

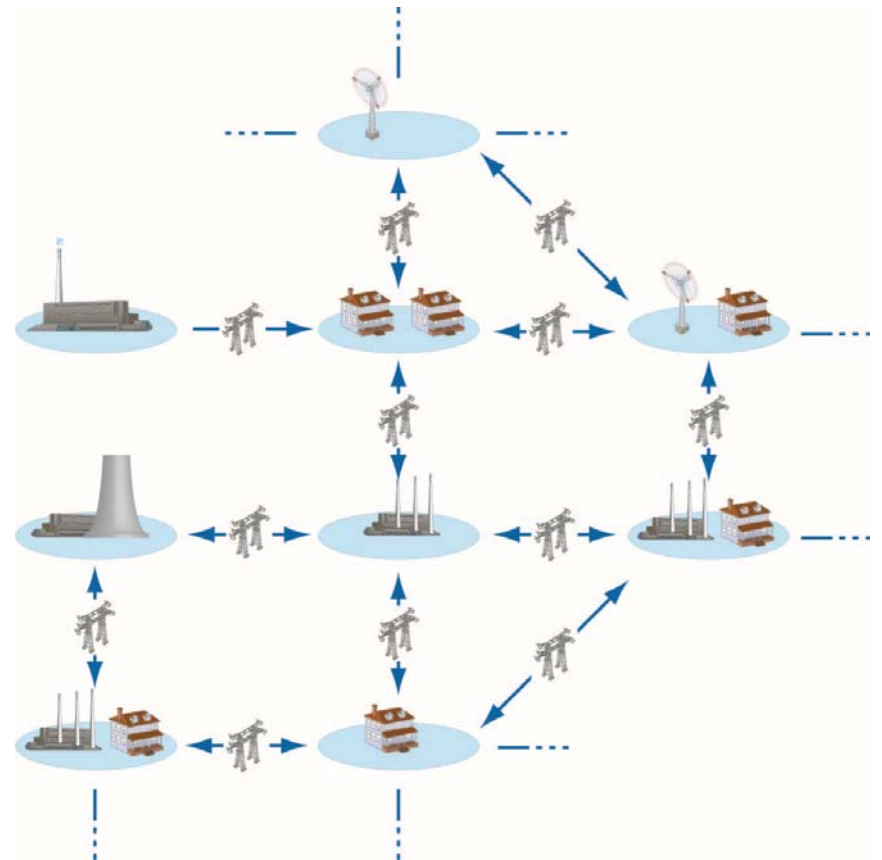
DISTRIBUIRANA ENERGETSKA SKLADIŠTA U PRIJENOSNOJ ELEKTROENERGETSKOJ MREŽI

Hrvoje Pandžić

FER
11. prosinca 2014.

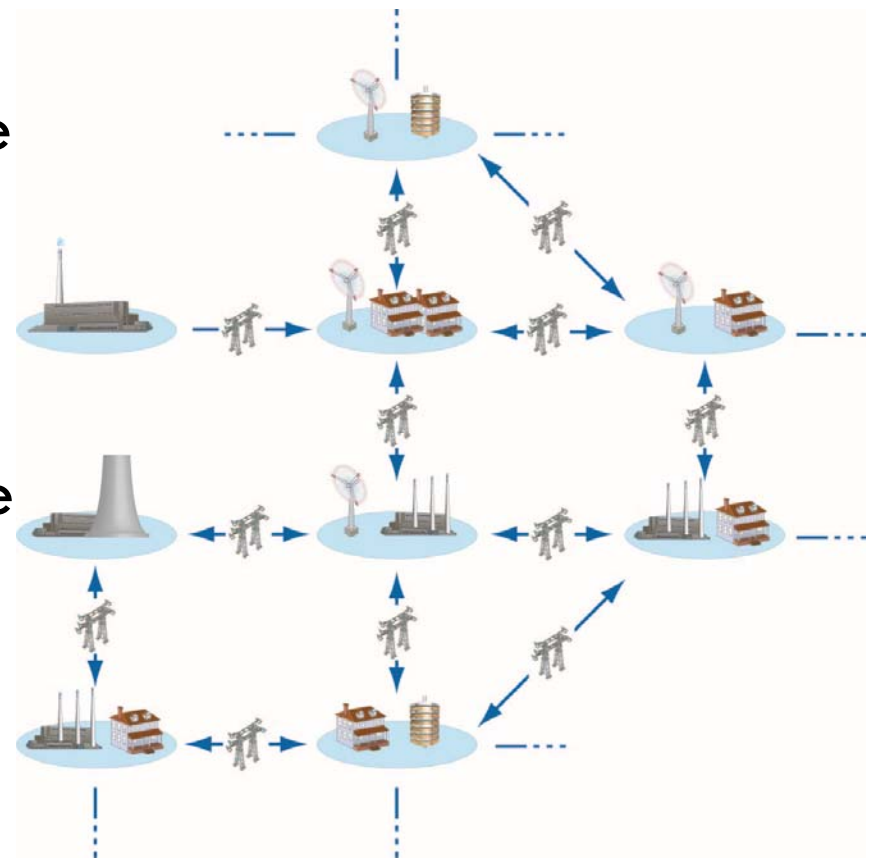
Uvod

- Power system
 - proizvodnja slijedi potrošnju
 - integracija obnovljivih izvora samo do određene granice
 - zahtjevan značajan regulacijski kapacitet
 - skupa fleksibilnost
 - skupo osiguranje preventivne n-1 sigurnosti



Uvod

- Energy system
 - ▣ balans potrošnje i proizvodnje unutar duljeg vremenskog razdoblja
 - ▣ veći udio obnovljivih izvora
 - ▣ skladišta smanjuju regulacijske zahtjeve na elektrane
 - ▣ skladišta pružaju fleksibilnost
 - ▣ skladišta se koriste za korektivnu n-1 sigurnost



Skladišta u prijenosnoj mreži



- Dobrobiti:
 - izravnavanje krivulje opterećenja
 - pomoćne usluge (primarna i sekundarna regulacija te naponska stabilnost)
 - smanjenje zagušenja
 - jeftiniji pogon sustava (manje goriva, manje cikliranje elektrana, ...)
 - Prijelaz s preventivne na korektivnu n-1 sigurnost pogona

Energetska skladišta u svijetu



- Pohranjena / isporučena električna energija:
 - SAD 2.5%
 - Europa 10%
 - Japan 15%

Inicijative



□ California

- CPUC zahtijeva 1,325 MW skladišta u pogonu do 2020 (PG&E 580 MW, SCE 580 MW, SDG&E 165 MW)
- Skladišta će biti priključena na tri razine:
 - Prijenosna mreža
 - Distribucijska mreža
 - Krajnji korisnici

Inicijative

□ California

		2014	2016	2018	2020	Ukupno
SCE i PG&E	Prijenos	50	65	85	110	310
	Distribucija	30	40	50	65	185
	Potrošači	10	15	25	35	85
	Ukupno	80	120	160	210	580
SDG&E	Prijenos	10	15	22	33	80
	Distribucija	7	10	15	23	55
	Potrošači	3	5	8	14	30
	Ukupno	20	30	45	70	165
	ZBROJ	200	270	365	490	1,325

Inicijative



□ California

- Uslijed nerazumnih troškova ili nedovoljnog broja kvalitetnih projekata, elektroprivrede mogu odgoditi do 80% ciljanih investicija koje se prelijevaju u sljedeće razdoblje
- Sve odgođene investicije moraju biti nadoknađene do 2020. godine

Inicijative



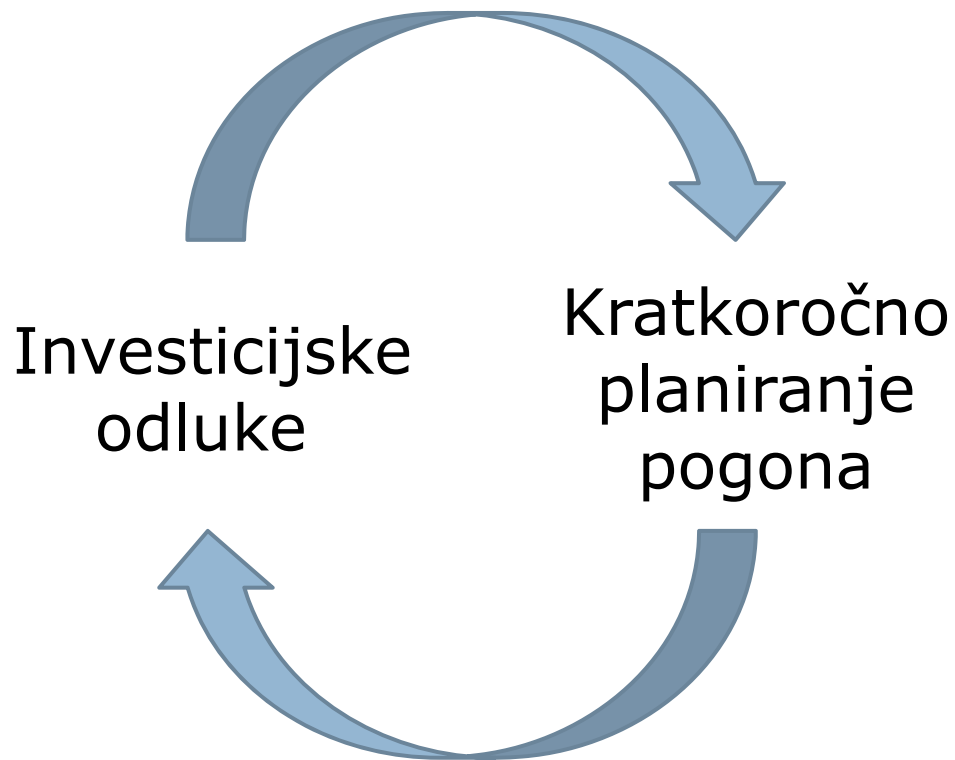
- California
 - 80% ciljeva je moguće prelijevati između prijenosne i distribucijske mreže, no nema prelijevanja prema potrošačima

Demo projekti



- 27 MW tijekom 15 min NiCd – Fairbanks, AL (2003)
- 20 MW tijekom 15 min zamašnjak – Stephentown, NY (2011)
- 32 MW tijekom 15 min Li-Ion – Laurel Mountain, WV (2011)
- 36 MW tijekom 40 min Lead Acid – Notrees, TX (2012)
- 8 MW tijekom 4 h Li-Ion – Tehachapi, CA (2014)
- 25 MW tijekom 3 h Flow bat. – Modesto, CA (2014)
- 5 MW tijekom 1 h Li-Ion –Schwering, Njemačka(2014)

Gdje smjestiti skladišta i kolike snage?



Lociranje i dimenzioniranje distribuiranih skladišta

□ Investicijske troškove

$$IC_{en} = p_{en} \frac{r \cdot (1+r)^h}{(1+r)^h - 1} \cdot \frac{1}{N_{year}} \quad - \text{Trošak skladišta po kWh instaliranog kapaciteta}$$

$$IC_{pow} = p_{pow} \frac{r \cdot (1+r)^h}{(1+r)^h - 1} \cdot \frac{1}{N_{year}} \quad - \text{Trošak skladišta po kW instalirane snage}$$

Matematička formulacija

- Funkcija cilja planiranja pogona za dan unaprijed uključuje dnevne troškove izgradnje distribuiranih skladišta:

$$\min \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \left(c_i \cdot g_{t,i} + su_{t,i}(u_{t,i}) \right) + \sum_{b \in B} \left(SoC_b^{\max} \cdot IC_{en} + p_b^{\max} \cdot IC_{power} \right)$$

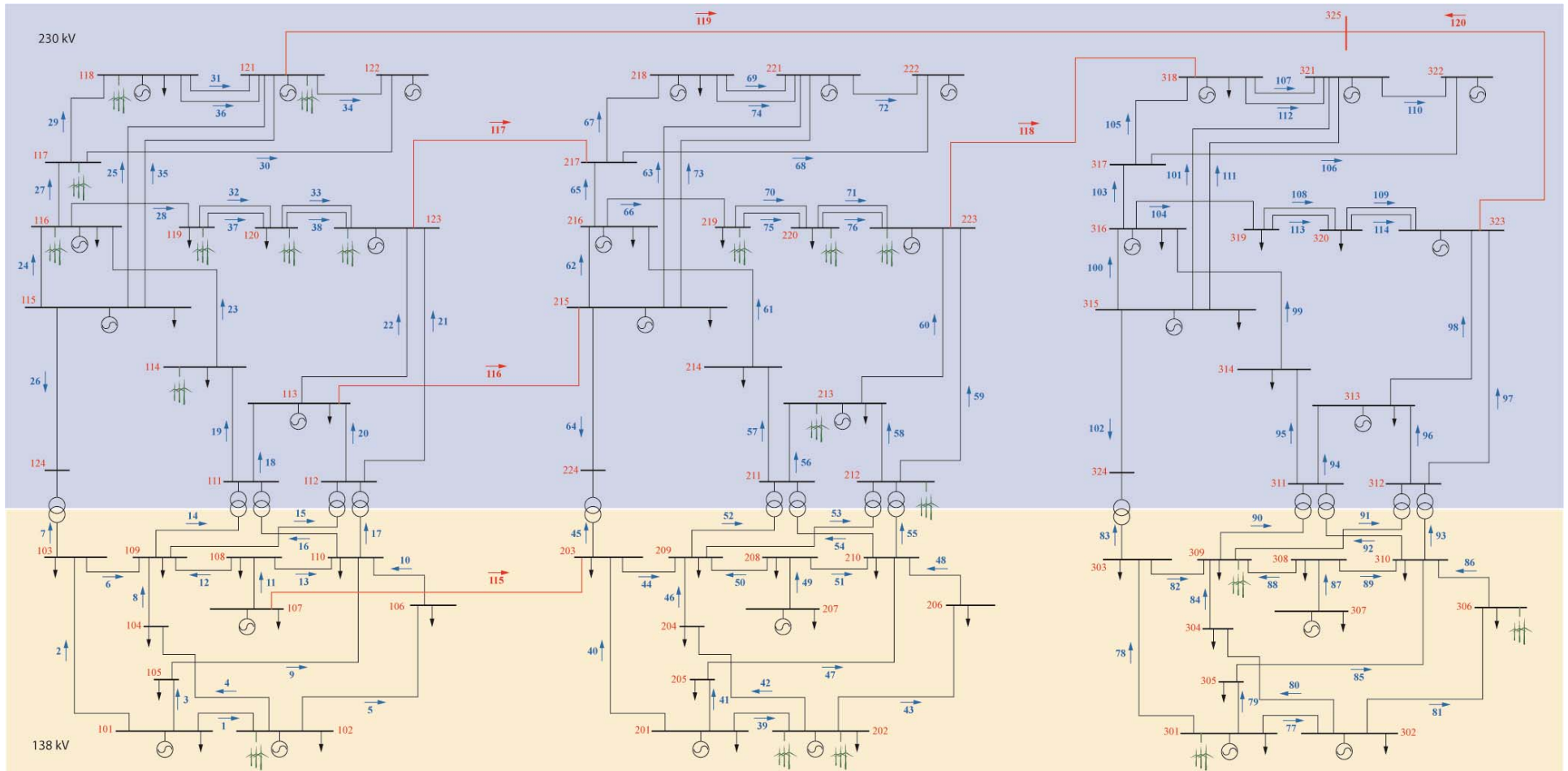
Troškovi pogona Dnevni troškovi investicije u distribuirana skladišta

Lociranje i dimenzioniranje distribuiranih skladišta

- Faza 1:
 - ▣ Kapaciteti i snage skladišta na svakoj sabirnici su neodređene
- Faza 2:
 - ▣ Lokacije skladišta su određene
 - ▣ Kapaciteti i snage skladišta u ODABRANIM sabirnicama su neodređene
- Faza 3:
 - ▣ Kapaciteti i snage skladišta su određene
 - ▣ Kvaliteta rješenja ocjenjuje se usporedbom s rezultatima faze 1



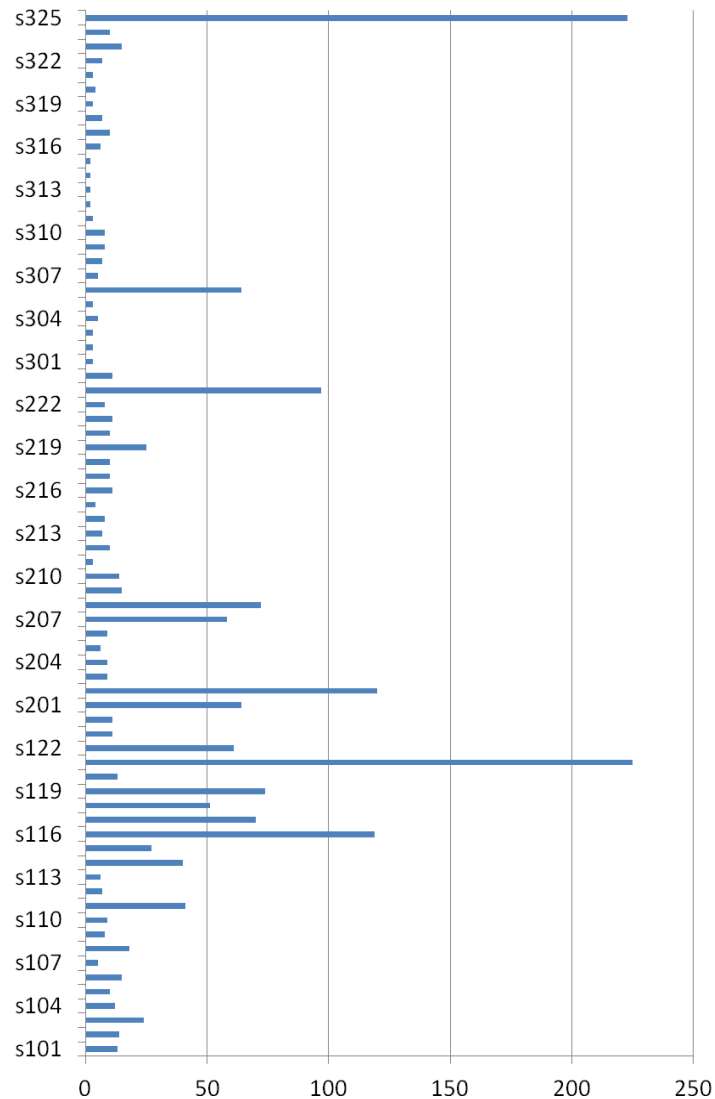
IEEE RTS-96



Podaci o skladištima

- Cijena skladišta:
 - ▣ \$20/kWh
 - ▣ \$500/kW
- Životni vijek baterija: 20 years
- Kamata: 5%
- Učinkovitost $0.9 * 0.9 = 0.81$
- Dnevni investicijski troškovi
 - ▣ \$4.41/(MWh dan)
 - ▣ \$110.22/(MW dan)

Rezultati faze 1



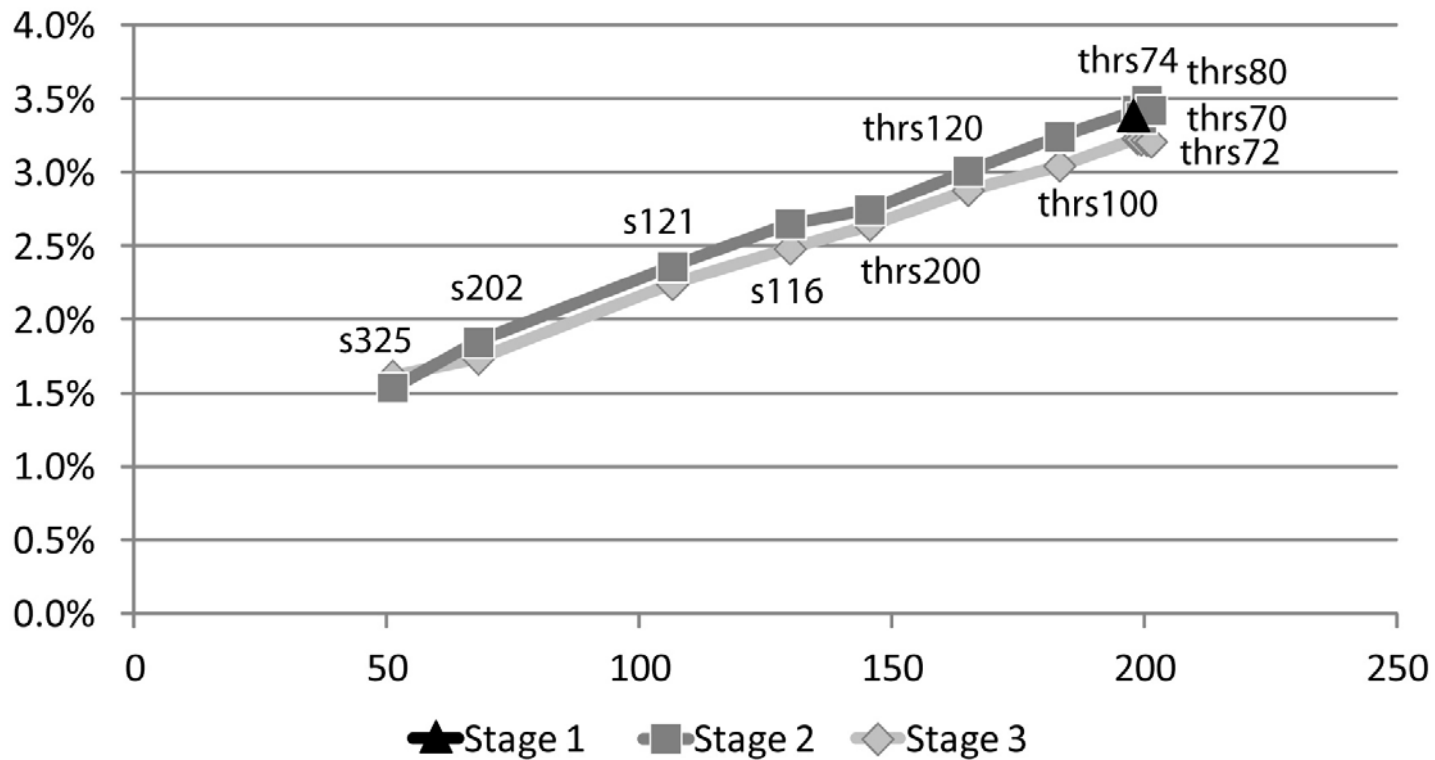
Oznaka	Čvorišta sa skladištima	Oznaka	Čvorišta sa skladištima
s116	116	thrs100	116, 121, 202, 325
s121	121	thrs80	116, 121, 202, 223, 325
s202	202	thrs74	116, 119, 121, 202, 223, 325
s325	325	thrs72	116, 119, 121, 202, 208, 223, 325
thrs200	121, 325	thrs70	116, 117, 119, 121, 202, 208, 223, 325
thrs120	121, 202, 325		

Rezultati faze 2

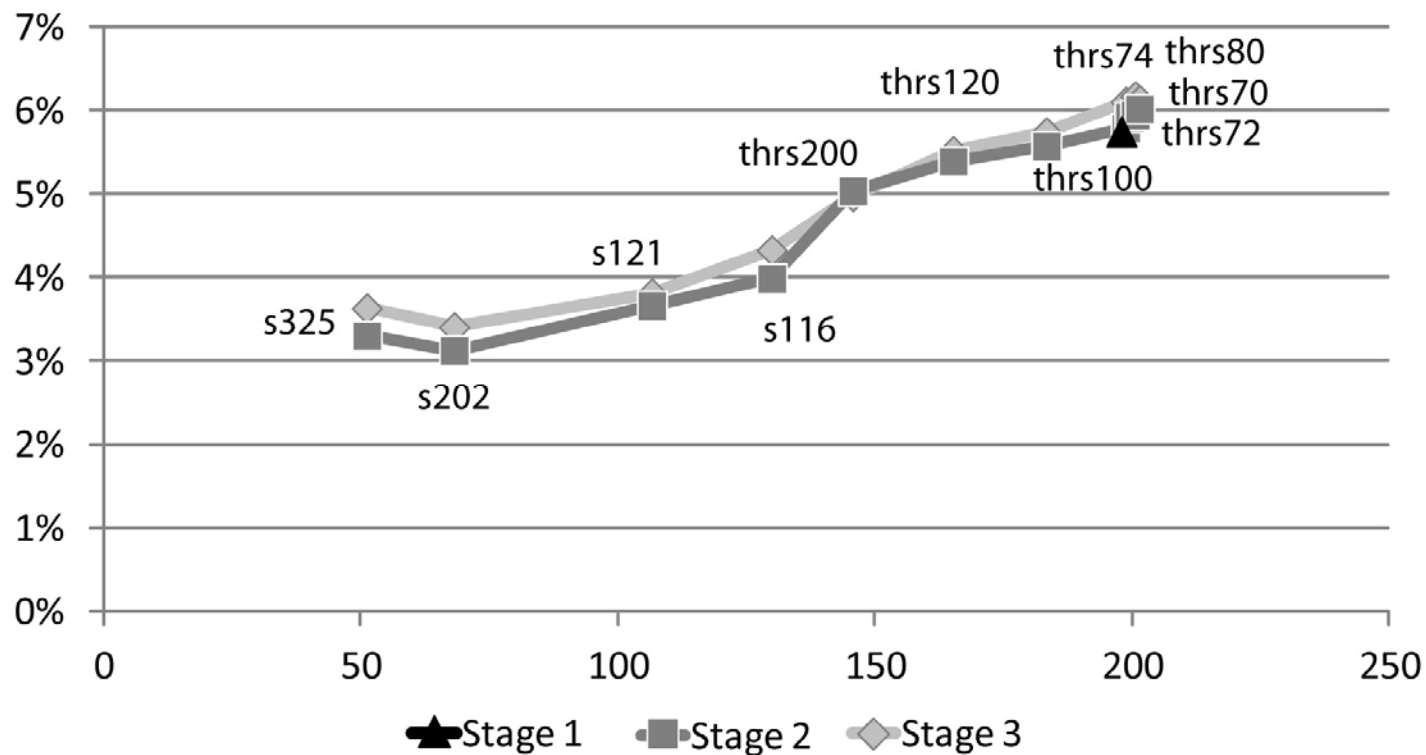
	Čvorište	Broj dana	Pr. kap. (MWh)	Pr. snaga (MW)	Omjer
Faza 1	116	119	424	57	7.4
	117	70	55	8	6.9
	119	74	99	14	7.0
	121	225	541	77	7.0
	202	120	107	16	6.7
	208	72	18	3	6.1
	223	97	235	35	6.7
	325	223	225	37	6.1
	thrs70	116	132	303	41
117		90	117	17	6.8
119		121	247	36	6.9
121		258	629	93	6.8
202		156	143	22	6.5
208		129	76	12	6.2
223		163	354	54	6.5
325		273	243	41	5.9
thrs72	116	135	363	50	7.2
	119	127	238	35	6.7
	121	265	676	100	6.8
	202	155	148	22	6.6
	208	129	75	12	6.2
	223	163	358	55	6.5
	325	280	260	44	5.9

	Čvorište	Broj dana	Pr. kap. (MWh)	Pr. snaga (MW)	Omjer
thrs74	116	144	365	51	7.1
	119	124	246	36	6.8
	121	269	688	101	6.8
	202	178	167	26	6.5
	223	174	375	58	6.5
	325	282	242	41	5.9
thrs80	116	170	504	71	7.1
	121	265	708	104	6.8
	202	173	219	34	6.5
	223	171	425	66	6.5
thrs100	325	271	233	41	5.7
	116	167	597	85	7.0
	121	259	698	104	6.7
	202	195	318	49	6.6
	325	293	302	52	5.8
thrs120	121	285	1014	150	6.8
	202	201	403	60	6.8
thrs200	325	300	302	52	5.8
	121	295	1146	171	6.7
s116	116	298	1393	204	6.8
s121	121	302	1128	168	6.7
s202	202	319	681	109	6.2
s325	325	328	457	84	5.4

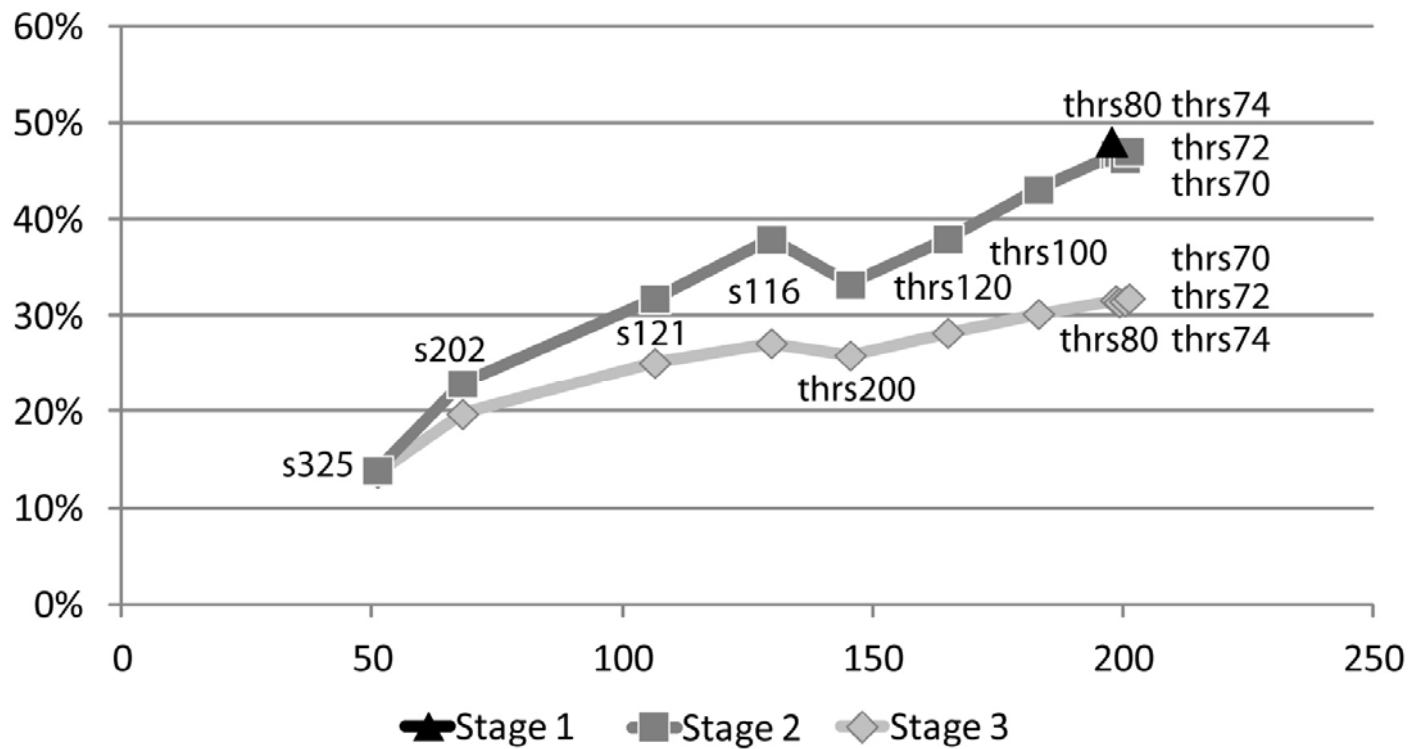
Uštede u troškovima pogona (M\$)



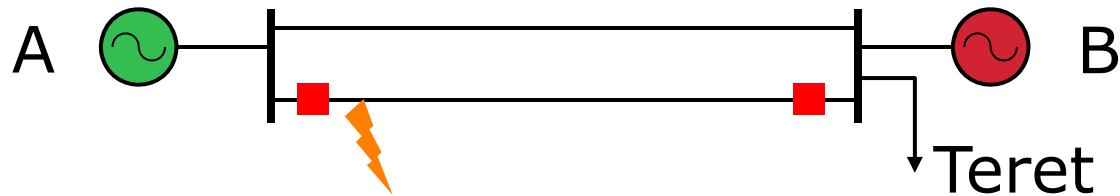
Smanjenje broja generatora u pogonu



Povećanje iskoristivosti vjetra

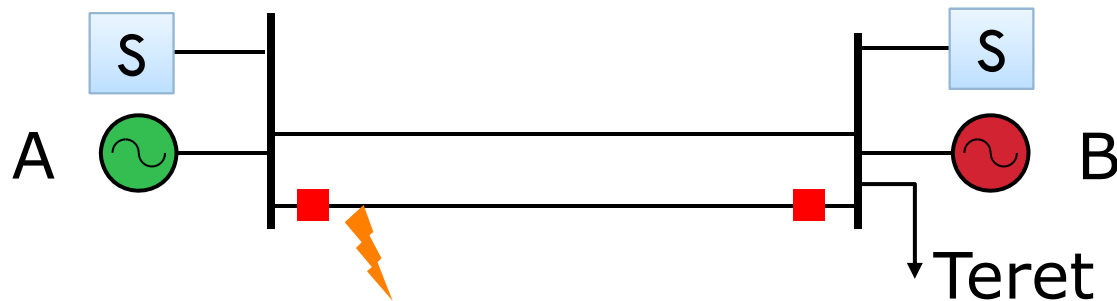


Preventivna sigurnost

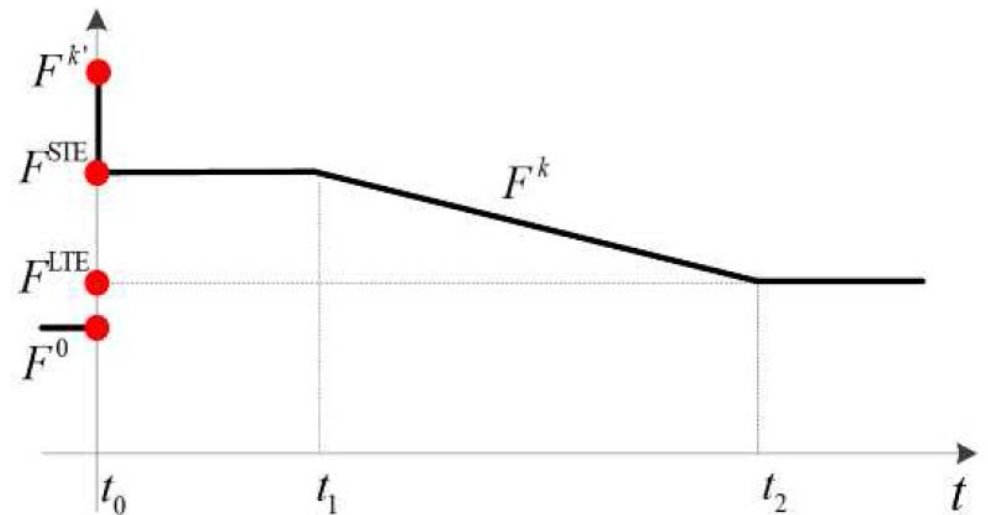


- n-1: svaki vod mora biti u mogućnosti prenijeti svu proizvodnju generatora A

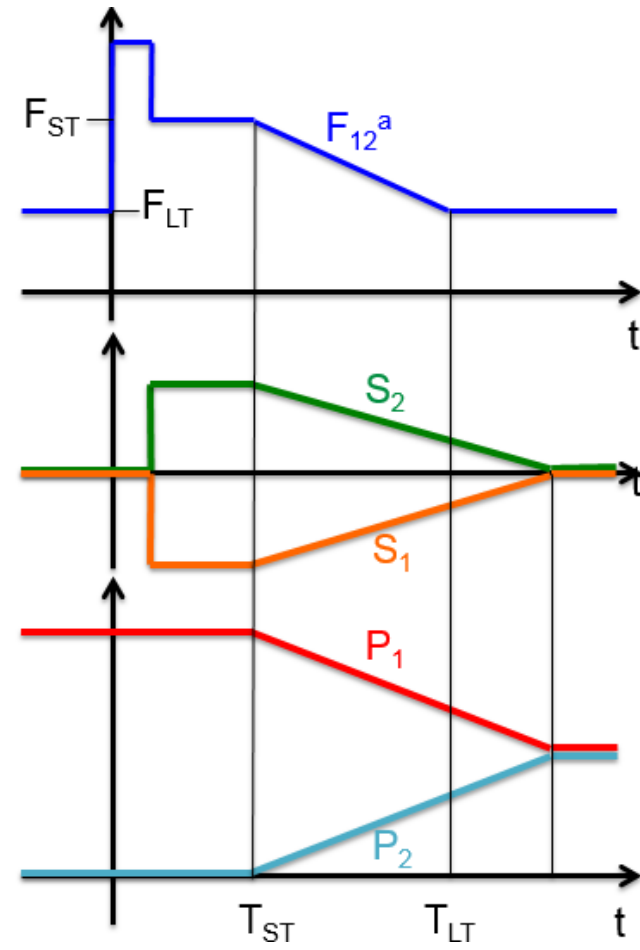
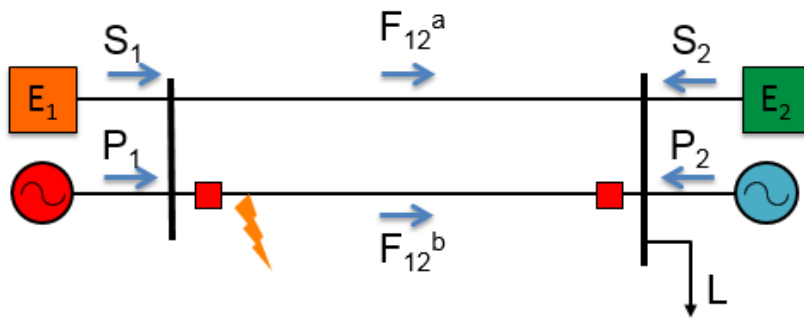
Korektivna sigurnost



S obzirom da se baterije mogu vrlo brzo puniti/prazniti, možemo iskoristiti kratkoročno preopterećenje vodova (20-40% više od trajnog kapaciteta)

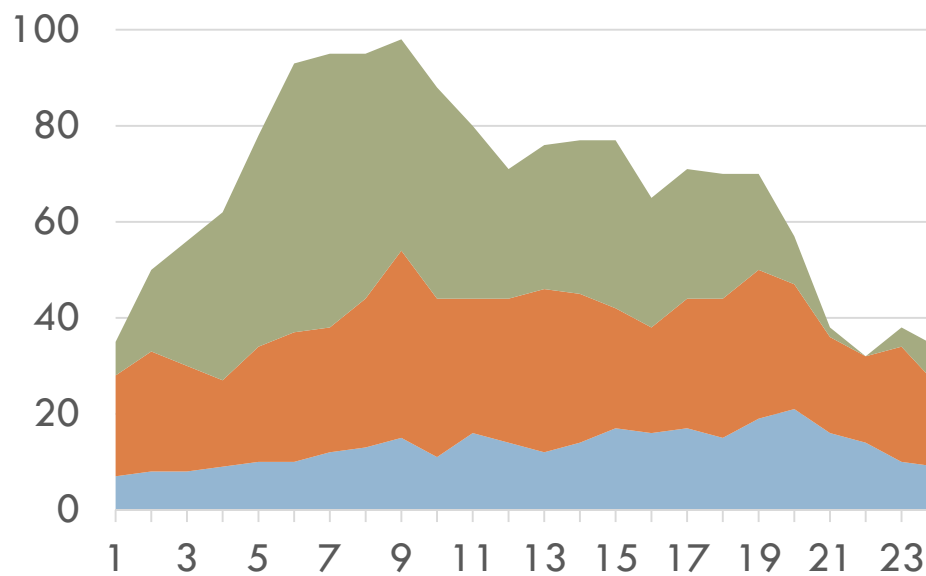


Korektivna sigurnost



Upravljanje skladištima

- Kapacitet rezerviran za:
 - izravnavanje dnevne krivulje opterećenja
 - regulaciju
 - korektivne radnje



Zaključno

- Skladišta ili prijenosni vodovi?
- Prilika za skladišta: odgoda investicije u prijenosne vodove
- Kako će se skladišta integrirati u mrežu kojom upravlja Operator prijenosnog sustava?
 - ▣ Skladišta u vlasništvu investitora
 - ▣ Skladišta u vlasništvu OPS-a (naknada za korištenje skladišta ekvivalentna naknadi za korištenje vodova)



Q & A

hrvoje.pandzic@ieee.org