

FRI-2G.302-1-CSN-13

---

## DEVELOPMENT AND EVALUATION OF AN URBAN CONCEPT VEHICLE POWERED BY ALTERNATIVE FUEL SOURCE<sup>13</sup>

---

**Assoc. Prof. Georgi Hristov, PhD**  
Department of Telecommunications,  
“Angel Kanchev” University of Ruse  
Tel.: 082 888 663  
E-mail: [ghristov@uni-ruse.bg](mailto: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](mailto:pzahariev@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](mailto:jraychev@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](mailto:dkyuchukova@uni-ruse.bg)

**Assist. Prof. Ivanka Tsvetkova, PhD**  
Department of Telecommunications,  
“Angel Kanchev” University of Ruse  
Phone: 082 888 836  
E-mail: [itsvetkova@uni-ruse.bg](mailto:itsvetkova@uni-ruse.bg)

**Abstract:** *The vehicles powered by internal combustion engines (ICE) are one of the primary factors for air pollution. The pollutants released by these vehicles, such as particulate matter (PM), ozone, nitrogen dioxide, carbon, monoxide, sulphur dioxide are responsible for a number of adverse environmental effects. 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. In the paper we discuss some of the most important stages from the design process, including the evaluation of the forces acting on the moving vehicle, including the air resistance, the rolling drag, the grade and curve resistance. Based on the evaluation of these parameters, we continue the paper with the selection of the main electric components of the vehicle, namely the electric motors, the fuel cell, the drivers for the motors and others and we also discuss the design of the drivetrain – the system that delivers the power to the driving wheels. The selection of the right components is an important step in the construction process, as the prototype of the vehicle is expected to maintain an average speed of 35 km/h in order to achieve optimal results and to successfully participate in the urban-concept category of the 2018 Shell Eco-marathon event in Europe.*

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

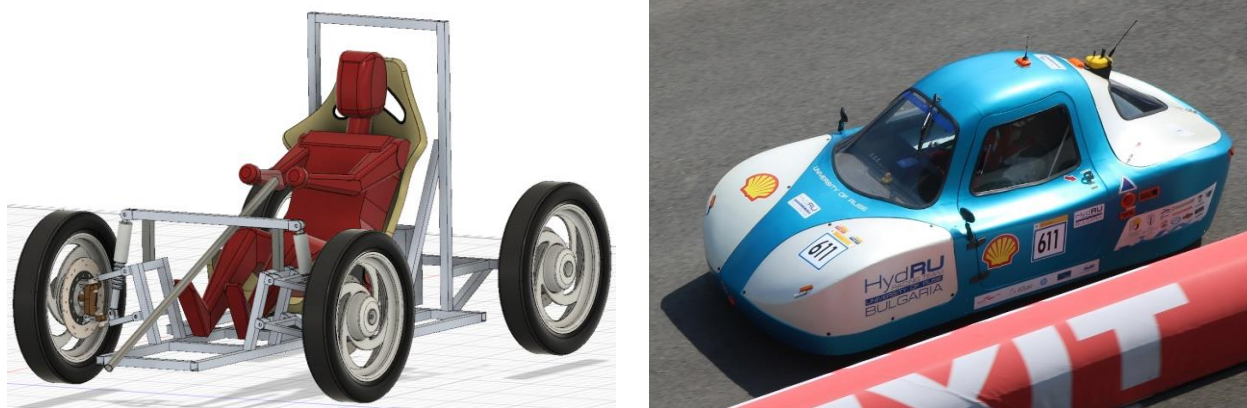
## **ВЪВЕДЕНИЕ**

Очаква се търсенето на енергия в глобален мащаб да се удвои до 2050 г., в резултат на нарастването на населението и рязко увеличаване на неговите потребности. Три четвърти от населението на планетата ще живее в градовете. 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-ефективния и чист 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. Методите за намаляване на вредните емисии, шума и течните горива, могат да се реализират, чрез използването на алтернативните горива (био дизел, биогаз, природен газ, метан, водород и пр.), използване на автомобили с електро задвижване и използването на електрическа енергия от възобновяемите източници на енергия за зареждането им. 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**

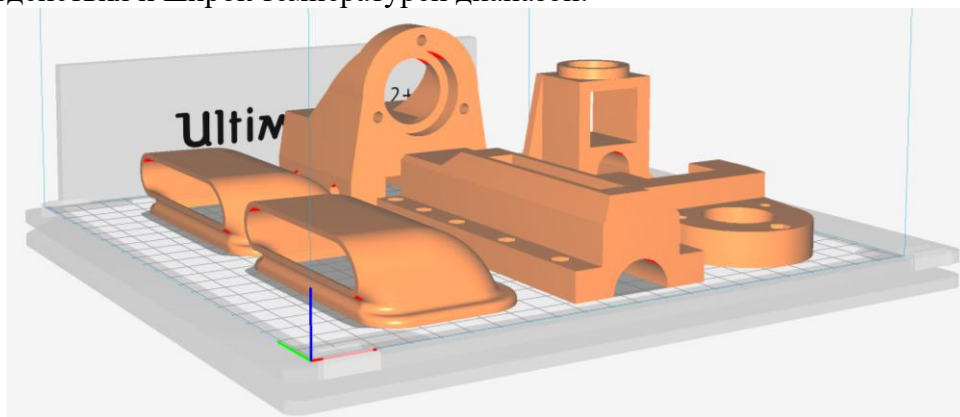
В процеса по разработване на автомобила участие взимат над 60 студента, докторанта, преподаватели и технически персонал от 5 факултета на Русенски университет. Първата фаза е свързана с анализ опита на водещите отбори в различните енергийни категории на автомобилите от градски тип, които взимат участие 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. Началната фаза се реализира от студенти специалност „Транспорт“ и „Материалознание и технология на материалите”, които поемат задачата за проучване на водещия опит и формулиране на функционално задание за реализация на проекта. Крайния резултат от работата на екипа е идейни скици на шасито и купето на автомобила с определяне и изследване динамичните характеристика на материалите, които могат да се използват за изработване на автомобила. Въз основа на тези скици екип от студенти от специалност „Инженерен дизайн“ създават CAD модели на всички основни елементи и възли на автомобила, на които се правят симулационни изследвания за оптимизация теглото на всеки един елемент. Общата концепция на автомобила е изградена от два основни елемента: шаси с конструкция от алуминиеви профили с предно активно окачване със задвижване на задните гуми (фиг.1) и купе произведено по технология от композитни материали.



Фиг. 1 CAD модел на шасито и външен вид на купето на автомобила

За изработката на голяма част от детайлите по интериора и екстериора на автомобилите се използват адитивните технологии за бързо прототипиране (фиг. 2). За изработка на детайлите се използва ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) заради по-добрата устойчивост на външни въздействия и широк температурен диапазон.



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

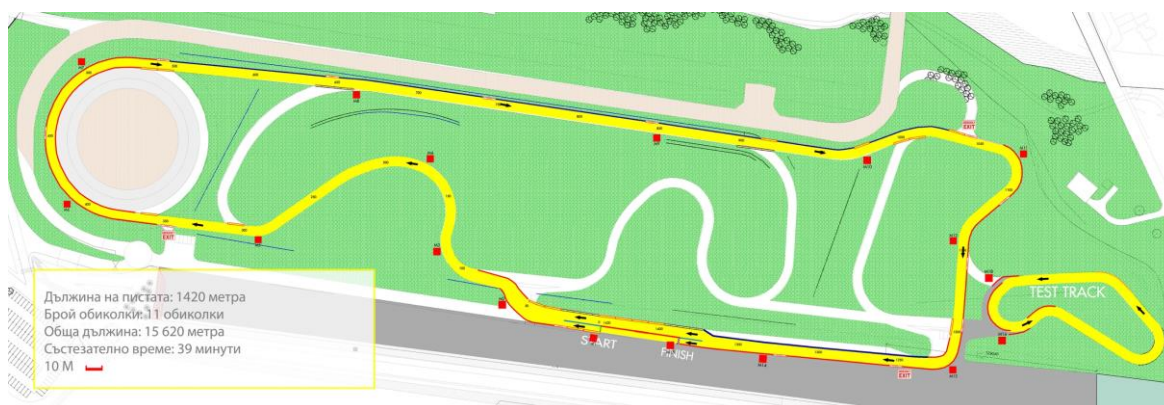
### ДИНАМИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЧАСТ НА АВТОМОБИЛА ЗАДВИЖВАН С ВОДОРОДНА КЛЕТКА

На фиг. 3 е показана енергийната 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. Единственият остатъчен продукт на водородната горивна клетка (горивен елемент) е водна пара. 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. 3 Енергийна диаграма на автомобила

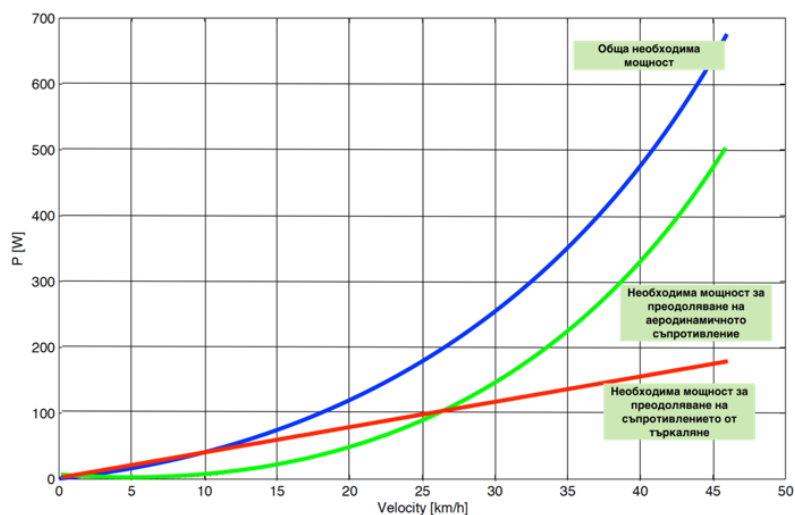
Определянето на максималната скорост на движение на прототипа е в основата на всички останали изчисления за оразмеряване на задвижването на автомобила. Данните които са използвани са предоставени от организаторите на събитието и са представени на фиг. 4.



Фиг. 4 Информация за състезателната писта предоставена от организаторите

Използвайки тази информация лесно може да се изчисли, че средната скорост трябва да бъде поне 25 км/час, за да се покрият изискванията на състезанието. По условие, автомобила трябва да спира на всяка обиколка по зададен от съдиите знак. Изчислената скорост от 25 км/час е в идеалния случай, когато не се налага автомобила да спира, ако се вземе под внимание времето, което ще се загуби за всеки стоп, то при изчисляване на скоростта трябва да се вземе под внимание и времето за покой на автомобила. Може да се приеме, че за протичане на тези процеси са необходими 30 секунди, следователно за да се изпълни условието за приключване на състезанието за 39 мин., една обиколка трябва да се прави за 3,5 мин., което ще доведе до увеличаване на средната скорост до 29 км/ч.

Използвайки общите уравнения за аеродинамично съпротивление и съпротивление при търкаляне [1], може да се изчисли необходимата мощност за поддържане на средна скорост от 29 км/ч.. Резултатите, които се виждат на фиг. 5 се основават на теглото на водача от 70 кг, общо тегло на автомобила до 120 кг. и плътност на въздуха при температура от 25 ° С. Въпреки това е желателно автомобила да разполага с минимален скоростен аванс в случай, когато има нужда от аварийно спиране на пистата и компенсиране на загубеното време. Именно за това се приема максимална скорост за движение да бъде 35 км/ч. Съгласно фиг.5 това води до увеличаване на необходимата мощност от 260 W при 29 км/ч до 350 W при 35 км/ч..



Фиг. 5 Необходима мощност за задвижване на автомобила при общо тегло до 200 кг.

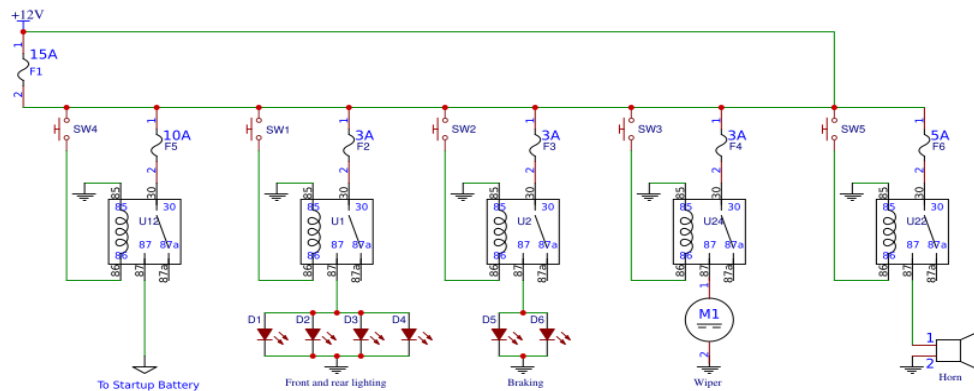
За избор на постояннотоков електродвигател бе направен обстоен обзор на продуктите, които се предлагат на пазара. Основната стратегия, която се прилага по време на състезанието е мотора да бъде добре оразмерен и да отговаря на необходимата изисквана мощност и да работи във възможно най-номиналния си режим [2]. За съжаление предлагането на постояннотокови мотори на пазара с високо КПД и с подобни мощности е доста оскъдно. За целта отбора решава да използва два мотора Maxon RE50 с номинална мощност всеки по 200W и КПД от 86%, което изпълнява необходимите изисквания. За удовлетворяване на изискването от 350 W мощност за задвижване на колата се избират два електромотора, които ще бъдат монтирани в предавателна кутия от паралелен тип със фиксирано предавателно отношение. Динамичната характеристика, публикувана от производителя [8], показва, че RE50 е проектиран да работи най-добре при по-ниски токове, когато се прилага по-високо напрежение, в този режим има само една малка зона на ефективен спад при 40V. Това дава на машината по-широка / по-голяма работна площ, като този регион достига от 3000 об / мин до максималната си скорост от 7700 об / мин. В тази зона се постига въртящ момент между 150mNm и 450mNm с ефективност най-малко 86%. Както бе посочено номиналното изходно напрежение на водородната горивна клетка е 36 волта. Именно затова при оразмеряването на предавателното отношение се избира 11:1 което при 36 волта захранване на постояннотоковия електромотор ще гарантира желана скорост от 35 км/ч (таблица 1).

Таблица 1. Зависимост предавателно отношение – скорост

№	Предавателно отношение	Скорост при 36 волта	Скорост при 48 волта
1	10:1	39 км/ч	54 км/ч
2	11:1	36 км/ч	49 км/ч
3	12:1	33 км/ч	45 км/ч
4	13:1	30 км/ч	42 км/ч
5	14:1	28 км/ч	39 км/ч
6	15:1	26 км/ч	36 км/ч

Реализирането на всички електронни системи е реализирано от екип студенти от специалности „Електроника“ и „Телекомуникации“. Условно електрониката е разделена на две отделни системи [6]. Първата реализира всички функции свързани с управлението на светлинна сигнализация, звукова сигнализация, чистачки и т.н. и е представена на фиг. 6.





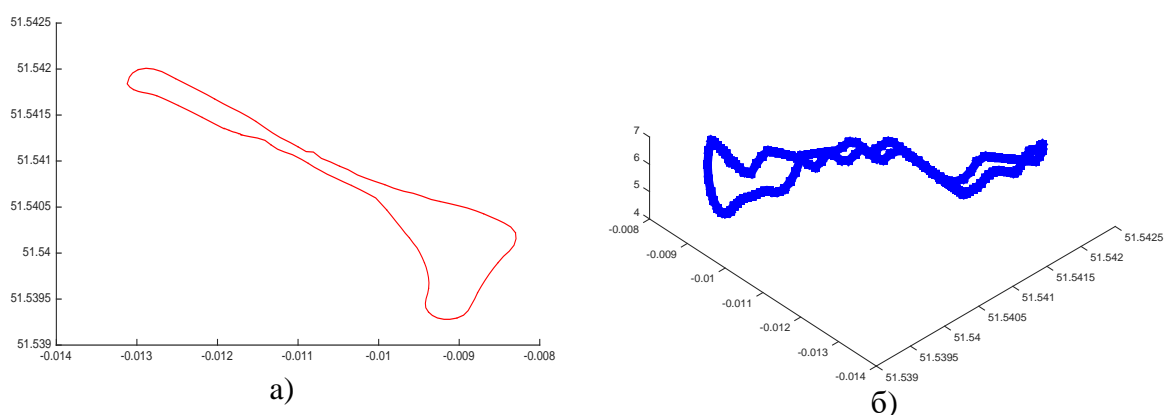
Фиг. 6 Схема на електрическата инсталация на автомобила

Втората електрическа система е свързана със самото задвижване на прототипа. Основният модул на тази система са драйверите, които управляват моторите [3]. За целта на състезанието екипа е избрал драйвери модел ESCON 70/10. Цялата електроника е отделена в секция, която е напълно изолирана от пространството в което се намира пилота на прототипа. В тази секция освен електрониката се намира водородната клетка и водородната бутилка.

### 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, ускорение и др.) и пълна статистика за консумацията на енергия на автомобила. На фиг. 7 е показана траекторията на движение, която е засечена от GPS позиционната система монтирана на автомобила.



Фиг. 7 Траектория на движение (а) и денивелация на пистата по координати в метри (б)



Фиг. 8 Разход на водород (l/min) и скоростни характеристики (km/h) по време на тестовете

От анализа на резултатите (фиг. 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 се използва за ускоряване на автомобила при неговото потегляне и достигане до минимална скорост около 27~30 км/ч.

## ИЗВОДИ

За компенсирание 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 на изцяло нов автомобил, чиято основна концепция ще бъде изградена на самоносеща карбонова конструкция, както и карбоново купе, с което ще се доведе до 40% намаляване на общото тегло на автомобила. 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 reflects the results received during the implementation of Project №2018-FEEA-02 and Project №2018-RU-06, funded by the Scientific and Research Fund of the University of Ruse “Angel Kanchev”. The study was financially supported by the University of Ruse “Angel Kanchev” contract №BG05M2OP001-2.009-0011-C01, "Support for the development of human resources for research and innovation at the University of Ruse “Angel Kanchev”", which is funded

with support from the Operational Program "Science and Education for Smart Growth 2014 - 2020" financed by the European Social Fund of the European Union.

### **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](http://www.maxonmotor.com/medias/sys_master/root/8830469865502/2018EN-133.pdf)