

FRI-2G.302-1-CSN-08

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF AN URBAN CONCEPT VEHICLE POWERED BY HYDROGEN FUEL CELL

Assoc. Prof. Georgi Hristov, PhD

Department of Telecommunications,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: 082 888 663
E-mail: ghristov@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Plamen Zahariev, PhD

Department of Telecommunications,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: 082 888 663
E-mail: pzahariev@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Ivan Beloev, PhD

Department of Transport,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: 082 888 605
E-mail: ibeloev@uni-ruse.bg

Assist. Prof. Diyana Kinaneva, PhD

Department of Telecommunications,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: 082 888 353
E-mail: dkyuchukova@uni-ruse.bg

Eng. Jordan Raychev, PhD Student

Department of Telecommunications,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: 082 888 353
E-mail: jraychev@uni-ruse.bg

Abstract: *To reduce the levels of harmful emissions and to minimize the noise pollution, many leading countries have started pilot project and initiatives for the gradual transition to electrical vehicles or vehicles powered by alternative fuel sources, including natural gas, hydrogen, propane, biofuels and methanol. The focus of this paper is to present the design, development and evaluation stages from the construction process of a hydrogen fuel cell powered vehicle, which is being created by students from the University of Ruse, Bulgaria.*

Keywords: *Alternative fuel sources, Electric vehicles, Hydrogen fuel cell, Vehicle prototype*

JEL Codes: *R*

ВЪВЕДЕНИЕ

Търсенето на енергия в глобален мащаб ще се удвои до 2050 г., в резултат на нарастването на населението и рязкото увеличаване на неговите потребности. Същевременно заплахата от климатичните промени ще се задълбочи. Ще се наложи да се вземат мерки за транспортиране на растящия брой хора и стоки по възможно най-чистият познат метод. Основният недостатък на конвенционалния вид автомобилен транспорт е силно негативното му въздействие върху околната среда. Това може да се разглежда в няколко основни аспекта: изхвърляне на вредни вещества, източник на шум, консумиране на огромни количества течни горива. С цел повишаване на информираността, знанието и разбирането на заинтересованите

страни и обществеността за практически приложими и научно обосновани начини за прилагане на транспортни средства с алтернативни горива през 2016 година в Русенски университет се създава студентски клуб „HydRU Racing Team”. Основната цел на студентския отбор е участие в международни и национални форуми със състезателен характер, които ще популяризират актуалността и значимостта на автомобилите задвижвани с алтернативни източници на енергия.

РАБОТЕН ПРОЦЕС И РАЗРАБОТВАНЕ НА АВТОМОБИЛ ЗАДВИЖВАН С ВОДОРОДНА КЛЕТКА

В процеса по разработване на автомобила участие взимат над 60 студента, докторанта, преподаватели и технически персонал от 5 факултета на Русенски университет. Първата фаза е свързана с анализ опыта на водещите отбори в различните енергийни категории на автомобилите от градски тип, които взимат участие в състезанието през последните 3 години.

Основната цел, която преследва отбора, е да се използват достъпни материали и технологии съобразени с разполагаемия бюджет, за създаване на конкурентноспособен прототип на градски автомобил за участие на европейските финали на Shell Eco Marathon – Europe 2019. За изпълнение на целта, студентите се разделят на работни екипи, които се състоят от представители на различни специалности на университета с цел оптимизация на работния процес. Крайния резултат от работата на екипа е идейни скици на шасито и купето на автомобила с определяне и изследване динамичните характеристики на материалите, които могат да се използват за изработване на автомобила. За пръв път е взето решение шасито да бъде от хибриден тип, като елементите на окачването са интегрирани в долната част на самото купе (фиг.1а). Новост за отбора е използване на вакуумни ламинатни технологии с използване на карбонов плат и ламинатни смоли за изработка на купето на автомобила. Благодарение на това е достигнато до 15% намаляване на теглото на самото купе в сравнение с модела от 2018 година.



А) Шаси на автомобила



Б) Външен вид на автомобила

Фиг. 1 Шаси на автомобила (А) и дизайн на купето (Б)

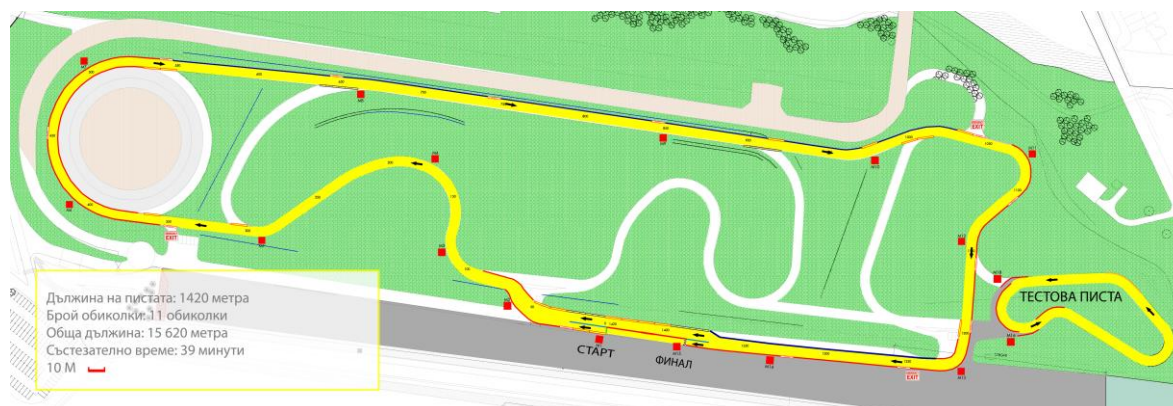
За изработката на голяма част от детайлите по купето и интериора на автомобилите са използвани вакуумни ламинатни технологии (фиг. 2). За изработка на детайлите се използва карбонов плат 600gr/m² и ламинатна епоксидна смола Sika CR82, която се характеризира с изключително добра устойчивост на външни въздействия и широк температурен диапазон.



Фиг. 2 Подготовка на интериорни и екстериорни детайли за изработка с използване на вакуумни ламинатни технологии

ПОЕКТИРАНЕ И АНАЛИЗ НА ДИНАМИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И НА АВТОМОБИЛА ЗАДВИЖВАН С ВОДОРОДНА КЛЕТКА

Определянето на максималната скорост на движение на прототипа е в основата на всички останали изчисления за оразмеряване на задвижването на автомобила. Данните които са използвани са предоставени от организаторите на събитието и са представени на фиг. 3.



Фиг. 3 Информация за състезателната писта предоставена от организаторите

Крайния резултат на проектирането е създаване на прототип на автомобил от градски тип, който се задвижва от алтернативен източник на енергия (водородна клетка) и използва възможно най-ефективните компоненти съпоставени с тяхната цена. Подборът на всеки един от компонентите е свързан с крайната енергийна ефективност на проектирания прототип. Енергийната ефективност може да бъде изчислена по формулата:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (1),$$

където P_{out} е изходящата мощност, а P_{in} е входящата;

При определяне на динамичните характеристики, трябва да бъдат взети под внимание 4 основни сили, които действат на автомобила при неговото движение: силата на ускорението, която е съпътствана с три противоположни момента създадени в резултат на въздушното съпротивление, съпротивлението при търкаляне на гумите и съпротивлението от изкачване. Загубите причинени в резултат на въздушното съпротивление и съпротивлението при търкаляне са невъзобновяеми, докато загубите причинени от изкачване и ускорение са в частност възобновяеми. Силата която се противопоставя на движението на превозното средство се състои от две компоненти: съпротивление от формата на автомобила и съпротивление от триене с молекулите на въздуха и повърхността на превозното средство. Тази сила може да бъде изразена със следната формула:

$$F_a = \frac{1}{2} \delta C_d A v^2 \quad (2),$$

където: δ (кг/м³) е плътност на въздуха, C_d е аеродинамичен коефициент зависещ от формата на превозното средство, A (м²) площта на най-широкото сечение на колата, а v (м/сек) е скоростта на движение.

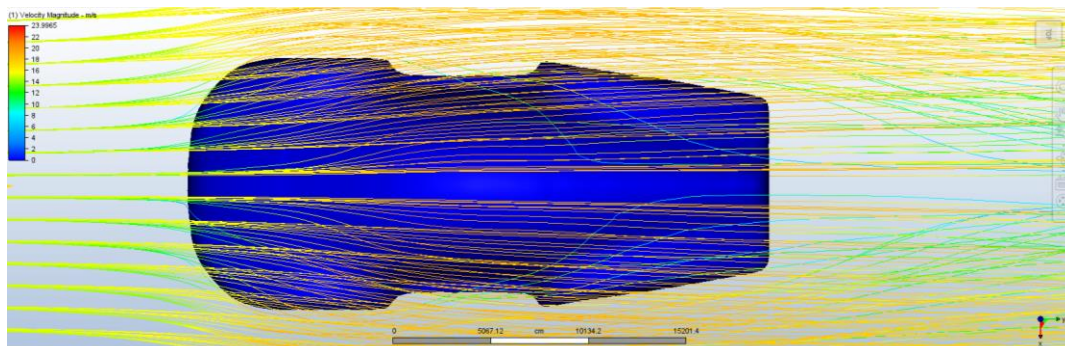
Аеродинамичния коефициент варира между 0,15 и достига до 0,50 за колите с лоша аеродинамична форма. Когато автомобила се движи се създават две зони: една в челната част където въздушното налягане е високо и една в задната част където въздушното налягане е ниско, именно тези две зони са причината за появата на резултантния ефект, а именно противопоставянето на линейното движение на автомобила. Използвайки общите уравнения за аеродинамично съпротивление и съпротивление при търкаляне, може да се изчисли необходимата мощност за поддържане на средна скорост:

$$P_{rolling} = C_r (m_v + m_d) g \frac{S_v}{3,6} \quad (3)$$

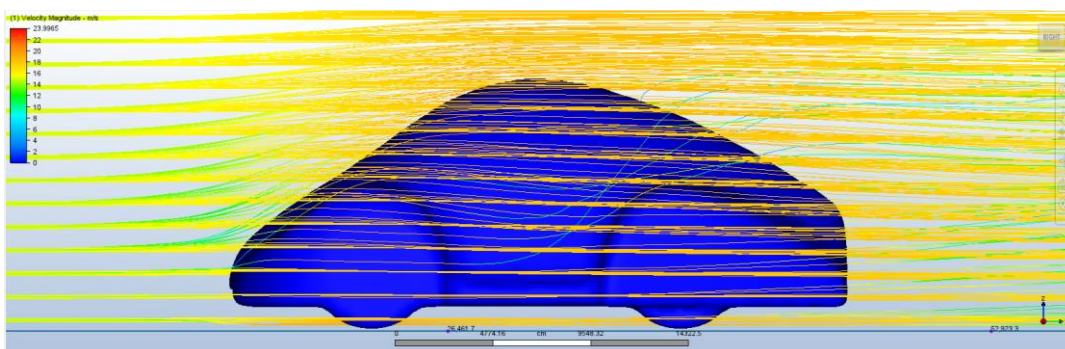
$$P_{drag} = \frac{1}{2} \delta C_d A v \frac{S_v}{3,6} \quad (4)$$

$$P_{vel} = P_{rolling} + P_{drag} \quad (5)$$

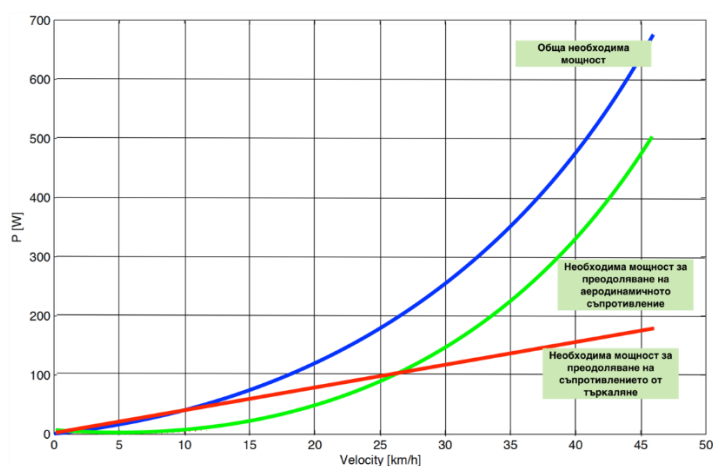
Въз основа на направения анализ е извършено моделиране с помощта на методите на изчислителната динамика на флуидите и посредством получените резултати е определена необходимата мощност на автомобила за участие и изпълнение на поставените условия в състезанието.



(A)



(B)

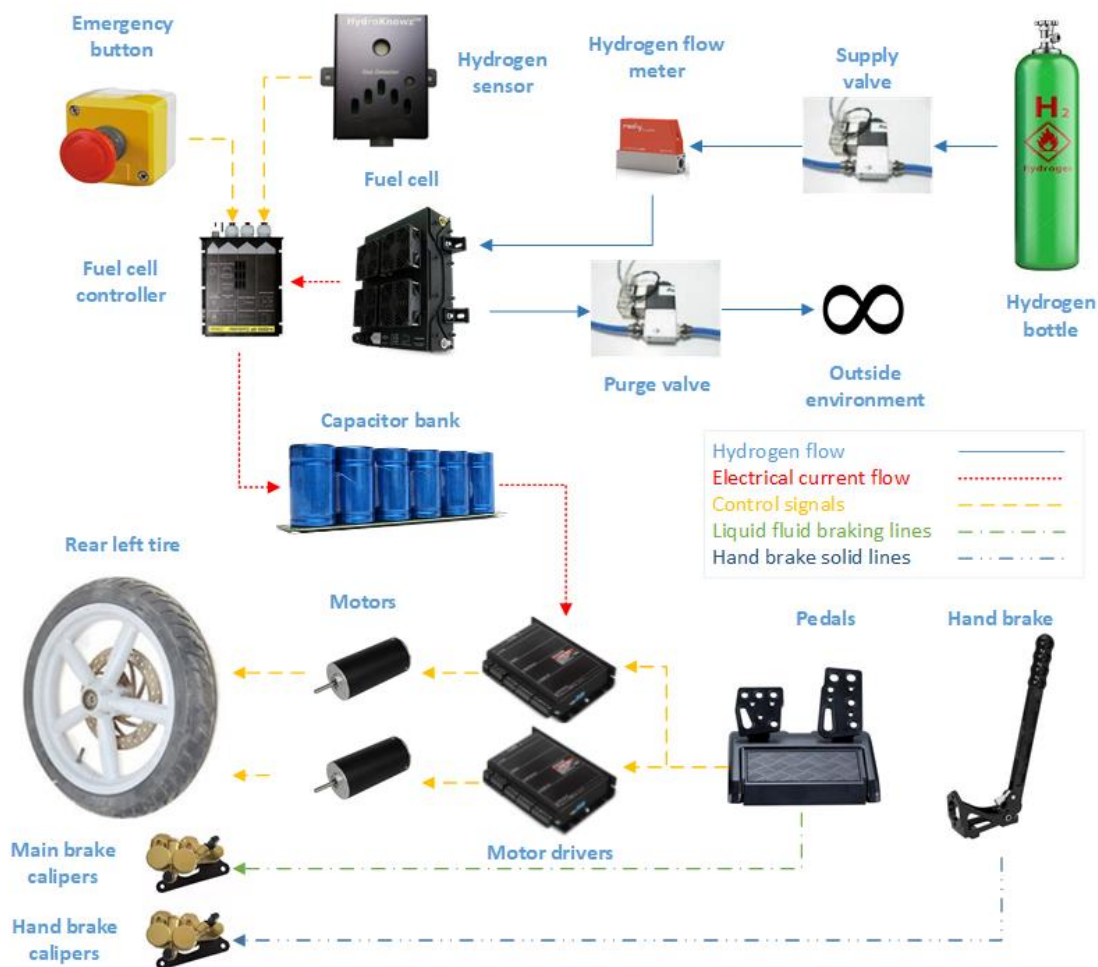


(B)

Фиг. 4 Аеродинамичен анализ (А,Б) и обобщени резултати за необходимата мощност на автомобила (B)

На фиг. 5 е показана задвижващата диаграма на проектирания автомобил. В нейната основа е водородната горивна клетка, която преобразува химичната енергия на окисляването на водорода в електрическа енергия. Устройството на горивните елементи е подобно на това

на галваничните елементи (батерии) с основната разлика, че е проектирано за непрекъснато подаване на консумираните реагиращи вещества [4,7]. Реактантите, използвани в горивната клетка (горивния елемент) са водород, подаван на анодната страна и кислород (от въздуха) на катодната страна (водородна клетка). Типично за горивните клетки е, че реагиращите вещества се подават, а продуктите от реакцията, се произвеждат непрекъснато и по такъв начин се осъществява дълготраен процес на производство на енергия, с виртуална продължителност, равна на продължителността на подаване на флуидите. Използваната водородна клетка е с мощност 1000 W, с максимално изходно напрежение без товар до 50 V (номинално напрежение под товар 36V). Горивните клетки не могат да складираат енергията като акумулатор, но при комбинирането им със супер кондензатори, се получават системи за съхранение на енергия [5]. Работната ефективност на подобни системи (превърщащи електрическа енергия във водород и обратно) е около 40%, но теоретично може да достигне над 60%.



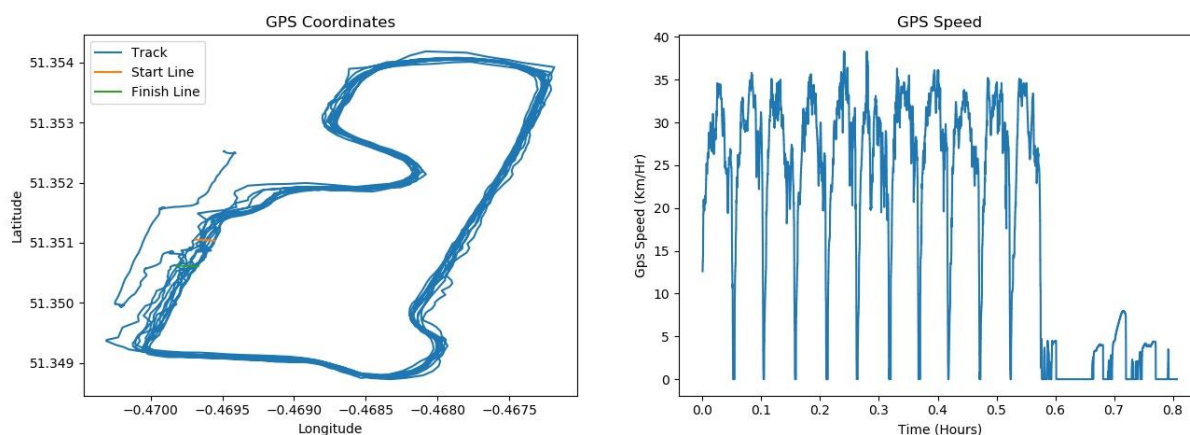
Фиг. 5 Задвижваща диаграма на автомобила

РЕЗУЛТАТИ ОТ ТЕСТВАНЕТО НА АВТОМОБИЛА

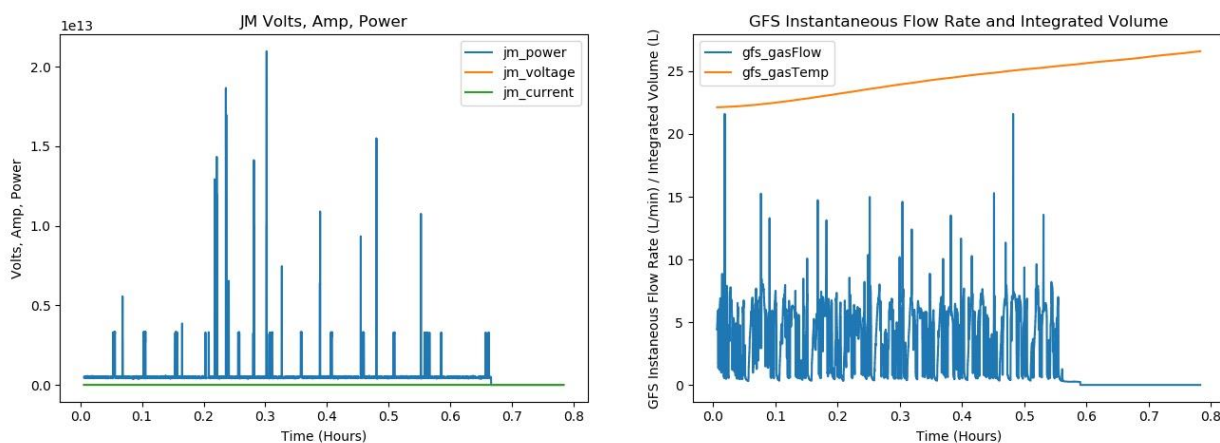
Получените резултати са резултат от опити, които са съобразени с изискванията на състезанието, което има изключително строги изисквания, които не могат да бъдат нарушавани. Сред тези изисквания е и максималното време за завършване на необходимия брой обиколки и следователно минималната скорост. Минималната скорост, зададена от организатора на състезанието, е 25 км / ч, но взимането на необходимите спирки ще доведе до увеличаване на скоростта на 27 км / ч, както е посочено в предходния раздел.

Всички параметри при движението на автомобила се регистрират от телеметрична система, която е в състояние да извлича всички данни за движението (координати, скорост, ускорение и др.) и пълна статистика за консумацията на енергия на автомобила. На фиг. 6, 7 -

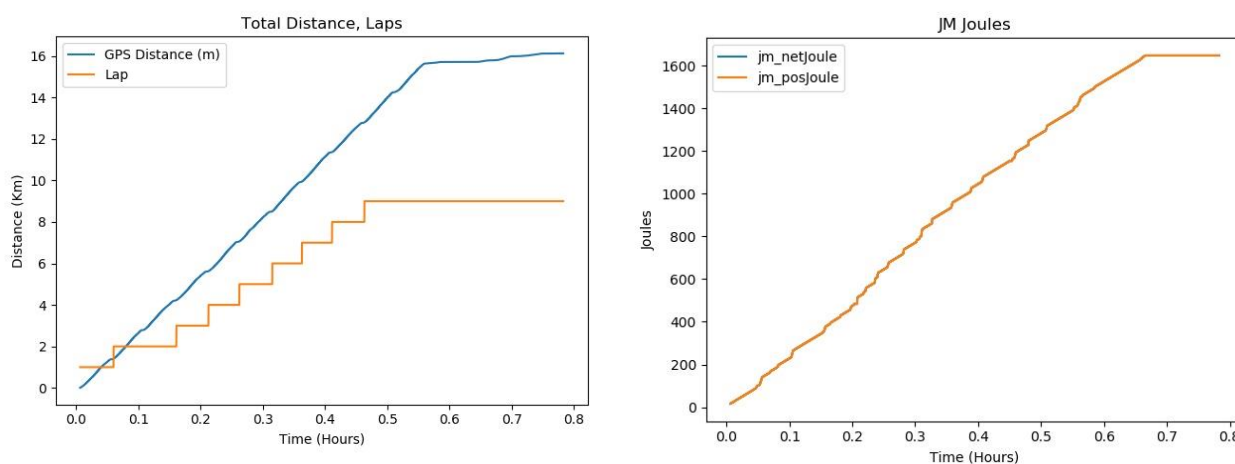
8 е показана траекторията на движение, скоростта, консумацията на бордовата електроника и разхода на водород, която е засечена от телеметричната система монтирана на автомобила.



Фиг. 6 Траектория на движение (А) и скорост на автомобила км/час (Б)



Фиг. 7 Консумация на бордовата електроника (А) и разход на водород L/min (Б)



Фиг. 8 Брой обиколки и разстояние в km по GPS (А)
и изразходвана енергия/обиколка J (Б)

От анализа на резултатите (фиг. 6 - 8), могат да се направят два основни извода: автомобила притежава добри динамични характеристики и преодолява денивелацията на пистата с минимален разход на енергия, най-големия разход на енергия (фиг. 6 Б) се използва

за ускоряване на автомобила при неговото потегляне и достигане до минимална скорост около 27~30 км/ч.

ИЗВОДИ

За компенсиране на значителния разход на енергия при потегляне на автомобила, ще се търсят решения в две основни насоки: реализиране на предавателна кутия с възможност за промяна на предавателното отношение при предаване на въртящия момент от двигателите и прилагане на концепция за електромеханична схема за рекуперативно (генераторно) спиране, с цел използване на енергията от спиране за намаляване на необходимата енергия при потегляне. В бъдеще отборът планира създаване и прилагане на електромеханична схема за рекуперативно (генераторно) спиране. С това отборът ще се стреми да постигне по-добри резултати в следващото състезание и да завоюва място в челната тройка. Във връзка с изграждането на специализирана лаборатория отборът предвижда закупуване на специализиран робот, който ще допринесе за изработването на голяма част от детайлите за колата. Така ще се избегне използването на външни фирми, които биха оскъпили цялостното изграждане на новия автомобил.

ACKNOWLEDGMENTS

This paper is supported by the National Scientific Program "Information and Communication Technologies for a Single Digital Market in Science, Education and Security (ICTinSES)", financed by the Ministry of Education and Science of Bulgaria. The paper reflects partially some of the results received during the implementation of Projects 2019-RU-06 and 2019-FEEA-03, funded by the Scientific and Research Fund of the University of Ruse "Angel Kanchev".

REFERENCES

- [1]. A. Sciarretta and L. Guzzella, Vehicle propulsion systems: introduction to modeling and optimization, 2nd ed. Springer, 2007;
- [2]. Austin Hughes, Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications, 3rd edition, Elsevier Ltd, 2006;
- [3]. Lennart Harnefors, Control of Variable-Speed Drives, Applied Signal Processing and Control, Department of Electronics, Mälardalen University, Libris, Västerås 2002
- [4]. Mehrdad Ehsani, Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles - Fundamentals, Theory, and Design, CRC Press LLC, Boca Raton 2005;
- [5]. Michael H. Westbrook, The Electric Car: Development and Future of Battery, Hybrid and Fuel-Cell Cars, Institution of Engineering and Technology, 2001
- [6]. Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins, POWER ELECTRONICS, Converters, Applications and Design, 3rd edition, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken New Jersey, 2003;
- [7]. Robert Bosch GmbH, Automotive Handbook, 5th edition, Society of Automotive Engineers (SAE), Stuttgart 2000;
- [8]. www.maxonmotor.com/medias/sys_master/root/8830469865502/2018EN-133.pdf