

# KONVERZIJA AUTOMOBILA S MOTOROM S UNUTARNJIM IZGARANJEM U AUTOMOBIL S ELEKTRIČNIM MOTOROM

## CONVERSION OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE VEHICLE TO ELECTRIC VEHICLE

Ivan Kontak Jambrek<sup>1</sup>, Ivor Marković<sup>2</sup>, Tomislav Novak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Student TVZ-a, Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup>Tehničko veleučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska

### Sažetak

U ovom radu razrađen je projekt pretvorbe automobila Toyote Yaris s benzinskim motorom na pogon električnim motorom. Napravljen je proračun uloženi sredstva te usporedba isplativosti takve prerade. Zaključak je kako još uvijek previsoka cijena i premala dostupnost potrebnih dijelova i elementa koče razvoj električnih vozila. Najveći problem električnih automobila je još uvijek slaba infrastruktura te relativno mali domet vozila uz dugo punjenje. Jedna od mana prerade je ta što se obično za preradu odabiru vozila starijeg godišta, što za posljedicu ima povećanje cijene vozila zbog potrebe za sve češćim servisima i zamjenom mehaničkih dijelova. U skorije vrijeme očekuje se povećanje udjela električnih vozila na cestama diljem svijeta, a posebno u razvijenijim zemljama.

**Ključne riječi:** konverzija automobila, proračun snage, proračun dometa, studija isplativosti

### Abstract

This paper covers the process of car conversion of Toyota Yaris with internal combustion engine to electric propulsion. Invested resources budget and whole conversion feasibility has been analyzed. It can be concluded that high prices and low availability of needed parts halt the process of development of electric cars. Biggest problem is still poor infrastructure and relatively short range of electric vehicles with long charging periods. One of the flaws of car conversion to electric propulsion is that usually older model cars are used in this process which in turn increases overall cost of conversion because of maintenance costs. In nearer future, it is expected that the

percentage of electric cars on roads will rise, especially in more developed countries.

**Keywords:** car conversion, power analysis, range analysis, study of feasibility

### 1. Uvod

#### 1. Introduction

Zbog sve viših cijena fosilnih goriva i sve većeg pritiska na smanjenje proizvodnje CO<sub>2</sub> i očuvanje okoliša i atmosfere sve više ljudi odlučuje se za "zeleniji" način prijevoza. U današnje vrijeme gotovo svaki proizvođač automobila u svojoj ponudi ima barem po jedan model koji je pogonjen električnim pogonom ili kombinacijom motora sa unutarnjem izgaranjem i elektromotora (hibridna vozila). Zbog iznad navedenih razloga sve veći broj ljudi se kod kupnje novih vozila odlučuju za automobile s niskom potrošnjom goriva. Hibridna vozila nude nisku potrošnju, ali cijena im je značajno viša od istovjetnih modela sa klasičnim motorom sa unutarnjim izgaranjem što ih često čini ekonomski neisplativim. Tvornički električni automobili su dosta rijetki i postoji jako uzak izbor takvih automobila, a cijena takvih automobila je trenutno vrlo visoka. Postoji alternativa svemu navedenom koja ima mnoge prednosti, a to je prerada klasičnog "starog" automobila u automobil s električnim pogonom. Neke od prednosti takvih prerada su te što je izbor automobila širok, gotovo svaki automobil je moguće preraditi na električni pogon. Cijena takve prerade je obično značajno manja od kupovine novog tvornički električnog automobila. Trenutno jedan od najvećih problema električnih vozila je

slaba infrastruktura punionica za električna vozila i izvor pogonske energije tj. baterije što smanjuje domet takvih vozila. Prema trenutnom trendu kojim se povećava broj punionica za električna vozila i opada cijena baterija po kWh u bliskoj budućnosti može se očekivati sve više električnih vozila na prometnicama.

## 2. Općenito o preradi automobila na električni pogon

### 2. General information about car conversion

Kako bi se automobil sa dizelskim ili benzinskim motorom preradio u električni automobil potrebno je napraviti niz izmjena. Glavna promjena na vozilu je zamjena motora s unutarnjim izgaranjem s elektromotorom, ta promjena sa sobom nosi niz drugih izmjena koje moraju biti učinjene kako bi vozilo zadržalo funkcionalnost. Zbog potrebe benzinskog ili dizelskog motora da kontinuirano radi bez obzira kreće li se vozilo takav motor troši gorivo i dok automobil miruje što negativno utječe na potrošnju goriva. Nasuprot toga, električni motor radi samo kada se vozilo kreće. Takva specifičnost ima i određene nedostatke u odnosu na dizelske i benzinske motore, a to je potreba da se moraju osiguravaju dvije dodatne pumpe koje će osiguravati da hidraulične servo kočnice i servo volan rade ispravno. Kod motora s unutarnjim izgaranjem nije problem osigurati potreban vakuum za hidraulične kočnice pošto je motor u radu i kada se vozilo ne kreće, dok električni motor ne radi dok se vozilo ne kreće. Prednost električnih motora je ta što imaju veću korisnost, a samim time proizvode manje toplinske energije pa nije moguće koristiti tu toplinu za zagrijavanje prostora za putnike i odmagljivanje vjetrobranskog stakla, ali iz tog razloga potrebno je ugraditi dodatan sustav koji će služiti za zagrijavanje unutrašnjosti kabine i za odmagljivanje vjetrobranskog stakla. Kod automobila s pogonom na prednje kotače potrebno je zadržati mjenjačku kutiju, glavni razlog tome je što automobili s pogonom na prednje kotače sadrže diferencijal u samoj mjenjačkoj kutiji. Diferencijal je sklop koji omogućava da se dva kotača na istoj osovini

vrte različitim brzinama što je posebno važno kod vožnje u zavojevima gdje vanjski kotač prelazi dulji put od unutarnjeg. Automobili sa pogonom na zadnje kotače diferencijal i mjenjačku kutiju imaju odvojeno tako da mjenjačka kutija nije nužna. Automobil "donor" je automobil koji će biti osnova za preradu na električni pogon. Za donora je najisplativije odabrati automobil starije godine proizvodnje, ali koji je još uvijek u dobrom voznom stanju tako da bi se prije prerade u električni auto mogli utvrditi mogući problemi te ukloniti prije nego li se automobil atestira kao električno vozilo. Da bi vozilo imalo što veću autonomiju prikladno je da auto donor bude lagan te da ima nizak koeficijent otpora zraka. Dimenzije vozila također utječu na gubitke uzrokovane otporom zraka to jest na domet, a vozilo mora imati dovoljno prostora da se u njega može smjestiti baterijske pakete i sve ostalo što je potrebno za funkcionalnost električnog automobila.

## 3. Prerada automobila "Toyota Yaris"

### 3. Conversion of Toyota Yaris

Za ovu preradu odabran je automobil marke Toyota model Yaris, taj automobil zadovoljava sve tražene zahtjeve prema masi vozila i prostoru za pohranu baterijskih paketa. Ovaj automobil ima pogon na prednje kotače pa će mjenjačka kutija biti zadržana, ali neće biti potrebno učestalo mijenjanje stupnja prijenosa kao kod klasičnog automobila sa ručnim mjenjačem već će za standardi oblik vožnje mjenjač biti trajno u 4. stupnju prijenosa koji odgovara prijenosnom omjeru 1:1. Kod vožnje u koloni gdje su česta stajanja i nešto niže putne brzine mjenjač će biti trajno u 2. ili 3. stupnju prijenosa u cilju smanjenja česte visoke potezne struje. Također kod vožnje uzbrdo gdje nisu potrebne brzine veće od 100 km/h vozilo će biti trajno u nižem stupnju prijenosa.

Tablica 1 Tvornički podaci automobila

Table 1 Factory data of the car

Proizvođač	Toyota
Model	Yaris
Godina proizvodnje	2005.
Masa praznog vozila [kg]	980

<b>Motor</b>	1,3 VVT-i ; 64 kW ; benzin
<b>Duljina / širina / visina [mm]</b>	3640 / 1660 / 1500
<b>Koeficijent otpora zraka (cd)</b>	0,3
<b>Poprečna površina (A) [m<sup>2</sup>]</b>	2,12

Prvi korak pri preradi automobila je uklanjanje nepotrebnih dijelova. Popis i mase dijelova nalaze se u tablici 2.

**Tablica 2** *Mase uklonjenih dijelova automobila*

**Table 2** *Mass of the removed parts*

Dio	Masa dijela [kg]
Motor (benzinski)	117 kg
Hladnjak sa ventilatorima	9 kg
Starter	3 kg
Ispušni sustav	17 kg
Spremnik goriva	9,5 kg
Olovni akumulator	11 kg
Antifriz tekućina	4 kg
Ostalo	16 kg
<b>Ukupno</b>	<b>187 kg</b>

Iz tablice 2. vidljivo je da masa praznog vozila pripremljenog za preradu iznosi 187 kg manje od tvorničke mase automobila te da masa vozila pripremljenog za preradu iznosi 793 kg. Masa ugrađenih komponenti iznosi 230 kg te će prerađeno vozilo težiti ukupno 1023 kg.

### 3.1 Izbor električnog motora

#### 3.1 *Choosing the electric engine*

Za ovu preradu izabran je serijski uzbuđen istosmjerni motor nazivne snage 13,8 kW pri nazivnom naponu 72 V. Izabrana je ta vrsta električnog motora jer su motori takve vrste lako nabavljivi i cjenovno prihvatljivi. Serijski uzbuđeni istosmjerni motori su u prošlosti bili nezamjenjivi za primjenu u električnoj vuči zbog svojih karakteristika. U novije vrijeme serijski uzbuđeni istosmjerni motori se zamjenjuju elektronički reguliranim istosmjernim motorima sa stalnim magnetima. Nove tehnologije u električnoj vuči koriste

trofazne asinkrone ili ponekad sinkrone motore. Radi navedene modernizacije pogona moguće je vrlo povoljno nabaviti rabljene serijski uzbuđene istosmjerne motore koji su još uvijek u funkcionalnom i za prerade ovakvog tipa odličnom stanju. Električni motor mora zadovoljiti zahtjeve za maksimalnu brzinu i ubrzanje koji se nalaze u tablici 3.

**Tablica 3** *Zahtijevane vozne karakteristike*

**Table 3** *Required driving characteristics*

<b>Maksimalna brzina</b>	130 km/h
<b>Ubrzanje 0 – 100 km/h</b>	20 s
<b>Domet</b>	200 km

### 3.2 Izračun potrebne snage električnog motora

#### 3.2 *Electric motor power consumption*

U nastavku rada nalaze se proračuni potrebne snage električnog motora za uvjet maksimalne brzine i potrebnog ubrzanja. Potrebno je napomenuti da se električni motor može opteretiti snagom većom od nazivne uz ograničeno trajanje opterećenja i uz adekvatno hlađenje. Nazivna snaga električnog motora definira se kao snaga koju elektromotor može proizvoditi trajno bez pregrijavanja.

### 3.3 Izračun potrebne snage uz uvjet maksimalne brzine 130 km/h

#### 3.3 *Needed power calculation provided maximum velocity of 130 km/h*

Faktori koji primarno određuju potrebnu snagu motora automobila za određenu brzinu su otpor zraka i trenje. Otpor zraka ovisi o geometriji automobila, koja je okarakterizirana specifičnim koeficijentom trenja, čeonj površini te o kubnoj vrijednosti brzine. Specifični koeficijent trenja i čeonj površina karakteristike su pojedinog automobila i dane su u katalogu proizvođača.

Snaga otpora zraka pri brzini od 130 km/h :

$$P_{Oz} = \frac{1}{2} * cd * A * \rho * v^3 = 18,3 kW \quad (1)$$

gdje su:

- $c_d$  – specifični koeficijent trenja (0,3)
- $A$  – površina (2,12 m<sup>2</sup>)
- $\rho$  – specifična gustoća zraka (1,225 kg/m<sup>3</sup>)

Snaga trenja određena je pomoću pokusa. Pokus je izveden tako da se pri određenim brzinama na ravnoj podlozi prijenos automobila prebaci u prazni hod te se mjeri koliko je vrijeme potrebno da bi automobil usporio. Također je potrebno uzeti u obzir i otpor zraka te ga oduzeti u konačnom proračunu. Energija otpora trenja iznositi će:

$$E_{TR} = \Delta E_K - E_{OZ} \quad (2)$$

Rezultati mjerenja nalaze se u tablici 4.

Tablica 4 Mjerenje otpora trenja

Table 4 Measurement of friction resistance

$V_1$ [km/h]	80	70	60	50	40
$V_2$ [km/h]	70	60	50	40	30
$\Delta t$ [s]	9,5	11,6	13	16,2	16,3
$\Delta s$ [m]	198	209	199	203	161
$N$ [okr]	108	114	108	110	88
$\Delta E_K$ [kJ]	58,4	54,4	46,0	37,7	29,3
$E_{OZ}$ [kJ]	32,8	26,1	17,7	12,1	5,8
$E_{TR}$ [kJ]	25,7	28,4	28,4	25,6	23,5
$E_{TR}^o$ [kJ/okr]	0,24	0,25	0,26	0,23	0,27

Iz rezultata pokusa vidljivo je da srednja vrijednost energije otpora trenja iznosi 0,25 kJ/okr te će ta vrijednost biti upotrijebljena pri proračunu snage otpora trenja.

Trenje guma i ležajeva pri brzini od 130 km/h :

- Opseg pneumatika 1,84 m
- 1 okret četiriju kotača = 0,25 kJ

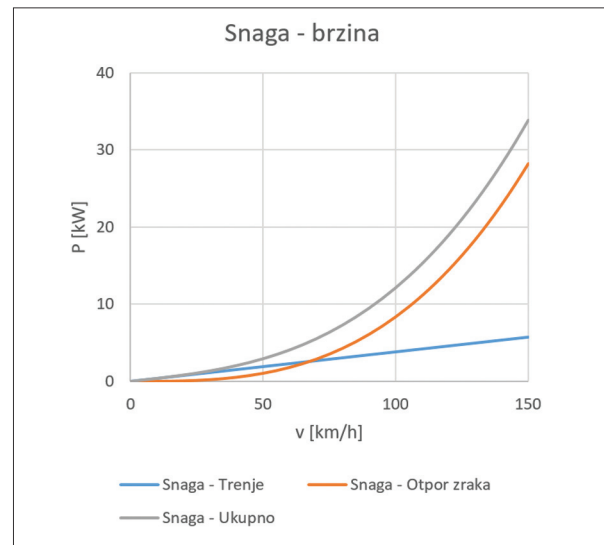
$$n = 19,6 \frac{\text{okr}}{s} \quad (3)$$

$$P_{TR} = n \cdot E_{TR} = 4,9 \text{ kW} \quad (4)$$

Potrebna snaga motora iznosi:

$$P = P_{OZ} + P_{TR} = 23,2 \text{ kW} \quad (5)$$

Na slici 1 prikazan je graf snaga otpora zraka i otpora trenja u ovisnosti o brzini vozila.



Slika 1 Prikaz snage otpora zraka i trenja za različite brzine

Figure 1 Display of power of air resistance and friction resistance

### 3.4 Izračun potrebne snage uz uvjet ubrzanja 0 – 100 km/h unutar 20 s

### 3.4 Power calculation provided acceleration from 0 to 100 km/h under 20 s

Snaga potreba da se tijelo mase 1100 kg u vakuumu ubrza od 0 do 100 km/h :

Početna energija:

$$E_{K1} = \frac{m \cdot v_1^2}{2} = 0 \text{ kJ} \quad (6)$$

Krajnja energija:

$$E_{K2} = \frac{m \cdot v_2^2}{2} = 425 \text{ kJ} \quad (7)$$

Razlika energije:

$$\Delta E_K = E_{K2} - E_{K1} = 425 \text{ kJ} \quad (8)$$

$$P_K = \frac{\Delta W}{\Delta t} = 21.2 \text{ kW} \quad (9)$$

Snaga otpora zraka savladanog u ubrzanju od 0 – 100 km/h:

$$v_{avg} = 13.9 \text{ m/s} \quad (10)$$

$$s = v_{avg} \cdot t = 278 \text{ m} \quad (11)$$

$$E_{OZ} = \frac{1}{2} \cdot c_d \cdot (A \cdot s) \cdot \rho \cdot v_{avg}^2 = 19 \text{ kJ} \quad (12)$$

$$P_{OZ} = \frac{\Delta E_{OZ}}{\Delta t} = 0,95 \text{ kW} \quad (13)$$

Snaga trenja guma i ležaje kod ubrzanja 0 – 100 km/h

$$N = \frac{S}{O} = 151 \quad (14)$$

$$E_{TR} = N * 0,25 \text{ kJ} = 38 \text{ kJ} \quad (15)$$

$$P_{TR} = \frac{\Delta E_{TR}}{\Delta t} = 1,9 \text{ kW} \quad (16)$$

Ukupna potrebna snaga ubrzanja:

$$P = P_K + P_{OZ} + P_{TR} = 24 \text{ kW} \quad (17)$$

### 3.5 Domet

#### 3.5 Range

Za procjenu dometa električnog vozila potrebno je poznavati svojstva puta na kojem se vozilo koristi iz razloga što kod gradske i međugradske vožnje nije jednaka potrošnja energije.

Gradsku vožnju karakteriziraju česta zaustavljanja na semaforima, križanjima, pješačkim prijelazima, usponicima prometa i slično te se mnogo energije troši na kočenje odnosno pretvara se u toplinu na kočnicama. U gradskoj vožnji zbog nešto nižih putnih brzina smanjen je utjecaj otpora zraka na potrošnju energije.

Za gradsku vožnju u Zagrebu u vrijeme srednje gustog prometa potrebno je oko 23 kWh energije za prijeći put od 100 km.

Kod međugradske vožnje zbog nešto viših putnih brzina dominiraju gubitci energije potrošene za savladavanje otpora zraka. Energija koja je utrošena na savladavanje otpora zraka ne raste linearno sa porastom brzine već raste sa kvadratom brzine. Dakle za smanjenje potrošnje energije vozila to jest povećavanje dometa prikladno je smanjiti putnu brzinu.

Za prijeći put dug 100 km u međugradskom tipu vožnje potrebno je oko 19 kWh energije.

Tablica 5 Potrošnja energije električnog vozila

Table 5 Costs of electric vehicle

Potrošač	Snaga [kw]	Potrošnja gradska vožnja [Kwh/ 100 km]	Potrošnja međugradska vožnja [Kwh/ 100 km]
Motor	10,3	15,4	13,7

Svijetla	0,13	0,42	0,23
Radio uređaj + putno računalo	0,3	0,96	0,54
Kočioni sustav	0,05	0,16	0,29
Upravljački sustav	0,15	0,48	0,86
*Sustav grijanja	1,7	5,44	3,06
*Brisači stakla	Zanemarivo	Zanemarivo	Zanemarivo
UKUPNO	12,63	22,86	18,68

Da bi vozilo s jednim punjenjem moglo prijeći 200 km potrebno je u baterije pohraniti minimalno 46 kWh energije, zanimljivo je da sličnu količinu energije sadrži oko 3,5 kg benzina. Važno je napomenuti da se upotrebom ostalih potrošača u vozilu kao što su svjetla, radio uređaj, grijač kabine i slično skraćuje domet vozilu.

## 4. Ugrađene komponente

### 4. Built-in components

U tablici 6 nalazi se popis ugrađenih komponenti s njihovim masama i cijenom u kunama.

Tablica 6 Popis ugrađenih komponenti

Table 6 List of inserted components

Komponenta	Masa [kg]	Cijena [kn]
Donor automobil	793	
Električni motor	60	10500
Spojnik	-	300
Spojna ploča	9	450
Kontroler + oprema	7	17250
Vakuumpumpa + oprema	-	1460
Spremnik vakuuma	3	150
Set servo upravljanja	5,6	6750
Baterijski paket	124,8	35100
Nadzor baterija – BMS	-	3525
Punjač baterija	14	7500
DC – DC pretvarač	1,15	1425
Glavni prekidač	0,5	260
Relj kontakta brave	0,4	1950
Sustav grijanja	4,3	4000
Ukupno	1023	90620

## 5. Isplativost

### 5. Feasibility

Tablica 7 Isplativost

Table 7 Feasibility

	Vozila s motorom s unutarnjim izgaranjem	Električna vozila
Cijena prerade	0 kn	90620 kn
Redovni servis	1000 kn	0 kn
Gorivo / Struja	10000 kn	2000 kn
Registracija osiguranje	2000 kn	1000 kn
<b>UKUPNO GODIŠNJE</b>	13000 kn	3000kn

\*prijedeni godišnji put 15 000 km

\*cijena goriva 9 kn/l

\*prosječna potrošnja benzinskog motora 7,5 l/100 km

Iz iznad navedenih podataka vidi se da se konverzija vozila isplati tek nakon 9 godina i to ako u tom periodu ne dođe do kvara na električnom dijelu vozila, ali u tom periodu smanjuje se i direktna proizvodnja CO<sub>2</sub> i u slučaju poskupljenja fosilnih goriva konverzacija bih se isplatila i ranije.

## 7. Reference

### 7. References

- [1] Vražić M., Pauković H., Vuljaj D., Šimon I.; Analiza prerade vozila na električni pogon; Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije - HO CIRED; pp: 1-7; Trogir, 2014.
- [2] Asimakopoulos P., Boumis T., Patsias E., Safacas A., Mitronikas E.; Experience derived from the conversion of a conventional car to a hybrid electric vehicle -analysis of the powertrain; Power Electronics Electrical Drives Automation and Motion (SPEEDAM); International Symposium on; pp: 1040 – 1045; ISBN: 978-1-4244-4986-6; 2010.
- [3] Schwartz H.J.; The computer simulation of automobile use patterns for defining battery requirements for electric cars; IEEE Transactions on Vehicular Technology; pp: 118 – 122; ISSN: 0018-9545; 2013.
- [4] Kibira D., Jain S.; Impact of hybrid and electric vehicles on automobile recycling infrastructure; Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2011 Winter; pp: 1072 – 1083; ISBN: 978-1-4577-2108-3; 2011.
- [5] Sezer V., Dikilitas C., Ercan Z., Heceoglu H., Oner A., Apak A., Gokasan M., Mungan A.; Conversion of a conventional electric automobile into an unmanned ground

## 6. Zaključak

### 6. Conclusion

Nakon detaljnog razmatranja prerade vozila i razgovora sa vlasnikom jednog tako prerađenog vozila dolazi se do zaključka kao još uvijek nije ekonomski isplativo prerađivati vozila s motorom s unutarnjim izgaranjem na električna vozila. Najveći razlog neisplativosti je visoka cijena potrebnih dijelova, a to se odnosi u prvom planu na baterije i kontroler. Valja uzeti u obzir da se je u ovoj preradi razmatrano stavljanje samo novih dijelova dok se u realnoj preradi pojedine komponente mogu nabaviti rabljene, to se najviše odnosi na električni motor. Električni motor u ovoj preradi ima cijenu od 1400 € dok se prema današnjem stanju u Hrvatskoj rabljeni motori sličnih karakteristika mogu kupiti po cijeni od 1000 do 2000 HRK.

Za sada ovakve prerade se mogu očekivati od entuzijasta koji će prerađivati vozila samo za svoje zadovoljstvo. Na primjer prerađivanje oldtimera se čini kao dobra zamisao, čak zbog užitka u vožnji oldtimera cabrio modela gdje bi se zbog niske razine buke električnog motora podigla kvaliteta vožnje.

U bližoj budućnosti može se očekivati sve više električnih i hibridnih vozila u prometu, a zasigurno će postotak električnih vozila sačinjavati i prerade ovakvoga tipa.

- vehicle (UGV); Mechatronics (ICM), 2011 IEEE International Conference on; pp: 564 – 569; ISBN: 978-1-61284-982-9; 2011.
- [6] Aimin W., Shunxi L.; Prediction on the developing trend of global electric automobile based on the logistic model; Business Management and Electronic Information (BMEI); 2011 International Conference on; pp: 31 – 33; ISBN: 978-1-61284-108-3; 2011.
- [7] Sperry E.; Electric Automobiles; Transactions of the American Institute of Electrical Engineers; vol. XVI; pp. 509-525; ISSN: 0096-3860; 2009.

## AUTORI · AUTHORS



### Ivor Marković

Ivor Marković rođen je 18. 10. 1988. godine u Zagrebu.

Osnovnu i srednju školu pohađao je u Zagrebu.

Preddiplomski i diplomski studij završio je 2012. godine

na Fakultetu elektrotehnike i računarstva, smjer Elektroenergetika. Trenutno radi kao predavač na Elektrotehničkom odjelu Tehničkog veleučilišta u Zagrebu. Također, trenutno radi na doktorskom radu iz područja Električnih strojeva i tehnologija na fakultetu elektrotehnike i računarstva u Zagrebu.

**Tomislav Novak** – nepromjenjena biografija nalazi se u časopisu Polytechnic & Design Vol. 4, No. 3, 2016. str. 315

### Korespondencija

tnovak@tvz.hr