

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

**Sveučilišni studij**

**IZBOR AKUMULATORA KOD SOLARNIH  
ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA**

**Diplomski rad**

**Mario Poljak**

**Osijek, 2015**

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1. Zadatak diplomskog rada .....	1
<b>2. POVIJEST I PRIMJENA PRVIH BATERIJA (AKUMULATORA)</b> .....	<b>2</b>
<b>3. ELEKTRIČNE BATERIJE (AKUMULATORI) I NJIHOVA SVOJSTVA</b> .....	<b>5</b>
3.1. Osnovne karakteristike električnih baterija.....	5
3.2. Princip punjenja i pražnjenja električne baterije (akumulatora) .....	8
3.3. Karakteristike elektroda i elektrolita .....	9
3.3.1. Litijska anoda – negativna elektroda.....	9
3.3.2. Litijska katoda – pozitivna elektroda .....	10
3.3.3. Elektrolit.....	11
<b>4. VRSTE BATERIJA ZA POGON HIBRIDNIH I EL. VOZILA</b> .....	<b>13</b>
4.1. Olovni akumulatori (SLA) (baterije).....	13
4.2. Nikal-kadmij (NiCd) baterije .....	14
4.3. Nikal-metal hidridne (NiMH) baterije .....	15
4.4. Litij polimer (LiPo) baterije .....	17
4.5. Litij ionske (Li-ion) baterije.....	18
4.6. Natrij nikal klorid baterije (NaNiCl <sub>2</sub> – „zebra“) –baterije.....	20
4.7. Glavne karakteristike i usporedba baterija kod električnih vozila .....	22
<b>5. SPECIFIKACIJE,STANDARDI I KARAKTERISTIKE BATERIJA</b> .....	<b>23</b>
5.1. Krivulja pražnjenja.....	23
5.2. Kemija ćelija .....	23
5.3. Temperaturene karakteristike.....	24
5.4. Karakteristike samopražnjenja .....	25
5.5. Unutarnja impendancija .....	26
5.6. Stope pražnjenja .....	27
5.7. Ragone-ov dijagram .....	31
5.8. Impulsne karakteristike .....	32
5.9. Životni vijek .....	33
5.10. Duboka pražnjenja.....	34
<b>6. ZAHTJEVI KOD BATERIJA ZA ELEKTRIČNE AUTOMOBILE</b> .....	<b>35</b>
6.1. Zahtjevi proizvođača pri odabiru el. baterije .....	35
6.2. Glavni zahtjevi baterija kod električnih automobila .....	36
6.2.1. Sigurnost.....	36
6.2.2. Velika snaga .....	37
6.2.3. Veliki kapacitet .....	38

6.2.4. Performance .....	39
6.2.5. Životni vijek .....	40
6.2.6. Cijena .....	40
6.3. Nadgledanje baterija kod električnih vozila .....	41
6.4. Balansiranje baterija kod električnih vozila .....	41
<b>7. ODABIR BATERIJE ZA SOLARNI ELEKTRIČNI AUTOMOBIL .....</b>	<b>42</b>
7.1. Zahtjevi koje baterija mora zadovoljavati .....	42
7.1.1. Razne Litij tehnologije .....	43
7.1.2. Litij željezo fosfat (LiFePO <sub>4</sub> ) baterija .....	44
7.2. Proračun kapaciteta baterijskog paketa LiFePO <sub>4</sub> za električna vozila baziran na nederivacijskom Kalmanovom filtru .....	47
7.2.1. Uvod u proračun .....	47
7.2.2. Modeliranje baterije .....	47
7.2.3. Matematičke metode .....	50
7.2.4. Analiza i eksperiment .....	53
7.2.5. Zaključak proračuna baterije .....	58
<b>8. SUSTAV ZA POHRANU ENERGIJE KOD ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA .....</b>	<b>59</b>
8.1 Dostupne vrste sustava za pohranu energije .....	59
8.2. Pregled pogonskog sustava .....	59
8.2.1. Baterija .....	61
8.2.2. DC/DC Pretvarač .....	61
8.2.3. Elektrokemijski kondenzator .....	61
8.2.4. Strategija dimenzioniranja .....	62
8.3. Modeliranje sistema .....	62
8.3.1. Elektrokemijski kondenzatori .....	63
8.3.2. Baterija .....	64
8.3.3. DC/DC Pretvarač .....	64
8.3.4. Opterećenje .....	65
8.4. Težinska optimizacija baterijsko-superkondenzatorskog sustava .....	65
8.4.1. Prednosti i nedostaci sustava za pohranu energije .....	66
<b>9. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>67</b>
<b>SAŽETAK .....</b>	<b>68</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>68</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>69</b>
<b>ŽIVOTOPIS .....</b>	<b>70</b>

## SAŽETAK

Električni automobili su bili popularni krajem 19. i početkom 20. stoljeća, no nailazili su na razne izazove koji su tada bili nerješivi i nisu bili u mogućnosti konkurirati automobilima na unutarnje izgaranje. Do preokreta je došlo krajem prošlog stoljeća otkada su na snagu stupili novi zakoni vezani za zagađivanje okoliša pa se počeo javljati sve veći interes za proizvodnju električnih vozila. U ovom diplomskom radu su opisane glavne karakteristike svih baterija koje se danas koriste u električnim i hibridnim vozilima. Detaljno su opisane specifikacije, standardi i zahtjevi koje baterija mora imati i njihova osnovna svojstva. Na temelju svega toga odabrana je Litij željezno fosfatna (LiFePO<sub>4</sub>) baterija kao najbolji izbor za solarni električni automobil. Napravljen je proračun kapaciteta te baterije pomoću nederivacijskog Kalmanovog filtra. Također je opisan i sustav za pohranu energije koji je iznimno važan kod električnih automobila i baterijskog sustava.

**Ključne riječi:** električne baterije, kapacitet, električni automobili, sustav za pohranu energije, LiFePO<sub>4</sub>

## ABSTRACT

Electric cars were popular in the late 19th and early 20th centuries, but they were faced by various challenges that were insoluble at that time, and they didn't been able to compete with cars that have internal combustion. The turning point came at the end of the last century since the new laws were introduced that prevent environmental pollution, however, so it appear more and more interest in the production of electric vehicles. In this paper are described the main characteristics of the all batteries that are used in electric and hybrid vehicles. The details are described in sections of specifications, standards and requirements that the battery must have and their basic properties. Based on all battery that were comparing, Lithium iron phosphate (LiFePO<sub>4</sub>) batteries were selected as the best choice for solar electric car. Capacity estimation for that battery was made by using unscented Kalman Filter. In this paper is also described energy storage system which is very important for the electric vehicles and the battery system.

**Keywords:** electric batteries, capacity, electric cars, energy storage system, LiFePO<sub>4</sub>