

Utjecaj masovne integracije obnovljivih izvora energije na stabilnost pogona elektroenergetskog sustava

Okrugli stol u organizaciji
Akademije tehničkih znanosti Hrvatske (Odjel za energijske sustave) i
IEEE odjela za elektroenergetiku

Predavači na okrugлом stolu

- mr. sc. Nenad Švarc, HEP – Proizvodnja d.o.o.: Utjecaj integracije OIE na cijenu pomoćnih usluga u elektroenergetskom sustavu RH
- dr. sc. Ninoslav Holjevac, FER: Razvoj prijenosnog sustava Republike Hrvatske s aspekta integracije OIE
- Josip Đaković, mag. ing. Primjena dubokog učenja za prognoziranje proizvodnje iz vjetroelektrana
- Matej Krpan, mag.ing., FER: Izazovi u integraciji vjetroelektrana s aspekta dinamičke stabilnosti sustava
- Tomislav Baškarad, mag. ing., FER: Sudjelovanje fotonaponskih elektrana u regulaciji frekvencije elektroenergetskog sustava
- dr. sc. Igor Ivanković, HOPS: Sinkrofazorska mjerjenja u vođenju EES-a s pretežitim udjelom OIE



WIND energy integration in Low Inertia Power System

<http://windlips.com/>

Fakultet elektrotehnike i računarstva
Sveučilište u Zagrebu

O projektu

Program:

- Partnerstvo u istraživanjima (50% financira gospodarstvo)

Voditelj:

- Prof.dr.sc. Igor Kuzle

Trajanje:

- 36+4 mjeseca (1.1.2018. - 30.04.2020.)

Fond:

- 2.4 mil. Kn

Potpore i sudionici projekta

- **Hrvatska zaklada za znanost**
 - Potpora projektu
- **Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o.**
 - Potpora i partner projektu
- **HEP-Proizvodnja d.o.o.**
 - Potpora i partner projektu



Projektni tim



Prof. dr. sc. Igor Kuzle	igor.kuzle@fer.hr
Prof. dr. sc. Nenad Debrecin	nenad.debrecin@fer.hr
Prof. dr. sc. Tomislav Tomiša	tomislav.tomisa@fer.hr
Prof. dr. sc. Davor Grgić	davor.grgic@fer.hr
dr. sc. Perica Ilak	perica.ilak@fer.hr
Mateo Beus, mag. ing. el.	mateo.beus@fer.hr
Matej Krpan, mag. ing. el.	matej.krpan@fer.hr
Goran Grdenić, mag. ing. el.	goran.grdenic@fer.hr
Tomislav Baškarad, mag. ing. el.	tomislav.baskarad@fer.hr
Josip Đaković, mag. ing. el.	josip.djakovic@fer.hr

Projektni tim



dr. sc. Igor Ivanković	igor.ivankovic@hops.hr
dr. sc. Miroslav Mesić	miroslav.mesic@hops.hr
Antun Andrić, dip. Ing.	antun.andric@hops.hr
dr. sc. Renata Rubeša	renata.rubesa@hops.hr
Goran Levačić, dipl. ing.	goran.levacic@hops.hr
Boris Avramović, dipl. ing.	boris.avramovic@hops.hr
dr. sc. Kristijan Frlan	kristijan.frlan@hops.hr
Ivan Tolić, mag. ing. El.	ivan.tolic@hops.hr

Projektni tim

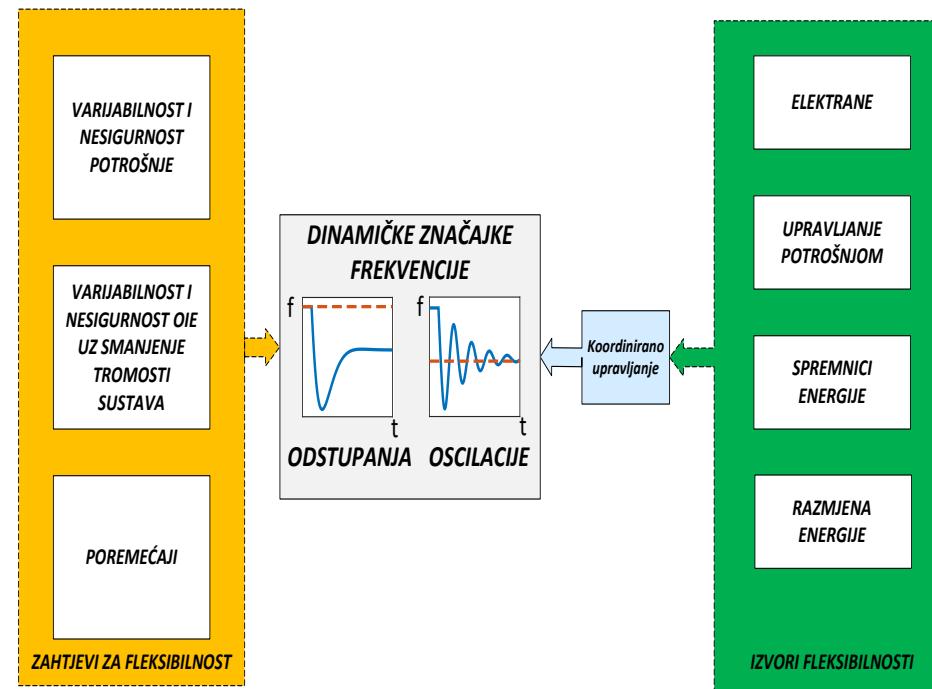
 HEP PROIZVODNJA

mr. sc. Nenad Švarc	nenad.svarc@hep.hr
Marko Špoljarić, mag. ing. el.	marko.spoljaric@hep.hr
Tomislav Robina, mag. ing. el.	tomislav.robina@hep.hr

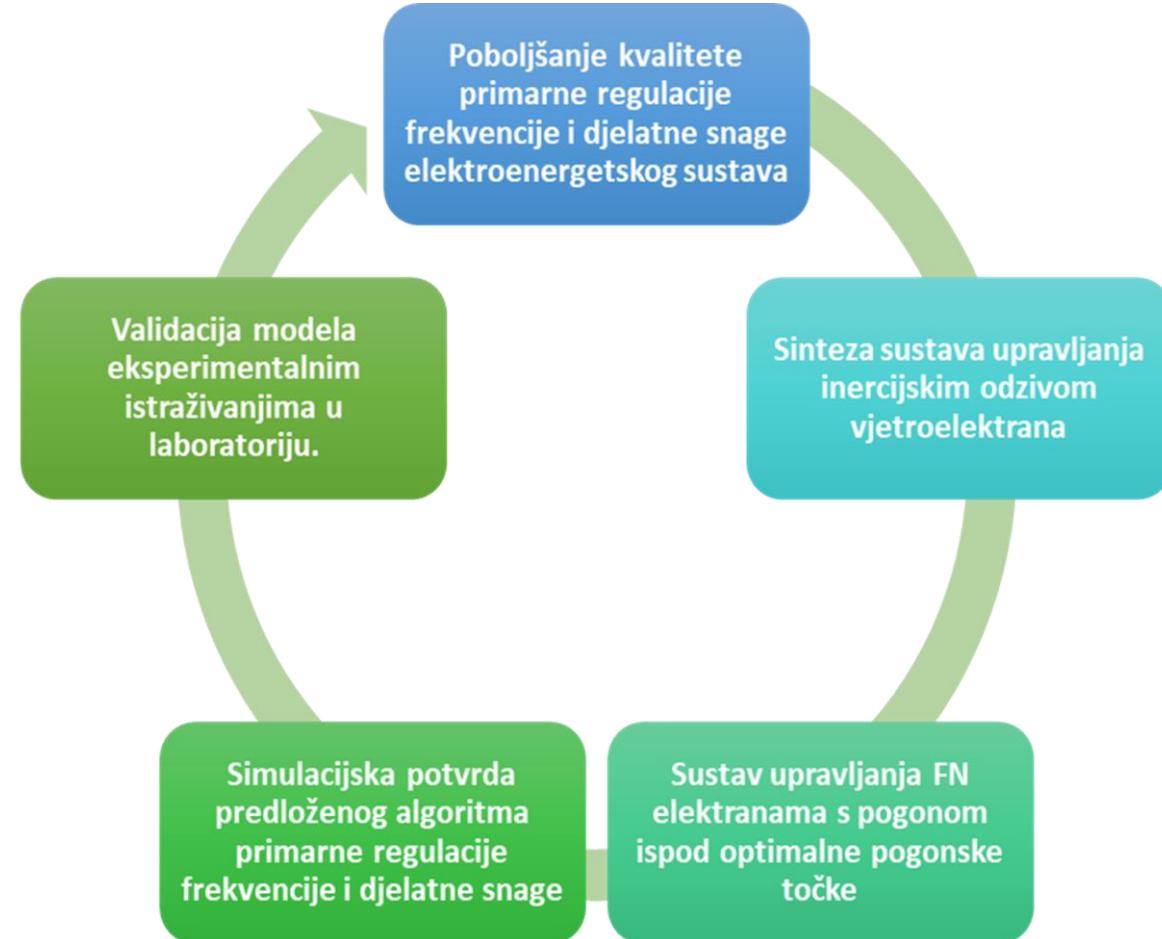
Problematika

Povećanom integracijom VE i FNE u EES:

- Smanjuje se konstanta tromosti EES-a,
- Smanjuje se stabilnost sustava na neravnotežu djelatne snage – veća odstupanja frekvencije
- Povećava se udio teško predvidljive proizvodnje koja ne sudjeluje u pomoćnim uslugama – potreba za fleksibilnošću sustava

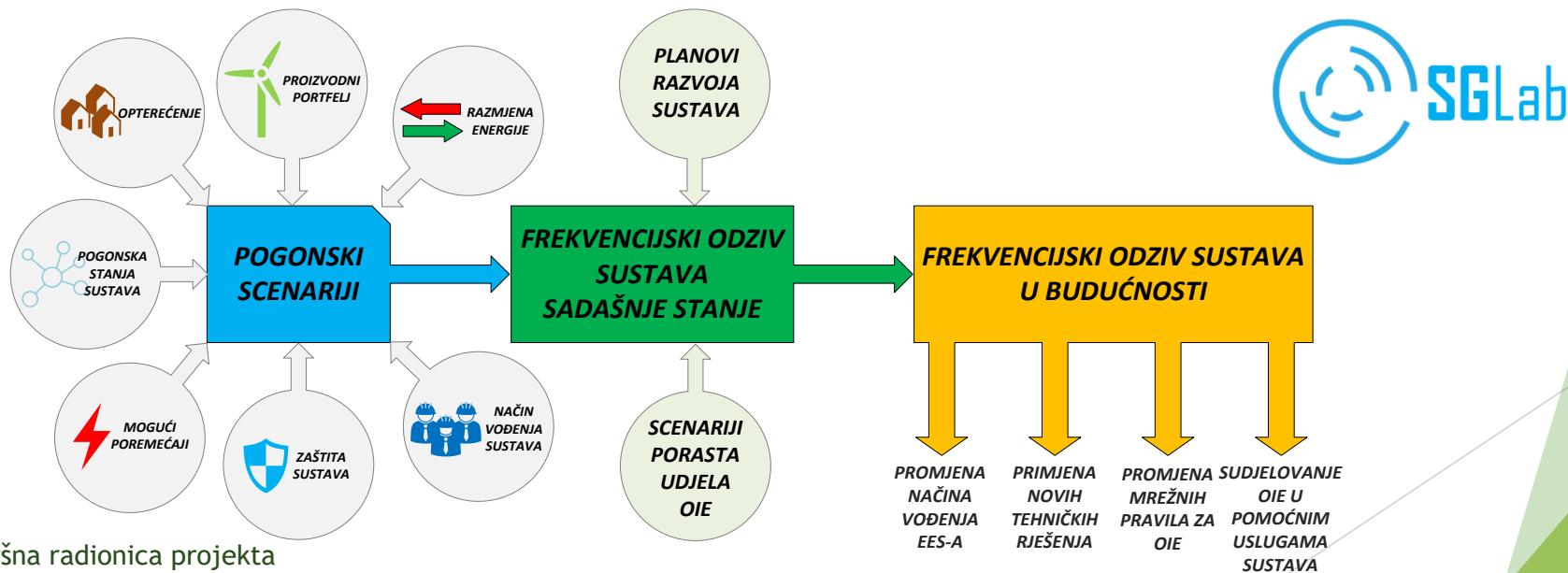


Ciljevi



Metodologija

- Izrada matematičkog modela
- Analiza inercijskog odziva agregata i primarne regulacije frekvencije i djelatne snage uz sudjelovanje VE i FNE
- Validacija računalnih simulacija u laboratorijskom okruženju – SG Lab

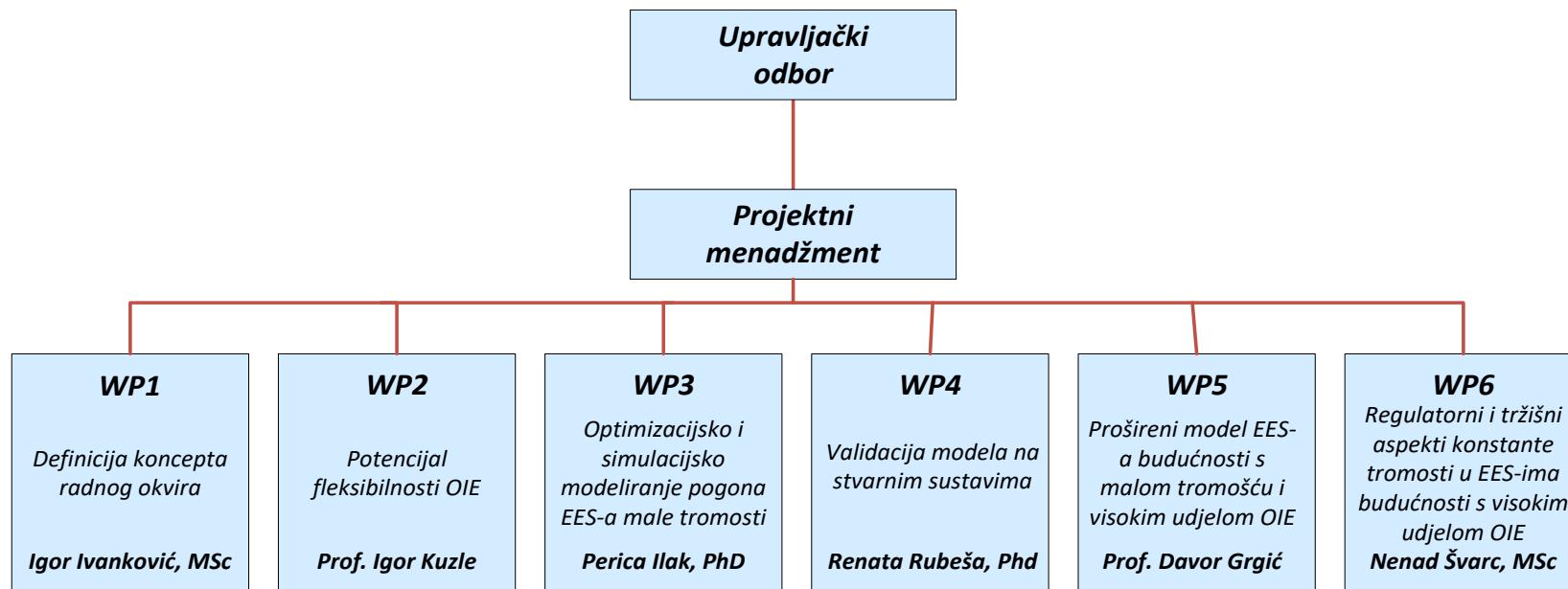


WINDLIPS Završna radionica projekta



Radni plan

- **Ukupno 6 radnih grupa (paketa)**
 - Zaposleno dvoje doktoranada



Rezultati projekta

- **12 radova u časopisima**
 - 6 JCR Q1
 - 1 JCR Q2
 - 4 JCR Q3
 - 1 domaći časopis
- **33 konferencijska rada**
 - 25 međunarodne konferencije
 - 8 nacionalne konferencije
- **9 tehničkih izvještaja**
- **1 specijalna sesija na konferenciji MEDPOWER 2018**
- **2 radionice**
- **1 okrugli stol**

Radovi u časopisima

- 1) T. Baškarad, I. Kuzle, N. Holjevac, Photovoltaic System Power Reserve Determination Using Parabolic Approximation of Frequency Response, *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. xx, no. x, xxx 2021, pp. xxx-xxx, DOI: 10.1109/TSG.2021.3061893 (**JCR Q1 IF 8.267**)
- 2) N. Holjevac, T. Baškarad, J. Đaković, M. Krpan, M. Zidarić, I. Kuzle, Challenges of High Renewable Energy Sources Integration in Power Systems - The Case of Croatia, *Energies*, Vol. 14, No. 4, February-2 2021, pp. 1-21, paper no. 1047, DOI: 10.3390/en14041047 (**JCR Q3 IF 2.707 Q3**)
- 3) J. Đaković, M. Krpan, P. Ilak, T. Baškarad, I. Kuzle, Impact of Wind Capacity Share, Allocation of Inertia and Grid Configuration on Transient RoCoF: The Case of the Croatian Power System, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 121, October 2020, pp. 1-8, paper no. 106075, DOI: 10.1016/j.ijepes.2020.106075 (**JCR Q1 IF 4.418**)
- 4) M. Brezovec, I. Kuzle, M. Krpan, N. Holjevac, Improved dynamic model of a bulb turbine-generator for analysing oscillations caused by torque disturbance, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 119, July 2020, pp. 1-9, paper no. 105929, DOI: 10.1016/j.ijepes.2020.105929 (**JCR Q1 IF 4.418**)

Radovi u časopisima

- 5) M. Ivas, A. Marušić, J. Havelka, I. Kuzle, P-Q Capability Chart Analysis of Multi-Inverter Photovoltaic Power Plant Connected to Medium Voltage Grid, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 116, March 2020, pp. 1-7, paper no. 105521, DOI: 10.1016/j.ijepes.2019.105521 (**JCR Q1 IF 4.418**)
- 6) M. Krpan; I. Kuzle, Dynamic characteristics of virtual inertial response provision by DFIG-based wind turbines”, *Electric Power Systems Research*, vol. 178, January 2020, pp. 1-12, paper no. 106005, DOI:10.1016/j.epsr.2019.106005 (**JCR Q2 IF 3.022 Q2**)
- 7) A. Šečić, M. Krpan, I. Kuzle, Vibro-acoustic Methods in the Condition Assessment of Power Transformers: a Survey, *IEEE Access*, vol. 7, no. 1, December 2019, pp. 83915-83931, DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2923809 (**JCR Q1 - IF 4,098**)
- 8) Z. Zbunjak, I. Kuzle, System Integrity Protection Scheme (SIPS) Development and an Optimal Bus-Splitting Scheme Supported by Phasor Measurement Units (PMUs), *Energies*, vol. 12, no. 17, p. 3404, Sep. 2019., doi.org/10.3390/en12173404 (**JCR Q3 - IF 2,707**)
- 9) M. Klarić, I. Kuzle, N. Holjevac, Wind power monitoring and control based on synchrophasor measurement data mining, *Energies*, vol. 11, no. 12, December 2018, paper no. 3525, pp. 1-23, doi: 10.3390/en11123525 (**JCR Q3 - IF 2,707**)

- # Radovi u časopisima
- 10) M. Krpan, I. Kuzle, Introducing low-order system frequency response modelling of a future power system with high penetration of wind power plants with frequency support capabilities, *IET Renewable Power Generation*, vol. 12, no. 13, October 2018, pp. 1453-1461, doi: 10.1049/iet-rpg.2017.0811 (**JCR Q1 - IF 3,488**)
 - 11) I. Ivanković, I. Kuzle, N. Holjevac, Algorithm for fast and efficient detection and reaction to angle instability conditions using phasor measurement unit data, *Energies*, vol. 11, no. 3, March 2018, paper no. 681, pp. 1-21, doi: 10.3390/en11030681 (**JCR Q3 - IF 2,707**)
 - 12) T. Baškarad, I. Kuzle, S. Tešnjak, Nonlinear mathematical model of hydroelectric power plant, *Journal of Energy*, vol. 66, no. 1-4, 2017, pp. 18-40

Tehnički izvještaji

- 1) Cjeloviti popis zahtjeva prilikom priključenja novih OIE s obzirom na smanjenje konstante tromosti sustava i potreban opseg pomoćnih usluga sustava, Tehnički izvještaj, 2020., 14 str.
- 2) Koncept optimalnog vođenja i planiranja EES-a u uvjetima male tromosti i visoke penetracije OIE, Tehnički izvještaj, 2020., 16 str.
- 3) Problemi i prijedlozi rješenja vezanih uz sudjelovanje OIE u pomoćnim uslugama sustava, Tehnički izvještaj, 2020., 39 str.
- 4) Prikupljanje podataka o relejima te analiza utjecaja podešenja releja na stabilnost hrvatskog EES-a, Tehnički izvještaj, 2019., 32 str.
- 5) Prošireni modeli OIE s upravlјivim odzivom, Tehnički izvještaj, 2019., 35 str.
- 6) Utjecaj OIE na smanjenje konstante tromosti sustava, Tehnički izvještaj, 2019., 28 str.
- 7) Matematički modeli tipova obnovljivih izvora energije, Tehnički izvještaj, 2018., 38 str.
- 8) Vrste tehnologija vjetroelektrana u hrvatskom elektroenergetskom sustavu, Tehnički izvještaj, 2018., 23 str.
- 9) Pregled i analiza mrežnih pravila vezanih uz integraciju vjetroelektrana, Tehnički izvještaj, 2018., 36 str.

- rekonstuirana HE (20 kVA, 380 V, 1000 o/min)
- rekonstrukcija TE u tijeku (15 kVA, 380 V, 1000 o/min)
- FNE1 (11.76 kW)
- FNE2 (3 kW)
- FN3 (74 kW)
- 6xbaterijski spremnik VARTA (6.5 kWh, 2.5 kW, $\text{LiNi}_x\text{Mn}_{y}\text{Co}_{z}\text{O}_2$ ili Li-NMC)
- 2xbaterijski spremnik PowerTech (17.92 kWh, 17 kW, LiFePo_4 ili LFP)
- baterijski spremnik SUNCECO (38.4 kWh, 30 kW, LiFePo_4 ili LFP)
- DC elektronički teret1 (0-2.4 kW, 0-750 V, 0-40 A)
- DC elektronički teret2 (0-2.4 kW, 0-400 V, 0-50 A)





Hvala na pažnji

