

Uticaj solarnih elektrana na elektroenergetski sistem BiH



Parsons Brinckerhoff - Predstavnici

- Goran Vukojević, direktor Parsons Brinckerhoff ogranka u Beogradu

[email: vukojevicg@pbworld.com](mailto:vukojevicg@pbworld.com)

- Tomo Martinović, glavni inženjer za elektroenergetske sisteme

[email: tomo.martinovic@pbworld.com](mailto:tomo.martinovic@pbworld.com)

- Miloš Mitrović, inženjer za elektroenergetske sisteme

[email: milos.mitrovic@pbworld.com](mailto:milos.mitrovic@pbworld.com)

Parsons Brinckerhoff - Osnovne informacije



WSP i Parsons Brinkerhoff



EUROPE, MIDDLE EAST,
INDIA, AFRICA (EMEIA)


31,500
EMPLOYEES


500
OFFICES


39
COUNTRIES



Naša tržišta



- Energetika i industrija



- Železnica i transport



- Javna i regionalna infrastruktura



- Glavni projekti i planovi

- 2013. istorijska godina za PV tehnologiju - 38.4 GW novoizgrađenih fotonaponskih (PV) elektrana (2012 - 30 GW)
- Veliki razvoj u Aziji
- U Evropi se od 2011. beleži pad: 22.4 GW - 17.7 GW - 11 GW
- Integracija velikog broja PV elektrana u EES predstavlja izazov za rad prenosnog sistema
- Odgovarajuća analiza i procjena mogućnosti integracije solarnih elektrana je vrlo važan zadatak za operatore prenosnog sistema (TSO).



Izvor: EPIA – izgrađene PV (MW), kraj 2013.
Global Market Outlook for photovoltaics 2014 - 2018

Inicijativa nezavisnog operatora prenosnog sistema NOSBiH da se izvrši studija potencijala solarne energije i integracije solarnih elektrana u narednih 10 godina

I faza

- Pregled solarnih tehnologija
- Određivanje potencijalnih lokacija

II faza

- Elektroenergetske studije
- Tehnički zahtjevi
- Regulaciona rezerva



I Faza

1. Solarne tehnologije

Pregled

Komparativna analiza

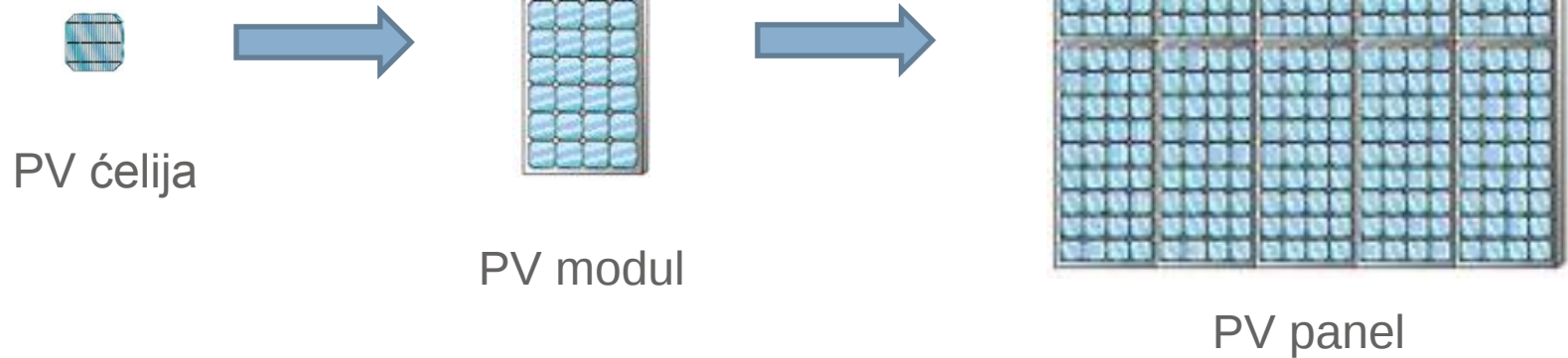
2. Identifikacija lokacija

Solarne elektrane

- Dvije razvijene solarne tehnologije za proizvodnju električne energije
 - *Fotonaponske (PV) elektrane*
 - *Koncentrisane solarne elektrane (KSE) elektrane*
- Pregled karakteristika obe tehnologije (PV i KSE)
- Za potrebe studije od interesa su samo sistemi većih snaga koji se povezuju na prenosnu mrežu

Fotonaponske elektrane

- Direktna konverzija sunčeve energije u električnu pomoću modula koji se sastoje od velikog broja fotonaponskih solarnih ćelija.



Le Méès, Francuska – 31 MW, 32 ha



Wrexham, *Engleska* – 13.1 MW, 25 ha



Fotonaponske elektrane

- Prednosti:

- Pouzdanost,
- Niska cijena održavanja
- Fleksibilna veličina sistema
- Modularna konstrukcija
- Transport

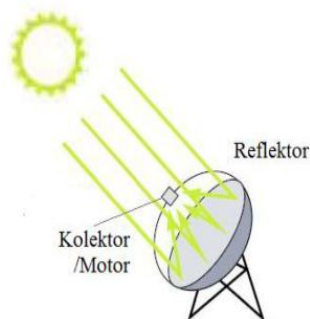
- Nedostaci:

- Nemaju konstantnu izlaznu snagu
- Proizvode jednosmjernu struju - pretvarači

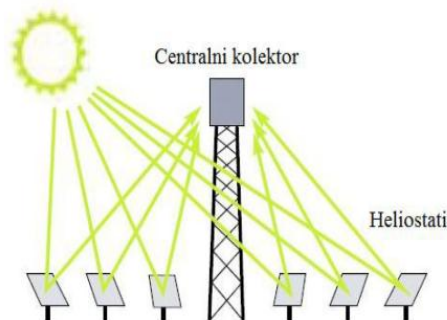
Koncentrisane solarne (KSE) elektrane

- Proces proizvodnje sličan klasičnim termoelektranama.
- Veliki broj ogledala usmjerava i koncentriše sunčevu svetlost na malu površinu.
- Prikupljena toplota se koristi za proizvodnju pare koja se dalje koristi za pokretanje turbine i proizvodnju električne energije.

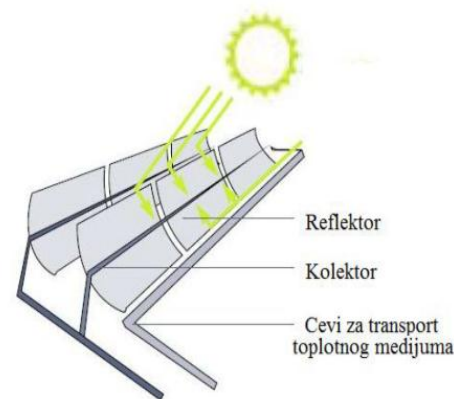
1. Parabolična posuda



2. Centralni prijemnik/ solarni toranj



3. Parabolično korito



Maricopa Solar, SAD

Parabolična posuda – 1.5 MW, 60 tanjira



Crescent Dunes Solar Energy Project, SAD

Solarni toranj + 10h TA – 110 MW, 647 ha



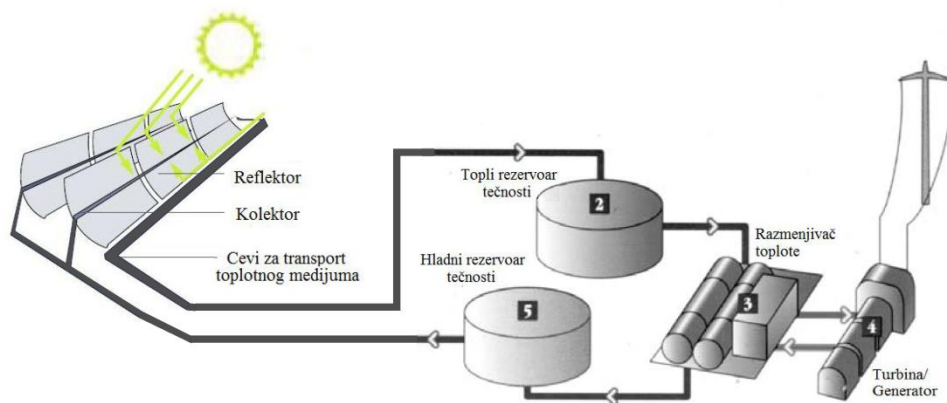
Shams 1, UAE

Parabolično korito + 10h TA – 100 MW, 250 ha



Koncentrisane solarne (KSE) elektrane

- Proizvodne jedinice snage 50 -150 MW.
- Mogućnost izgradnje sistema za skladištenje toplote:
 - Toplotna energija koja se prikupi tokom dana se koristi za proizvodnju električne energije tokom noći ili tokom oblačnih perioda.
 - Mogućnost proizvodnje električne energije u periodu maksimalne potražnje i visokom prodajnom cijenom
 - Kapacitet termoakumulacije ~7.5-8h



Kapitalni troškovi – PV

- **2.27 mil. EUR/MW** – prosjek za najnovijih 25 PV elektrana (25-145 MW) u Evropi (DE, FR, IT, BG i RO) **[1.5 - 4.75]**.
 - troškovi PV panela (49%),
 - građevinskih radovi (29%),
 - invertori (7%)
- Velika razlika u prosječnim troškovima:
 - Skuplji moduli imaju bolje performanse (veća efikasnost...) i veću proizvodnju i obrnuto.
 - Invertori boljih performansi, većom pouzdanošću i većom efikasnosti imaju veću cijenu.
 - Troškovi za kupovinu zemljišta

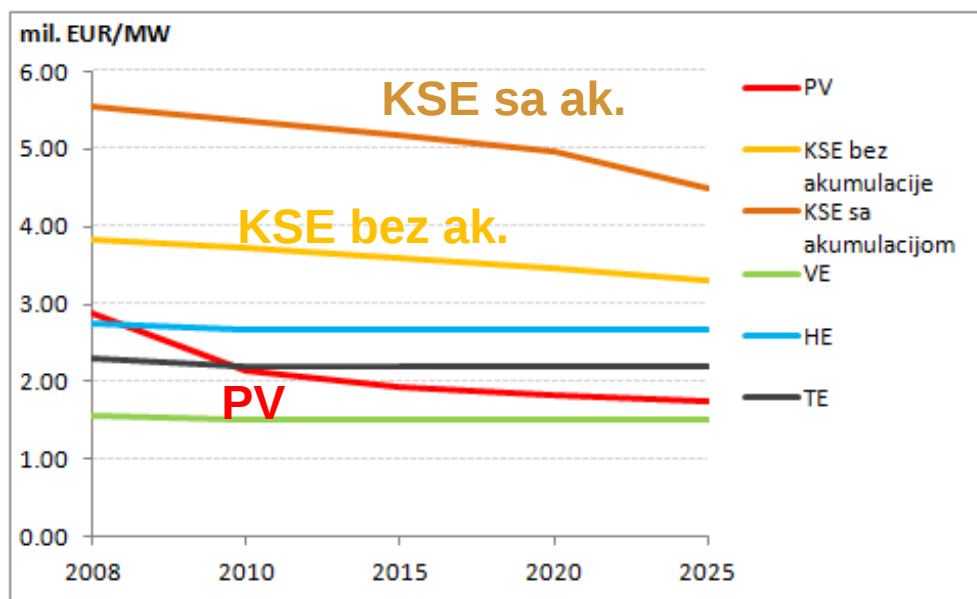
Kapitalni troškovi – KSE

- Procena troškova izgradnje KSE elektrane se zasniva na najnovijim elektranama sa paraboličnim posudama u Španiji (po 50MW; 9 bez skladišta, 9 sa skladištem 7.5-8h).
- **4.87 mil. EUR/MW** - Prosječna cijena za KSE bez skladišta **[4-5.9]**
- **6.3 mil. EUR/MW** – Prosječna cijena za KSE sa skladištem **[5.5-7.7]**
- Troškovi KSE elektrane se uglavnom odnose na solarno polje (40%), i energetske blok (18%)

Komparativna analiza

- Za klasične tehnologije za proizvodnju ne očekuje se promjena u cijeni
- Za solarne tehnologije očekuje se konstantan pad u budućem periodu.

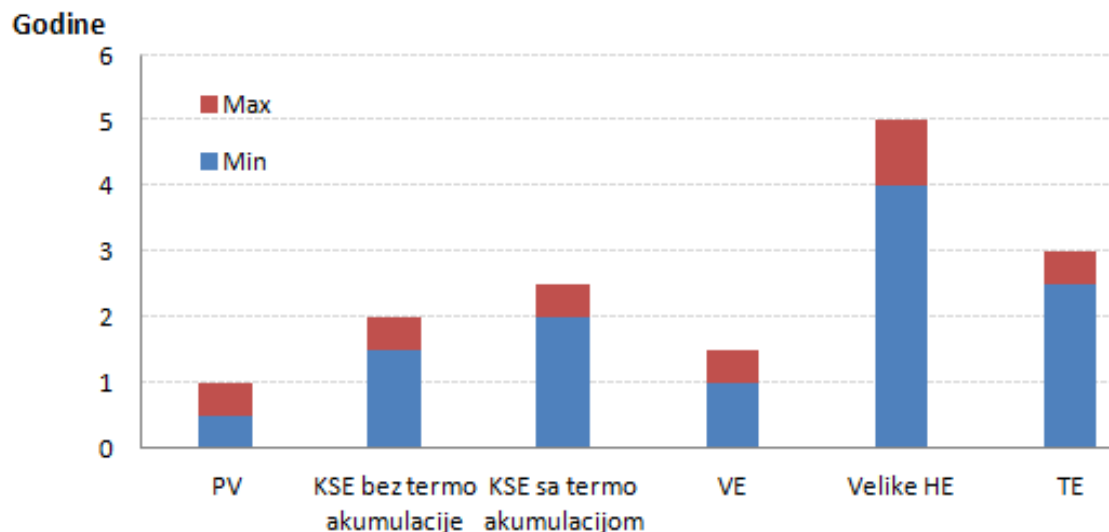
Tip elektrane	PV	KSE bez TA	KSE sa TA	VE	HE	TE
CAPEX [mil. EUR/MW]	1.94	3.59	5.17	1.51	2.66	2.20



Komparativna analiza

Vrijeme izgradnje

- PV elektrane – modularne, bez rotirajućih delova, bez termičkog ciklusa
 - ~1 godina za PV elektrane snage 50-100MW
- KSE elektrane
 - Bez termičkog skladišta ~1.5-2 godine,
 - Sa termičkim skladištem ~2-2.5 godine.



Površina – PV elektrane

- Fiksne PV elektrane **1.5 - 2.5 ha/MW**
 - Tehnologija za proizvodnju solarnih modula
 - Moduli veće efikasnosti zauzimaju manje prostora za istu snagu
- PV sistemi sa praćenjem **3 - 4.5 ha/MW**.
- PV paneli se mogu montirati na površine sa većim nagibom
- Skoro svaka veća PV elektrana u Evropi ima fiksno PV polje
 - 20 najvećih ~2.14 ha/MW

Površina – KSE elektrane

- KSE bez TA ~ **3.03 Ha/MW** (25 najnovijih u Španiji, po 50MW)
- KSE sa TA ~ **4.06 ha/MW**
 - 18 izgrađenih Španiji 2008-2013, 50MW svaka, TA 7-9h
- U oblastima sa manjom iradijacijom potrebna površina je veća i iznosi oko 5 ha/MW i više.
- ***KSE elektrane zahtjevaju relativno ravnu površinu***

Elektrana	PV	KSE bez TA	KSE sa TA	VE	TE
Potrebna površina [Ha/MW]	1.5÷2.5	2.5÷3.5	3.5÷4.5	20÷50	0.05÷0.2

Efikasnost – PV elektrane

- Najveći uticaj efikasnost PV modula (15-20%)
- Temperatura:
 - Nazivna efikasnost PV modula se daje za 25°C (temperatura PV modula).
 - Na višim temperaturama efikasnost se značajno smanjuje.
 - **-0.5%** za svaki °C iznad 25°C.
- Temperatura PV modula tokom dana može da bude 20-40 °C viša od ambijentalne temperature.
- Tokom ljeta i do 30% manje od nazivne snage.

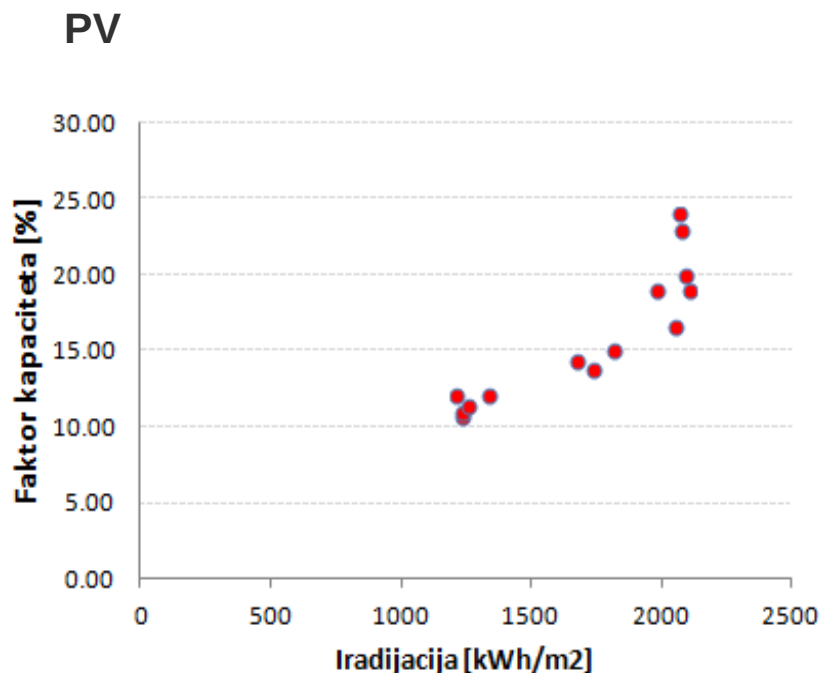
Efikasnost – KSE elektrane

- Najviše određena efikasnošću termodinamičkog ciklusa i razlike u temperaturi.
- Što je veća apsolutna temperatura izvora toplote, a manja temperatura hladnjaka, veća će biti efikasnost elektrane pri konverziji toplotne energije u električnu.
- Temperatura izvora toplote je ograničena svojstvima radnog medijuma.
- Temperatura hladnjaka je određena načinom rashlađivanja i odvođenjem toplote
- Ukupna efikasnost KSE slična konvencionalnim termoelektranama ~30 %.

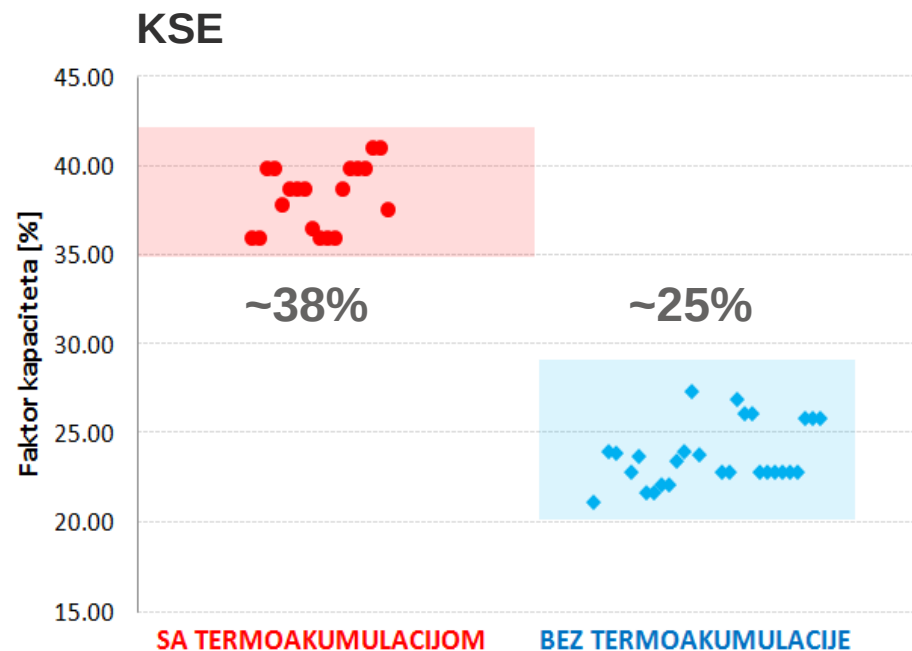
Komparativna analiza

Proizvodnja električne energije

- Faktor kapaciteta (Capacity factor - CF) - opisuje koliko električne energije određena elektrana proizvodi u odnosu na njenu nominalnu snagu



CF u odnosu na godišnju sumu globalne iradijacije



Uticaj na EES

- PV elektrana, kao izvor koji je preko konvertora vezan na mrežu:
 - Unosi harmonike u mrežu
 - Ne doprinosi povećanju struje kratkog spoja
 - Pozitivno utiče na regulaciju napona injektiranjem/apsorbovanjem reaktivne snage
 - Ima relativno nepredvidljivu proizvodnju
- KSE koje koriste klasične sinhronne generatore:
 - Ne unose harmonike u mrežu
 - Povećavaju struju kratkog spoja
 - Pozitivan uticaj na naponske prilike

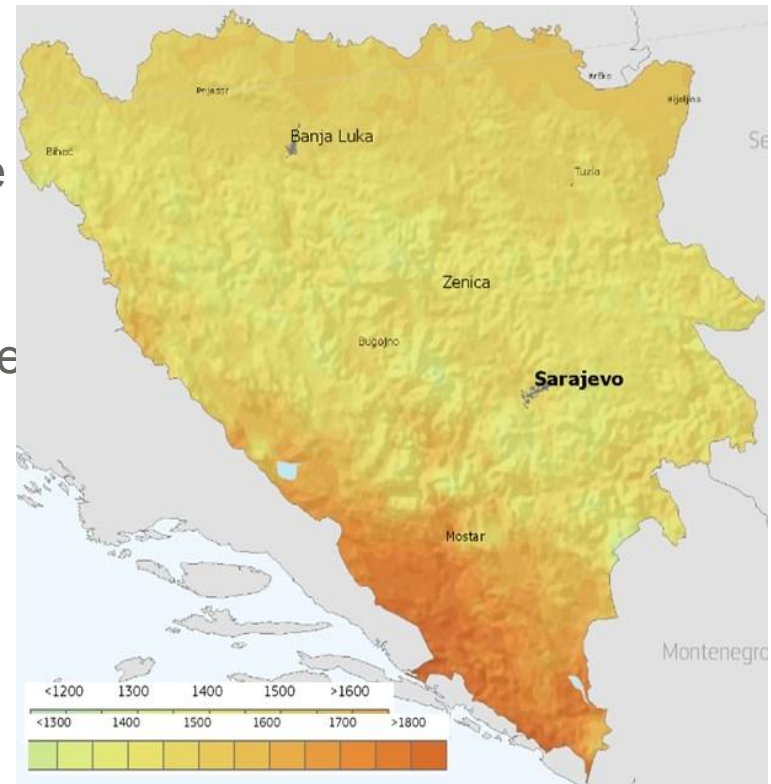
I Faza

1. Solarne tehnologije

2. Identifikacija lokacija

Iradijacija

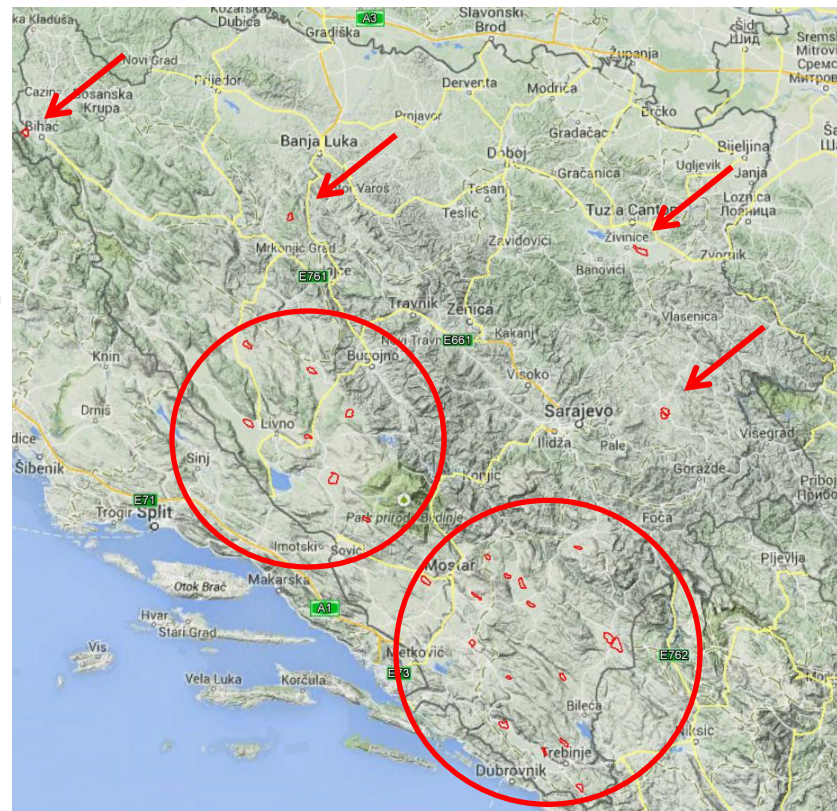
- Dugoročna mjerenja solarne iradijacije na području BiH nisu sprovedena*.
- Podaci o nivoima godišnje solarne iradijacije uzeti iz baze podataka *Photovoltaic Geographical Information System* (PVGIS).
- Podaci obuhvataju mjesečne i godišnje nivoe iradijacije za horizontalno i optimalno postavljene solarne panele.



PVGIS: Prosječan nivo godišnje solarne iradijacije u BiH [kWh/m²]

Identifikacija lokacija

- Lista potencijalnih lokacija je izabrana na osnovu sledećih faktora:
 - Nivo iradijacije
 - Reljef
 - Ukupne raspoložive površine (> 150 ha)
 - Naseljenost
 - Lokacija objekata i topologija prenosne mreže
- Ukupna raspoloživa površina:
 - 6550 ha - ravno,
 - 4000 ha – mješovito
- Prosječna iradijacija na potencijalnim lokacijama je 1570 kWh/m² (1400 - 1820 kWh/m²)



Lokacija	Površina [ha]		Iradijacija (optimalna) kWh/m2
	ravno	mješovito	
Ljubomir dolina	400	0	1730
Uboško polje	0	100	1730
Fatničko polje	300	0	1670
Zubačko polje	250	150	1740
Gatačko polje	1200	0	1630
Gatačko polje 2	800	0	1610
Postoljani	400	0	1660
Nevesinje	300	0	1670
Crnići	300	0	1840
Lakat	0	200	1500
Vilino polje	0	200	1490
Kružanj	0	200	1750
Mostarsko Blato	500	0	1790
Popovo polje	400	0	1790
Kočela	0	150	1720
Kladovo polje	0	150	1480



Lokacija	Površina [ha]		Iradijacija (optimalna) kWh/m2
	ravno	mješovito	
Duvanjsko polje	550	400	1660
Livanjsko polje	600	0	1600
Šuičko polje	0	150	1530
Vukovsko polje	0	500	1490
Rakitno polje	0	150	1610
Kupreško polje	150	300	1460
Glamočko polje	0	300	1490



Lokacija	Površina [ha]		Iradijacija (optimalna) kWh/m2
	ravno	mješovito	
Željava	400	0	1400
Manjača	0	300	1410
Glasinačko polje	0	150	1450
Glasinačko polje 2	0	200	1450
Dubrave	0	400	1450



II Faza

1. Energetski potencijal

Instalisana snaga

Priključenje na prenosnu mrežu

2. Elektroenergetske studije

3. Tehnički zahtjevi

4. Regulaciona rezerva

Instalisana snaga na izabranim lokacijama

- Reljef terena – Površina – Nivo iradijacije
 - KSE nagib <3%
 - Jedinična površina za dobijanje 1 MW instalisane snage
 - KSE iradijacija > 1600 kWh/m²

$$\text{Instalisana snaga [MW]} = \frac{\text{Raspoloživa površina [ha]}}{\text{Jedinična snaga [ha/MW]}}$$

1. Kombinovani scenario – KSE i PV elektrane

- Prednost KSE na lokacijama čiji reljef terena omogućava izgradnju.

2. Fotonaponski scenario – PV elektrane

- Na svim lokacijama je uzeta u obzir izgradnja samo PV elektrana.

Kombinovani scenario – 3060 MW

- KSE elektrane – 900 MW
- PV elektrane – 2160 MW

Fotonaponski scenario – 4010 MW

Lokacija	Površina [ha]		Iradijacija (optimalna)	Kombinovani scenario [MW]		Fotonaponski scenario [MW]
	ravno	mješovito	kWh/m2	KSE	PV	PV
Ljubomir dolina	400	0	1730	50		170
Uboško polje	0	100	1730		40	40
Fatničko polje	300	0	1670	50		130
Zubačko polje	250	150	1740	50	60	170
Gatačko polje	1200	0	1630	200		260
Gatačko polje 2	800	0	1610	150		350
Postoljani	400	0	1660	50		170
Nevesinje	300	0	1670	50		130
Crnići	300	0	1840	50		130
Lakat	0	200	1500		80	80
Vilino polje	0	200	1490		80	80
Kružanj	0	200	1750		80	80
Mostarsko Blato	500	0	1790	100		100
Popovo polje	400	0	1790	50		170
Kočela	0	150	1720		60	60
Duvanjsko polje	550	400	1660	100	150	280
Livanjsko polje	600	0	1600		260	260
Šuićko polje	0	150	1530		60	60
Vukovsko polje	0	500	1490		220	220
Rakitno polje	0	150	1610		60	60
Željava	400	0	1400		180	180
Kladovo polje	0	150	1480		60	60
Manjača	0	300	1410		130	130
Kupreško polje	150	300	1460		200	200
Glasinačko polje	0	150	1450		60	60
Glasinačko polje 2	0	200	1450		80	80
Glamočko polje	0	300	1490		130	130
Dubrave	0	400	1450		170	170

Priključenje na prenosnu mrežu

- Načini priključenja za sve potencijalne lokacije pojedinačno – bez obzira na mogućnosti istovremenog priključenja na isti dio mreže
- Položaj predloženih lokacija za SE u odnosu na dalekovode i transformatorske stanice prenosne mreže
 - uzeta je u obzir i planirana mreža koja bi bila od interesa za priključenje datih SE (2020, 2025)
- Određene su približne potrebne dužine dalekovoda za priključenje uvažavajući reljef terena i saobraćajnu infrastrukturu (~ 20 km)
- GIS mapa prenosne mreže BiH bi doprinela većoj tačnosti u identifikaciji potencijalnih tačaka priključenja SE i određivanju potrebnih dužina poveznih dalekovoda.
- Izrada GIS mape prenosne mreže bi bila od velike koristi ne samo za studije povezivanja elektrana na prenosnu mrežu već i kod studija planova razvoja prenosne mreže.



Planirani dalekovodi od interesa kao i načini priključenja planiranih VE na postojeće i planirane dalekovode:

- 220 kV HE Rama–Mostar 4 i HE Rama–HE Zakućac
- 110 kV Kupres – (VE Debelo Brdo) – Tomislavgrad
- 110 kV Tomislavgrad – Rama
- 110 kV Stolac – Mostar 2
- 110 kV Stolac – (VE Trusina) – Bileća
- 110 kV Nevesinje – (HE Ulog) – Gacko
- 110 kV Foča – Sarajevo 20
- 110 kV Tuzla 5 – (Kalesija) – Zvornik
- 110 kV Livanjsko polje – (VE Orlovača) – Tomislavgrad
- 110 kV Tomislavgrad – (VE Gradina, VE Mesihovina) – Posušje
- 110 kV Mostar 2 – (VE Podveležje) – Jablanica

Lokacija	Tačka priključenja	Naponski nivo [kV]	Dužina DV [km]
HERCEGOVINA			
Ljubomir dolina	TS trebinje 1	110	9
	TS Trebinje	220	14
Kočela	DV 110kV Trebinje - Komolac	220	10
Zubačko polje	TS Trebinje	110	9
	TS Trebinje	220	9
Popovo polje	DV 220kV Mostar - Trebinje (2)	220	9
Uboško polje	TS 110 kV Stolac	110	14
Crnići	DV 110 kV Stolac - Capljina	110	1.6
Kružanj	TS 110 kV Mostar 2	110	8
Postoljani	TS 110 kV Nevesinje	110	15
Lakat	DV 220 kV Salakovac - Kakanj	220	18
Vilino polje	DV 220 kV Salakovac - Kakanj	220	8
Nevesinje	TS 110 kV Nevesinje	110	10
Fatničko polje	DV 110kV Gacko - Bileca	110	7
Gatačko polje	DV 400 kV Trebinje - TE Gacko	400	1
Mostarsko Blato	DV 220 kV HE Rama - Mostar 4	220	3
	DV 110 kV Mostar 4 - Siroki Brijeg	110	3
Kladovo polje	DV 110 kV Foča - Sarajevo 20	110	20
ZAPADNA BOSNA			
Rakitno polje	DV 220 kV HE Rama - Mostar 4	220	1
Duvanjsko polje	TS 110 kV Tomislavgrad	110	6
Livanjsko polje	TS 110 kV Livno	110	12
Šuićko polje	TS 110 kV Livno	110	4
Kupreško polje	TS 110 kV Bugojno	110	10
Vukovsko polje	DV 220 kV Jablanica - Jajce	220	32
Glamočko polje			
POJEDINAČNE LOKACIJE			
Željava	TS 220 kV Bihac 1	220	9
Manjača	DV 220 kV Jajce 2 - Prijedor 2	220	4
Glasinačko polje 1,2	DV 110 kV Sokolac - Rogatica	110	3
Dubrave	TS 110 kV Tuzla 5	110	5
Bjelašnica	TS 110 kV Hadžići	110	12

II Faza

1. Energetski potencijal

2. Elektroenergetske studije

Modelovanje

Proračun kapaciteta priključenja

Proračun kratkih spojeva

Dinamičke analize

3. Tehnički zahtjevi

4. Regulaciona rezerva

Elektroenergetske studije

- NOSBiH Indikativni plan razvoja proizvodnje 2015 – 2024
- Dodatne vjetroelektrane koje su uzete u obzir (data načelna saglasnost,

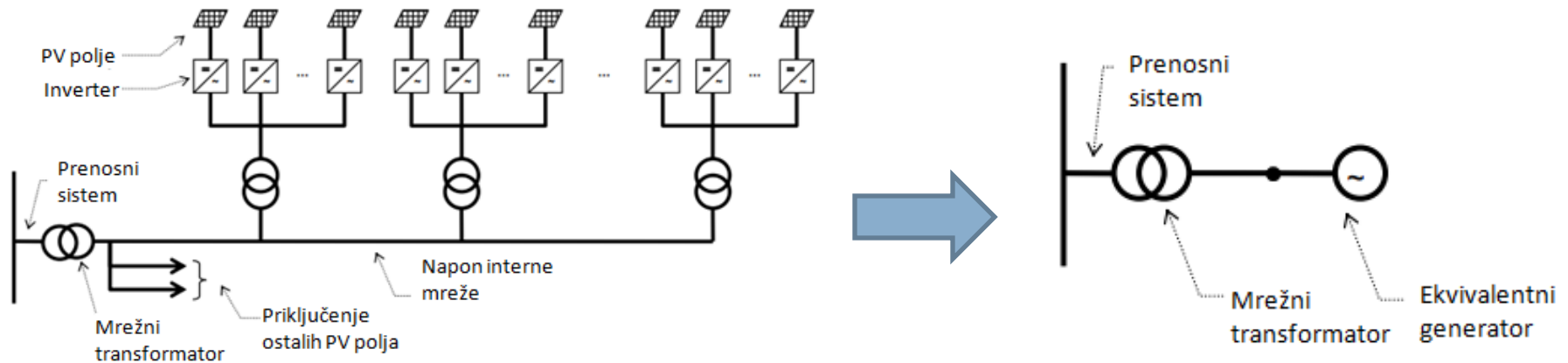
Elektroprenos, presjek stanja na početku izrade studije 350 MW):

- VE Debelo Brdo (54,6 MW),
- VE Mesihovina (55 MW),
- VE Podveležje (48 MW),
- VE Gradina (26 MW),
- VE Orlovača (42 MW)
- Prenosna mreža:
 - **2020** - 400 kV DV Višegrad – Bajina Bašta (RS)
 - **2025** - 400 kV DV Banja Luka – Lika (HR)

Elektroenergetske studije

Modelovanje SE

■ Fotonaponske elektrane



■ Koncentrisane solarne elektrane – ne razlikuje se od standardnih modela za sinhronne generatore u TE

Parametar	KSE 1	KSE 2	KSE 3
Nazivna prividna snaga S_n [MVA]	65	147	168
Nazivna aktivna snaga P_n [MW]	55	125	140
Aktivna snaga na pragu [MW]	50	100	120
Nazivni napon [kV]	10.5	15	15
Nazivni faktor snage - $\cos\phi_n$	0.85	0.85	0.85

Proračun kapaciteta priključenja

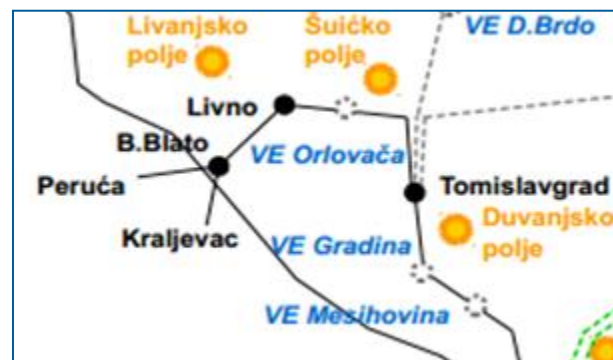
1 Sagledavanje mogućnosti priključenja u pogledu lokalnih ograničenja

Bez proračuna

Ulazni podatak maksimalna potencijalna instalisana snaga SE

Identifikacija SE koje se priključuju u istu tačku odnosno imaju zajednički uticaj na dio prenosne mreže

Ograničavanje instalisane snage na datim lokacijama u pogledu prenosne moći dalekovoda



2 Zimski dnevni maksimum 2025. godina - bazni model

3 Ljetni dnevni maksimum 2025. godina - bazni model

4 Zimski dnevni maksimum 2020. godina - bazni model

5 Ljetni dnevni maksimum 2020. godina - bazni model

Instalisana snaga određena u prethodnom koraku

Priključenje SE u kombinovanom/fotonaponskom scenariju

Promena programa razmjene BiH

Proračun tokova snaga i analiza sigurnosti

Identifikacija ograničenja u prenosnoj mreži

Ograničavanje instalisane snage SE za rješavanje ograničenja

6 Mogućnost integracije SE u EES BiH sa aspekta prenosnog kapaciteta - 2020 & 2025

Proračun kapaciteta priključenja

▪ U ovoj vrsti analize nema razlike u pogledu tehnologije solarnih elektrana tako da je nivo integracije u oba scenarija isti:

- 2020 – **565 MW**
- 2025 – **705 MW**

▪ Ulazni podatak za:

- analizu sigurnosti,
- proračune kratkih spojeva i
- dinamičke analize

Scenarijo Lokacija	2025		
	Kombinovani [MW]		Fotonaponski [MW]
	KSE	PV	PV
Crnići	50		60
Kružanj		40	40
Vilino polje		80	80
Nevesinje	50		40
Fatničko polje	50		50
Mostarsko Blato	50		50
Rakitno polje		60	60
Duvanjsko polje	50		50
Livanjsko polje		40	40
Kupreško polje		50	50
Vukovsko polje		60	60
Glasinačko polje		50	50
Dubrave		40	40
Bjelašnica		35	35
	250	455	
UKUPNO	705		705

Scenarijo Lokacija	2020		
	Kombinovani [MW]		Fotonaponski [MW]
	KSE	PV	PV
Crnići	50		60
Kružanj		40	40
Vilino polje			
Nevesinje	50		40
Fatničko polje	50		50
Mostarsko Blato	50		50
Rakitno polje		60	60
Duvanjsko polje	50		50
Livanjsko polje		40	40
Kupreško polje		50	50
Vukovsko polje			
Glasinačko polje		50	50
Dubrave		40	40
Bjelašnica		35	35
	250	315	
UKUPNO	565		565

Proračun kratkih spojeva

- Doprinos priključenja SE na porast odnosno promjenu nivoa struje kratkog spoja na posmatranim TS u mreži BiH:
 - Sve TS 400 kV i 220 kV
 - TS 110 kV od interesa (priklučne TS za SE i susjedni čvorovi)
- Prema Mrežnom kodeksu prenosna mreža BiH je dizajnirana tako da se nivoi kratkog spoja održavaju unutar sljedećih vrijednosti:
 - 40 kA na 400 i 220 kV sistemu;
 - 31.5 kA na 110 kV sistemu.
- PV elektrane – priključene preko pretvarača, mali doprinos strujama kratkog spoja (~110% nominalne struje)
- KSE elektrane se predstavljaju klasičnim generatorima i nije potrebno dodatno usklađivanje reaktansi

Proračun kratkih spojeva

- *Proračuni kratkih spojeva u svim scenarijima su pokazali da su struje troležnih i jednopolnih kratkih spojeva unutar vrijednosti koje propisuje Mrežni kodeks*

- Analizirane SE se najvećim dijelom priključuju na 110kV naponski nivo pa je u ovom dijelu mreže njihov uticaj najuočljiviji.

- PV elektrane, koje se preko konvertora priključuju na mrežu, imaju veoma mali doprinos

- KSE elektrane povećavaju struje kratkih spojeva u lokalnim TS.

Ime čvora	Naponski nivo [kV]	Trofazni k.s. (3ks)			Jednofazni k.s. (1ks)		
		Osnovni sc. [kA]	KSE+PV sc.[kA]	Δ (%)	Osnovni sc. [kA]	KSE+PV sc.[kA]	Δ (%)
Nevesinje	110	5.44	6.60	21.34	3.50	5.33	52.51
Bileća	110	6.52	7.33	12.42	4.21	5.35	26.96
Stolac	110	7.35	8.13	10.68	5.97	7.49	25.33
Mostar 2	110	13.01	14.14	8.73	11.20	12.66	13.09
HE Ulog	110	4.22	4.55	7.88	2.55	2.96	16.17
Tomislavgrad	110	8.34	8.98	7.72	7.37	9.20	24.86
Mostar 1	110	16.98	18.10	6.56	14.86	16.23	9.27
Mostar 4	110	19.93	21.16	6.14	13.82	15.85	14.63
Mostar 9	110	8.19	8.65	5.63	5.47	5.72	4.59
Ljubuški	110	9.80	10.32	5.28	6.57	6.96	5.88
Čapljina	110	9.83	10.34	5.12	6.71	7.25	8.02
Gacko	110	4.25	4.38	2.88	3.18	3.53	11.19
Livno	110	6.29	6.37	1.35	4.87	5.26	8.15
Kupres	110	6.97	7.03	0.90	5.09	5.54	8.69
Tuzla 5	110	15.61	15.61	0.00	6.29	6.63	5.45

Dinamičke analize

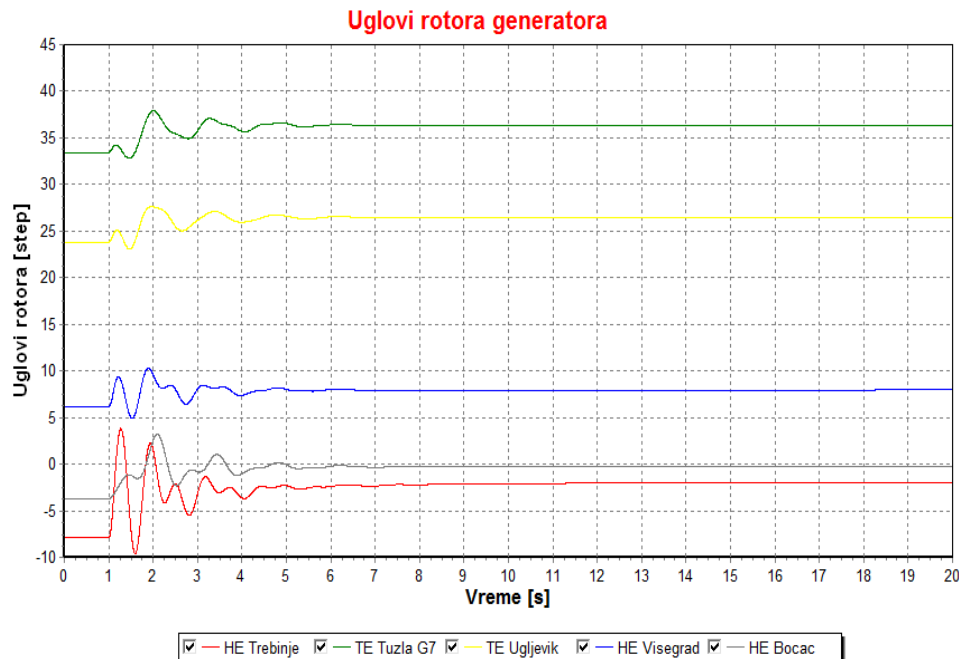
- Simulacije trofaznih kratkih spojeva na odabranim čvorovima u prenosnoj mreži (400 kV, 220 kV i 110 kV) sa trajanjem kvara kao što je definisano u NOS BiH Mrežnom kodeksu.
 - Provjera sposobnosti EES-a da apsorbira snagu ubrzanja sinhronih mašina tokom i neposredno nakon kvara, kao i provjera sposobnosti EES-a da se oporavi nakon otklanjanja kvara
- Procjena stabilnosti elektroenergetskog sistema je izvršena kroz simulacije poremećaja balansa snage
 - Istovremeni ispad svih PV elektrana.

Rezultati dinamičkih analiza su pokazali da solarne elektrane nemaju negativan uticaj na stabilnost EES-a.

Dinamičke analize

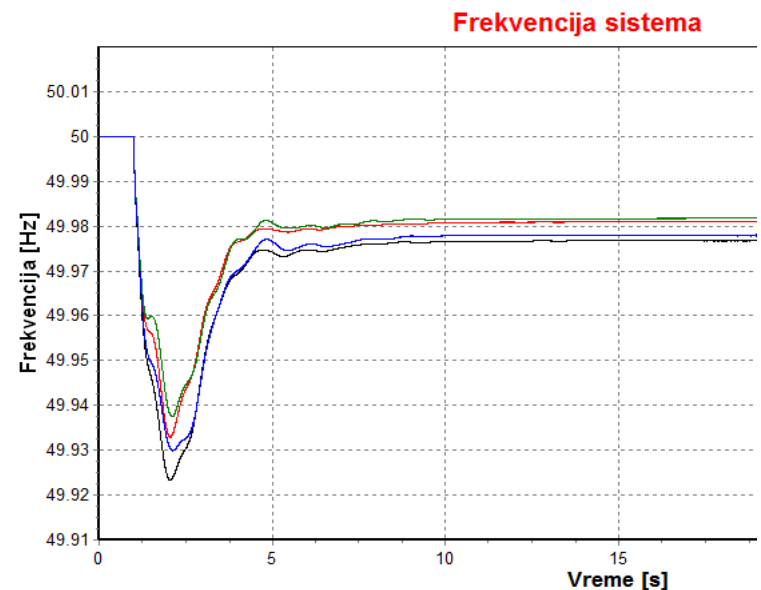
Simulacije kratkih spojeva

Uglovi generatora za trofazni kratak spoj u TS Mostar 400kV, isključenje DV Mostar - Gacko



Simulacije debalansa snage

Istovremeni prestanak proizvodnje u svim PV elektranama



II Faza

1. Energetski potencial

2. Elektroenergetske studije

3. Tehnički zahtjevi za priključenje SE

ENTSO-E zahtjevi za proizvodne parkove

ENTSO-E zahtjevi za sinhronne jedinice

4. Regulaciona rezerva

Tehnički zahtjevi za priključenje SE

- EK: ENTSO-E – Mrežni kodeksi
- Cilj harmonizacija, integracija i efikasnost tržišta električne energije u Evropi
<http://networkcodes.entsoe.eu/>
- Mrežni kodeks se podnosi Evropskoj Komisiji i prolazi proces odobravanja (eng. *Comitology process*)
- Usvaja se kao zakon EU i vrši se implementacija u zemljama članicama.
- Automatski nadomještaju odgovarajuće nacionalne legislative - nisu potrebne dodatne zakonodavne procedure.
- Implementaciju i usaglašavanje mrežnih kodeksa u prelaznom periodu

Tehnički zahtjevi za priključenje SE

- BiH – implementacija Mrežnih kodeksa kao članica Energetske zajednice kroz primjenu „Trećeg paketa“.
- Ministarsko veće Energetske zajednice je donelo odluku u oktobru 2011. godine, da će Ugovorne strane izvršiti implementaciju paketa propisa „Treći paket“
- To obuhvata i usaglašavanje nacionalnih mrežnih kodeksa sa pravilnicima Evropske Unije.
- Energetska zajednica usvaja Mrežne kodekse na prijedlog Evropske komisije.
- Usaglašavanje mrežnog kodeksa je pravno obavezujuće za NOS BiH.

Tehnički zahtjevi za priključenje SE

- ENTSO-E radi na izradi 10 Mrežnih kodeksa:
 1. Dodjela kapaciteta i upravljanje zagušenjima (CACM – Capacity Allocation and Congestion Management)¹
 2. Dodjela kapaciteta unaprijed (FCA – Forward Capacity Allocation)
 3. *Balansiranje električne energije (EB – Electricity Balancing)*
 4. *Zahtjevi za generatore (RFG – Requirements for Generators)²*
 5. Priključak potrošača (DCC – Demand Connection Code)
 6. Priključak VN jednosmjernih sistema (HVDC Connection)
 7. Operativna sigurnost (OS – Operational Security)
 8. Operativno planiranje i nominacija programa razmjena (OPS – Operational Planning and Scheduling)
 9. *Upravljanje frekvencijom i rezervama (LFCR – Load-Frequency Control and Reserves)*
 10. Havarijske situacije i restauracija sistema (E&R – Emergency and Restoration).

Tehnički zahtjevi za priključenje SE

- Mrežni kodeks Zahtjevi za generatore (RfG) :

- tehnički zahtjevi za priključenje na mrežu

- **svi tipovi generatora**

- **svaki naponski nivo**

Tip B $\geq 1^* \text{ MW}$

Tip C $\geq 50^* \text{ MW}$ < 110kV $\leq$ Tip D

Tip D $\geq 75^* \text{ MW}$

- **Zahtjevi**

1. Opšti

2. Sinhronne proizvodne jedinice (SGU – Synchronous Generating Unit)

3. Proizvodni parkovi (PPM – Power Park Modules)

Zahtjevi za proizvodne parkove - PPM

▪ Proizvodni park (PPM)

- jedinica ili skup jedinica koji proizvode električnu energiju,
- povezani na mrežu asinhrono ili preko energetske elektronike
- jedna tačka priključenja na prenosnu ili distributivnu mrežu.

▪ Isti zahtjevi za vjetroelektrane i fotonaponske SE

	Zahtjev	Kategorija	Tip B	Tip C	Tip D
→	Vještačka inercija	Frekventna stabilnost		x	x
	Oporavak aktivne snage nakon kvara	Robustnost	x	x	x
	Injektiranje reaktivne struje	Naponska stabilnost	x	x	x
	Prioritet doprinosa po aktivnoj ili reaktivnoj snazi	Naponska stabilnost		x	x
→	Sposobnost regulacije reaktivne snage pri maksimalnoj aktivnoj snazi	Naponska stabilnost		x	x
	Sposobnost regulacije reaktivne snage pri aktivnoj snazi manjoj od maksimalne	Naponska stabilnost		x	x
	Načini kontrole reaktivne snage	Naponska stabilnost		x	x
	Kontrola prigušenja oscilacija	Naponska stabilnost		x	x

Zahtjevi za proizvodne parkove - PPM

Vještačka inercija

- Povećavanjem broja VE/SE u EES povećava se udio generatora koji ne mogu da učestvuju u primarnoj regulaciji
- RfG kodeks zahtjeva tehnička sredstva za replikaciju inercije sinhronog generatora (brzo injektiranje snage proporcionalne veličini ispada).
- TSO – zahtjev PPM da kontrolni sistem koji upravlja proizvodnjom ima mogućnost da daje dodatnu aktivnu snagu mreži da bi ograničio stepen promjene frekvencije nakon poremećaja

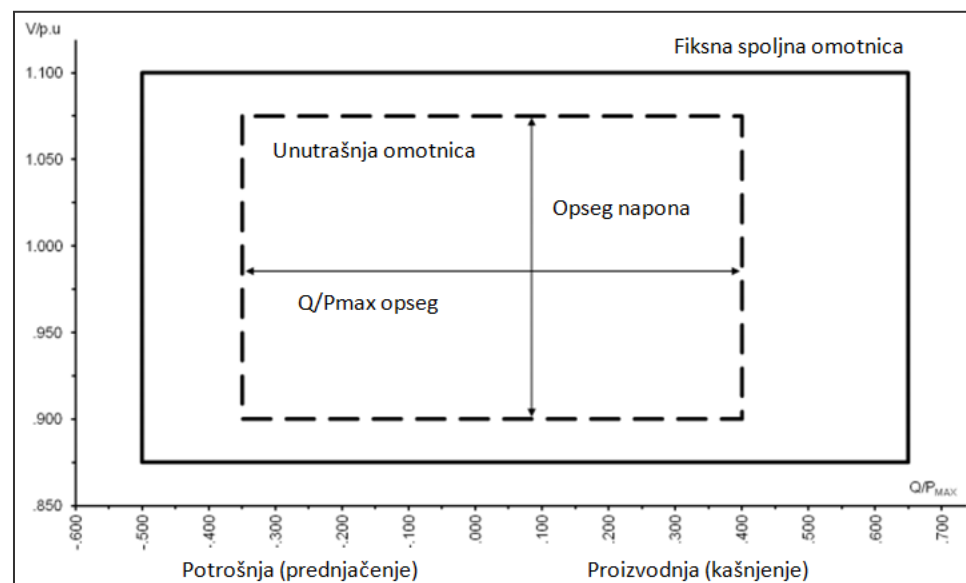
Zahtjevi za proizvodne parkove - PPM

Sposobnost regulacije reaktivne snage pri Pmax

- PPM – da obezbjedi reaktivnu snagu u stacionarnom stanju pri Pmax kako bi se napon držao u dozvoljenim granicama.
- TSO – da definiše obezbjeđenje reaktivne snage i operativnih mogućnosti generatora u smislu regulacije napona:
 - Definisanje U-Q Pmax profila u tački priključenja

- Kriterijum za određivanje veličine U-Q Pmax profila:

Sinhrona oblast	Maksimalni opseg Q/Pmax	Maksimalni opseg napona (pu)
Kontinentalna Evropa	0.75	0.225



Zahtjevi za sinhronne generatore - SGU

- *Zahtjevi koji se primjenjuju na sinhronne proizvodne jedinice tipa D se primjenjuju i na proizvodne parkove tipa D**
- Primeri:
 - Frekventni opseg
 - Sposobnost prolaska kroz stanje kvara

Frekventni opseg i vremenski period za rad bez isključenja sa mreže

RfG

Frekventni opseg [Hz]	Vremenski period bez isključenja sa mreže
47.5 - 48.5	Definiše TSO, ne manje od 30 minuta
48.5 - 49.0	Definiše TSO, ne manje od perioda za prethodni opseg
49.0 - 51.0	Neograničeno
51.0 - 51.5	30 minuta

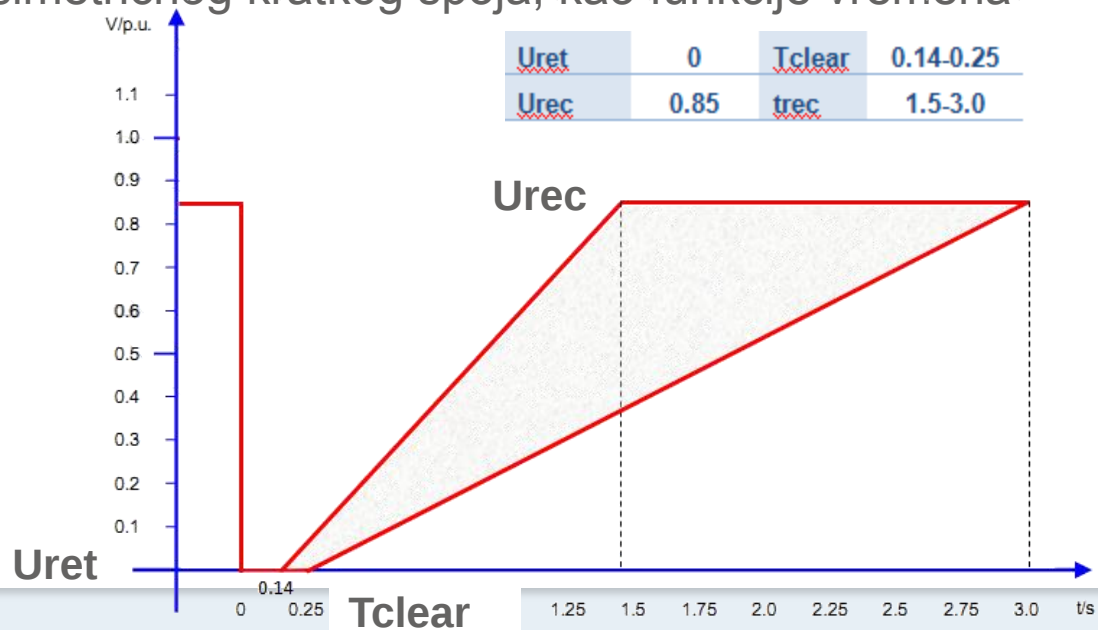
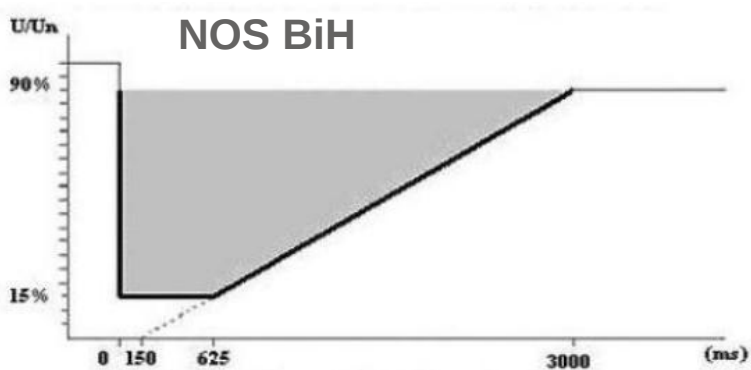
NOS BiH

Frekventni opseg [Hz]	Vremenski period bez isključenja sa mreže
47 - 47.5	20 sekundi
47.5 - 49.5	60 minuta
49.5 - 50.5	Neograničeno
50.5 - 52	60 minuta

Zahtjevi za sinhronne generatore - SGU

Sposobnost prolaska kroz stanje kvara

- Spriječava isključenje proizvodnih jedinica sa mreže (≥ 110 kV) posle otklonjenog kvara.
- Ograničavanje gubitka proizvodnje poslije kratkog spoja na prenosnoj mreži kako bi se izbjegli ozbiljni poremećaji.
- Specifikaciju profila U-t koji izražava donju granicu promjene međufaznih napona mreže u tački priključenja tokom simetričnog kratkog spoja, kao funkcije vremena prije, u toku i poslije kvara



II Faza

1. Energetski potencijal
2. Elektroenergetske studije
3. Tehnički zahtjevi za priključenje SE

4. Regulaciona rezerva

Metodologija NOS BiH

Metodologija ENTSO-E

Regulaciona rezerva

Mrežni kodeks NOS BiH

- Potrebna rezerva u skladu sa metodologijom u ENTSO-E operativnom priručniku
- **Sekundarna regulacija** je pomoćna usluga sa minutnim odzivom radi održavanja željene snage razmjene i frekvencije u interkonekciji
- **Tercijarna rezerva** se koristi kako bi se pomogla sekundarna regulacija stvaranjem potrebnog regulacionog opsega za nju. Tercijarna rezerva treba da pokrije ispad najveće proizvodne jedinice.

$$R = \sqrt{aL_{\max} + b^2} - b \quad [\text{MW}]$$

a = 10
b = 150;
L_{max} = maksimalna snaga potrošnje

Godina	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Vršna snaga konzuma na prenosnoj mreži	2.158	2.201	2.245	2.29	2.336	2.382	2.43	2.479	2.528	2.579
Primarna rezerva	15	16	16	16	17	17	17	17	17	17
Sekundarna rezerva	74	75	76	78	79	81	82	82	82	82
Tercijarna rezerva	250	300	300	300	300	400	400	400	400	400

Mrežni kodeks ENTSO-E

- Postojeća metodologija ne uzima u obzir obnovljive izvore električne energije i njihov uticaj na veličinu potrebnih rezervi.
- Iskustva zemalja u Evropi su pokazala da sa integracijom obnovljivih izvora električne energije raste i potreba za dodatnom regulacionom rezervom.
- Nova metodologija za određivanje potrebnih rezervi obuhvata i uticaj obnovljivih izvora energije.
 - **Mrežni kodeks ENTSO-E „Upravljanje frekvencijom i rezervama“ (LFCR)**
 - **Metodologija za dimenzionisanje regulacione rezerve**

Regulaciona rezerva

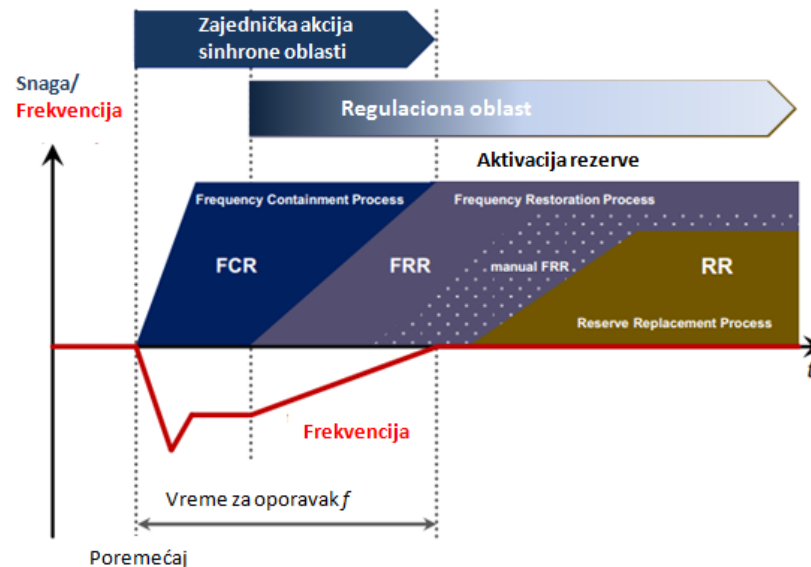
Mrežni kodeks ENTSO-E

- Nova terminologija za regulacione rezerve

Frequency Containment Reserve (FCR) – Rezerva za obuzdavanje promjene frekvencije

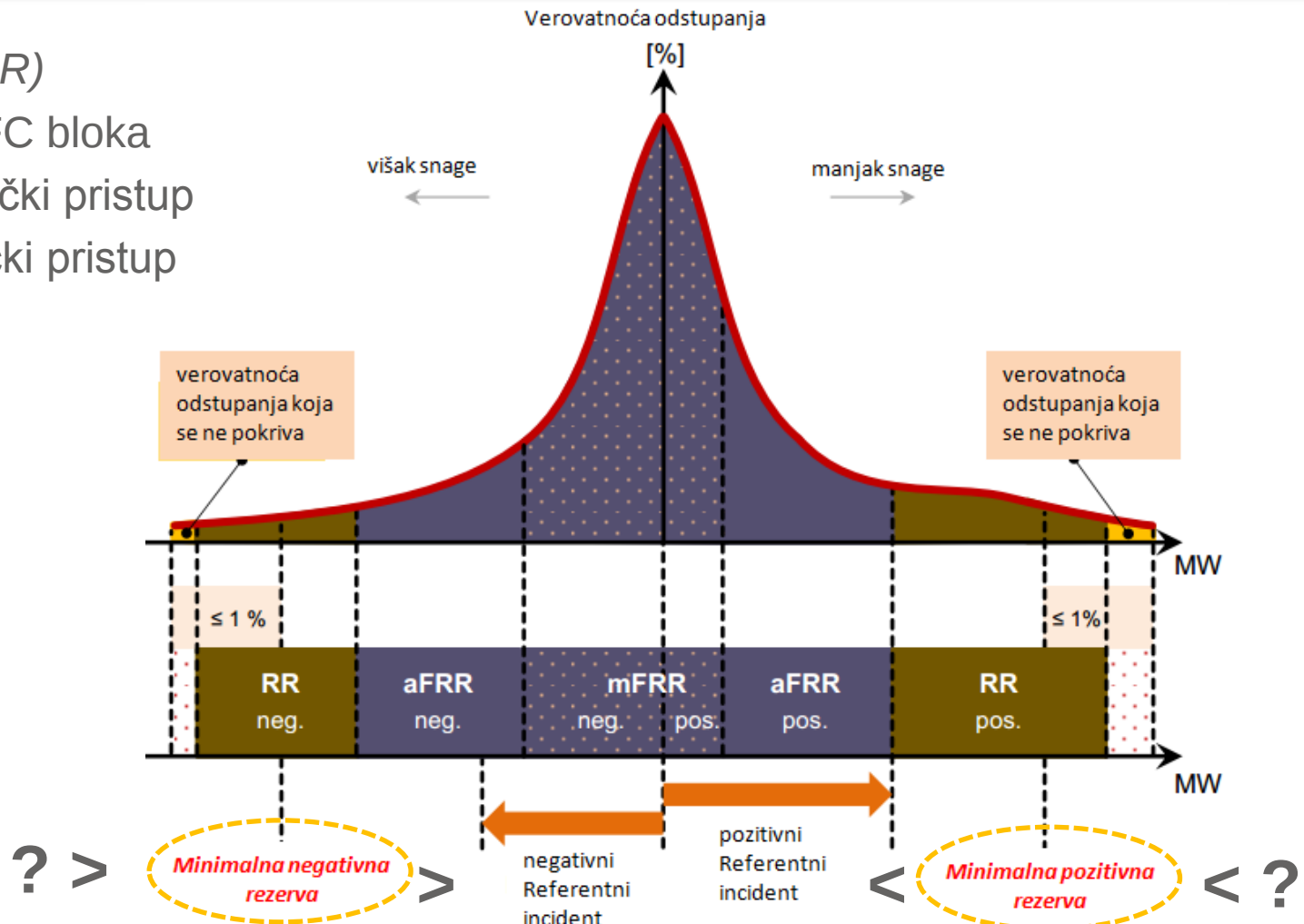
Frequency Restoration Reserve (FRR) – Rezerva za oporavak frekvencije

Replacement Reserve (RR) - Zamenska rezerva



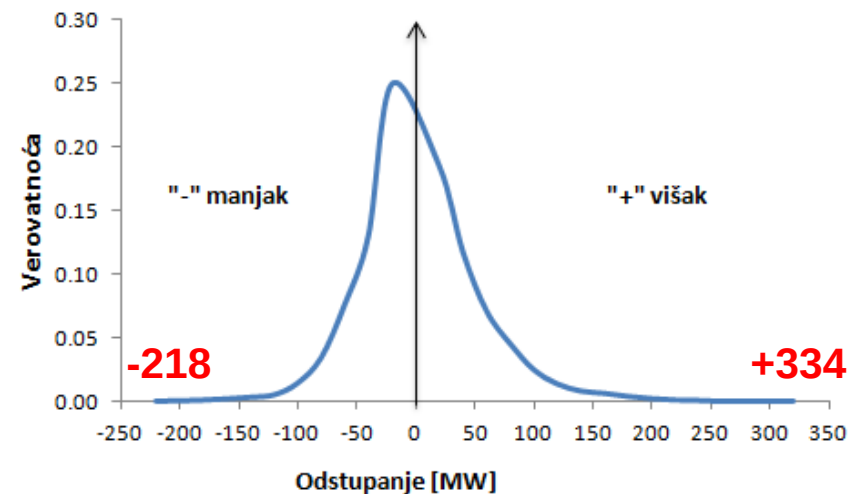
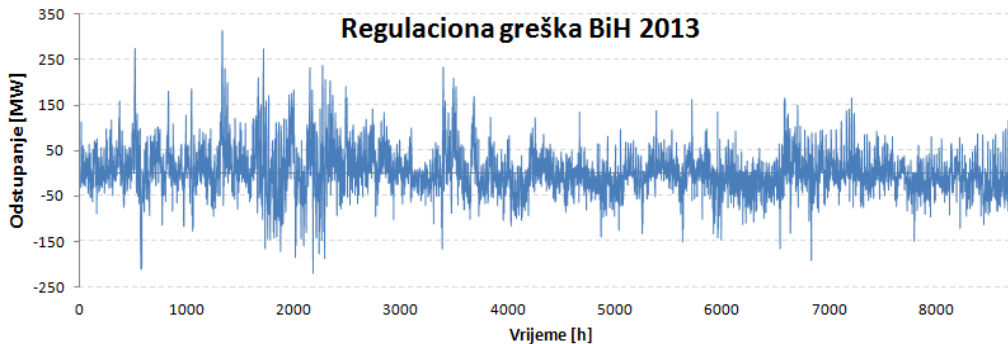
Regulaciona rezerva

- $\min(FRR+RR)$
- Na nivou LFC bloka
- Deterministički pristup
- Probabilistički pristup



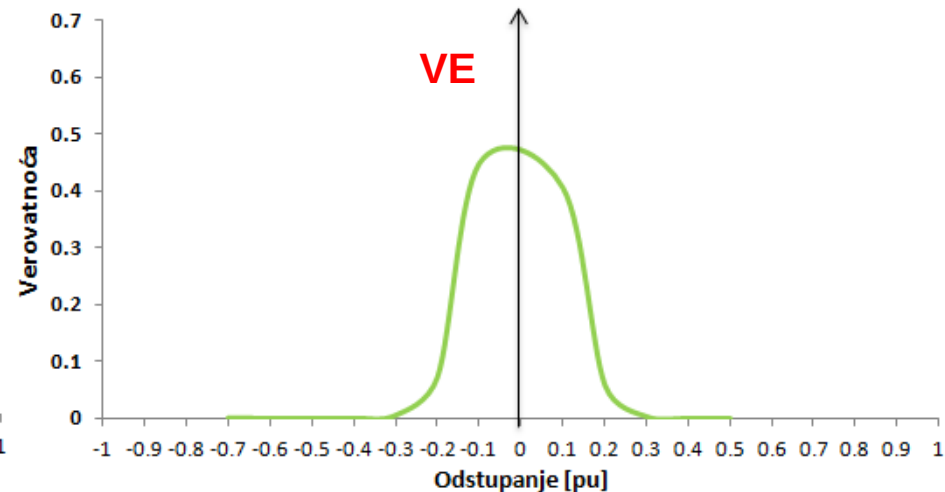
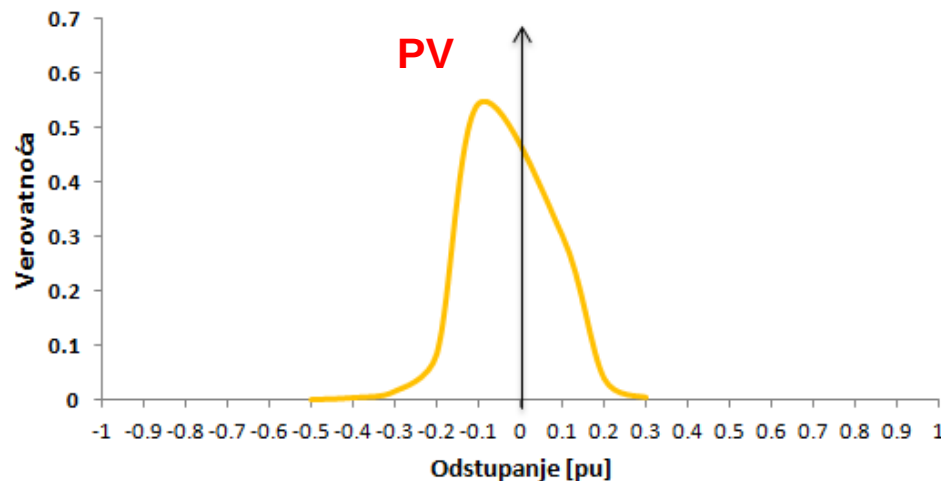
Regulaciona rezerva

- **Regulaciona greška NOS BiH** - odstupanja potrošnje i proizvodnje od planiranih vrijednosti, odnosno odstupanja planiranog uvoza/izvoza za dati vremenski interval.
- Srednjesatna odstupanja od zadatih programa razmjene



Regulaciona rezerva

- **Odstupanje proizvodnje VE/SE** - Dostupni podaci za 2013. godinu od strane belgijskog operatora prenosnog sistema Elia
- Elia prati i arhivira odstupanja u proizvodnji OIE i znak tih odstupanja kako bi se imao uvid u očekivana odstupanja usljed grešaka u prognozi
- Geografske površine za koju se radi prognoza približno odgovara površini koju obuhvataju predložene lokacije za solarne elektrane u BiH



Regulaciona rezerva

- **Korelacija odstupanja VE i PV**

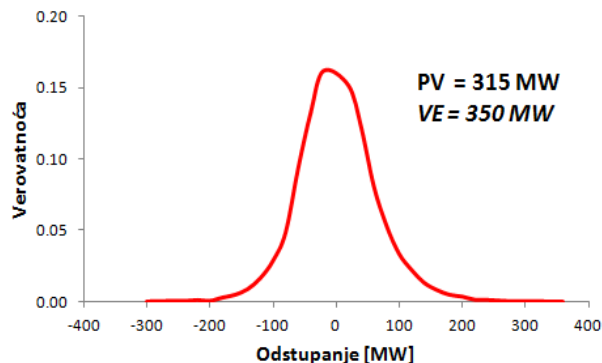
- Vrlo važna analiza sa aspekta mogućnosti upotrebe iste rezerve za regulaciju odstupanja oba izvora.
- Pirsonov koeficijent korelacije - postojanja povezanosti između dvije promjenljive
 - „+1“ potpuna pozitivnu povezanost, ukoliko se jedna promjenljiva povećava, povećava i druga, i obrnuto;
 - „-1“ potpuna negativna povezanost, ukoliko se jedna promjenljiva povećava, druga se smanjuje i obrnuto;
 - „0“ potpuna nepovezanost.

Odstupanja	Koeficijent korelacije
VE i PV	0.047
Regulaciona greška i VE	0.081
Regulaciona greška i PV	0.057
Regulaciona greška i PV+VE	0.097

Regulaciona rezerva

Mrežni kodeks NOSBiH – Potrebna rezerva

- Postojeći propisi i analiza vjerovatnoće odstupanja proizvodnje iz vjetroelektrana i PV elektrana za procjenu potrebne dodatne sekundarne rezerve
- Normalizovane vrijednosti odstupanja SE su usklađene sa apsolutnim vrijednostima po scenarijima integracije
- Kombinacijom ovako dobijenih odstupanja SE i VE, i regulacione greške BiH dobila se nova regulaciona greška BiH, ali koja uzima u obzir pretpostavljena odstupanja proizvodnje vjetroelektrana i PV elektrana u svakom od scenarija



Godina	2020		2025	
Scenario	Kombinovani	Fotonaponski	Kombinovani	Fotonaponski
Instalisana snaga PV elektrana [MW]	315	565	455	705
Pokrivenost	Odstupanje [MW]			
99%	199	209	200	234

Regulaciona rezerva

Mrežni kodeks NOSBiH – Potrebna rezerva

- Vrijednosti najvećih odstupanja koja su dobijena po scenarijima predstavljaju nivo potrebne sekundarne rezerve
- Uzimajući u obzir da je NOS BiH odredio prema važećim propisima veličinu sekundarne rezerve za 2020. i 2025. godinu, razlika tih vrijednosti bi predstavljala dodatnu sekundarnu rezervu uzimajući u obzir varijaciju proizvodnje VE i PV

Godina Scenario	2020		2025	
	Kombinovani	Fotonaponski	Kombinovani	Fotonaponski
<i>Instalisana snaga PV elektrana* [MW]</i>	315	565	455	705
Potrebna sekundarna rezerva [MW]				
1. IPRP 2015-2024	81	81	83	83
2. 99%	199	209	200	234
Dodatna rezerva (2-1)	+118	+128	+117	+151

* Svaki solarni scenario podrazumjeva 350 MW vjetroelektrana

Regulaciona rezerva

Mrežni kodeks ENTSO-E – Potrebna rezerva

- Minimalni nivo potrebne **FRR i RR** rezerve (sekundarne i tercijerne) se određuje zajedno prema probabilističkom i determinističkom pristupu, a uvažava se konzervativniji rezultat

Probabilistički pristup

Scenario Instalisana snaga PV elektrana [MW]		Kombinovani 315	Fotonaponski 565	Kombinovani 455	Fotonaponski 705
Probabilistički pristup		Potrebna FRR i RR rezerva [MW]			
99%	Pozitivna rezerva	167	209	188	234
	Negativna rezerva	199	205	200	217

Deterministički pristup

Godina	2020	2025
Potrebna FRR i RR rezerva [MW]		
Deterministički pristup		
Pozitivna rezerva	400	400
Negativna rezerva	220	220

Scenariji integracije vjetroelektrana

- Analiza osjetljivosti u pogledu potrebnih dodatnih količina regulacione rezerve za nivo integracije vjetroelektrana od 600 MW i od 900 MW
- Pošto je nivo integracije SE određen sa aspekta zadovoljenja sigurnosti prenosne mreže za date veće nivoe integracije vjetroelektrana, za potrebe ove analize izvršeno je smanjenje instalisane snage SE u istom iznosu.
- Potrebna dodatna rezerva za 600 MW vjetroelektrana iznosi ~140 MW bez obzira na ukupnu instalisanu snagu solarnih elektrana po scenarijima (65-455 MW).
- Za 900 MW vjetroelektrana potrebna dodatna rezerva je najveća ~180 MW.
- Za veće nivoe integracije vjetroelektrana potrebna dodatna rezerva se povećava jer je verovatnoća većih odstupanja proizvodnje vjetroelektrana veća što dolazi do izražaja pri određivanju potrebne rezerve.

Regulaciona rezerva

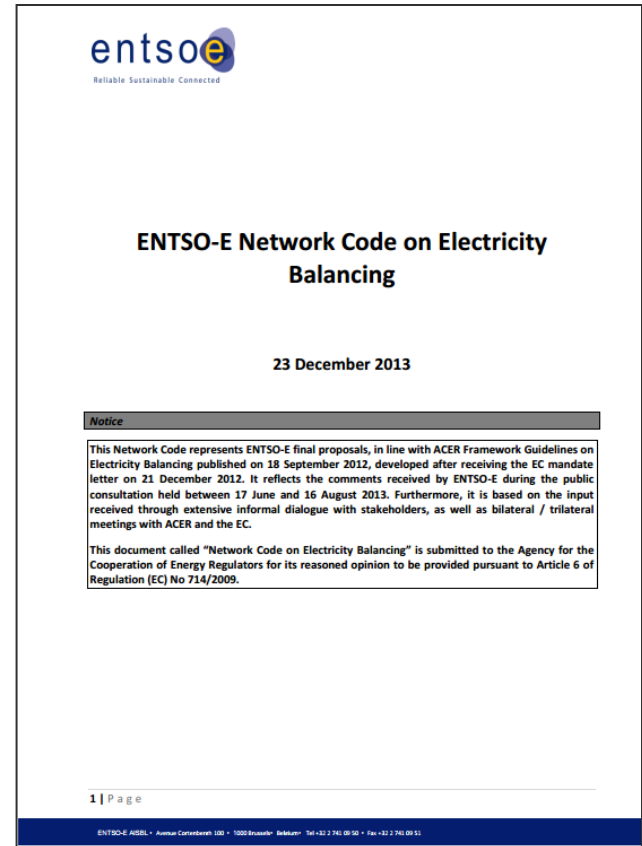
- Pošto nova ENTSO-E metodologija odnosno LFCR mrežni kodeks još nije na snazi, preporučuje se određivanje potrebne regulacione rezerve na osnovu postojećih propisa NOS BiH, ali uz uvažavanje varijabilnosti OIE.
- Do usvajanja novog LFCR mrežnog pravilnika i njegove primjene u okviru Mrežnog kodeksa NOS BiH:
 - uspostaviti analize istorijskih odstupanja regulacionih grešaka
 - analize odstupanja OIE nakon priključenja na prenosnu mrežu
- Cilj analiza je da prelazak na određivanje potrebnih rezervi prema novoj metodologiji bude što jednostavniji odnosno sa većim brojem raspoloživih podataka.

Regulaciona rezerva

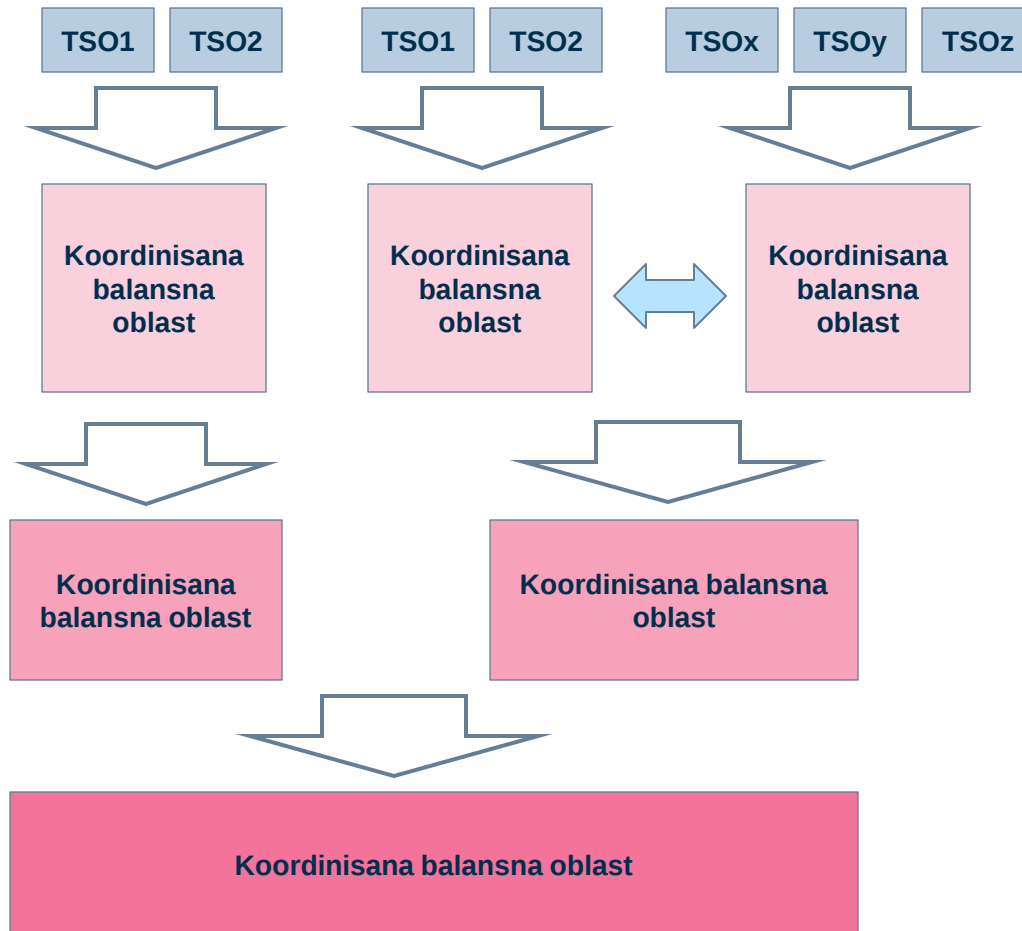
ENTSO-E Mrežni kodeks

Balansiranje električne energije (EB)

- NOS BiH dodatne količine rezerve ne može obezbjediti u okviru EES BiH a postojeći propisi i ne omogućavaju nabavku sekundarne rezerve van granica svog sistema.
- Kodeks **EB** omogućava formiranje evropskog balansnog tržišta u nekoliko razvojnih koraka
 - Omogućava trgovinu balansnom energijom između evropskih TSO-ova
 - Produkti (aFRR, mFRR, RR)
 - Nabavka balansne energije van svojih granica
 - Minimizacija aktivacije balansne rezerve – *imbalance netting*
 - Efikasnija iskorišćenost rezervi
 - Mogućnosti za deljenje balansnih rezervi



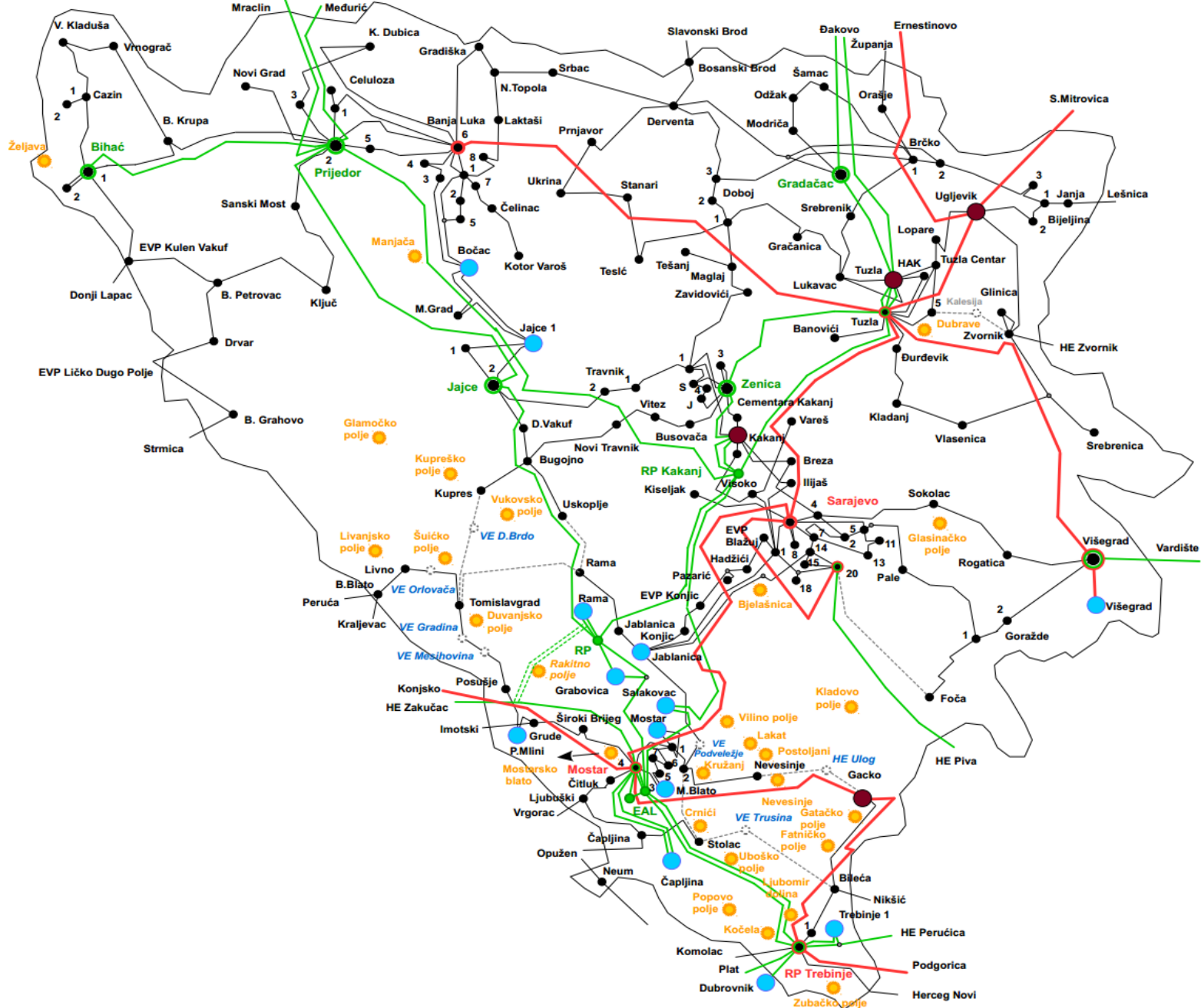
Regulaciona rezerva



- Definisanje TSO-TSO modela
- Udruživanje TSO-ova u CoBA
- Obaveza

- Šire područje
- Spajanje

- Cilj
- pan-evropski nivo



Hvala na pažnji!

Pitanja i odgovori