

Podfrekvencijsko rasterećenje sustava s visokim udjelom energetske elektronike

Dajana Vrbičić Tendera, dipl. ing. el.

Elektroenergetski sustav u uvjetima povećanog udjela uređaja energetske elektronike

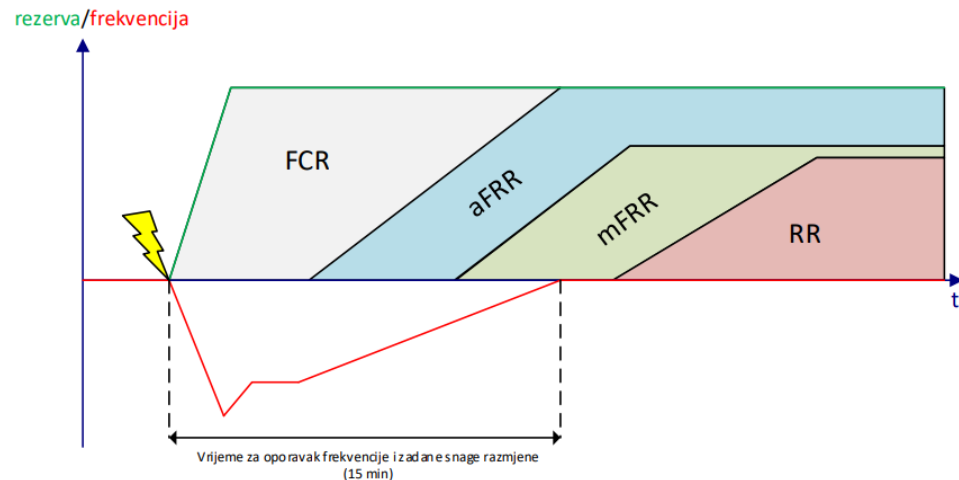
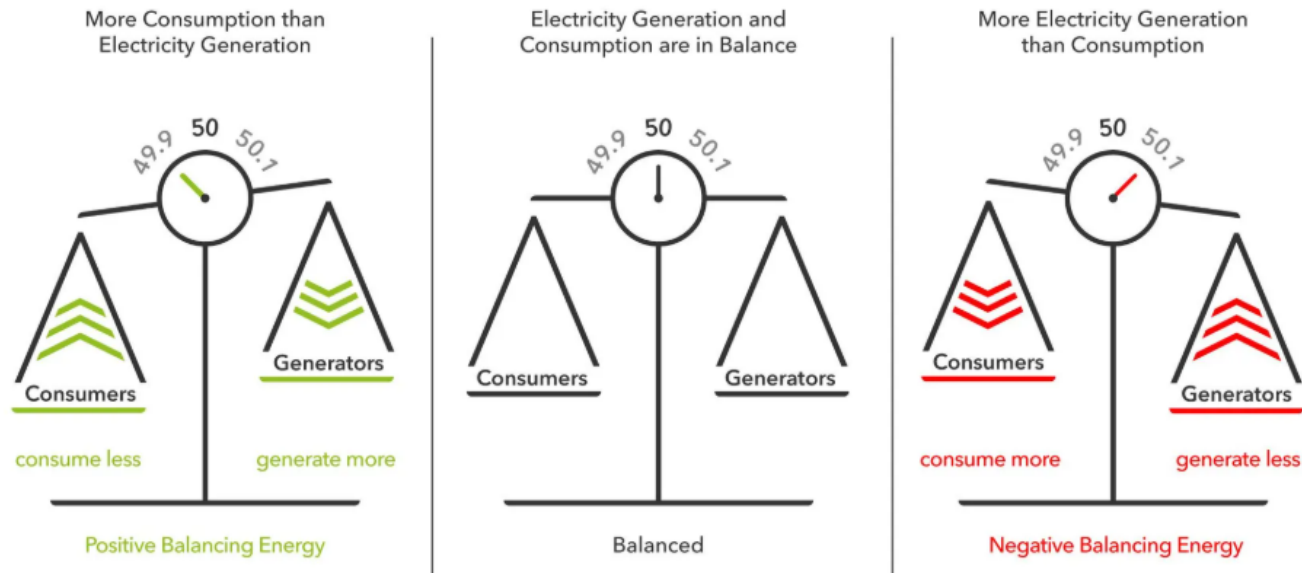
Podfrekvencijsko rasterećenje sustava s visokim udjelom energetske elektronike

- Uvod
- Uravnoteženje EES-a
- Podfrekvencijsko rasterećenje
- Zakonska regulativa
- Plan podfrekvencijskog rasterećenja
- Trenutno stanje
- Moguća poboljšanja
- Izazovi

Elektroenergetski sustav u uvjetima povećanog udjela uređaja energetske elektronike

Podfrekvencijsko rasterećenje sustava s visokim udjelom energetske elektronike

Balance between electricity generation and electricity consumption



- Pomoćne usluge → frekvencijske i nefrekvencijske pomoćne usluge
- Frekvencijske pomoćne usluge ili usluge uravnoteženja:
 - FCR rezerva snage - rezerva za održavanje frekvencije → automatski aktivira unutar 2 sekunde nakon poremećaja i stabilizira sustav u prvih 30 sekundi
 - aFRR rezerva snage - rezerva za ponovnu uspostavu frekvencije s automatskom aktivacijom → djeluje unutar 30 sekundi i nastoji vratiti frekvenciju na nominalnu vrijednost
 - mFRR rezerva snage - rezerva za ponovnu uspostavu frekvencije s ručnom aktivacijom → djeluje nakon 15 minuta, dodatno uravnotežuje sustav
 - RR - replacement reserve - zamjenska rezerva → djeluje nakon 30 minuta, dodatno uravnotežuje sustav

Elektroenergetski sustav u uvjetima povećanog udjela uređaja energetske elektronike

Podfrekvencijsko rasterećenje sustava s visokim udjelom energetske elektronike

- Održavanje frekvencije → frekvencijska shema

Područje nadfrekvencije	51,5 Hz	Dopušteno isključenje značajnih korisnika mreže
	>= 50,2 Hz	Aktivacija LFSM-O (frekvencijski osjetljiv način rada pri povišenoj frekvenciji)
		Zahtjev za promjenom radne snage značajnih korisnika mreže
	do 50,2 Hz	FCR-, aFRR-, mFRR-, RR-
Područje podfrekvencije	do 49,8 Hz	FCR+, aFRR+, mFRR+, RR+
	49,8 Hz - 49,2 Hz	Aktivacija LFSM-U (frekvencijski osjetljiv način rada pri sniženoj frekvenciji)
		Zahtjev za promjenom radne snage značajnih korisnika mreže
		Ručni isklup potrošnje (hitno rasterećenje)
	49,2 Hz	Pumpnoakumulacijske hidroelektrane u crpnom režimu rada se isključuju
		Javno dostupna mjesta za punjenje električnih vozila se isključuju
		Automatsko prebacivanje uređaja za pohranjivanje energije iz funkcije opterećenja u funkciju proizvodnje ili isključenje
	49,0 Hz – 48,0 Hz	Podfrekvencijsko rastrećenje (engl. Low Frequency Demand Disconnection, LFDD)
	47,5 Hz	Dopušteno odvajanje značajnih korisnika mreže uz nastavak rada u otočnom režimu ili režimu vlastite potrošnje.

- Zakonska regulativa
 - **UREDBA KOMISIJE (EU) 2017/2196** od 24. studenog 2017. o uspostavljanju mrežnog kodeksa za poremećeni pogon i ponovnu uspostavu elektroenergetskih sustava (*engl. Commission Regulation (EU) 2017/2196 of 24 November 2017 establishing a network code on electricity emergency and restoration*), Uredba NC ER
 - **Mrežna pravila prijenosnog sustava** → preuzimaju i dodatno razrađuju uvjete

Elektroenergetski sustav u uvjetima povećanog udjela uređaja energetske elektronike Podfrekvencijsko rasterećenje sustava s visokim udjelom energetske elektronike

- ENTSO-E (Uredba 2017/2196) postavlja jasne zahtjeve i smjernice za podfrekvencijsko rasterećenje (PR) kako bi se osigurala stabilnost EES-a i spriječile ozbiljne posljedice neravnoteže između proizvodnje i potrošnje
 - Plan podfrekvencijskog rasterećenja je mjera u planu obrane sustava
 - Svaki OPS mora implementirati standardizirani sustav PR koji mora zadovoljiti minimalne tehničke zahtjeve
 - Rasterećenje se mora aktivirati automatski i postupno kako bi se izbjegli poremećaji u EES-u
 - Obvezne razine isključivanja potrošnje su:
 - početna **49,00 Hz**, konačna **48,00 Hz**
 - početna **5%**, konačna **45%** ukupnog opterećenja na nacionalnoj razini
 - Najmanji broj razreda do konačne obvezne razine: **6**
 - Provedbeni raspon: **+/-7%** ukupnog opterećenja na nacionalnoj razini, za određenu frekvenciju
 - Maksimalno isključivanje potrošnje za svaki razred: **10%** ukupnog opterećenja na nacionalnoj razini, za pojedinačni razred

Elektroenergetski sustav u uvjetima povećanog udjela uređaja energetske elektronike

Podfrekvencijsko rasterećenje sustava s visokim udjelom energetske elektronike

- Uredba 2017/2196, Uredba NC ER

28.11.2017 EN Official Journal of the European Union L 312/85

ANNEX

Automatic low frequency demand disconnection scheme characteristics:

Parameter	Values SA Continental Europe	Values SA Nordic	Values SA Great Britain	Values SA Ireland	Measuring Unit
Demand disconnection starting mandatory level: Frequency	49	48,7 – 48,8	48,8	48,85	Hz
Demand disconnection starting mandatory level: Demand to be disconnected	5	5	5	6	% of the Total Load at national level
Demand disconnection final mandatory level: Frequency	48	48	48	48,5	Hz
Demand disconnection final mandatory level: Cumulative Demand to be disconnected	45	30	50	60	% of the Total Load at national level
Implementation range	± 7	± 10	± 10	± 7	% of the Total Load at national level, for a given Frequency
Minimum number of steps to reach the final mandatory level	6	2	4	6	Number of steps
Maximum Demand disconnection for each step	10	15	10	12	% of the Total Load at national level, for a given step

Elektroenergetski sustav u uvjetima povećanog udjela uređaja energetske elektronike Podfrekvencijsko rasterećenje sustava s visokim udjelom energetske elektronike

- Podfrekvencijsko rasterećenje je **mjera održavanja frekvencije**
- Tri osnovne karakteristike podfrekvencijskog rasterećenja (PR)

Pouzdanost

Pouzdanost podrazumijeva da će PR djelovati svaki put kada je to potrebno, tj. u svim slučajevima gdje su potrebne hitne mjere za očuvanje stabilnosti sustava.

Sigurnost

Sigurnost se odnosi na to da PR neće djelovati kada nije potrebno, čime se izbjegavaju nepotrebna isključenja opterećenja.

Selektivnost

Selektivnost osigurava da PR primijeni samo minimalno potrebne mjere, izbjegavajući nepotrebno prekomjerno isključivanje opterećenja.

Elektroenergetski sustav u uvjetima povećanog udjela uređaja energetske elektronike Podfrekvencijsko rasterećenje sustava s visokim udjelom energetske elektronike

- Stupnjevi prorade u hrvatskom EES-u (Mrežna pravila prijenosnog sustava članak 37. (3))

Stupanj	Proradna frekvencija [Hz]	Rasterećenje [%]	Ukupno rasterećenje [%]
I	49	5	5
II	48,8	8	13
III	48,6	8	21
IV	48,4	8	29
V	48,2	8	37
VI	48	8	45

- Izrađuje se **plan podfrekvencijskog rasterećenja** koje djeluje prema gore definiranim pragovima frekvencije, automatski isključujući opterećenja kako bi se očuvala ravnoteža u sustavu.
- Plan podfrekvencijskog rasterećenja mora biti pažljivo izrađen, nastojeći provoditi rasterećenje na način da se **minimizira isključivanje distribuirane proizvodnje i korisnika posebno osjetljivih na prekid napajanja**.
- Prekomjerno isključenje potrošnje nije poželjno jer može izazvati nagli porast frekvencije i dodatne nestabilnosti.

Elektroenergetski sustav u uvjetima povećanog udjela uređaja energetske elektronike

Podfrekvencijsko rasterećenje sustava s visokim udjelom energetske elektronike

- Plan podfrekvencijskog rasterećenja hrvatskog elektroenergetskog sustava izrađuje HOPS u suradnji s HEP ODS-om temeljem važećih Mrežnih pravila prijenosnog sustava.
- Plan podfrekvencijskog rasterećenja se određuje prema podatku o srednjesatnom vršnom opterećenju, ostvarenom u prethodnoj godini i koji se za potrebe izračuna prilagođava prema proizvodnji proizvodnih jedinica na distribucijskoj mreži.
- Plan podfrekvencijskog rasterećenja za 2026. je sljedeći:

Stupanj	Proradna frekvencija [Hz]	PrP Osijek				PrP Rijeka			
		Rasterećenje		Ukupno rasterećenje		Rasterećenje		Ukupno rasterećenje	
		[%]	[MW]	[%]	[MW]	[%]	[MW]	[%]	[MW]
I.	49,00	5	16,77	5	16,77	5	32,40	5	32,40
II.	48,80	8	26,83	13	43,60	8	51,84	13	84,25
III.	48,60	8	26,83	21	70,44	8	51,84	21	136,09
IV.	48,40	8	26,83	29	97,27	8	51,84	29	187,93
V.	48,20	8	26,83	37	124,10	8	51,84	37	239,78
VI.	48,00	8	26,83	45	150,93	8	51,84	45	291,62

Stupanj	Proradna frekvencija [Hz]	PrP Split				PrP Zagreb			
		Rasterećenje		Ukupno rasterećenje		Rasterećenje		Ukupno rasterećenje	
		[%]	[MW]	[%]	[MW]	[%]	[MW]	[%]	[MW]
I.	49,00	5	36,83	5	36,83	5	64,26	5	64,26
II.	48,80	8	58,93	13	95,76	8	102,82	13	167,08
III.	48,60	8	58,93	21	154,69	8	102,82	21	269,90
IV.	48,40	8	58,93	29	213,62	8	102,82	29	372,72
V.	48,20	8	58,93	37	272,55	8	102,82	37	475,54
VI.	48,00	8	58,93	45	331,48	8	102,82	45	578,36

Elektroenergetski sustav u uvjetima povećanog udjela uređaja energetske elektronike

Podfrekvencijsko rasterećenje sustava s visokim udjelom energetske elektronike

- Primjer realizacije podfrekvencijskog rasterećenja

HOPS d.d. PRIJENOSNO PODRUČJE OSIJEK
PLAN PODFREKVENCIJSKOG RASTEREĆENJA - 2024. GODINA

R. br.	Postrojenje	st.	Polje	Uređaj	I st. f=49,00 Hz MW	II st. f=48,80 Hz MW	III st. f=48,60 Hz MW	IV st. f=48,40 Hz MW	V st. f=48,20 Hz MW	VI st. f=48,00 Hz MW
1	TS SLAVONSKI BOD	V	VP 35 kV Brod. Brdo	REF615					X	
		IV	VP 35 kV Sibinj					X		
		III	VP 35 kV Trnjam				X			
2	TS SLAVONSKI BOD 2		VP 35 kV Brod 2	REF615						
			TP 35/10 kV 2							
3	TS DONJI ANDRIJEVCI	II	TP 21/10kV +T5	SPAF340 C		X				
			TP 21/10kV +T6			X				
4	TS NOVA GRADIŠKA	I	VP 35 kV St. Petr. Selo	REF615	X					
		IV	VP 35 kV N. Gradiška 2					X		
		VI	VP 35 kV N. Gradiška 1							X
5	TS OSIJEK 1	I	VP 35 kV Istok	REF615	X					
			VP 35 kV Orlovnjak		X					
		IV	VP 35 kV Samatovci					X		
			VP 35 kV Zapad/1							X
6	TS OSIJEK 2	I	VP 35 kV D. Grad/2	REF615	X					
			VP 35 kV D. Grad/1							



PODACI O PODFREKVENCIJSKOM RASTEREĆENJU DP-A ELEKTROPRIMORJE-RJEKA													
	POSTROJENJE	STUPANJ	OBJEKT	NAPON. NIVO	PROIZV. RELEJA.	RELEJ	I (49,0)	II(48,8)	III(48,6)	IV(48,4)	V(48,2)	VI(48,0)	P(MW)
1	TS CRIKVENICA	3. ST.	TR1	110/10	SIEMENS	7SJ82			0,000				24,288
			TR2						24,288				
2	TS DELNICE	1. ST.	GEROVO	35	BBC	FCX 103b	2,00						4,75
			KUPJAK 1				1,55						
			KUPJAK 2				1,20						
	TS KRASICA	2. ST.	TR3	35/10	ISKRA	TZF 6031		0,00					2,53
			TR4					2,53					
4	TS KRK	2.ST.	TR1	110/20	ABB	REF 615		18,546					30,839
			TR2					12,293					
5	TS MATULJI	6. ST.	TR1	110/20	SIEMENS	7SJ82						0,000	20,988
		6. ST.	TR2									20,988	
6	TS PEHLIN	1 ST.	ZAMET	35	ABB	REU 615	0,00						8,32
		4. ST.	INDUSTRIJA K-1							0			
		6. ST.	MAVRI									8,32	
7	TS RUTKA	4. ST.	MAVRICI	35	SIEMENS	7SJ82	0,00						0

Elektroenergetski sustav u uvjetima povećanog udjela uređaja energetske elektronike

Podfrekvencijsko rasterećenje sustava s visokim udjelom energetske elektronike

- Planirana realizacija plana podfrekvencijskog rasterećenja po prijenosnim područjima prema maksimalnom opterećenju u prethodnoj godini
- Postotak sumiranih iznose rasterećenja po stupnjevima mora biti oko 45% (+/-7%) kako bi realizacija bila proglašena uspješnom

PrP	Stupanj	Stupanj I [49,00 Hz]	Stupanj II [48,80 Hz]	Stupanj III [48,60 Hz]	Stupanj IV [48,40 Hz]	Stupanj V [48,20 Hz]	Stupanj VI [48,00 Hz]	
Osijek	zahtjev [MW]	19,34	30,94	30,94	30,94	30,94	30,94	
	realizacija [MW]	21,7	59,3	32,9	40	38,6	29,21	
	% traženog	112,23%	191,68%	106,34%	129,29%	124,77%	94,42%	
Rijeka	zahtjev [MW]	33,14	53,03	53,03	53,03	53,03	53,03	
	realizacija [MW]	22,76	92,07	47,92	36,95	57,19	49,02	
	% traženog	68,67%	173,61%	90,36%	69,68%	107,84%	92,44%	
Split	zahtjev [MW]	39,20	62,72	62,72	62,72	62,72	62,72	
	realizacija [MW]	35,386	63,735	68,91	56,252	64,19	59,1	
	% traženog	90,28%	101,63%	109,88%	89,69%	102,35%	94,24%	
Zagreb	zahtjev [MW]	69,64	111,42	111,42	111,42	111,42	111,42	
	realizacija [MW]	71,35	103,91	104,82	112,21	112,52	109,54	
	% traženog	102,46%	93,26%	94,07%	100,71%	100,98%	98,31%	
Ukupno	zahtjev [MW]	161,32	258,11	258,11	258,11	258,11	258,11	
	realizacija [MW]	151,20	319,02	254,55	245,41	272,50	246,87	1489,543
	% traženog	93,73%	123,60%	98,62%	95,08%	105,58%	95,65%	44,29%

*maksimalno opterećenje = 3363 MWh/h

Trenutno stanje

- U Prijenosnim područjima podfrekvencijski releji su instalirani u:
 - transformatorskim poljima u nadležnosti HOPS-a (isključenje energetskog transformatora 110/x), svi potrošači spojeni na dotično postrojenje ostaju bez isporuke el. energije
 - dijelu postrojenja u nadležnosti HOPS-a čije je djelovanje izvedeno na odvodima srednjeg napon, odnosno zaštita djeluje samo na određene SN odvode i njih isključuje ovisno o padu frekvencije i dostignutom stupnju isključenja
- **Ciljano rješenje** je u potpunosti izbjeći djelovanje podfrekvencijskih releja na isključenja energetskih transformatora 110/x kV te prijeći na sljedeće opcije:
 - HOPS-ovim podfrekvencijskim relejima isključenje SN odvoda,
 - HEP ODS-ovih podfrekvencijskim relejima isključenje u SN mreži.

Elektroenergetski sustav u uvjetima povećanog udjela uređaja energetske elektronike

Podfrekvencijsko rasterećenje sustava s visokim udjelom energetske elektronike

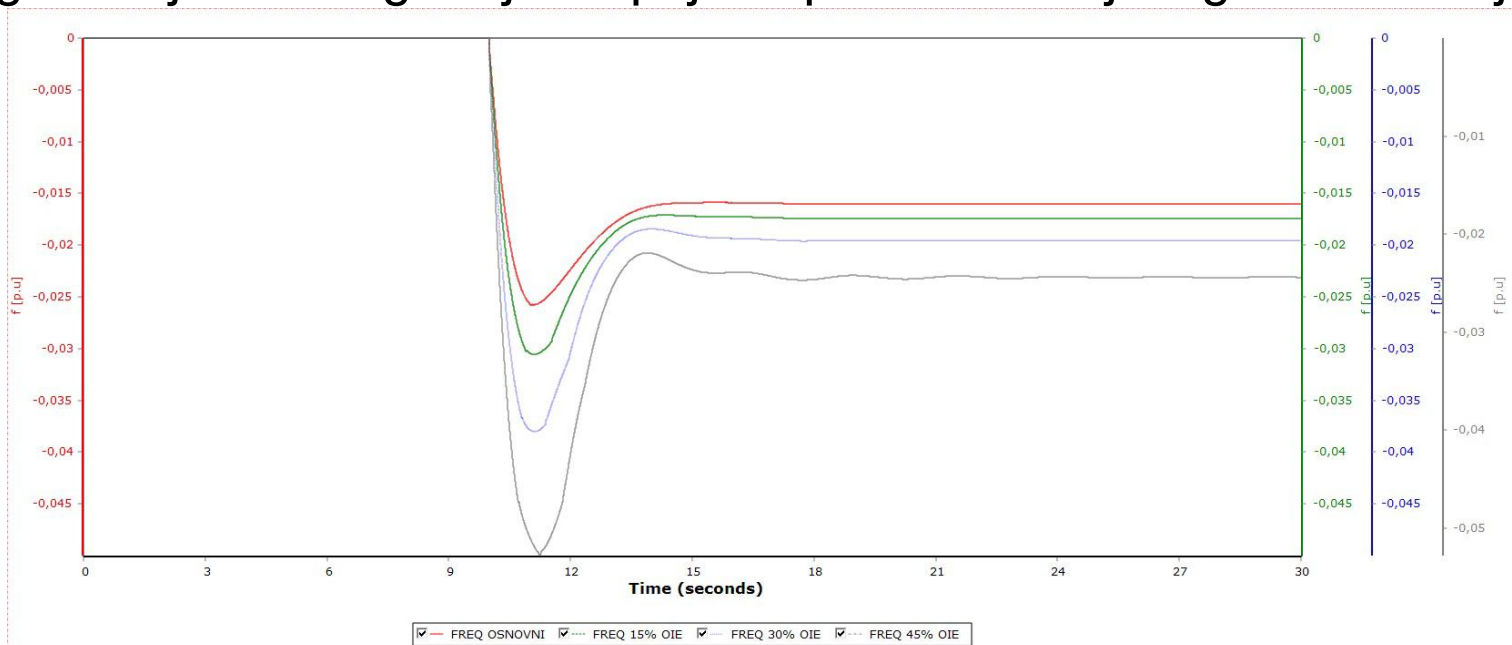
- Razmjena podataka
 - U svrhu praćenja plana podfrekvencijskog rasterećenja prema ostvarenom opterećenju hrvatskog EES-a, HEP ODS dostavlja podatke HOPS-u o maksimalnim i minimalnim podacima o opterećenju za 8 vremenskih trenutaka (treća srijeda i nedjelja u siječnju, travnju, srpnju i listopadu)
 - Uspostavlja se procedura razmjene većeg broja podataka u satnoj i 15-minutnoj rezoluciji
 - **Ciljano rješenje** → dostava podataka za cijelu godinu u 15-minutnoj rezoluciji

Moguća poboljšanja

- Realizacija podfrekvencijskog rasterećenja s uređajima u nadležnosti HEP ODS → premještanje podfrekvencijskih releja bliže većim pojedinačnim potrošačima (selektivno isključivanje određenih potrošača)
- Smještaj djelovanja podfrekvencijskih releja na način da se s mreže **ne isključuje distribuirana proizvodnja**
- Podfrekventni releji s mogućnošću **nadzora smjera energije** → izbjegavanje isključivanja odvoda uključenih u matricu rasterećenja koji u tom trenutku doprinosi isporukom električne energije u sustav (priključena distribuirana proizvodnja)

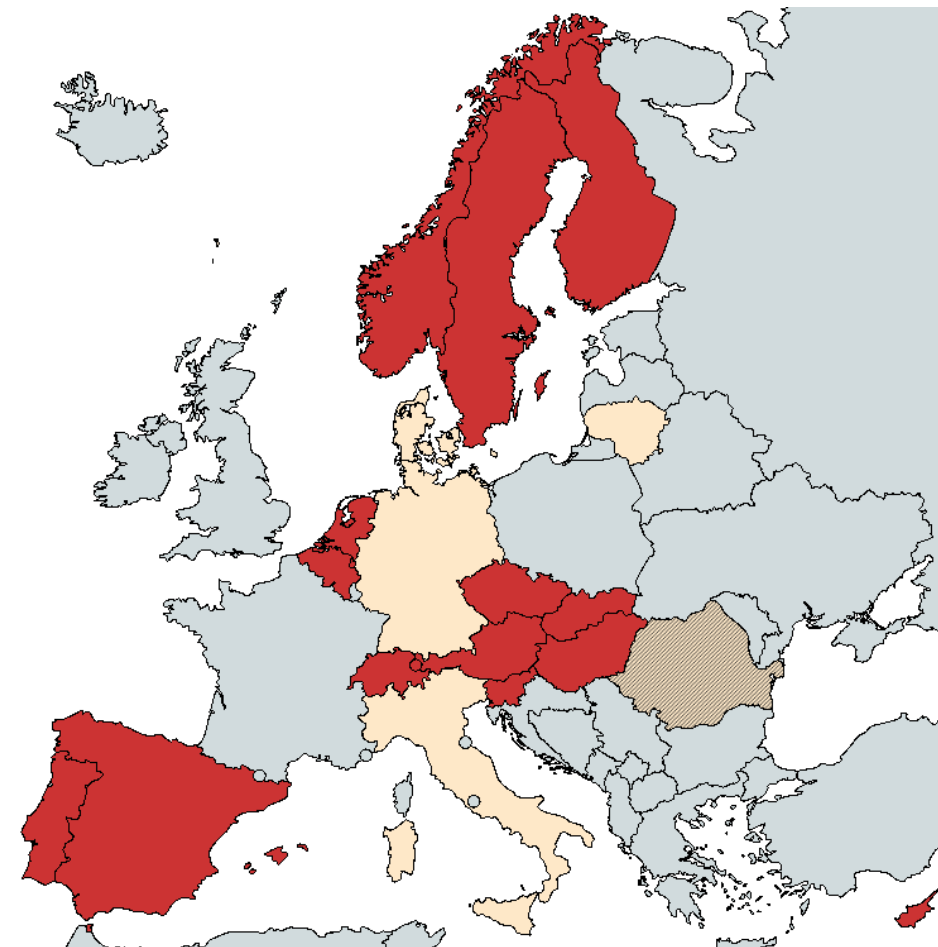
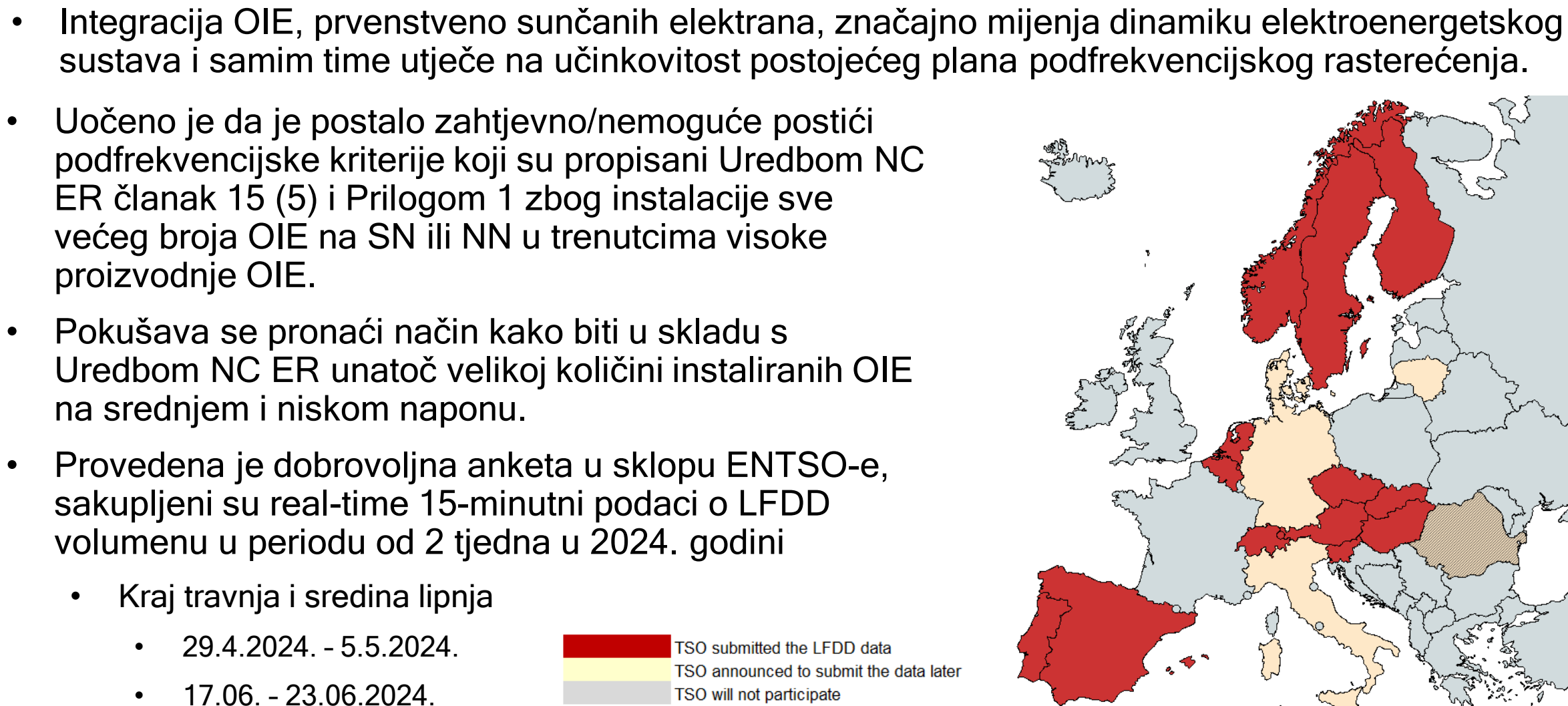
Izazovi

- OIE se na mrežu spajaju preko elektroničkih pretvarača, pri čemu **ne pridonose** ukupnoj tromosti sustava, a za ublažavanje brzine promjene frekvencije nakon naglih poremećaja ključna je **tromost**.
- Veći udio OIE uzrokuje **brži i strmiji pad** frekvencije. Smanjuje se raspoloživo vrijeme za djelovanje zaštitnih mehanizama, uključujući podfrekvencijsko rasterećenje, što rezultira kraćim vremenom za reagiranje sustava i potrebu za angažiranjem većeg broja stupnjeva podfrekvencijskog rasterećenja
- Simulirana promjena u frekvenciji s povećanjem udjela OIE na izdvojenom području (udio OIE 15%, 30% i 45%)



Elektroenergetski sustav u uvjetima povećanog udjela uređaja energetske elektronike

Podfrekvencijsko rasterećenje sustava s visokim udjelom energetske elektronike

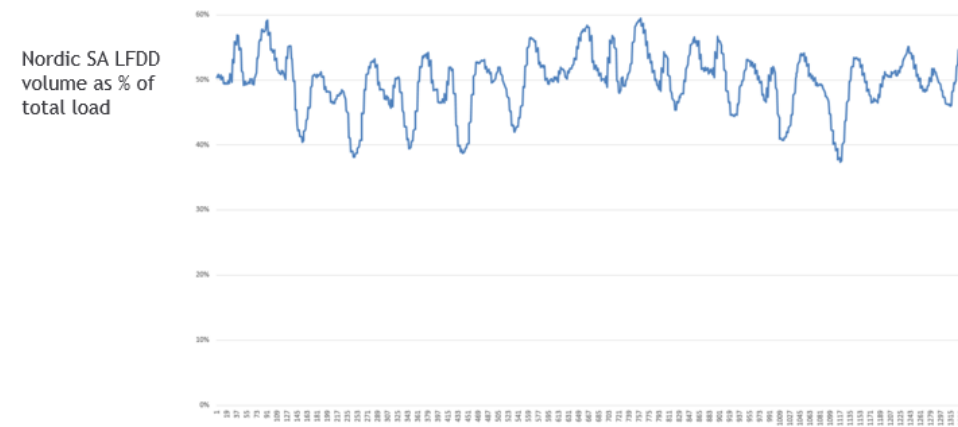
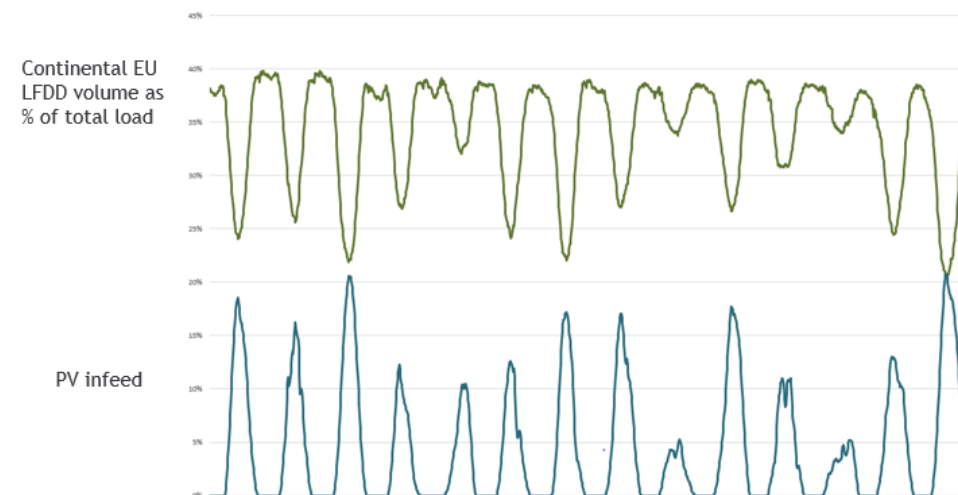


Elektroenergetski sustav u uvjetima povećanog udjela uređaja energetske elektronike

Podfrekvencijsko rasterećenje sustava s visokim udjelom energetske elektronike

Intermediate results of voluntary LFDD campaign in 2024 (status Feb 25)

- **Continental Europe** synchronous area
 - Monitored average total load 76,5 GW (10 TSOs)
 - Strong correlation between LFDD and PV volumes
 - Severe decrease of LFDD volumes at high PV infeed
 - **Required LFDD volumes ($45 \pm 7\%$) are not achieved**
 - Problem especially in countries with high installed PV
- **Nordic** synchronous area
 - Monitored average load 4,1 GW (2 TSOs)
 - Required LFDD volumes are achieved
 - Problems not observed due to lower PV infeed



Elektroenergetski sustav u uvjetima povećanog udjela uređaja energetske elektronike Podfrekvencijsko rasterećenje sustava s visokim udjelom energetske elektronike

- HOPS očekuje slične probleme i u hrvatskom EES-u zbog značajnog porasta OIE.
- Postavljanje podfrekvencijskih releja što dublje u mrežu kako bi se očuvale tri glavne karakteristike podfrekvencijskog rasterećenja: pouzdanost, sigurnost i selektivnost.
- Nužna koordinacija i suradnja HOPS-a i HEP ODS-a.

Elektroenergetski sustav u uvjetima povećanog udjela uređaja energetske elektronike Podfrekvencijsko rasterećenje sustava s visokim udjelom energetske elektronike

Hvala na pažnji 😊

Dajana Vrbičić Tendera, dipl. ing. el.

Sektor za vođenje EES-a

Služba za usluge sustava i upravljanje podacima

Rukovoditeljica

Hrvatski operator prijenosnog sustava d.d.

Kupska 4, 10000 Zagreb, Hrvatska

Telefon: +385 1 45 45 922

e-mail: dajana.vrbicic-tendera@hops.hr

