

# Istraživanja i razvoj rješenja naprednih mreža na FER-u

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

IZV. PROF. DR. SC. TOMISLAV CAPUDER



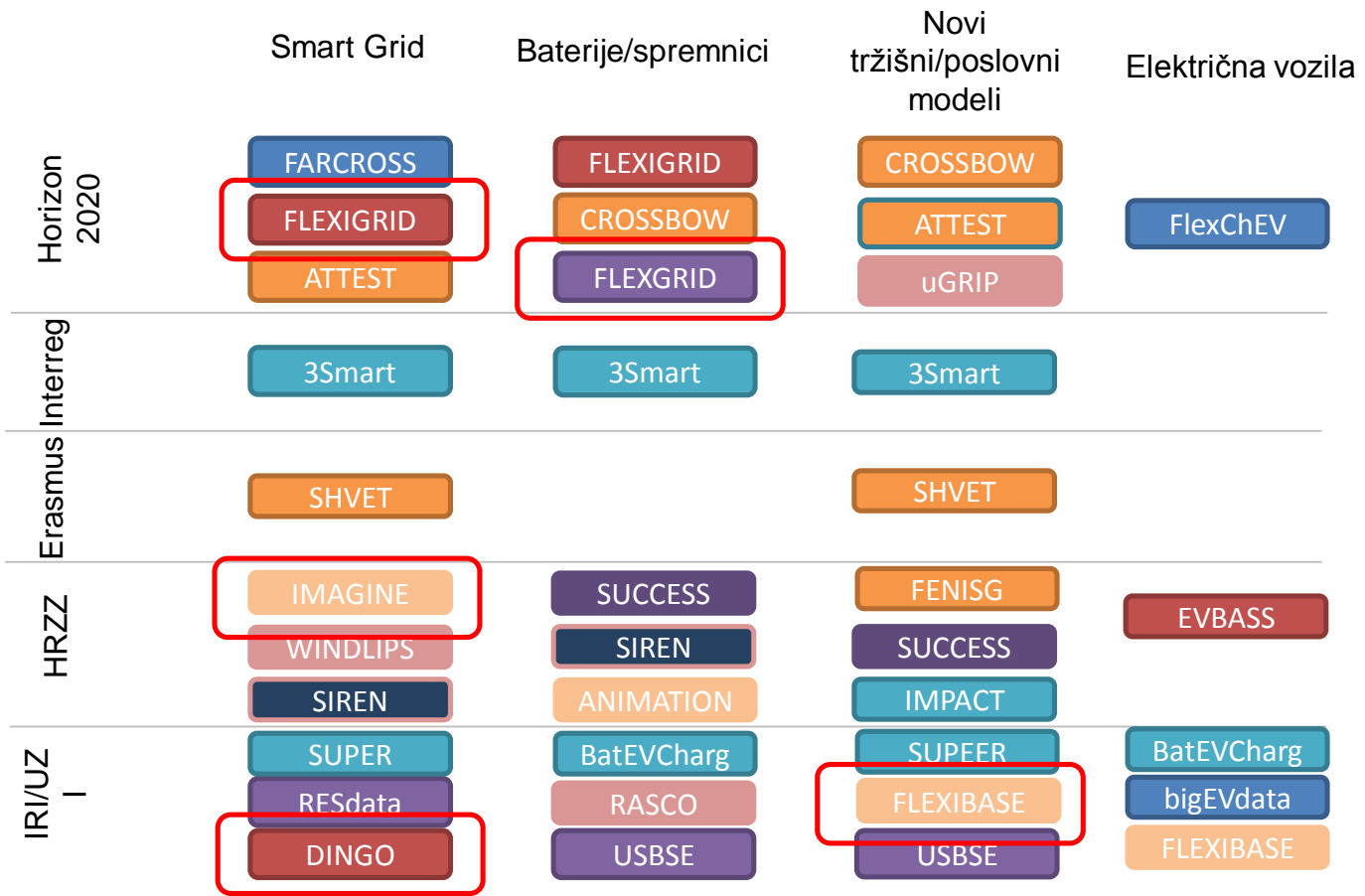
UNIVERSITY OF ZAGREB

Faculty of Electrical  
Engineering and  
Computing

# O FER-u

- Osnovan 1919., 1956. prelazi u Elektrotehnički fakultet
- FER nudi obrazovnu opremu i prostore na ukupnoj površini od 43.308 m<sup>2</sup>, uključujući 35 predavaonica, više od 60 laboratorija, Kongresni centar, Središnju knjižnicu s 12 zavodskih knjižnica, dva centra za podršku studentima i istraživačima, studentsku menzu te sportske i rekreacijske objekte
- Oko 550 zaposlenih na 12 zavoda
- Trenutno sudjeluje u 227 projekata financiranih na nacionalnoj razini ili putem EU fondova
- Posljednjih 5 godina:
  - OBZOR 2020. – 34 projekata
  - OBZOR EUROPA – 4 projekta
  - BILATERALNI – 19 projekata
  - Europska suradnja u znanosti i tehnologiji (COST) – 16 projekata
  - ERASMUS + – 17 projekata
  - INTERREG – 6 projekata
  - Europski fond za regionalni razvoj – 81 projekt
  - Europski socijalni fond – 19 projekata
  - Hrvatska zaklada za znanost – 140 projekata
  - Ostali – 24 projekta

# Projekti naprednih mreža



# Razvoj rješenja za napredne mreže

- This work has been supported in part by the European Structural and Investment Funds under KK.01.2.1.02.0042 **DINGO (Distribution Grid Optimization)**.



- This work has been supported in part by the FLEXIGRID project from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 864579. This paper reflects the FLEXIGRID consortium view and the European Commission is not responsible for any use that may be made of the information it contains.



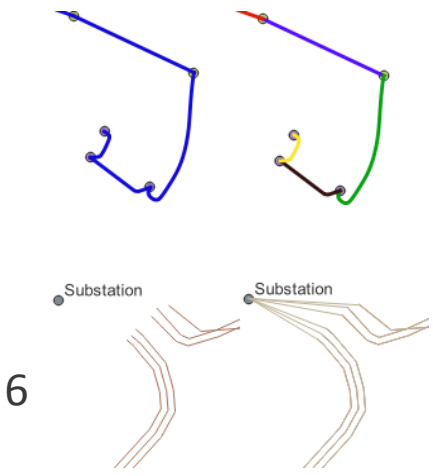
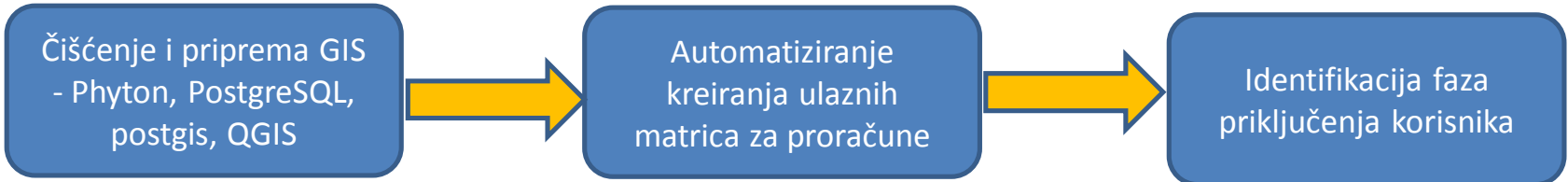
# Izazovi naprednih EEM

- Priključenje velikog broja novih korisnika (niskougličnih tehnologija) u slabo osmotrivu niskonaponsku distribucijsku mrežu -> razvoj alata i analize: gubitci, naponi, nesimetrije, harmonici itd.
  - Novi korisnici -> razvoj alata i analiza: predviđanje njihovog ponašanja u svrhu učinkovitijeg vođenja mreže/sustava
  - Poželjno iskoristiti velike količine i tokove podataka (dostupne) u distribucijskim mrežama – *machine learning (ML)*
    - Razvijen alat temeljen na ML metodama za detekciju faza i rasporeda snaga po fazama iz podataka naprednih brojila (100% točnosti)
    - Razvijen alat temeljen na ML za predviđanje gubitaka u NN dijelu mreže (detekcija kritičnih elemenata)
  - Potreba prediktivnih i sustavnih analiza ponašanja novih korisnika u NN -> veliki broj scenarija i analiza koje treba razmatrati
- 5
- Razvijen dodatak PandaPoweru (dodatak alata razvijenom na Fraunhofer-Gesellschaft <https://github.com/e2nIEE/pandapower/blob/harmonics/AUTHORS>),
  - Veliki broj analiza nesimetričnih tokova snaga, harmoničkih analiza i nesimetričnih harmoničkih analiza, različiti scenariji -> način priključka (1f, 3f), različiti slučajevi -> različite tehnologije i obrasci ponašanja

*T. Antić, T. Capuder, and M. Bolfek, "A Comprehensive Analysis of the Voltage Unbalance Factor in PV and EV Rich Non-Synthetic Low Voltage Distribution Networks" Energies, vol. 14, no. 1, p. 30, 2021.*

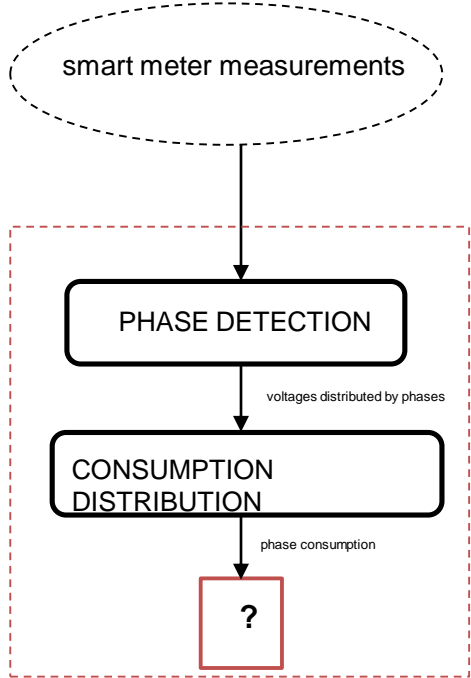
*T. Matijašević, T. Antić, T. Capuder, "Voltage-based Machine Learning Algorithm for Distribution of End-users Consumption Among the Phases" MIPRO 2022.*

# Razvoj alata naprednih EEM (1)



6

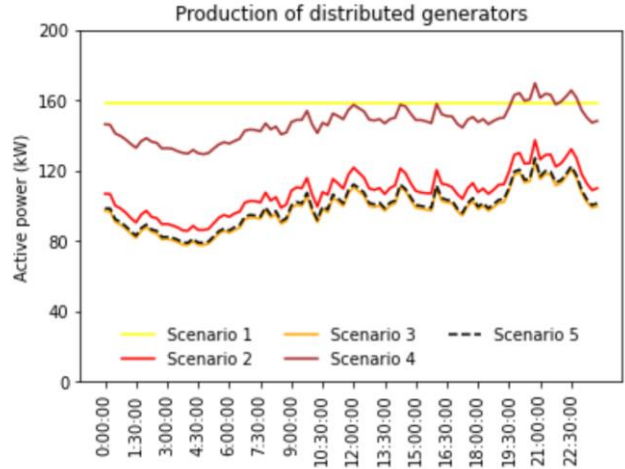
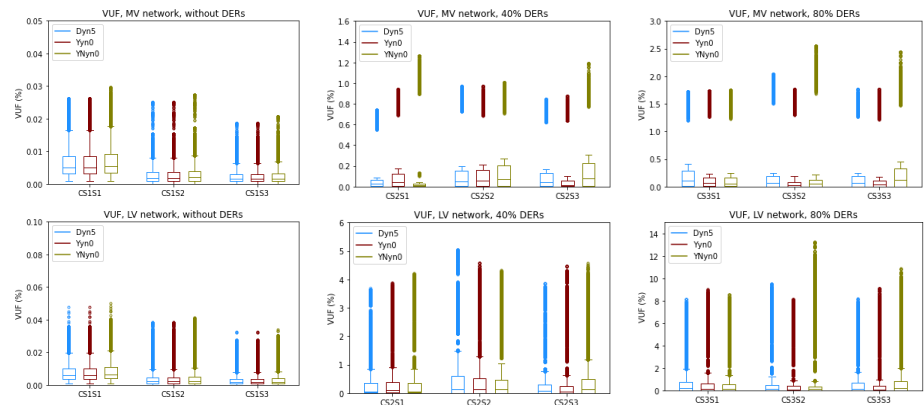
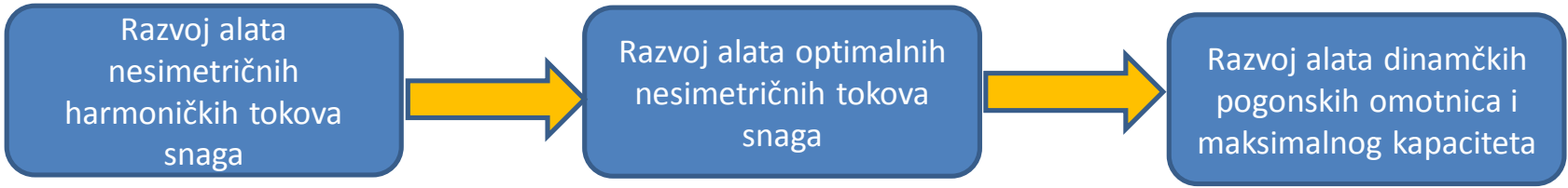
- $$Z_{kl}^{abcn} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{an} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bn} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{cn} \\ Z_{na} & Z_{nb} & Z_{nc} & Z_{nn} \end{bmatrix}$$
- $$Z_{kl}^{abc} = \begin{bmatrix} Z'_{aa} & Z'_{ab} & Z'_{ac} \\ Z'_{ba} & Z'_{bb} & Z'_{bc} \\ Z'_{ca} & Z'_{cc} & Z'_{cc} \end{bmatrix}$$



T. Antić, L. Turner., T. Capuder "Modeling and open source implementation of balanced and unbalanced harmonic analysis in radial distribution networks" *Electric Power System Research*, vol. 209, 107935, 2022.  
 T. Matijašević, T. Antić, T. Capuder, "A systematic review of machine learning applications in the operation of smart distribution systems" *Energy Reports*, 8, 12379-12407, 2022.

# Razvoj alata naprednih EEM (2)

Razvijeni alati su otvorenog koda

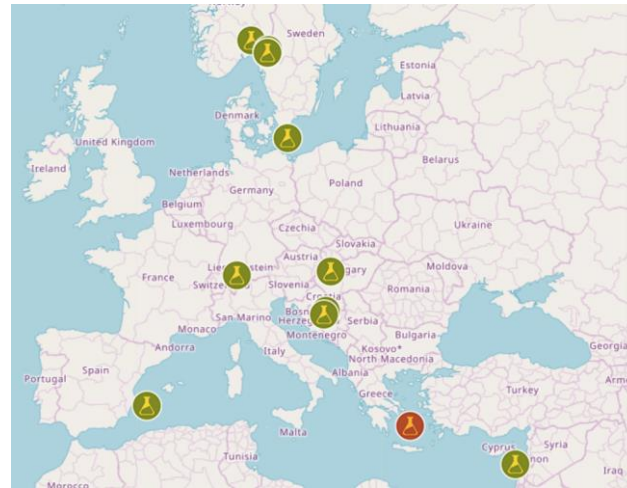


7

T. Antić, T. Capuder "Utilization of physical devices for the improvement of power quality indicators during the COVID-19 pandemic and uncoordinated integration of low carbon units, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 32, 1000926, 2022.

T. Antić, A. Keane, T. Capuder, "Pp OPF--Pandapower Implementation of Three-phase Optimal Power Flow Model" *arXiv preprint arXiv:2211.11032*, 2022.

T. Antić, F. Geth, T. Capuder, "The Importance of Technical Distribution Network Limits in Dynamic Operating Envelopes", *IEEE PowerTech 2022*



8

01/10/2019  
POČETAK

3.889.056,25€  
100% EU

VODITELJI PROJEKTA:  
ICCS

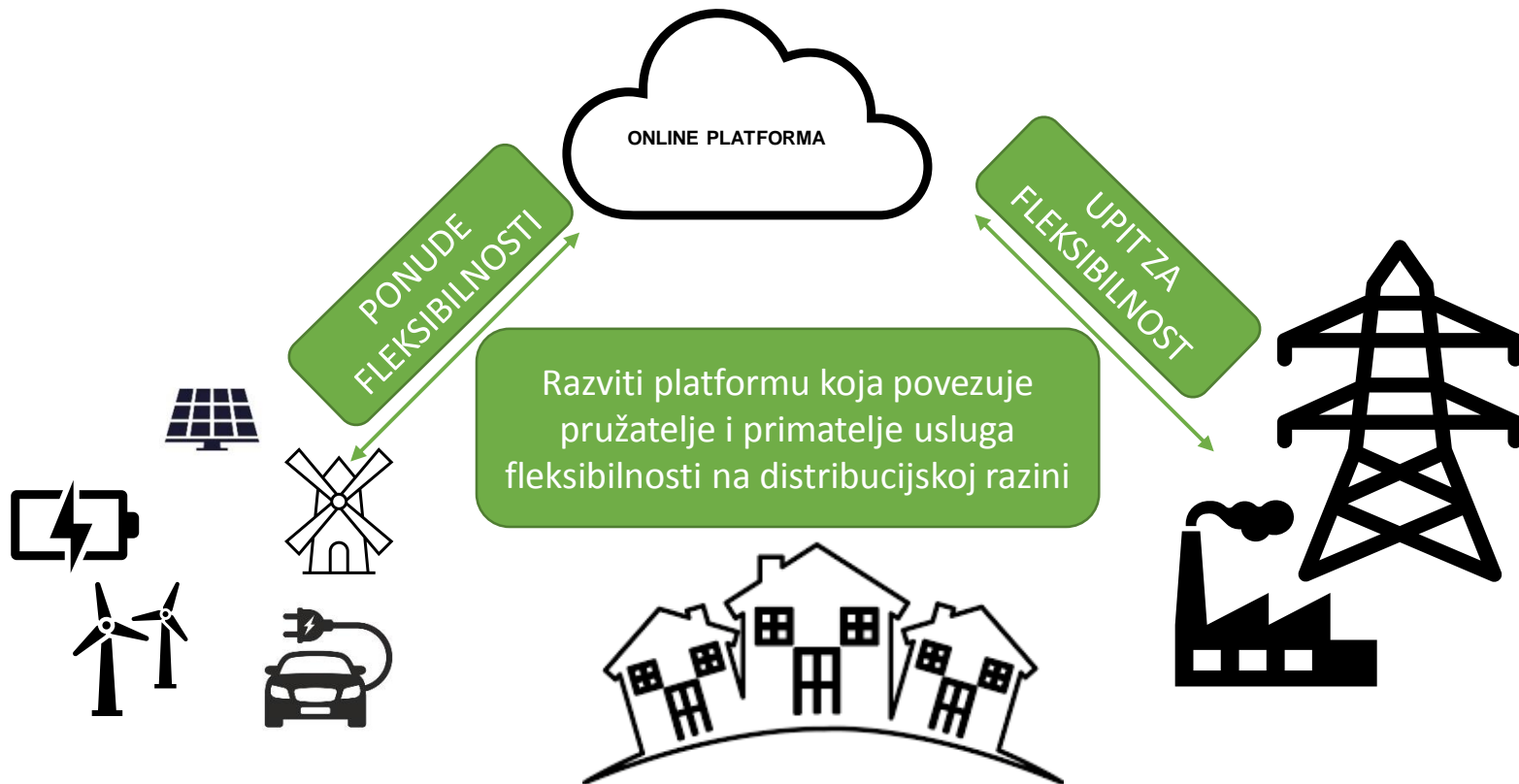
BROJ PARTNERA:  
11

30/09/2022  
KRAJ





# IDEJA I GLAVNI CILJEVI



- Automatska platforma za trgovanje
- Automatsko planiranje energetske usluge ODS-a i OPS-a
- Optimalni rad energetske usluge ODS-a i OPS-a
- Automatsko planiranje poslovnih modela pružatelja energetske usluge
- Optimalni nastup pružatelja energetske usluge
- Usluge vlasnicima obnovljivih izvora energije
- Modularna, konfigurabilna, prilagodljiva, otvorena i proširiva S/W platforma
- Piloti s renomiranim partnerima

# KUPCI FLEKSIBILNOSTI



Operatori  
distribucijskog  
sustava

- Rješavanje lokalnih problema
- Napuštanje „fit-and-forget” pristupa



Operatori  
prijenosnog  
sustava

- Korištenje pomoćnih usluga pružatelja fleksibilnosti na distribucijskoj razini



Voditelji  
bilančnih grupa

- Balansiranje portfelja



Opskrbljivači

- Prodaju fleksibilnost krajnjih korisnika

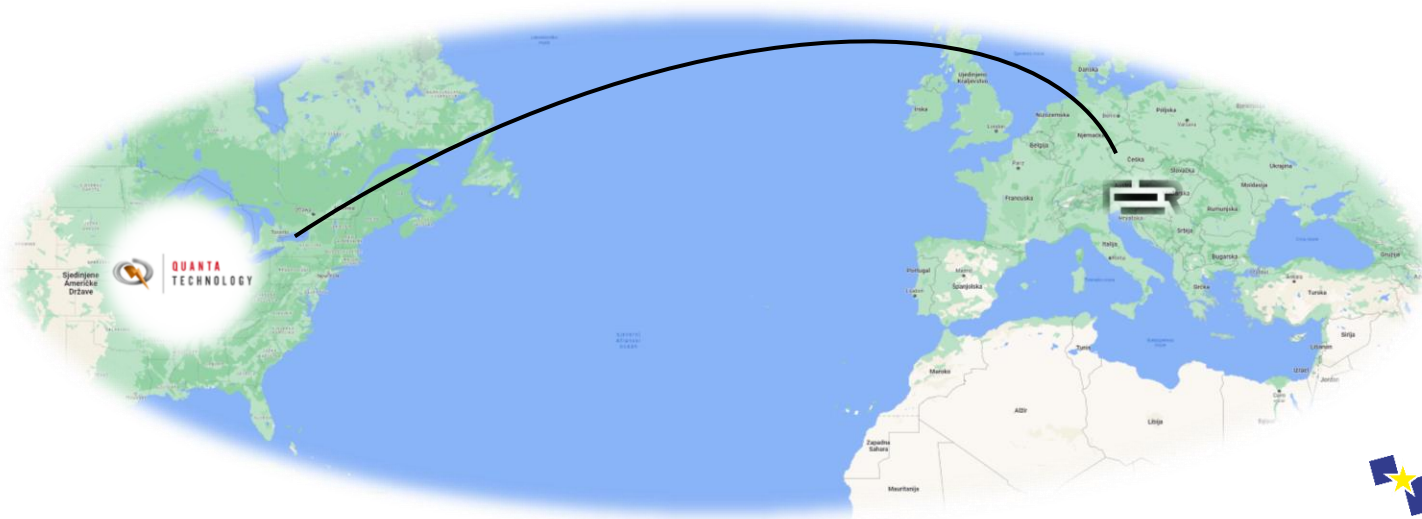
Upravitelji OIE i  
spremnika energije

- Mogu koristiti spremnike energije za pružanje usluga fleksibilnosti

Neovisne  
agregatorske  
kompanije

- Imaju ugovore s mnoštvom „prosumera” te ih agregiraju

# FLEXIBASE



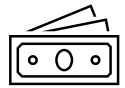
Europska unija  
Zajedno do fondova EU



11

Zavod za visoki napon  
i energetiku

01/10/2019  
POČETAK



2.196.300,00 HRK  
100% EU



VODITELJI PROJEKTA:  
prof.dr.sc. H. Pandžić & dr.sc. D.  
Novosel



BROJ PARTNERA:  
2

31/05/2023

KRAJ



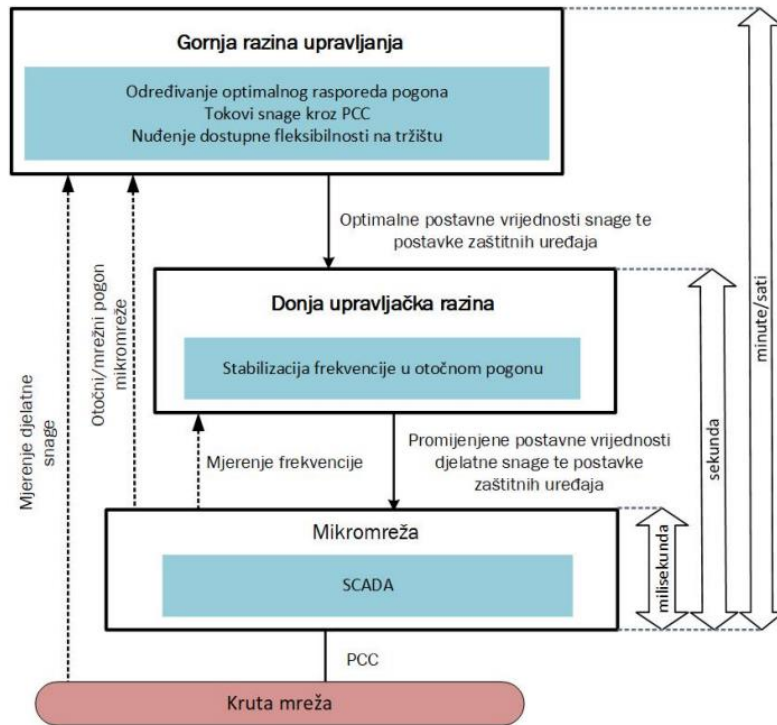
# GLAVNI CILJEVI:



Niti jedan prethodno provedeni projekt ili projekt u tijeku ne povezuje upravljanje i sheme zaštite s algoritmima optimalnog pogona mikromreže

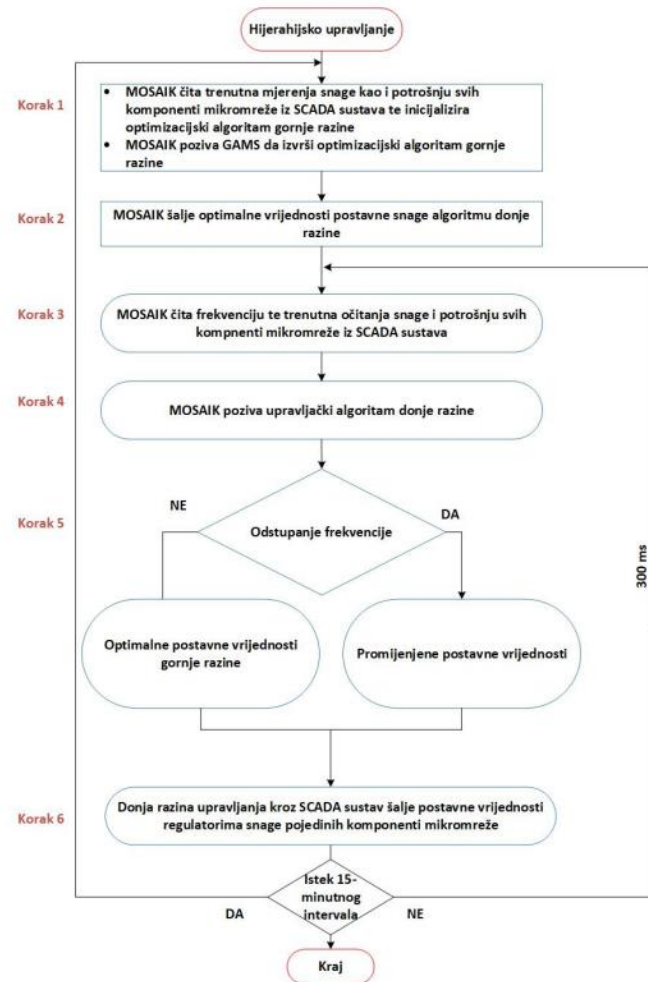


- Razvoj algoritama za estimaciju i maksimizaciju dostupne fleksibilnosti u mikromreži s visokim udjelom pretvarača korištenjem hijerarhijskog upravljanja
  - Gornja razina – minimizacija dugoročnih troškova pogona mikromreže
  - Donja razina - kratkoročno zadovoljavanje tehničkih ograničenja
- Algoritam za bolju koordinaciju rada zaštitnih uređaja koji će omogućiti pogon mikromreže bliže granicama stabilnosti na temelju mjerenja i prikupljenih podataka
- Nuditi na tržištima energije i pomoćnih usluga tržišnim sudionicima i operatorima sustava usluge fleksibilnosti
- Razviti model optimalnog pogona mikromreže koja u svakom trenutku može prijeći u otočni pogon uz zadržavanje stabilnosti i napajanja svojih potrošača



13

Hijerarhijski upravljački slojevi mikromreže s velikim udjelom pretvarača



Dijagram izvođenja hijerarhijske strukture

M. Beus, I. Grcić, H. Pandžić "Microgrid Dispatch with Protection Constraints", SEST 2021, 2022.

M Čuljak, H Pandžić, J Havelka, "Mathematical Morphology-Based Fault Detection in Radial DC Microgrids Considering Fault Current from VSC", IEEE Transactions on Smart Grid, 2022.

M Krpan, M Beus, I Kuzle, H Pandžić „Laboratory Testbed for Advanced Grid Applications of Interconnected Battery Energy Storage Systems in Smart Grids”, IEEE POWERCON 2022

## Prijedlozi, ideje

- ❑ Ciljani pilot distribucijskih mreža
  - ❑ Definiranje potentnih smjerova razvoja,
  - ❑ Definiranje pilota (jednog ili više) na kojima se testiraju razvijena rješenja -> razvojni tim na obje strane, dostupnost, podatci, verifikacija....
- ❑ Zajednički razvojni projekti
  - Cilj, strategija
  - Definiran tim koji prijavljuje/radi/vodi projekte
  - .....