

## **ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ НА МЕТРОВЛАКОВЕТЕ В СОФИЙСКОТО МЕТРО: РОЛЯТА НА КВАЛИФИКАЦИЯТА НА МАШИНИСТИТЕ**

**Диляна Мицева**  
[d.mitseva@abv.bg](mailto:d.mitseva@abv.bg)

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“  
ул. „Гео Милев“ 158, София 1574  
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** образование, квалификация, стаж, машинист, подземна железница, относителен разход на енергия.*

***Резюме:** Метровлаковете по метролиния 1 на Софийското метро се управляват ръчно, което означава, че контролът върху теглителната и спирачната сила е изцяло в ръцете на машиниста. Това ръчно управление се различава значително от автоматизираните системи и увеличава ролята на човешкия фактор, което може да доведе до по-голям разход на електроенергия. От особено значение за ефективността на управлението са психологическото състояние, квалификацията, образованието и стажът на машиниста.*

*Ефективността на спирането също е от ключово значение за енергийната оптимизация, особено при системи с рекуперация на енергията. При рекуперацията, кинетичната енергия от движението на влака се преобразува в електрическа енергия по време на спиране и се връща обратно в мрежата. Квалифицираните машинисти са обучени да използват тази система по-ефективно, като така минимизират загубите на енергия и намаляват общия разход.*

*Настоящият доклад анализира квалификацията и нивото на образование на 10 машинисти от метрото, за да изследва влиянието на тези фактори върху енергийната ефективност. Резултатите от този анализ са представени в следващите раздели, като се фокусират върху връзката между уменията на машиниста и разхода на електроенергия.*

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Движението на влаковете по метролиния 1 се използва ръчен режим, при който техниката на управление се различава от автоматизирания. Този метод силно увеличава ролята на човешкия фактор, което може да доведе до по-голям разход на електроенергия. За да се справят с растящите цени на енергийните ресурси, са необходими мерки за оптимизиране на потреблението на електроенергия.

Ключови за управлението на подвижния състав са психологическото състояние, квалификацията, образованието и стажът на машиниста. Относителният разход на електроенергия служи като показател за ефективността на управлението. По-малък разход на енергия води до намалени разходи за поддръжка, по-малко токови

претоварвания в електрическите задвижвания и ходовата част, което удължава експлоатационния живот на влаковете. [1] [2]

С оглед на необходимостта от подобряване на техниката на управление от машинистите и минимизиране на разхода на енергия, е нужно да се проведе изследване на връзката между квалификацията, образованието и стажа на машиниста с разхода на енергия. Изследването е проведено на 10 машиниста на подземна железница – метро. Управлението на влака се осъществява в контролиран ръчен режим. Четири човека от тях са със средно образование, четирима са завършили висше образование във ВТУ „Тодор Каблешков“, един с полувисше образование и един със среднотехническо образование.

### Методика за провеждане на изследванията в реални експлоатационни условия на разхода на електроенергия.

Изследванията са проведени в реални експлоатационни условия като за целта са избрани десет машиниста от различна възраст, квалификация и стаж. Периода на извършване на изследванията е четири месеца, разделени на по два месеца от ноември 2023 г. до декември 2023 г. и от февруари 2024 г. до април 2024 г., като смените на машинистите са съботно-неделни. Всеки един машинист на подземна железница е задължен да вписва показателите на електромера на моторната преди и след работна смяна. Данните са записвани в табличен вид преди и след всяка една работна смяна на машинистите. Използван е електромер модел LCE-AA-BE, показан на фигура 1.

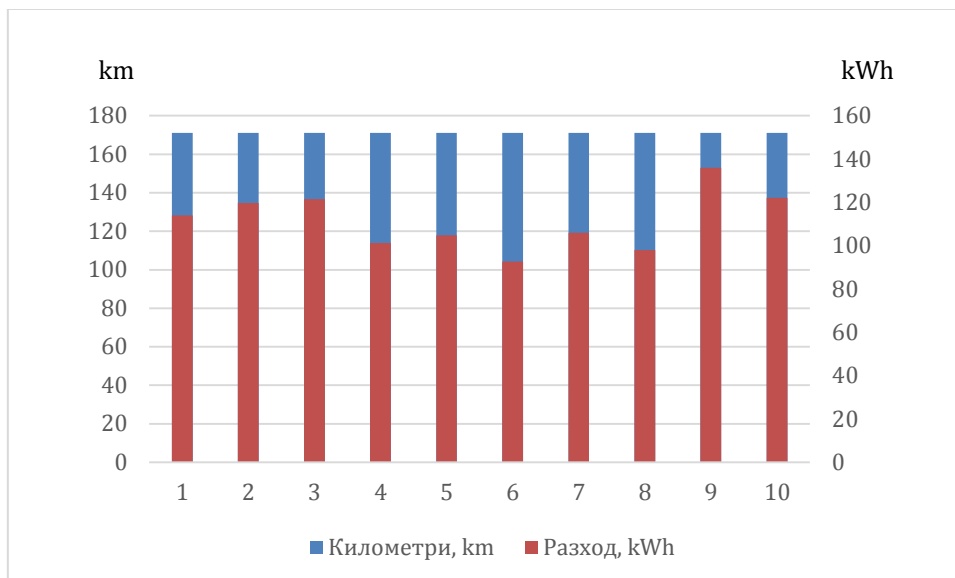


Фиг. 1. Електромер модел LCE-AA-BE

Резултатите от снетите данни на електромера и пропътуваните километри са показани на таблица 1.

Таблица 1. Данни електромер

№	Километри, km	Разход, kWh
1	171	114
2	171	119,75
3	171	121,500
4	171	101,25
5	171	104,75
6	171	92,6
7	171	106
8	171	98
9	171	136
10	171	122



Фиг. 2. Разход на електроенергия спрямо изминати километри

На фигура 2 може да се отчете, че предоставените данни показват разлика в общия разход на електроенергия (kWh) за всеки от машинистите, въпреки че всички са изминали еднакво разстояние от 171 km. Тази разлика подчертава влиянието на индивидуалния стил на управление върху енергийната ефективност.

- **Най-ефективни машинисти:** Машинистите с номера 6 и 8 показват най-ниски нива на разход, съответно 92.6 kWh и 98 kWh. Това показва, че техният стил на управление е най-оптимален и води до значителни икономии на енергия.
- **Най-неефективни машинисти:** Машинистите с номера 9 и 10 имат най-висок разход, съответно 136 kWh и 122 kWh. Техният стил на управление води до най-големи загуби на енергия.

Тези данни ясно показват, че дори при еднакви условия на експлоатация, **човешкият фактор играе ключова роля** в енергийната ефективност. Разликата между най-ефективния и най-неефективния машинист е **43.4 kWh** (136 kWh - 92.6 kWh), което е значителна стойност и подчертава нуждата от постоянно обучение и анализ на поведението на машинистите.

### Възраст на машинистите

Изследваните машинисти са на различна възраст и повечето от тях са работили в друго предприятие преди да постъпят в депо „Обеля“. Много от тях имат предишен опит като водачи на железопътни превозни средства (ЖПС). Този опит се отразява на техниката им на управление, което от своя страна влияе върху разхода на електроенергия. За изчисляване на относителния разход на енергия е използвана следната формула [4, 5]:

$$(1). \quad e = \frac{E}{S}, \frac{kWh}{km}$$

където:

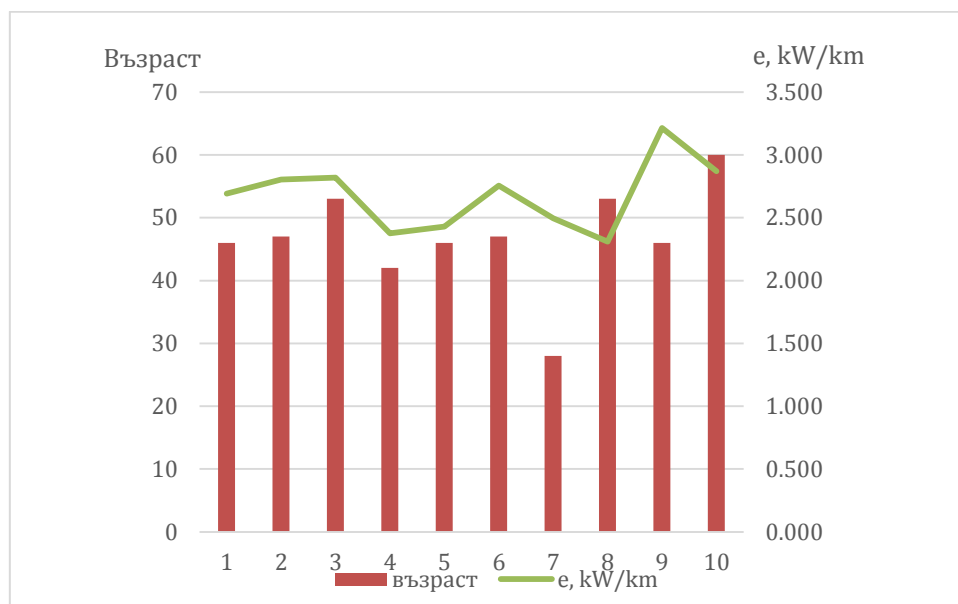
E - разход на енергия, kWh;

S - изминат път, km.

Резултатите от изчисления са представени в табличен и графичен вид, съответно в таблица 2 и на фигура 3.

**Таблица 2. Данни за възрастта на водач на ЖПС**

№	Възраст	е, kW/km
1	46	2,691
2	47	2,804
3	53	2,818
4	42	2,375
5	46	2,429
6	47	2,755
7	28	2,496
8	53	2,309
9	46	3,213
10	60	2,871



**Фиг. 3. Относителен разход на електроенергия в зависимост от възрастта на водача**

Данните показват, че няма ясна и пряка зависимост между възрастта на машиниста и неговата енергийна ефективност.

Най-нисък разход от 2.309 kWh/km е постигнат от 53-годишен машинист.

Най-висок разход от 3.213 kWh/km е постигнат от 46-годишен машинист.

Най-младият машинист в групата, на 28 години, има разход от 2.496 kWh/km, което е един от най-ниските резултати.

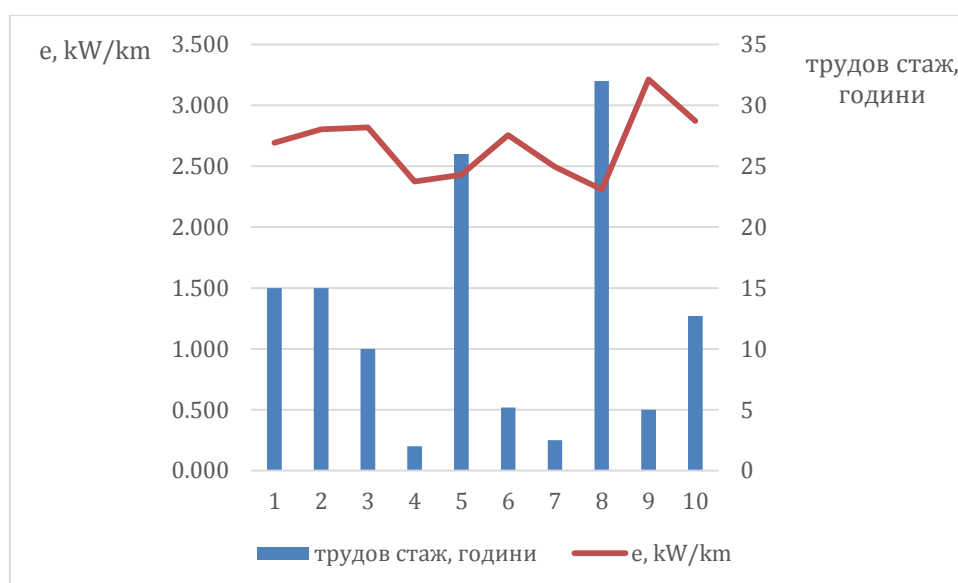
Най-възрастният машинист, на 60 години, има разход от 2.871 kWh/km, което е средна стойност за групата.

Това показва, че други фактори, като професионален опит (стаж), образование и индивидуални умения, имат по-голямо влияние върху ефективността на управлението, отколкото възрастта. Ефективността не намалява задължително с възрастта, а се определя от комбинация от различни качества и умения, които се развиват през цялата кариера. В следващото изследване се разглежда трудовия стаж на всеки един от водачите на ЖПС. В зависимост от общия трудов стаж е отчетен относителен електроенергиен разход на всеки един от машинистите.

Резултатите са представени в табличен и графичен вид, съответно на таблица 3 и фигура 4.

**Таблица 3. Относителен разход на електроенергия спрямо годините трудов стаж.**

Машинист ПЖМ	Общ трудов стаж като водач на ЖПС, години	Относителен разход на електроенергия, kWh/km
№	трудова стаж, години	e, kW/km
1	15	2,691
2	15	2,804
3	10	2,818
4	2	2,375
5	26	2,429
6	5,2	2,755
7	2,5	2,496
8	32	2,309
9	5	3,213



**Фиг. 4. Относителен разход на електроенергия спрямо годините трудов стаж**

Въпреки очакванията, че по-дългият стаж води до по-ниски разходи на енергия, данните показват по-сложна картина. Няма ясна правопрпорционална зависимост между трудовия стаж и ефективността. Машинист с 32 години стаж постига най-нисък разход от 2.309 kWh/km, докато друг с 15 години стаж има разход от 2.804 kWh/km. В същото време, машинист с едва 2 години стаж постига вторият най-нисък разход от 2.375 kWh/km, докато машинист с 5 години стаж има най-висок разход от 3.213 kWh/km.

Влияние на други фактори: Тези резултати предполагат, че само трудовият стаж не е достатъчен критерий за определяне на енергийната ефективност. Други фактори, като квалификацията, образованието и индивидуалните умения на машиниста, вероятно играят по-съществена роля. Възможно е по-новите машинисти да са обучени по съвременни методи, наблюдаващи на енергийната ефективност, докато някои от по-опитните да използват по-традиционни техники.

Заключение: За да се постигне пълна картина, е необходимо да се анализират комплексно всички фактори - стаж, образование, специфични обучения и психологически характеристики. Данните ясно показват, че индивидуалните умения са по-важни от стажа за постигане на оптимален разход на електроенергия.

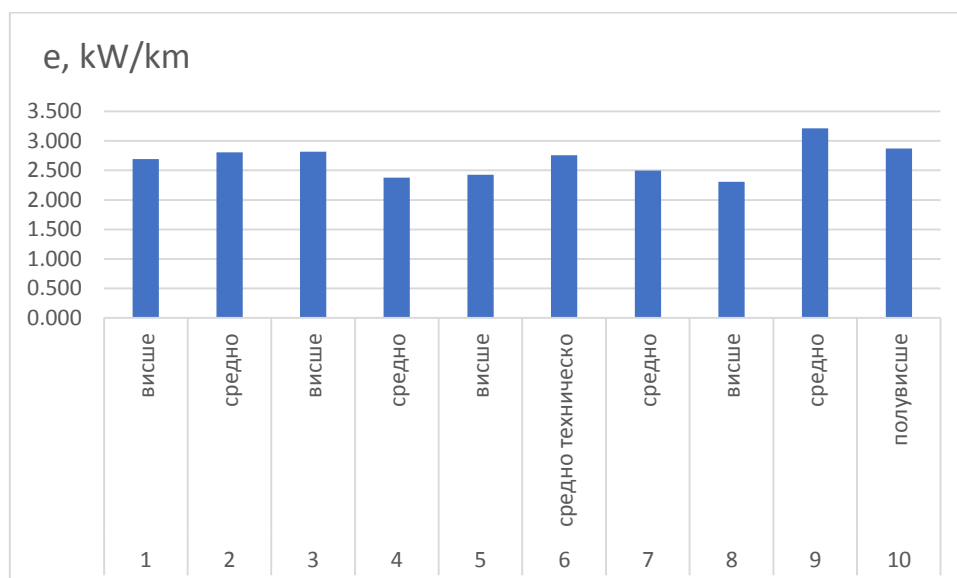
### Образователно-квалификационна степен

Правилата и изискванията за обучение на кандидати за машинисти са регламентирани в Наредба № 56 от 14 февруари 2003 г.. Тази наредба определя реда и условията за придобиване на правоспособност, която се изисква от лицата, работещи в областта на безопасността на железопътните превози.

За целите на изследването са подбрани 10 машинисти с различна степен на образование. За всеки от тях е отчетен индивидуалният относителен разход на електроенергия, за да се анализира връзката между квалификацията и ефективността на управлението. Резултатите са представени в табличен и графичен вид, съответно на таблица 4 и фигура 5.

Таблица 4. Относителен разход на електроенергия спрямо степента на образование

Машинист ПЖМ	Степен на образование	Относителен разход на електроенергия, kWh/km
№	Образование	e, kWh/km
1	висше	2,691
2	средно	2,804
3	висше	2,818
4	средно	2,375
5	висше	2,429
6	средно техническо	2,755
7	средно	2,496
8	висше	2,309
9	средно	3,213
10	полувисше	2,871



Фиг. 5. Относителен разход на електроенергия в зависимост от образователно-квалификационната степен и годините на общия трудов стаж

В предоставените данни се наблюдава връзка между образователната степен на машинистите и относителния разход на електроенергия. Анализът показва, че няма пряка зависимост, при която по-високото образование води непременно до по-нисък разход.

Машинистите с висше образование имат относителен разход, който варира от 2.309 kWh/km до 2.818 kWh/km. Средната стойност за тази група е 2.562 kWh/km.

Машинистите със средно образование показват по-широк диапазон на разход – от 2.375 kWh/km до 3.213 kWh/km. Средната стойност за тази група е 2.722 kWh/km.

Машинистът с полувисше образование има разход от 2.871 kWh/km, а този със средно техническо – 2.755 kWh/km.

Макар че средностатистически машинистите с висше образование имат малко по-нисък разход на енергия, най-ниският разход в извадката е постигнат от машинист с висше образование (2.309 kWh/km), но най-високият разход е постигнат от машинист със средно образование (3.213 kWh/km). Това предполага, че други фактори, като стаж, опит и психологическо състояние, също имат съществено влияние върху ефективността, което потвърждава заключенията в предоставените по-рано текстове.

### **Квалификация**

Квалификацията на машинист в подземната железница обхваща необходимите умения, знания и опит за безопасно и ефективно управление на влаковете. От съществено значение е машинистът да притежава както технически умения, така и способност да взема бързи и правилни решения в екстремни ситуации.

Задълженията на машиниста включват познаване на конструкцията на влака, както и на плана и профила на пътя, включително разположението на постоянните сигнали, сигналните указатели и знаци. Той трябва да е запознат и с тяхното предназначение, както и с разписанието за движение на влака. Машинистът е отговорен да осигурява оптимален режим на управление и да изразходва електроенергията икономично. [3]

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Въз основа на анализа на всички таблици, може да се направи следното обобщено заключение:

Проучването показва, че няма пряка и еднозначна зависимост между индивидуалните характеристики на машинистите (образование, стаж, възраст) и тяхната енергийна ефективност. Въпреки че се очаква по-висока квалификация и опит да водят до по-нисък разход на енергия, данните не потвърждават това напълно.

**Образование:** Машинистите с висше образование показват малко по-нисък среден разход в сравнение с тези със средно, но вариациите в рамките на двете групи са големи. Най-високият и най-ниският разход не са свързани директно с образователната степен.

**Стаж и възраст:** Анализът на данните за стажа и възрастта също не показва ясна корелация с енергийния разход. Машинисти с дългогодишен опит и по-възрастни колеги не винаги са по-ефективни от тези с по-малък стаж. Това предполага, че индивидуалните умения и способността за адаптиране към съвременни техники на управление са от по-голямо значение от годините опит.

**Ефективност на управлението:** Най-важният извод е, че човешкият фактор е ключов за енергийната ефективност. Разликите в разхода на енергия между най-ефективния и най-неефективния машинист са значителни, въпреки че всички са изминали еднакво разстояние. Това показва, че индивидуалният стил на управление пряко влияе върху консумацията на електроенергия.

В крайна сметка, за да се постигне оптимална енергийна ефективност, е необходимо не само да се разчита на стажа и образованието, но и да се наблегне на постоянни обучения, които да развиват специфични умения за икономично управление, независимо от възрастта и предишния опит на машинистите.

## ЛИТЕРАТУРА:

- [1] И. Лалев, Изследване ролята на машиниста върху енергийната ефективност на електрически локомотиви -дисертация
- [2] Петров. И., И. Лалов, Влияние на квалификацията на локомотивните машинисти за подобряване на енергийната ефективност на електрическия подвижен състав, Механика Транспорт Комуникации. ISSN 1312-3823 (print) том 12, брой 3/2, 2014 г, статия No 1006, стр. X-18- X-24
- [3] Правилник за техническата експлоатация на метрополитена (ПТЕ), гр. София, Септември 2011 г.
- [4] Павлов Г., Л. Секулов, М. Томчева. Изследване на енергийната ефективност на тролейбус SKODA 26TR SOLARIS. Международен енергиен форум, 2016 г., ISSN 1313-2962, стр. 30-33, [http://www.ntse-bg.org/docs/december\\_all.pdf](http://www.ntse-bg.org/docs/december_all.pdf)
- [5] Томчева М. Анализ на тяговите и спиращи режими на тролейбус SKODA SOLARIS. Научна конференция с международно участие „Устойчиво развитие на транспортните системи“, 18 – 20.06.2018 г., (сп. Механика, Транспорт, Комуникации. том 16, брой 3/1, 2018 г., ISSN 1312-3823, стр. I63-I68), <https://mtc-aj.com/library/1608.pdf>

## ENERGY EFFICIENCY IN THE METRO: THE ROLE OF DRIVER QUALIFICATION – OBELYA DEPOT

**Dilyana Mitseva**

[d.mitseva@abv.bg](mailto:d.mitseva@abv.bg)

*Todor Kableshkov University of Transport  
Sofia, st. Geo Milev – 158  
BULGARIA*

**Key words:** *education, qualification, work experience, metro driver, underground railway, relative energy consumption.*

**Abstract:** *The metro trains on Metro Line 1 of the Sofia Metro are controlled manually, which means that the control over the traction and braking force is entirely in the hands of the driver. This manual control differs significantly from automated systems and increases the role of the human factor, which can lead to higher electricity consumption. The psychological state, qualification, education, and work experience of the driver are of particular importance for the efficiency of the control. The efficiency of braking is also of key importance for energy optimization, especially in systems with energy recuperation. During recuperation, the kinetic energy from the train's movement is converted back into electrical energy during braking and is returned to the grid. Qualified drivers are trained to use this system more effectively, thereby minimizing energy losses and reducing overall consumption. This report analyzes the qualification and level of education of 10 metro drivers to investigate the influence of these factors on energy efficiency. The results of this analysis are presented in the following sections, focusing on the relationship between the driver's skills and electricity consumption.*