

Koncept mikromreže - odgovor na probleme integracije obnovljivih izvora energije u elektroenergetski sustav

Ninoslav Holjevac*

Fakultet elektrotehnike i računarstva

Zagrebački energetska tjedan
11. svibnja 2016.

*ninoslav.holjevac@fer.hr

Uvod

- Prodor novih tehnologija
 - Obnovljivi izvori energije
 - Električni automobili
 - Distribuirana proizvodnja
 - Spremnici energije
- Potrebne investicije u distribucijsku mrežu
 - “fit and forget” pristup neodrživ i skup
 - “smart grid” pristup kao rješenje
- Napredne mreže mogu omogućiti uspješnu integraciju obnovljivih izvora
 - Na razini manjih jedinica – **mikromreža**

Uvod – Obnovljivi izvori energije



Uvod – Obnovljivi izvori energije

- Prednosti

- Očuvanje okoliša (otpad, staklenički plinovi...)
- Smanjena ovisnost o uvozu energenata
- Manja cijena električne energije
- Otvaranje novih radnih mjesta

- Nedostatci

- Varijabilnost primarnog izvora energije
- Nepredvidivost primarnog izvora energije
- Zagušenja vodova
- Onemogućen normalan pogon konvencionalnog elektroenergetskog sustava (EES-a)

Uvod – pojam fleksibilnosti u energetici

- Proizvodnja električne energije je fleksibilna kada možemo na nju utjecati
 - Vjetroelektrane ili solarni paneli su nefleksibilni izvori energije jer ne možemo utjecati na brzinu vjetra ili zračenje sunca
 - Termoelektrane na fosilna goriva su fleksibilni izvori energije jer možemo odlučiti kada ćemo proizvoditi, a kada ne
- EES je fleksibilan ako može ostati u stabilnom stanju prilikom pojave poremećaja u sustavu (npr. nedostatak vjetra)

Uvod – nove tehnologije i koncepti

- Zbog povećanog prihvata OIE, mora se povećati fleksibilnost EES-a
 - Spremnici električne energije
 - Integracija nacionalnih elektroenergetskih sustava
 - Multienergetski sustavi
 - Mikromreže
 - Upravljiva trošila (potrošnja)
 - Električna vozila



Mikromreže (1)

- Skup:
 - Trošila
 - Distribuirane proizvodnje
 - Spremnika energije
- Koordinirano upravljanje s ciljem pouzdane razmjene s ostatkom sustava preko mjesta spoja na mrežu (PCC – *Point of Common Coupling*)
- Velika penetracija obnovljivih izvora stvara probleme i potrebu za:
 - Raspodjelom opterećenja u uvjetima nesigurnosti
 - Ostvarenje pouzdanog i ekonomičnog rada uz visoku penetraciju OIE
 - Definiranje novih tržišnih signala i modela

Mikromreže (2)

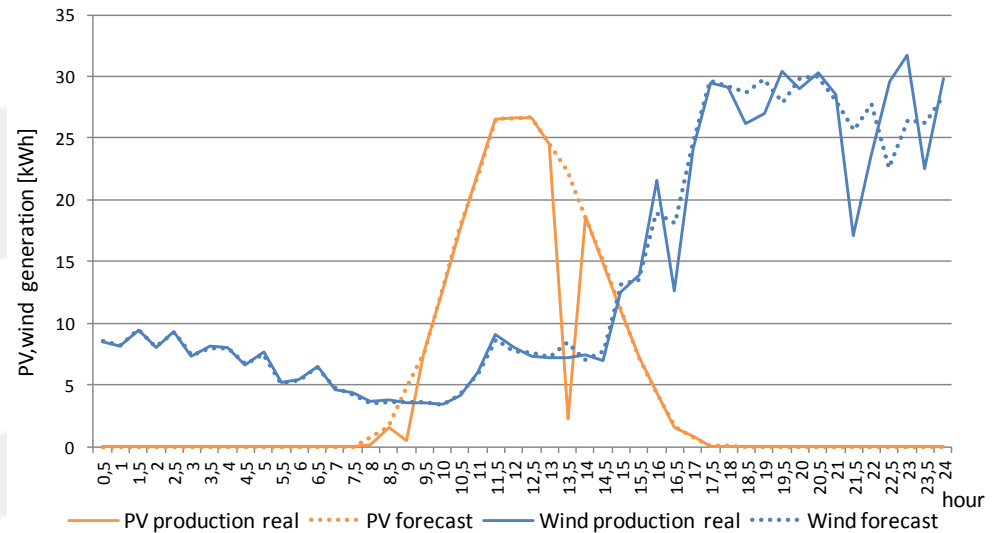
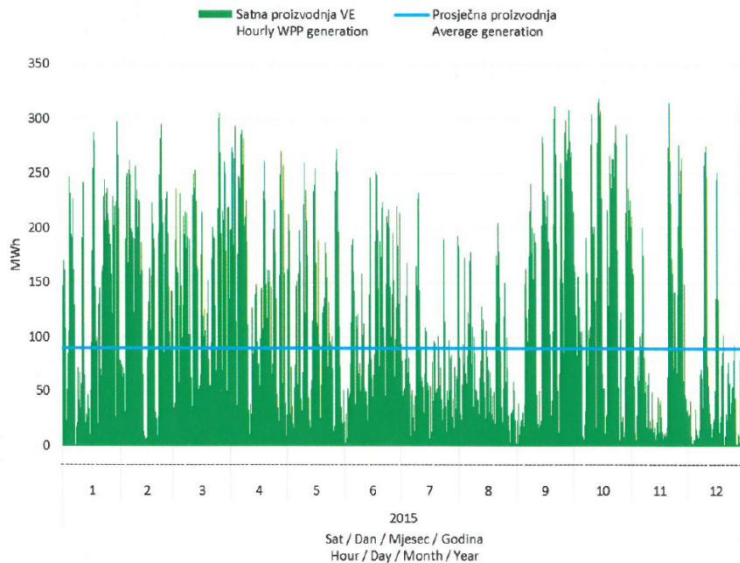
- Moguće rješenje za integraciju OIE?
 - Odstupanje proizvodnje neizbježno (*"planned"* vs. *"realized"*)
 - Različiti elementi (baterijski spremnici, fleksibilna potrošnja, električne dizalice topline, micro CHP jedinice, spremnici topline električni automobili...)

Neupravljive elemente teško u potpunosti uklopiti u rad sustava.

- Angažman jedinica (*"unit commitment"*) u uvjetima nesigurnosti prognoze
- Potrebno je efikasno upravljanje

Vremenski promjenjiva proizvodnja

- Vjetroelektrane i solarne elektrane najznačajnije unose nesigurnost
 - Planirano u odnosu na ostvareno



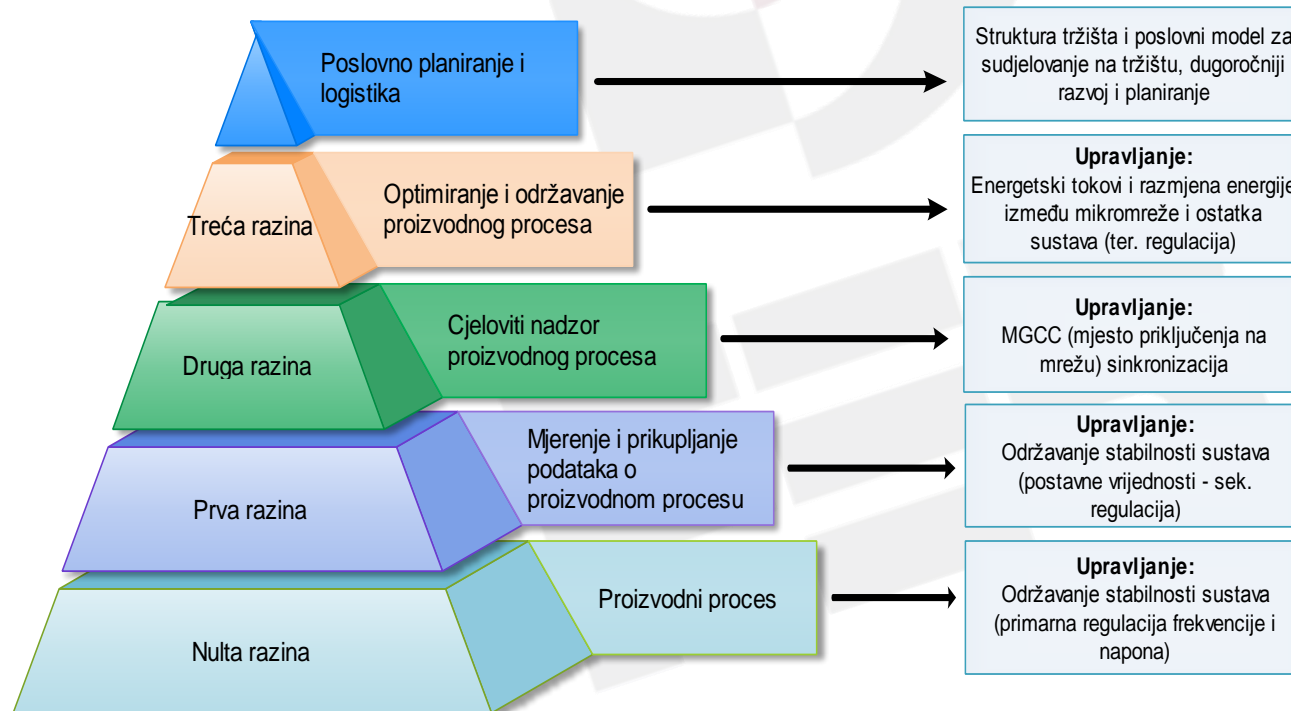
Upravljanje mikromrežom (1)

- Integracija svih elemenata
 - Upravljanje → neiskorištena energija, min gubici, min trošak, smanjenje emisija, produljenje životnog vijeka...



Upravljanje mikromrežom (2)

- Hijerarhijsko upravljanje
 - Niže razine bliže samom procesu
 - Više razine – cjeloviti nadzor i planiranje
- Centralno upravljanje
 - Više razine upravljanja



Fleksibilnost

- Efikasnim upravljanjem moguće je iskoristi potencijal povezivanja rada različitih jedinica
 - Sprega dizalica topline i mikro kogeneracijskih jedinica
 - Spremnici i OIE
- Smanjuje se potreba za rezervom sustava i izbjegava predimenzioniranje jedinica
- Pokazatelji nedostatka fleksibilnosti
 - Primjerice:
 - Bacanje vjetra (“wind curtailment”)
 - Rasipanje topline
 - Zahtjev za prevelikim promjenama snage (“ramp”)

Optimizacijski model (1)

- MILP model (*Mixed Integer Linear Programming*) za dugoročno planiranje
 - pitanje optimalnog dimenzioniranja jedinica u odnosu na neiskorištenu energiju i troškove pogona (godina dana)
 - Ostvarivanje fleksibilnosti pogona – izbjegavanja bacanja energije

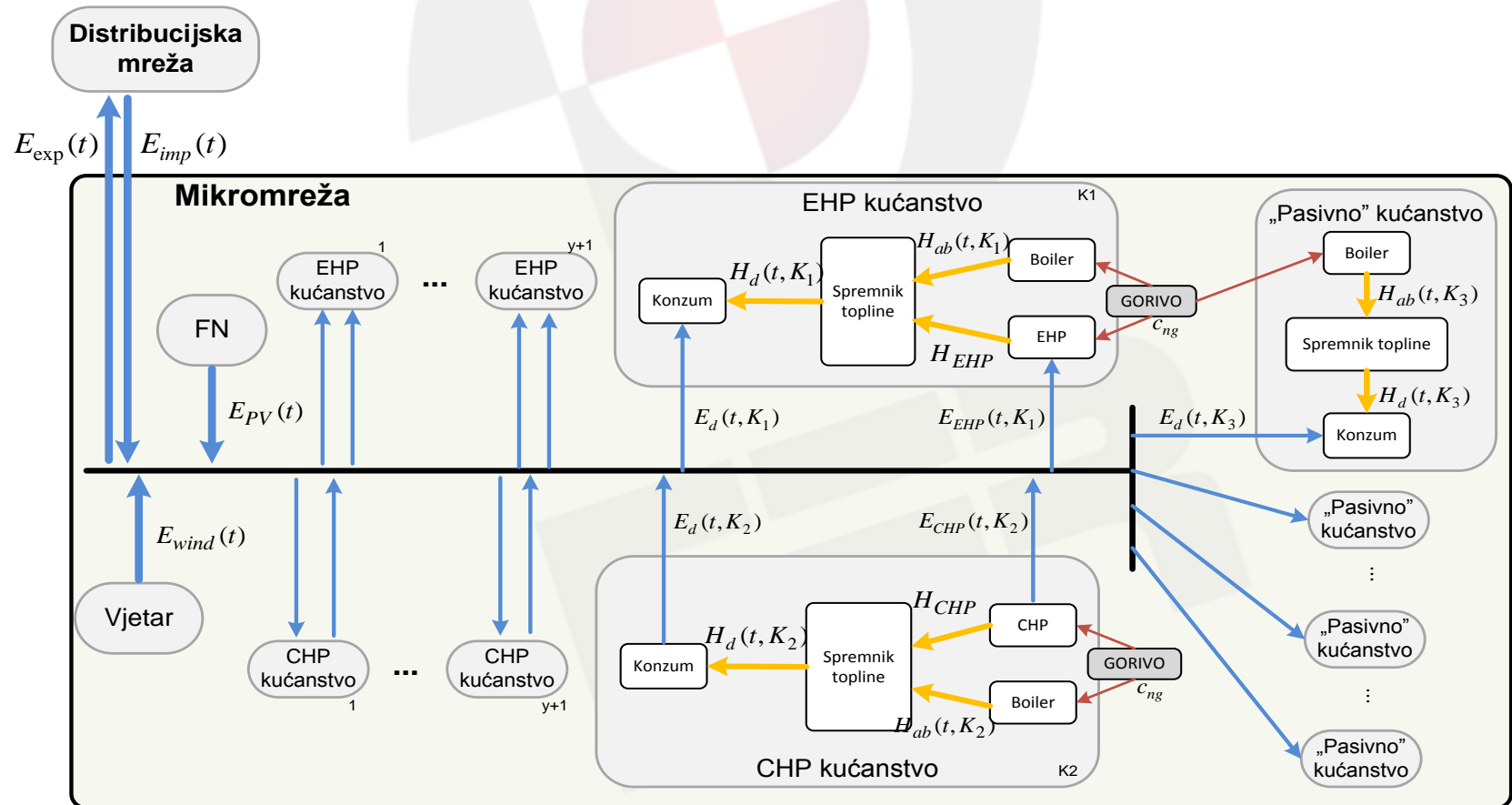
+

- Varijabilni klizni upravljački algoritam za planiranje dan unaprijed u uvjetima nesigurnosti
 - Neizvjesnost proizvodnje → smanjenje odstupanja u angažiranju jedinica (24 satni pogon) od najavljenog rasporeda
- Funkcija cilja → minimizacija troškova s naglaskom na bačenoj energiji kao indikatorom fleksibilnosti

Optimizacijski model (2)

- Matematički opis svih elemenata

- 300 kućanstava (potrošnja topline i el. E.), CHP jedinice, dizalice topline, toplinski spremnici, OIE



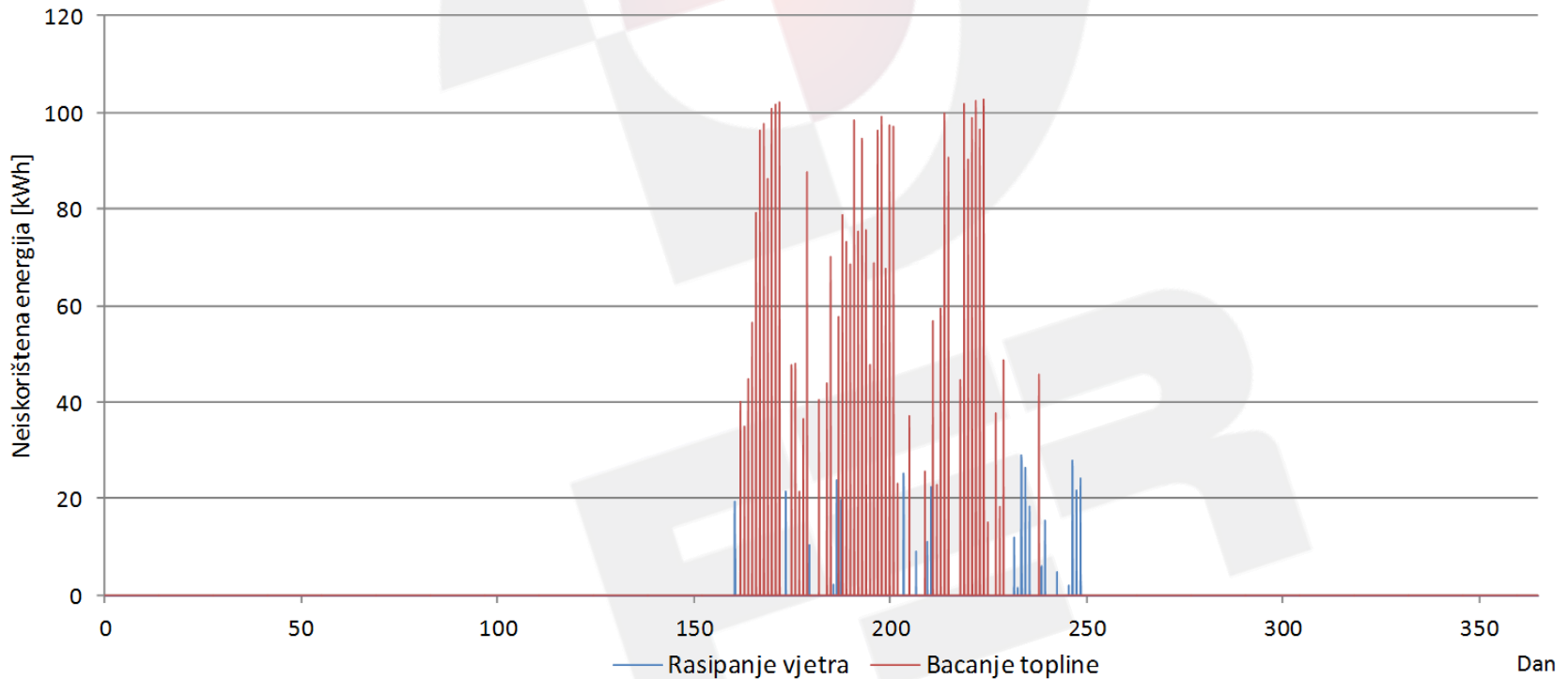
Načini pogona

- Dva osnovna načina pogona
 - Paralelno s mrežom – “on-grid”
 - Otočni režim – “off-grid”

Pokazatelj pogona mikromreže	“Off-grid”	“On-grid”
Ukupna energija [kWh]	4.190.934	4.177.944
Ukupna potrošnja EE [kWh _e]	764.926	764.926
Ukupna potrošnja topline [kWh _t]	3.559.675	3.413.018
Rasipanje vjetra “Curtailment” [kWh]	1.301	0,00
Baćena toplina [kWh]	11.689	0,00
Uvoz EE [kWh]	0,00	266.934
Izvoz EE [kWh]	0,00	547.112
Emisije CO2 [kg]	649.560	535.684
Neiskorištena energija [%]*	0,36	0,00
Proizvodnja bojlera [kWh]	453.621	87.756
Trošak goriva bojlera [€]	13.341	2.581
UKUPNI TROŠAK POGONA [€]	99.320	68.477

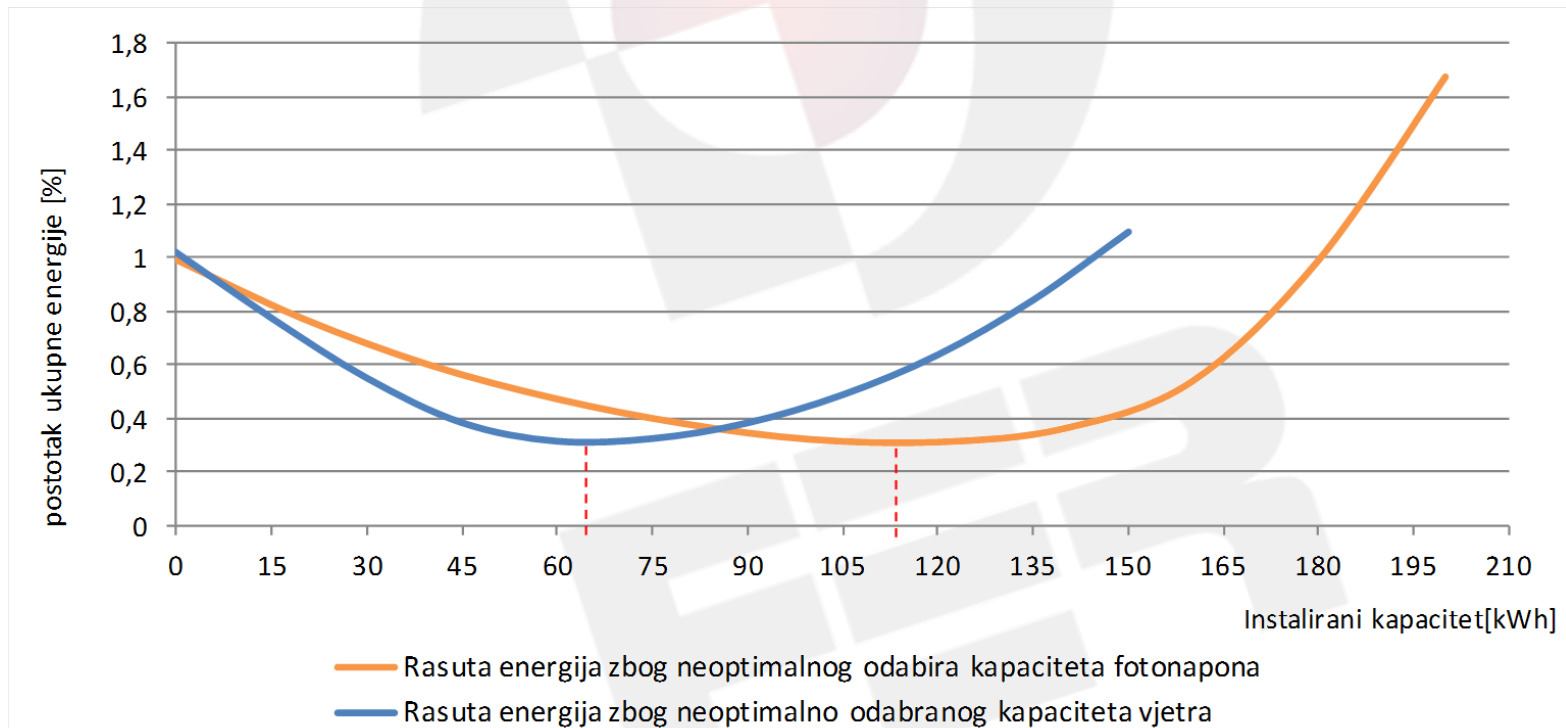
Nedostatak fleksibilnosti

- Nedovoljno fleksibilnost pogona dovodi do rasipanja vjetra i bacanja topline



Optimalna količina instaliranih OIE

- Neoptimalni odabir kapaciteta uzrokuje veće neiskorištavanje energije



Nesigurnost prognoze

- Mikromreža kao sudionika tržišta
 - “Day-ahead” planirani uvoz/izvoz | | energija uravnoteženja

	Višak sustava	Manjak sustava
Višak sudionika	SSP (<i>System Sell Price</i>) (-)	MCP (<i>Market Clearing Price</i>)
Manjak sudionika	MCP (<i>Market Clearing Price</i>)	SBP (<i>System Buy Price</i>) (+)

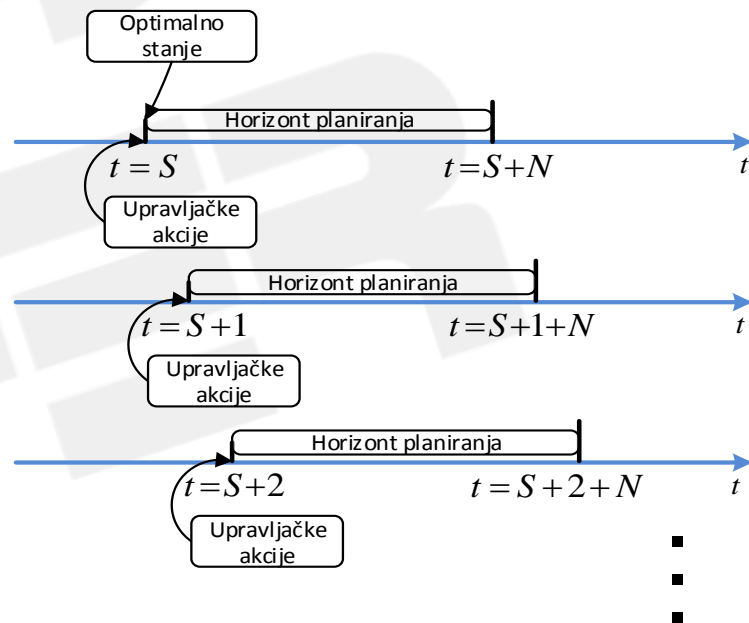
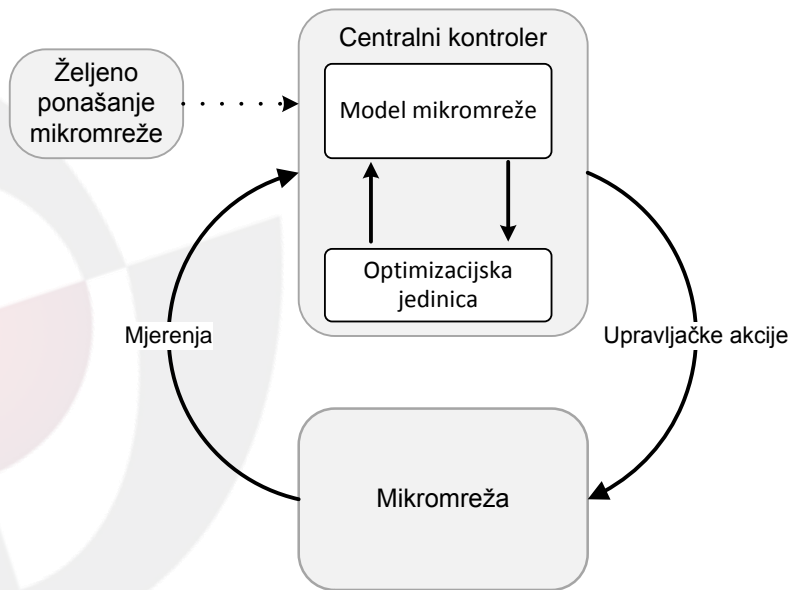
- Predviđanja podložna pogrešci
 - Konzum, OIE

- Istražiti koliko **nesigurnost prognoze** utječe na pogon mikromreže!
 - Je li mikromreže dovoljno fleksibilna ublažiti **neizvjesnu prirodu proizvodnje** iz OIE?

Varijabilni klizni upravljački algoritam (1)

- Modelsko prediktivno upravljanje
- Sve više se koristi u problemima povezanim s elektroenergetskim sustavom
- Upravljačke akcije na početku "koraka" simulacije

- Do sljedećeg "koraka"
- Za "horizont planiranja" unaprijed



Varijabilni klizni upravljački algoritam (2)

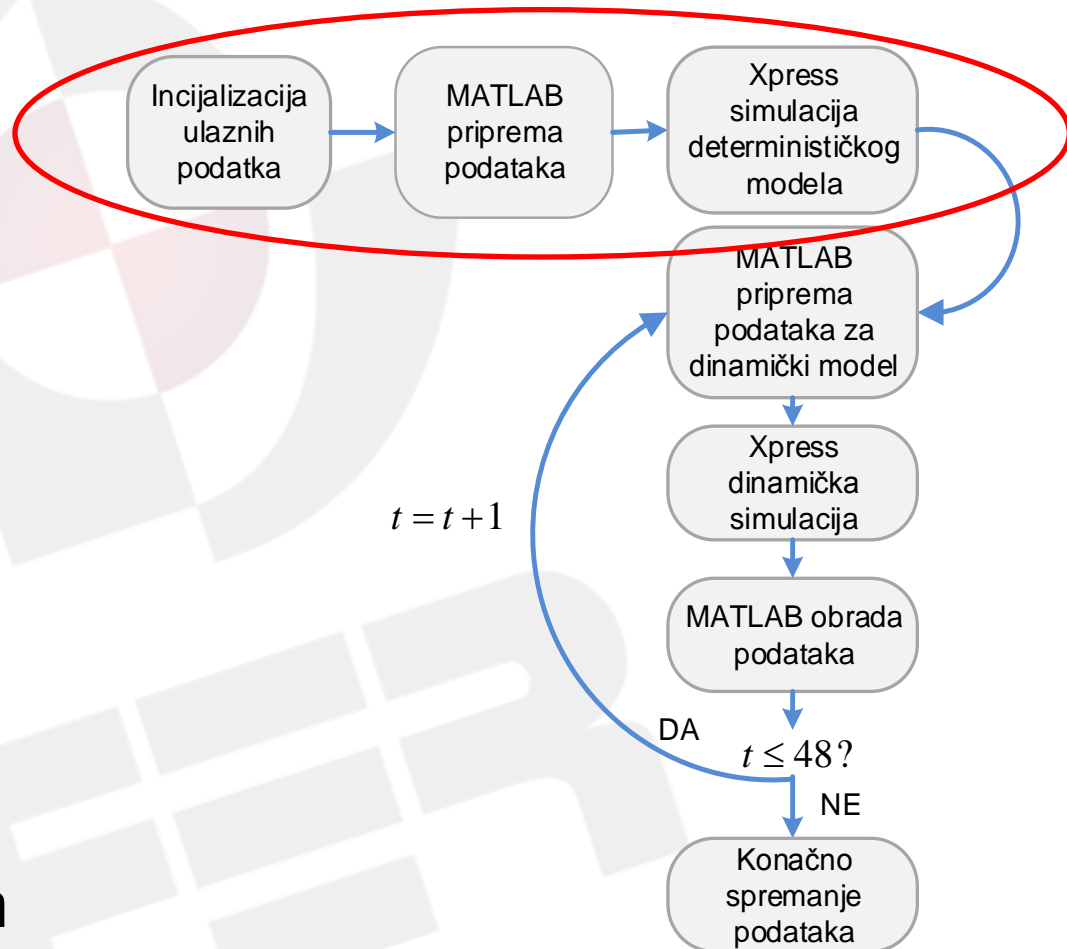
KORAK 1:

- Kontroler sakuplja planirane podatke o:

$$E_d, H_d, E_{pv}, E_{wind}$$

i pronalazi optimalni raspored pogona jedinica.

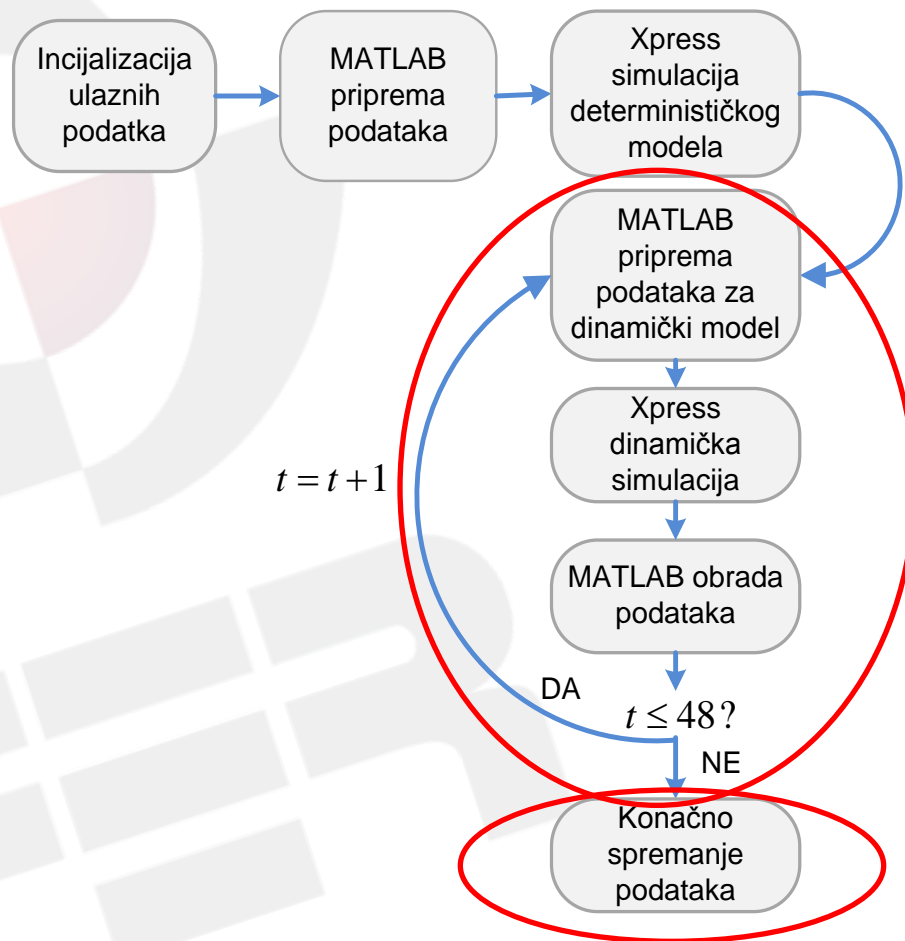
- Planirani uvoz/izvoz se šalje Operatoru distribucijskog sustava (DSO)
- Pronalazak reference za pogon (deterministička referenca)



Varijabilni klizni upravljački algoritam (3)

KORAK 2 (petlja):

- U prvom satu kontroler dobiva osvježene prognoze i sukladno tome raspoređuje prema MPC algoritmu agregate za sve točke horizonta upravljanja
- Iteracija se ponavlja do kraja dana (24 sata)
- Na kraju se podaci spremaju za obradu



Varijabilni klizni upravljački algoritam (4)

- Modificirana funkcija cilja
 - Cijene tržišta uravnoteženja (imbalance prices)
 - Tri segmenta

Predviđeni trošak (Ugovorene razmjene)

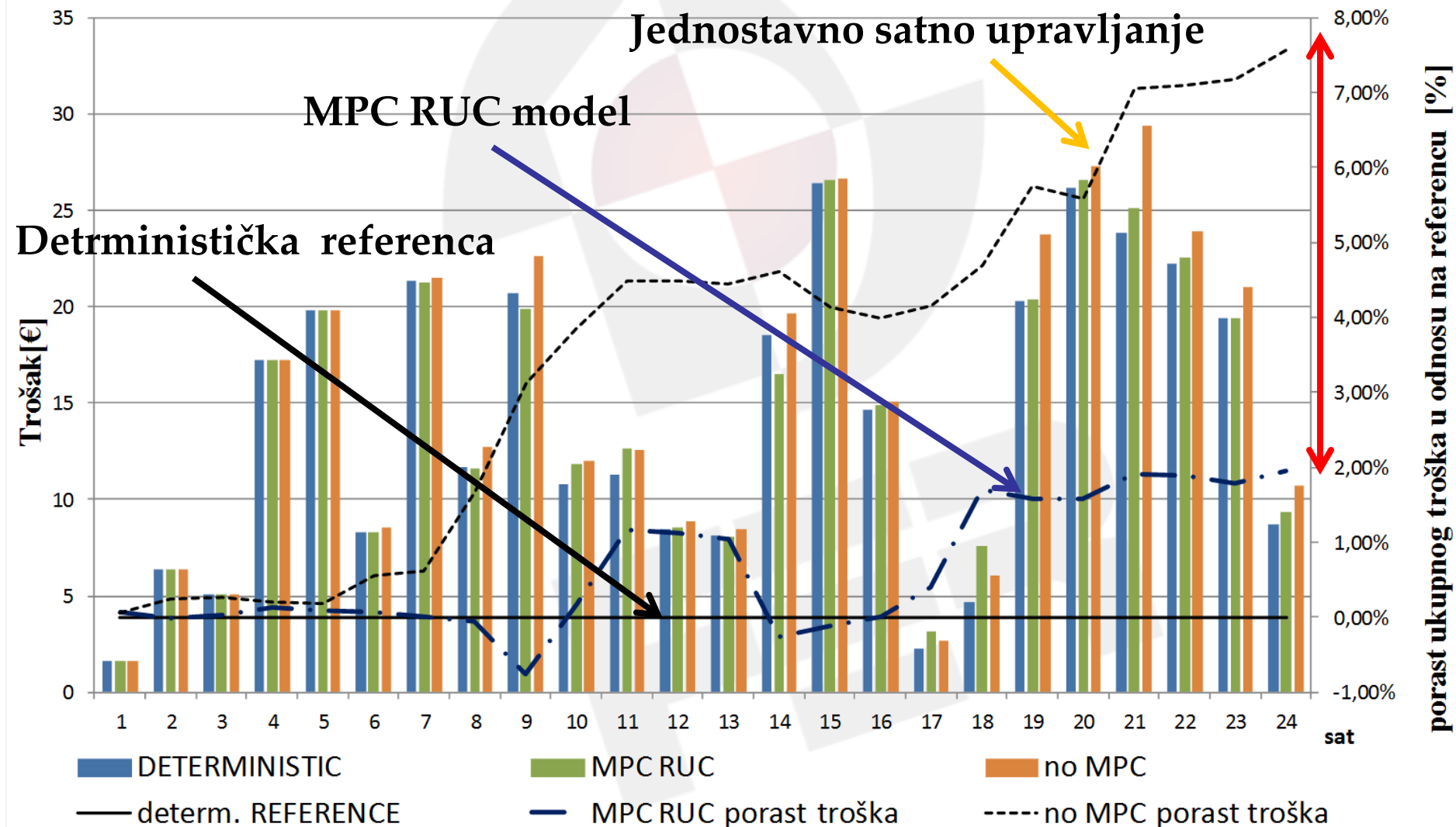
$$\begin{aligned}
 COST = & \sum_{t=1}^{24 \cdot \tau^{-1} + 1 - S} \left[F(t) \cdot c_{ng} + E_{imp0}(t) \cdot c_{mcp}(t) - E_{exp0} \cdot c_{mcp}(t) + P \cdot E_{wind_curt}(t) + P \cdot H_{waste}(t) \right] + \\
 & \dots + \left[\begin{aligned} & (-)short_{imp}(t) \cdot M_1 \cdot c_{mcp}(t) + long_{imp}(t) \cdot M_2 \cdot c_{mcp}(t) + \\ & short_{exp}(t) \cdot M_2 \cdot c_{mcp}(t) - long_{exp}(t) \cdot M_1 \cdot c_{mcp}(t) \end{aligned} \right] + \dots \\
 & \dots + \sum_{t=24 \cdot \tau^{-1} + 1 - S}^{24 \cdot \tau^{-1}} \left[F(t) \cdot c_{ng} + E_{imp}(t) \cdot c_{mcp}(t) - E_{exp} \cdot c_{mcp}(t) + P \cdot E_{wind_curt}(t) + P \cdot H_{waste}(t) \right]
 \end{aligned}$$

Trošak uravnoteženja

Budući koraci do kraja dana (trošak determinističke reference)

Satni troškovi

- Smanjenje porasta troškova u odnosu na referencu



Zaključak

- Predloženi model ima mogućnost:
 - **Deterministička simulacija**
 - Procjene utjecaja različitih elemenata na fleksibilnost pogona
 - Pronalazak optimalnih veličina instaliranih kapaciteta
 - **Simulacija u stohastičkom okruženju**
 - Djelomična kompenzacija pogreške uzrokovane nesavršenom prognozom
 - Troškovi pogona smanjeni u usporedbi sa jednostavnim satnim upravljanjem

Koncept mikromreža velikim dijelom može smanjiti utjecaj integracije OIE i njihove vremenski promjenjive i nepredvidive proizvodnje

Projekti

- Znanstveni projekti:
 - FENISG (Flexible Energy Nodes In Low Carbon Smart Grid)
 - Koncept mikromreža i multienergijskih sustava
 - Flex-ChEV (Flexible Electric Vehicle Charging Infrastructure)
 - Električna vozila – dodatna fleksibilnost u EES-u?
 - SIREN (Smart Integration of RENewables)
 - Spremnici energije
 - EV BASS (Electric Vehicle Battery Swapping Station)
 - Koncept infrastructure za zamjenu baterija EV
 - BUGS (Building Green Skills)
 - Učinkovita “zelena” gradnja



Hvala na pažnji!

