



# Smart Integration of RENewables

Hrvoje Pandžić

Završna diseminacija projekta SIREN

FER, 30. studenog 2018.

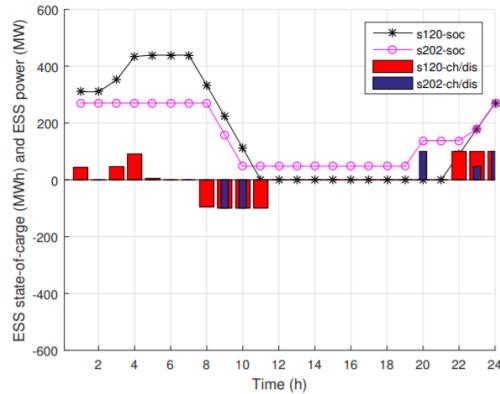
# O projektu

- Partnerstvo s industrijom
- Trogodišnji projekt: prosinac 2015. – studeni 2018.
- Sudionici: 7 s FER-a, 17 iz HOPS-a i 2 doktoranda
- 1,9 milijuna kn

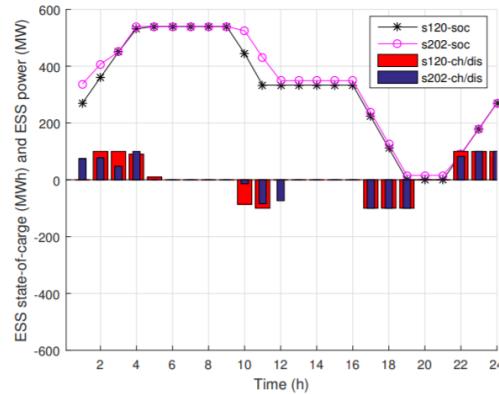
# Ciljevi projekta

- Istražiti procedure vođenja hrvatskog elektroenergetskog sustava s velikim udjelom neizvjesne proizvodnje vjetra.
- Pronaći investicijske modele koji bi omogućili integraciju velike količine vjetroelektrana u hrvatski elektroenergetski sustav.
- Analizirati potrebe za spremnicima energije u prijenosnoj mreži HOPS-a. Navedeno uključuje analizu usluga koje spremnici trebaju pružati sustavu, kao i definiranje prikladnih tehnologija spremnika.
- Definirati regulativu vezanu za korištenja spremnika energije u ovisnosti jesu li su predmetni spremnici u vlasništvu HOPS-a ili privatnih investitora.

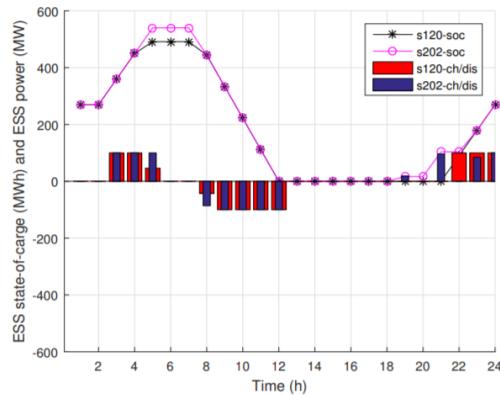
# Pogon spremnika energije



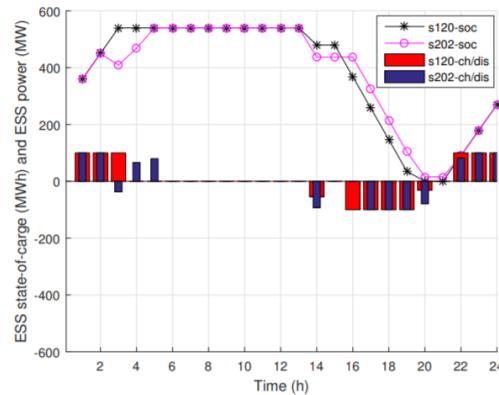
(a) Day 1



(b) Day 2



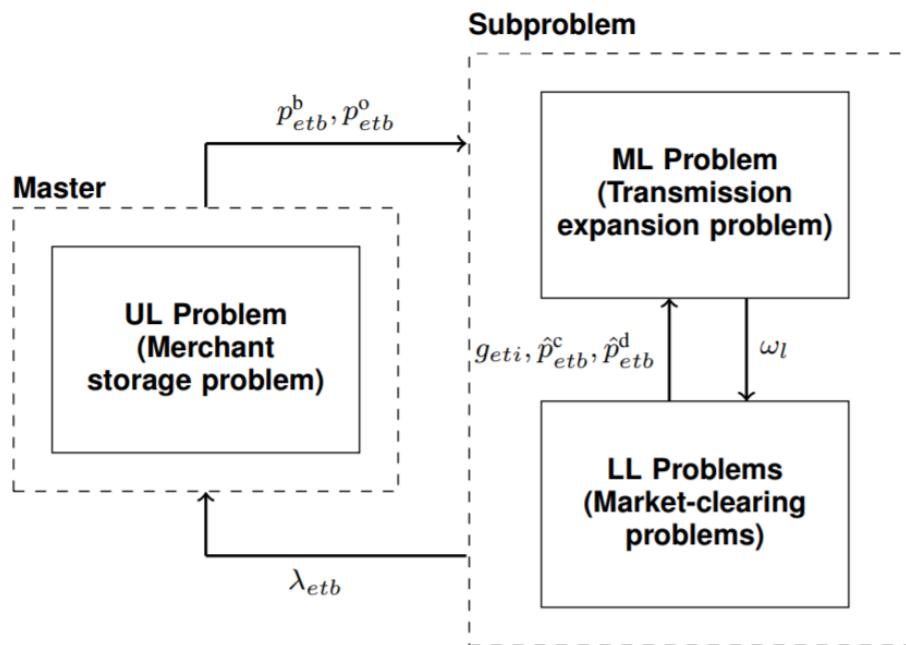
(c) Day 3



(d) Day 4

# Planiranje ulaganja

- Spremnik u vlasništvu investitora anticipira ulaganja u vodove operatora sustava

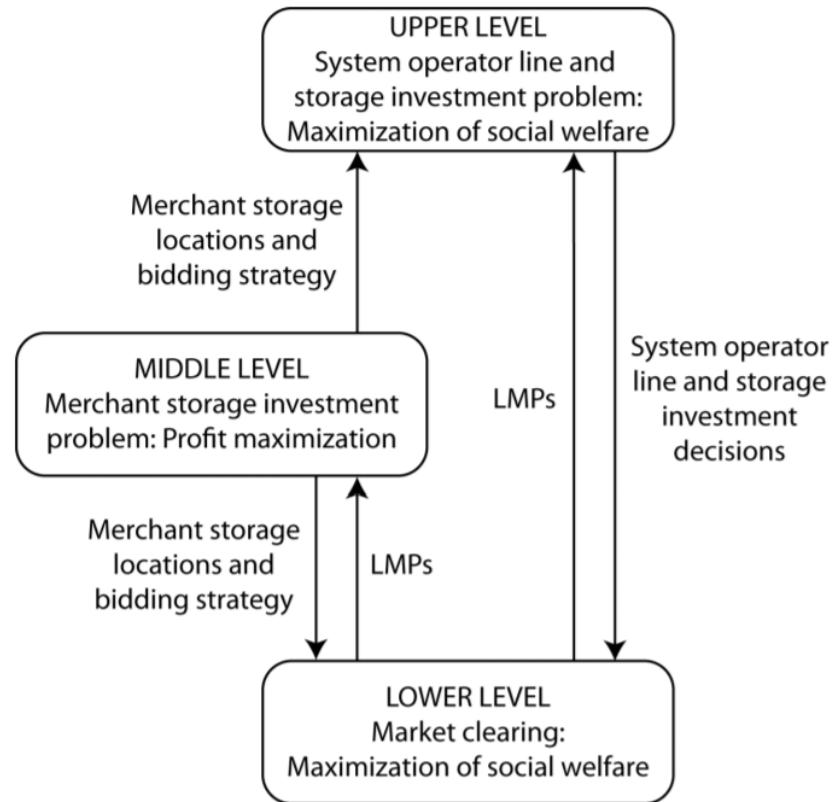


# Planiranje ulaganja

- I vlasnik i operator sustava optimiraju ulaganja u svoje spremnike

Maximize  
 $\Xi^{LL}$

$$\begin{aligned}
 & - \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I C_i^g \cdot g_{k,t,i} - \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N (C_n^o \cdot p_{k,t,n}^d - C_n^b \cdot p_{k,t,n}^c) \\
 & + \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N C_n^d \cdot d_{k,t,n} \\
 & - \sum_{i \in I|B} g_{k,t,i} + \sum_{l|o(l)=n} f_{k,t,l} - \sum_{l|r(l)=n} f_{k,t,l} - \\
 & - \sum_{w \in W|B} (WG_{k,t,w}^f - ws_{k,t,w}) + p_{k,t,n}^c - p_{k,t,n}^d + \\
 & + ch_{k,t,n} - dis_{k,t,n} + d_{k,t,n} = 0 \quad : \lambda_{k,t,n} \\
 & \forall k \in K, t \in T, l \in L
 \end{aligned}$$



# Planiranje ulaganja

- Uzimanje u obzir primarne regulacije

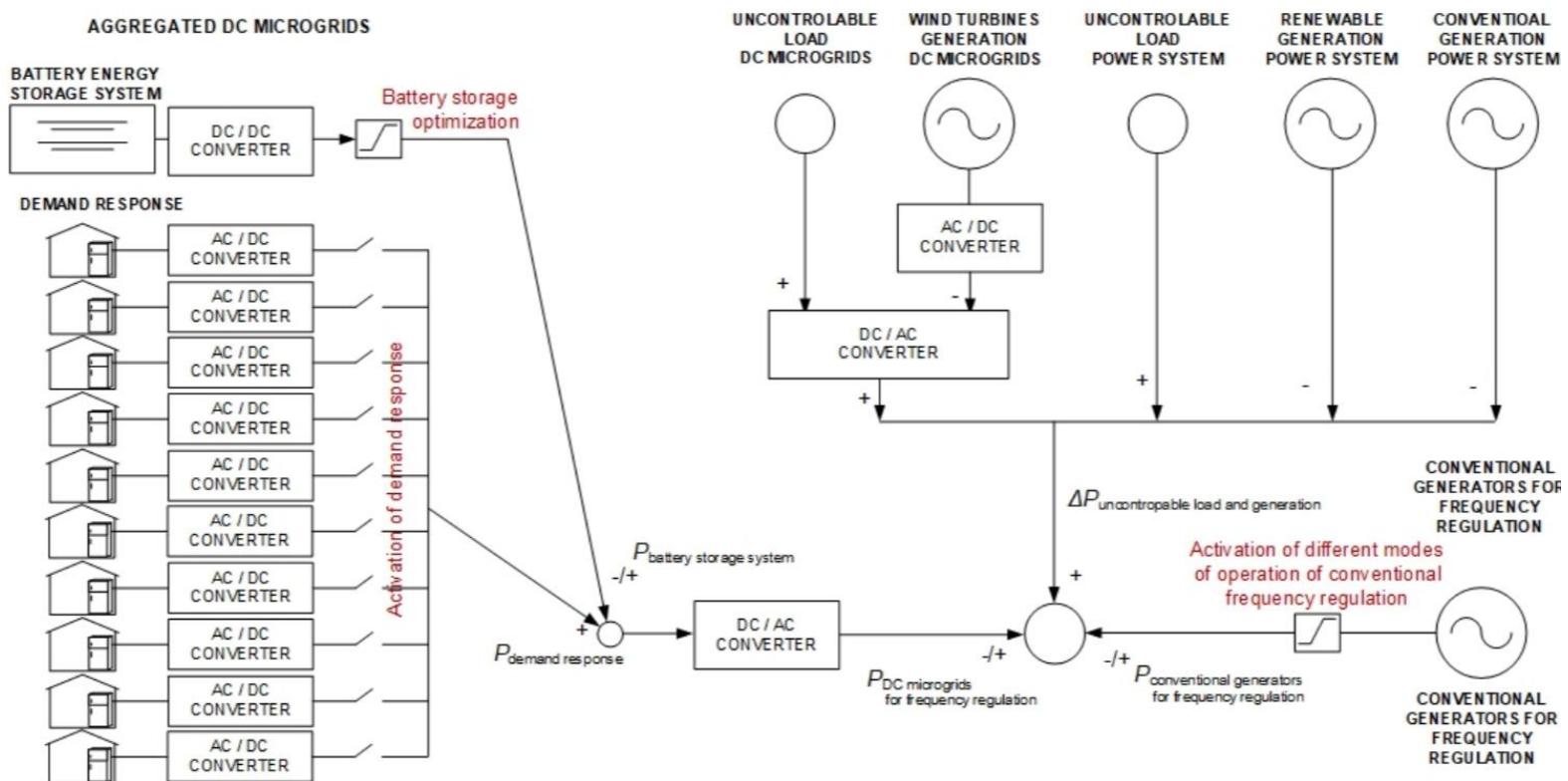
TABLE IV. PRE- AND POST-CONTINGENCY COSTS WITH AND WITHOUT PRIMARY FREQUENCY RESPONSE (PFR) IN THE PLANNING STAGE.

Storage cost	Metric	Without PFR	With PFR
High	Pre-contingency cost, M \$	2,714.7	2,715.3
	Post-contingency cost, M \$	15.3	12.1
	Total cost, M \$	2,730.0	2,727.5
Medium	Pre-contingency cost, M \$	2,706.4	2,708.5
	Post-contingency cost, M \$	15.4	12.5
	Total cost, M \$	2,721.8	2,721.0
Low	Pre-contingency cost, M \$	2,673.4	2,685.7
	Post-contingency cost, M \$	35.5	16.7
	Total cost, M \$	2,708.9	2,702.4

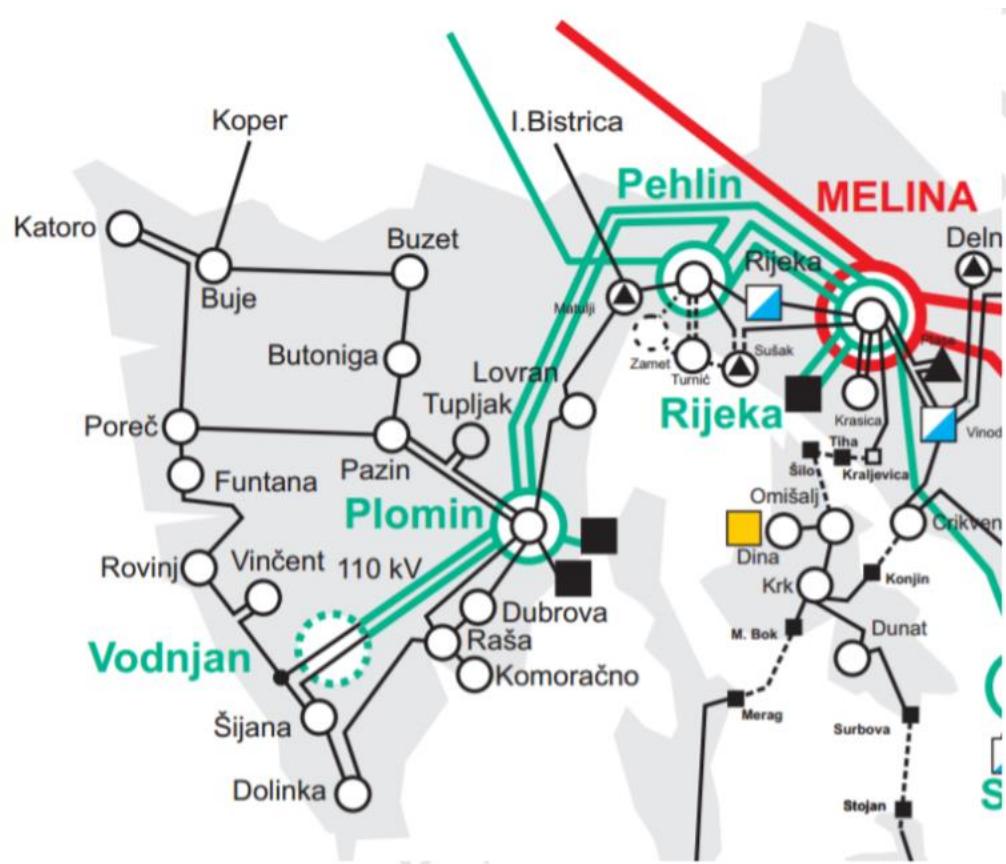
TABLE III. IN-SAMPLE COMPARISON OF POST-CONTINGENCY STATES WITH AND WITHOUT PRIMARY FREQUENCY RESPONSE (PFR) IN THE PLANNING STAGE.

Storage cost	Metric	Without PFR	With PFR
High	# of contingencies	7,722	7,459
	% of contingencies with unserved demand	5.335	4.585
	Expected unserved demand, MWh	1,531.7	1,214.5
Med	# of contingencies	8,148	7,666
	% of contingencies with unserved demand	5.167	4.696
	Expected unserved demand, MWh	1,539.9	1,252.4
Low	# of contingencies	8,482	8,476
	% of contingencies with unserved demand	5.423	5.309
	Expected unserved demand, MWh	3,549.4	1,665.7

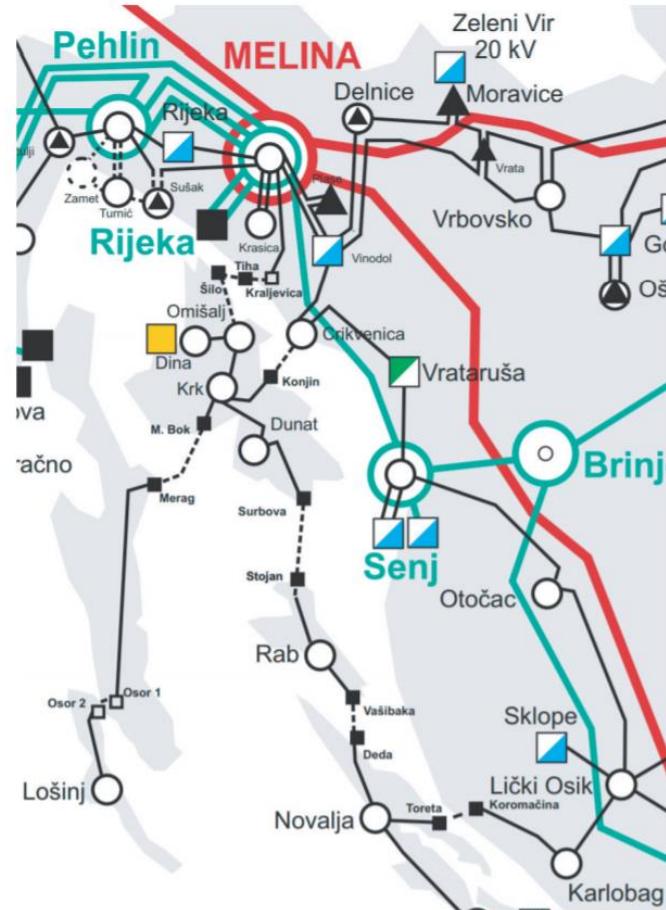
# DC mikromreže sa spremnicima energije pružaju regulaciju frekvencije



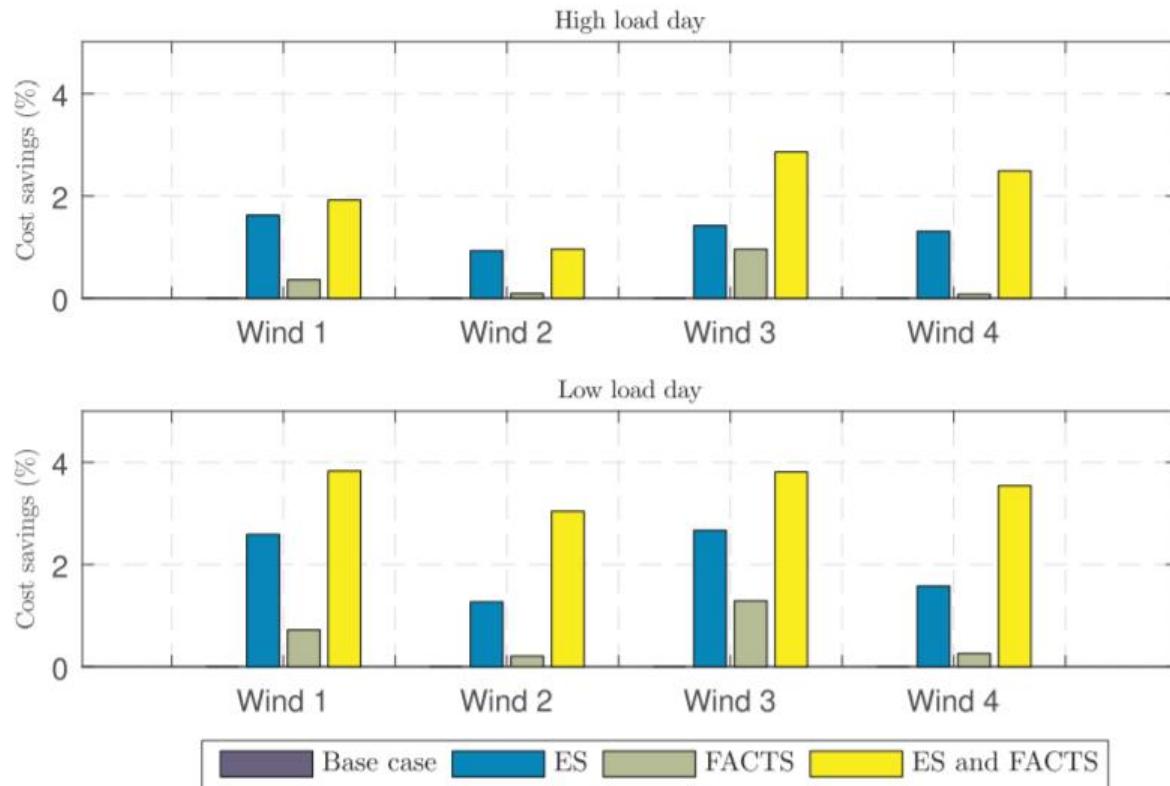
# Uloga spremnika u osiguravanju adekvatnosti sustava



# Uloga spremnika u osiguravanju N-1

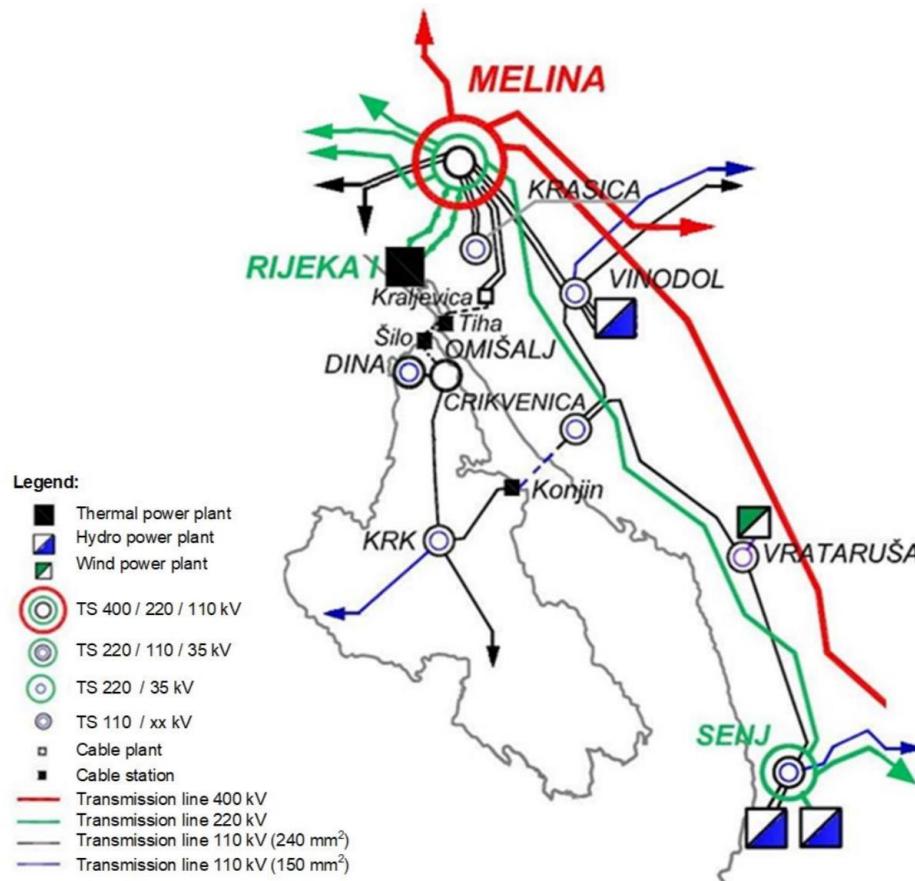


# FACTS uređaji i spremnici energije

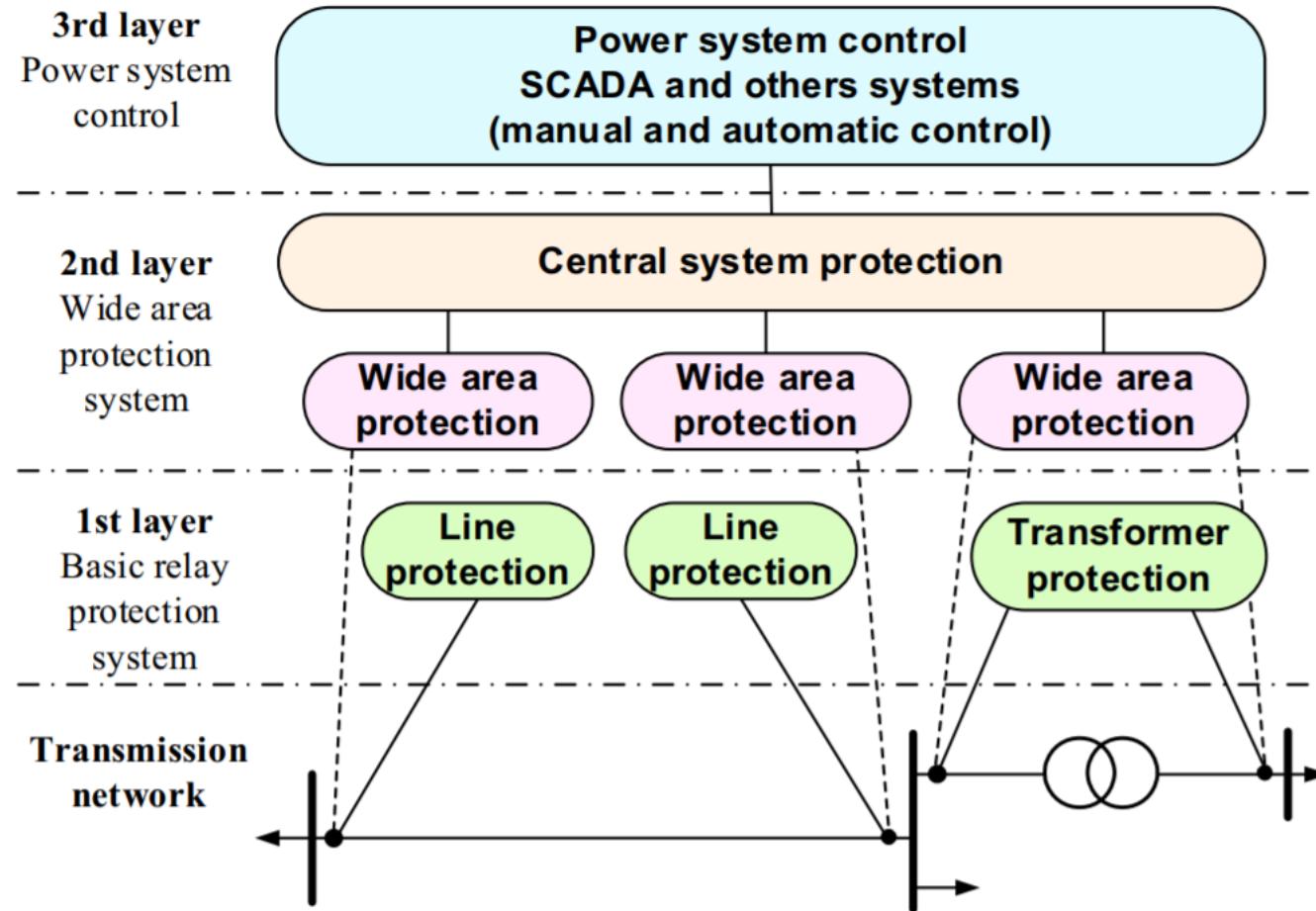


**Fig. 3.** Operating cost savings in all four cases for all four wind scenarios.

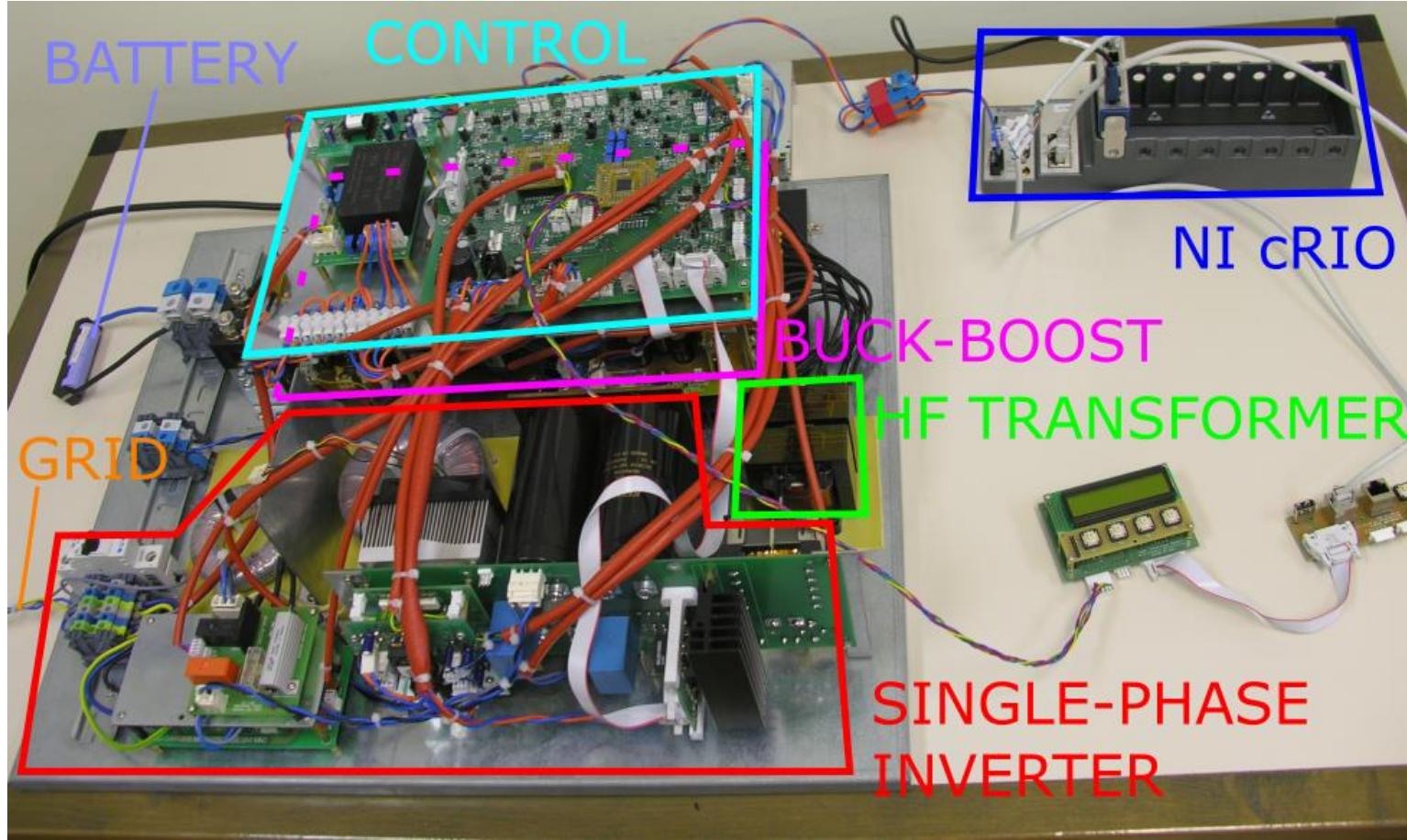
# PST, promjena topologije i spremnik u svrhu osiguranja N-1



# Upravljanje i zaštita



# Modeliranje procesa punjenja baterija



# Standardni model baterija

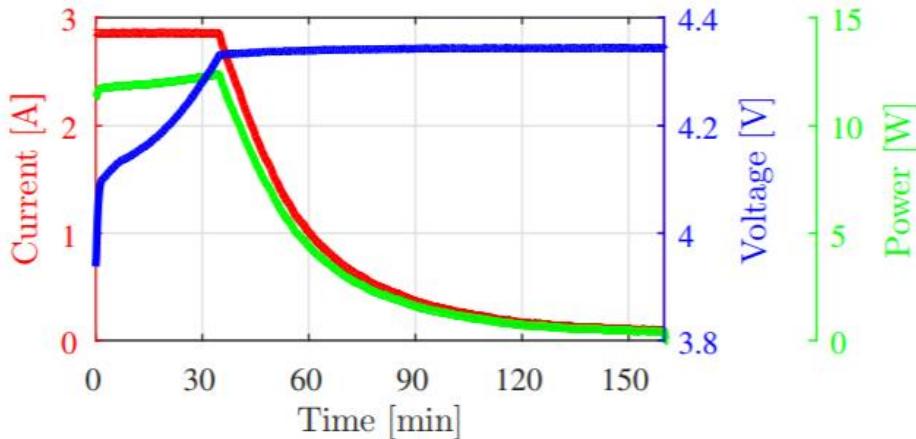
$$ch_t \leq P^{\text{ch}}, \quad \forall t \in T$$

$$dis_t \leq P^{\text{dis}}, \quad \forall t \in T$$

$$soe_t = soe_{t-1} + \Delta t \cdot ch_t \cdot \eta^E - \Delta t \cdot dis_t, \quad \forall t \in T$$

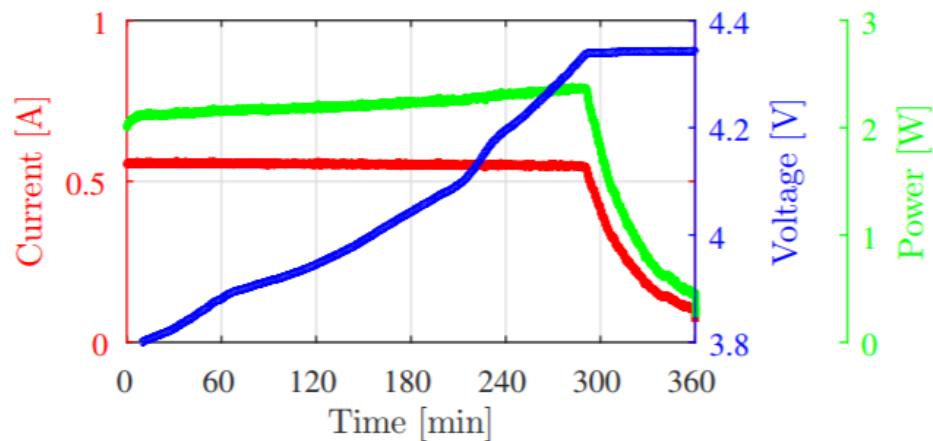
$$soe_t \leq C^E, \quad \forall t \in T$$

# Krivulja punjenja



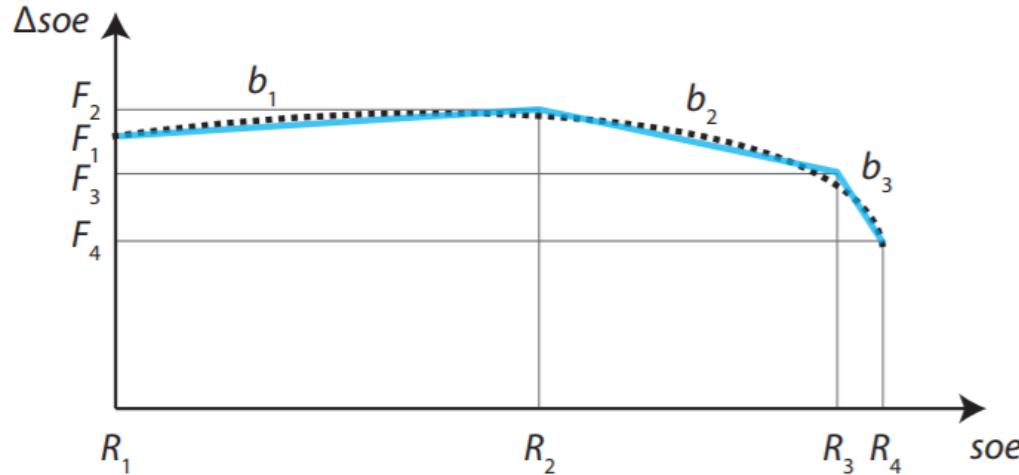
(a) Charging current 2.8 A (1C)

$$ch_t \leq P^{\text{ch}}, \quad \forall t \in T \quad ?$$



(b) Charging current 0.56 A (0.2C)

# Predloženi model punjenja baterija



$$soe_t = \sum_{i=1}^{I-1} soe_{t,i}, \quad \forall t \in T$$

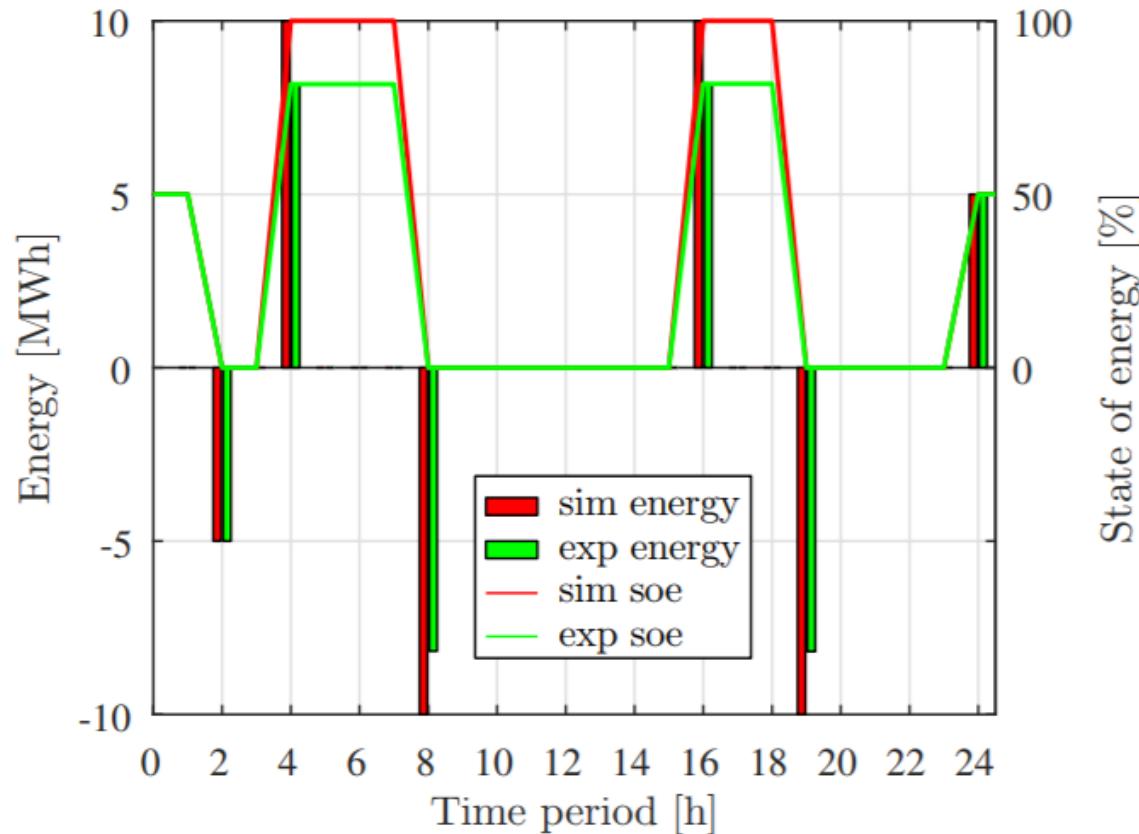
$$soe_{t,i} \leq R_{i+1} - R_i, \quad \forall t \in T, i \in I$$

$$\Delta soe_t = F_1 + \sum_{i=1}^{I-1} \frac{F_{i+1} - F_i}{R_{i+1} - R_i} \cdot soe_{t-1,i}, \quad \forall t \in T$$

$$ch_t \leq \frac{\Delta soe_t}{\Delta t \cdot \eta^E}, \quad \forall t \in T$$

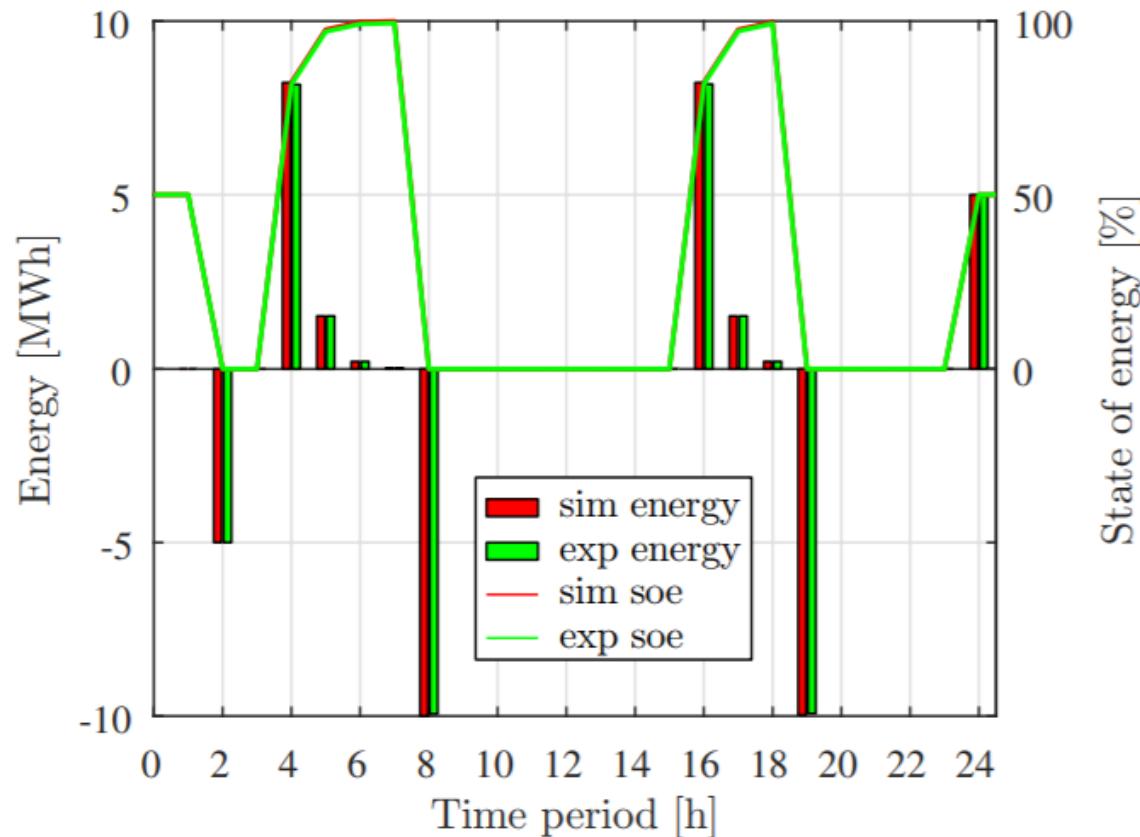
# Rezultati (1C)

- Bazni model



# Rezultati (1C)

- Predloženi model

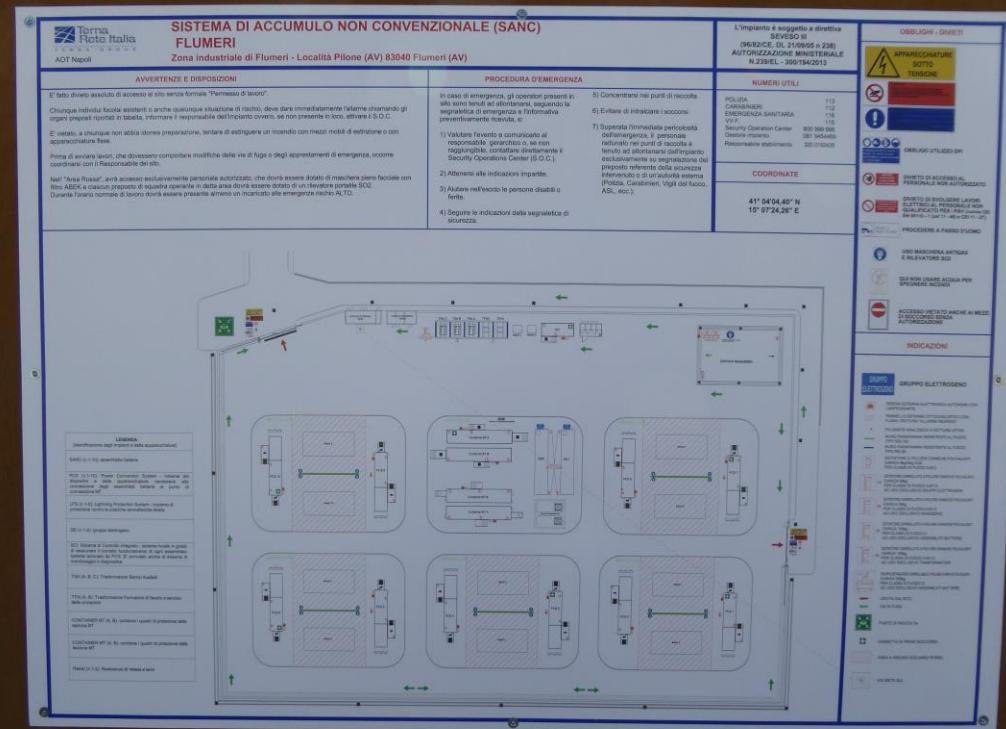
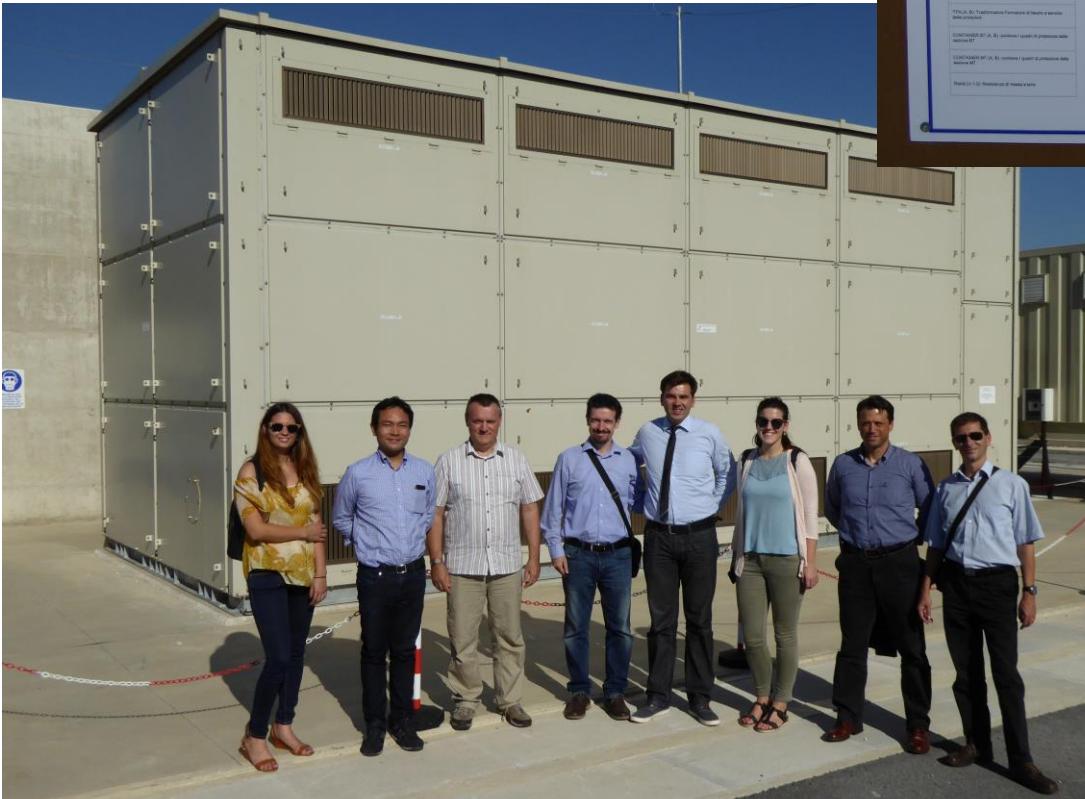


# Rezultati (1C)

<b>Model</b>		<b>Baseline</b>	<b>Linear CC-CV</b>	<b>Energy Charging</b>
Delivered energy (MWh)	Simulation	25.00	24.62	24.97
	Experiment	21.36	24.62	24.87
Charged energy (MWh)	Experiment	21.36	24.62	24.87
Resulting profit (€)	Simulation	272.04	249.51	264.71
	Experiment	91.02	249.51	259.64

# Stručni posjet

- # • Terna



# Diseminacijske aktivnosti

- ETIP SNET radionica na Cipru
- Smart Grid Viewed from the Regional Cooperation Perspective konferencija u Briselu
- Novinski članci

vijet energije.jutarnji

29. veljače 2016.

43

## TEHNOLOGIJE SKLADIŠENJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Hrvoje Pandžić, docent na Fakultetu elektrotehnike i računarstva, koji se bavi istraživanjem i razvijanjem uljepšanja baterija u elektroenergetsku mrežu, a na takvim je projektima radio i u SAD-u, tumači kako će prvi još najpoznatiji tehnologiji doći do primjene. Tehnologije baterija kako bi se on mogle početi izobiljnije komercijalno koristiti u svakodnevnim aplikacijama. Iako su litij-ionske baterije danas u najbolji upotrebi u potrošačkoj elektronici i elektrizmu, ali se na tržištu još ne mogu prenositi. - Zimi je u Hrvatskoj centar potrošnje električne energije Zagreb i uostalom većim gradovima, a ljeti na obali, i s tim je interesantno da se razviju i spremaju za elektroenergetsku mrežu, jer u tome da je možete sezonski instalirati i tamo gdje je potrebno, da bi stabilizirala mrežu, i tako omogućiti daljnje postupno i raskošno poštrenje - kaže Pandžić. Najveći problem upriličenih uljepšanja baterija je njihova vrijeđnost. Načinjući primjenu baterijskih spremnika je arhitriza, odnosno kupovinu na električne energije i njenom spremanjem kada je cijena niža, te ga u novoj, odnosno inkvizitivnoj energiji u mrežu, kada je cijena visoka. Međutim, spremnici bi se mogli koristiti i za uslugu reguliranja. Naime, u elektronskom mrežu je potrebno konstantno ravnotežiti između proizvodnje i potrošnje električne energije. Budući da je proizvodnja i potrošnja nepovezljiva, spremnici mogu nuditi uslugu reguliranja, odnosno uravnoteženja proizvodnje i potrošnje električne energije, a to je potrebitno i Pandžić potencijalne izvore prihoda baterijskih spremnika.

### Jeftini litij

Litij-ionske baterije, kako kaži Pandžić, danas se ne recikliraju budući da je nefiltirano litij i svi elementi za proizvodnju, a slijedeći reciklažni izmimo je skup, pa je s aspekta očuvanja okoliša izazov i odlaganje tih baterija. Daranjuće okoline baterije se, s druge strane, recikliraju u 95 posto slučaju.

I dok se baterija koja bi koštala 100 dolara po klovatuštu električne energije može biti učinkovitom baterijom na najbolju razvoju smatra "svetom gralom", u 2014. godini baterija za električni automobil koštala je između 300 i 400 do-

trkičnim vozilima, radi se na razvoju baterija koje bi prenosile redovito današnjih baterija. Primjerice, "dual-carbon" baterija koje koriste ugljik zaselektrode te trebale povećati brzinu punjenja, a učinkovitosti su učinili još bolje ionizne baterije. Time bi se premostila najveća zapreka većih primjera elektriničnih vozila - dušno vrijeme

Masovna primjena baterija u zgradama može se očekivati u tijekom slijedećeg desetljeća, kaže Hrvoje Pandžić

mjeni baterija u elektroener-

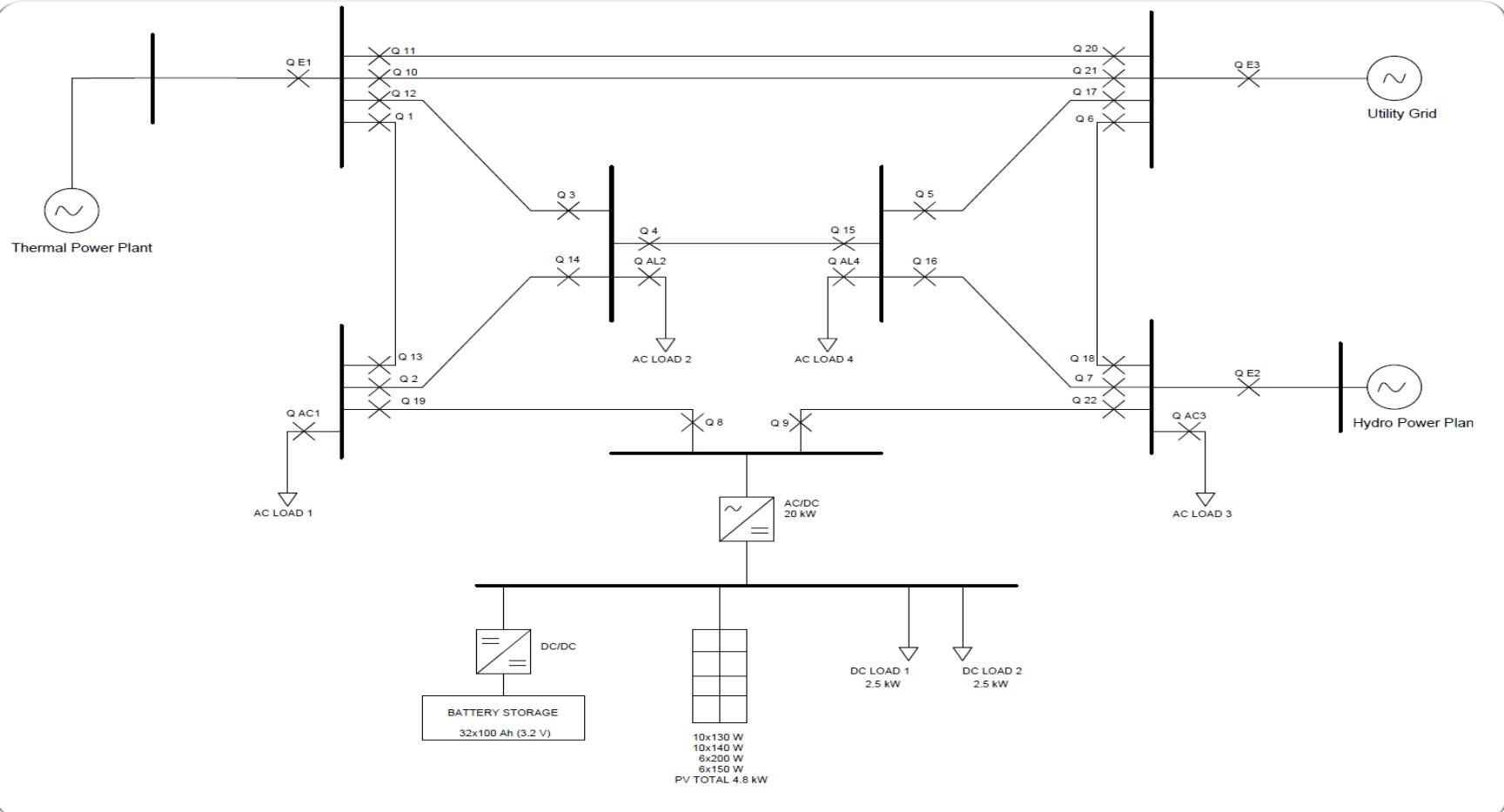


# Diseminacijske aktivnosti

- Kolokvij HAZU i HRZZ
- Zagrebački energetski tjedan
- Medpower 2018



# SmartGrid Lab



# SmartGrid Lab



# SmartGrid Lab



# Slijedi...

- |             |   |
|-------------|---|
| 09:30-10:00 | <b>Vladimir Valentić, HOPS: Zadovoljenje N-1 kriterija korištenjem spremnika energije na otoku Lošinju</b>          |
| 10:00-10:30 | <b>Zlatko Ofak, HOPS: Priključenje spremnika energije u prijenosnu mrežu</b>  |
| 10:30-11:00 | <b>Pauza za kavu</b>  |
| 11:00-11:30 | <b>Zora Luburić, FER: Optimalna ulaganja u prijenosnu mrežu korištenjem DC i AC modela</b>                          |
| 11:30-12:00 | <b>Hrvoje Bašić, FER: Regulacija frekvencije korištenjem mikromreža sa spremnicima energije i odzivom potrošnje</b> |
| 12:00-12:15 | <b>Mateo Beus, FER: Predstavljanje ulaganja i novosti u SmartGrid Lab-u</b>   |
| 12:15-13:00 | <b>Domjenak</b>   |
| 13:00-13:30 | <b>Demonstracija Smart Grid Lab-a</b>   |