



AGREGACIJA KOMPOZITNE VIRTUELNE ELEKTRANE – JEDAN OD MOGUĆIH ODGOVORA NA IZAZOVE ZA ELEKTROENERGETSKI SISTEM SRBIJE U PROCESU DEKARBONIZACIJE

AGGREGATION OF COMPOSITE VIRTUAL POWER PLANT - A POSSIBLE ANSWER TO THE CHALLENGES FOR THE SERBIAN POWER SYSTEM IN THE DECARBONIZATION PROCESS

Vladimir M. ŠILJKUT, Aleksandar LATINVIĆ, Radoš ČABARKAPA, JP „Elektroprivreda Srbije“, Beograd
Nikola GEORGIJEVIĆ, Dušan VLASAVLJEVIĆ, Elektroenergetski koordinacioni centar, Beograd
Saša MILIĆ, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, Beograd

KRATAK SADRŽAJ

Elektroenergetika Srbije se sve više suočava s izazovima koje donosi budućnost. Gro proizvodnje električne energije počiva na niskokaloričnom lignitu, a njegov sve lošiji kvalitet uzrokuje pad nivoa sigurnosti, pouzdanosti i efikasnosti termoelektrana, a povećava zagađenje. Osim u revitalizacije, ogromna su ulaganja u nove i skupe sisteme u funkciji smanjenja emisija štetnih materija. Uz najavljene ugljenične takse, koje će rapidno rasti u budućnosti, isplativost ovih izvora i tržišna konkurentnost cene električne energije dobijene iz njih, postaju krajnje upitni i neizvesni. U uslovima neminovne dekarbonizacije se, u slučaju Srbije, postavlja i pitanje – čime nadomestiti znatne bazne (termo)kapacitete, koji će biti ugašeni?

Na drugom kraju sistema, problem predstavljaju neefikasno korišćenje električne energije, neprihvatljivo visok nivo njenih gubitaka, uključujući i one usled njenog neovlašćenog korišćenja. Pri tome, ni iz bliza nisu iskorišćene tehničke mogućnosti za upravljanje opterećenjem niti za primenu većeg broja tarifnih stavova, radi željenog odziva potrošnje.

U takvim okolnostima, ključno je pitanje – kakvu strategiju investiranja treba odabrati? Ovaj rad predlaže rešenje koje bi imalo pozitivan uticaj na oba kraja sistema i njegove aktere, ali i na mreže između njih i njihove operatore. „Elektroprivreda Srbije“ bi mogla da iskoristi najavljeno uvođenje agregatora, kao novog učesnika na tržištu električne energije, za svojevrsni zajednički poduhvat sa svojim krajnjim korisnicima, za uspostavljanje kompozitne virtuelne elektrane. Ona bi za elektroprivredu predstavljala novi, zamenski kapacitet, a za kupce izvor ušteda, pa i prihoda. Ovakva elektrana bi obuhvatila različite, dispergovane obnovljive izvore, i to ne samo električne, već i toplotne energije, sisteme za skladištenje energije, punjače za električna vozila, upravljivo opterećenje kupaca i različite programe za odziv potrošnje. Povećanjem obima ovakve agregacije, kompozitna virtuelna elektrana bi agregatoru omogućila i pružanje pomoćnih sistemskih usluga operatoru prenosnog sistema, što bi predstavljalo dodatni benefit. U sinergiji s drugim neophodnim, strateškim koracima, ovakav koncept bi Srbiji mogao da obezbedi sigurnu energetska budućnost.

Ključne reči: Agregacija, dekarbonizacija, distribuirana proizvodnja, pomoćne usluge, odziv potrošnje, upravljanje opterećenjem, virtuelna elektrana

ABSTRACT

Serbian power industry is increasingly facing the challenges of the future. The majority of electricity generation is based on low-caloric lignite, and its deteriorating quality causes a decline in the level of safety, reliability and efficiency of thermal power plants, and increases pollution. Apart from revitalization, there are huge investments in new and expensive systems in the function of reducing emissions of pollutants. With the announced introduction of carbon taxes, which will grow rapidly in the future, the profitability of these power sources and the market competitiveness of the price of electricity obtained from them are becoming extremely questionable and uncertain. In the conditions of inevitable decarbonization, in the case of Serbia, the question arises - how to compensate significant basic (thermal) capacities, which will be shut down?

At the other end of the system, the problem is inefficient use of electricity, unacceptably high level of its losses, including those due to its unauthorized use (i.e., theft). At the same time, the technical possibilities for load management and for the application of a larger number of tariffs were not used sufficiently, to provide the desired demand response.

In such circumstances, the key question is - what investment strategy to choose? This paper proposes a solution that would have a positive impact on both ends of the system and its actors, but also on the networks between them and their operators. "Electric Power Industry of Serbia" could use the announced introduction of aggregator, as a new participant in the electricity market, for a kind of joint venture with its end users, to establish a composite virtual power plant. It would represent a new, replacement capacity for the power industry, and a source of savings and even income for customers. Such a power plant would include various, dispersed renewable sources, not only electricity but also heat, energy storage systems, chargers for electric vehicles, controllable customer load and various demand response programs. By increasing the volume of such aggregation, a composite virtual power plant would enable the aggregator to provide ancillary services to the transmission system operator, which would be an additional benefit. In synergy with other necessary, strategic steps, such a concept could provide Serbia a secure energy future.

Key words: Aggregation, Ancillary services, Decarbonization, Demand Response, Distributed Generation, Load Management, Virtual Power Plant

Kontakt informacije o autorima: vladimir.siljkut@eps.rs, +381-64-897-46-72; aleksandar.latinovic@eps.rs; rados.cabarkapa@eps.rs; nikola.georgijevic@ekc-ltd.com; dusan.vlaisavljevic@ekc-ltd.com; s_milic@yahoo.com

1. UVOD

Osim funkcionalnog i organizacionog razdvajanja kom je bio izložen u prethodnom periodu tokom procesa deregulacije, a čijim se efektima još prilagođava, kompletan elektroenergetski sektor Srbije sve više se suočava sa novim, pretećim izazovima koje donosi budućnost. Primaran problem predstavlja višedecenijsko većinsko oslanjanje na lignit kao primarno gorivo za proizvodnju električne energije. Njegov kvalitet (kalorijska vrednost) je poslednjih godina zabeležio značajan pad, a i raspoložive količine su sve više upitne. Posledice su višestruke – od pada nivoa sigurnosti, pouzdanosti rada i efikasnosti termoelektrana, preko dodatnog habanja opreme, do povećanja zagađenja vazduha. Termoelektrane su izuzetno stare pa zahtevaju ogromna ulaganja, ne samo u revitalizacije, nego i izgradnju novih i skupih (investiciono, ali i eksploataciono) pratećih sistema u funkciji zaštite životne sredine. Kad se tim troškovima dodaju i najavljene ugljenične takse koje će rapidno rasti u budućnosti, isplativost ovih izvora i tržišna konkurentnost cene električne energije dobijene iz njih, postaju krajnje neizvesni. U uslovima neminovne dekarbonizacije se, u slučaju Srbije, postavlja i pitanje – čime nadomestiti bazne (termo)kapacitete, kojima, iz jednog ili drugog razloga, preči gašenje?

Na drugom kraju sistema, ne manji problem predstavlja neefikasno korišćenje električne energije, neprihvatljivo visok nivo njenih gubitaka, uključujući i gubitke usled njenog neovlašćenog korišćenja. Pri tome, ni iz bliza nisu iskorišćene, već sada raspoložive, tehničke mogućnosti za upravljanje opterećenjem ili korišćenje eventualno većeg broja tarifnih stavova, u cilju željenog odziva potrošnje. Nadasve, interesi snabdevača i operatora distributivnog i prenosnog sistema ne moraju biti podudarni, [1]; prvi teži da proda što veću količinu električne energije, sa što većom zaradom, a drugi da sistem održi stabilnim, tj. da njegovi elementi ne budu preopterećeni. U takvim okolnostima, pred dugoročne planere i kreatore razvoja elektroenergetskog sistema (EES), kao celine, postavlja se pitanje – u kom pravcu treba ići, kakvu strategiju investiranja treba odabrati?

Ovaj rad predlaže, kao temu za razmatranje, rešenje koje bi imalo pozitivan uticaj, kako na tehnički aspekt sistema (i to na oba njegova kraja), tako i na njegove aktere, ali i na mreže između njih i njihove operatore. Umesto ogromnih investicija u termosektor upitne perspektivnosti i isplativosti, Javno preduzeće „Elektroprivreda Srbije“ (JP EPS) bi moglo da iskoristi najavljeno uvođenje agregatora, kao novog učesnika na tržištu električne energije, [2], za svojevrsni zajednički poduhvat sa svojim krajnjim korisnicima – kupcima električne energije, za uspostavljanje multienergetske, kompozitne (tj. kolaborativne, kooperativne) virtuelne elektrane, [3]-[5]. Ona bi za JP EPS faktički predstavljala novi, zamenski kapacitet, a za kupce izvor ušteda i potencijalnih prihoda. Ovakva elektrana bi obuhvatila različite, dispergovane, upravljive i neupravljive, obnovljive izvore, i to ne samo električne, već i toplotne energije (npr. solarne kolektore za zagrevanje vode), sisteme za skladištenje energije, punjače za električna vozila, upravljivo opterećenje kupaca (termo-akumulacione peći, električne bojlere i kotlove) i različite programe za odziv potrošnje. Povećanjem obima ovakve agregacije – svojevrsnim „povećanjem kapaciteta“ i svoje fleksibilnosti – kompozitna virtuelna elektrana bi JP EPS-u kao Agregatoru stvorila dodatnu mogućnost za pružanje pomoćnih sistemskih usluga operatoru prenosnog sistema, poput učešća u regulaciji frekvencije, kao i pružanje usluga operatoru distributivnog sistema, što bi u odgovarajućem regulatornom okviru predstavljalo još jedan izvor prihoda za JP EPS. U sinergiji s drugim potrebnim koracima, kao što je jače oslanjanje na hidropotencijale, ovakav koncept bi Srbiji mogao da obezbedi sigurniju energetska budućnost.

Predloženi koncept virtuelne elektrane, prikazan u poglavlju 2 ovog rada, zasnovan je na vertikalnom konceptu Industrijskog interneta stvari (*Industrial Internet of Things, IIoT*), [6-8], uvažavajući njegove prednosti kako sa aspekta upravljanja i obrade podataka i informacija, tako i sa aspekta distribuirane realizacije i sajber sigurnosti.

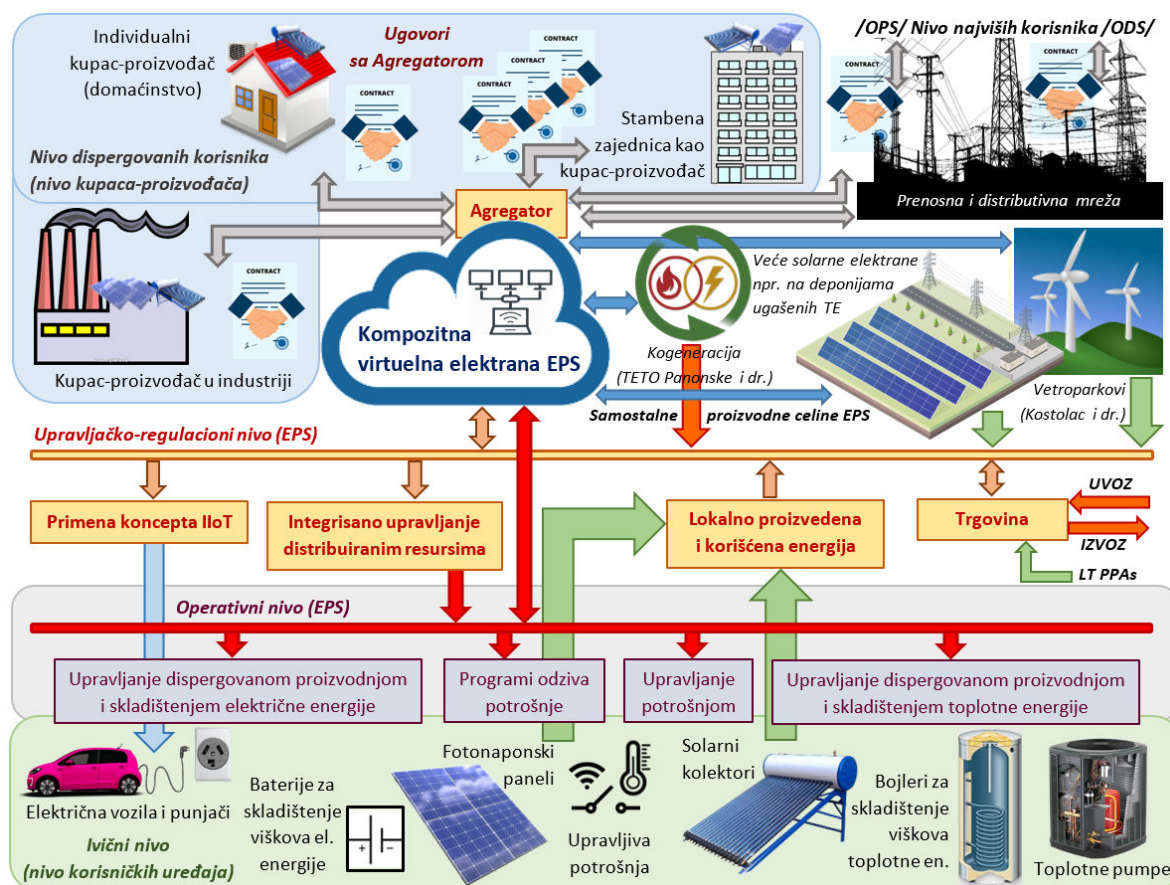
U poglavlju 3 su prikazani načini agregacije distribuirane proizvodnje kupaca-proizvođača i njihove potrošnje. U poglavlju 4 data je gruba procena efekata koji bi mogli da se postignu uvođenjem i primenom koncepta virtuelne kompozitne elektrane. Poglavlje 5 daje pregled zakonskog okvira i trenutnih ograničenja u Srbiji za dalji razvoj ovoga koncepta. Na kraju rada su dati odgovarajući zaključci.

2. ORGANIZACIONA STRUKTURA I TEHNIČKI POTENCIJAL ZA USPOSTAVLJANJE KOMPOZITNE VIRTUELNE ELEKTRANE

Autori rada su prepoznali tri ključna pitanja na koja treba odgovoriti pre investicionog planiranja i praktične realizacije virtuelne elektrane. Prvo pitanje se odnosi na kontrolu i upravljanje procesima proizvodnje i potrošnje, drugo se odnosi na tehnološke aspekte različitih izvora i potrošnje električne energije i treće je organizacione prirode, s obzirom da se mora usaglasiti prostorna razuđenost izvora i potrošnje, odnosno da se stvori njihova jedinstvena mreža.

2.1 Vertikalna i hibridna koncepcija kontrole i upravljanja

Primena modernih konceptata kontrole, obrade podataka, upravljanja i odlučivanja podrazumeva da se mnogi procesi odlučivanja sa operativnog nivoa prebacuju na više hijerarhijske nivoe. Osnovni cilj modernih konceptata kontrole, upravljanja i odlučivanja je smanjenje operativnih troškova i skraćenje vremena analize i obrade podataka. Virtuelna elektrana predstavlja izuzetno složen sistem sa velikim brojem podsistema. Polazeći od prednosti vertikalnih koncepcija kontrole, upravljanja i obrade podataka i informacija, koje su postale jedno od pouzdanih prihvatljivih rešenja konceptata baziranih na IIoT-u [6-8], na Slici 1 je dat predlog strukture buduće virtuelne elektrane JP EPS.

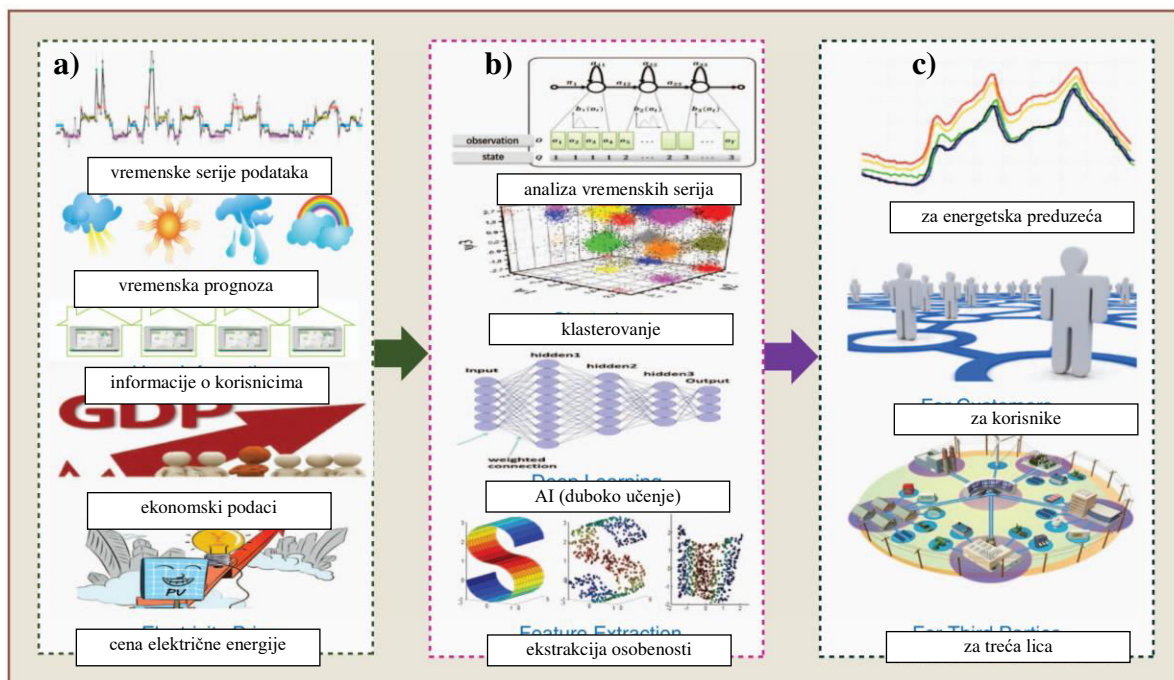


Slika 1 Moguća struktura, funkcionalnosti i okruženje kompozitne virtuelne elektrane EPS

Danas nove tehnologije omogućavaju brzu i jeftinu dvosmernu komunikaciju između kupaca i energetskih kompanija. „Pametni“ mereni uređaji sa mogućnošću daljinskog upravljanja mogu pratiti, analizirati, prosledivati i/ili skladištiti podatke o potrošnji različitih oblika energije sa visokim učestanostima odabiranja. Dostupnost stotina hiljada vremenskih profila opterećenja različitih grupa potrošača stvara mogućnost primene algoritama veštačke inteligencije (eng. *Artificial Intelligence*, AI) za grupisanje potrošača sa sličnim obrascima potrošnje.

Analiza velikog broja podataka (eng. *Big Data Analytics* - BDA) je značajno izmenila prakse poslovanja u različitim industrijama. Možda najizraženiji primeri su velike platforme za kupovinu preko interneta (Alibaba, Amazon i dr.) koje se značajno oslanjaju na BDA i podatke o prethodnim kupovinama korisnika i bihevioralnoj analizi na osnovu istorije pregledanja i aktivnosti na internetu, [9].

Slika 2 prikazuje moguću shemu BDA primenjenu na EES, [10]. Proces prikupljanja podataka počinje različitim izvorima informacija (Slika 2.a)), kao što su „pametna“ brojila, tržište električne energije, vremenske prognoze, senzori za merenje brzine vetra itd. Nad tim podacima moguća je primena naprednih statističkih metoda i tehnika mašinskog učenja (*Machine Learning*, ML) (Slika 2.b)), kao što su analiza vremenskih serija, grupisanje (*clustering*) i duboko učenje (*deep learning*) da bi se generisale informacije o osobenostima celokupnog sistema koje se mogu primeniti za potrebe estimacije tehničkog potencijala i prediktivnog upravljanja resursima. Ovakve informacije mogu da se koriste za dobrobit energetskih kompanija, njihovih korisnika i trećih strana koje su uključene u ovaj proces (Slika 2.c)).



Slika 2 Moguća shema za BDA u EES. Slika je preuzeta iz [10].

2.2 Tehnički potencijal na strani krajnjih korisnika

Virtuelna elektrana može da integriše (agregira) krajnje korisnike u smislu upravljive potrošnje električne energije, a kad su u pitanju kupci-proizvođači, može da agregira i upravljivu dispergovanu proizvodnju električne energije. Ideja koja se zagovara u ovom radu je integracija dispergovane proizvodnje i upravljive potrošnje i drugih vidova energije. Pri tome, svi razmatrani tipovi energije posmatraju se u odnosu na električnu energiju. Krajnji korisnik može biti domaćinstvo ili privredni subjekt (v. Sliku 1, gore levo). Virtuelna elektrana može da pruži i valorizuje dve vrste usluga, balansiranje i ekonomski dispečing, i shodno tome analiziran je tehnički potencijal krajnjih korisnika koji bi mogli da povećaju kapacitet virtuelnih elektrana za pružanje predmetnih usluga operaterima sistemâ, kao korisnicima najvišeg ranga (v. Sliku 1, gore desno).

Potrošnja električne energije krajnjih korisnika se svodi na pretvaranje električne energije u neki drugi oblik energije. Najvećim delom se električna energija pretvara u toplotnu, potom u hemijsku, u potencijalnu energiju ili u druge vidove energije. Sa stanovišta virtuelne elektrane, od značaja je upravljiva potrošnja koja u svom tehnološkom procesu ima određeni vid skladištenja energije, bez uticaja na tehnološki proces potrošnje energije. Tehnološki procesi u kojima se troši električna energija, a koji nemaju određene akumulacije energije, neće biti razmatrani u ovom radu.

Finalna energija se dominantno troši na proces zagrevanja i hlađenja. U zemljama EU28, polovina finalne energije se pretvori u toplotu, [11], a za zemlje koje su na nižem nivou ekonomskog razvoja taj procenat je i veći. U republici Srbiji, na osnovu grube procene, oko trećine potrošene električne energije u zimskom periodu se troši na zagrevanje prostora (prosečan dnevni konzum električne energije u mesecu maju je oko 80 GWh, a u januaru oko 120 GWh). Sa niskom cenom akumulatora toplote, potrošnja toplotne energije predstavlja najznačajniji resurs virtuelnih elektrana i za balansne usluge i za ekonomski dispečing. Upotreba potrošnje

električne energije za proizvodnju toplotne u svrhu balansiranja sistema već je u primeni. U Belorusiji je, za potrebe balansiranja sistema, instalirano oko 1200 MW upravljivih električnih bojlera za potrebe daljinskog grejanja i zagrevanja tople vode za građanstvo, [12].

Potrošnja električne energije u svrhu pretvaranja u hemijsku energiju je u najvećem porastu. U pitanju su baterije, a dominantan rast predstavljaju baterije električnih automobila. Pravac razvoja punjača baterija ne ide u korist upravljive potrošnje. Proizvođači električnih automobila ulažu znatna sredstva da smanje vreme punjenja baterija, tako što povećavaju snagu punjača, pa punjači dostižu snage od 400 kW, [13]. Baterije električnih automobila u toku procesa punjenja, u sprezi sa „pametnim“ punjačima, u bliskoj budućnosti mogu postati značajan resurs za upravljanje potrošnjom.

Drugi vid pretvaranja električne energije u hemijsku je proizvodnja vodonika, što postaje jedan od glavnih pravaca razvoja. EU je za taj razvoj i za projekte korišćenja vodonika krajem 2021. godine izdvojila sredstva u iznosu od 550 mlrd USD. Trenutno se broj krajnjih korisnika, koji mogu da proizvode vodonik, svodi na privredne subjekte koji se bave proizvodnjom tehničkih gasova, ali je cilj EU da se poveća korišćenje vodonika, prvenstveno u svrhe transporta. S adekvatnim rezervoarima za vodonik, i postrojenjima za proizvodnju vodonika koja dostižu gradijent promene potrošnje od 10%/s, proizvodnja vodonika u bliskoj budućnosti može postati značajan resurs za virtuelne elektrane, i za usluge balansiranja i za ekonomski dispečing.

Pretvaranje električne energije u potencijalnu takođe je perspektivno. Krajni korisnici koji vrše ovu konverziju energije su prvenstveno javna komunalna preduzeća vodovoda i kanalizacije. Tehnološki procesi snabdevanja vodom i odvođenja kanalizacione vode, podrazumevaju procese pumpanja vode iz prostorâ akumuliranja vode/kanalizacije, ili u njih, koji imaju dozvoljeno kretanje nivoa. Kao takvi, predstavljaju značajan potencijal za agregiranje upravljive potrošnje, pogotovo sa stanovišta ukрупnjavanja krajnjih korisnika koji su agregirani. Na razvoj resursa ovog tipa potrošnje nije potrebno čekati bližu ili dalju budućnost, oni su već sada dostupni.

2.2.1 Izvori energije. Najznačajniji izvori energije krajnjih korisnika EES, koji su perspektivni za agregiranje u virtuelne elektrane mogu se podeliti u grupe prema upravljivosti:

- Neupravljivi izvori energije:
 - solarni paneli,
 - solarni kolektori,
 - solarni termo paneli (paneli čijim se hlađenjem zagreva voda);
- Upravljivi izvori energije, čiju primenu je moguće optimizovati (ekonomski dispečing):
 - biomasa i biogas (toplotna energija),
 - fosilna goriva (toplotna energija),
 - toplotne pumpe (izvor toplotne energije),
 - neupravljivi izvori sa skladištima energije;
- Kombinovani izvori energije, najperspektivniji sa stanovišta primene u aplikacijama virtuelnih elektrana, sa značajnim brojem promenljivih stanja koje je potrebno pratiti:
 - kogeneracije (uglavnom ih koriste privredni subjekti čiji proizvodni proces zahteva primenu i električne i toplotne energije, eventualno i tehnološke pare),
 - toplotne pumpe u kombinaciji sa skladištima toplote (izvori toplotne energije čijom primenom se povećava kapacitet termalnih skladišta),
 - niskotemperaturni izvori toplotne energije (izvori koji su u značajnom razvoju, kombinacija toplotnih pumpi i otpadne toplote iz industrijskih procesa ili toplote nastale hlađenjem računarskih centara).

2.2.2 Upravljiva potrošnja i skladištenje energije. Skladišta energije na strani krajnjih korisnika EES koja su trenutno u primeni, odgovaraju već pomenutim vidovima transformacije električne energije u drugi vid energije. Najčešće su prisutna skladišta toplotne energije (akumulatori toplote), skladišta hemijske energije (dominantno baterije) i skladišta energije u kojima se električna energija skladišti kao potencijalna. S obzirom na to da su trenutno široko dostupni i da nije potrebno čekati na njihov razvoj, u ovom radu biće razmatrani samo akumulatori toplote i skladišta potencijalne energije. Akumulatori toplote mogu biti ciljno realizovani, a mogu se i termičke kapacitivnosti raznih drugih objekata koristiti kao akumulatori toplote (npr. zidovi prostora koji se greje). Upravljiva potrošnja u kombinaciji sa skladištima energije proširuje opseg usluga koje sistemu može da pruži virtuelna elektrana – balansiranje sistema i ekonomski dispečing.

Koncept upravljanja potrošnjom kao podrška regulaciji frekvencije pominje se pre više od četrdeset godina, [14], gde je pored koncepta „proizvodnja prati potrošnju“, prikazan i koncept „potrošnja prati proizvodnju“. U [14] je izvršena i kategorizacija na pasivno i aktivno upravljanje potrošnjom. Pasivno upravljanje potrošnjom se uglavnom odnosi na opterećenja koja prirodno koriste radni ciklus i mogu da se uključe/isključe privremeno bez ugrožavanja radnog ciklusa i komfora korisnika. Kao prvi kandidati za upravljivu potrošnju, kod kojih nisu potrebna dodatna ulaganja sem upravljanja, izdvajaju se termostatski kontrolisani uređaji, koji svojstveno poseduju skladištenje toplotne energije, a istovremeno su i veliki potrošači u domaćinstvima kao krajnjim korisnicima, [15]. Takvi uređaji uključuju klima-uređaje, električne bojlere, TA peći, i slično. Autori [14] su

prikazali mogućnosti za upotrebu uređaja koji, na osnovu merenja učestanosti mreže na koju je priključen, može da uključi/isključi određenog električnog potrošača. Međutim, u to vreme na raspolaganju nije postojala infrastruktura i tehnologija koja bi mogla da podrži brzi protok, skladištenje i obradu velikog broja informacija.

Uz primenu novih tehnologija na stare ideje, u [16] je prikazan prototip daljinski upravljivog prekidača električnog bojlera, zasnovan na IIoT konceptu, sa mogućnošću očitavanja vrednosti sa senzora za merenje temperature vode, struje potrošnje i učestanosti mreže. U [16] je izvršena statistička analiza rada električnog bojlera i date su procene raspoloživih promena njegove snage i energije – povećanja i smanjenja, zavisno od trenutnih potreba EES, ali i očekivanih zahteva kupaca. Na osnovu dobijenih statističkih pokazatelja, predložen je dinamički model velikog broja bojlera koji se koriste na sličan način – dinamički model jednog klastera. Analizom mogućnosti rada u sekundarnoj regulaciji učestanosti, pokazano je da je ovakvim sistemom moguće postići čak i bolje rezultate u pogledu vremena odziva, te rasteretiti postojeće, konvencionalne proizvodne jedinice i doprineti stabilnosti EES kao i sigurnom snabdevanju kupaca. Pored tehničkih analiza, u [16] je izvršena i uprošćena ekonomska analiza jednog takvog projekta. Istaknuto je da bi se investicija vratila korisniku za oko pet meseci, te da je stopa godišnjeg prihoda već u prvoj godini oko 270%.

Toplotni akumulatori, kao ciljno realizovana skladišta energije, predstavljaju jedan od najjeftinijih oblika skladišta energije, sa cenom ispod 15 USD/kWh, [17]. Jeftini toplotni akumulatori toplotu akumuliraju najčešće u vodi, a u primeni su akumulatori od 50 litara vode, pa sve do sezonskih akumulatora toplote kapaciteta od preko 500.000 m³ vode, [18]. U kombinaciji sa toplotnom pumpom, koja spušta donju granicu temperature vode koju je moguće iskoristiti na ispod 20 °C, toplotni akumulatori predstavljaju izuzetno elastično postrojenje sa stanovišta upravljivosti potrošnje.

Ukoliko se skladište zonira, tako da ima dva posebna skladišta, energija iz toplijeg skladišta se može koristiti direktno za grejanje prostora kada je cena električne energije visoka, a u slučaju povoljne cene električne energije, preko toplotne pumpe se toplota iz hladnijeg akumulatora može iskoristiti tako da konvertovana preko toplotne pumpe ima parametre za primenu u grejanju prostora. Izvor toplote akumulatora su najčešće solarni kolektori (kao na slikama 1 i 3), ali mogu biti i otpadna toplota iz kogeneracije ili čak pretvaranje električne energije u toplotnu. Veliki akumulatori toplote (*Large Thermal Energy Storages*) mogu da dostignu i kapacitet od preko 40 GWh pojedinačno. Na prostorima gde se 27% finalne energije troši na grejanje prostora, [11], mogu predstavljati idealno rešenje za godišnje balansiranje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije (OIE). Gubici energije sezonskih akumulatora toplote mogu da se spuste i do 10%.

Upravljava potrošnja sa skladištenjem energije u vidu potencijalne, prisutna je u tehnološkim procesima u kojima se fluid pretače sa jednog na drugo mesto, više nadmorske visine. Primer krajnjeg potrošača električne energije koji vrši opisanu konverziju energije su javna komunalna preduzeća vodovoda i kanalizacije. U ravničarskim krajevima uobičajeno je da se pritisak vode u vodovodnom sistemu održava tako što se voda upumpava u vodotoranj, najvišu tačku naseljenog mesta. Vodotoranj je akumulacija vode koja ima merač nivoa, sa maksimalnom i minimalnom dozvoljenom vrednošću. U zavisnosti od potrošnje vode, pumpe vodovodnih sistema su upravljive na satnom nivou, a upravljivost zavisi od dozvoljenih minimalnih i maksimalnih volumena vode u vodotoranju. Kanalizacioni sistemi, poseduju kolektore koji takođe imaju dozvoljene nivoe i pumpe kojima je moguće upravljati, kao i u slučaju vodovoda.

3. NAČINI AGREGACIJE PROIZVODNJE I POTROŠNJE

3.1 Aktivni način agregacije – JP EPS kao Agregator

Budući da JP EPS, između ostalog, obavlja uloge proizvođača, trgovca i snabdevača električnom energijom, prilikom optimizacije celokupnog portfelja JP EPS, izrađuju se različite vrste planova, na nekoliko vremenskih horizonata. Pri izradi srednjeročnih (kvartalnih, mesečnih i sedmičnih) i kratkoročnih (dan-unapred i unutar dnevnih) planova proizvodnje i trgovine električnom energijom, cilj je da se maksimalnim iskorišćenjem fleksibilnosti elektrana optimizuje njihova proizvodnja, tako da kompanija ostvari najveći mogući profit. Da bi se to postiglo, potrebno je najveći mogući deo raspoložive energije plasirati u periode najviših tržišnih cena, uz zadovoljenje već ugovorenih obaveza/ispоруka (snabdevanje i prethodno zaključeni ugovori za trgovinu) i postojećih ograničenja (pre svega tehničkih karakteristika elektrana, kao i maksimalnih i minimalnih sadržaja akumulacija, odnosno deponija uglja). Sredstvo kojim se to postiže je trgovina električnom energijom, tako što se u periodima niskih tržišnih cena elektrane „potiskuju“ do tehničkih, odnosno bioloških minimuma, dok se razlika između potrošnje („konzuma“) i proizvodnje nadomešćuje kupovinom na „spot“ tržištu, čime se najveći deo primarne energije (uglja, vode) prenosi u periode visokih cena. U tom smislu, da bi se što veći deo primarne energije preneo iz perioda niskih, u period visokih cena, potrebno je da elektrane raspolazu što većim rasponom između nominalnih snaga i tehničkih (odnosno bioloških) minimuma, tj. da poseduju što veću fleksibilnost.

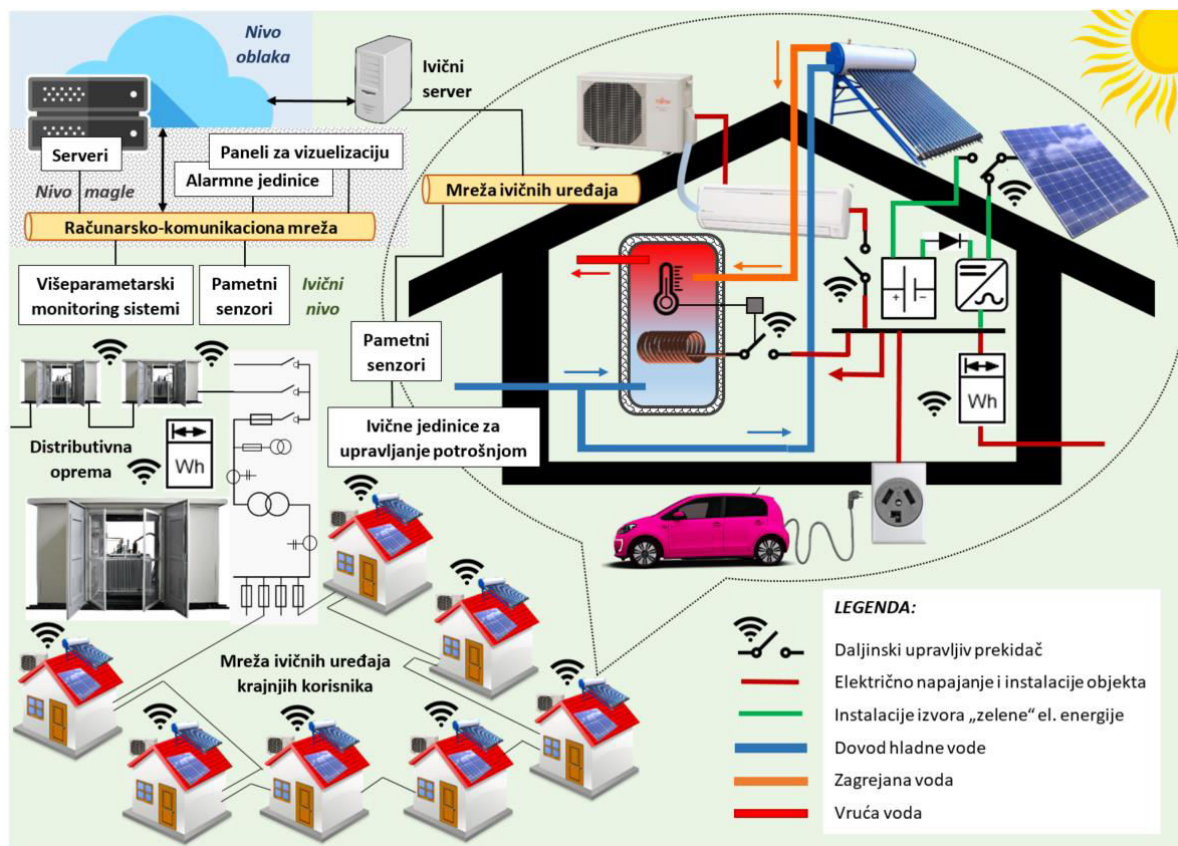
Sa druge strane, isti efekat se može postići korišćenjem raspoloživog opsega upravljive potrošnje, odnosno „pomeranjem“ dela potrošnje iz perioda viših cena u periode nižih cena. Ipak, mogućnost primene upravljive

potrošnje je prilično ograničena, jer postoji relativno mali broj velikih industrijskih/komercijalnih potrošača (kupaca) električne energije kojima proces proizvodnje dozvoljava upravljanje potrošnjom i kod kojih trošak električne energije predstavlja značajan udeo u ceni finalnog proizvoda (energetski intenzivni kupci), kako bi se mogli motivisati adekvatnim cenovnim signalima. Nasuprot tome, postoji relativno veliki broj malih kupaca i domaćinstava gde je „pomeranje“ potrošnje moguće, ali još uvek ne postoji adekvatna regulativa, infrastruktura, kao ni cenovni signali koji bi to omogućili. Osim toga, značajniji efekti upravljive potrošnje mogu se postići jedino agregacijom (objedinjavanjem, grupisanjem) velikog broja (uglavnom manjih) krajnjih korisnika EES, što je jedan od osnovnih razloga zbog kojih se i uvodi novi učesnik na tržištu električne energije – Agregator.

Agregator može objединiti i manje, distribuirane (dispersivane) proizvođače električne energije, i to najčešće one sa upravljivom proizvodnjom, kakav je primer kupca-proizvođača sa mogućnošću skladištenja električne energije, ilustrovan na Slici 3. Na njoj je prikazana jedna energetski „pametna“ kuća, kao i radijalno napojena elektrodistributivna mreža na koju je priključen niz takvih, prostorno raspoređenih, kuća. Sa aspekta potrošača i „lokalne zelene proizvodnje“, prikazana je ivična (*edge*) koncepcija, čije su osnovne prednosti kratko vreme obrade podataka (smanjenja kašnjenja) i jednostavnije upravljanje lokalnim procesima proizvodnje i potrošnje.

Cilj je obezbediti što veću fleksibilnost, koju Agregator kasnije valorizuje na tržištu električne energije. U zavisnosti od tehničkih mogućnosti kojima raspolaže u okviru svog portfelja, pored „pomeranja“ potrošnje/proizvodnje, Agregator ostvaruje prihode od fleksibilnosti i na tržištima sistemskih usluga i balansne energije. S tim u vezi, Agregator ostvaruje profit nudeći svoje usluge (fleksibilnost) različitim zainteresovanim stranama (tržišnim učesnicima):

- drugim proizvođačima/snabdevačima, kojima je fleksibilnost bitna zbog optimizacije portfelja proizvodnje/snabdevanja, kao i zbog balansne odgovornosti na tržištu balansne energije,
- operatoru prenosnog sistema, kroz pružanje sistemskih usluga (obebeđivanje sekundarne i tercijarne rezerve snage), čime se indirektno smanjuje potreban nivo rezerve na strani proizvodnje (a time i oportunitetni troškovi proizvodnje),
- operatoru distributivnog sistema, imajući u vidu činjenicu da zbog sve masovnijeg priključivanja OIE na distributivnu mrežu postoji potreba za fleksibilnošću u cilju efikasnog i sigurnog upravljanja distributivnom mrežom, kao i mogućih smanjenja investicionih troškova (u distributivnu mrežu).



Slika 3 Hibridna koncepcija IIoT za agregaciju i upravljanje kompozitnom virtuelnom elektranom

Uzimajući u obzir veličinu portfelja JP EPS, delatnosti koje JP EPS obavlja, kao i potencijale koje uloga Agregatora donosi, postoji jasan interes JP EPS za obavljanjem ove uloge, kako bi se upotpunile mogućnosti

portfelja JP EPS i obezbedio dodatni izvor prihoda. S obzirom da se u okviru JP EPS nalazi i funkcija snabdevanja električnom energijom, a da je u [2] sagledana i mogućnost da se na tržištu električne energije, osim nezavisnih agregatora, agregiranjem bave i snabdevači, jedna od mogućih opcija, čiju izvodljivost treba istražiti, jeste da se „EPS Snabdevanje“ registruje i kao Agregator.

3.2 Pasivni način agregacije – dinamičko tarifiranje

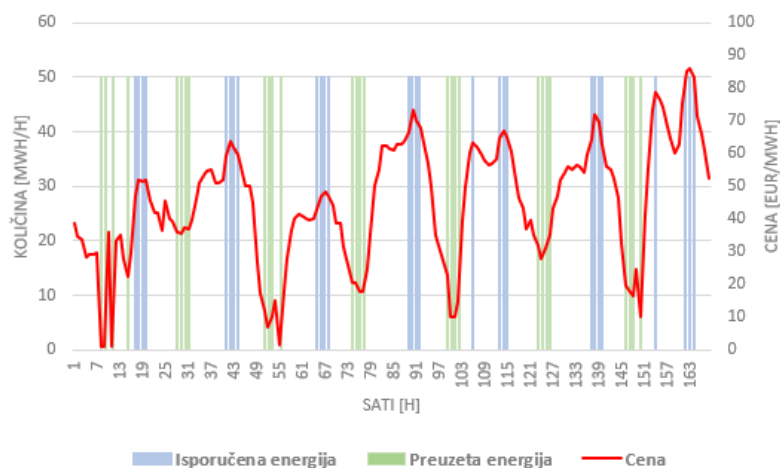
Dinamičko tarifiranje, opcija koju obično nude tradicionalni snabdevači električnom energijom, predstavlja tip ugovora o snabdevanju koji sadrži varijabilni deo cene koji, donekle ili u potpunosti, odražava fluktuaciju cene na veleprodajnom tržištu električne energije. U ovakvom ugovornom obliku, kupci se podstiču da reaguju na cenovne signale sa tržišta, te podešavaju svoju potrošnju u skladu sa promenama cena (tj. teže da smanje potrošnju energije tokom sati sa visokom cenom i povećaju je tokom sati sa niskom cenom). Ovakav proaktivan pristup kupaca može dovesti do ušteda u računu za električnu energiju. Međutim, potrebno je istaći da taj pristup nosi i određene rizike sa sobom, u pogledu iznenadne izloženosti visokim cenama u određenim periodima. Iz tog razloga vrlo je važno da kupac bude dobro upoznat sa svim aspektima i rizicima, da dobro sagleda mogućnost upravljanja sopstvenom potrošnjom, a možda i ispregovara takav ugovor koji će sadržati određene limite koji bi ga zaštitili od nagle promene cena energije ili njene velike volatilnosti u kratkom roku.

Neki od primera dinamičkog tarifiranja iz evropske prakse, [19], opisani su u nastavku:

- Snabdevač *Octopus* (Velika Britanija): u ponudi ima tarifu pod nazivom „*Agile*“ unutar koje se cena električne energije za kupca menja na svakih 30 minuta. Snabdevač na svojoj internet stranici nudi interaktivni prikaz primera kupca za koga je ovaj vid tarifiranja najpogodniji, a takođe daje i pregled i poređenje sa ostalim statičkim tarifama koje ima u ponudi. Ugovor sadrži klauzulu o limitu (eng. „*price cap*“), tj. maksimalnoj ceni kojoj kupac može biti izložen.
- Snabdevač *easyEnergy* (Holandija): u ponudi ima tarifu koja reflektuje cenu za krajnjeg korisnika kao kombinaciju varijabilnog dela (satne veletržišne cene) i fiksnog dela (fiksna taksa definisana na mesečnom nivou). Ne postoji neki vid zaštite ili alarma za kupca koji bi ukazao na pojavu visokih cena i samim tim naglog povećanja računa za električnu energiju.

4. TRŽIŠNE MOGUĆNOSTI UPOTREBE VIRTUELNE ELEKTRANE I PRIMERI BENEFITA

Veća fleksibilnost na strani potrošnje električne energije i distribuirane proizvodnje, agregirana i upravljana kroz koncept virtuelne elektrane, može dovesti do brojnih benefita u pogledu efikasnosti i troškova rada EES. Operator virtuelne elektrane, u zavisnosti od tehničkih karakteristika i mogućnosti agregirane proizvodnje i potrošnje, može je koristiti za trgovinu i optimizaciju sopstvenog portfelja na veleprodajnom tržištu, kao i za pružanje sistemskih usluga operatorima prenosnog i distributivnog sistema.



Slika 4 Primer optimizacije virtuelne elektrane od 50 MW na veleprodajnom tržištu električne energije, na uzorku jedne sedmice

U tom kontekstu, kao primer efekata uvođenja koncepta virtuelne elektrane, razmotrena je tržišna vrednost virtuelne elektrane sačinjene od 50 MW agregirane fleksibilne potrošnje, upravljane od strane nezavisnog agregatora. Fleksibilnost agregirane potrošnje je predstavljena kroz opciju mogućnosti „pomeranja“ unutar dana (eng. „*load shifting*“) u maksimalnom trajanju od 4 sata. Opisana virtuelna elektrana je modelovana u

komercijalnom softverskom alatu za energetsko-tržišne simulacije, PLEXOS, i optimizovana kao učesnik na tržištu prema tržišnim uslovima u Srbiji zabeleženim u 2021. godini (satni profil veleprodajnih cena sa berze SEEPEX, [20]). Ilustracija ove optimizacije data je na Slici 4. Sagledani su potencijalni prihodi za Agregatora koji se mogu ostvariti na veleprodajnom tržištu, bez razmatranja dodatnih usluga koje bi virtualna elektrana eventualno mogla pružati. Ti prihodi su prikazani u Tabeli 1.

Tabela 1 Potencijalni prihodi Agregatora za primer optimizacije virtualne elektrane od 50 MW, sa slike 4

Indikator	Jedinica	Vrednost
Preuzeta energija	GWh/god.	72.8
Isporučena energija	GWh/god.	72.8
Prosečna kupovna cena	EUR/MWh	79.68
Prosečna prodajna cena	EUR/MWh	144.74
Prosečna tržišna cena	EUR/MWh	114.02
Rashod za kupljenu energiju	MEUR/god.	5.80
Prihod od prodaje energije	MEUR/god.	10.54
Tržišna dobit	MEUR/god.	4.74

Cilj analiziranog primera je ilustracija potrebe tržišta za izvorima fleksibilnosti, tj. mogućih prihoda za jedan oblik upotrebe virtualne elektrane. Na osnovu sprovedene analize (Slika 4, Tabela 1), može se zaključiti da postoji značajan potencijal u pogledu ekonomskih prihoda od upravljanja virtualnom elektranom. Naglašavamo da je za svaki potencijalni poslovni slučaj implementacije virtualne elektrane potrebno detaljno analizirati troškove i benefite. Takođe, preduslov za efikasnu implementaciju agregacije je postojanje pravno-regulatornog okvira sa otklonjenim barijerama za nastup agregatora na različitim tržištima, naročito u pogledu pružanja pomoćnih usluga operatorima prenosnog i distributivnog sistema.

5. ZAKONSKI OKVIR I TRENUTNA OGRANIČENJA

Izmenama i dopunama *Zakona o energetici* („Sl. glasnik RS“ broj 40/2021, u daljem tekstu: ZoE) uvodi se novi učesnik na tržištu električne energije – Agregator, ali njegova uloga, kao i prava i obaveze na tržištu električne energije, još uvek nisu u potpunosti definisane i razrađene u sekundarnoj legislativi. Pojam agregiranja je definisan članom 2. ZoE kao „objedinjavanje potrošnje i/ili proizvodnje električne energije radi kupovine, prodaje ili aukcija na tržištima električne energije“, dok je Agregator kao jedan od učesnika na tržištu električne energije definisan kao „pravno ili fizičko lice koje pruža uslugu objedinjavanja potrošnje i/ili proizvodnje električne energije u cilju dalje prodaje, kupovine ili aukcija na tržištima električne energije“. Uloga Agregatora je definisana Članom 210b ZoE, u kome je navedeno da „Agregator nastupa na tržištu električne energije u ime i za račun učesnika na tržištu za koje vrši uslugu objedinjavanja potrošnje i/ili proizvodnje“, i dužan je da:

- 1) postupa prema učesniku na tržištu na nediskriminatoran način;
- 2) objavi opšte uslove ponude za zaključenje ugovora, odnosno da učesnika na tržištu obavesti na prigodan način o ponuđenim uslovima;
- 3) besplatno obezbedi sve relevantne podatke učesniku na tržištu najmanje jednom u toku obračunskog perioda ukoliko učesnik na tržištu to zatraži;
- 4) na svojoj internet stranici ili na drugi prikladan način, obavesti učesnika na tržištu o funkciji agregiranja.

Agregator i učesnici na tržištu zaključuju ugovore kojim regulišu međusobne odnose (ilustrovano na Sl. 1, gore). Zakonom o korišćenju obnovljivih izvora energije („Sl. glasnik RS“, broj 40/21, u daljem tekstu: ZOIE) takođe je, posredno, predviđeno postojanje i uloga agregatora; u članu 58. ZOIE utvrđeno je da „kupac-proizvođač ima pravo da samostalno ili posredstvom agregatora proizvodi električnu energiju za sopstvenu potrošnju, skladišti električnu energiju za sopstvene potrebe, višak proizvedene električne energije isporučiti u prenosni, distributivni, odnosno zatvoreni distributivni sistem i ne može koristiti podsticajne mere u vidu tržišne premije i fid-in tarife, niti može imati pravo na garancije porekla“. Takođe, članom 66. ZOIE određeno je da „zajednica obnovljivih izvora energije, odnosno pravno lice osnovano na principu otvorenog i dobrovoljnog učešća svojih članova“... „ima pravo na proizvodnju, potrošnju, skladištenje i prodaju obnovljive energije i pravo na pristup svim tržištima energije, direktno ili preko agregatora, na nediskriminatorni način, kao i druga prava i obaveze povlašćenog proizvođača u skladu sa ovim zakonom.“

Iako je, navedenim zakonima kojima se uređuje oblast energetike u Republici Srbiji, agregator predviđen kao učesnik na tržištu/korisnik sistema i definisana delatnost agregiranja, pravna regulativa u ovom delu nije u potpunosti uređena. Posebno se mora imati u vidu činjenica da agregiranje nije predviđeno kao energetska delatnost, pa agregator (fizičko ili pravno lice koje pruža uslugu objedinjavanja potrošnje i/ili proizvodnje

električne energije u cilju dalje prodaje, kupovine ili aukcija na tržištima električne energije), ne može da obezbedi licencu ili drugu saglasnost za pružanje ove usluge.

Stoga je za dalje definisanje uloge agregatora potrebno izmeniti nacionalnu sekundarnu legislativu u skladu sa „*Paketom čiste energije*“ Evropske unije koji je stupio na snagu juna 2019. godine i smernicama iz *EU Direktive 2019/944*. Ovim Paketom su određeni i novi učesnici na tržištu kao što su agregatori, odnosno nezavisni agregatori, i bliže određene energetske delatnosti kao što su agregiranje i skladištenje energije. Prema Direktivi, generalno, svaki učesnik na tržištu električne energije dužan je da ugovorom uredi svoju balansnu odgovornost; da je prenese na drugog učesnika na tržištu električne energije, da potpiše ugovor o potpunom snabdevanju ili da se registruje kao balansno odgovorna strana. U skladu sa članom 17(3.d) ove Direktive, ta obaveza nije zaobišla ni novog učesnika na tržištu – Agregatora. U tom smislu, nema suštinske razlike između Snabdevača i Agregatora. Ipak, jedna od osnovnih razlika između ova dva učesnika na tržištu je što Snabdevač upravlja potrošnjom implicitno (kupac reaguje na cenovne signale Snabdevača iz računa, a težnja je da se ide ka dinamičkom tarifiranju sa uvođenjem „pametnih“ brojila), dok Agregator ima mogućnost da upravlja potrošnjom i eksplicitno (direktno, aktivno). To bi trebalo da podrazumeva definisanje/ugovaranje uslova pod kojima Agregator upravlja potrošnjom kupca i po kojoj ceni, u okviru posebnog ugovora ili u okviru Ugovora o snabdevanju. Eksplicitno upravljanje potrošnjom bi omogućilo Agregatoru da ostvaruje profit i na tržištima sistemskih usluga i balansne energije, ali je za to, pored trenutno nedostajuće regulative, neophodna i adekvatna infrastruktura koja podrazumeva masovnu upotrebu odgovarajućih „pametnih“ brojila, što je još jedna od prepreka koju je potrebno otkloniti u cilju pune primene koncepta Agregatora na tržištu Republike Srbije.

6. ZAKLJUČAK

Na strani krajnjih korisnika EES postoji značajan kapacitet u upravljivoj potrošnji. Sa pojavom i očekivanim širenjem dispergovane (distribuirane) proizvodnje električne energije, uključujući i “kupce-proizvođače”, za koje je tokom 2021. godine u Srbiji stvoren zakonski okvir, jačaće potreba, ali i interes, da se efektivno i efikasno upravlja potrošnjom i proizvodnjom na nivou korisnika. Kada se tome doda nužnost unapređenja energetske efikasnosti na strani potrošnje, kao i činjenica da možda i najveći potencijal – kako za uštede, tako i za upravljivost i fleksibilnost – leži u uređajima za grejanje vode i prostora, kao moguće rešenje nameće se koncept agregacije u multienersku, kompozitnu (kooperativnu, kolaborativnu) virtuelnu elektranu. Investiranje u njeno kreiranje, razvoj, tehničku realizaciju i ekspanziju može se ispostaviti kao povoljnije rešenje od ulaganja u dotrajale termoenergetske kapacitete čija se proizvodnja zasniva na niskokaloričnom i ekološki sve manje prihvatljivom lignitu. U tom pogledu, kompozitna virtuelna elektrana može faktički predstavljati zamenski kapacitet u EES Srbije i, svojom fleksibilnošću, olakšati očekivani veći obim integracije OIE u njega.

Za realizaciju virtuelne elektrane prvo je potrebno definisati metodologiju na osnovu koje bi se ocenjivali tehnički uslovi upravljivosti za krajnje kupce koji žele da budu deo virtuelne elektrane. Metodologija bi morala da sadrži ocenu dostupnosti upravljive potrošnje krajnjeg korisnika, kapacitet skladišta i rezerve, kao i maksimalnu aktivnu snagu skladišta. Veliki broj krajnjih korisnika koji bi bio uključen u realizaciju virtuelne elektrane generisao bi i velike administrativne troškove. Primarno treba koristiti veća skladišta. Najpre je potrebno iskoristiti upravljivost značajnih korisnika EES. Sa stanovišta iskorišćenja skladišnih kapaciteta, redosled u strategiji investiranja u ovu komponentu kompozitne virtuelne elektrane, bio bi sledeći:

- iskoristiti postojeća termalna skladišta,
- iskoristiti postojeća skladišta potencijalne energije,
- ulaganje u nova termalna skladišta,
- kada se iscrpu sve opcije izgradnje i primene termalnih skladišta, uključiti u projekat realizacije skladišta na bazi baterija i vodonika.

Jasno je da je jedan od preduslova za realizaciju virtuelne elektrane primena savremenih, “pametnih” uređaja, kakvi su daljinski upravljani prekidači, zatim primena odgovarajućih softvera za upravljanje i komandovanje i odgovarajućih protokola za dvosmernu komunikaciju i prenos podataka. Što se tiče složene strukture sistema virtuelne elektrane, kao najpodesniji za njeno organizovanje u efikasan sistem kontrole, obrade podataka, upravljanja i odlučivanja, ocenjen je koncept zasnovan na IIoT. Veća fleksibilnost na strani potrošnje električne energije i distribuirane proizvodnje, agregirana i upravljana kroz tako osmišljen koncept virtuelne elektrane, može dovesti do brojnih benefita u pogledu efikasnosti i troškova rada EES.

U zavisnosti od tehničkih karakteristika i mogućnosti agregirane proizvodnje i potrošnje, Agregator tj. operator virtuelne elektrane, može je koristiti za trgovinu i optimizaciju sopstvenog portfelja na veleprodajnom tržištu, kao i za pružanje sistemskih usluga operatorima prenosnog i distributivnog sistema. Ipak, preduslov za efikasnu implementaciju agregacije jeste postojanje odgovarajućeg pravno-regulatornog okvira sa otklonjenim barijerama za nastup Agregatora na različitim tržištima, uključujući i tržište pomoćnih usluga.

LITERATURA

- [1] Belonogova N, Kaipia T, Lassila J, Partanen J, „Demand response: Conflict between distribution system operator and retailer“, CIRED 21st International Conference on Electricity Distribution, Frankfurt, 2011, Paper No. 1085
- [2] Vukovljak M, Janković M, „Novi učesnici na tržištu električne energije“, 35. Savetovanje CIGRE Srbije, Zlatibor, 2021.
- [3] Ropuszyńska-Surma E, Borgosz-Koczwara M, „A virtual power plant as a cooperation network“, *Marketing and Management of Innovations*, Issue 4, 2018, DOI: 10.21272/mmi.2018.4-13
- [4] Adu-Kankam K. O, Camarinha-Matos L, „Towards Collaborative Virtual Power Plants“, Chapter, *Technological Innovation for Resilient Systems*, pp 28-39, Advances in Information and Communication Technology, vol 521, Springer, January 2018, DOI: 10.1007/978-3-319-78574-5_3
- [5] Adu-Kankam K. O, Camarinha-Matos L, „Towards collaborative Virtual Power Plants: Trends and convergence“, Article, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, Volume 16, December 2018, Pages 217-230, DOI: 10.1016/j.segan.2018.08.003
- [6] Milić S. D, Babić B. M, "Towards the Future - Upgrading Existing Remote Monitoring Concepts to IIoT Concepts", *IEEE Internet of Things Journal*, Electronic ISSN: 2327-4662, DOI: 10.1109/JIOT.2020.2999196, Vol. 7, Issue 12, December 2020, pp. 11693-11700.
- [7] Milić S. D, Veinović S, Ponjavić M, "Industrial Internet of Things (IIoT) – Strategies and Concepts", XIX International Symposium Infoteh-Jahorina 2020, Proc., Vol.19, KST-4, Jahorina, Republic of Srpska, March 18-20, 2020, pp. 81-85.
- [8] Milić S, Stojadinović G, Tomić N, "Prilagođenje postojećih sistema daljinskog nadzora IIoT konceptima sa hijerarhijski definisanim nivoima obrade podataka", CIGRE - Srbija 35. savetovanje, Zbornik radova, ISBN: 978-86-82317-84-5, rad R D2 - 09, 03 - 08. oktobar 2021. godine, Zlatibor, Srbija.
- [9] Zhuang W. W, Morgan C, Nakamoto I, Jiang M, "Big Data Analytics in E-commerce for the U.S. and China Through Literature Reviewing", *Journal of Systems Science and Information* 9, no. 1 (2021): 16-44. <https://doi.org/10.21078/JSSI-2021-016-29>
- [10] Kang C, Wang Y, Xue Y, Mu G, Liao R, "Big data analytics in China's electric power industry: modern information, communication technologies, and millions of smart meters", *IEEE Power and Energy Magazine*, 16(3), pp.54-65, 2018.
- [11] Fleiter T, Elsland R, Rehfeldt M, Steinbach J, Reiter U, Catenazzi G, et al., "Profile of heating and cooling demand in 2015". Heat Roadmap Europe Deliverable 3.1; 2017.
- [12] Belarus energy profile, IEA, 2019.
- [13] <https://newsroom.porsche.com/en.html>
- [14] Schwappe F. C, Tabors R. D, Kirtley J. L, Outhred H. R, Pickel F. H, Cox A. J, „Homeostatic utility control“, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 1980, <https://doi.org/10.1109/TPAS.1980.319745>
- [15] Tindemans S. H, Trovato V, Strbac G, „Decentralized Control of Thermostatic Loads for Flexible Demand Response“, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 2015; 23. <https://doi.org/10.1109/TCST.2014.2381163>.
- [16] Georgijević N, Vlaisavljević D, Šiljkut V, Misović D, Milić S, „Primena koncepta „Industrijski internet stvari“ na primeru upravljivog električnog bojlera kao potrošača i analiza mogućnosti u regulaciji učestanosti“, 35. Savetovanje CIGRE Srbije, Zlatibor, 2021.
- [17] Kuravi S, Goswami Y, Stefanakos E. K, Ram M, Jotshi C, Pendyala S, Trahan J, Sridharan P, Rahman M, Krakow B, "Thermal energy storage for concentrating solar power plants", *Technology and Innovation*, Vol. 14, pp. 81–91, 2012, DOI: <http://dx.doi.org/10.3727/194982412X13462021397570>
- [18] Bertelsen N, Petersen U. R, "Thermal Energy Storage in Greater Copenhagen", Master thesis, Aalborg University Copenhagen, 2017.
- [19] BEUC, Flexible Electricity Contracts Report, April 2019
- [20] ENTSO-E Transparency Platform, <https://transparency.entsoe.eu/>