

FRI-2.206-1-TMS-09

COMPARATIVE STUDY OF ENERGY CONSUMPTION AND ECOLOGICAL IMPACT OF MAIN TYPES OF CARS⁹

**Krasimir Minchev Kirilov – PhD
Student**

Department Engines and Vehicles,
University of Ruse “Angel Kanchev”
Tel.: +359 82 888 527
E-mail: kkirilov@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Ivan Iliev Evtimov, PhD

Department Engines and Vehicles,
University of Ruse “Angel Kanchev”
Phone: +359 82 888 527
E-mail: ievtimov@uni-ruse.bg

Prof. Rosen Petrov Ivanov, DSc

Department Engines and Vehicles,
University of Ruse “Angel Kanchev”
Phone: +359 82 888 528
E-mail: rossen@uni-ruse.bg

Abstract: : In this article analysis of the structure of Life cycle of different types of fuels is done. On the basis of the energy production for 2015 and 2020 years and energy mix of European countries an assessment of the energy consumption and GHG emissions of cars is done. LCA of cars using gasoline, natural gas, hydrogen fuel cells etc. show advantages and disadvantages of different type of vehicles, during its whole Life cycle.

Keywords: electric car, energy consumption, GHG emissions, Life cycle assessment, environmental protection

ВЪВЕДЕНИЕ

През последното десетилетие, във връзка с въздействието на производствените процеси и транспортните средства върху околната среда се търсят технически решения за намаляване замърсяването на въздуха с вредни емисии (*ICCT LCA study finds only battery and hydrogen fuel-cell EVs have potential to be very low-GHG passenger vehicle pathways*. Green Car Congress. Energy, technologies, issues and policies for sustainable mobility, 2021). Съществена помощ в тази насока могат да окажат методите за оценка въздействието на жизнения цикъл на производствените процеси върху околната среда. Изследванията в тази насока (*Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe*). European Environment Agency] за ефективността при производството на горивата и използването на транспортните средства по отношение опазването на околната среда, осветляват в определена степен насоката на развитие в тази област. Условиата на производство и експлоатация на транспортните средства са строго специфични за отделните страни, което налага да се изследват конкретните експлоатационни условия и производствени процеси на използваните горива.

В тази насока колектив от катедра „Двигатели и транспортна техника“ от Русенския университет „Ангел Кънчев“ през последните години публикува свои изследвания (Evtimov, I, R.Ivanov, H. Stanchev, G. Kadikyanov, G. Staneva , 2020) относно ефективността на автомобилите, използващи енергията на различни горива и носители на енергия. Целта на

⁹ Докладът е представен на сесията на 29 октомври 2022 с оригинално заглавие на български език: СРАВНИТЕЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПОТРЕБЛЕНИЕТО НА ЕНЕРГИЯ И ЕКОЛОГИЧНОТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ НА ОСНОВНИ ВИДОВЕ АВТОМОБИЛИ

представената работа е да се оцени разходът на енергия и вредните емисии за жизнения цикъл на автомобили използващи различни горива и електрическа енергия.

ИЗЛОЖЕНИЕ

При изследването са уточнени структурата на съответните жизненни цикли и техните етапи. Създадени са и математични модели, които са използвани за изчисленията. Изследвани са конвенционалните автомобили, използващи като гориво бензин и пропан-бутан, метан и енергията на сгъстения въздух, както и електромобили, задвижвани от енергията, съхранена в тягови акумулаторни батерии и използващи водородни горивни клетки. Ефективността е определена въз основа на вложената първична енергия и отделените вредни емисии, приведени към CO₂ (въглероден двуокис). За целта е направена оценка на целия жизнен цикъл на автомобилите – производство, експлоатация и рециклиране. Същото е направено и по отношение на използваните горива и енергийни носители.

При електромобилите с задвижване от енергията, съхранена в тяговите акумулаторни материали, е направена оценка за целия жизнен цикъл – производство на превозното средство, експлоатация и рециклиране, чрез отчитане влиянието на технологията на производство на електрическа енергия, необходима за зареждане на акумулаторните батерии.

При електромобилите с горивни клетки е изследвана ефективността при производството на електромобила и рециклирането му, експлоатацията през жизнения цикъл при различни технологии на производство на водород (H₂).

При автомобилите, използващи енергията на сгъстен въздух, оценката е направена като са спазени приетите условия на изследване, независимо, че по конструктивни причини тяхната маса е значително по-малка от масата на конвенционалните автомобили.

Тези оценки са направени въз основа на информация за енергийния микс и емисионния фактор при производство на електрическа енергия за България и Европейския съюз (The European Power Sector in 2020).

Оценката е извършена за целия жизнен цикъл, въз основа на приети международни методики и стандарти (Del Duce A, Egede P, Öhlschläger G, Dettmer T, Althaus H, Büttler T, , 2013).

При оценката на жизнените цикли на превозните средства по отношение на използваната първична енергия и отделените въглеродни емисии са приети следните условия (Evtimov. I, R.Ivanov, H. Stanchev, G. Kadikyanov, G. Staneva , 2020):

- еднакви маси на всички превозни средства;
- еднаква консумация на енергия от превозните средства – 0,210 kWh/km, което е еквивалентно на 7,6 l/100 km бензин, – 4,43 kg/100 km природен газ, 10,2 l/100km пропан-бутан;
- еднакъв пробег за целия жизнен цикъл – 290 000 km;
- еднаква енергия за производство на превозните средства – 11 900 kWh ;
- енергоемкост на акумулаторната батерия за електромобили – 60 kWh;
- ефективност на атомна електроцентрала (АЕЦ) – 29,5% ;
- ефективност на топлоелектрическа централа (ТЕЦ) с използване на въглища – 26% ;
- ефективност на ТЕЦ с използване на природен газ – 40% ;
- ефективност на ТЕЦ с използване на течни горива – 40%
- ефективност на водноелектрическа централа (ВЕЦ) – 60% ;
- натоварване на вятърните електроцентрали (ВяЕЦ) – 23%.
- натоварване на фотоволтаичните електроцентрали (ФЕЦ) – 16%.
- ефективност при производството на горивото бензин се приема – 89,1% ;
- ефективност при производството на газ пропан-бутан – 94% ;
- ефективност при производството на природен газ – 91% ,
- загуби от изтичане на природен газ – 1,5% и 7% .
- загуби при компресиране на природния газ – 3,5% .
- загуби при втечняване на природния газ – 8% .
- загуби при компресиране на водорода до 700 bars – 15,5%
- загуби при втечняване на водорода – 15,5%

- отделени CO₂ емисии от изгарянето на бензин – 240,82 g/kWh, на природен газ – 183,96 g/kWh и на пропан-бутан – 214,48 g/kWh ;
- потенциал на глобално затопляне (global warming potential – GWP) 25 ;
- емисионните фактори при производството на електрическа енергия за България и средно за страните от EU-28 за 2020 год. са приети съответно стойностите 541 и 268 g/kWh.

При оценката на жизнения цикъл на различните автомобили не са включени вложената енергия и CO₂ емисиите, генерирани вследствие транспортиране на горивата и носителите на енергия, поради различните им стойности за всяка отделна страна. Това дава възможност за по-нагледна представа на предимствата и недостатъците от използване на определен тип автомобили в дадена страна, след съответен анализ на необходимата енергия за транспортиране и отделените CO₂ емисии.

За изчисленията са използвани статистически данни за енергийния микс за двете изследвани години (табл.1). Ако анализираме посочените данни може да се отбележи, че дялът на атомната енергия и ВЕИ през 2020 год. за България е нараснал спрямо 2015 год. с 14,2% за сметка намалението на енергията от ТЕЦ. Тази промяна дава положително отражение на използваната първична енергия през жизнения цикъл, така и за отделените вредни емисии. Това се дължи на по-високата ефективност при производството на електрическа енергия от АЕЦ и ВЕИ спрямо ТЕЦ-овете, използващи като гориво въглища.

Таблица 1

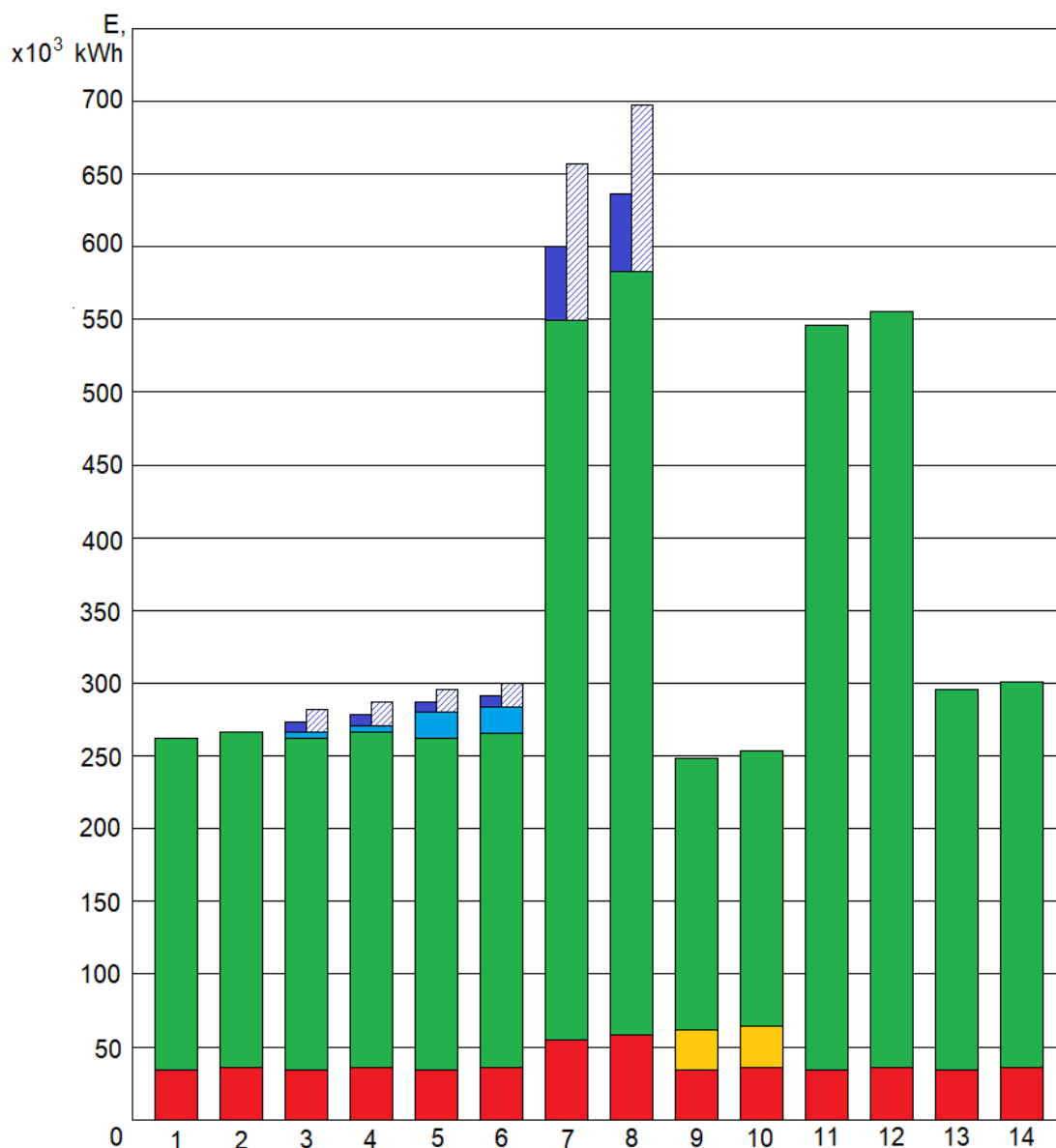
Процентен дял на различните източници на електрическа енергия за България и ЕС-28(27) за 2013 и 2020 год.

Електроцент рали	Година			
	2015		2020	
	Бълг ария	ЕС-28	Бълг ария	ЕС-27
АЕЦ	33,2	28,9	41,0	25,0
ВЕИ	17,2	28,4	23,6	37,5
ВяЕЦ	2,4	8,0	4,0	15,0
ФЕЦ	2,7	3,7	5,4	5,0
ВЕЦ	11,6	11,7	13,7	12,0
Биоенергия	0,5	5,0	0,5	5,5
ТЕЦ	49,6	42,7	35,4	37,5
Твърди горива	48,7	18,9	30,3	13,2
Природен газ	0,7	14,0	5,0	23,8
Течни горива	0,2	9,8	0,1	0,5

За ЕС-27 дялът на енергията от ВЕИ е нараснала с 10,8% за сметка намалението на дела на енергията от АЕЦ и ТЕЦ. Но нарастването на енергията от ТЕЦ-вете с природен газ, независимо от общото намаление на дела на ТЕЦ-вете дава отражение на намаление на първичната енергия поради по-високата ефективност при използване на газообразното гориво. Нарастването на дела на ВЕИ на 37,5% се дължи главно на нарастването на дялът на слънчевата и вятърна енергия.

Резултатите за изразходваната първична енергия и отделените вредни емисии за целия жизнен цикъл на автомобили, по данни за България и ЕС-27 за различните етапи, са дадени на фиг. 1 и 2.

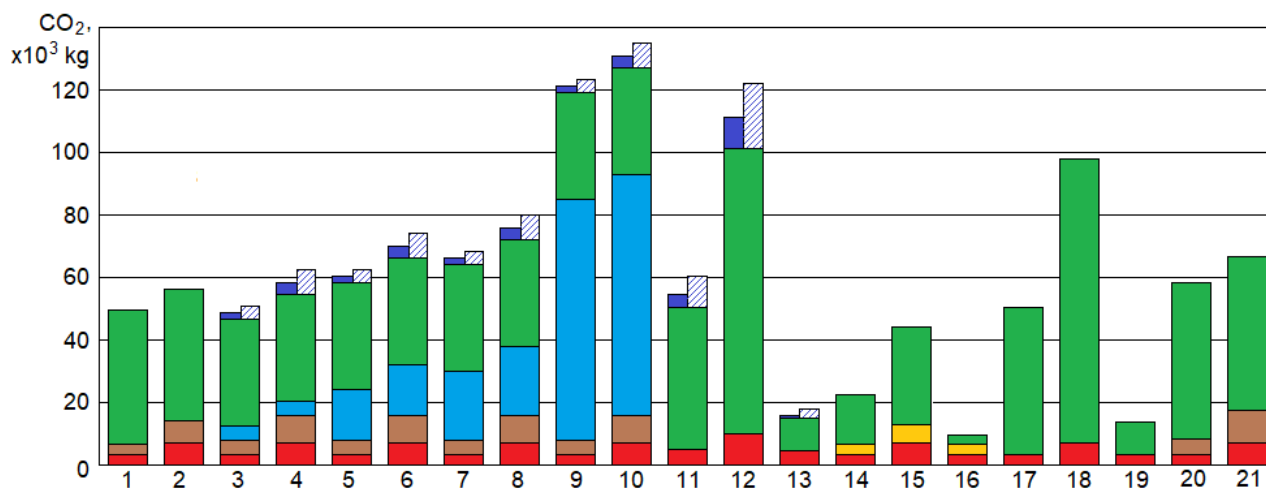
Анализът на резултатите на фиг. 1 показва сравнително малката разлика между първичните енергии на ЕС-27 и България. Тава се дължи на сравнително близката обща ефективност при производство на електрическа енергия. За България тази ефективност е 32,28%, а за ЕС-25 – 34,25. Тази разлика в ефективността на производство на електрическа енергия спрямо 2015 год. е била два пъти по-голяма. Това се дължи на значително увеличение на използваната слънчева и вятърна енергия, при които коефициентът на



Фиг. 1. Изразходвана първична енергия и отделени вредни емисии за различните видове автомобили, произвеждани и експлоатирани средно за страните от ЕС-27 и България за 2020 г.:

- производство на превозните средства;
- производство на горивата и електрическа енергия;
- изтичане на природния газ;
- съгъстяване на природния газ;
- втечняване на природния газ;
- производство на акумулаторните батерии

1 и 2 – автомобили с гориво пропан-бутан в ЕС-27 и България; 3 и 4 – автомобили с гориво природен газ (метан) при изтичане на горивото 1,5% в ЕС-27 и България; 5 и 6 – автомобили с гориво природен газ (метан) при изтичане на горивото 7% в ЕС-27 и България; 7 и 8 – електромобили с горивни клетки в ЕС-27 и България; 9 и 10 – електромобили с литиеви батерии в ЕС-27 и България; 11 и 12 – автомобили с използване енергията на компресиран въздух в ЕС-27 и България; 13 и 14 – автомобили с гориво бензин в ЕС-27 и България



Фиг. 2. Въглеродни емисии за жизнения цикъл на различните превозни средства за 2020 г.:

- емисии от производство на превозните средства;
- емисии от производство на горивата;
- емисии по време на експлоатация;
- емисии от изтичане на природния газ;
- емисии следствие съгъстяването на природния газ;
- емисии следствие втечняването на природния газ;
- емисии от производство на акумулаторните батерии;

1 и 2 – с пропан-бутан за ЕС-27 и България; 3 и 4 – с природен газ и изтичане 1,5% (ПГЗ=25) за ЕС-27 и България; 5 и 6 – с природен газ и изтичане 1,5% (ПГЗ=86) за ЕС-27 и България; 7 и 8 – с природен газ и изтичане 7% (ПГЗ=25) за ЕС-27 и България; 9 и 10 – с природен газ и изтичане 7% (ПГЗ=86) за ЕС-27 и България; 11 и 12 – с водород за ЕС-27 и България; 13 – с водород и емисионен фактор 58 g/kWh за ЕС-27; 14 и 15 – електромобили с литиеви батерии в ЕС-27 и България; 16 – електромобили и емисионен фактор 58 g/kWh; 17 и 18 – съгъстен въздух за ЕС-27 и България; 19 – съгъстен въздух и емисионен фактор 58 g/kWh; 20 и 21 – бензинови автомобили в ЕС-27 и България

натоварване на електроцентралите е твърде нисък (табл. 2.1). Освен това у нас производството на електроенергия от АЕЦ е нараснало се с 7,8%, за страните от ЕС-27 е намаляло с 3,9%.

Най-много първична енергия е необходима за автомобилите с горивни, използващи водород и автомобилите използващи енергията на компресиран въздух. Най-малко първична енергия през целия жизнен цикъл използват електромобилите, следвани от автомобилите с гориво пропан-бутан.

Най-голям разход на първична енергия имат електромобилите с горивни клетки, поради реализиране най-големи загуби в жизнения етап. Разликата в първичната енергия между бензиновите автомобили и електромобилите също се дължи на по-големите загуби при отделните етапи от жизнения цикъл на автомобилите. Например сравнително ниската ефективност при изгаряне на горивото в цилиндрите на двигателя (сравнително ниския к.п.д.) на бензиновия двигател. Каква част от първичната енергия се пада на изминат път 1 km е дадено в табл. 2.2.

Обикновено количеството на отделените вредни емисии на парникови газове (g CO₂e/kWh) се определят като директни емисии, само на етапа на изгаряне на горивото. Но ако се отчетат загубите, свързани с целия жизнен цикъл на ниво ниско напрежение в мрежата [24], емисионният фактор за 2020 год. на ниво ниско напрежение в мрежата за EU-27 ще бъде 327 g/kWh, а за България – 556 g/kWh.

Използвайки математичните модели и приетите условия за извършване оценка на жизнения цикъл по отношение на отделянето на вредни емисии на различните видове мобилни средства, се определени общите количества вредни емисии за приетия пробег за жизнения цикъл от 290 000 km.

Като база за сравнение на отделените вредни емисии на превозните средства се приемат емисиите, отделяни от класическия бензинов автомобил. Отделянето на вредни емисии от бензиновите автомобили при един и същи разход на гориво варира около 60 000 kg за изминат пробег от 290 000 km. Това вариране основно се дължи на енергийния микс на дадена страна, от който зависи отделянето на емисии при производството на автомобила и горивото. За нашата страна за 2020 год. От бензиновите автомобили, за приетите условия за оценка на жизнения цикъл, се отделят вредни емисии, приведени към въглероден двуокис (CO₂) 67 140 kg, а средно за страните от ЕС-27 – 58 440 kg, разлика в 13%.

Отделените въглеродни емисии от автомобилите с гориво пропан-бутан за целия жизнен цикъл за 56 150 kg за България и 49 600 kg средно за страните от ЕС-27. Това са съответно 16,4% и 15,2% по-малко отделени емисии в България и средно за страните от ЕС-27 по отношение на въглеродните емисии, отделени от бензиновите автомобили.

По-сложно стоят нещата с използването на природния газ (метана) като гориво. Сложността идва от изтичането му в атмосферата по време на добиване и експлоатация. А неговото влияние по отношение глобалното затопляне е десетки пъти по-голямо от въглеродния двуокис. Методиките, по които се прави оценка на жизнения цикъл на горивата са определили изтичане в рамките 1,5% от годишния добив и ППЗ=25. Природният газ произвежда променлива и несигурна част от дължимите емисии на парникови газове до изтичане в атмосферата през жизнения му цикъл. В различни източници е посочено (базирано на 26 публикации за периода 2012 – 2015 г.), че загубите на метан от изтичане в атмосферата варира твърде широко (от 0,2 до 17,3%).

Потенциалите за глобално затопляне ППЗ (Global warming potentials – GWP), са въведени, за да позволят сравнения на въздействието на парниковите газове. ППЗ на даден газ е мярка за това колко енергия (топлина) газът ще абсорбира в атмосферата за даден период от време в сравнение с колко топлина би абсорбирало същото количество CO₂. Колкото по-голям е ППЗ, толкова повече парниковият газ ще затопли Земята в сравнение с CO₂. Тъй като въглеродният диоксид е базовата линия, с която се сравняват другите газове, той има ППЗ=1.. Ако газът метан има ППЗ=86, това означава, че един тон метан произвежда същото средно затопляне колкото 86 тона CO₂. Различните газове се задържат в атмосферата за различни периоди от време. Сравнението между газовете трябва също да се основава на тези периоди от времена. Докато CO₂ може да остане в атмосферата с векове, но метанът остава много по-малко време в атмосферата по естествени причини. В резултат на окисление и няколко други процеси, протичащи в атмосферата, метанът остава в атмосферата средно около 12 год. Това означава, че ако се разработва проект за приложението на природния газ в някои производствени процеси за период от 20 години, то трябва да отчетем влиянието му върху глобалното затопляне за период от 32 год.

В проучване през 2009 год. учени от НАСА и Колумбийския университет, изследователите са оценили редица атмосферни процеси и изчислили, че потенциалът на метана за глобално затопляне може да бъде от 79 до 105 пъти по-голям от CO₂ за период от 20 години. Анализирайки ППЗ на метана за 100 години, те са заключили, че ППЗ на метана е 26 до 41 пъти по-висок от CO₂. Най-новият доклад на Междуправителствения панел по изменение на климата (IPCC) оценява 20-годишната стойност на GWP на метана на 86 и 100-годишната GWP на 34.

По принцип отделянето на емисии от метана на етапа изгаряне в ДВГ е значително по-малко от това на бензина (25% и повече). Но изтичането му в атмосферата, допълнителното замърсяване от компресирането и втечняването му, реално стопяват предимството му на етапа изгаряне и дори двойно повече да оказва въздействие на глобалното затопляне при изтичане 7% и ППЗ=86. Но въз основа на възприетите норми в методиката за определяне интензитета на емисиите на парникови газове от целия жизнен цикъл на горивата и енергията от небиологичен произход в транспорта и загубите от изтичане на природния газ 1,5% от Агенцията за опазване на околната среда (Environmental Protection Agency - EPA) в САЩ, то природният газ дори втечен отделя по-малко със 7% от бензиновите автомобили

при ПГЗ=25 за България и 3,4% за страните от ЕС-27. При ПГЗ=86 и изтичане на природния газ 1,5% вече загубва предимството си по отношение на отделяните въглеродни емисии.

По отношение делът на замърсяване на автомобилите с горивни клетки на този етап на развитие на технологиите за производство на водород чрез електролиза и посочения емисионен фактор за България, тези електромобили замърсяват с над 80% при използване на втечен водород и 65% при използвана на компресиран водород спрямо бензиновите. Резултатите за страните от ЕС-27 показват едно много по-благоприятно положение – разликата е минимална и може да се възприеме едно значително подобрене сравнено с резултатите през 2015 год. Тогава електромобилите с горивни клетки са замърсявали с 80% повече, отколкото бензиновите автомобили. Ако водородът се произвежда от енергията на фотоволтаичните електроцентрали (колонка 13 на фиг. 2), то електромобилите с горивни клетки близо 3,5 пъти замърсяват по-малко от колкото бензиновите автомобили.

Благоприятно е положението и с електромобилите с литиеви акумулаторни батерии. Развитието на технологиите на производство и намаленият емисионен фактор при производството на електрическа енергия дават огромно предимство на електромобилите спрямо бензиновите автомобили по отношение на отделените въглеродните емисии. За нашата страна електромобилите отделят с 1/3 по-малко емисии, отколкото бензиновите автомобили, а за страните от ЕС-27 над 62% или близо 2/3 отделят по-малко въглеродни емисии. Още по-благоприятни са резултатите при зареждане на акумулаторните батерии с енергия, произведена от ФЕЦ (колонка 16 на фиг. 2), което може да намали емисиите само от зареждане на акумулаторната батерия на 5 пъти спрямо отделянето на вредни емисии при сегашния енергиен микс на ЕС-27 и съответно 10 пъти за България.

Относно проблемите с автомобилите, използващи компресиран въздух, темата беше актуална преди малко повече от 10 години. Поради проблемите със сравнително малкия пробег, който може да се реализира с тях, приложението им е оправдано само за градски и крайградски условия на движение. Предимството им е огромно, особено при използване енергията от ФЕЦ за зареждане на бутилките с компресиран въздух.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на резултатите и анализа, може да се направят следните изводи:

1. Количеството първична енергия, необходима за производство на превозните средства, горивата и електрическата енергия зависи от ефективността на производство на електрическата енергия. За България през 2020 год. тази ефективност е 32,28%, а средно от страните ЕС-27 – 34,25%. Следователно България влага с близо 2% повече първична енергия в производствените процеси.

2. С ежегодното намаляване на емисионния фактор, предимството на електромобилите пред бензиновите автомобили все повече нараства, което е предпоставка за ускорено развитие на технологиите за производство на електрическа енергия от ВЕИ. Използване на енергията от ВЕИ открива широки перспективи за използване на електромобилите като екологично превозно средство с пъти по-малко емисии от бензиновите автомобили.

3. Използване на енергията от ВЕИ даде възможност да се търсят пътища за нарастване делът на електромобилите с горивни клетки в автомобилния парк, което има възможност за намаляване на емисиите спрямо автомобилите до 5 пъти.

4. Използването на автомобили с гориво пропан-бутан вместо бензин е една от възможностите за намаляване на въглеродните емисии с над 15%, което като задача в борбата за по-чист въздух не е за пренебрегване.

5. Използването на природния газ (метана) като гориво в автомобилите при отчитане реалните условия на експлоатация и реалното му въздействие върху глобалното затопляне може да окаже като гориво с най-висок дял в тези процеси – над 2 пъти по силно въздействие спрямо в бензиновите автомобили.

БЛАГОДАРНОСТИ

Изследванията са финансово подкрепени от договор по ФНИ на Русенски университет "Ангел Кънчев" No 2022-ФТ-03.

REFERENCES

Evtimov, I, R.Ivanov, H. Stanchev, G. Kadikyanov, G. Staneva. (2020). Energy efficiency and ecological impact of the vehicles. *Ecology in Transport: Problems and Solutions*. © Springer Nature Switzerland AG 2020, ISBN 978-3-030-42322-3 ISBN 978-3-030-42323-0 (eBook)

Del Duce A, Egede P, Öhlschläger G, Dettmer T, Althaus H, Bütler T, Szczechowicz E (2013) *Guidelines for the LCA of electric vehicles*. http://www.elcar-project.eu/fileadmin/dokumente/Guideline_versions/eLCAr_guidelines.pdf

Share of electricity from renewable sources 2020.

https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Table_2_share_of_electricity_from_renewable_sources_2020.PNG

Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe. European Environment Agency.

<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-electricity-production-3/assessment>

ICCT LCA study finds only battery and hydrogen fuel-cell EVs have potential to be very low-GHG passenger vehicle pathways. Green Car Congress. Energy, technologies, issues and policies for sustainable mobility, 2021.

<https://www.greencarcongress.com/2021/07/20210721-icct.html>

The European Power Sector in 2020. AN ANALYSIS BY Agora Energiewende Anna-Louisa-Karsch-Straße 2 | 10178 Berlin | DE, 202/02-A-2021/EN, Publication date: January 2021.

<https://ember-climate.org/app/uploads/2022/01/European-Power-Sector-in-2020.pdf>