

# Mogućnosti i efekti unapređenja fleksibilnosti i koordinacije prenosnog i distributivnih sistema električne energije

Andrea Brajko

Hrvatski operator tržišta energije d.o.o.  
Zagreb, Hrvatska  
andrea.brajko@hrote.hr

Nenad Šijaković

Energy Community Secretariat  
Vienna, Austria  
nenad.sijakovic@energy-community.org

Željko Đurišić

Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu  
Beograd, Srbija  
djurisic@etf.rs

**Sažetak—** U radu je prikazan osvrt na tranziciju energetskog sistema, na regulatorni okvir koji obuhvata odgovarajuća pravila koja omogućavaju efikasno korišćenje raspoloživih izvora fleksibilnosti u cilju što boljeg vođenja i korišćenja sistema i ulazak na tržište bez diskriminacije određenih tržišnih učesnika. Cilj je smanjenja troškova potrebnih za unaprjeđenje infrastrukture kao i za povećanje kvaliteta korišćenja mreže od strane krajnjeg korisnika. Istaknuti su izazovi koji se nameću operatorima elektroenergetskog sistema, kao i regulatornim tijelima u procesu implementacije raspoloživih nekonvencionalnih izvora fleksibilnosti.

U skladu sa zaključcima ranijih studija u radu se razmatra i neophodna potreba za saradnjom između operatora prenosnog sistema i operatora distribucijskog sistema, koja u savremenom energetskom sistemu postaje neophodna.

**Ključne riječi - fleksibilnost elektroenergetskog sistema; agregatori; koordinacija prenosnog i distributivnih sistema**

## I. UVOD

Elektroenergetski sistem današnjice, u težnji ostvarenja ciljeva Direktive 2009/28/EC Evropskog parlamenta i Vijeća Evrope o udjelu obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji električne energije i u svrhu postizanja energetske nezavisnosti, suočen je s velikim izazovima. Povećanje udjela intermitentnih obnovljivih izvora energije (vjetroelektrana i solarnih elektrana), promjene u navikama potrošača električne energije, povećanje udjela električnih vozila, korišćenje tzv. *Power-to-Heat* tehnologija (toplotne pumpe, električni kotlovi), mogućnost skladištenja električne energije, kao i ograničenja koja se nameću konvencionalnim proizvodnim jedinicama (koje su ujedno i konvencionalni izvori fleksibilnosti) zahtijevaju tranziciju elektroenergetskog sistema.

Tradicionalni koncepcija upravljanja snagama i naponima u elektroenergetskom sistemu nije održiv u perspektivnim

uslovima rada sistema i zahtijeva povećanje fleksibilnosti i jaku koordinaciju između prenosnog i distributivnog sistema. Fleksibilnost elektroenergetskog sistema je mogućnost pravovremenog odziva sistema na promjene koje mogu narušiti balans između proizvodnje i potrošnje. Pitanje fleksibilnosti sistema oduvijek je bilo od velike važnosti, pogotovo danas kada je goruće pitanje s obzirom na promjene s kojima se suočavaju kako zemlje članice Evropske unije, tako i druge zemlje. Problematika fleksibilnosti elektroenergetskog sistema se provlači kroz čitav lanac od proizvodnje, kroz prenos i distribuciju pa do krajnjih korisnika, tj. potrošača.

Posebnu pažnju treba posvetiti pitanju uloge obnovljivih izvora energije i to ne samo velikih proizvodnih jedinica, već i onima manjih kapaciteta, tzv. distribuiranim izvorima energije, kao i krajnjim korisnicima. Dakle, potrošačima se otvara mogućnost uključenja u pružanje fleksibilnosti elektroenergetskom sistemu, kroz udruženja u agregatore ili kao individualni pružaoci usluge. Time krajnji korisnici postaju aktivni akteri elektroenergetskog sistema.

## II. MERE ZA UNAPREĐENJE FLEKSIBILNOST MODERNIH ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA

Fleksibilnost elektroenergetskog sistema je mogućnost pravovremenog odziva sistema na promjene koje mogu narušiti balans između proizvodnje i potrošnje što ugrožava stabilnost elektroenergetskog sistema i kvalitet frekvencije, kao globalnog pokazatelja stabilnosti sistema. Svaki elektroenergetski sistem ima određeni stepen fleksibilnosti, većinom oslanjajući se na konvencionalne proizvodne jedinice.

Pružanje usluge fleksibilnosti od strane potrošača može se definisati kao mogućnost promjene u potrošnji električne energije krajnjih korisnika, uključujući i domaćinstva. To zahtijeva od potrošača odstupanje od njihove usvojene navike u potrošnji i prilagođenja dijagrama potrošnje tržišnim signalima.

Promjena u potrošnji može biti podstaknuta vremenski zavisnim cijenama električne energije (dinamičke tarife), isplatom podsticaja, prodajom smanjenja/povećanja potrošnje po određenoj cijeni na tržištu električne energije ili za optimizaciju balansne grupe kojoj pripada.

Na isti način može se definisati i pružanje usluge fleksibilnosti od strane proizvođača električne energije kao mogućnost promjene u proizvodnji električne energije, uključujući i male distribuirane izvore energije. Do sada je vrlo često njihova proizvodnja bila definisana zagarantiranim otkupnim cijenama proizvedene električne energije. Takav sistem je dovodio do situacije da su mali distribuirani proizvođači maksimizovali svoju proizvodnju, nezavisno od prilika u elektroenergetskom sistemu. Uvođenjem tržišnih principa i u domenu fleksibilnosti malih distribuiranih izvora energije, ove proizvodne jedinice će biti motivisane da strategiju vođenja pogona prilagođavaju tržišnim signalima čime postaju aktivni tržišni učesnici kroz prodaju svojih proizvodnih kapaciteta (smanjenja ili povećanja proizvodnje) po određenoj cijeni na tržištu električne energije. Pored prilagođenja profila proizvodnje potrebama tržišta, distribuirani izvori će moći pružati i dodatne usluge, kao što je optimizacija balansne grupe kojoj pripadaju kroz udruženja u agregatore ili kao individualni pružaoci usluge.

Agregator se može definisati kao pružaoc usluge udruženih potrošača, proizvođača ili kapaciteta za skladištenje energije, kako bi mogao ponuditi uslugu na tržištu električne energije. Agregator može biti snabdevač električnom energijom, voda balansne grupe kojoj pripadaju udruženi potrošači ili proizvodne jedinice, pružaoc usluge snabdevaču ili kao samostalni tržišni učesnik koji djeluje nezavisno od snabdevača ako regulatorni okvir to dopušta (nezavisni aggregotor). Prednost udruženja u agregatore, bilo potrošača ili proizvođača, je mogućnost ponude konkurentnijeg proizvoda u odnosu na jednog pružaoca usluge, kao i mogućnost ponude više usluga od strane jednog pružaoca usluge.

S obzirom da pružaoci usluge mogu biti tržišni učesnici raznih profila od proizvođača do potrošača, neophodno je osigurati jednakе uslove za sve učesnike u pružanju usluga fleksibilnosti sistemu u cilju osiguravanja ekonomskog prihoda za pruženu uslugu te efikasnost za cijeli sistem. Kako bi se realizovalo navedeno potrebno je osigurati sledeće smjernice:

- Tržišni model ne bi trebao postavljati nepotrebne barijere za efikasno pružanje usluge fleksibilnosti sistemu. Trenutno, tržišni modeli orientisani su na konvencionalne pružaoce fleksibilnosti, čime nameću nepotrebne dodatne barijere za ostale moguće pružaoce usluge. U pojedinim zemljama članicama EU proces javne nabavke prilagođen je isključivo za proizvodna postrojenja.

- Tehničke specifikacije proizvoda ne bi trebale postavljati nepotrebne barijere za efikasno pružanje usluge fleksibilnosti sistemu. Najčešće barijere su veličina traženog proizvoda (bid) za ponude od strane potrošača ili ograničenja postavljena za aktivaciju kod skladištenja u baterijama.

- Mjerno očitavanje i obračun u istoj vremenskoj rezoluciji kao i obračun balansne energije. U mnogim zemljama članicama EU samo veliki korisnici sistema imaju

mogućnost mjernog očitavanja i obračuna u istoj vremenskoj rezoluciji u kojoj se obračunava trošak energije balansiranja sistema.

- Podsticanje udruživanja tržišnih učesnika u aggregatore. Agregacija tržišnih učesnika može imati bitnu ulogu u lakšem ulasku na tržište, posebno za male i decentralizirane tržišne učesnike da osiguraju potrebne uslove za ravnopravno učešće na tržištu.

- Eksplicitno pružanje usluge fleksibilnosti zahtjeva određenu vrstu provjere kako bi se smanjio rizik od neodgovarajućeg ponašanja. Dodatna provjera vršila bi se samo kada bi to bilo neophodno u obezbjeđivanju sigurnosti sistema i pravilnog odziva pružaoca usluge fleksibilnosti, kako bi se izbjegli nepotrebni troškovi za sistem ili za druge učesnike na tržištu.

- Potrebno je osigurati efikasnu razmjenu podataka. Prvenstveno osiguravanje potrebnih podataka krajnjem korisniku i razmjenu tačnih i pravovremenih podataka između operatora sistema.

### III. PRUŽANJA USLUGA FLEKSIBILNOSTI OD STRANE PROIZVOĐAČA I POTROŠAČA – PRIMJERI IZ PRAKSE

U nastavku rada je data analiza pružanja usluge fleksibilnosti od strane proizvođača, na primjeru članova EKO balansne grupe u Hrvatskoj koji imaju mogućnost balansiranja nepredvidive proizvodnje iz vjetroelektrana upravlјivim proizvodnim jedinicama iz iste balansne grupe. Pored ovog realnog primjera iz prakse, demonstrirana je i mogućnost korišćenja baterije, kao oblika skladištenja proizvedene električne energije, a sve u cilju smanjenja troškova uravnoteženja same EKO balansne grupe, kao i umanjenja potreba za rezervom snage od Hrvatskog operatora prijenosnog sistema d.o.o (HOPS). Potrebno je napomenuti kako je u postrojenjima u sistemu zagranjivanih cijena u interesu maksimizacija proizvodnje električne energije, budući da im je zagarantovan otkup ukupne proizvodnje po subvencionisanim cijenama. U ovakvim okolnostima proizvodne jedinice nemaju finansijski interes da učestvuju u balansiranju snaga u sistemu, bilo kroz pružanje balansne snage implicitno, za potrebe uravnoteženja balansne grupe, ili eksplicitno, prodajom proizvodnih kapaciteta na tržištu.

Pored navedenog primjera iz Hrvatske, u radu je napravljena i analiza mogućnosti učešća velikih industrijskih potrošača u Srbiji, kao i domaćinstava i komercijalnih potrošača u pružanju usluge fleksibilnosti od strane krajnjih korisnika električne energije.

#### A. *Pružanje usluge fleksibilnosti od strane proizvođača*

Zakonom o obnovljivim izvorima energije i visokoefiksane kogeneracije Hrvatski operator tržišta energije d.o.o. (HROTE) određen je za vodu EKO balansne grupe, što podrazumijeva, između ostalog, i vođenje EKO balansne grupe, planiranje proizvodnje električne energije za EKO balansnu grupu, kao i prodaju električne energije proizvedene iz EKO balansne grupe na tržištu električne energije.

Od maja 2016. godine, HROTE planira rad postrojenja obnovljivih izvora energije kao i visokoefikasne kogeneracije u sistemu zagarantovanih cijena za članove EKO balansne grupe. Za planiranje proizvodnje vjetroelektrana i solarnih elektrana HROTE koristi usluge planiranja proizvodnje električne energije vodećih svjetskih firmi iz područja planiranja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije. Odabrani pružaoci usluga planiranja proizvodnje električne energije koriste meteorološke prognoze svjetskih meteoroloških agencija uz meteorološke prognoze Državnog hidrometeorološkog zavoda i istorijske podatke o radu vjetroelektrana koje im na raspolaganje dostavlja HROTE. S druge strane, za planiranje proizvodnje električne energije iz postrojenja koja koriste upravljive obnovljive izvore, kao što su elektrane na biomasu, elektrane na biogas, geotermalne elektrane i visokoefikasni sistemi kogeneracije, za kvalitetno planiranje proizvodnje potrebno je imati što pouzdanije planove proizvodnje od strane povlašćenih proizvođača za navedene tipove intermitentnih izvora.

Postignuti kvalitet prognoze proizvodnje vjetroelektrana za dan unaprijed u 2017. godini iznosila je 5,06% MAE (eng: *Mean Absolute Error*) koji prikazuje odstupanje planova proizvodnje vjetroelektrana u odnosu na ukupnu instaliranu snagu svih vjetroelektrana. Maksimalna pozitivna greška (ostvarenje veće od plana) je bila +209 MWh/h, a maksimalna negativna greška (ostvarenje manje od plana) je bilo -201 MWh/h. Dan s najvećim odstupanjem od planirane snage vjetroelektrana bio je 7. januar 2017. godine, s prosječnim satnim odstupanjem od 126 MWh. Navedeno maksimalno odstupanje 7. januara 2017. može se pripisati činjenici kako je tih dana duvala snažna bura što je dovelo do neplaniranog isključenja velikog broja vjetroagregata iz sigurnosnih razloga (prekoračenja deklarisane maksimalne radne brzine vjetra). Navedeni događaj je potvrdilo očekivanja HROTE-a da će u danima s jakim udarima bure biti otežano kvalitetno planiranje za dan unaprijed, što iziskuje nužne korekcije planova proizvodnje unutar dana isporuke.

Procijenjeni troškovi balansne energije, koje bi HROTE, kao voda EKO balansne grupe, trebao na godišnjem nivou da plati iznose od 7,3 do 16,1 milijuna evra za instaliranu snagu vjetroelektrana od 744 MW, u zavisnosti od kvaliteta prognoze proizvodnje vjetroelektrana. Zbog visokih troškova balansiranja koje vjetroelektrane uzrokuju, potrebno je smanjenje odstupanja prognoza proizvodnje vjetroelektrana na najmanju moguću mjeru, što opravdava dalja ulaganja i pronalaženje novih naprednijih rješenja u svrhu umanjenja troškova balansiranja za EKO balansnu grupu, kao i umanjenje potreba za rezervom snage od HOPS-a. Evidentno je kako i mali pomaci u kvalitetu prognoze proizvodnje vjetroelektrana čine uštede u milijonskim iznosima za EKO balansnu grupu.

S obzirom na to da će najveći udio u ukupnoj snazi EKO balansne grupe imati vjetroelektrane, uz kvalitetno planiranje proizvodnje EKO balansne grupe za dan unaprijed, kao vrlo važno se ističe i planiranje proizvodnje EKO balansne grupe unutar dana isporuke. Korekcijama planova proizvodnje na unutardnevnom tržištu moguće je poboljšati kvalitet prognoze proizvodnje vjetroelektrana i do 50%. Trgovanje na unutardnevnom tržištu za EKO balansnu grupu biće ekonomski

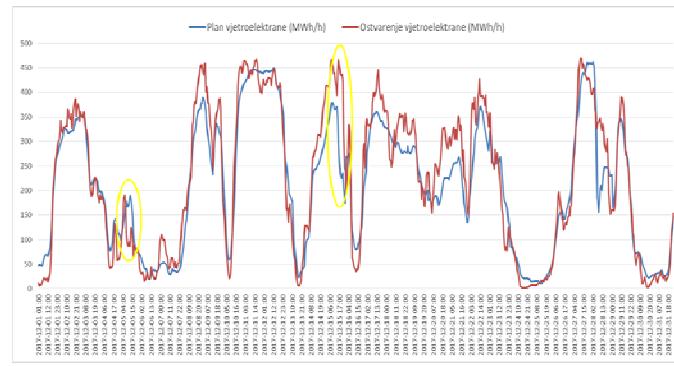
opravdano u slučaju kupovine samo ukoliko će cijene električne energije na unutardnevnom tržištu biti niže od očekivanih cijena za negativno odstupanje EKO balansne grupe i obrnuto, u slučaju prodaje električne energije.

Preostalih 50% odstupanja, koje preostaje nakon nastupa na unutardnevnom tržištu, za potrebe ovog rada analizirano je kao mogućnost uravnoteženja EKO balansne grupe regulacijom proizvodnje upravljivih proizvodnih jedinica unutar EKO balansne grupe, kao i pomoću baterije za skladištenje električne energije.

Trenutno u sistemu zagarantovanih cijena, ujedno i članova EKO balansne grupe, je 21 vjetroelektrana ukupne instalirane snage 519 MW, zatim 17 postrojenja na biomasu ukupne instalirane snage 36 MW, 34 postrojenja na biogas ukupne instalirane snage 42 MW i 6 kogenerativnih postrojenja ukupne instalirane snage 113 MW. Ova postrojenja mogu kroz regulaciju svoje proizvodnje pomoći balansiranju nepredvidive proizvodnje vjetroelektrana, odnosno same balansne grupe.

Analizirajući iznose pozitivnih i negativnih odstupanja (nakon korekcije na unutardnevnom tržištu) i uvažavajući činjenicu da su upravljiva postrojenja radila u 2017. godini na nivou 63% ukupne instalirane snage, angažiranjem preostalog dijela proizvodnog kapaciteta kod negativnog odstupanja kada je plan bio veći od ostvarenja osiguralo bi se 99,72% potrebne snage. Dok se ukupna proizvodnja upravljivih postrojenja stavlja na raspolaganje za potrebe korekcije pozitivnih odstupanja, kada je ostvarenje veće od plana, moguće je pokriti gotovo 100% potrebe za smanjenjem snage.

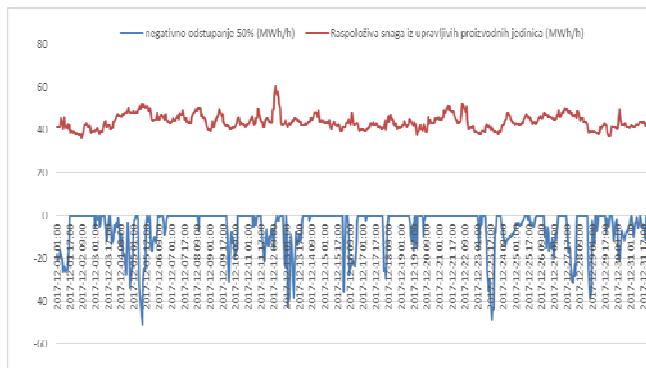
Na Slici 1 je prikazan plan i ostvarenje proizvodnje vjetroelektrana u sklopu EKO balansne grupe u decembru 2017. s naznačenim vremenskim intervalima u kojima su nastupila značajnija odstupanja između plana i ostvarene proizvodnje.



Slika 1. Planirana i ostvarena proizvodnja vjetroelektrana, koje rade u sklopu EKO balansne grupe, u toku decembra 2017. godine

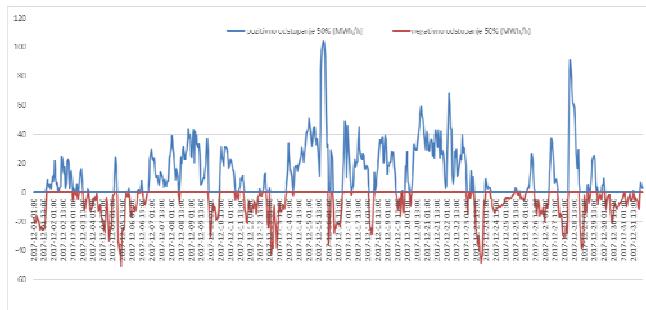
Na Slici 2 prikazno je negativno odstupanje proizvodnje vjetroelektrana nakon unutardnevnih korekcija (prepostavljeno je da ove korekcije mogu apsorbovati 50% greške u procjeni proizvodnje za dan unaprijed) za decembar 2017. godine. Na istoj slici prikazana je i raspoloživa snaga upravljivih proizvodnih jedinica unutar EKO balansne grupe. Može se zaključiti da fleksibilne proizvodne jedinice mogu gotovo u

potpunosti balansirati negativno odstupanje u proizvodnji vjetroelektrana. Ovaj primjer pokazuje koliko je bitno da agregiranje proizvodnih jedinica obuhvati i fleksibilne proizvodne sisteme koji će biti u mogućnosti da obezbijede u svakom trenutku korekciju negativnog odstupanja od planirane snage proizvodnje aggregatora.



Slika 2. Mogućnost regulacije negativnog odstupanja od planirane proizvodnje vjetroelektrana upravljivim proizvodnim jedinicama

Druga mogućnost koja se analizirala u radu je korišćenje baterije kao akumulatora proizvedene električne energije i njihovo korišćenje za potrebe korekcija pozitivnih odstupanja u proizvodnji vjetroelektrana. Kao i u prethodnom slučaju, korišteni su iznosi odstupanja nakon korekcija na unutardnevnom tržištu za koje se pretpostavlja da može apsorbovati polovinu greške u prognozama proizvodnje za dan unaprijed. Na Slici 3 prikazani su grafici pozitivnih i negativnih odstupanja u proizvodnji vjetroelektrana EKO balansne grupe nakon unutardnevnih korekcija za analizirani mjesec. S obzirom na sumu pozitivnih odstupanja od 59.230 MWh i sumu negativnih odstupanja od -54.178 MWh u analiziranom mjesecu može se zaključiti da bi upotreba baterija omogućila praktično balansiranje i pozitivne i negativne greške. Maksimalna snaga punjenja baterije u analiziranom mjesecu je oko 100 MW, dok je maskimalna potrebna snaga pražnjenja baterije oko 50 MW. Kako bi se polovina od navedenih 50% greške u prognozi proizvodnje vjetroelektrana mogla apsorbovati potreban kapacitet baterije trebao bi da bude najmanje 330 MWh (uz zanemarene gubitke prilikom punjenja/praznjnenja baterije).



Slika 3. Prikaz pozitivnih i negativnih odstupanja u proizvodnji vjetroelektrana EKO balansne grupe za mjesec decembar 2017.

## B. Pružanje usluge fleksibilnosti od strane potrošača

Usluga fleksibilnosti koju pružaju krajnji korisnici može biti izvršena na implicitan ili eksplicitan način. Razlika je u tome što se kod eksplicitnog načina usluga pružanja fleksibilnosti tretira kao proizvod na tržištu električne energije, prodaje se, što povlači za sobom dodatne zahtjeve za kontrolom. Implicitan način pružanja usluge fleksibilnosti koristi samo kao dobrobit za krajnje korisnike, snabdevače ili balansnu grupu kojoj pripada u cilju smanjenja troškova balansiranja. Svakako, bez adekvatne tehnologije, kao što su pametna brojila, odnosno inteligentne mreže, snabdevač teško može procijeniti vrijednost pružene usluge za potrebe balansiranja. Što se tiče učešća na tržištu za dan unaprijed, u nekim zemljama članicama EU potrošači mogu eksplicitno prodavati energiju koju su kupili po fiksnoj cijeni od snabdevača. Za funkcionalnost ovakvog sistema učešća potrošača u balansiranju neophodno je osigurati mjerna potrošnje i obračun energije balansiranja na satnom nivou. Za potrebe učešća na unutardnevnom tržištu, potrošači učestvuju kao balansna grupa i na taj način prodaju energiju i sami odlučuju hoće li nastupati na tržištu preko snabdevača ili ne.

Na osnovu analize iz studije Potencijali upravljanja potrošnjom i mogući uticaji na prenosni sistem JP EMS prepostavljeno je da 70% industrijskih potrošača u Srbiji ima mogućnost upravljanja potrošnjom i da je očekivani nivo upravljive potrošnje oko 5% ukupne potrošnje u industriji. U Tabeli I prikazani su rezultati dobijeni u studijskim analizama za određene industrijske potrošače u Srbiji koji su direktno priključeni na visokonaponsku prenosnu mrežu. Pogodnost uključivanja ovih potrošača u sistem balansiranja snaga u regulacionoj oblasti EMS je u tome što se prodaja električne energije vrši kroz direktne bilateralne ugovore, te se njihovo uključivanje u sistem regulacije može izvršiti kroz direktno ugovaranje između sanbdevača (EMS) i potrošača (industrijska predzveća).

TABELA I. PREGLED POTROŠAČA PRIKLJUČENIH NA VISOKONAPONSKU MREŽU SA NJIHOVOM NAJVJEĆOM AKTIVNOM SNAGOM I NJIHOVIM POTENCIJAL UPRAVLJANJA POTROŠNJOM

Potrošač	Opis delatnosti	P [MW]	Potencijal upravljanja potrošnjom
HIP Azotara d.o.o. Pančevo		29,8	
HIP Petrohemija d.o.o. Pančevo		2,8	do 40%
Eliksir Prašovo		7,6	
TS Šabac 4 – Zorka Energetika		17,9	
Lafarž BFC a.d.	cementara	5,08	18%
Holcim d.o.o. Popovac		11,7	
Rudnik 1		2,1	
Rudnik 2	površinska eksploatacija uglja	1,9	5% - 10%
Rudnik 3		3,1	
Rudnik Kovin a.d.	podvodna eksploatacija uglja	0,26	5% - 10%
Fiat automobili Srbija	automobilska industrija	16,7	0%
Kronošpan SRB d.o.o.	drvna industrija rafinerija naftne	5,6	25%
NIS Pančevo		13,4	1% - 2%
Valjanonica bakra Sevojno a.d.	valjanonica bakra	14,7	8%
Železara Smederevo d.o.o.	industrija čelika	59,8	8%
Zastava oružje a.d.	namenska industrija površinska eksploatacija bakra	14,3	1% - 2%
Rudnik bakra Majdanpek d.o.o.		2,02	10%

Oko 50% ukupne potrošnje električne energije u Srbiji čine domaćinstva, te je potrebno analizirati i njihov potencijal sa

aspekta pružanja usluga balansiranja snaga u sistemu. Na osnovu sprovedenih analiza upravljivosti dijagramima potrošnje različitih kategorija domaćinstava zaključeno je da se kod domaćinstava sa TA pećima i električnim bojlerima može ostvariti najveće smanjenje vršne snage, a najmanje kod domaćinstava sa daljinskim grijanjem i toplovodom. Tokom ljetnjeg perioda, prosječno moguće smanjenje vršne potrošnje je približno jednako za sve kategorije domaćinstava i iznosi 22-24%. Tokom zimskog perioda vršne potrošnje javljaju se velike razlike između kategorija domaćinstava u pogledu mogućeg smanjenja vršne potrošnje. Kod domaćinstava sa TA pećima i akumulacionim bojlerima moguće smanjenje je oko 40%, dok je kod domaćinstava sa daljinskim grijanjem i toplovodom svega 13%. Dakle, domaćinstva sa TA pećima i akumulacionim bojlerima su najpogodnija kategorija domaćinstava sa aspekta upravljanja potrošnjom, dok su domaćinstva sa daljinskim grijanjem i toplovodom najnepovoljnija sa istog aspekta. Komercijalni potrošači su karakteristični po tome što im potrošnja u periodu od 16 časova do 22 časa vrlo malo varira, pa je u tom periodu i upravljni dio potrošnje približno isti, a takođe vrlo malo se mijenja između ljetnjeg i zimskog perioda i iznosi oko 29%.

Dobijene vrijednosti predstavljaju maksimalne teorijske vrijednosti upravljivog dijela potrošnje, koje je veoma teško ostvariti u praksi.

U cilju procjene ukupnog kapaciteta upravljive potrošnje neophodno je uvažiti i faktor jednovremenosti, zbog toga što se ne može upravljati svim uređajima istovremeno. Na primjer, nemoguće je upravljati svim klima uređajima istovremeno, već se ciklično isključuje (smanjuje referentna temperatura) određeni procenat ukupnog broja uređaja, u suprotnom bi došlo do velikih špiceva potrošnje kada se završi kontrola (tzv. *payback*).

Takođe, potrebno je razmotriti koji bi procenat domaćinstava i komercijalnih potrošača uzeo učešće u programima upravljanja potrošnjom. Za očekivati je da značajan procenat ovih potrošača neće uzeti učešće u ovim programima, bez obzira na finansijske pogodnosti, prvenstveno zbog relativno niske cijene električne energije u Republici Srbiji. Zbog toga su u Studiji pretpostavljene tri varijante za procjenu učešća domaćinstava u programima upravljanja potrošnjom:

- Napredna varijanta: 70% domaćinstava uzima učešće u upravljanju potrošnjom,
- Umjerena varijanta: 50% domaćinstava uzima učešće u upravljanju potrošnjom,
- Konzervativna varijanta: 30% domaćinstava uzima učešće u upravljanju potrošnjom.

Uvažavajući faktore jednovremenosti i raspoloživosti upravljivih uređaja u pogledu potrošnje došlo se do sledećih procjena u pogledu mogućnosti učešća domaćinstava u Srbiji u upravljanju vršnim opterećenjem u prenosnom sistemu EMS:

- Napredna varijanta: 4,5% u zimskom maksimumu, 3,4% u ljetnjem maksimumu,

- Umerena varijanta: 3,2% u zimskom maksimumu, 2,4% u ljetnjem maksimumu,
- Konzervativna varijanta: 1,9% u zimskom maksimumu, 1,5% u ljetnjem maksimumu.

#### IV. KOORDINACIJE RADA PRENOSNOG I DISTRIBUTIVNIH SISTEMA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Razvoj distribuirane proizvodnje i sistema inteligentnih mreža, težište potencijalnih pružaoca usluga fleksibilnosti se sve više pomjera ka distributivnom sistemu. S druge strane, operator prenosnog sistema mora obezbijediti balans proizvodnje i potrošnje u svojoj regulacionoj oblasti. Kako bi se taj zahtjev obezbjeđivao na tehnički prihvatljiv i ekonomski opradan način neophodna je koordinacija rada između operatora distributivnih sistema i operatora prenosnog sistema. Rezultat te koordinacije treba da bude optimalno prostorno-vremensko upravljanje potrošnjom i proizvodnjom distribuiranih izvora, kao i sistema za skladištenje energije u distributivnim mrežama. Kriterijum optimizacije može obuhvatati više ciljnih funkcija, tako da ova koordinacija treba da obezbijedi optimalan kompromis između zahtjeva prenosnog sistema i mogućnosti distributivnog sistema. Ti zahtjevi uglavnom obuhvataju sledeće kategorije:

- Uravnoteženje snage proizvodnje i potrošnje u svakom trenutku,
- Minimizacija gubitaka u prenosnoj i distributivnoj mreži,
- Održavanja parametara kvaliteta napona u prenosnoj i distributivnoj mreži,
- Minimizacija operativnih troškova proizvodnje električne energije u konvencionalnim (centralizovanim) i distribuiranim proizvodnim jedinicama,
- Maksimizacija prenosnih kapaciteta za transfer električne energije kroz analiziranu prenosnu mrežu,
- Obezbeđivanje potrebnog nivoa sigurnosti u snabdevanju i transferu energije.

Regulatorna tijela imaju ključnu ulogu u stvaranju i razvoju takvog regulatornog okvira koji će omogućiti operatorima distributivnog i prenosnog sistema da obezbijede tehničke uslove za koordinisani rad. Regulatorni okvir bi trebao takođe da osigura jednakе uslove za ulazak na tržište svim zainteresiranim stranama, bez diskriminacije pojedinih tržišnih učesnika, vodeći pritom računa o ekonomski najisplativijim rješenjima za sistem. Dodatno, regulatorni okvir treba da podstiče i osigura međusobnu saradnju i komunikaciju svih učesnika, uključujući i operatore sistema. Operativno, ovo zahtjeva izradu odgovarajućih pravilnika i kreiranje podsticajnih mjera i mehanizama. Regulatorna tijela koriste podsticajne mehanizme kako bi podstakli pružanje usluge fleksibilnosti od tržišnih učesnika na način da za isporučenu uslugu ostvare odgovarajuću finansijsku dobit uzimajući u obzir njihove realne troškove, potrebne investicije i tehnička

ograničenja. Podsticajni mehanizmi takođe iniciraju inovativnost i saradnju između tržišnih učesnika kako bi na tržištu bili konkurentni s cijenom i kvalitetom proizvoda, odnosno sistemske usluge koju pružaju.

## V. ZAKLJUČAK

Elektroenergetski sistem u zemljama članicama Evropske unije, tako i drugim zemljama, pokazuje očite znake da tradicionalni koncept upravljanja snagama i naponima nije održiv u perspektivnim uslovima rada sistema, prvenstveno uzrokovano povećanim udjelom intermitentnih obnovljivih izvora energije (vjetroelektrana i solarnih elektrana). Stoga, pružanje usluge fleksibilnosti od stane proizvođača-distribuiranih izvora energije i krajnjih korisnika električne energije - potrošača, otvara mogućnost boljeg vođenja i korišćenja sistema, a sve u cilju smanjenja troškova potrebnih za unapređenje infrastrukture i povećanje kvaliteta korišćenja mreže od strane krajnjih korisnika.

Za efikasniji sistem potrebno je da pružaoci usluge fleksibilnosti, bilo od strane potrošača ili proizvođača, imaju jednake kriterijume za ulazak na tržište, te da se barijere za ulazak na tržište svedu na minimum. Na uređenom tržištu trebalo bi osigurati da najefikasniji izvori imaju pravo prvenstva u pružanju usluge fleksibilnosti sistemu. Tradicionalno, uslugu fleksibilnosti sistemu najčešće pružaju proizvodne jedinice. No, uzimajući u obzir opisane promjene u elektroenergetskom sistemu, od velike je važnosti da svi pružaoci usluge fleksibilnosti imaju pristup tržištu pod jednakim uslovima. Dominacija u pružanju usluge fleksibilnosti od proizvodnih jedinica mogla bi teoretski uticati na niže troškove u pružanju usluge fleksibilnosti sistemu u odnosu na druge moguće pružaoce. S druge strane, ako su ograničenja u pružanju usluga fleksibilnosti od strane potrošača, zbog neopravdano visokih troškova, realna barijera za njihovu aktivnu ulogu, tada ta ograničenja trebaju predstavljati izazov regulatornim tijelima kako bi se one uklonile i definisali jednaki uslovi za sve potencijalne učesnike, koji na tržištu mogu biti prisutni na implicitan ili eksplicitan način.

Jedan od praktičnih modela za efikasno unapređenje fleksibilnosti sistema na tržišno prihvatljiv način jeste formiranje agregatora, odnosno udruživanje potrošača, proizvođača i kapaciteta za skladištenja energije i na taj način obezbjeđivanje konkurentnije pozicije na tržištu usluga fleksibilnosti elektroenergetskog sistema. Ovaj model je ilustrovan u radu kroz primjer EKO balansne grupe u Hrvatskoj. Takođe su dati studijski podaci potrošnji u Srbiji kao bitnom potencijalu u pružanju usluga fleksibilnosti kroz upravljanje potrošnjom.

## LITERATURA

- [1] CEER Position Paper on the Principles for Valuation of Flexibility, July 2016, Ref: C16-FTF-09-03.
- [2] M. Lange, "HROTE Workshop", Zagreb, veljača, 2016.
- [3] [http://files.hrote.hr/files/PDF/Sklopljeni%20ugovori/PP\\_HR\\_31\\_01\\_2018.pdf](http://files.hrote.hr/files/PDF/Sklopljeni%20ugovori/PP_HR_31_01_2018.pdf)
- [4] JP „Elektromreža Srbije”, “Studija potencijala upravljanja potrošnjom i mogući uticaji na prenosni sistem JP EMS,” Relaizatori: Elektrotehnički institut Nikola Tesla - Beograd, WPS Parsons Brinckerhoff – Beograd, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, 2016.
- [5] D. Kotur, Ž. Đurišić, Optimal spatial and temporal demand side management in a power system comprising renewable energy sources, *Renewable Energy* 108 (2017), pp. 533–547
- [6] CEER Position Paper on the Future DSO and TSO Relationship, September 2016, Ref: C16-DS-26-04.
- [7] CEER Guidelines of Good Practice for Flexibility Use at Distribution Level: CEER Consultation Paper, March 2017.
- [8] CEER Discussion Paper on the Scoping of Flexible Response, May 2016, Ref: C16-FTF-08-04.
- [9] European Commission’s Impact Assessment study on Downstream Flexibility, Price Flexibility, Demand Response & Smart Metering, July 2016.
- [10] [https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2016/01/CEEPR\\_WP\\_2016-001.pdf](https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2016/01/CEEPR_WP_2016-001.pdf)

## ABSTRACT

This paper presents an overview of transition of the energy system, regulatory framework that includes appropriate rules that enable efficient use of available sources of flexibility in order to manage and use the system in the most efficient way. Regulatory framework should ensure that grid users with flexible resources are not unreasonably restricted from deploying their potential. Flexibility provided by distributed generation, energy storage and demand can be used to delay or avoid network reinforcement, manage constraints and to defer distribution network investment costs. This presents a challenge for system operators and regulatory authorities to ensure arrangements accommodate drivers of change in the most efficient way possible, so as to improve flexibility on the system. A stable framework is important if efficient investment signals are to be provided for future sources of flexibility.

In accordance with the conclusions of previous studies, effective co-ordination between distribution system operatorS and transmission system operators could help to ensure that flexibility procured at distribution system operator level supports whole system efficiency.

## POSSIBILITIES AND EFFECTS OF IMPROVING THE FLEXIBILITY AND CO-ORDINATION BETWEEN TRANSMISSION AND DISTRIBUTION SYSTEM OPERATORS

Andrea Brajko, Nenad Šijaković, Željko Đurišić