



PROJEKTI SURADNJE S GOSPODARSTVOM FINANCIRANI IZ PROGRAMA RC.2.2.08

# Jačanje kapaciteta za istraživanje, razvoj i inovacije



Ulaganje u budućnost  
Europska unija



KONKURENTNA  
HRVATSKA



Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog fonda za regionalni razvoj. Sadržaj ovog materijala je isključiva odgovornost Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split.



# Uvodna riječ

Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje jedna je od većih sastavnica Sveučilišta u Splitu i ima važnu ulogu u edukaciji i istraživanju u području inženjerstva i visokih tehnologija. Sa oko 2600 studenata i preko 240 zaposlenika FESB je respektabilna znanstvena i obrazovna institucija koja čini sami temelj razvoja društva znanosti u Hrvatskoj.

Od osnutka, 1960 godine, Fakultet surađuje sa gospodarstvom na rješavanju tehničkih problema primjenjujući najnovija dostignuća i moderne tehnike.

Ova brošura dokumentira rad istraživača na dva kolaborativna istraživačka projekta financirana iz programa Jačanje kapaciteta za istraživanje, razvoj i inovacije Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta, koji imaju za cilj jače povezivanje s gospodarstvom.

Suradnja znanstvenih institucija s gospodarstvom je ključna za povećanje poslovne konkurentnosti, ali i povećanje kvalitete obrazovnog i istraživačkog rada svake znanstvene institucije

FESB to prepoznaje i aktivno radi na unaprjeđenju kapaciteta za istraživanje, razvoj i inovacije te osposobljavanju stručnog kadra za primijenjeno istraživanje i moderne izazove društva.



**Sven Gotovac, prof.  
dr.sc.**

*Dekan fakulteta*

[dekan@fesb.hr](mailto:dekan@fesb.hr)



# Odbor za suradnju s gospodarstvom i EU Fondove

U svrhu povećanja doprinosa izgradnji nacionalnog trokuta znanja koji čine cjeloživotno učenje, znanost i inovacije, pri Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, u travnju 2015, osnovan je "Odbor za suradnju s gospodarstvom i EU fondove" s ciljem širenja istraživačkih rezultata prema industriji, poticanja provedbe projekata, transfera tehnologije i jačanja ekonomskog kapaciteta FESB-a kroz povećanje stupnja suradnje s gospodarstvom.

Zadaci Odbora su aktivno promovirati i dogovarati suradnju FESB-a s gospodarstvom te sudjelovati u administrativnim i pravnim poslovima provedbe projekata, komercijalizacije tehnologije i upravljanja intelektualnim vlasništvom.

Trenutni članovi odbora su: Goran Pavlov (voditelj odbora), Ana Bakota (administrator odbora), Nada Tokić (voditelj javne nabave) i Vladan Papić (prodekan za poslovanje).

Osnovni cilj je kroz zajednička istraživanja i nacionalnu potporu ojačati istraživački kapacitet i doprinijeti povećanju konkurentnosti gospodarstva.

- povećati broj istraživačkih projekata i projekata suradnje s gospodarstvom
- povećati broj doktorskih radnji usmjerenih konkretnoj primjeni u gospodarstvu
- poboljšati sustav mobilnosti istraživača i doprinijeti umrežavanju FESB-a s drugim istraživačkim institucijama i gospodarstvom
- izravno doprinijeti popularizaciji suradnje i povećanju stope ulaganja gospodarstvenika u istraživanje i razvoj



**Goran Pavlov, dipl.  
ing.el.**

*Voditelj odbora  
za suradnju s  
gospodarstvom i EU  
fondove*

[goran.pavlov@fesb.hr](mailto:goran.pavlov@fesb.hr)



# Efikasno inženjerstvo

EFIKASAN DIZAJN, EFIKASNA TEHNOLOGIJA, EFIKASNA ENERGIJA, EFIKASNO UPRAVLJANJE

Tehnički koncept višepatformskog i višerazinskog znanstvenog pristupa rješavanja tehničkih problema koji vodi do povećanja učinkovitosti tehničkog procesa, strojeva, te tehničke i ekonomske učinkovitosti proizvodnih postrojenja.

Razmišljanje izvan okvira i interdisciplinarni pristup tehničkim problemima u svrhu postizanja veće učinkovitosti.

Više informacija na <http://ee.fesb.hr/concept>



## VODIK ENERGIJA BUDUĆNOSTI

# H2OIE - Istraživanje i razvoj vodikovog energetskeg sustava u sprezi s obnovljivim izvorima energije

Projektom je obuhvaćeno istraživanje i razvoj podsustava pohrane energije u sustavu autonomne opskrbe energijom s obnovljivim izvorima energije s ciljem ojačanja kapaciteta za istraživanje, razvoj i inovacije na području vodikovih energetskih tehnologija u Hrvatskoj.

### UKRATKO O PROJEKTU

FESB-ov partner Končar – Institut za elektrotehniku razvio je Hybrid Box – integriranu energetsku jedinicu koja u sebi objedinjuje priključke za spajanje vanjskih izvora energije, spremnike za pohranu električne energije i energije vodika, gorivni članak, priključke za predaju električne energije, sustave mjerenja, upravljanja i zaštite te komunikaciju prema udaljenom korisniku.

Projektom će se u sustav integrirati elektrolizator vode uz pohranu proizvedenog vodika čime bi se povećala autonomija sustava. FESB će se nabavom i ugradnjom specifične opreme te edukacijom stručnjaka osposobiti za istraživanja na području proizvodnje vodika elektrolizom vode u sprezi s obnovljivim izvorima energije te posebice za upravljanje sustavom i razvoj upravljačkih algoritama.

FESB će dobiti još bolje opremljen laboratorij, a Končar – Institut će dobiti *know-how* za funkcionalni prototip novog proizvoda.

Osim ovoga projekta tim profesora Barbira radi na još četiri projekta (od kojih su tri financirana od Europske komisije preko programa FP7 i Horizon2020, a jedan od Hrvatske zaklade za znanost) te ukupno broji desetak stručnih suradnika, doktorskih studenata i doktora znanosti kojima se na pojedinim projektima prema potrebi priključuju i drugi znanstvenici s FESBa i PMFa.



**Prof.dr.sc. Frano  
Barbir**

*Voditelj projekta, Voditelj  
laboratorija za nove  
(termo)energetske  
tehnologije*

[frano.barbir@fesb.hr](mailto:frano.barbir@fesb.hr)





## H2OIE tim

laborant Ivan Jurić, mag.ing. Danijel Bagarić, prof.dr.sc. Frano Barbir, mag.ing. Nikolina Goleš, laborant Boris Šimić, mag.ing. Marija Jukić, dr.sc. Dario Bezmalinović

# 1. Opremanje laboratorija

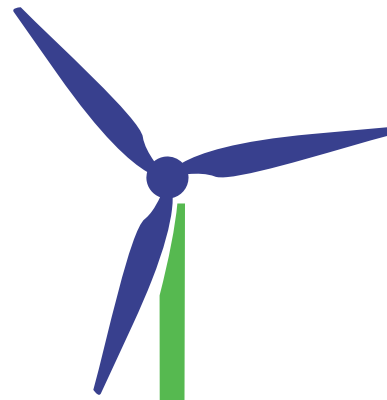
U FESB-ovom laboratoriju za nove (termo)energetske tehnologije već neko vrijeme imamo uređaj za testiranje gorivnih članaka, a zahvaljujući ovome projektu nabavili smo još i uređaj za testiranje elektrolizatora te jedinični članak elektrolizatora koji ispitujemo. Osim te opreme nabavili smo i kompletni vodikov laboratorijski sustav (koji se sastoji od vjetroturbine i fotonaponskih modula instaliranih na krovu FESBa, te elektrolizatora, spremnika vodika, gorivnih članaka i upravljačkog modula instaliranih u laboratoriju), a koji će nam omogućiti bolja saznanja veze između obnovljivih izvora energije i vodikovih tehnologija kako za ovaj tako i za buduće projekte o vodikovim energetske tehnologijama.

# 2. Povećanje kapaciteta za istraživanje, razvoj i inovacije na području vodikovih energetske tehnologija

Na projektu je zaposleno 10 znanstvenika i stručnjaka koji su uključeni u rad Katedre za termodinamiku, termotehniku i toplinske strojeve, kao i u rad Laboratorija za nove termo-energetske tehnologije na FESBu. Prof. dr. sc. Frano Barbir i članovi njegova tima predstavili su dobivene rezultate na nekoliko međunarodnih znanstvenih konferencija u Hrvatskoj i u inozemstvu. Također, rezultati istraživanja bit će objavljeni u relevantnim prestižnim međunarodnim časopisima.

# 3. Razvoj numeričkog modela za simuliranje rada sustava

Razvijen je numerički model u programskom paketu Matlab. Model prikazuje sve elemente sustava i radi simulaciju proizvodnje, potrošnje i pohrane energije tijekom jedne godine na osnovi satnih podataka za količinu osunčanosti i brzinu vjetra. Omogućit će unaprijeđenje strategije upravljanja tokovima energije u sustavu.





## DALJNI RAD

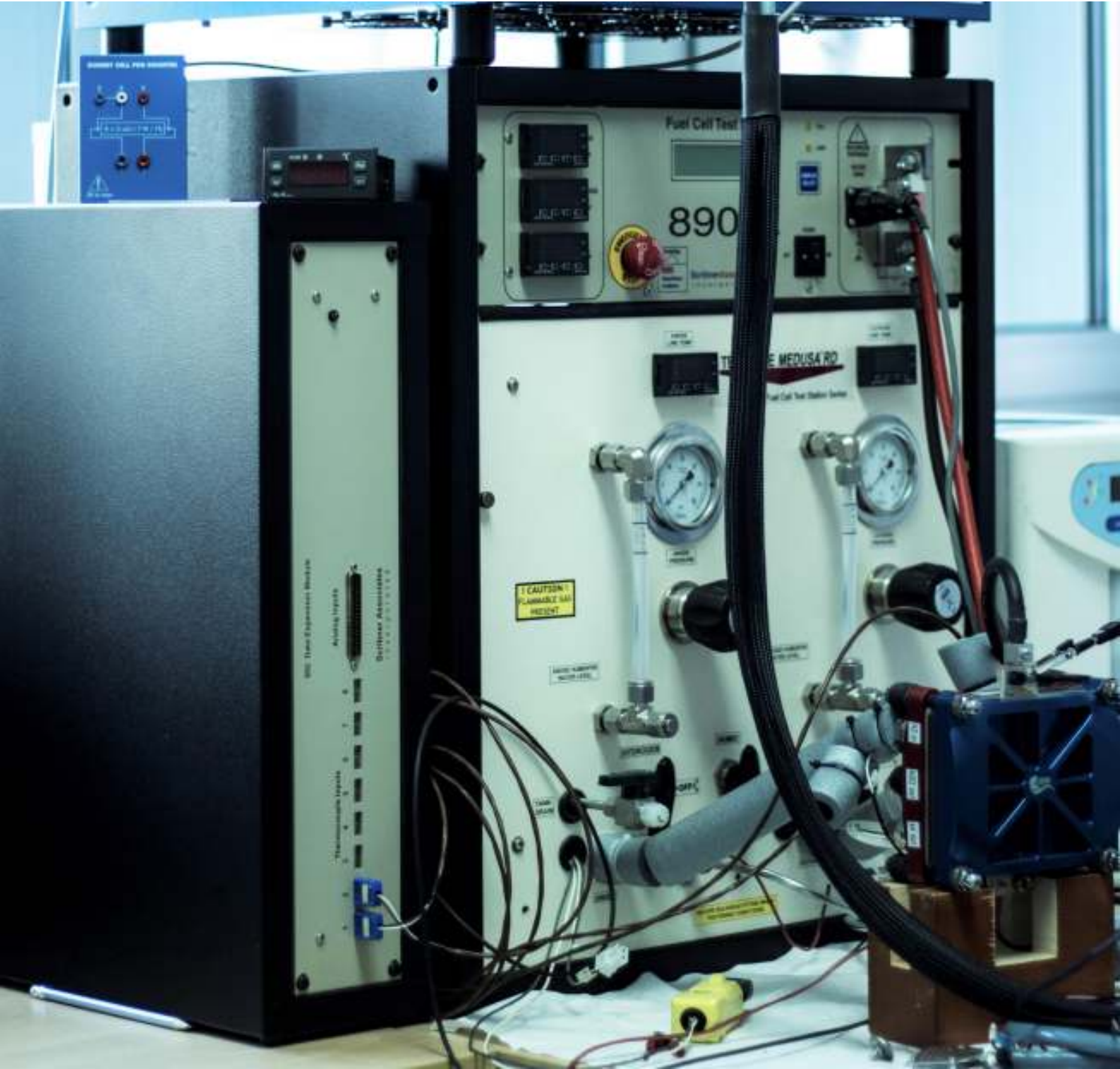
# Nastavak istraživačkog rada i komercijalizacija

Vodikov laboratorijski sustav, numerički model za simulaciju rada sustava u raznim uvjetima pomoću kojeg će se definirati upravljački dio sustava, kao i projektom stečena znanja omogućit će daljnja istraživanja u području vodikove energetske tehnologije i njihovu primjenu na tržištu.

Dugoročni planovi su:

1. Usporedba rezultata simulacije i stvarnog sustava te daljnji razvoj vodikovih tehnologija kako bi se što bolje uskladili s obnovljivim izvorima energije. Želi se postići dugotrajnost i efikasnost vodikovog energetskeg sustava u sprezi s obnovljivim izvorima energije.
2. Ispitivati mogućnosti elektrokemijske kompresije vodika i eventualno razvoj elektrokemijskog kompresora
3. Utvrditi sigurnosne aspekte; identificirati moguće situacije koje mogu predstavljati sigurnosni hazard
4. Razvoj prototipa samostalnog energetskeg sustava baziranog na obnovljivim izvorima energije i vodikovim tehnologijama. Poboljšanje Hybrid Boxa ili razvoj novih tržišno kompetitivnih proizvoda.

FESB, Končar – Institut za elektrotehniku, ali i Hrvatska će se ovim razvojem i ojačanjem istraživačkih i inovacijskih kapaciteta na području vodikovih energetskeg tehnologija u sprezi s obnovljivim izvorima energije strateški pozicionirati, jer je izvjesno da će gorivni članci i vodikove energetske tehnologije imati značajnu ulogu u ne tako dalekoj energetskoj budućnosti Europe.



Fuel Cell Test Station Series 890

Three digital displays showing '0.00', '0.00', and '0.00'.

Red emergency stop button.

Pressure gauges and various control knobs.

Time Expansion Module

Analog Inputs

Digital Inputs

Terminal block with various colored wires connected.

MEDEUSA RD

Fuel Cell Test Station Series

Pressure gauges and various control knobs.

Blue fuel cell mounted on a wooden block.

Various tubes and wires connecting the components.



## KOGENERACIJA & TRIGENERACIJA

# Sigurnija i učinkovitija kogeneracijska / trigeneracijska postrojenja (COGEN)

Kolaborativno istraživanje s ciljem razvoja metoda za sigurniju i učinkovitiju proizvodnju električne, toplinske i rashladne energije iz otpadne topline, korištenjem visoko brzinskih turbina/generatora i pretvarača frekvencije, te primjenom naprednih upravljačkih algoritama za optimalno upravljanje termodinamičkim i elektrostrojarskim sustavima.

### UKRATKO O PROJEKTU

Temelj projekta je multidisciplinarno eksperimentalno istraživanje pojedinačnih komponenti i sustava upravljanja kogeneracijskih i trigeneracijskih postrojenja sa ciljem povećanja učinkovitosti.

Projekt je nastavak suradnje FESB-a i tvrtke Banko d.o.o. na aktivnostima usmjerenim u povećanje vlastite konkurentnosti na domaćem i svjetskom tržištu kroz ulaganje u istraživanje i razvoj.

Rezultati projekta su razvijena i izrađena tri prototipa visokotehnoloških industrijskih uređaja i sustava. To su pretvarač frekvencije za visokobrzinske generatore, sustav upravljanja kogeneracijskim postrojenjem temeljen na matematičkom modelu procesa, te apsorpcijska dizalica topline za proizvodnju rashladne energije.

Razvijena tehnologija je testirana na prototipnom kogeneracijskom ORC postrojenju toplinske snage 500 kW i električne snage 100 kW, koje je firma Banko razvila i izgradila u tvornici Đuro Đaković Kotlovi d.o.o.

Sa odobrenim rezultatima, nadamo se daljnjem razvoju proizvoda i komercijalizaciji projektnih rezultata.

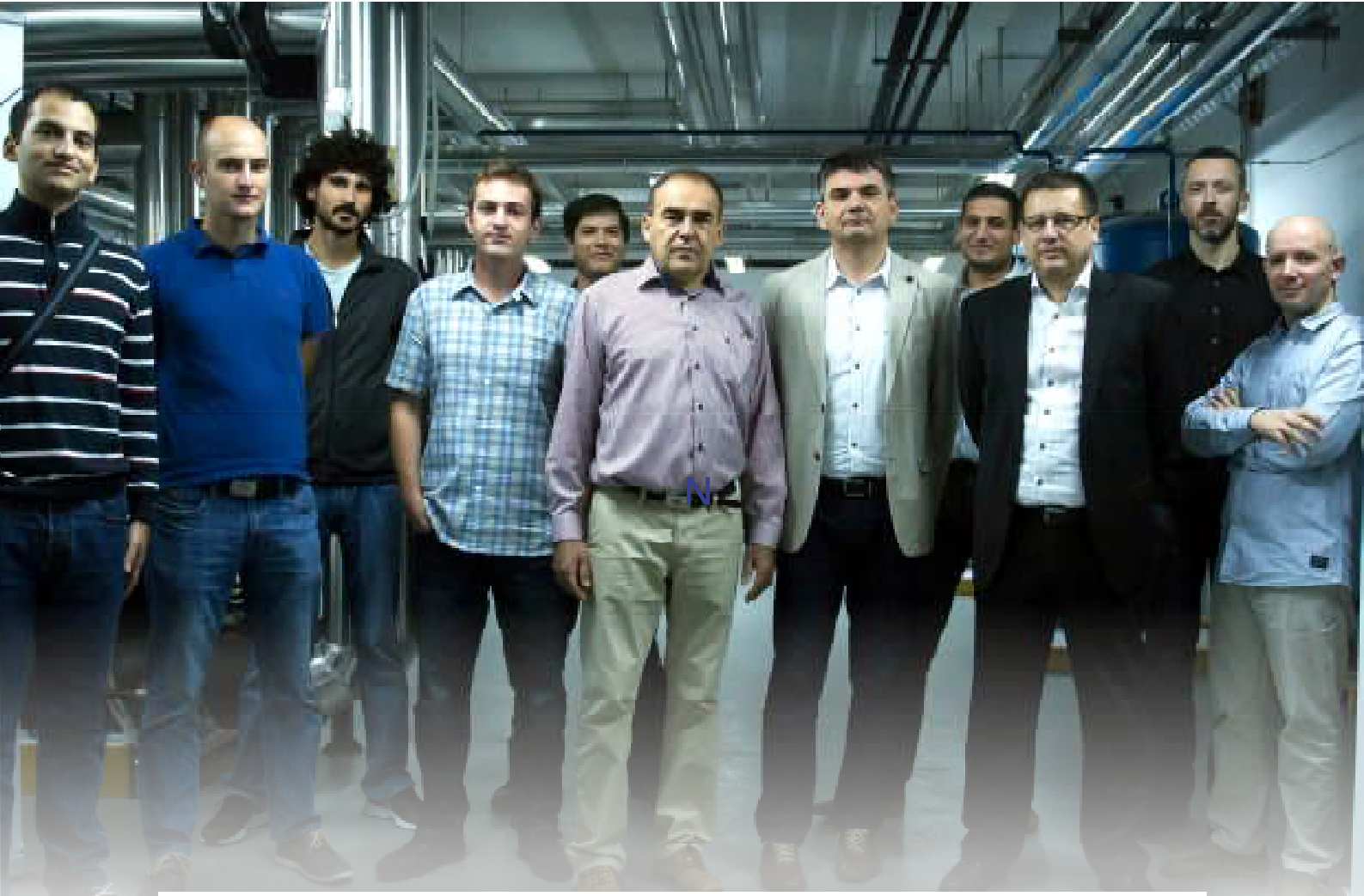


**Prof.dr.sc. Božo Terzić**

*Voditelj projekta,  
Voditelj laboratorija za  
poluvodičke energetske  
pretvarače*

[bozo.terzic@fesb.hr](mailto:bozo.terzic@fesb.hr)





## COGE tim

mag. ing. Marko Šimić, mag. ing. Krste Šormaz, mag.ing. Ante Kriletić, mag.ing. Marjan Stergulc, dr.sc. Danijel Jolevski, prof.dr.sc. Božo Terzić, prof.dr.sc. Dražen Bajić, dr.Goran Pavlov, dr.sc. Ozren Bego, dr.sc. Goran Majić, dr.sc. Marin Despalatović

## ISTRAŽIVAČKI CILJEVI

# 1. Razvoj pretvarača frekvencije za visokobrzinske generatore

Za spoj visokobrzinskog generatora s permanentnim magnetima (PM generator) i prijenos energije u elektroenergetski sustav, kroz projekt su razvijena dva modela pretvarača frekvencije visoke nazivne frekvencije (do 1000 Hz). Prototipi oba modela su konstruirani i testirani u punom opsegu na motor-generator grupi s asinkronim kaveznom strojem i sinkronim PM strojem, snage 100 kW i maksimalne brzine 20000 rpm.

Navedeni pretvarači omogućavaju upravljanje visokobrzinskim strojevima, a osnovna razlika je da se na generatorskoj strani primjenjuju različiti pretvarači i to: (1) pretvarač temeljen na diodnom ispravljaču i uzlaznom DC/DC pretvaraču, (2) trofazni IGBT izmjenjivač jednake strukture kao i mrežni pretvarač.

Primjenom najnovije tehnologije i naprednih upravljačkih algoritama u razvoju frekventnog pretvarača, povećali smo upravljivost procesom i na taj način smo omogućili primjenu naprednih upravljačkih sustava koji rezultiraju povećanom pouzdanosti i efikasnosti cijelog sustava.

# 2. Razvoj matematički optimiranog upravljačkog sustava

Kvalitetno upravljanje termodinamičkim procesima ORC kogeneracijskih postrojenja zahtjeva visoko znanje fizikalnih procesa i tokova energije, u svrhu njihove optimizacije. Kroz projekt, detaljno je analiziran svaki segment ORC kogeneracijskog postrojenja, od samih strojarskih komponenti do električnog upravljanja, te su za sve komponente izrađeni matematički modeli u Matlab Simulink okruženju koji su pouzdani u proširenom radnom području.

Ovaj model je poslužio kao osnova za izradu upravljačkog sustava, koji omogućuje odabir i održavanje optimalne radne točke, te konstrukciju hardverskog simulatora procesa koji na temelju projektiranog modela replicira procesne signale, analogne i digitalne veličine, koji dalje omogućuje laboratorijsko testiranje upravljačkih algoritama.

Konačni rezultat je upravljački sustav koji doprinosi povećanju učinkovitosti kogeneracijskog modula i sigurnosti i pouzdanosti cijelog postrojenja.

### 3. Istraživanje tehničkih parametara kogeneracijskih / trigeneracijskih postrojenja za primjenu u zgradarstvu

Dok su kogeneracijska postrojenja uobičajena u industriji, u rezidencijalnim sredinama skoro da ih i nema s obzirom na niski energetske volumen i sezonsku tendenciju proizvodnje topline. Mali, visoko efikasni skalabilni trigeneracijski moduli bi mogli zaobići ove probleme, stoga smo u okviru ovog projekta istražili mogućnost nadogradnje BANKO kogeneracijskog modula za primjenu istog u rezidencijalnim sredinama.

Postrojenje je još u testnoj fazi, tako da se nastavak istraživanja očekuje po prvom puštanju postrojenja u redovan rad.

#### DALJNI RAD

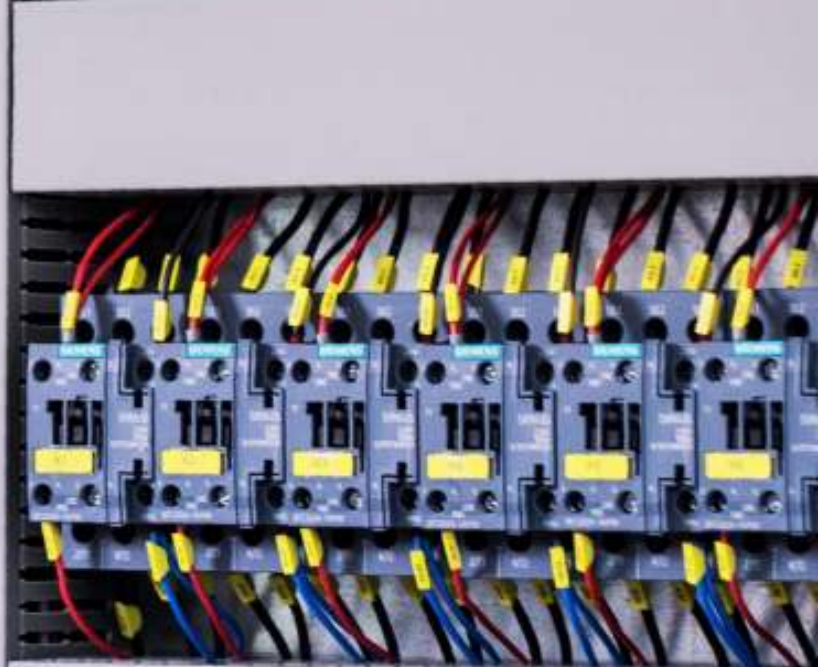
### Nastavak istraživačkog rada i komercijalizacija

Znanja stečena projektom, kao što su razvoj poluvodičkih energetskih krugova i sklopova, razvoj upravljačkih sklopova i algoritama, upotrijebit će se u daljnjem obrazovnom i istraživačkom radu djelatnika FESB-a, dok je daljnja komercijalizacija rezultata je planirana kroz:

1. Razvoj i plasman frekventnog pretvarača za generatorska postrojenja visoke snage,
2. Licenciranje razvijenih upravljačkih algoritama tvrtkama iz energetskog sektora
3. Prodaja prava za korištenje razvijenih Matlab Simulink modela ORC postrojenja







# Energija i održivi okoliš

Energija i održivi okoliš je tematsko-prioritetno područje Pametne Specijalizacije Republike Hrvatske i također je jedno od temeljnih područja istraživanja Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu.


Grane istraživanja su projektiranje energetske mreže i sustava, energetska učinkovitost, povećanje efikasnosti te primjena ICT tehnologija u energetskim sustavima i sustavima zaštite okoliša.

## **Temeljne aktivnosti u ovom području su:**

- Istraživački radovi i doktorske radnje na temu energije i energetske učinkovitosti,
- Isporuka tehničkih ekspertiza javnim i privatnim naručiteljima,
- Primijenjeno istraživanje te razvoj novih proizvoda, metoda i tehnologija,
- Cjeloživotno obrazovanje u području energetike i energetske učinkovitosti,
- Aktivno promicanje novih tehnologija kroz rad Savjeta za zelenu gradnju i Klastera Inteligentna energija

## **Neke od trenutno aktivnih istraživanja su:**

- Učinkovit dizajn i konstrukcije u brodogradnji i energetici
- Integralni energetske sustavi u zgradarstvu
- Stabilnost elektro-energetskih sustava i njihovo modeliranje
- Specijalistički informacijski sustavi u sustavima zaštite okoliša (Zaštita od požara)



# Činjenice i brojke \*

**BROJ ZAPOSLENIKA FESB-A:**

247

**BROJ STUDENATA:**

2224

**GODIŠNJI PRIHODI OD SURADNJE S  
GOSPODARSTVOM:**

4.19 mil. kuna

**TEMATSKO PODRUČJE ISTRAŽIVANJA:**

Interdisciplinarno područje strojarstva,  
elektrotehnike i brodogradnje

\* Podaci iz 2015. godine

## OSNOVNE INFORMACIJE

**PROGRAM** PROGRAM RC.2.2.08 Jačanje kapaciteta za istraživanje, razvoj i inovacije.

**KORISNIK** Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje

## PROJEKTI

**Istraživanje i razvoj vodikovog energetskeg sustava u sprezi s obnovljivim izvorima energije (H2OIE)**

**PARTNER** Končar-Institut za elektrotehniku

**VRIJEDNOST** 3.249.088,00 kn

**SUFINANCIRANJE** 76,13%

**WEB** <http://ee.fesb.hr/h2oie>

**Sigurnija i učinkovitija kogeneracijska / trigeneracijska postrojenja (COGEN)**

**PARTNER** Banko d.o.o., Split

**VRIJEDNOST** 3.963.934,00 kn

**SUFINANCIRANJE** 74,8%

**WEB** <http://ee.fesb.hr/cogen>

## KONTAKT INFO

Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje

Odbor za suradnju s gospodarstvom i EU fondove

Web: <http://ee.fesb.hr>

E-mail: [ee@fesb.hr](mailto:ee@fesb.hr)

Za više informacija o EU fondovima posjetite stranicu Ministarstva regionalnog razvoja i fondova Europske unije [www.strukturnifondovi.hr](http://www.strukturnifondovi.hr)