	0,1116	0,129	0,1206	1,8038
16.5.2025 18:00	0,053	0,27	0,136	0,262	0,102	0,262	0,26	0,2196	0,1308	0,1482	0,1182	1,9618
16.5.2025 19:00	0,04	0,277	0,182	0,273	0,097	0,273	0,245	0,2208	0,1416	0,1608	0,1218	2,032
16.5.2025 20:00	0,044	0,275	0,132	0,253	0,082	0,253	0,204	0,2118	0,138	0,1566	0,1182	1,8676
16.5.2025 21:00	0,051	0,263	0,124	0,238	0,078	0,238	0,181	0,2016	0,1278	0,1446	0,1086	1,7556
16.5.2025 22:00	0,047	0,256	0,118	0,228	0,075	0,228	0,162	0,1752	0,1158	0,132	0,0996	1,6366
16.5.2025 23:00	0,051	0,191	0,105	0,209	0,074	0,209	0,145	0,1692	0,1008	0,1152	0,0966	1,4658

Спрямо тези данни на фигура 1 е показана съпоставка на изразходена и рекупериранията енергия за двете разглеждани седмици. През седмица 1 изразходената енергия 162,25 MWh, а рекупериранията е 34,35 MWh. През седмица 2 изразходената енергия 150,35 MWh, а рекупериранията е 20,75 MWh[1,2,3].



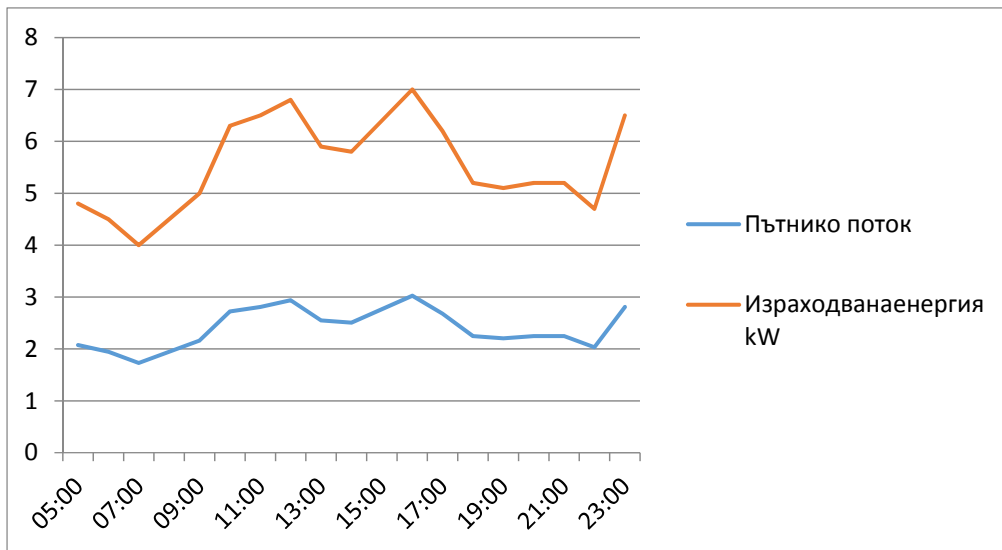
Фиг. 1.

На фигура 2 е показана връзката между пътничко потока и изразходваната енергия за седмица 1.



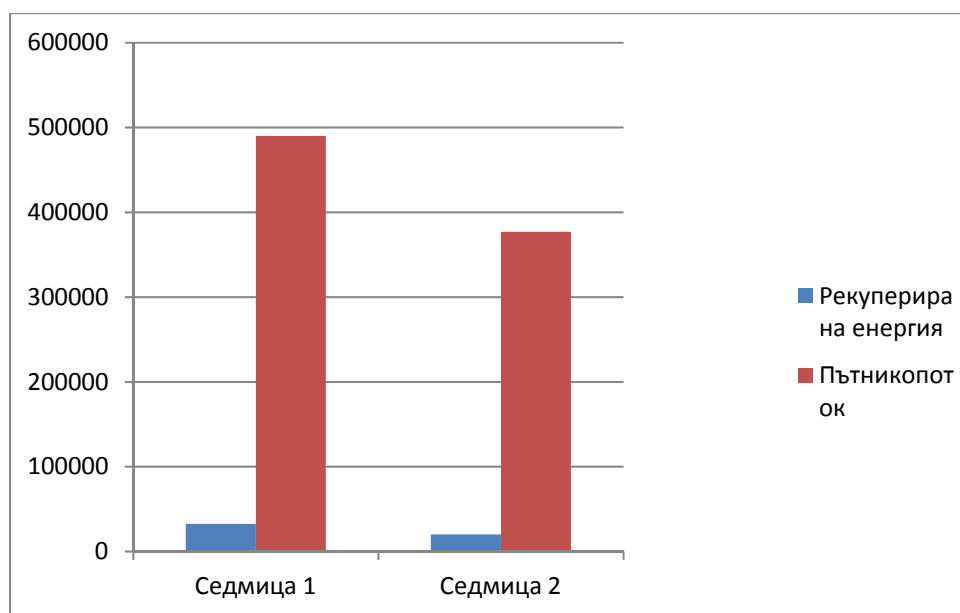
Фиг. 2.

На фигура 3 е показана връзката между пътничко потока и изразходваната енергия за седмица 2.



Фиг. 3.

На фигура 4 спрямо тези данни е показана съпоставка и рекуперирата енергия за двете разглеждани седмици.



Фиг. 4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

След сумиране на изминатия път, сумиране на рекуперирания електроенергия отчетена от дисплея на подвижния състав, броя на пътническия поток и показанията от ТПС е видно, че с повишаване на броя превозени хора се повишава и количеството рекуперирания енергия.

Основните фактори използвани при изследването: броя метро влакове спираци и потеглящи в участъка захранван от съответната ТПС, режимът на движение според профила на пътя и междустанционното разстояние. Друг важен фактор за ефективното усвояване на рекуперирания енергия е броя на спираци и потеглящи ЕПС в участъка.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Петров И., Г. Димитров, Т. Лалев, Експериментално изследване на енергийната ефективност на метрочлаковете на столичния метрополитен в реални експлоатационни условия, Годишник на Технически университет - София, том 67, книга 1, 2017 г. (ISSN 1311-0829)
- [2] Додов Е. Изследване и анализ на тяговите агрегати, използвани в ТПС на метрополитена и оползотворяване на рекуперирания енергия чрез връщане в мрежи средно напрежение. XXV Международна научна конференция „ТРАНСПОРТ 2021”, 7-9 октомври 2021 г.
- [3] Додов Е., Т. Лалев, Измерване и анализ на енергетичните параметри на тягова понизителна станция в метрополитена. Седма научна конференция с международно участие „Комуникации, електрообзавеждане и информатика в транспорта - KEIT – 2024“, гр. Банско, 27-29.06.2024 г., (сп. „Механика, транспорт, комуникации“, том 22, брой 3/2, 2024, ISSN 1312-3823 (print), ISSN 2367-6620 (online))
- [4] Столичен Метрополитен ЕАД ;

ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION AND RECOVERY OF TRACTION ROLLING STOCK OF THE THIRD METRO DIAMETER ACCORDING TO THE PASSENGER FLOW

Dimitar Konov, Lyubomir Sekulov

l_sekulov@vtu.bg, konoff@mail.bg

**Todor Kableschkov University of Transport,
Sofia, Geo Milev Str. 158,
BULGARIA**

Abstract: *On April 24, 2021, the entire M3 metro line between the stations "Hadzhi Dimitar" and "Gorna Banya" will enter into operation. This report analyzes the energy consumption and recovery, which relate to the section between MS 305 - MS 314, the length of the entire metro line is 14.0 km, which includes 15 metro stations. The energy consumption of the traction rolling stock in operating mode has been examined in relation to the current location of each metro train and the number of passengers in it. A comparison has been made between differently loaded traction rolling stock on the same route, at the same hour. The influence of the intensity of the passenger flow on the recuperation of the rolling stock and the dependence between the recuperated energy and the weight of the traction rolling stock has been examined.*

The route is characterized by a maximum slope of 40 ‰ and a minimum radius of the curves of 2000 m. Energy efficiency depends on and changes on the main parameters, such as weight, speed of movement, acceleration, inertial movement and braking. Another main factor influencing energy efficiency is the length of the section and the method of their power supply, the profile of the road and the curves, determine the need to develop a method for determining the energy efficiency of road sections.

The subject of this report is the analysis of the energy consumption and recuperation of the traction rolling stock in the section of the M3 metro line in relation to the number of passengers. The consumption data is downloaded from the metro trains, and the number of passengers is taken from the metro stations.

Key words: *Traction rolling stock, energy efficiency, passenger flow, specific energy consumption, electric vehicles, metro station, metro.*