

PLENARY SESSION

FRI-229-1-KS(S)-01

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ENERGY PROPERTIES
OF VEHICLES ¹

Prof. Rosen Ivanov, DSc

Department of Engines and Vehicles,
“Angel Kanchev” University of Ruse
E-mail: rossen@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Ivan Evtimov, PhD

Department of Engines and Vehicles,
“Angel Kanchev” University of Ruse
E-mail: ievtimov@uni-ruse.bg

***Abstract:** The work has made a comparative analysis of the energy properties of passenger transport vehicles. The energy indicators of some brands and models of vehicles are presented in tabular and graphical form. The results of the analysis provide a clear idea of the real possibilities for reducing energy use in the passenger transport sector.*

***Keywords:** internal combustion engine, electric motor, personal vehicles, public transport vehicles, energy consumption.*

JEL Codes:

ВЪВЕДЕНИЕ

Транспортният сектор в Европа поглъща около една трета от крайното потребление на енергия, от които 70% се дължи на превоз на пътници и 30% за превоз на различни товари. Транспортът, в т. ч. и автомобилният, е най-бързо развиващият се сектор от икономиката по показателя енергийно потребление, поради което е необходимо да се търсят решения за подобряване на енергийната му ефективност.

При обсъждане причините за изменението на климата, на първо място винаги се поставят изкопаемите горива. Вярно е, че петролът, природният газ и особено въглицата действително са основните антропогенни източници на парникови газове. Поради различното въздействие на тези парникови газове върху климата, те се преизчисляват във въглероден диоксид – „CO₂ еквивалент”.

Основна задача на процеса за устойчиво развитие на транспорта е непрекъснато да се усъвършенства транспортната инфраструктура и да се използват екологични превозни средства [1, 3, 7].

През последните години енергийната ефективност (ЕЕ) на превозните средства се превърна в основен проблем на много страни, а основната цел в тази насока е намаляване на енергийното потребление с 20% през 2020 г.

Целта на настоящата работа е да се анализират енергийните свойства на най-използваните превозни средства за пътнически превози, което да даде ясна насока за тяхното по-ефективно използване.

ИЗЛОЖЕНИЕ

През последните години в транспортния сектор се очертава една тенденция в нарастване дела на автомобилния транспорт в общата транспортна дейност. Това несъмнено води и до нарастване

¹ Докладът е представен на пленарната сесия на 17 октомври 2025 г. с оригинално заглавие на български език: СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА ЕНЕРГИЙНИТЕ СВОЙСТВА НА ПРЕВОЗНИТЕ СРЕДСТВА

на потреблението на енергия, което през последните години надхвърля 90% от енергията на целия сектор.

Превозните средства за пътнически транспорт могат да бъдат разделени на две основни групи – лични превозни средства и превозни средства за обществен транспорт.

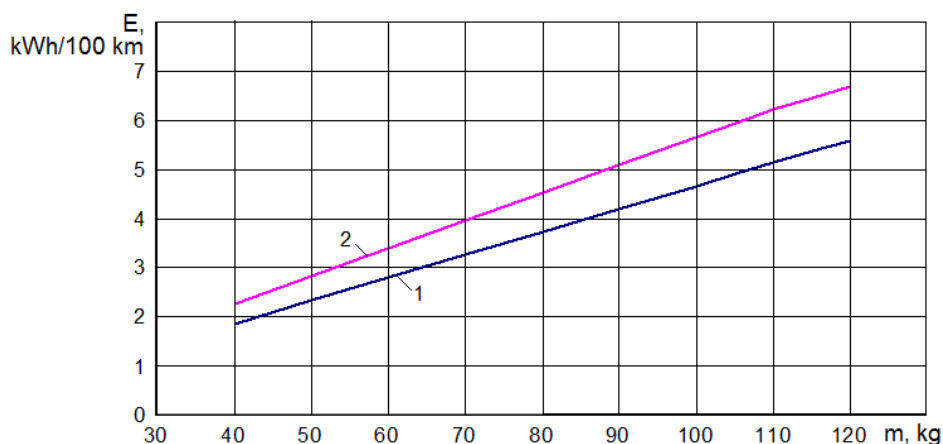
ЛИЧНИ ПРЕВОЗНИ СРЕДСТВА

Велосипеди

Велосипедният транспорт е с най-висока енергийна ефективност в сравнение с всеки друг транспорт, включително и автомобилния, тъй като на практика не използва никакви горива или други природни ресурси. Същевременно е и по-безопасен, поради ниските скорости на движение и по-лесното поддържане на велосипедите в добро техническо състояние. Колоезденето е вид спорт, повишава двигателната активност, предпазва от затлъстяване, високо кръвно налягане и други болести. Спомага за намаляване на стреса и риска от депресия. Поради тези и други предимства развитите държави от Западна Европа полагат всички усилия за да ограничат автомобилите в градовете и да насърчат гражданите да пътуват с велосипеди.

Изследванията в [14] показват, че за 20 000 *km* пробег, средно изразходваната енергия при каране на велосипед е 3,08 *kWh/100 km*.

Изследванията, посочени в [11], дават възможност да се определи енергията, отдавана от велосипедиста в зависимост от неговата маса и скорост на движение (фиг. 1). Тези резултати показват, че при маса на велосипедиста 75 *kg* и скорости на движение от 20 до 35 *km/h* се изразходва енергия от 3,49 до 4,24 *kWh/100 km*. Зависимостта на изразходваната специфична енергия е представена в линейна зависимост от масата на велосипедиста.



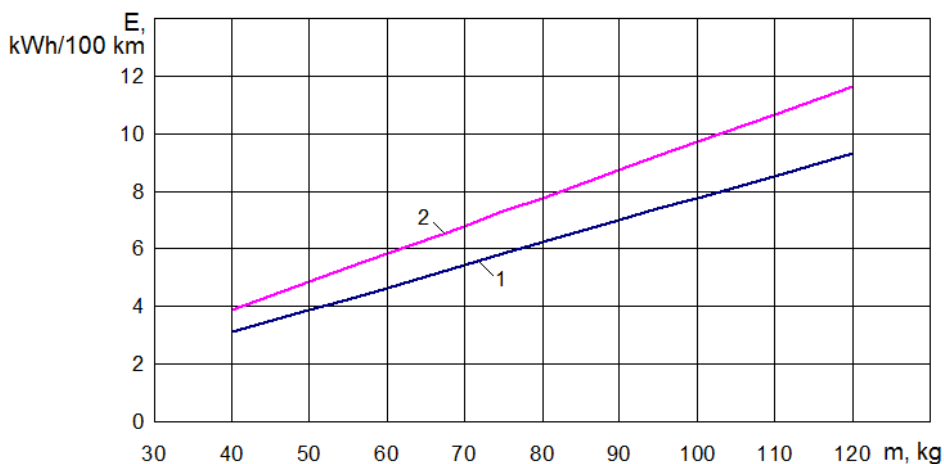
Фиг. 1. Зависимост на изразходваната енергия от масата на велосипедиста при скорост на движение 20 (линия 1) и 35 (линия 2) *km/h*

При ходене се изразходва повече енергия в сравнение с каране на велосипед – 44 *Wh/km* или 4,44 *kWh/100 km* [18]. Изследванията [13, 29] за енергията, изразходвана по време на ходене при маса на пешеходеца 68 *kg* и скорост 5,64 *km/h* е 280 *kcal/h* или изразходвана специфична енергия – 5,74 *kWh/100 km*.

На фиг. 3 е дадена зависимостта на изразходваната енергия на пешеходец в зависимост от масата му и скоростта на ходене.

За производството на велосипед се изразходва средно около 360 *kWh* енергия [14].

Всичко изложено дотук дава основание през последните години в редица страни да се стимулират гражданите да използват комбиниран транспорт (велосипеден и обществен). За целта в непосредствена близост до вратите на превозните средства за обществен транспорт са определени места за окачване на велосипедите или се поставят на специални рамки отпред/отзад на превозното средство (фиг. 3).



Фиг. 2. Зависимост на изразходваната енергия от масата на пешеходеца при ходене със скорост 3 (линия 1) и 6 (линия 2) km/h



Фиг. 3. Използване на комбиниран транспорт на движение

Електровелосипеди

Електровелосипедът е нов вид превозно средство, което успешно си пробива път през последните години. Използват се основно два вида електровелосипеди – с вградени мотор-колела (фиг. 4) и електродвигател, монтиран в централното задвижване (фиг. 5). Някои модели имат възможност да регенерират енергия при намаляване скоростта на движение или спиране.

Електровелосипедът в повечето европейски страни е регламентиран като хибридно превозно средство с мощност на електродвигателя до $250\ W$ и максимална скорост на движение $25\ km/h$. Максималната скорост е електронно ограничена. В Канада максималната мощност на електродвигателя е $500\ W$, а скоростта на електровелосипеда – $32\ km/h$. В САЩ максималната мощност на електродвигателя е $750\ W$.

Специфичният разход на енергия зависи от общата маса на велосипеда и велосипедиста, средната скорост и маршрута на движение [21].



Фиг. 4. Общ вид на електровелосипеди с мотор-колела:
а – предното колело задвижващо; б – задното колело задвижващо;
в – двете колела задвижващи



Фиг. 5. Електровелосипед с електродвигател, монтиран в централното задвижване

Обикновено разходът на енергия се движи в границите от 7 до 12 Wh/km при скорости на движение от 15 до 25 km/h [21]. Изследванията за пробег от 50 000 km [12] установяват среден разход на електроенергия от 1,32 $kWh/100 km$. Това дава основание при извършване на приблизителни анализи за ефективността от използване на електровелосипедите да се приеме разход на енергия 10 Wh/km или 1 $kWh/100 km$ [17, 21 и 30].

За производството на електровелосипед се изразходва средно около 1 453 kWh [14].

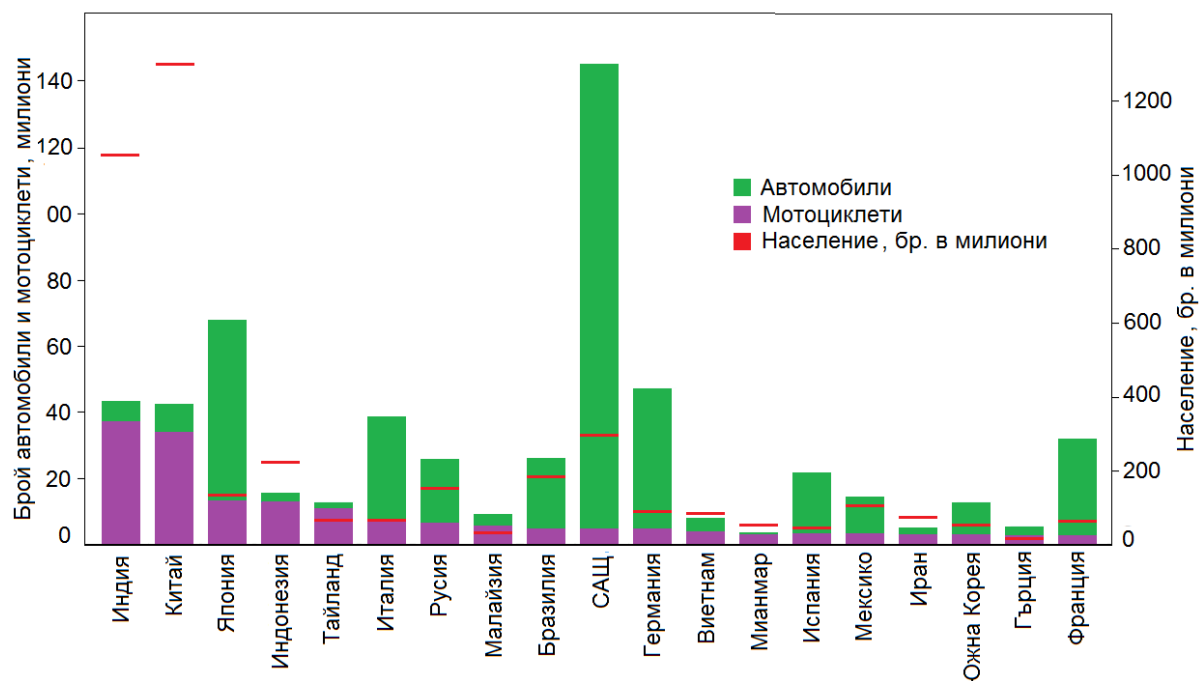
Мотопеди и мотоциклети

Мотопедите и мотоциклетите не трябва да се пренебрегват като превозни средства, тъй като в някои страни по брой са повече от автомобилите (фиг. 6). Мотопедите основно се използват в градски условия на движение и то в повечето случаи с един пътник. В каква степен се използват от двама пътника няма конкретна информация. Мотоциклетите с по голяма мощност се използват за

междуградски пътувания и туризъм, в повечето случаи от двама души, но също за тях няма конкретна информация.

Средно изразходваната енергия от мотопедите [20] е $22,22 \text{ kWh}/100 \text{ km}$ ($2,36 \text{ l}/100 \text{ km}$), а от мотоциклетите – $55,6 \text{ kWh}/100 \text{ km}$ ($5,91 \text{ l}/100 \text{ km}$). В САЩ разходът на енергия при мотоциклетите е $51,42 \text{ kWh}/100 \text{ km}$ ($5,47 \text{ l}/100 \text{ km}$) [28].

В табл. 1 е даден специфичният разход на енергия на различни марки мотоциклети.



Фиг. 6. Брой мотоциклети и автомобили в сравнение на населението в някои страни

Таблица 1. Специфичен разход на енергия на мотоциклети

Наименование	Макс. бр. пътници	Специфичен разход на енергия	
		$kWh/100nkm$	$l/100nkm$
Wasp Scooter (5,3 kW, automatic with CVT)	2	13,90	1,48
Suzuki GS500 (motorcycle 0,5 L)	2	17,35	1,85
Honda NC700X	2	20,68	2,20
BMW K1300R	2	27,26	2,90
Honda Gold Wing (motorcycle with 1,8 L, 6-cylinder)	2	31,95	3,40
Honda ST1300	2	35,72	3,80

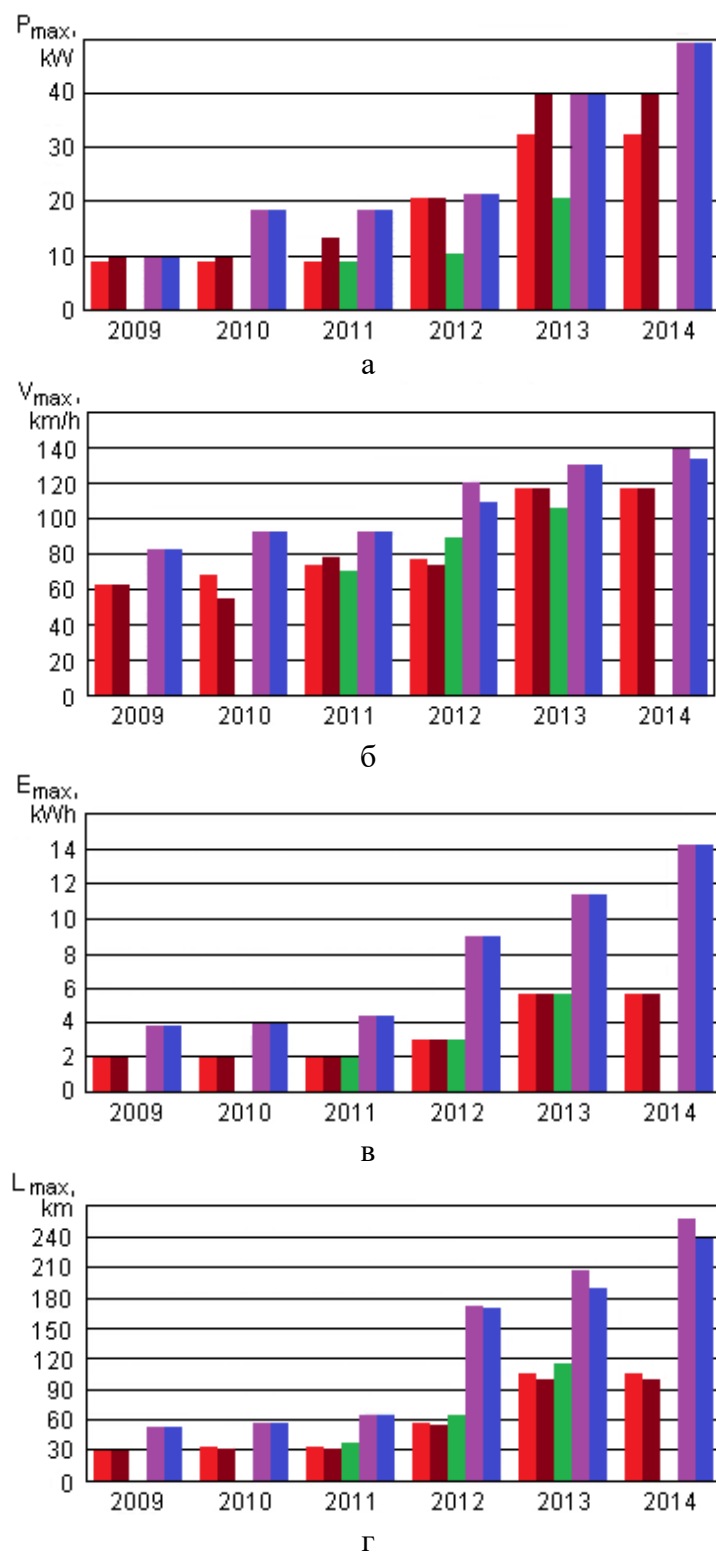
Електроскутери и електромотоциклети

Аналогично на електровелосипедите, тези превозни средства с всяка изминала година се увеличават все повече и повече. Същевременно с това техните технически параметри се подобряват. Анализът показва, че електро-мотоциклетите по някои основни параметри, като максимална скорост и пробег, не отстъпват на електромобилите. (фиг. 7). Специфичният разход на енергия за електроскутерите е средно $3,3 \text{ kWh}/100 \text{ km}$ ($0,35 \text{ l}/100 \text{ km}$) [4], а за електро-мотоциклетите – $5,5 \text{ kWh}/100 \text{ km}$ ($0,86 \text{ l}/100 \text{ km}$).

През последните години електроскутерите са едни от основните превозни средства за градски условия на движение в редица азиатски страни. Една от причините е много добре изградената инфраструктура, която осигурява възможности за изминаване на желания пробег без загуба на време за зареждане на батериите.

За производството на електроскутер се изразходва средно около 2 kWh [14].

В табл. 2 е даден средният специфичен разход на енергия на някои марки електроскутери и електромотоцикети.



Фиг. 7. Изменение по години на някои от основните параметри на различни модели ZERO електро-мотоциклети:
 а – макс. мощност; б – макс. скорост на движение;
 в – макс. енергия, съхранявана в батерията;
 г – макс. пробег с едно зареждане на батерията

Таблица 2. Специфичен разход на енергия на електроскутери и електромотоциклети

Наименование	Макс. бр. пътници	Специфичен разход на енергия	
		<i>kWh/100nkm</i>	<i>l/100nkm</i>
KLAS 5000	2	1,03	0,11
Vectrix VX-2	2	1,6	0,17
2014 Zero S	2	3,5	0,37
2013 Bramo	2	3,8	0,40
BMW Maxi-Scooter	2	4,0	0,43

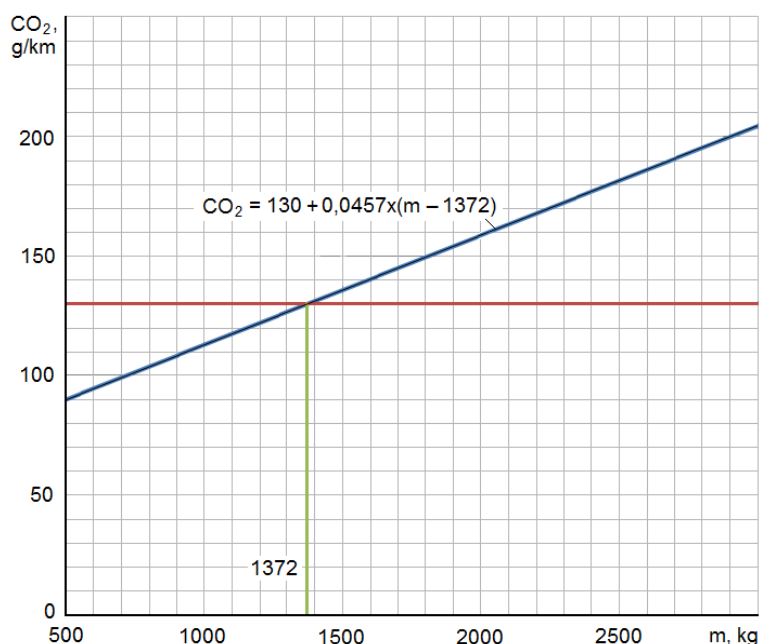
Към октомври 2015 г. в Р България са регистрирани 444 бр. електрически превозни средства, от които 0,27% са мотопеди и мотоциклети.

Автомобили

Леките автомобили се утвърдиха като най-практичното превозно средство за едно семейство.

Производството на един автомобил, в сравнение с велосипедите и мотоциклетите, е изключително скъпо, енергоемко и причинява големи замърсявания на околната среда.

Безконтролното използване на природните ресурси е предпоставка за възникване на сериозни екологични проблеми. В резултат на това, през 2009 год. Европейският съюз прие регламент за намаляване емисиите на CO₂ от пътническите превозни средства. Средните емисии CO₂ от нови автомобили, продавани в Европейския съюз, трябва да достигне 120 g/km. Подобренията в технологията на производство може да намали средните стойности на емисиите до 130 g/km, а с някои допълнителни мерки могат да се достигнат желаните 120 g/km – например подобряване на ефективността от използването на различни горива, автомобилни гуми, климатици и т.н. Законодателството е определило линия на граничните стойности на допустимите емисии CO₂ на новите автомобили в съответствие с масата им.. Тази линия определя средните стойности на емисиите от 130 g/km (фиг. 8)[23] .

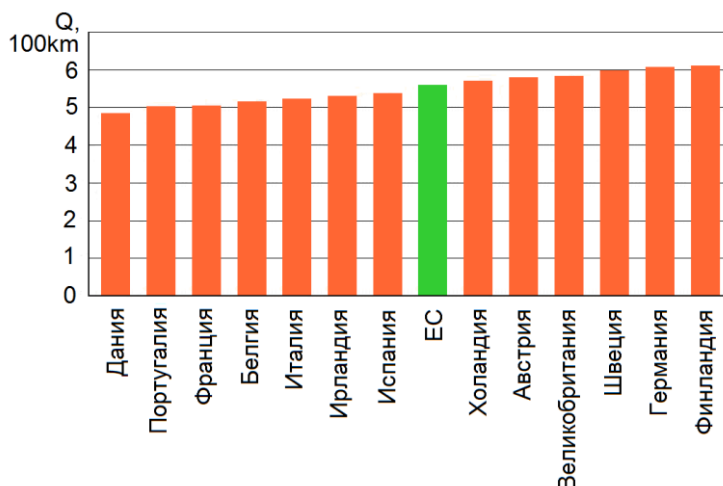


Фиг. 8. Зависимост на граничните стойности на CO₂ емисиите от масата на автомобила с база 130 g/km при маса 1372 kg

Средният разход на гориво за новите леки автомобили за някои страни от ЕС е показан на фиг. 9. На същата фигура е даден и средният разход на същите автомобили общо за страните от ЕС [16].

Разходът на гориво (бензин или дизел) зависи от много фактори – марка и модел на автомобила, трафика на движение, температурата на околната среда и др. За всяка страна е различен и в повечето случаи достатъчно добре изследван. За нашата страна не са известни изследвания,

които да представят реалният среден разход на гориво, както за новите автомобили, така и за намиращите се в експлоатация. За Великобритания, например средният разход на гориво за леките автомобили е приет $8,6 \text{ l}/100 \text{ km}$ ($80,84 \text{ kWh}/100 \text{ km}$). За Финландия средният разход на гориво за бензиновите автомобили е $11,28 \text{ l}/100 \text{ km}$ ($106 \text{ kWh}/100 \text{ km}$), за дизеловите – $8,84 \text{ l}/100 \text{ km}$ ($94 \text{ kWh}/\text{km}$), приравнен към еквивалент бензиново гориво [20].



Фиг. 9. Среден разход на гориво за леките автомобили

В табл. 3 са дадени характеристиките на източниците на енергия. При пресмятанията за енергията на 1 литър бензин и дизел са приети стойностите $9,4$ и $10,4 \text{ kWh}/\text{l}$. Използването на енергията на течните горива е прието 100% , докато енергията, съхранена в акумулаторните батерии – 80% .

Таблица 3. Характеристики на източниците на енергия

Източници на енергия	kWh/kg	kWh/l	к.п.д.,%
Бензин	$13,1 - 12,0$	$8,9 - 9,7$	18
Дизел	$12,8 - 11,9$	$10,0 - 10,7$	22
Биодизел	$11,1 - 10,3$	$9,1 - 9,8$	22
Батерии:			
– оловни;	0,030	0,06	80
– NiMH;	0,060	0,15	80
– LiFePO_4 ;	0,100	0,15	80
– LiPo/LiCo	0,135	0,25	80

От табл. 3 се виждат предимствата на автомобилите в малкия по обем и тегло източник на съхранение на енергията, в сравнение с електромобилите. Като недостатък основно може да се отчете сравнително много по-голямата енергия, необходима за реализиране на 1 kWh на движещите колела.

Посоченият в техническата характеристика на автомобила среден разход на гориво може да се приеме за приблизителен при определени условия на движение.

Безоловните бензини с октаново число по изследователския метод (RON) от 91 до 98, при температура 15°C (спецификация 228), имат плътност $0,720 - 0,775 \text{ kg}/\text{l}$, а дизеловите горива, при същата температура (спецификация EN 590) имат плътност $0,820 - 0,845 \text{ kg}/\text{l}$. При изчисленията са приети следните стойности на плътностите: бензин – $0,740 \text{ kg}/\text{l}$; дизелово гориво – $0,839 \text{ kg}/\text{l}$; биодизел – $0,880 \text{ kg}/\text{l}$.

Необходимо количество енергия от различните източници за реализиране на 1 kWh енергия на ходовите колела [25] е дадена в табл. 4.

Таблица 4. Необходимо количество енергия за реализиране на 1 kWh на ходовите колела

Източници на енергия	kWh	kg	$l(cm^3 \cdot 10^3)$
Бензин	5,56	0,42 – 0,46	0,57 – 0,62
Дизел	4,55	0,36 – 0,39	0,43 – 0,46
Биодизел	5,56	0,50 – 0,54	0,57 – 0,61
Батерии:			
– оловни;	1,25	41,70	26,04
– NiMH;	1,25	20,83	10,42
– LiFePO ₄ ;	1,25	12,50	10,42
– LiPo/LiCo	1,25	9,26	6,25

В табл. 5 е даден специфичният разход на енергия на различни леки автомобили.

Таблица 5. Специфичен разход на енергия на леки автомобили

Наименование	Макс. бр. пътници	Специфичен разход на енергия	
		kWh/100nkm	l/100nkm
VW Golf TDI (1,9L diesel, automatic)	5	10,56	1,12
Ford Explorer (4,6L V8, automatic)	7	21,19	2,25
Range Rover Sport I	5	32,7	3,48
Porsche Boxster S (3,2L, Tiptronic)	2	46	4,9
Porsche Carrera GT (5,7L, V10, 445 kW, 6 speed manual)	2	101	10,75

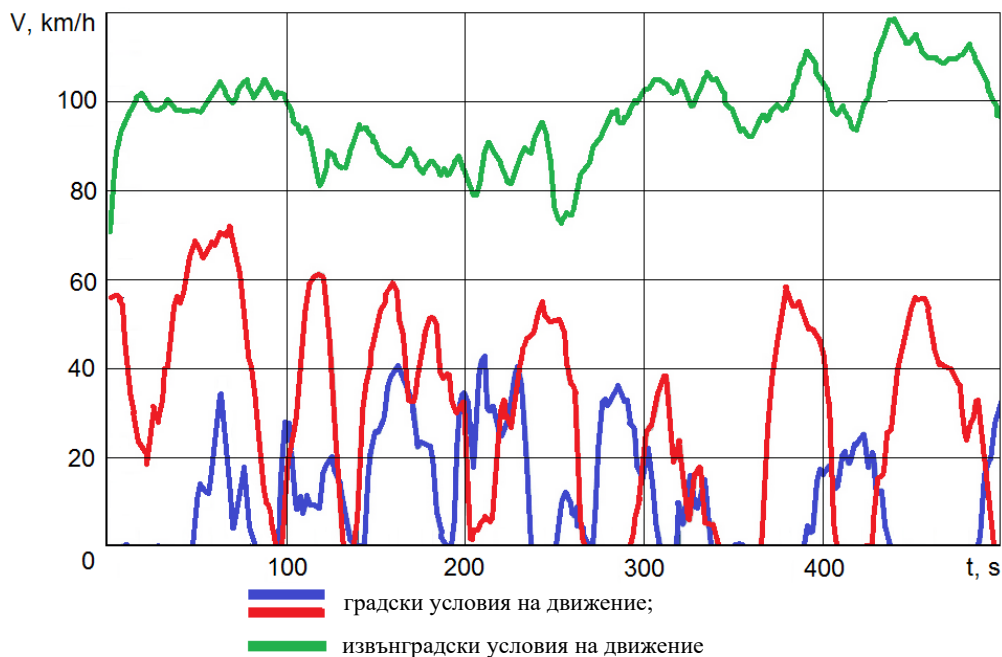
За повишаване безопасността на движение и намаляване на разхода на енергия на всички автомобили и автобуси, за първи път в САЩ през 2007 год. е въведено задължително използване на системи за следене на налягането в гумите (TPMS – Tyre pressure monitoring systems).

Движението на автомобила може да се разгледа като съставено от няколко етапа: работа на двигателя на празен ход, ускоряване, движение с постоянна скорост, закъснително движение (намаляване скоростта на движение) и спиране. Делът на всеки етап от целия маршрут зависи от поведението на водача, типа на пътното платно, условията на движение (в града, извън града), трафика на движение и др. Графично влиянието на тези фактори може да се представи чрез изменението на скоростта на движение за определен период от време (фиг. 10).

Разходът на енергия и количеството CO₂, което се отделя по време на движение на превозните средства, зависи от посочените фактори и могат да се определят с достатъчна за практиката точност с помощта на математични модели.

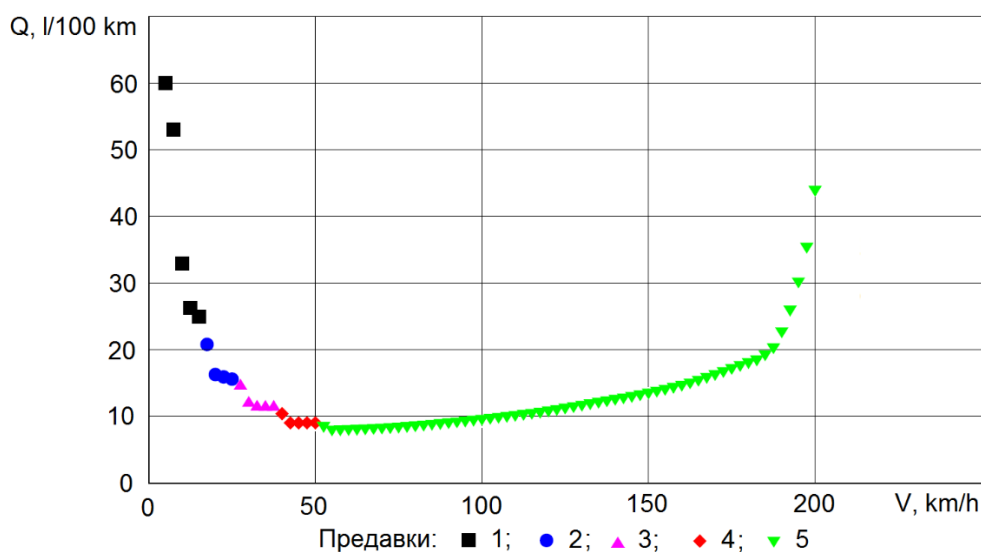
Изследванията в [19, 27] показват, че икономия на гориво за автомобили може да се постигне при скорости на движение от 60 до 90 km/h (фиг. 2.11). При по-високи скорости на движение разходът на гориво се увеличава поради нарасналото въздушно съпротивление и съпротивлението от предвижване. При ниски скорости на движение, разходът на гориво също се покачва, поради честите спираня и потегляне от място на автомобилите и изразходване на по-голямо количество гориво при ускоряване. Разходът на гориво над посочените икономични скорости се увеличава както следва:

- 3% увеличение разхода на гориво при 97 km/h;
- 8% увеличение разхода на гориво при 105 km/h;
- 17% увеличение разхода на гориво при 113 km/h;
- 23% увеличение разхода на гориво при 121 km/h;
- 28% увеличение разхода на гориво при 129 km/h.



Фиг. 10. Изменение скоростта на движение в определен интервал от време при различни условия на движение

Ако по време на движение се използва климатик, разходът на гориво може да се увеличи до 10% [19].



Фиг. 11. Изменение на разхода на гориво в зависимост от средната скорост на движение за лек автомобил VW Passat Synchro 1.8 (118 kW)

Хибридни автомобили

Хибридният автомобил използва два и повече източника на енергия. Най-масово в експлоатация са намерили хибридният автомобил, използващи енергията на ДВГ и на тягова акумулаторна батерия. Хибридният автомобил биват с последователна, паралелна и комбинирана схеми на задвижване. Всяка една от тези схеми има своите предимства и недостатъци. Реално, тези хибридни технологии могат да реализират икономия на гориво от 20 или 30%, разбира се при определени режими на движение.

В табл. 6 е даден специфичният разход на енергия на различни хибридни автомобили [10].

Таблица 6. Специфичен разход на енергия на хибридни автомобили

Наименование	Макс. бр. пътници	Специфичен разход на енергия	
		$kWh/100nkm$	$l/100nkm$
2015 Toyota Prius	5	10,53	1,12
2014 Honda Civic	5	11,09	1,18
2012 Lexus CT 200h	5	12,60	1,34
2013 Ford C-Max	5	13,35	1,42

През последните години навлязоха в експлоатация Plug-in Hybrid (PHEV) автомобилите. Техният разход на енергия зависи от т.н. степен на хибридизация (DOH – degree-of-hybridization). Групираны са основно в три степени – PHEV-10, PHEV-30 и PHEV-60, като цифровият индекс означава изминатия пробег в мили само на електричество. Следователно средният разход на енергия се движи в границите между средният разход на класическите хибридни автомобили и електромобилите.

В табл. 7 са дадени характеристиките на акумулаторните батерии при определена степен на хибридизация [26].

Таблица 7. Характеристики на батериите на PHEV при пробег 16, 48 и 96 km само на електричество

Пробег на батерии, km	16	48	96
Батерия:			
– енергия, kWh	3,6	8,2	16,5
– мощност, kW	48,6	45,1	47,8
– спец. енергия, Wh/kg	112	137	138
– спец. мощност, W/kg	1 519	752	398
– маса, kg	32	60	120
Маса на PHEV, kg	1 280	1 340	1 430

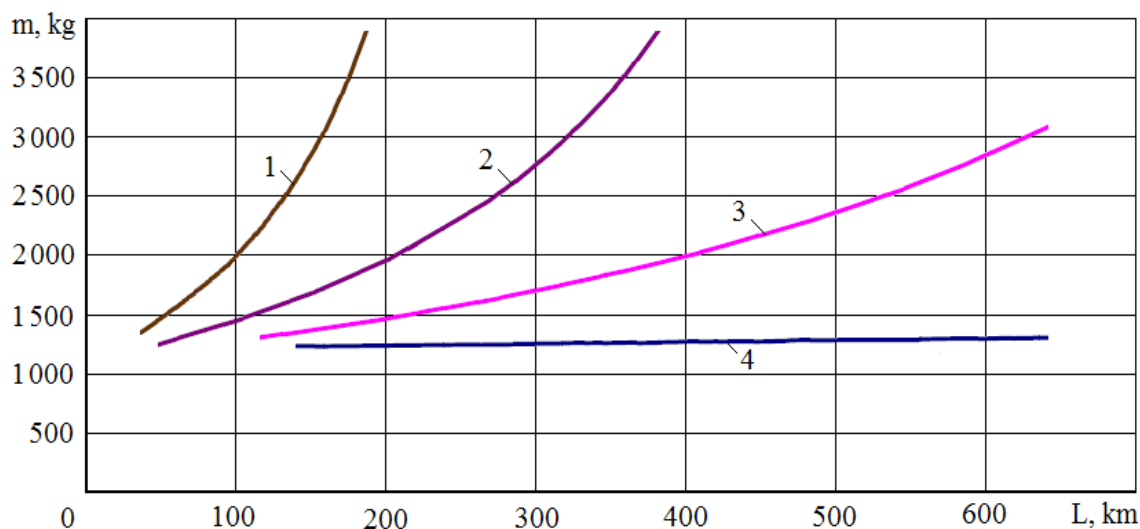
Електромобили

При електромобилите вместо ДВГ се използва електродвигател. Той има основното предимство – сравнително много по-малка маса при една и съща мощност на двигателите. При бензиновите ДВГ относителната мощност е около $0,75 kW/kg$, а на електродвигателите – $6 kW/kg$. Може да се каже, че електродвигателите са почти 8 пъти по-леки от бензиновите ДВГ при една и съща мощност. За съжаление, масата на акумулаторната батерия при електромобилите оказва съществено влияние върху общата маса на електромобила (фиг. 12). Ето защо изборът на вида на батерията е от съществено значение.

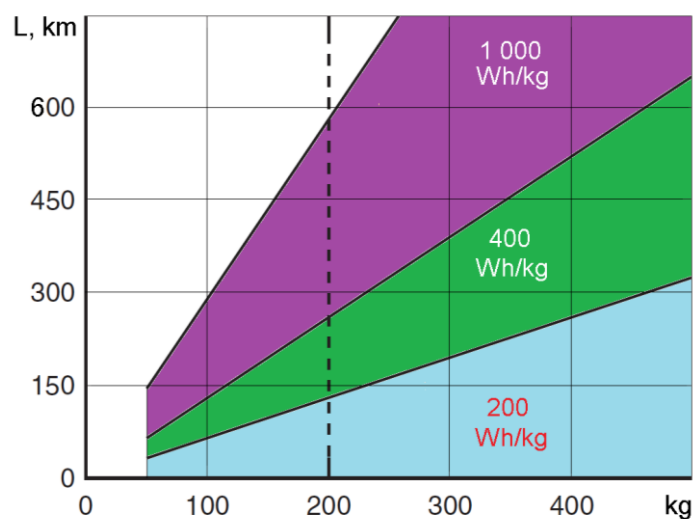
На този етап на развитието на технологиите на производство на акумулаторните батерии се дават съществени предимства на литиевите батерии. При тях в единица маса се съхранява най-голямо количество енергия – от 80 до $200 Wh/kg$.

В зависимост от масата на батерията зависи и пробегът, който може да измине електромобила с едно зареждане на батерията (фиг. 11).

От фиг. 13 се вижда, че ако се повиши специфичната енергия на литиевите батерии от 200 на $1000 Wh/kg$, пробегът на електромобила с едно зареждане на батерията ще се увеличи от 120 на ~ 600 km .



Фиг. 12. Зависимост на масата на електромобила с тягови батерии и горивни клетки от изминатия пробег: 1 – с Pb батерии; 2 – с NiMH батерии; 3 – с Li-ion батерии; 4 – с горивни клетки

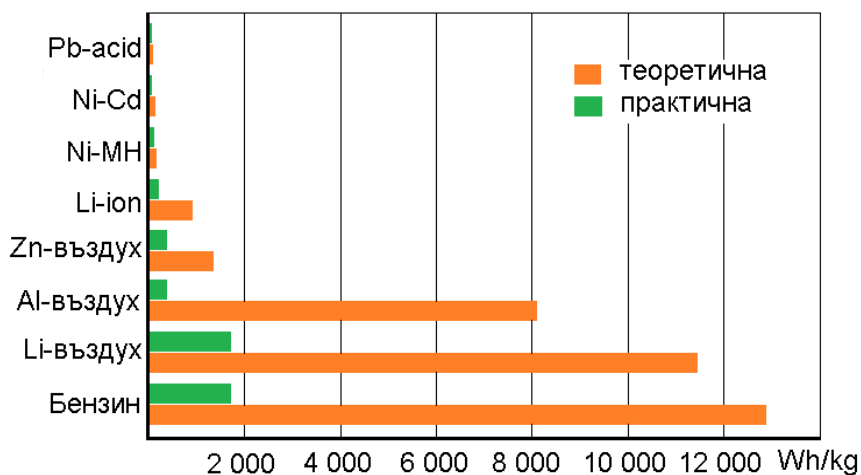


Фиг. 13. Възможен пробег на електромобила в зависимост от масата на батерията и специфичната ѝ енергия

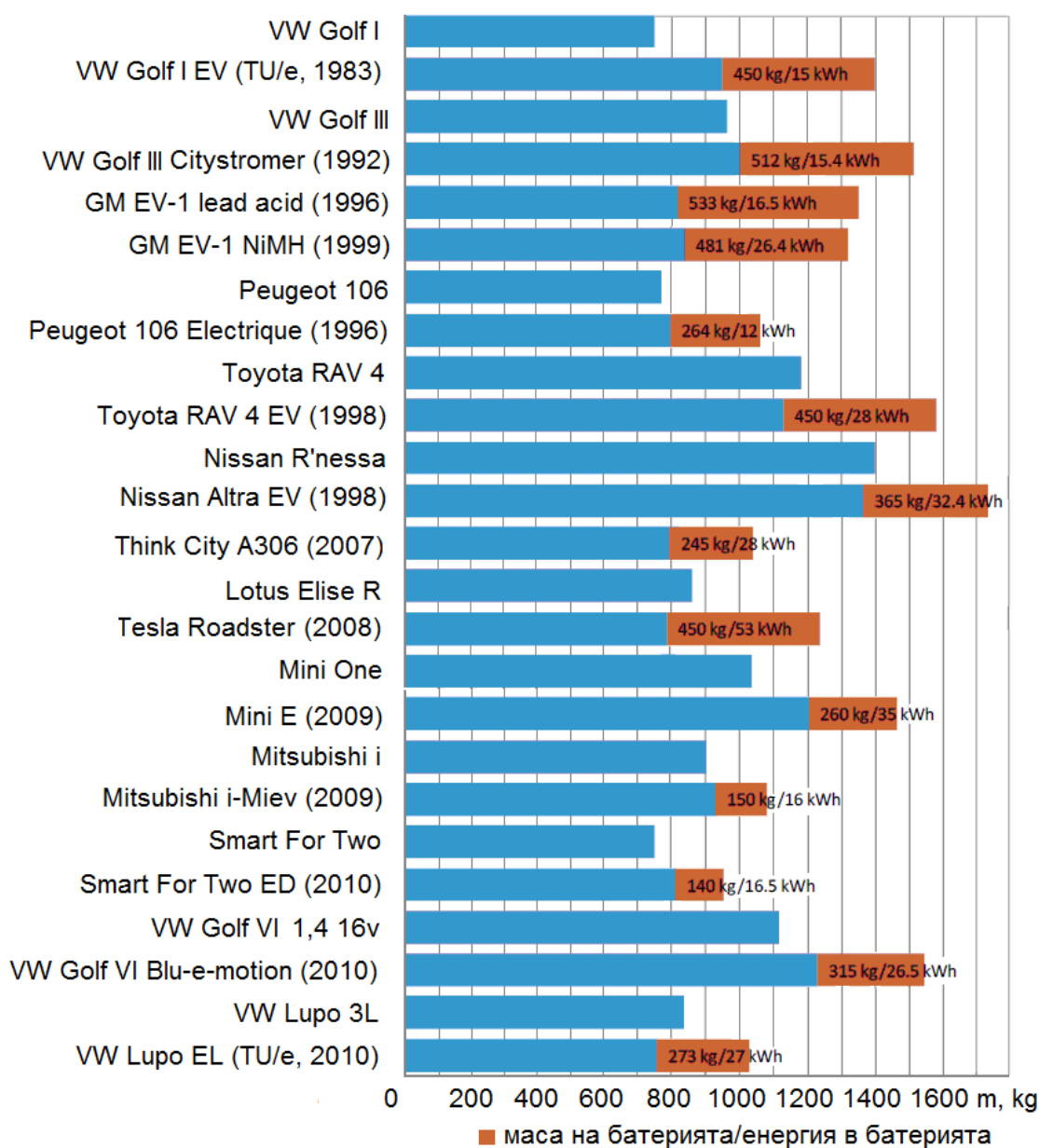
Литий-въздушните акумулаторни батерии предлагат, по принцип, значително по-добра теоретична плътност на енергия, в сравнение с традиционните литий-йонни акумулаторни батерии (фиг. 14).

Постигането на специфична енергия от 1 000 Wh/kg дори и повече, е постижима. Тази специфична енергия ще позволи електромоделите да достигнат пробег близка до тази на конвенционалния автомобил.

На фиг. 15 е дадено сравнение на масата на някои марки електромодели с еквивалентни на тях автомобили при сегашните технологии за производство на батериите. При всички случаи масата на електромоделите е по-голяма от масата на еквивалентните на тях автомобили.



Фиг. 14. Теоретична и реализирана в практиката специфична енергия на някои акумулаторни батерии и бензина

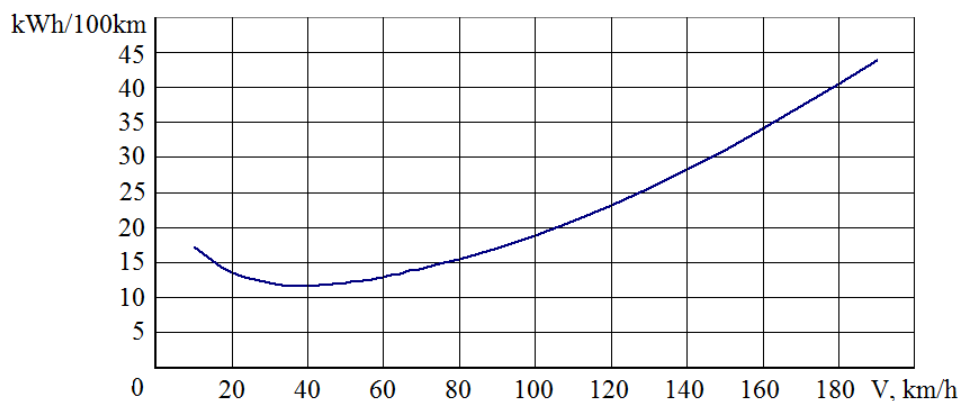


Фиг. 15. Сравнение масата на някои електромобили с еквивалентни на тях автомобили

Независимо от това, че масата на електродвигателя е около осем пъти по-малка от масата на бензиновия двигател, при едни и същи мощности, съществено влияние върху масата на електромобила оказва масата на акумулаторната му батерия.

Ако един автомобил се конвертира в електробил и двигателят с мощност от 75 kW се замени с същия по мощност електродвигател, ще се спести маса от $87,5\text{ kg}$. За съжаление, все още на този етап от развитието на технологиите за производство на акумулаторни батерии, общата маса на електромобила се определя в значителна степен от масата на батерията, от която зависи максималният пробег на електромобила.

При електромобилите минимален разход на енергия се получава при по-ниски скорости на движение, в сравнение с автомобилите. Например за електромобил Tesla S [29], минимален разход на енергия се получава при скорости на движение от 20 до 65 km/h (фиг. 16).



Фиг. 16. Зависимост на разхода на енергия от скоростта на движение на електромобил Tesla S

За да се намали разхода на енергия при градски условия на движение, където често се налага да се променя скоростта на движение, някои фирми вграждат в електромобилите предавателни кутии. Чрез промяна на предавателното число на трансмисията може да се постигне оптимален режим на работа на електродвигателя, при който загубите на електрическа енергия да са най-малки.

В табл. 8 е даден специфичният разход на енергия на някои марки електромобили, изменящ се от 1,8 до $7,0\text{ kWh}/100\text{ nkm}$.

Таблица 8. Специфичен разход на енергия на електромобили

Наименование	Макс. бр. пътници	Специфичен разход на енергия	
		$\text{kWh}/100\text{ nkm}$	$\text{l}/100\text{ nkm}$
REVA NXR	2+2	1,8	0,19
REVA NXR City	2+2	2,4	0,26
2016 Nissan Leaf	5	2,8	0,30
2012 Mitsubishi i-MiEV	4	3,4	0,36
Tesla Model S	5	3,6	0,38
2015 Kia Soul	5	4,0	0,43
Fiat 500E	2+2	4,5	0,48
Smart ED	2	6,0	0,64
Tesla Roadster	2	6,4	0,68
2013 Toyota RAV4	5	5,5	0,59
MINI E	2	7,0	0,74

За да се оцени реално енергийната ефективност на автомобилите е необходимо да се направи енергиен баланс за целия им жизнен цикъл. Обикновено при изследванията се избират превозни средства с един и същи дизайн и различаващи се само от източника на енергия. Например в [24] а

използвани превозни средства с приблизително една и съща маса 1 500 kg, като масата на акумулаторната батерия (Li-ion) е 300 kg. Според изследванията на Southern California Edison [24], ефективният ресурс на превозните средства е 290 000 km (180 000 miles), които могат да се изминат за период от 15 год.

В табл. 9 са показани числените резултати за енергийните разходи и отделените емисии CO₂ за разглежданите автомобили, отнесени за 100 km изминат път за целия им жизнен цикъл.

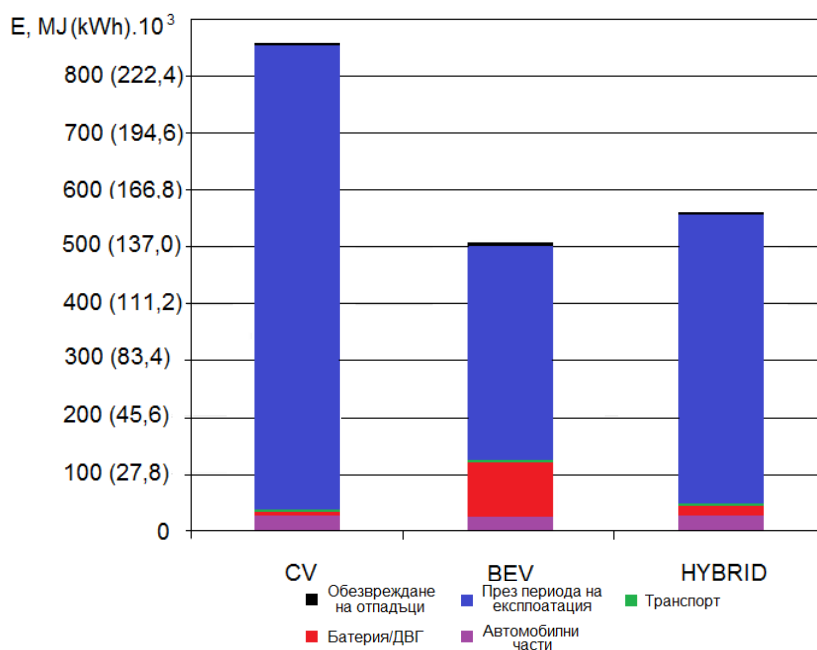
Разходът на гориво на конвенционалния автомобил е приет 7,6 l/100 km, на хибридният – 4,7 l/100 km, а на електромобила 0,21 kWh/km.

Конвенционалният автомобил (CV) е с 69,2% по-енергоемък и с 93,8% генерира повече емисии CO₂, отколкото електромобилът с батерии (BEV), а също така с 52,0% е по-енергоемък и генерира 51,7% повече емисии, спрямо хибридният автомобил (HYBRID). Хибридният електромобил с 11,3% е по-енергоемък и с 27,7% генерира повече емисии CO₂, отколкото електромобила.

Таблица 9. Разход на енергия и отделени емисии CO₂ за жизнения цикъл на BEV, CV и HYBRID

Превозно средство	E, kWh/100km	CO ₂ , kg/100km
BEV	48,7	11,2
CV	82,4	21,7
HYBRID	54,2	14,3

На фиг. 17 е показан разхода на енергия през различните етапи на жизнения цикъл на разглежданите превозни средства.



Фиг. 17. Енергия, изразходвана през целия жизнен цикъл на превозните средства:
CV – конвенционални автомобили; BEV – електромобили с батерии;
HYBRID – хибридни автомобили

При конвенционалните автомобили приблизително 95% от енергията за целия жизнен цикъл се изразходва по време на експлоатация на автомобила. Това се дължи на количеството енергия, необходима за получаване на горивото, а също и енергията, която се получава от самото гориво. Други етапи от жизнения цикъл, например производството на части за превозните средства, производство на двигателя, транспортирането и обезвреждането на отпадъци изискват много по-малко енергия.

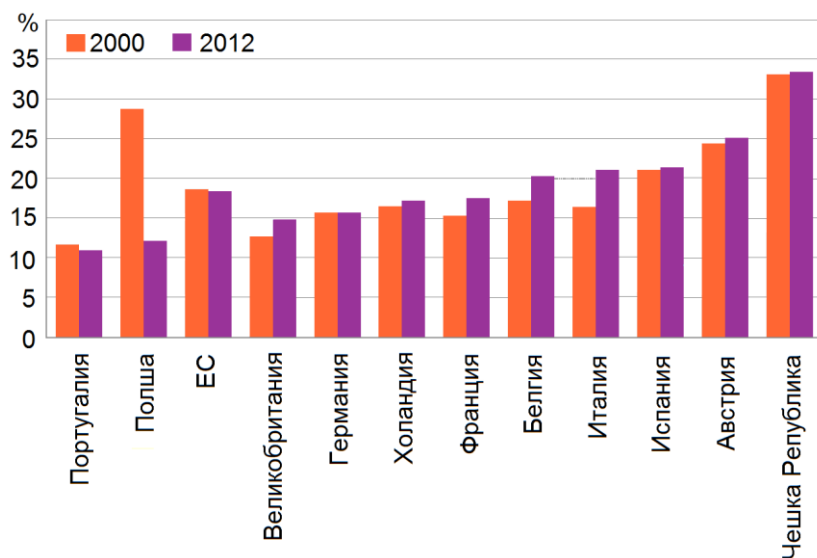
За електромобилите, по време на експлоатация се изразходва най-много енергия за зареждане на акумулаторната батерия – 74% от общата енергия за целия жизнен цикъл. Енергията, необходима

за производство на батерията е 19% от общата енергия за целия жизнен цикъл. Енергията за производството на резервни части, транспортиране и обезвреждане на отпадъците, е много малка.

При хибридните автомобили най-големи са разходите на енергия също през етапа на експлоатация – 89%. Поради малкото количество енергия, която се съхранява в акумулаторната батерия, за производството ѝ се изразходва само 4% от енергията за целия жизнен цикъл. За всички останали етапи – транспортиране, производство на резервни части, както и за обезвреждане на отпадъците, изразходваната енергия е незначителна.

Обществен транспорт

Общественият транспорт, както градски така и междуградски, е един от най-ефективните начини за превоз на пътници. В каква степен се използва в някои европейски страни и общо за ЕС е показано на (фиг. 18).



Фиг. 18. Използване на обществения транспорт в някои европейски страни

Автобуси

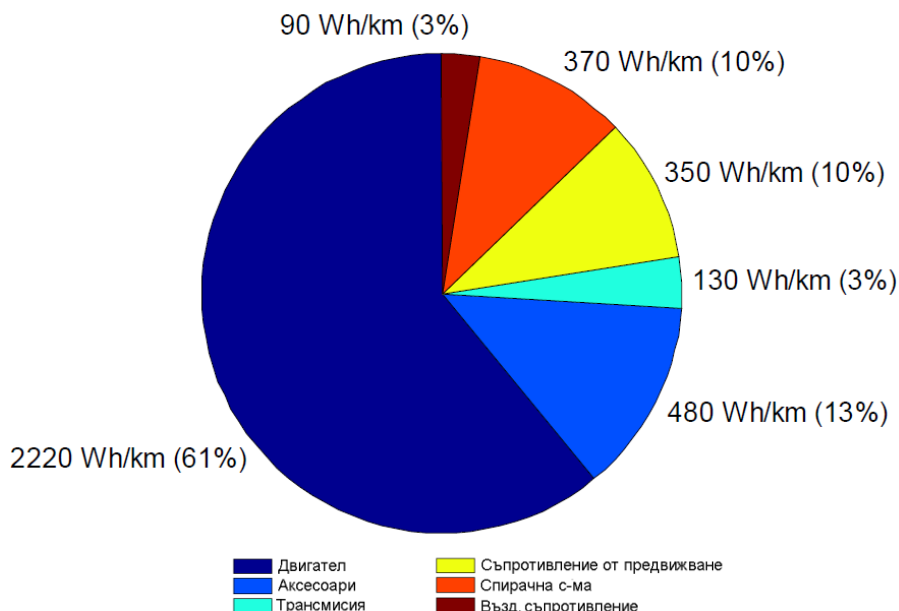
Автобусите са едни от най-масовите превозни средства за обществен транспорт. Използват се за градски и междуградски транспорт. Средният разход на енергия зависи от тяхната товароносимост и условията на експлоатация.

Дизелов автобус с 49 пътника и разход на гориво 28,2 l/100 km при средна скорост на движение 105 km/h, изразходва 0,58 l/100nkm (6 kWh/100nkm или 0,64 l/100nkm еквивалентно гориво бензин).

За всеки определен маршрут, в дадено населено място, средният брой превозвани пътници е различен. Следователно ефективността от използването на автобуса зависи от много фактори. Например е необходимо също така да се отчете енергията, изразходвана за поддържането на автобусния парк. За това е необходимо конкретно за даденото населено място да се направят необходимите изследвания и с помощта на съвременните математични апарати да се анализират тези процеси. Например разходите на енергия през 2006 – 2007 год. на автобусния транспорт в град Лондон е 32 kWh/100nkm (3,4 l/100nkm).

Изследванията в [11] посочват за специфичен разход на енергия на градския и извънградския транспорт – 27,8 kWh/100nkm (2,96 l/100nkm) и 25 kWh/100nkm (2,66 l/100nkm).

На фиг. 19 [10] е показано разпределение на енергията на дизелов автобус с обща маса 14 250 kg (включително масата на 38 пътника) при разход на енергия 3,64 kWh/km (9,58 kWh/100nkm), еквивалентно на 0,39 l/km (1,03 l/100nkm). Най-големи са загубите при изгаряне на горивото в двигателя – 2 200 Wh/km (61% от цялата енергия, необходима автобусът да измине 1 km разстояние).



Фиг. 19. Разпределение на енергията на дизелов автобус

Електробуси

Електробусите са превозни средства за обществен транспорт, захранвани с електрическа енергия от акумулаторна батерия или суперкондензатори.

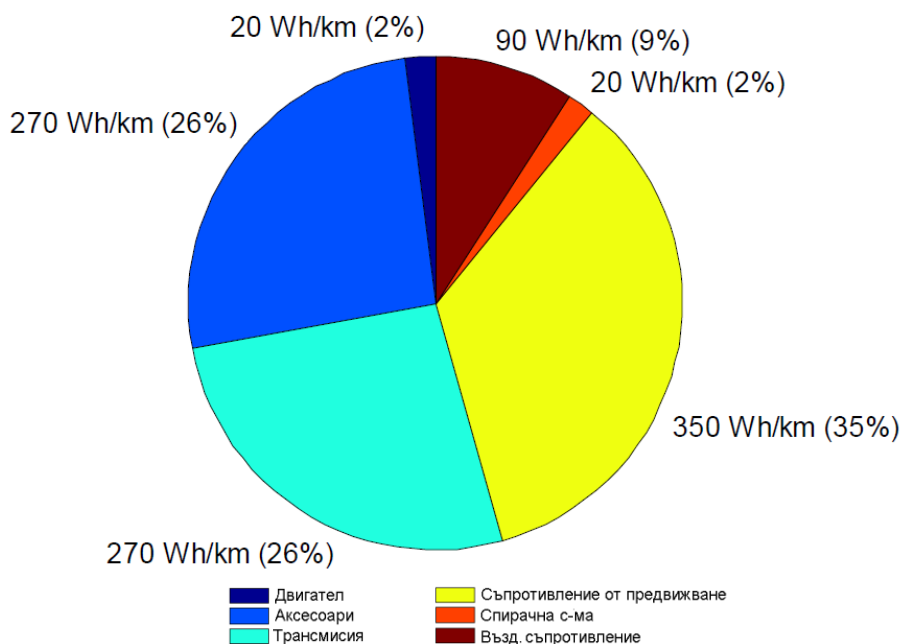
В табл. 10 е даден специфичният разход на някои марки електробуси [22, 28].

Таблица 10. Специфичен разход на енергия на електробуси

Наименование	Макс. бр. пътници	Специфичен разход на енергия	
		<i>kWh/100nkm</i>	<i>l/100nkm</i>
SOR EBN 10.5	85	1,06	0,10
AMZ CitySmile 10E	85	1,29	0,12
Škoda Perun	82	1,59	0,15
Stratos LE 30 E	30	1,67	0,16
Solaris Urbino 12	85	2,26	0,24

На фиг. 20 е показано разпределение на енергията на електробус със същата маса 14 250 kg и разход на енергия 1,02 kWh/km (2,68 kWh/100nkm или 0,29 l/100nkm).

Ако се направи сравнение при разпределението на необходимата енергия за движение на автобус и електробус (фиг. 19 и 20), може да се определи процентният дял на всяка една от съставките в общия дял енергия. Например енергията, която преодолява съпротивлението от предвижване, еднакво и за двете превозни средства (350 Wh/km), при автобуса представлява 10% от цялата енергия, а при електробуса – 35%.



Фиг. 20. Разпределение на енергията на електробус

Тролейбуси

Тролейбусите са градски превозни средства за обществен транспорт, захранвани с електрическа енергия от специално изградена захранваща въздушна мрежа над пътното платно.

Тролейбусите при средна скорост на движение 15 km/h и натоварени с 40 пътници [15] изразходват $7 \text{ kWh}/100\text{nkm}$ ($0,74 \text{ l}/100\text{nkm}$). Предварителните проучвания за разхода на енергия на същите тролейбуси, експлоатирани в град София, при средно натоварване 25 пътници показват $1,85 \text{ kWh}/\text{km}$ или $2,61 \text{ kWh}/100\text{nkm}$ ($0,28 \text{ l}/100\text{nkm}$), без отчитане разходите за експлоатация и ремонт.

В [6] се прави сравнение на разхода на енергия между тролейбуса и автобуса като превозни средства за обществен транспорт в Р България. Посочва се, че разходът на енергия на автобуса възлиза на $11,34 \text{ MJ}/\text{km}$ ($3,15 \text{ kWh}/\text{km}$), а разходът на енергия на тролейбуса $5,94 \text{ MJ}/\text{km}$ ($1,65 \text{ kWh}/\text{km}$), т.е. тролейбусът изразходва 1,9 пъти по-малко енергия. Не се посочва с колко пътници средно са натоварени превозните средства. Приблизително до тази стойност е посоченият разход на енергия $1,58 \text{ kWh}/\text{km}$ [2, 19]. Аналогични сравнения са направени в [11].

Трамваи

Трамваите за разлика от тролейбусите използват специално изграден за тях релсов път, за което са вложени допълнително капиталовложения. Това оскъпява този вид транспорт, но поради по малкото необходима енергия за предвижване и обслужване, би трябвало допълнителните съоръжения за определен срок от време да се откупят.

За развити страни като Великобритания данните за разхода на енергия на трамваите в град Лондон, включително тяхното обслужване и ремонт, достига $9 \text{ kWh}/100\text{nkm}$.

Според [2] трамвая изразходва около $2,31 \text{ kWh}/\text{km}$ за часовете с натоварен трафик, докато през часовете с нормален трафик стойността му е около $2,13 \text{ kWh}/\text{km}$. През почивните дни – около $2,00 \text{ kWh}/\text{km}$.

Метрополитен

Метрополитенът се явява най-високата степен на развитие на градския обществен електрически транспорт, характеризиращ се с висока превозна способност, бързо и комфортно пътуване, висока степен на безопасност, самостоятелност и безконфликтност на движението на влаковете в транспортната му мрежа.

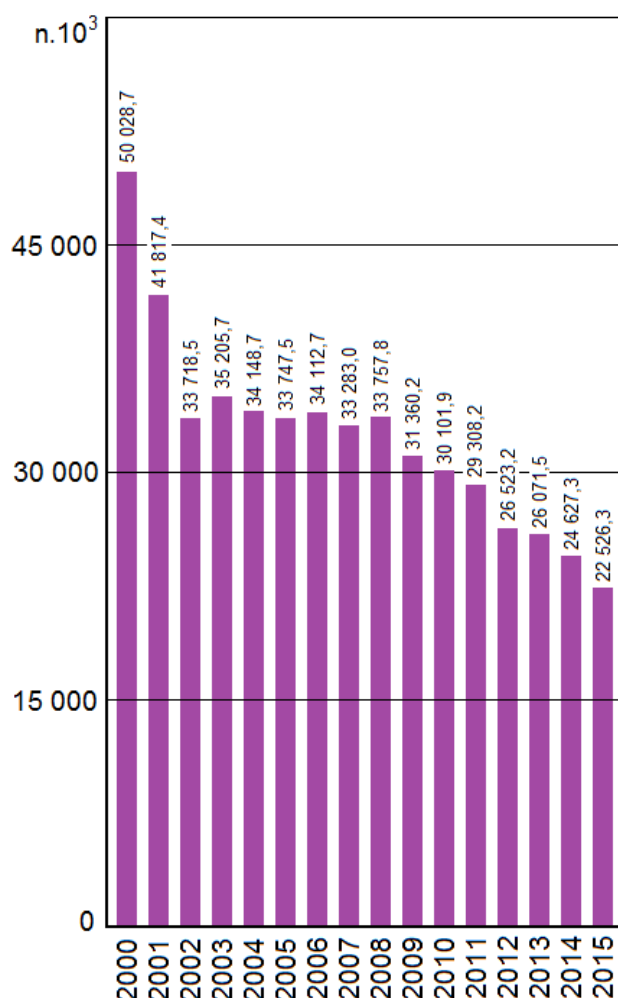
Лондонското метро има среден разход на енергия $4,4 \text{ kWh}/100\text{nm}$, а метрото в гр. Хелзинки $5,0 \text{ kWh}/100\text{nm}$. Ако се отчете общата енергия за осветление, задвижване на ескаватори, асансьори, обслужващи помещения и др. разходът на енергия за Лондонското метро възлиза почти тройно – $15 \text{ kWh}/100\text{nm}$ [15].

Високоскоростни влакове

Железопътният транспорт е екологически най-безопасният вид транспорт, по-енергоефективен е и има по-ниски вредни емисии от другите видове транспорт. Ето защо използването на този вид транспорт е един ефикасен начин да се намалят емисиите, които замърсяват околната среда и да се ограничи използването на течни горива в транспортния сектор. Още повече, че една електрифицирана железопътна система може да се използва енергия, произведена от всякакви възобновяеми енергийни източници.

Статистиката [8] показва, че в нашата страна с всяка изминала година намалява броя на превозваните пътници от железопътния транспорт (фиг. 21).

Пускането в експлоатация на високоскоростни влакове у нас може в известна степен да повиши интереса към използването им. В момента има само изградени малки участници, в които влаковете могат да се движат с максимални скорости от 160 до 220 km/h .



Фиг. 21. Превозвани пътници по години от железопътния транспорт

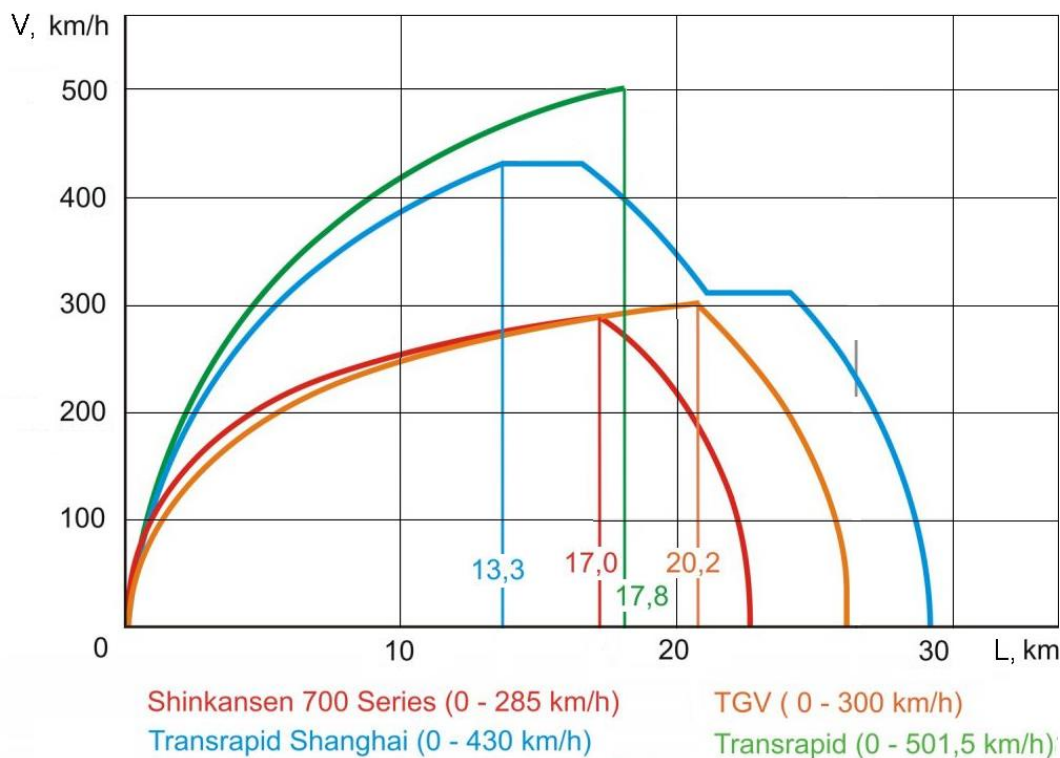
Средният разход на енергия на високоскоростни влакове с различни средни скорости на движение и брой превозвани пътници е даден в табл. 11.

Таблица 11. Специфичен разход на енергия на високоскоростни влакове

Наименование	Макс. бр. пътници	Специфичен разход на енергия	
		<i>kWh/100nkm</i>	<i>l/100nkm</i>
Siemens Combino (28 t, 27 m, LRV)	180	0,85	0,09
Siemens SD160 (42 t, 24,82 m LRV)	200	1,62	0,17
Swedish Railways X2000 (200 km/h)	320	3,71	0,39
TGV Atlantique trainset (300 km/h)	485	2,72	0,29
TGV Duplex trainset (300 km/h)	545	3,30	0,35
ICE firstgeneration trainset (280 km/h)	645	3,73	0,40
AVE 300 km/h, line Madrid-Seville	313	5,07	0,54
Transrapid train (300 km/h)	440	4,70	0,50
Transrapid train (400 km/h)	440	6,60	0,70

Световният рекорд за максимална скорост на движение за влакове на магнитни възглавници, т.н. „Maglev” влакове, е 581 *km/h*, постигната в Япония през 2003 год. [12]. „Maglev” влакът в Шанхай има максимална скорост 430 *km/h* (фиг. 22). Очаква се „Maglev” системите да запълнят скоростите на движение между класическите високоскоростни влакове и самолетите.

Най-подходящо разстояние за пътуване на системата „Maglev” с максимална скорост от 500 *km/h* е 500 – 1 500 *km*, при която времето за пътуване е в рамките на 3 – 4 часа. В този случай, времето за пътуване с „Maglev” системите може да се сравни с тази на въздушния транспорт.



Фиг. 22. Ускоряване на високоскоростни влакове

Основните причини, поради които „Maglev” влаковете имат малко по-добър енергиен разход, отколкото на ICE влаковете са: влакът има по-малка маса, тъй като повечето от елементите на системата за задвижване е в самата писта, а не на влака; полезната площ на влака е значителна по-голяма и дава възможност за разположение на повече пътници.

Въздушен транспорт

Въздушният транспорт с ясно изразени по-високи темпове от средния растеж на икономиката в световен аспект. След 1960 г. пътническият трафик всяка година нараства приблизително с 9%.

В същото време нарастват и многостранните отрицателни въздействия от въздушния транспорт върху околната среда. Глобално погледнато, това допринася за парниковия ефект и изтъняване на озоновия слой, където емисиите от самолетите са специфичен проблем.

Средният разход на енергия в $kWh/100nkm$ и еквивалентен в $l/100nkm$ на някои въздухоплавателни средства е даден в табл. 12.

Таблица 12. Среден разход на енергия на някои превозни средства за въздушен транспорт

Наименование	Макс. бр. пътници	Специфичен разход на енергия	
		$kWh/100nkm$	$l/100nkm$
Diamond DA-42 (иконом. полет)	4	29,25	3,11
Airbus A320 (2185 km дистанция)	156	29,92	3,12
Bombardier Q300 (DHC-8-300)	50	35,22	3,75
Boeing 737 (977 km дистанция)	137	35,48	3,77
Cessna 172	4	41,45	4,41
Columbia 400 (иконом. полет)	4	41,52	4,42
Columbia 400 (иконом. полет)	4	52,00	5,53
Beechcraft Duchess	4	55,25	5,88
Beechcraft King Air B-100	9	75,56	8,04
Sikorsky S-76C++ twin turb. helicopter	12	105,33	11,2
Bell Longranger IV, helicopter	6	118,00	12,2
Concorde	100	131,39	13,98

Воден транспорт

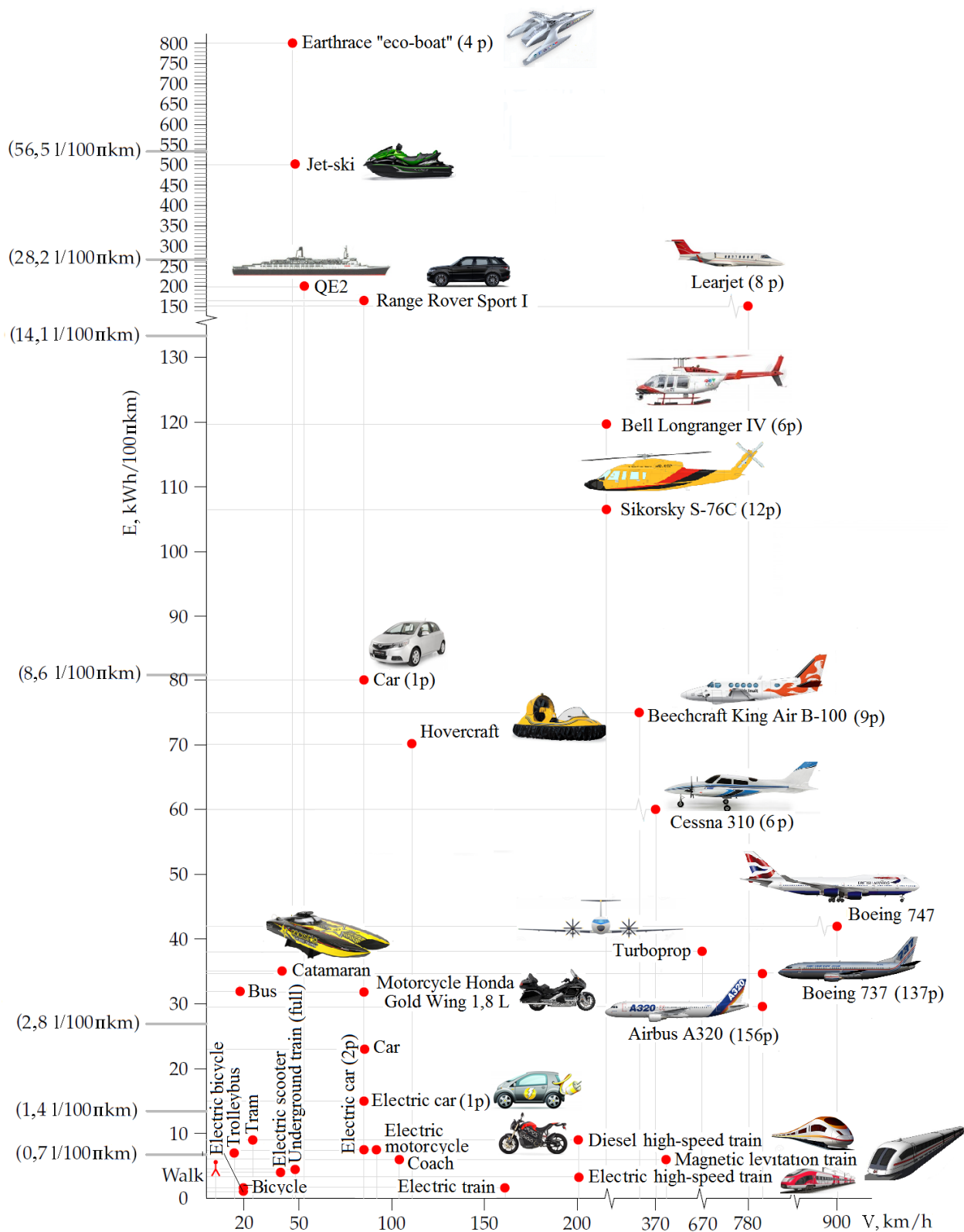
Водният транспорт е най-старият и най-евтиният вид транспорт с най-малък обем на капиталовложенията за строителство на пътнически съоръжения.

В табл. 13 е даден средният разход на енергия за някои средства за воден транспорт.

Таблица 13. Среден разход на енергия на някои средства за воден транспорт

Наименование	Макс. бр. пътници	Специфичен разход на енергия	
		$kWh/100nkm$	$l/100nkm$
Griffon 2000TD, hovercraft	25	25	2,66
Griffon 8000TD, hovercraft	80	35,1	3,73
SeaBus, Vancouver (Canada)	400	21	2,23
BC Ferries, Spirit class car ferries	2 100	40,5	4,31
Cunard Queen Mary 2 ocean liner	3 090	90	9,56

Нагледно сравнението между различни превозни средства е представено на фиг. 23.



Фиг. 23. Специфичен разход на енергия за различните типове превозни средства, в зависимост от скоростта на движение

Заклучение

Въз основа на направените проучвания и изследвания на енергийните свойства на превозните средства могат да се направят следните изводи:

- специфичният разход на енергия за предвижване на един пътник зависи от използваното превозно средство и се движи в границите от 1,00 до 131,39 $kWh/100nkm$ (0,11 – 13,98 $l/100nkm$);
- от личните превозни средства с най-нисък разход на енергия са електровелосипедите и електромобилите – 1,00 $kWh/100nkm$ (0,11 $l/100nkm$) при електровелосипедите и 1,8 до 7,0 $kWh/100nkm$ (0,19 – 0,74 $l/100nkm$) при електромобилите (максимално натоварване);
- за целия жизнен цикъл автомобилът с ДВГ е с 52% по-енергоемък и генерира 51,7% повече емисии, спрямо хибридният автомобил;
- за целия жизнен цикъл автомобилът с ДВГ е с 69,2% по-енергоемък и с 93,8% генерира повече емисии CO_2 , отколкото електромобилът с акумулаторни батерии;
- хибридният електромобил с 11,3% е по-енергоемък и с 27,7% генерира повече емисии CO_2 , отколкото електромобила;
- най-малък специфичен разход на енергия за обществен транспорт в населените места имат електробусите – от 1,06 до 2,26 $kWh/100nkm$ (0,10 – 0,24 $l/100nkm$) при максимално натоварване;
- високоскоростните влакове имат специфичен разход на енергия от 0,85 до 6,6 $kWh/100nkm$ (0,07 – 0,70 $l/100nkm$).
- при въздушния и морския транспорт специфичният разход на енергия е значително по-висок от този на високоскоростните влакове (от 4 до 15 пъти).

REFERENCES

- [1] Велков, К., О. Кръстев. Технологии и системи за управление на влаковете. Учебник за специалността ТУТ на ТУ-София, С., 2011 г.
- [2] Димитров Г., А. Христова. Анализ на тяговото електропотребление на градския електрически транспорт в гр. София и насоки за оптимизирането му. Научни трудове на РУ „А. Кънчев“ – Русе, том 51, серия 3.1, 2012, стр. 75-81.
- [3] Доклад на изпълнителна агенция по околна среда. http://eea.government.bg/bg/prev_nsmos/waste/reports/mps-10.pdf
- [4] Електрически скутери. <http://www.wendi101.com/elektricheskite-skuteri.html>
- [5] Иванов П., Е. Златанов, О. Кръстев, Симулатор за определяне на енергийна ефективност и екологично въздействие на автономни транспортни средства, VI конференция с международно участие по авиационна, автомобилна и железопътна техника и технологии “БУЛТРАНС-2014”, Созопол, 2014.
- [6] Кръстев О., В. Стоянов, Алгоритъм за енергийно-ефективно управление на локомотива с корекция на масата на влака в реално време, VII конференция с международно участие по авиационна, автомобилна и железопътна техника и технологии “БУЛТРАНС-2014”, Созопол, 2015.
- [7] Кръстев, О., К. Велков. Тягов релсов състав. Учебник за специалността ТТТ на ТУ-София, С., 2014 г.
- [8] Национален статистически институт... <https://infostat.nsi.bg/infostat/pages/reports/result.jsf>
- [9]. Относно възможностите за икономически ефективно увеличение на участието на тролейбусния транспорт във вътрешноградските пътнически превози в България. Доклад-анализ, МТИТС, 35 стр., 2012.
- [10] All Hybrid Car Models & Efficient Vehicles. <http://www.hybridcars.com/hybrid-cars-list>
- [11] Aníbal T. de Almeida, Carlos Inverno, Luís Santos. Integration of Renewable Energies for Trolleybus and Mini-Bus Lines in Coimbra. EVS24. Stavanger, Norway, May 13-16, 2009.
- [12] Antti Lajunen. Evaluation of Electric Buses. ECV national seminar on Tuesday 10.03.2015. Aalto university.

- [13] Calculation energy usage by sport. <http://www.runningtools.com/energyusage.htm>
- [14] Christopher Cherry. Electric Bike Use in China and Their Impacts on the Environment, Safety, Mobility and Accessibility. Working Paper UCB-ITS-VWP-2007-3.
- [15] David JC MacKay. Sustainable Energy – without the hot air, UIT Cambridge, Ltd. England, 2009, p. 370.
- [16] Energy Efficiency Trends in the EU. <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/overall-indicator-brochure.pdf>
- [17] Energy Consumption & Conservation ENERGY4TRAVEL Spotlight on Energy. <http://www.explorecuriosity.org/Portals/2/ActionProjects/Energy4Travel/Data%20Sources%20Reference%.pdf>
- [18] Ewa Siemionek. Analysis of Trolleybus Energy Consumption. Advances in Science and Technology Research Journal Volume 7, Issue 18, June 2013, pp. 81–84 DOI: 10.5604/20804075.1051261.
- [19] Financial Assumptions and Parameters. http://www.wisdot.info/ekonomics/index.php?title=Financial_Assumptions_and_Parameters
- [20] Hanna Kalenoja. Energy consumption and environmental effects of passenger transport modes - a life cycle study on passenger transport modes. Tampere University of Technology Transportation Engineering. 1996.
- [21] Evtimov I, R. Ivanov, G. Staneva, G. Kadikyanov. A study on electric bicycle energy efficiency. Poland, Transport Problems, 2015, vol.10, Issue 3, p.p.131-140.
- [22] Jiří Černý. Testing of Five Different Types of Electric Buses. Brno Public Transport Company, Co. (DPMB), Slovenia, 2015. http://www.civitas.eu/sites/default/files/documents/cerny_j_electric_buses_ljubljana_final.pdf
- [23] Kazunori Kojima, Lisa Ryan. Transport energy efficiency. Implementation of IEA Recommendations since 2009 and next steps, Information paper, International energy agency, 2010, p. 53.
- [24] Kimberly Aguirre, Luke Eisenhardt, Christian Lim, Brittany Nelson, Alex Norring, Peter Slowik and Nancy Tu. Lifecycle Analysis Comparison of a Battery Electric Vehicle and a Conventional Gasoline Vehicle. <http://www.environment.ucla.edu/media/files/BatteryElectricVehicleLCA2012-rh-ptd.pdf>
- [25] Liquid fuel measurements and conversions. File C6-87, October 2008. <https://www.extension.iastate.edu/agdm/wholefarm/html/c6-87.html>
- [26] Matthew A. Kromer and John B. Heywood. Electric Powertrains: Opportunities and Challenges in the U.S. Light-Duty Vehicle Fleet. May 2007. LFEE 2007-03 RP. http://web.mit.edu/sloan-auto-lab/research/beforeh2/files/kromer_electric_powertrains.pdf
- [27] M. Treiber, A. Kesting and C. Thiemann. How Much does Traffic Congestion Increase Fuel Consumption and Emissions? Applying a Fuel Consumption Model to the NGSIM Trajectory Data, 2007, pp.17.
- [28] Solaris Electric Buses experience and further development. Electrické autobusy pro město II, Brno 18.3.2014. http://www.proelektrotechniky.cz/pdf/SeminarEbusyII/Figaszewski_Solaris_Ebus.pdf
- [29] T. Starner. Human-powered wearable computing. IBM SYSTEMS JOURNAL, VOL 35, NOS 3&4, pp.618 – 629, 1996.
- [30] Ulrike Wachotsch, Andrea Kolodziej, Bernhard Specht, Regina Kohlmeyer, Falk Petrikowski. Electric bikes get things rolling. The environmental impact of pedelecs and their potential, 2014, p. 29.
- [31] What is the Tesla Model S range if you drive fast all the time? <https://www.quora.com/What-is-the-Tesla-Model-S-range-if-you-drive-fast-all-the-time>