

SISTEM ZA UPRAVLJANJE VIRTUELNIM POSTROJENJEM ZA GENERISANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE I SISTEM ZA OTKUP ELEKTRIČNE ENERGIJE**SYSTEM FOR MANAGING VIRTUAL POWER PLANTS AND SYSTEM FOR MANAGING PURCHASEMENT OF ELECTRIC ENERGY**Andela Krstić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratka sadržaj – Virtualne elektrane predstavljaju jedno od tehnoloških rešenja koja omogućavaju uključivanje distribuiranih energetske resursa u elektroenergetski sistem što doprinosi ostvarivanju ekoloških ciljeva celokupnog sistema. Postoji veliki broj različitih definicija šta je tačno virtualna elektrana ali se sve u najvećoj meri slažu da je virtualna elektrana skup distribuiranih energetske resursa različitih vrsta, kontrolisanih sa jedne lokacije, koji se na tržištu električne energije posmatraju kao jedan generator tj. elektrana. Fokus ovog rada jeste prikaz jedne implementacije virtualnih elektrana i prikaz trgovine energijom. Korisnik VPP aplikacije ima mogućnost upravljanja generatorima, pregled generacije, pregled prodane energije i istorijskih podataka. Korisnik aplikacije za otkup energije ima mogućnost pregleda informacije o potrošnji, otkupljenoj energiji, energiji iz mreže, istorijskim podacima, finansijskim podacima, podacima o tokenima i upravljanju kriterijumom za otkup energije.

Glavne reči: Distribuirani energetske resursi, sistem za upravljanje distribuiranim energetske resursima, Virtualna elektrana

Abstract – Virtual power plants are one of the technological solutions that enable the inclusion of distributed energy resources in the power system, which contributes to environmental goals of the entire system. There are a number of different definitions of virtual power plants, but most agree that a virtual power plant consists of a set of distributed energy resources, of different types, controlled from one location, which are viewed on electricity market as one generator (power plant). The focus of this paper is to present an implementation of virtual power plant and an overview of energy trade. The user of VPP application has the ability to manage generators, view generation, sold energy and historical data. The user of energy trade application can view information about consumption, grid energy, bought energy, historical, financial and tokens data and change energy purchase criteria.

Keywords: Distributed energy resources, Distributed energy resources management system, Virtual Power Plants.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Aleksandar Bošković, docent.

1. UVOD

Električna mreža je jedna od najvećih i najkompleksnijih a istovremeno i najvažnijih mreža koje su ikada izgrađene. Njena namena je da obezbedi pouzdano napajanje električnom energijom koja je potrebna da potrošačke potrebe budu zadovoljene.

U prošlosti je cilj elektroenergetskog sistema bio zadovoljenje korisničkih potreba pouzdano, sigurno i ekonomično dok je poslednjih godina dodat i zahtev za ekološkom održivošću. Način na koji se električna energija u najvećoj meri trenutno generiše dovodi do proizvodnje velike količine gasova staklene bašte (*Greenhouse Gases - GHG*) što značajno utiče na globalno zagrevanje. Iz ovih razloga javlja se potreba za izvesnim promenama unutar elektroenergetskog sistema kao što su pojava *smart grid*-a, *micro grid*-a i virtualnih energetske postrojenja (*Virtual Power Plants -VPP*).

Fokus ovog rada jeste prikaz jedne implementacije virtualnih elektrana i prikaz trgovine energijom. U nastavku će koncept virtualnih elektrana biti podrobnije objašnjen.

2. PROMENE U MREŽI

Zbog različitih faktora, postalo je neophodno unaprediti postojeći elektroenergetski sistem i omogućiti distribuiranoj generaciji da se uključi u mrežu. Unapređenju elektroenergetskog sistema pomažu nove tehnologije kao što su distribuirani energetske resursi – *DER*-ovi, sistemi za upravljanje distribuiranim energetske resursima – *DERMS* (Distributed Energy Resources Management System), *Smart grid* – pametna mreža, *Micro grid*, *VPPs* – već pomenute virtualne elektrane.

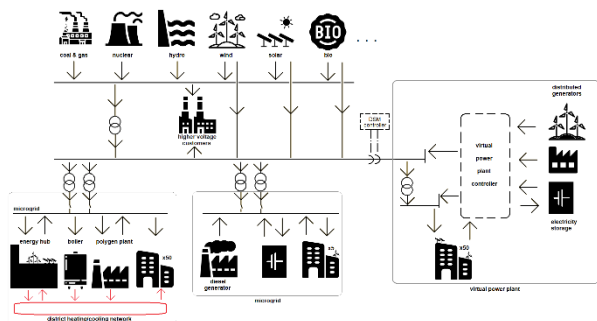
Jedan od glavnih razloga za izmenu elektroenergetskog sistema jeste distribuirana generacija. Ovaj pojam se odnosi na proizvodnju korisne energije blizu ili na samoj lokaciji upotrebe. Količina energije koju generišu je značajno manja od tipične elektrane.

VPP tehnologije imaju potencijal da pomognu mreži da prevaziđe niz izazova sa kojima se susreće kao što su manjak generacionih kapaciteta, prevencija ispada, upravljanje mrežom prilikom zagušenja.

Koncepti *microgrid*-a i *VPP*-a su nove metode dizajniranja elektroenergetskog sistema koji nude visoku pouzdanost, kvalitet, bezbednost i dostupnost električne energije društvu. Koncepti *VPP*-a i *microgrid*-a imaju zajedničku karakteristiku da su atraktivni kada je u pitanju koordinacija i integracija *DER*-ova u električnoj mreži.

VPP je forma agregacije DER-ova kod koje agregacija može biti virtualna odnosno bazirana na softveru. Time su geografske ograničenosti *microgrid*-a uklonjene, ali se gubi mogućnost ostrvskog izdvajanja. VPP se takođe može sastojati od više *microgrid*-ova.

Virtuelne elektrane (VPP-ovi) su koncept koji omogućava kontrolu velikog broja relativno malih energetske resursa i integrišu ih u operativnu energetske mrežu.



Slika 1. Izgled elektroenergetskog sistema nakon pojave VPP-ova

3. TECHNOLOGY STACK

Softversko rešenje koje je tema ovog rada implementirano je u programskom jeziku C# u okruženju Visual Studio 2019. Softversko rešenje sadrži dve zasebne web aplikacije pisane u ASP.Net Core framework-u.

3.1. ASP.NET Core

ASP.NET Core je besplatan open-source web framework i naslednik ASP.NET-a. Ovaj framework objedinjava prethodno razdvojeni ASP.NET MVC i ASP.NET Web API u jedan programski model. Iako je relativno nov framework ima visok stepen kompatibilnosti sa ASP.NET-om. ASP.NET Core omogućava pokretanje različitih aplikacija na istom računaru koje mogu gađati različite verzije ASP.NET Core (funkcionalnost koje nije bilo u ASP.NET-u).

3.2. Web aplikacije

Web aplikacija je softver koji se izvršava na web servisu, što ih razlikuje od računarskih softvera koji se izvršavaju lokalno, na operativnom sistemu. Ovim aplikacijama se pristupa preko web pretraživača (podrazumeva se postojanje aktivne internet konekcije). Primeri često korišćenih web aplikacija su web-mail, online banking, online prodavnice online aukcije. . .

Aplikacije se najčešće dele u logičke delove odnosno „slojeve“ gde svaki sloj ima svoju ulogu. Tradicionalne aplikacije sadrže samo jedan sloj, koji se izvršava na klijentskoj mašini, dok web aplikacije mogu često imati n slojeva. Iako postoji veliki broj varijacija, najčešća struktura podrazumeva tri nivoa (sloja). Ova tri sloja se najčešće nazivaju prezentacioni sloj, aplikacioni sloj i sloj čuvanja podataka (storage).

4. FUNKCIONALNA SPECIFIKACIJA APLIKACIJE

Projekat koji je je razmatran u ovom dokumentu sastoji se od aplikacije koja predstavlja VPP i aplikacije koja predstavlja kompaniju koja vrši otkup električne energije

od grupe VPP-ova. VPP-ovi kontrolišu distribuirane resurse koji mogu biti vetrogeneratori ili solarni paneli.

Projekat sadrži web aplikaciju za vlasnike VPP-ova, web aplikaciju preko koje dispečer u kompaniji koja se bavi otkupom energije može pratiti stanje, server kome se svi klijenti obraćaju (web API) i simulator (web API).

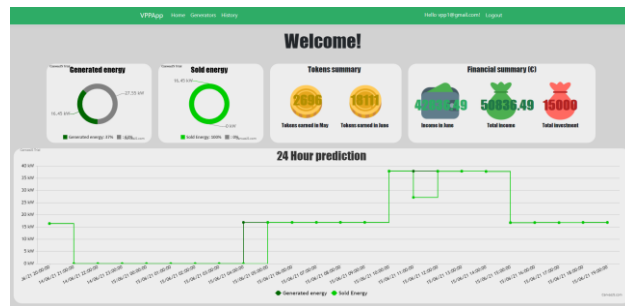
Server je iplementiran kao ASP.NET Core Web API, kao i simulator, dok su klijentske aplikacije implementirane kao ASP.NET Core Web App (MVC-Model View Controller) šablon.

Korisnici koji su ulogovani na VPP aplikaciju imaju mogućnost da prate informacije o generisanoj energiji, prodatoj energiji (za trenutni sat i predviđanje za naredna 24 sata), tokenima, finansijske podatke, istorijske podatke i manipulišu generatorima (izvršavaju funkcije dodavanja, brisanja i promene stanja).

Korisnici koji su ulogovani na aplikaciju za otkup električne energije mogu pratiti informacije o energiji kupljenoj od virtualnih postrojenja, energiji preuzetoj iz mreže (na nivou sata i predviđanje za naredna 24 sata), potrošnji, tokenima, finansijske podatke, istorijske podatke, pregledaju geografske lokacije generatora koji pripadaju virtualnim generacionim postrojenjima, dodaju nova virtualna postrojenja i menjaju kriterijum po kome će se vršiti izbor od kojih virtualnih postrojenja će električna energija biti otkupljivana.

5. REZULTATI

U nastavku teksta biće prikazani rezultati rada aplikacije u slučaju upravljanja pojedinačnim generatorom od strane virtualnog postrojenja, kao i rezultati rada aplikacije nakon izmene redosleda prioriteta VPP-ova prilikom otkupa električne energije.



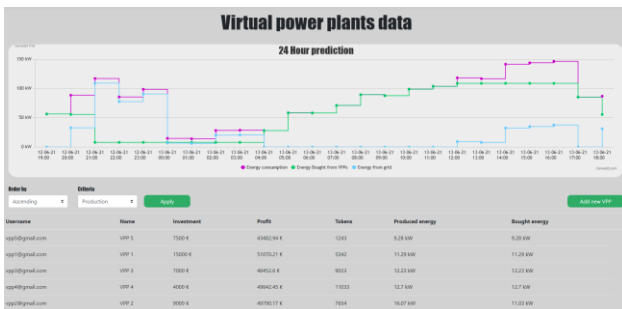
Slika 2. Izgled vrednosti na Home prozoru VPP aplikacije pre izmena

Na slici 2 se može videti stanje koje vlasnik VPP-a vidi pre izvršenja akcije nad jednim generatorom. Vrednost u sekciji *generated energy* je 16.45 kW. EDV korisnik u datom trenutku otkupljuje svu raspoloživu energiju koju VPP u primeru nudi, odnosno 16.45 kW. Generator koji će biti korišćen u demonstraciji pre izmene stanja ima vrednost proizvodnje 5.49 kW i njegovo stanje je upaljen. Nakon promene, njegovo stanje je ugašen, a vrednost proizvodnje je 0 kW. Nakon primenjene izmene, kriva predikcije je izmenila svoj izgled, vrednost proizvodnje u trenutnom satu je opala na 10.96 kW što je i stanje koje je vidljivo kompaniji za otkup električne energije. Kriva predikcije je takođe izmenjena i na strani kompanije koja otkupljuje električnu energiju.

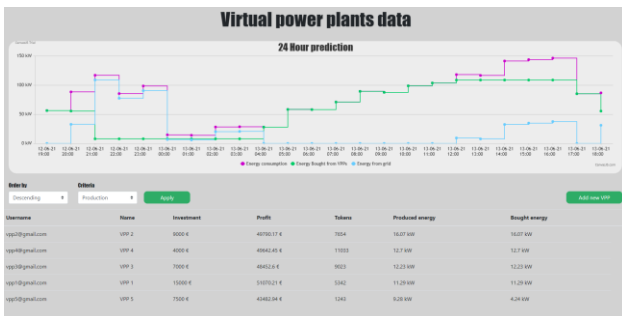


Slika 3. Stanje nakon primenjene izmene na Home prozoru VPP aplikacije

U slučaju da korisnik aplikacije za otkup energije želi da izmeni kriterijum po kome se energija otkupljuje od VPP-ova, to može učiniti izborom redosleda i kriterijuma na Virtual Power Plants prozoru.



Slika 4. Stanje i redosled pre primene filtera



Slika 5. Stanje i redosled nakon primene filtera

Nakon primene *descending* redosleda i *production* kriterijuma stanje je kao na slici 5. Redosled virtualnih postrojenja u listi je izmenjen u skladu sa odgovarajućim filterom.

6. ZAKLJUČAK

Električna enegija je neophodna za normalno funkcionisanje društva i zahtevi za njom konstantno rastu. Uporedo sa rastom zahteva za električnom energijom, raste potreba za očuvanjem životne sredine kao i ograničenja koja nameću zakonske regulative. U budućnosti neće biti dovoljno samo da potrebe potrošača budu zadovoljene, već će se ceniti i način na koji je električna energija proizvedena.

Sa razvojem moderne tehnologije u oblasti elektroenergetike stvaraju se nove mogućnosti za generisanje energije na način koji manje šteti životnoj sredini od tradicionalnih tehnologija. Razvoj modernih tehnologija omogućava veći stepen iskorišćenosti obnovljivih resursa po povoljnijim cenama što utiče na motivaciju ljudi i

kompanija da aktivno učestvuju u elektroenergetskom sistemu.

Pored toga što se zapaža trend rasta generisanja električne energije iz obnovljivih izvora, uvođenjem DER-ova, VPP-ova, sistema skladištenja električne energije i *micro grid*-ova u mrežu povećava se stabilnost mreže, samostalnost delova mreže i eliminiše se potreba za izgradnjom skupih *Peaker* postrojenja čija je svrha kratkotrajno generisanje energije u slučajevima kada potrošnja naglo poraste a sistem proizvodnje ne može dovoljno brzo da isprati promene.

Cilj rada je bio prikaz saradnje VPP-ova i kompanije koja se bavi otkupom električne energije. Buduća unapređenja na strani VPP aplikacije bi mogla biti podržavanje većeg broja tipova distribuiranih resursa, uvođenje optimizacija rada i kalkulatora koji bi prikazao za koji period bi bio moguć povrat investicije. Na strani koja se bavi otkupom energije unapređenja bi se mogla ogledati u vidu uvođenja koncepta ugovora kojim bi bile definisane vrednosti generacije, cena otkupa, cena tokena koji će se ostvarivati učešćem u proizvodnji. Moguće je proširenje i u vidu dinamičkih cena otkupa (u slučaju povezivanja sa tržištem energije) i dinamičkih cena tokena. Takođe, ukoliko zakon dozvoli, mogla bi se omogućiti međusobna trgovina energijom između VPP-ova.

Naredni korak koji bi u velikoj meri doprineo razvoju ovog rada bi bilo podržavanje baterija u sistemu. Sa podrškom baterija došlo bi do povećanja fleksibilnosti prodaje električne energije kao i smanjenja zavisnosti od mreže.

Jedan od benefita softverskog rešenja razmatranog u ovom radu jeste mogućnost kontinualnog razvoja aplikacija u više različitih smerova uz praćenje aktuelnih trendova u oblasti elektroenergetike.

7. LITERATURA

- [1] Johanna Lundkvist: Feasibility study of Virtual Power Plant Ludvika, 2013
- [2] Luc F.M van Summeren, Anna J.Wieczorek, Gunter J.T Bombaerts, Geert P.J Verbong : Community energy meets smart grids: Virtual Power Plants in Ireland, Belgium and Netherlands, 2020
- [3] Sergi Rotger-Griful, Virtual Power Plant for Residential Demand Response, 2014
- [4] Michal Jasinski, Tomasz Sikorski, Dominika Kaczorowska, Jacek Rezmer, Vishnu Suresh, Zbigniew Leonowicz, Paweł Kostyla, Jarosław Szymanda, Przemysław Janik : A Case Study on Power Quality in a Virtual Power Plant: Long Term Assessment and Global Index Application, 2020
- [5] Eko Adhi Setiawan: Concept and Controllability of Virtual Power Plant, 2007
- [6] Brecht Zwaenepoel: Drivers, Bottlenecks and Opportunities for Virtual Power Plants in Belgian Electricity System, 2016
- [7] Marco Pasetti, Stefano Rinaldi, Daniele Manerba: A Virtual Power Plant Architecture for the Demand-Side Management of Smart Prosumers, 2018
- [8] Shaun Howell, Yacine Rezgui, Jean-Laurent Hippolyte, Bajay Jayan, Haijiang Li: Towards the next generation of smart grids: Semaantic and Holonic multi-agent management of distributed energy resources, 2017

- [9] Tomas Olejnczak: Distributed Generation of Virtual Power Plants: Barriers and Solutions, 2011
- [10] Mudathir Funsho Akorede, Hashim Hizam, Edris Pouresmaeil: Distributed energy resources and benefits to the environment 2009
- [11] John Twidell, Tony Weir: Renewable Energy Resources, Third Edition, 2015
- [12] <https://docs.microsoft.com/en-us/>: Visual Studio 2019 Release Notes, 2021.

Kratka biografija:



Andela Krstić rođena je u Boru 1997. god. Nakon završetka srednje škole 2015. godine upisuje Fakultet tehničkih nauka, smer Primenjeno softversko inženjerstvo. Osnovne akademske studije završila je 2019. godine. Master akademske studije upisuje 2019. godine, smer Primenjeno softversko inženjerstvo.