



Smart Integration of RENewables

Regulacija frekvencije korištenjem mikromreža sa spremnicima
energije i odzivom potrošnje

Hrvoje Bašić

Završna diseminacija projekta SIREN

FER, 30. studenog 2018.

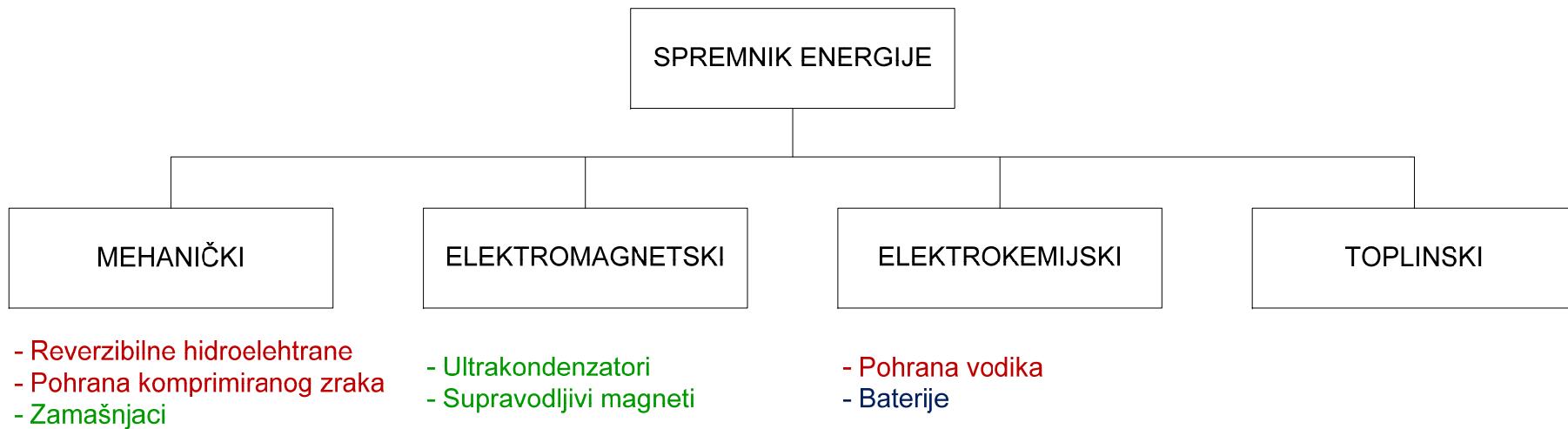
Sadržaj

1. DC mikro mreže sa spremnicima energije i upravljanjem potrošnjom za pružanje usluga regulacije frekvencije u elektroenergetskim sustavima
2. Doprinosi DC mikromreža u pružanju usluga regulacije frekvencije u elektroenergetskom sustavu – problemi nesavršene komunikacije
3. Integracija sustava baterijskog spremnika energije u elektroenergetski sustav za osiguranje n-1 kriterija sigurnosti

Mogućnosti pružanja usluga regulacije frekvencije

1. Povećanje konvencionalnih rezervi za regulaciju frekvencije
2. Integracija spremnika energije u sustav
3. „upravljana potrošnja“
4. Planiranje, vremenska prognoza
5. ...

Spremnici energije



VELIČINA SPREMNIKA ENERGIJE U
ODNOSU NA KAPACITET I SNAGU

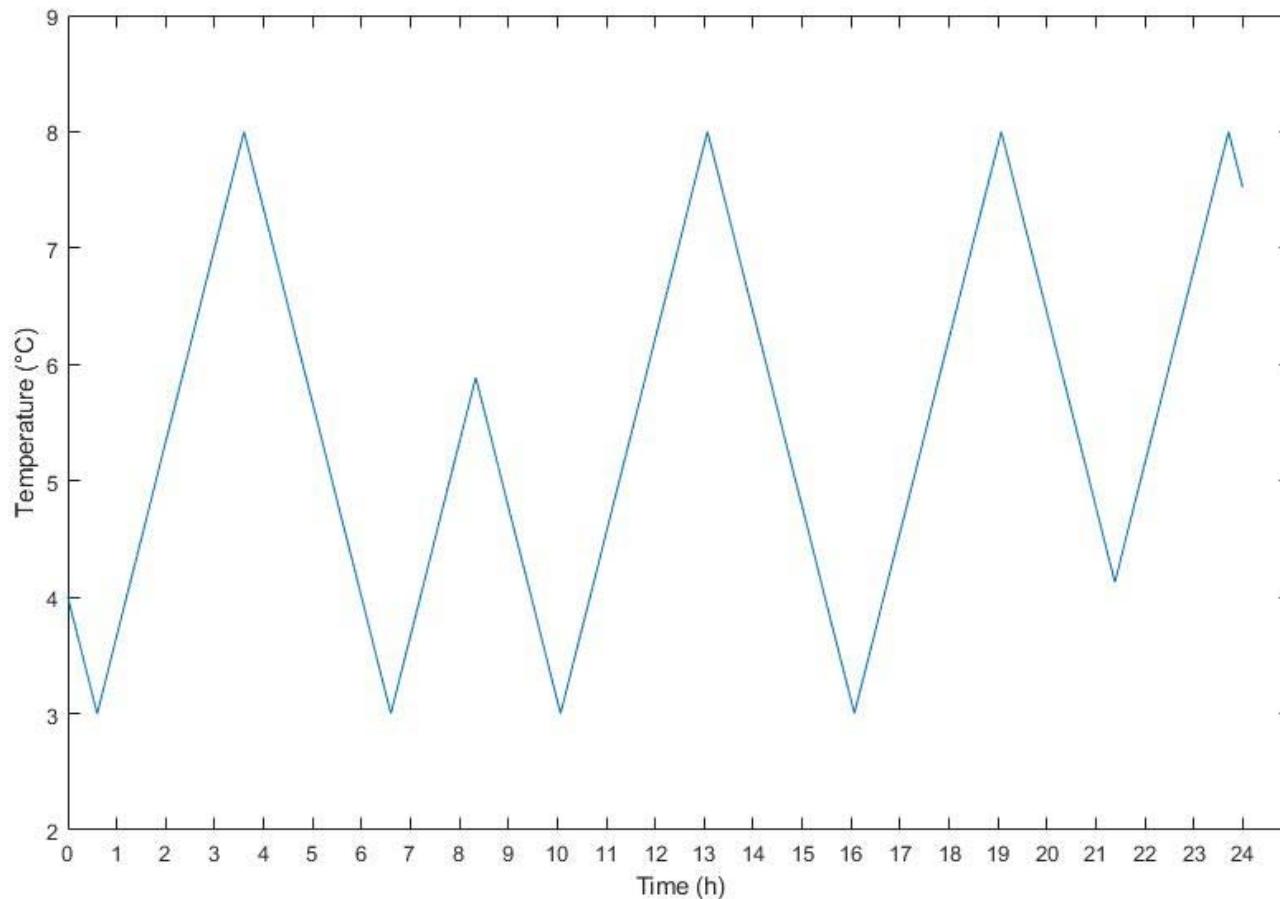
█ Veliki █ Srednji █ Mali

„upravljana potrošnja”

- Nekoliko tipova potrošača ima mogućnost prilagođavanja potražnje unutar zadanih granica
 - Dizalice topline
 - Sustavi hlađenja
 - Sustavi grijanja
 - Rashladni sustavi
 - Potrošna tolpa voda
 - Električna vozila
 - ...
- Korištenje mogućnosti upravljanja potrošnjom potrošača
- npr. korištenje spremljene toplinske energije termostatskih trošila u uobičajenom radu

„upravljana potrošnja”

Ciklusi uključivanja i isključivanja upravljivih termostatskih trošila



1. DC mikro mreže sa spremnicima energije i upravljanjem potrošnjom za pružanje usluga regulacije frekvencije u elektroenergetskim sustavima

eng.

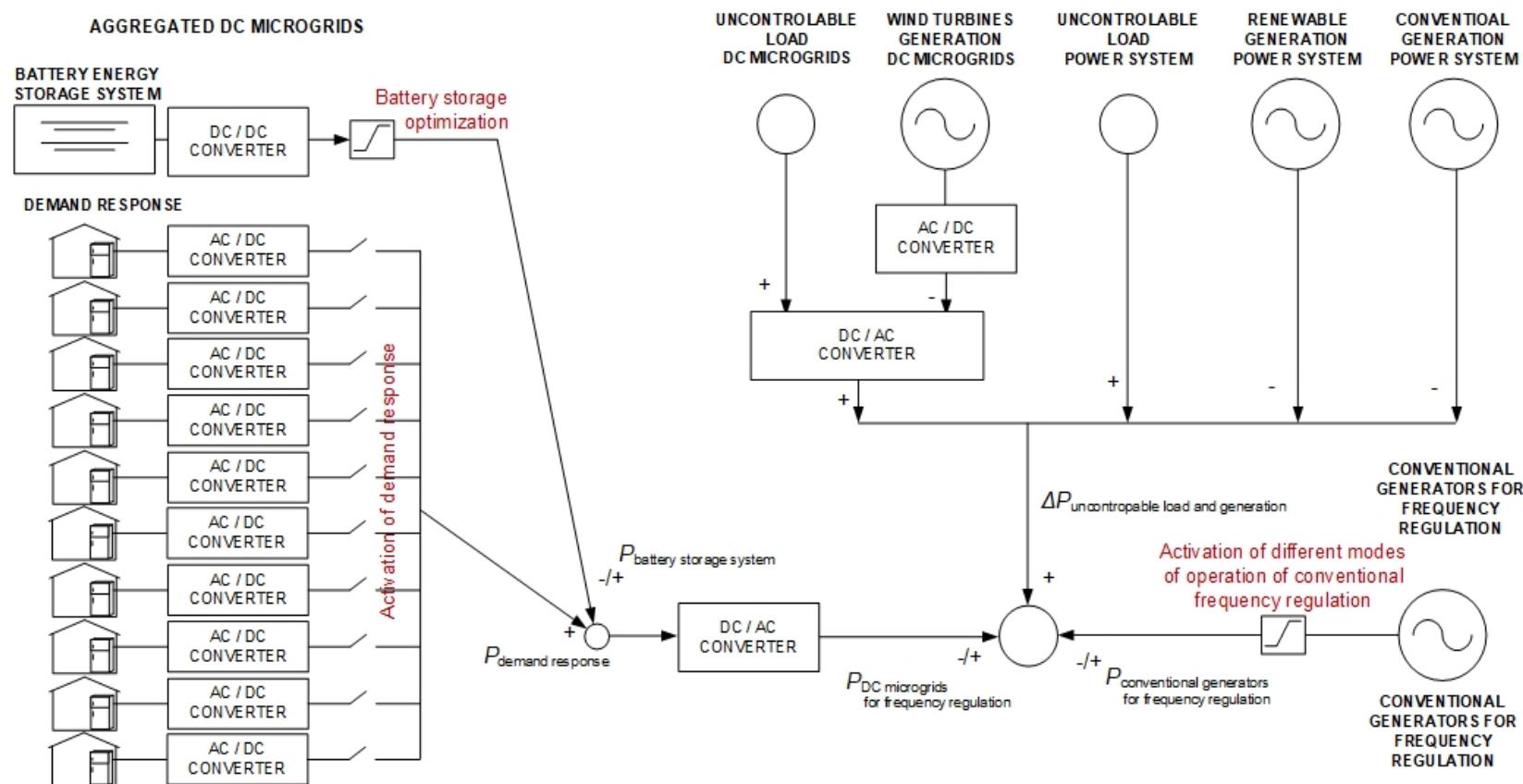
DC microgrids with energy storage systems and demand response for providing support to frequency regulation of electrical power systems

autori: H. Bašić, T. Dragičević, H. Pandžić, F. Blaabjerg

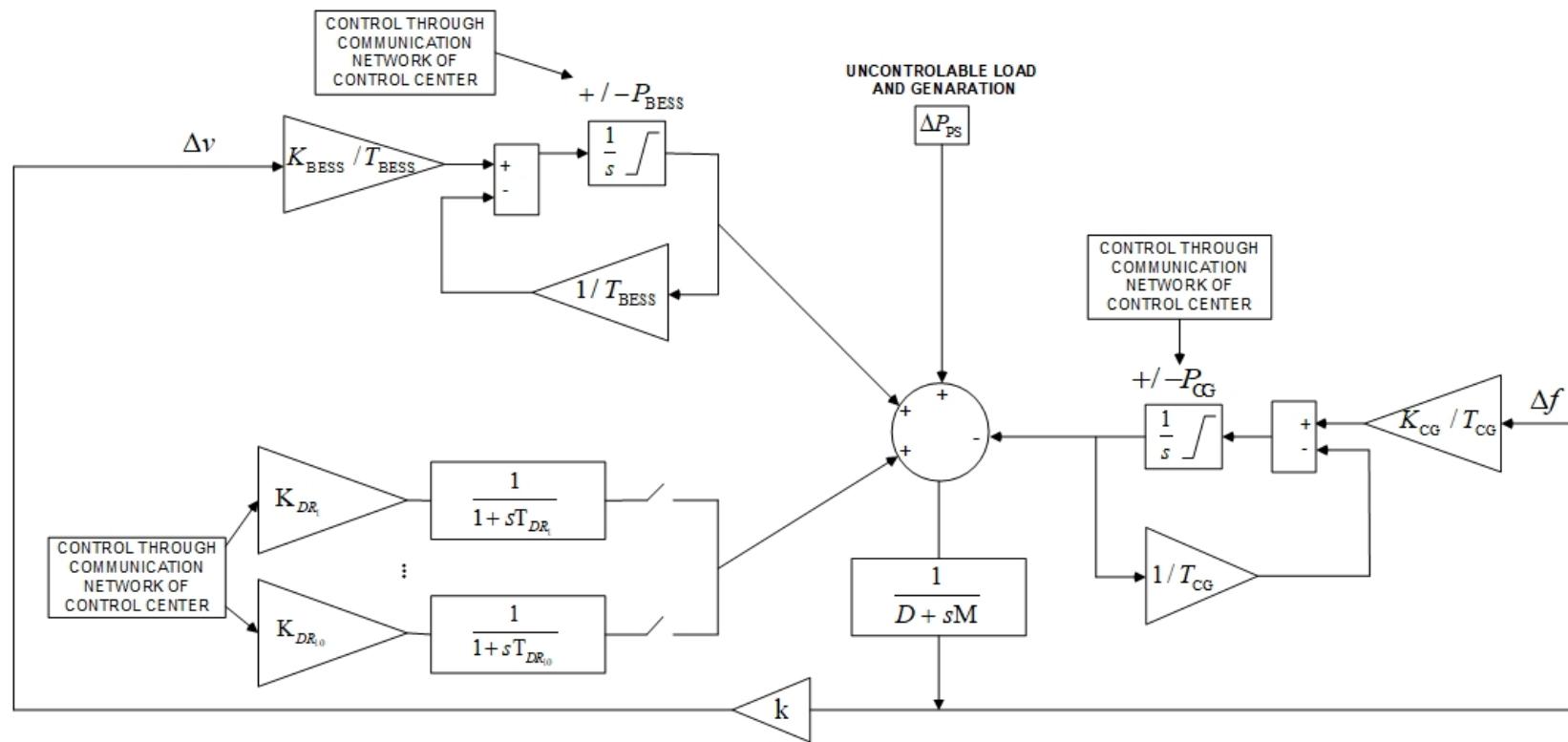
znanstveno-stručni skup:

EPE'17 ECCE (Energy Conversion Congress and Expo), The 19th Conference on Power Electronics and Applications (and Exhibition)

Simulacijski model elektroenergetskog sustava i agregiranih mikromreža



Komponente simulacijskog modela



Komponente simulacijskog modela

System response to a change of load

$$G_{\text{EPS}}(s) = \frac{\Delta f}{\Delta P_{\text{load-generation}}} = \frac{1}{D + sM}$$

$$\Delta v = k \times \Delta f$$

Conventional generators

$$G_{\text{CG}}(s) = \frac{K_{\text{CG}}}{1 + sT_{\text{CG}}}$$

Wind generator

$$G_{\text{WT}}(s) = \frac{K_{\text{WT}}}{1 + sT_{\text{WT}}}$$

Battery energy storage system

$$G_{\text{BESS}}(s) = \frac{K_{\text{BESS}}}{1 + sT_{\text{BESS}}}$$

Battery state of charge

$$\text{SOC}_{\text{BESS}}(t) = \text{SOC}_{\text{BESS}}(0) - \int_0^t \eta \frac{I_{\text{BESS}}(\tau)}{C_{\text{BESS}}}(\tau) d\tau$$

Demand response

$$G_{\text{DR}_k}(s) = \frac{K_{\text{DR}_k}}{1 + sT_{\text{DR}_k}}$$

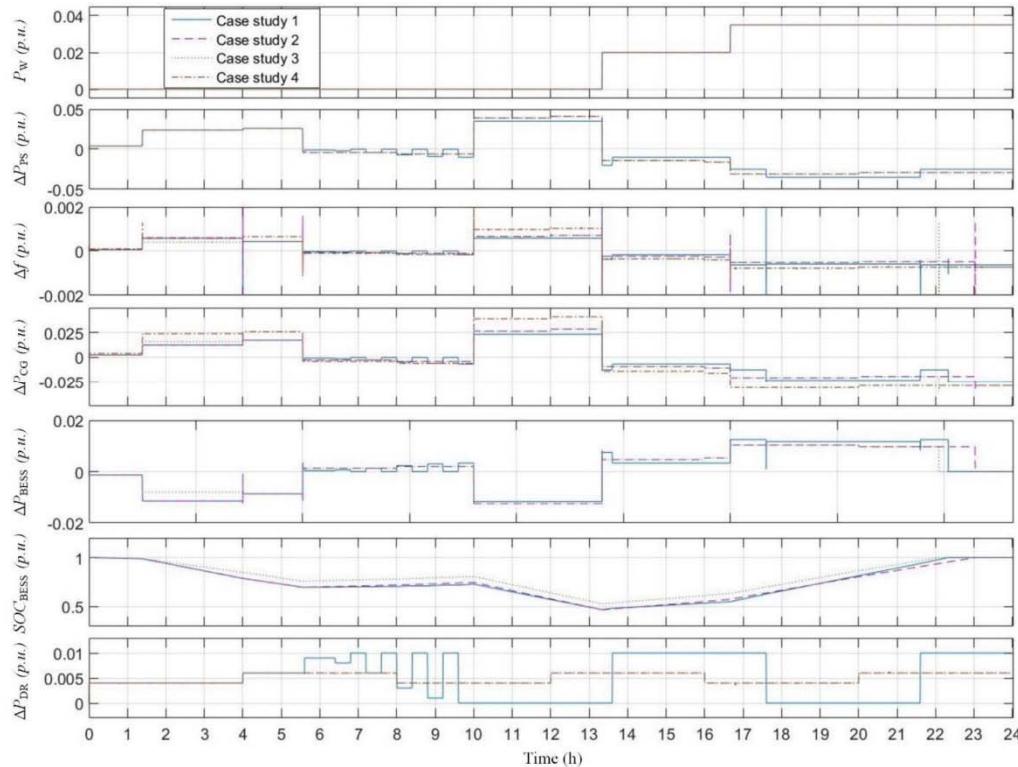
Komponente simulacijskog modela

Parameters of all the components of the system

Parameter	Real values	Per unit values
P_{EPS}	4000 MW	1
$P_{\text{PFR-ESS}}$	+/- 100 MW	+/- 0,025
f_n	50 Hz	1
k		1
ΔP_{PS}	100 MW	0,025
D		0,015
M	0,2 s	
P_{CG}	+/- 100 MW	0,025
K_{CG}		40
T_{CG}	1,5 s	
P_{BESS}	+/- 50 MW	+/- 0,0125
K_{BESS}		- 20
P_{DR}	20 MW	+/- 0,005
T_{BESS}	0,5 s	
K_{DR}		1
T_{DR}	1,0 s	

Rezultati simulacija

Case study 1	Case study 2	Case study 3	Case study 4
CG	CG	CG	CG
BESS	BESS	BESS	BESS
WF	WF	WF	WF
DR	DR	DR	DR



Proizvodnja vjetro elektrana

Razlika između proizvodnje i potrošnje
(poremećaj u sustavu)

Rezultirajuća devijacija frekvencije

Odziv konvencionalnih generatora na poremećaj

Odziv baterijskih spremnika na poremećaj

Stanje napunjenoosti baterijskih spremnika

Aktivacija upravljanja potrošnjom

Results of simulations

Korištenje konvencionalnih generatora u opsegu +/- 100 MW (MWh)



Korištenje baterijskih spremnika u primarnoj regulaciji frekvencije (MWh)

Case study 1	Case study 2	Case study 3	Case study 4
CG	CG	CG	CG
BESS	BESS	BESS	BESS
WF	WF	WF	WF
DR	DR	DR	DR

2. Doprinosi DC mikromreža u pružanju usluga regulacije frekvencije u elektroenergetskom sustavu – problemi nesavršene komunikacije

eng.

Contribution of DC microgrids in providing frequency regulation in electrical power system - imperfect communication issues

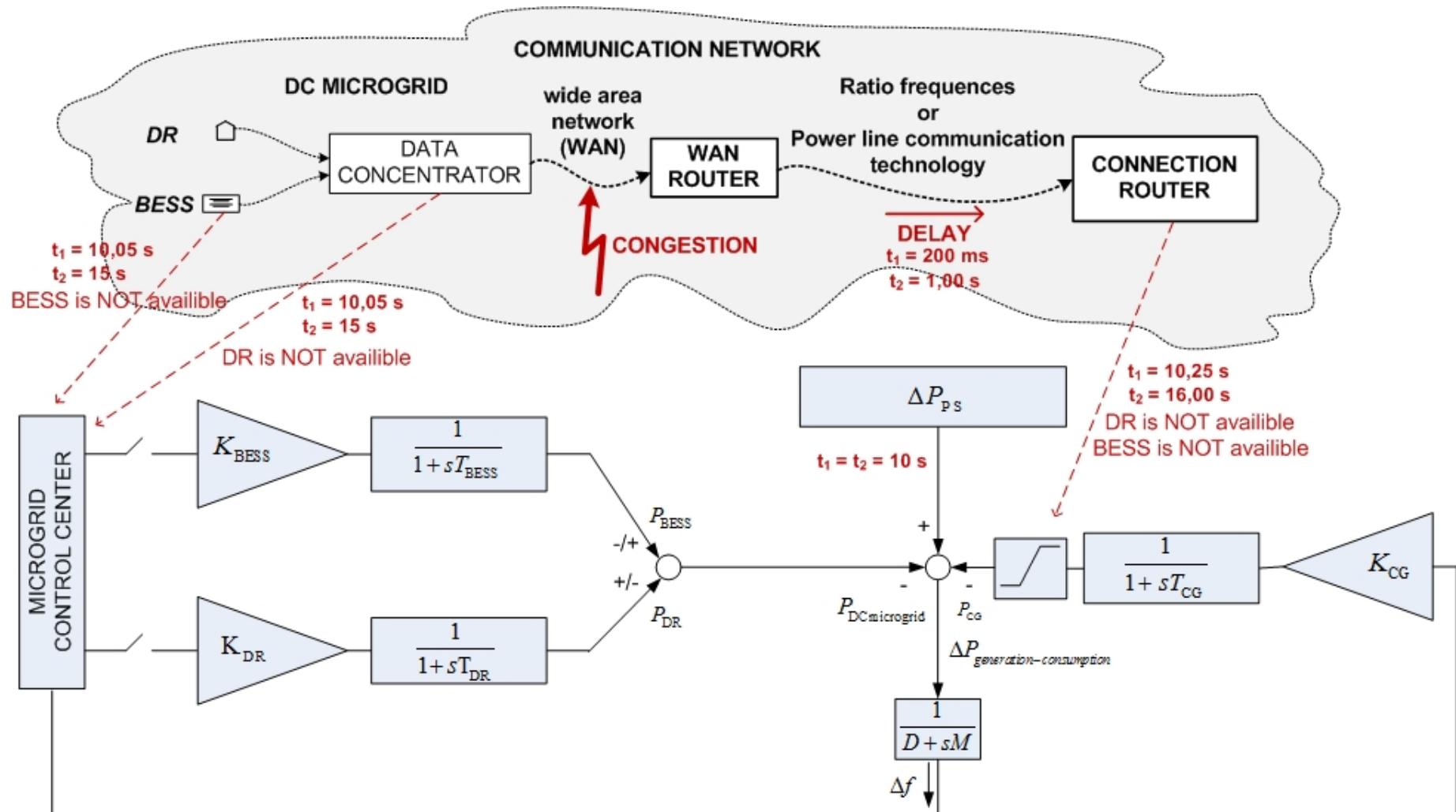
autori: H. Bašić, T. Dragičević, H. Pandžić, F. Blaabjerg

znanstveni skup 2017 Second IEEE International Conference on DC Microgrids, June 27-29, 2017 Nuremberg, Germany

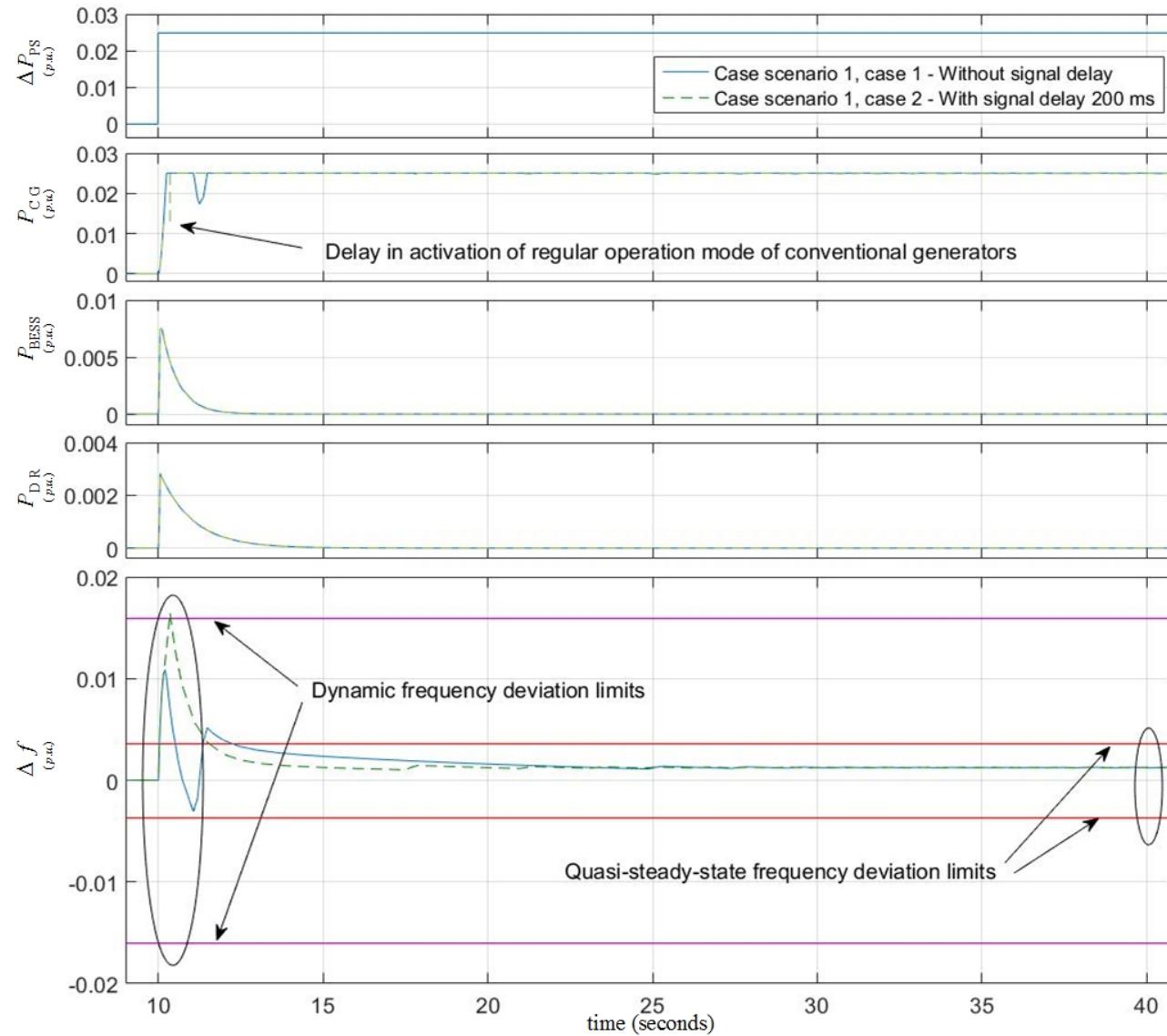
Problemi nesavršene komunikacije

- Sigurnost i privatnost
- Kašnjenje
- Gubitak podataka
- **Nesinkrono upravljanje uzrokovano kašnjenjem signala**

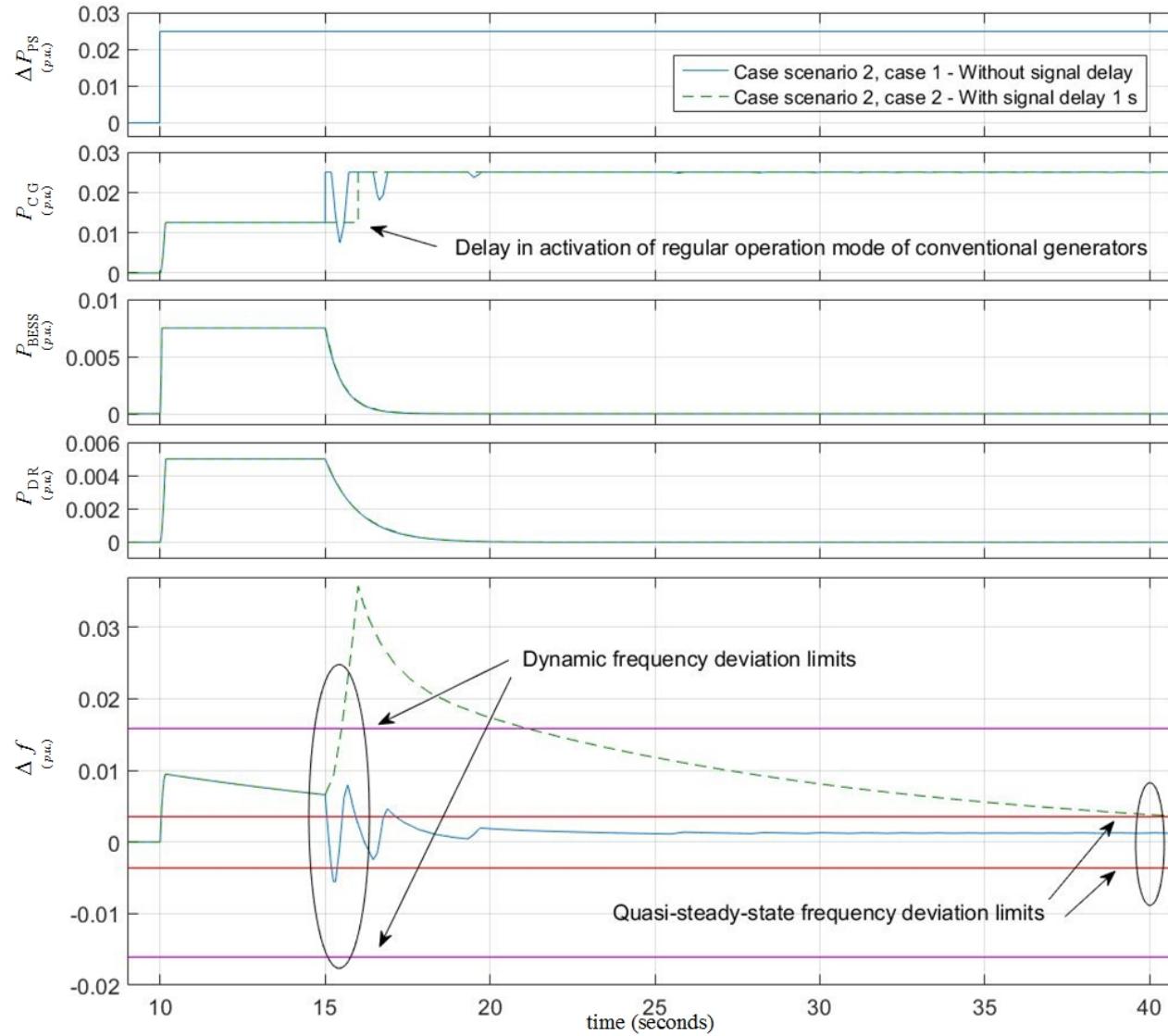
Komponente predloženog sustava



Rezultati simulacija



Rezultati simulacija



Rezultati simulacija

- Verifikacija rezultata simuliranih modela korištenjem simulatora u realnom vremenu OPAL-RT



3. Integracija sustava baterijskog spremnika energije u elektroenergetski sustav za osiguranje n-1 kriterija sigurnosti

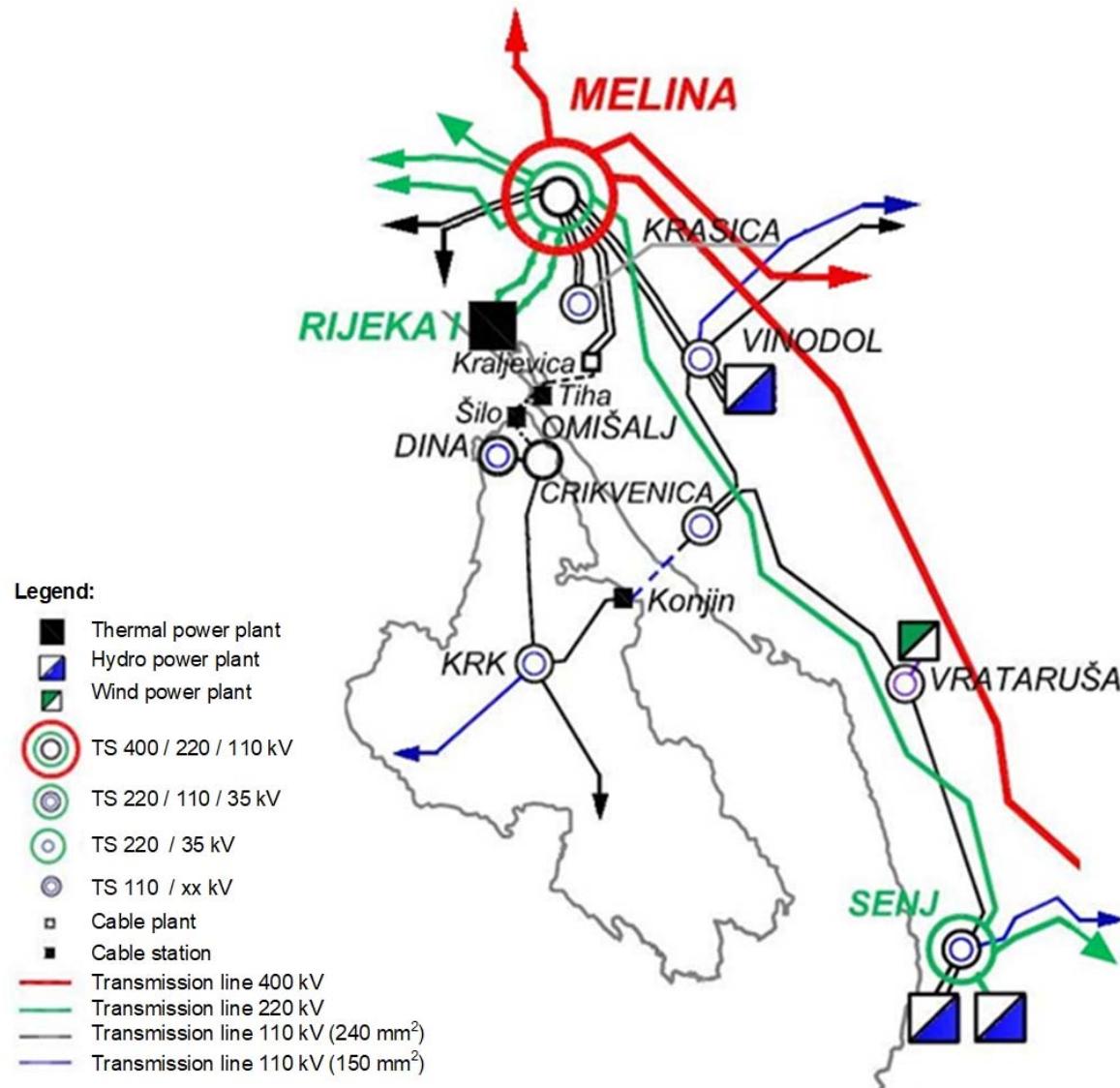
autori: Zoran Zbunjak, Hrvoje Bašić, Hrvoje Pandžić, Igor Kuzle

engl.

Integration of Energy Storage to Ensure n-1 Criterion

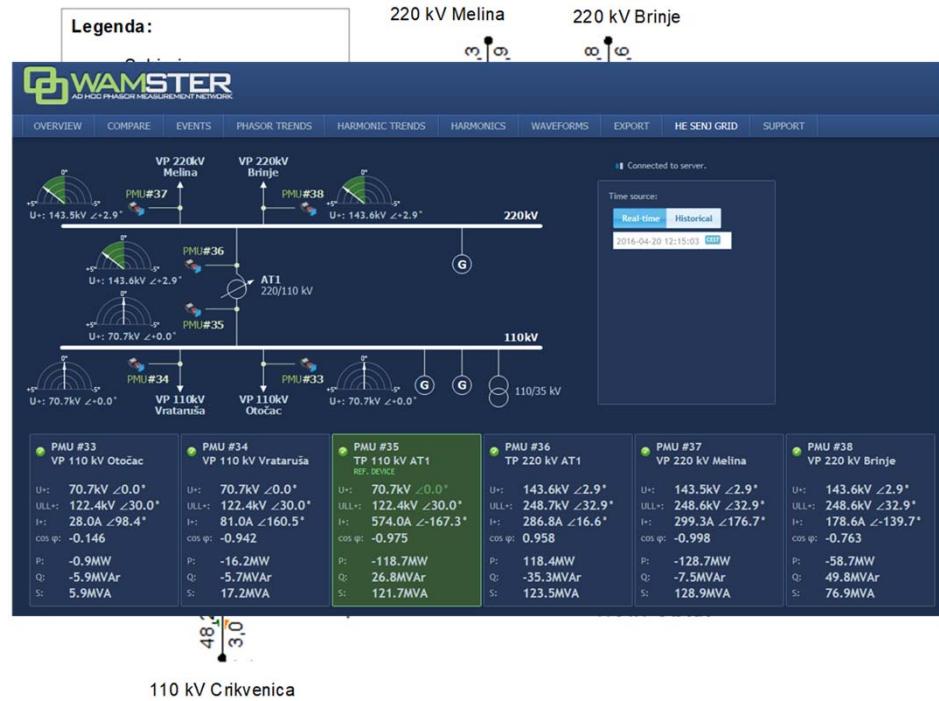
SDEWES (Conference on sustainable development of energy, water and environment) konferenciju, 04.-08. listopad 2017, Dubrovnik

MODELIRANA REGIJA HRVATSKOG EES



Model mreže

- Programski alat PSS®E
- Verifikacija stvarnim rezultatima - platforma WAMSTER



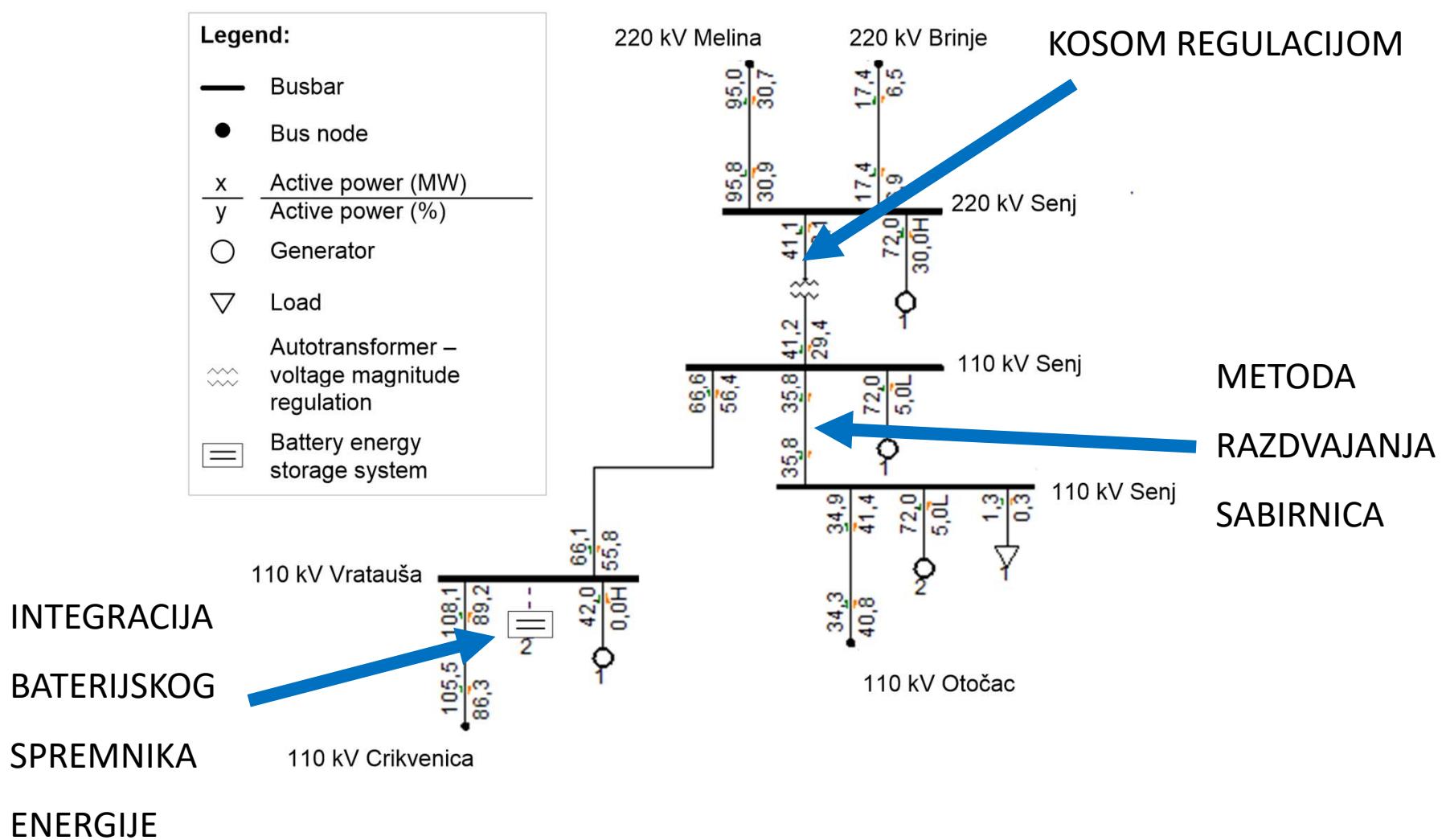
- Korišteni su dostupni sinkronizirani podaci na razini cijele mreže Hrvatske, a međunarodna razmjena je ekvivalentizirana na nivou predviđene trenutne razmjene snage

SIMULACIJA SCENARIJA PRIMJENE RAZLIČITIH TEHNOLOGIJA ZA OSIGURANJE N-1 KRITERIJA

Integracija autotransformatora s kosom regulacijom za smanjenje toka radne snage na 110 kV dijelu mreže

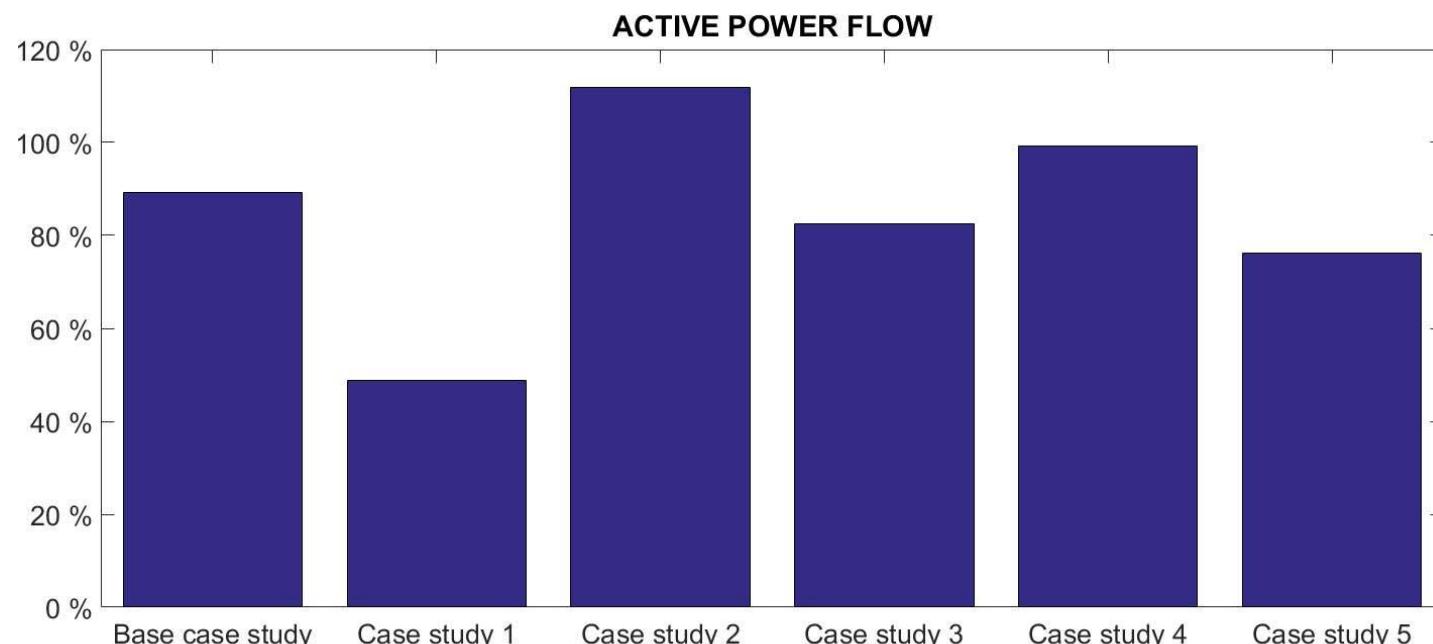
- Metode za osiguranje N-1 kriterija nakon ispada autotransformatora:
 - Metoda razdvajanja sabirnica
 - Integracija baterijskog spremnika energije
 - Kombinacija integracije baterijskog spremnika energije i metode razdvajanja sabirnica

MODEL TEMELJEN NA STVARNIM PROTOCIMA SNAGE U PSS[®]E



REZULTATI SIMULACIJA

Base case study	Najveći tok radne snage u promatranom području snimljen u stvarnom svijetu
Case study 1	Integracija autotransformatora s kosom regulacijom za smanjenje toka radne snage
Case study 2	Primjer ugrožavanja N-1 kriterija sigurnosti – ispad autotransformatora
Case study 3	Metoda razdvajanja sabirnica za osiguranje N-1 kriterija nakon ispada autotransformatora
Case study 4	Integracija baterijskog spremnika energije za osiguranje N-1 kriterija nakon ispada autotransformatora
Case study 5	Kombinacija integracije baterijskog spremnika energije i metode razdvajanja sabirnica



Kapacitet baterijskog spremnika

- Snaga (**20 MW**) i kapacitet baterijskog spremnika dimenzionirani su za konkretnu lokaciju prema podatcima o najvećem opterećenju dijela prijenosne mreže za proteklih nekoliko godina, uz mogućnost osiguravanja N-1 kriterija u trajanju od 30 minuta do jednog sata
- Predviđeno je da se postojeća snaga i kapacitet iskorištavaju za ostale pomoćne usluge kada N-1 nije potreban

Hvala!