

Boris Brestovec, dipl.ing.el.  
KONČAR – Inženjering za energetiku i transport d.d.,  
Zagreb  
[boris.brestovec@koncar-ket.hr](mailto:boris.brestovec@koncar-ket.hr)

Matija Zečević, dipl.ing.el.  
KONČAR – Inženjering za energetiku i transport d.d.,  
Zagreb  
[matija.zecevic@koncar-ket.hr](mailto:matija.zecevic@koncar-ket.hr)

## AUTONOMNA VIRTUALNA ELEKTRANA

### SAŽETAK

Integracija i grupiranje distribuiranih izvora energije (DIE) i upravljivih tereta, te sustava pohrane energije u virtualne elektrane jedna je od osnovnih karakteristika naprednih elektroenergetskih mreža. Virtualna elektrana koja proizvodi i pohranjuje energiju za kasnije korištenje kako bi pokrila prvenstveno vlastitu potrošnju predstavlja autonomnu virtualnu elektranu.

Osnovni koncept takvog autonomnog rada virtualne elektrane opisat će se u referatu. Pokušat će se dati tehničko rješenje i zahtjevi na komunikacijski sustav koji omogućuje razmjenu podataka DIE, upravljivih trošila te sustava za pohranu energije. Sustav upravljanja i nadzora autonomne virtualne elektrane mora omogućiti sigurni i pouzdani rad virtualne elektrane u svakom trenutku.

U slučaju prekomjerne proizvodnje energije, autonomna virtualna elektrana ima mogućnost pohrane viška energije ili mogućnost prodaje energije na tržištu. Odabir povoljnije situacije jedna je od osnovnih funkcija sustava komercijalnog upravljanja radom autonomne virtualne elektrane koji je opisan u referatu.

**Ključne riječi:** Virtualna elektrana, DIE, decentralizirano upravljanje, IEC61850-7-420

## AUTONOMOUS VIRTUAL POWER PLANT

### SUMMARY

Integration and aggregation of Distributed Energy Resources (DER), controllable loads and energy storage systems in Virtual Power Plants is one of the basic characteristics of future smart power grids. Virtual power plant that generates and stores energy for later usage and coverage of auxiliary demand is called autonomous virtual power plant.

Basic concept of autonomous virtual power plant will be described in the paper. The paper will try to emerge a technical solution and basic requirements for the communication infrastructure that will be used for exchange of information between DER, controllable loads and energy storage systems. Power Management System of the virtual power plant has to ensure safe and reliable running of the plant at every moment.

In case of over generation the autonomous virtual power plant has the ability to store the excess of power production or can resale it to the market. The decision what to do with excessive production is the basic functionality of the commercial management of autonomous virtual power plant that is described in the paper.

**Key words:** Virtual Power Plant, DER, distributed control system, IEC 61850-7-420

## 1. UVOD

Integracija i grupiranje distribuiranih (DIE) i obnovljivih (OIE) izvora energije, upravljivih tereta, te sustava pohrane energije u virtualne elektrane jedna je od osnovnih karakteristika naprednih elektroenergetskih mreža budućnosti. Virtualne elektrane se mogu opisati kao grupa velikog broja DIE uključujući različite proizvodne tehnologije, upravljive terete i skladišta energije, koje kada se agregiraju i integriraju imaju fleksibilnost i upravljivost sličnu kao i velike konvencionalne elektrane. Virtualne elektrane dakle za operatora sustava (OPS, ODS) predstavljaju cjelokupni portfelj različitih jedinica kao jednu konvencionalnu elektranu, te se na taj način i opisuju [1] [2].

Za uspješno grupiranje više DIE u jednu Virtualnu elektranu potreban je decentraliziran sustav vođenja koji se temelji na standardiziranoj komunikacijskoj infrastrukturi koja omogućuje razmjenu podataka na svim razinama sustava od lokanih upravljačkih uređaja pojedinih proizvodnih jedinica pa sve do SCADA sustava operatera sustava.

U članku će se opisati neophodna decentralizirana arhitektura sustava vođenja te potrebe na standardiziranju komunikacijskih protokola koji su neizbježni u slučaju povezivanja velikog broja funkcijskih uređaja na razini Virtualne elektrane.

Grupiranje DIE obično je temeljno na zemljopisnim cjelinama u kojima se nalaze DIE. Za takvu grupu moguće je oformiti cjelinu koja će u slučaju odvajanja od mreže postati otok. Ukoliko se planirano u tu cjelinu ugrade i skladišta energije, što danas nije rijetkost, te mogućnost upravljanja teretima grupe, omogućuje se autonomnost cjelokupnog područja za koje se definira Virtualna elektrana. U članku će se također pokušati opravdati formiranje autonomne virtualne elektrane u turističkim područjima Hrvatske, na otocima i priobalju.

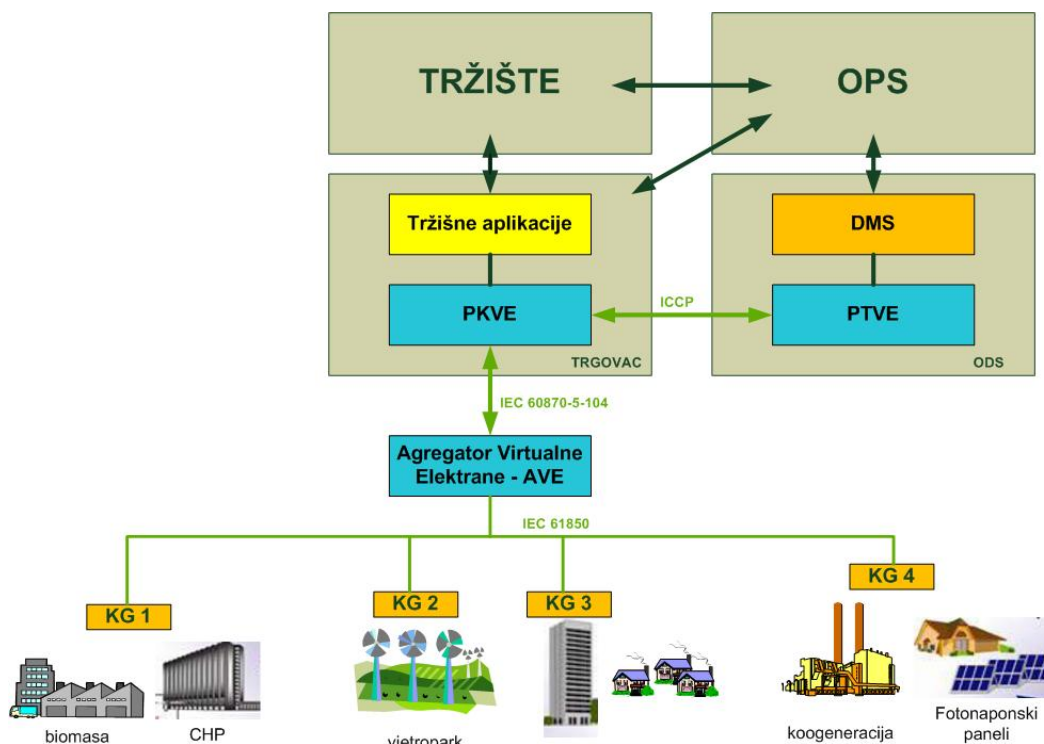
## 2. OPĆA ARHITEKTURA DECENTRALIZIRANOG SUSTAVA VOĐENJA

Preduvjet za kvalitetnu integraciju DIE kroz virtualne elektrane u EES zahtjeva i nove funkcije i usluge sa stanovišta sustava vođenja EES-a. Novi uvjeti na sustave vođenja koji zahtijevaju izraženu interakciju između OPS-a, ODS-a, virtualnih elektrana i operatora tržišta morat će se bazirati na visoko decentraliziranim arhitekturama sustava vođenja. Da bi se omogućila implementacija takvog decentraliziranog sustava vođenja potrebno je razviti pripadajuću komunikacijsku i informacijsku infrastrukturu.

Arhitektura sustava sastoji se od nekoliko uređaja tj. podsustava koji odgovaraju decentraliziranom konceptu upravljanja i nadzora virtualnih elektrana u naprednim energetske mrežama:

- Koncentrator Grupe jedinica (KG) – koncentrira podatke sa pojedinih upravljačkih uređaja jedinica koji se nalaze u grupi,
- Agregator Virtualne Elektrane (AVE) – agregira podatke dobivene od svih KG o trenutnoj proizvodnji i potrošnji svih jedinica u virtualnoj elektrani,
- Poslužitelj Komercijalne Virtualne Elektrane (PKVE) – provodi optimiranje i raspoređivanje proizvodnje virtualne elektrane, tj. kreira vozni red virtualne elektrane,
- Poslužitelj Tehničke Virtualne Elektrane (PTVE) – provjerava mogućnost provedbe voznog reda dobivenog od PKVE i po potrebi ga mijenja.

Slika 1. prikazuje opisanu arhitekturu decentraliziranog sustava vođenja virtualne elektrane i njegove osnovne dijelove.



Slika 1. Arhitektura Decentraliziranog Sustava Vođenja (DESV)

## 2.1. Koncentrator Grupe jedinica virtualne elektrane (KG)

Osnovna zadaća KG je komunikacija s lokalnim upravljačkim uređajima proizvodnih jedinica DIE, skladišnim sustavima, mjernim sustavima te upravljivim teretima koji čine jednu grupu unutar virtualne elektrane.

Među prikupljenim procesnim podacima ubrajaju se stanja jedinica i mjerne veličine. Prikupljanje podatka o stanju aparata i jedinica te mjernih veličina nužna je za dobivanje kompletne slike stanja Virtualne elektrane.

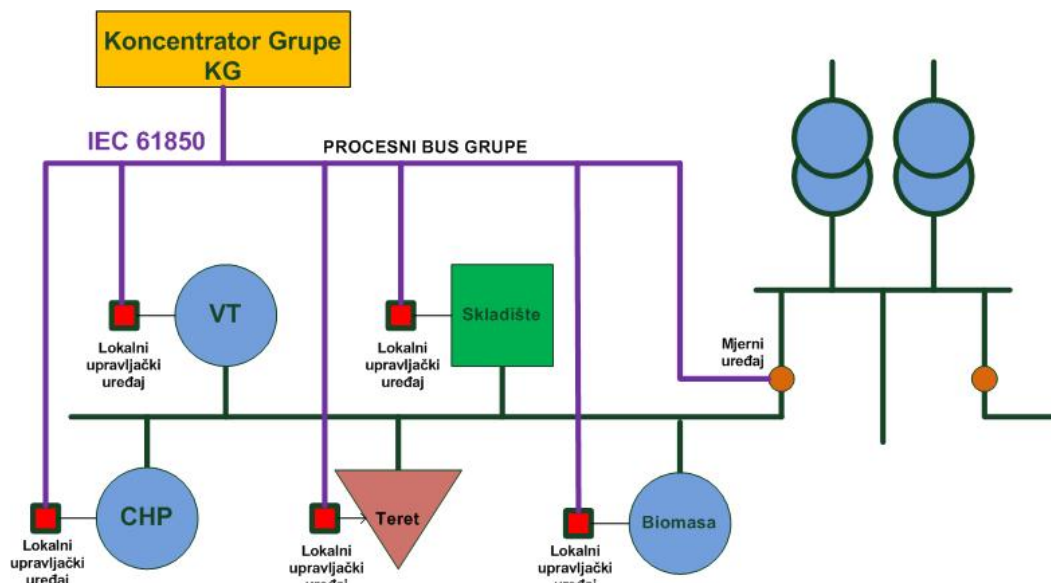
Podaci o mjerenjima na mjestima spoja DIE na vanjsku mrežu bitna su kako bi se nadzirala razmjena energije virtualne elektrane i ostatka mreže. Prikupljanje mjernih podataka nužna je i na mjestima potrošnje i skladištenja energije kako bi se uvijek u stvarnom vremenu mogla dobiti kompletna slika energetske bilance dijela mreže.

Osim prikupljanja podataka KG mora imati i mogućnost regulacije radne i jalove snage preko postavnih vrijednosti koje izdaje lokalnim upravljačkim uređajima proizvodne jedinice u DIE, te mogućnost upravljanja naponom i frekvencijom. Drugim riječima KG mora podržavati izdavanje komandi prema lokalnim upravljačkim uređajima pojedine jedinice.

Osim izdavanja komandi prema lokalnom upravljačkom uređaju, KG mora imati mogućnost komunikacije sa zaštitnim uređajima čija je funkcija zaštita proizvodnih jedinica DIE, te izdavanje komandi sigurnosnih prekidača proizvodnih jedinica.

KG moraju imati mogućnost rada u realnom vremenu kako bi mogli zadovoljiti kvalitativne aspekte upravljanja i regulacije snage, napona i frekvencije. Osim rada u realnom vremenu, potrebno je ostvariti i funkciju kratkotrajnog pohranjivanja svih podataka u slučaju ispada komunikacije sa nadređenim sustavom.

Radi potrebe razmjene velikog broja podataka koji se temelje na specifičnim modelima podataka koristi se već postojeći komunikacijski standard IEC 61850 koji se zasniva na mrežnoj TCP/IP infrastrukturi.



Slika 2. Primjer arhitekture Koncentratora Grupe i komunikacije

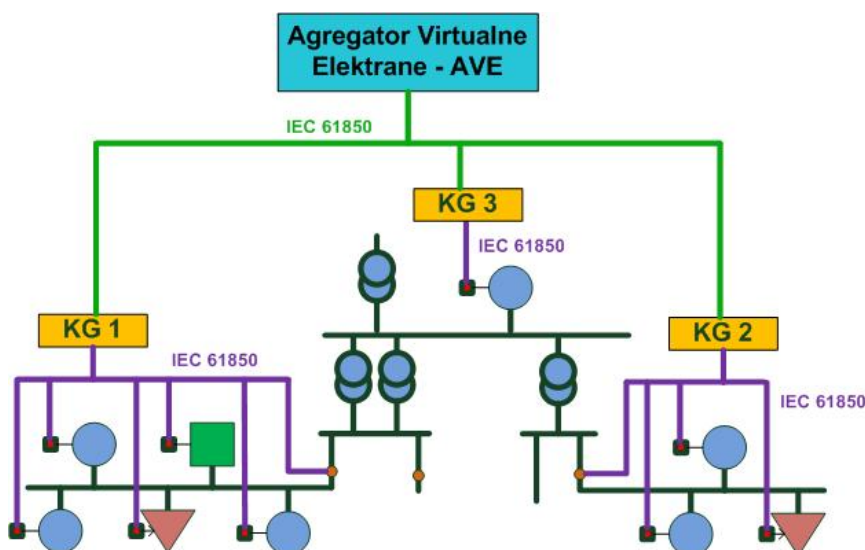
## 2.2. Agregator Virtualne Elektrane (AVE)

Osnovna zadaća AVE je da agregira sve prikupljene podatke o bilanci energije koja trenutno vrijedi za Virtualnu Elektranu. Bilanca energije Virtualne Elektrane sastoji se od podataka trenutne proizvodnje DIE, te njihovih mogućnosti za kratkoročno povećanje/smanjenje proizvodnje, te podataka o trenutnoj potrošnji i mogućnosti isključivanja upravljivih tereta. Osim podataka o proizvodnji i potrošnji energije, važno je uzeti u obzir i podatke o količini uskladištene energije u skladištima virtualne elektrane.

Pružanje pomoćnih usluga također predstavlja izrazito korisnu funkcionalnost koju vlasnici DIE mogu ponuditi na tržištu pomoćnih usluga kroz Virtualnu elektranu. Na razini AVE također se mora dakle voditi računa i o mogućnosti pružanja pomoćnih usluga pojedine jedinice unutar grupe virtualne elektrane.

AVE obavlja i funkciju deagregiranja komandi na pojedine koncentratore grupe kako bi se zadovoljila postavna vrijednost dobivena iz više hijerarhijske razine, Poslužitelja Komercijalne Virtualne Elektrane.

Slika 3. prikazuje način komunikacije između AVE i KG. Važno je uočiti da je IEC 61850 podatkovna sabirnica različita na višoj hijerarhijskoj razini, od one na nižoj razini između KG. Naime koriste se različite, odvojene podatkovne sabirnice, ali se koristi isti standard IEC 61850 i modeliranje objekata DIE.



Slika 3. Primjer arhitekture Agregatora Virtualne Elektrane (AVE)

### 2.3. Poslužitelj Komercijalne Virtualne Elektrane (PKVE)

PKVE grupira jedinice DIE sagledavajući njihove komercijalne karakteristike. Portfelj jedinica DIE u PKVE mora odgovarati jedinicama u bazi podataka PTVE jer se u njoj jedinice grupiraju prema topološkim karakteristikama. Pripadnost jedinica DIE pojedinom PKVE, kao i njihov način i arhitektura spajanja na EE mrežu definiraju se u PTVE.

Konstantna interakcija između DMS sustava i PKVE nužna je kako bi DMS sustav mogao imati sve podatke o proizvodnji, prijenosu, distribuciji i na kraju potrošnji električne energije u EE mreži.

Osnovne funkcije PKVE su, [2]:

- a) Administriranje i prijava statičkih fizičkih karakteristika jedinica u virtualnoj elektrani,
- b) Administracija planiranih ispada i neplaniranih ispada za duge, srednje i kratke vremenske periode,
- c) Prognoziranje proizvodnje virtualne elektrane na temelju vremenske prognoze,
- d) Prognoziranje potražnje na temelju profila potrošača,
- e) Administriranje ispada potražnje,
- f) Generiranje ponuda, te licitacija za proizvodni kapacitet pojedinih jedinica u virtualnoj elektrani,
- g) Podnošenje licitacija na tržištu energije i ponuda uravnoteženja (pomoćnih usluga) za OPS,
- h) Ponovno optimiranje i uravnoteženje proizvodnje jedinica virtualne elektrane u stvarnom vremenu kako bi se sustigle fizičke reference rasporeda i na taj način smanjilo neuravnoteženje.

Jedna od zadaća PKVE je prodavanje električne energije na tržištu koju proizvodi virtualna elektrana. Imajući to na umu PKVE mora imati mogućnost sklapanja bilateralnih ugovora s drugim subjektima na tržištu energije ili mogućnost plasiranja energetske blokove na tržište neovisno o prethodno potpisanim ugovorima.

PKVE prikuplja agregirane rasporede dobivene od AVE te na temelju tih podataka može generirati ponudu rasporeda proizvodnje (P,€) koju plasira na tržište energije. Operator tržišta tu ponudu može odbiti, djelomično prihvatiti ili prihvatiti u cijelosti ovisno o situaciji na samom tržištu. Nakon što tržište odobri ponudu rasporeda proizvodnje virtualne elektrane, PKVE najavljuje svoj raspored proizvodnje za naredni dan PTVE.

### 2.4. Poslužitelj Tehničke Virtualne Elektrane (PTVE)

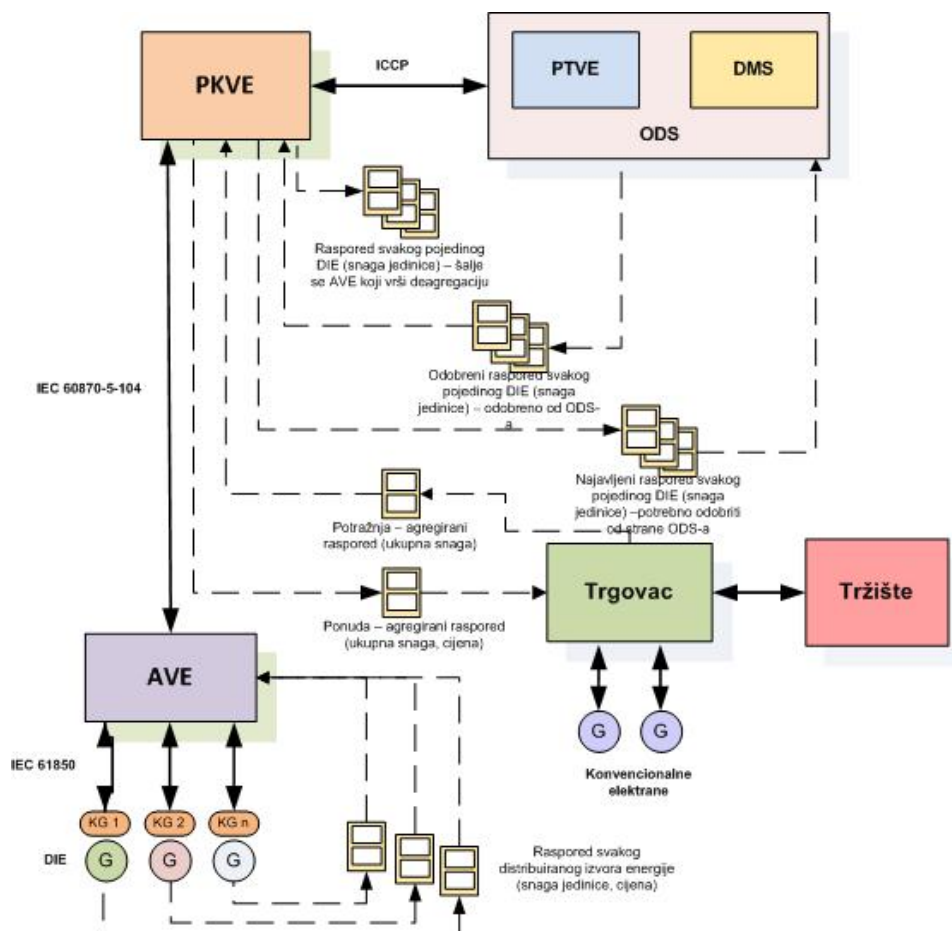
Poslužitelj Tehničke Virtualne Elektrane, prema ranijem opisu funkcija, nerazdvojan je dio SCADA/DMS sustava i u logično je da se nalazi kod Operatora Distribucijskog Sustava. Jedna od osnovnih funkcija PTVE je validacija i odobravanje rasporeda proizvodnje za naredni dan dobiven od PKVE.

PTVE, tj. ODS, dobiva najavljeni raspored proizvodnje virtualne elektrane za naredni dan od PKVE. Kako bi ODS mogao napraviti provjeru mogućnosti provedbe najavljenog rasporeda proizvodnje virtualne elektrane, moraju mu svi podaci biti dostupni u određeno vrijeme. Nakon što dobije sve podatke PTVE obavlja provjeru i validaciju najavljenog rasporeda proizvodnje. Nakon toga PTVE može prihvatiti najavljeni raspored PKVE, ako je moguće provesti ugovoreni raspored proizvodnje ili traži dodatnu reviziju istoga, ako nije u mogućnosti provesti kompletan ugovoreni raspored.

Imajući na umu prije navedeno, moguće je definirati osnovnu ulogu i funkciju PTVE:

- a) Provjera ostvarivosti najavljenih rasporeda proizvodnje virtualne elektrane unutar distribucijskog područja zasnovanog na prognoziranim situacijama potrošnje za naredni dan,
- b) U slučaju nemogućnosti provedbe najavljenog rasporeda proizvodnje od PKVE, generira prijedlog korektivnih akcija koje bi omogućile ostvarivu kombinaciju najavljenog rasporeda proizvodnje virtualne elektrane i mrežne konfiguracije za novo nastalu situaciju u mreži.

PTVE tada priprema odobrene rasporede proizvodnje virtualne elektrane i korektivne akcije sa tehničkog stajališta ostvarivosti najavljenih rasporeda proizvodnje u EE mreži. Rezultat je jedinstveni raspored proizvodnje koji sadrži revidirane rasporede proizvodnje svakog pojedinog DIE kao i sekvencu preklapanja u slučaju potrebe za korektivnim akcijama.



Slika 4. Prikaz tijeka informacija između sustava

Provjera najavljenih rasporeda proizvodnje vrši se za sve dijelove mreže u kojima se nalaze proizvodne jedinice KVE. Preduvjet da bi se takva provjera mogla obaviti je da su jedinice virtualne elektrane grupirane u PTVE prema njihovoj geografskoj lokaciji. Kada algoritam provjere javi pogrešku, tj. kada nije moguće provesti najavljen raspored proizvodnje virtualne elektrane, PTVE procjenjuje i generira korektivne akcije koje bi omogućile da EE mreža ostane u normalni operativnim granicama i za tako najavljen raspored proizvodnje. Korektivne akcije ODS-a sastoje se od:

- Topološke promjene u mreži (preklapanje mreže),
- Promjena postavnih vrijednosti naponskih regulatora u mreži,
- Promjena rasporeda proizvodnje jedinica DIE,
- Isključivanje tereta.

ODS mora biti neutralan u pogledu obrade i validacije najavljenih rasporeda pojedinih PKVE, što konkretno ima za posljedicu da se izmjene najavljenih rasporeda proizvodnje pojedine virtualne elektrane vrlo rijetko dešavaju, tj. rijetko im se pribjegava te imaju vrlo niski prioritet.

U istom smislu ODS mora biti neutralan prema kupcima (potrošačima) jer svi moraju dobiti energiju. Posljedica toga je da akcija isključivanja tereta predstavlja posljednju opciju korektivnih akcija.

Obično se radi toga korektivne akcije ODS moraju bazirati na interne maneuvre unutar distribucijskog područja kao što su topološke izmjene (preklapanje dijelova mreže) i promjene postavnih vrijednosti regulatora napona u mreži. Samo u slučaju da ove korektivne akcije nisu dovoljne ili nisu lako izvedive mogu se uzeti u obzir i druge metode.

Kada se odobreni rasporedi dobiveni od PKVE odobre i od strane ODS-a, ODS pokreće slanje odobrenih rasporeda proizvodnje virtualne elektrane operatoru prijenosnog sustava.

Odobreni rasporedi od strane PTVE ulaze u proceduru izvršavanja u PKVE. ODS mora promatrati i nadzirati izvođenje sekvence preklapanja u određenim najavljenim vremenskim periodima.

Da bi se provjerila tehnička ostvarivost predložene sekvence preklapanja prije samog njenog izvršenja, PTVE radi reviziju sekvence na nalog ODS-a. Provjera predložene sekvence preklapanja nužna je radi mogućih neočekivanih događaja ili promjena u mreži koje su nastale nakon samog odobrenja najavljenog rasporeda proizvodnje virtualne elektrane.

Zaključno ce mogu navesti sve funkcionalnosti PTVE:

- a) Evaluacija ostvarivosti najavljenih rasporeda proizvodnje pojedine jedinice virtualne elektrane koja su dobivene od PKVE i planiranje korektivnih akcija u slučaju neslaganja u distribucijskog mreži,
- b) Validacija rasporeda za slijedeći dan,
- c) Revizija rasporeda ODS-a za tekući dan,
- d) Procjena vremena maksimalnog opterećenjem sustava sa kojim se treba računati za buduće proračune,
- e) Alat za generiranje preklopnih procedura koje vrše rekonfiguraciju mreže na siguran način.

### 3. KOMUNIKACIJSKA INFRASTRUKTURA DESV VIRTUALNE ELEKTRANE

Kao osnova komunikacijske infrastrukture na razini postrojenja, dakle komunikacija od lokalnih upravljačkih uređaja pojedine jedinice u virtualnoj elektrani do KG, te razmjena podataka sa AVE, odabran je opće prihvaćeni standard razmjene podataka IEC 61850. Procesna IEC 61850 sabirnica danas je najrašireniji komunikacijski standard za razmjenu podataka između uređaja na nivou postrojenja EE mreže [3].

Prednosti komunikacijskog protokola IEC 61850 jest da je koncipiran kao mrežni protokol te na taj način omogućuje razmjenu velikog broja podataka relativno brzo između velikog broja uređaja. Inicijalno je bio zamišljen kao objektno orijentirani protokol za razmjenu informacija na nivou trafostanica, dakle razmjena podataka između staničnog računala i numeričkih releja i aparata. Posljedica toga je da sadrži veliki broj standardiziranih funkcija koje su specifične za trafostanice i postrojenja EE mreže.

Radi svih svojih karakteristika bio je logičan izbor za kvalitetan temelj komunikacijske infrastrukture DESV Virtualne elektrane. Za potrebe integracije DIE, skladište energije i upravljivih trošila razvijena je nadopuna standarda pod nazivom IEC61850-7-420, [4] koja opisuje modele objekata odn. logičke čvorove koje se konkretno odnose na DIE kao što su gorive ćelije, fotonaponske ćelije, mikroturbine, CHP i skladišta energije. Ovako definirani logički čvorovi potpuno su kompatibilni sa ostalim postojećim dijelovima standarda IEC 61850 i na taj način omogućuju razmjenu podataka na procesnoj sabirnici između lokalnih upravljačkih uređaja, mjernih uređaja, zaštitnih uređaja, aparata i samog KG.

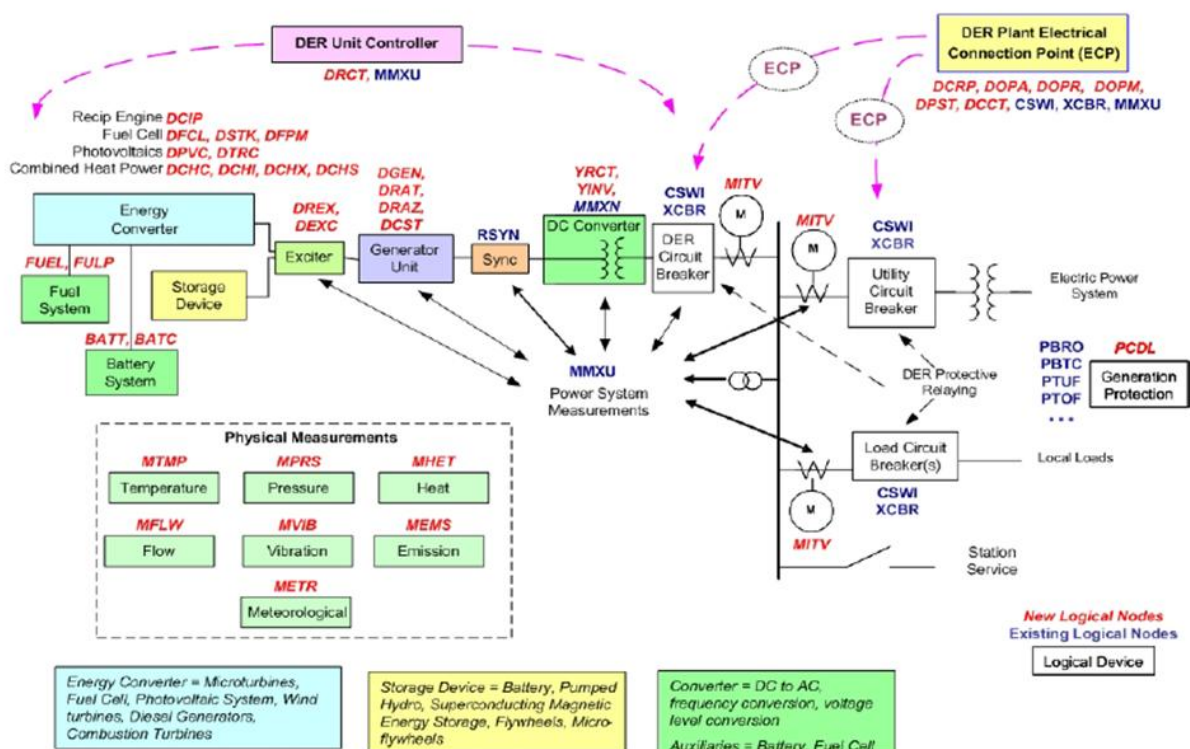
Razmjena podataka između KG i AVE također koristi model podataka definiran standardom IEC61850. Naime između većeg broja KG i samog AVE postoji zasebna IEC 61850 sabirnica koja služi za razmjenu podataka koji su bitni za rad virtualne elektrane kao što su podaci o bilanci energije koja se nalazi u virtualnoj elektrani.

Slika 5. prikazuje blok shemu osnovnih dijelova postrojenja DIE prema standardu IEC 61850. Na slici se jasno vidi koji sve fizički dijelovi čine upravljački uređaj DIE. Plavom bojom su označeni postojeći logički čvorovi u osnovnom standardu IEC 61850, dok su crvenom bojom (kosim slovima) označeni logički čvorovi koji se dodani i detaljno opisani u dodatku standarda IEC 6185-7-420 a odnose se samo na jedinice DIE [5].

Komunikacija između PKVE i AVE ne zahtjeva razmjenu velikog broja podataka te se na toj razini implementira klasična Master – Slave mrežna komunikacija prema IEC 60870-5-104 protokolu. IEC 60870-5-104 mrežni protokol jedan je od najraširenijih protokola koji služe za razmjenu osnovnih telekontrolnih poruka između dvaju sustava. Ovaj protokol je specifičan i omogućuje slanje relativno malog broja različitih tipova podataka kao npr. jednostrukih ili dvostrukih signala stanja uređaja, 32-bitnih brojila, skaliranih ili normaliziranih mjerenja, jednostrukih ili dvostrukih komandi i analognih postavnih vrijednosti.

Radi potreba razmjene podataka između PKVE i PTVE koristi se ICCP protokol koji je definiran za horizontalnu razmjenu podataka među ravnopravnim centrima vođenja.





Slika 5. Blok shema sustava DIE prema IEC 61850-7-420 standardu

#### 4. AUTONOMNA VIRTUALNA ELEKTRANA

Koncept autonomne virtualne elektrane predstavlja ideju energetske samodostatnosti određenog distribucijskog i geografskog područja unutar kojeg proizvodnja električne energije zadovoljava u potpunosti potrebe potrošača tog područja za električnom energijom. Znači, uz distribuirane izvore energije, u ovaj koncept su uključeni i svi potrošači tog područja koji su snabdijevani električnom energijom samo iz DIE unutar autonomne VE, naspram koncepta klasične VE gdje potrošači električnu energiju mogu kupovati i od drugih proizvođača električne energije. Također, klasična VE ne mora nužno sadržavati i spremnike energije.

Autonomna VE omogućuje tzv. otočni rad spomenutog dijela distribucijskog područja, gdje se višak proizvedene energije pohranjuje u spremnike, odnosno skladišta energije kako bi se pohranjena energija koristila kada proizvodnja električne energije ne pokriva njezinu potražnju. Također, viškovi energije (bilo proizvedene ili pohranjene) se, na temelju ekonomskih pokazatelja, mogu i prodavati na tržištu. Naravno, u slučaju značajnih problema u proizvodnji i/ili pohrani električne energije, autonomna VE može izaći iz otočnog rada i početi preuzimati energiju iz okolne mreže.

Sustav upravljanja i nadzora autonomne virtualne elektrane omogućuje njezin siguran i pouzdan rad u svakom trenutku, te se bazira najvećim dijelom na sustavu upravljanja i nadzora klasične virtualne elektrane koji je opisan u prethodnim poglavljima. Ono što je drugačije jest funkcionalnost planiranja implementirana na upravljačkoj razini agregatora virtualne elektrane ili komercijalne virtualne elektrane koja se temelji na činjenici da se planovi proizvodnje električne energije unutar autonomne VE baziraju prvenstveno na potražnji unutar same autonomne VE, dok se tek višak energije pohranjuje i/ili prodaje dalje na tržištu (električna energija se ne preuzima iz okolne mreže).

Implementacija koncepta autonomne virtualne elektrane je pogodna za dijelove distribucijskih područja koja sadrže DIE, a geografski i energetski tvore cjelinu poput stambenih naselja (npr., gradskih četvrti), turističkih naselja, otoka, proizvodnih pogona, farmi itd. Naravno, vrlo je vjerojatno objedinjavanje više spomenutih cjelina jednom autonomnom VE. Također, moguće su njezine primjene i za veće distribucijske cjeline od iznimne državne važnosti (npr., područja od iznimne turističke važnosti poput dubrovačke regije, Istre i sl.).



## 5. ZAKLJUČAK

U članku je dan opis arhitekture decentraliziranog sustava vođenja klasične i autonomne virtualne elektrane. Ovakav sustav zasnovan je na distribuiranim principima upravljanja distribuiranim izvorima energije koji je jedini moguće primijeniti na tako veliki broj različitih proizvodnih jedinica koje mogu biti i geografski dislocirane. Agregiranjem proizvodnih jedinica u jedinstvenu virtualnu elektranu omogućuje operaterima ODS-a i OPS-a da uvelike optimiraju vođenje EES-a korištenjem DIE na jednak način kao i korištenjem konvencionalnih izvora energije. Ovakav način vođenja ostvaruje mogućnost plasiranja visoko vrijednih pomoćnih usluga na specijalno tržište, a koje pod normalnim okolnostima mogu osigurati DIE virtualne elektrane u relativno kratkom vremenskom roku. Prednosti ovakvog sustava je brza i efikasna razmjena informacija na niskoj hijerarhijskoj razini između jedinica u virtualnoj elektrani i KG, tj. AVE. Razlog tome je korištenje komunikacijskog standarda IEC 61850 specijalno namijenjenog za EES.

## LITERATURA

- [1] B. Brestovec, M. Zečević, A. Previšić, „osnovna načela upravljanja distribuiranom proizvodnjom u pametnim mrežama budućnosti“, 9. savjetovanje HRO CIGRÉ, Zbornik radova, Cavtat, Hrvatska, 2009., referat broj C6-19177
- [2] D. Pudjianto, C. Ramsay, G. Strbac, „The Virtual Power Plant and System Integration of Distributed Energy Resources“, IET Renewable Power Generation Journal, 2007.
- [3] M. Sebastian, F. Gorgette, „Evolution of DSO control centre tools in order to maximize the value of aggregated distributed generation“, CIGRE, Paris, France, 2008. referat broj C6-106
- [4] J. Zhangand, C. A. Gunter, „IEC 61850 -Communication Networks and Systems in Substations:An Overview of Computer Science“, ILLINOIS SECURITY LAB, 2007
- [5] IEC 61850-7-420 Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-420: Basic communication structure – Distributed energy resources logical nodes