



SOFTVERSKA PLATFORMA ZA ANALIZU PODATAKA O RADU SOLARNIH FOTONAPONSKIH SISTEMA

SOFTWARE PLATFORM FOR ANALYSIS OF DATA ON THE OPERATION OF SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

Aleksandar Magoč, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratka sadržaj – U radu je opisan značaj obnovljivih izvora energije, sa akcentom na solarnu energiju. Način na koji se pretvara solarna energija u električnu sa detaljima konfiguracije fotonaponskih elektrana je predstavljen. Opisan je sistem nadzora fotonaponskih elektrana. Razvijena je softverska platforma čijom primenom se pojednostavljuje detaljna analiza podataka sa invertora fotonaponske elektrane.

Ključne reči: Analza podataka, obnovljivi izvori, fotonaponske elektrane, softver platforma.

Abstract – This paper describes importance of renewable power sources, with focus on the solar power. Principle of transforming solar power to electrical power with details of configuration of solar power plants are presented. System for supervision of solar power plants is described. Software platform, which simplifies the detailed analysis of data from the solar inverter, is developed.

Keywords: Data analysis, renewable power sources, photovoltaic power plant, software platform.

1. UVOD

Obnovljivim izvorima energije smatraju se nekonvencionalni izvori energije koje nam je priroda dala u izobilju. Oni kao takvi, ne mogu da se potroše, odnosno konstantno se obnavljaju. Zbog trenutne energetske situacije u svetu povećava se interesovanje za energijom iz obnovljivih izvora. Broj stanovnika u na Zemlji raste, a samim tim i potreba za energijom. Dve milijardi ljudi ni dan danas nema pristup električnoj energiji, iako je dvadeset prvi vek.

Solarna energija je ekološki čist i sasvim obnovljiv izvor energije. Za razliku od fosilnih goriva solarna energija je gotovo svuda u svetu dostupna i najvažnije je da je besplatna. Energija sunčevog zračenja predstavlja veoma pogodan izvor energije za grejanje potrošne vode, u domaćinstvu ali i za dobijanje električne energije. Prednosti solarne energije su višestruke: Sunce je neiscrpan izvor energije, korišćenje solarne energije ne zagađuje (hemijski, radioaktivno, ili toplotno) okolinu.

Globalno, ponderisani prosečni troškovi električne energije fotonaponskih sistema opali su za 85% između 2010 i

2020 godine. Sa 0.381 USD po kilovat satu (kWh) na 0.057 USD po kilovat satu, te je godišnje smanjenje bilo oko 7%. Iako su mnoge energetske kompanije i dalje u krhkom finansijskom stanju, postoje znakovi da programeri koriste period predviđen prilagodljivom monetarnom politikom i podrškom vlade za planiranje razvoja infrastrukture i ulaganja u nove projekte.

Investicije u obnovljive izvore napredovale su na tržištima sa dobro uspostavljenim lancima snabdevanja ge su niži troškovi praćeni regulatornim okvirima koji omogućavaju vidljivost novčanog toka. Potražnja korporativnog sektora za čistom električnom energijom radi postizanja ciljeva održivosti takođe je odigrala svoju ulogu [1].

2. TIPIČNE KONFIGURACIJE SOLARNIH ELEKTRANA

Pomoću fotonaponskih panela energija Sunca se pretvara u električnu energiju putem fotonaponskog efekta. Fotonaponski paneli se sastoje solarnih fotonaponskih ćelija koje predstavljaju osnovne elemente svih fotonaponskih sistema. Solarne ćelije se danas uglavnom proizvode od monokristalnog i polikristalnog silicijuma. Savremeni fotonaponski paneli imaju visoku efikasnost, stabilnost i trajnost. Asortiman snage fotonaponskih panela od 10 - 500 Wp zadovoljava najširi opseg i služi za najrazličitije potrebe [2].

Zavisno o načinu rada u odnosu na energetska mrežu, postoje dve vrste fotonaponskih sistema:

1. Samostalni (autonomni),
2. Mrežni

Podela solarnih elektrana se vrši i prema tipu invertora koji se koristi te shodno tome postoje elektrane:

1. Centralizovane koncepcije,
2. String koncepcije i
3. Hibridne koncepcije.

Centralizovana koncepcija je česti izbor prilikom izgradnje fotonaponske elektrane. Formira se fotonaponski niz redno vezanih solarnih panela, time se postiže visoki napon. Ukoliko napon nije dovoljno visok potreban je transformator ili podizač napona. Bitno je voditi računa i o nivou snage, fotonaponski nizovi se povezuju paralelno pomoću string dioda. Centralizovana koncepcija pruža izlaznu snagu sistema i do nekoliko MW. Prednosti ove koncepcije je niža cena i jednostavno održavanje, ali ovakav sistem ima ograničenja. Nedostaci

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Boris Dumnić, van. prof.

su gubici koji se pojavljuju u string diodama, gubici u fotonaponskim modulima, gubici usled ne slaganja napona i gubici snage usled centralizovanog MPPT.

String koncepcija čini jedan fotonaponski niz sa jednim pretvaračem. Svaki niz ima svoj MPPT i time se povećava prinos energije tako što se smanjuje neusklađenost i gubici usled senke. Nije potreban podizač napona niti transformator jer je ulazni napon dovoljno visok. Ova koncepcija je pouzdanija od centralizovane koncepcije. Cena je niža jer je moguća masovna proizvodnja. Efikasnost ovog sistema je 1-3% veća u poređenju sa centralizovanim, nedostatak je povećani trošak zbog broja pretvarača.

Najnovija koncepcija fotonaponskih elektrana je hibridna koncepcija. Ona se primenjuje kod string invertora većih snaga (preko 50kW). Čvorišta se formiraju i na AC i na DC strani invertora. Ova koncepcija predstavlja dalji razvoj string invertora. Kod ove koncepcije nekoliko nizova su povezani sa sopstvenim DC/DC pretvaračem u zajednički DC/AC inverter. Svaki niz se može kontrolisati pojedinačno što je efikasnije nego kod centralizovanog sistema. Hibridni sistem kombinuje prednosti centralizovane i string tehnologije [3].

3. NADZOR NAD RADOM SOLARNIH FOTONAPONSKIH ELEKTRANA

Aurora vision je portal za upravljanje sa postrojenjima koji omogućava:

- Pregled elektrana koje se posmatraju,
- Pregled njihovog trenutnog stanja,
- Pregled zbirne statistike proizvodnje,
- Pregled evidencije događaja
- Detaljne informacije o greškama.

Primarni alat ovog softvera je Menadžer elektrane. Pomoću njega se napravi nalog i dodaju željene elektrane. Postoji mogućnost da informacije o postrojenju budu javne ili privatne.

Menadžer elektrane pruža stalnu vidljivost performansi elektrane. Mogućnost posmatranja više elektrana sa detaljima o njihovoj lokaciji, veličini sistema i geografske lokacije. Tačna lokacija se vrši pomoću Google mapa.



Slika 1. Menadžer elektrane, pregled elektrana

Aurora Vision portal se pokazao kao vrlo koristan alat inženjerima koji nadziru jednu ili više elektrana. U svakom trenutku može se proveriti proizvodnja kao i stanje sistema. Ukoliko se nešto desi i elektrana prestane

sa radom, *Aurora* informiše službu održavanja ili vlasnika. Svaki događaj se memoriše, te se može pregledati i istorija događaja što je vrlo korisno ukoliko se neke greške ponavljaju [4].

4. REALIZACIJA SOFTVERSKJE PLATFORME ZA ANALIZU PODATAKA

Aurora portal se koristi i u našoj zemlji. Inženjeri koriste portal za praćenje rada kako fotonaponskih tako i drugih elektrana. Podaci sa invertora elektrane se snimaju na svakih 15 minuta, što znači da u toku jednog dana memorišu se 96 puta informacije kao što su generisana snaga, generisana energija, napon i struja na AC ili na DC strani i druge. Kako se snimanje vrši svaki dan baza podataka je po prilično velikog formata. Iz tog razloga zgodno je napraviti sopstveni softver pomoću kojeg će se moći analizirati podaci o radu elektrane i na osnovu njih izvlačiti odgovarajući zaključci i uočavati problemi u radu fotonaponskih sistema.

Tema rada jeste kreirati softver pomoću kojeg će se baza podataka preuzeta sa *Aurora* portala u vidu Excel dokumenta analizirati, tj softver će memorisane podatke predstaviti u vidu grafičkog prikaza. Prikazivaće se razni podaci u periodu vremena od jednog dana, mesec dana, više meseci, cela godina i mogućnost prikaza više godina. Korisnik će moći:

- Da se kreće po iscrtanom grafiku i vidi tačne vrednosti u željenim tačkama,
- Imaće mogućnost zumiranja određenog perioda radi uočavanja raznih promena,
- Mogućnost snimanja željenog grafičkog prikaza.

Za izradu ovog softvera koristiće se programski jezik Pajton (eng. *Python*).

4.1. Programski jezik Python

Programski jezik *Python* nastao je početkom devedesetih godina, njegov autor je Gvido van Rosum. *Python* je razvijen u Holandiji na Nacionalnom institutu za matematiku i kompjuterske nauke, njegova sintaksa omogućava pisanje veoma preglednih programa i vrlo je lak za razumevanje. Vrlo brzo programski jezik stekao je veliku popularnost, njegova autorska prava drži neprofitna organizacija tako da se on može koristiti besplatno u bilo koje svrhe.

Koristi za automatizaciju i skriptovanje. Automatizuje se interakcija sa veb pretraživačima ili GUI-jevima (GUI-Graphical user interface), koristi se za opšte programiranje aplikacija, primenjuje se u nauci o podacima za mašinsko obučavanje, koristi se za metaprogramiranje. Treba pomenuti da postoje i zadaci za koje *Python* nije pogodan, njime nije pogodno programirati sistem izbegavati upravljačke programe uređaja ili jezgro operativnog sistema, nije pogodan u situacijama kada se pozivaju binarne platforme, a najveća mana *Python*-a jeste njegova brzina izvršavanja aplikacije (u tom slučaju koriste se C ili C++). Količina vremena potrebnog da se izvrši program napisan u *Python*-u je nadoknađena vremenom ušteđenim u razvojnom procesu programa pomoću *Python*-a. Može pisati raznim tekst

editorima kao što su: Notepad, Notepad++, PyCharm, VS Code, Sublime text editor [5].

4.2. Realizacija alata za analizu podataka

Alat za analizu podataka sa solarne elektrane je razvijen u programskom jeziku *Python*. *Python* je trenutno jedan od najpogodnijih programskih jezika za analizu podataka. Pored toga što je relativno jednostavan, a tako praktičan i rasprostranjen to je jedan od razloga zašto je ovaj alat pisan u programskom jeziku *Python*.

Kao podrška za vizuelni prikaz i sam korisnički interfejs korišćen je PyQt5 paket za *Python* koji je pored PySide jedna od besplatnih verzija Qt programa, sa malim razlikama u korisničkoj licenci.

Alat je pravljen za specifičan format baze podataka prikupljen sa Aurora portala u cilju mogućnosti primene alata nad bilo kojom bazom podataka prikupljene pomoću Aurora portala. Ukoliko bi se bilo koja baza podataka svela na isti format kao sa Aurora portala, ovim alatom bi se mogla izvršiti željena grafička analiza. Za razvoj alata koristi se biblioteka Pandas koja pruža visoke performanse u procesu analize baza podataka na pojednostavljen način. Kôd za grafički korisnički interfejs (GUI) pisan u *Python* programskom jeziku uz biblioteku PyQt se poziva kao klasa. Metode te klase predstavljaju funkcije samog korisničkog interfejsa.

5. ANALIZA PODATAKA POMOĆU RAZVIJENOG SOFTVERA

Fotonaponska elektrana čije informacije su bile na Aurora portalu nalazi se na teritoriji opštine Kikinda u selu Sajan. Snaga elektrane je 536kW sa položajem severne geografske širine 45° 50' i istočne geografske dužine 20° 17'.



Slika 2. Fotonaponska elektrana Sajan

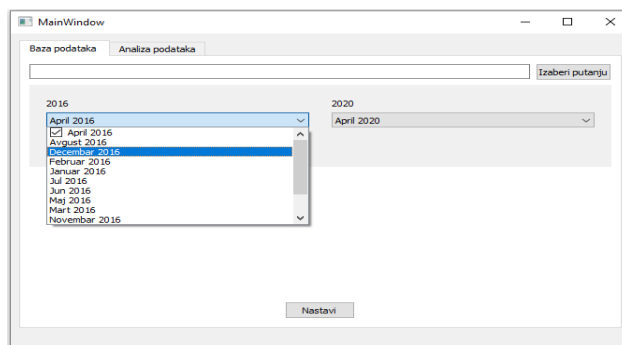
Elektrana poseduje transformator sa svom zaštitnom i sklopnom opremom radi priključivanja na distributivni sistem električne energije. Tokom dana elektrana snabdeva distributivnu mrežu sa energijom i napaja domaćinstva.

5.1. Opis rada softvera za analizu

Grafički korisnički interfejs (GUI) je osmišljen i realizovan tako da bude što jednostavniji za upotrebu krajnjem korisniku, slika 3.

Prozor sadrži dve kartice, „Bazu podataka” koja je inicijalno otvorena i „Analiza podataka”. Prvo što je potrebno uraditi jeste da se učitaju podaci, odnosno da se učita baza podataka. Klikom na dugme „Izaberi putanju” otvoriće se prozor pomoću kojeg je potrebno doći do

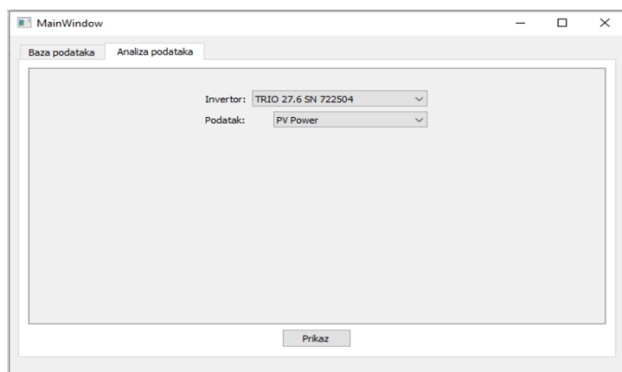
željene lokacije gde su locirani Excel dokumenti koji su prethodno snimljeni sa Aurora portala. Kako bi se počela analiza, na padajućem meniju izvrši se selekcija meseci za koje želimo da uradimo analizu, levim klikom miša pojavice se kvačica koja nam potvrđuje odabir željenih meseci. Izbor može biti jedan mesec, svi ili više meseci.



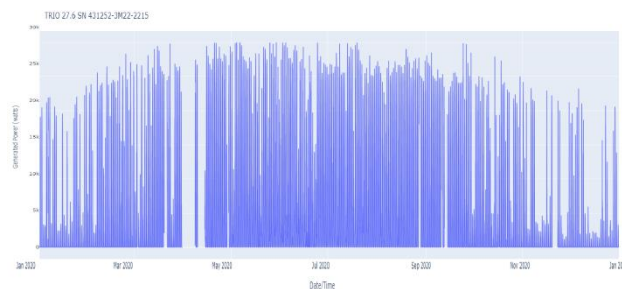
Slika 3. Glavni prozor nakon učitane baze podataka

Kada je odabran željeni mesec sa kojim će se početi analiza, klikom na dugme „Nastavi” prelazi se na karticu „Analiza podataka”. Zbog velikog obima baze podataka biće potrebno malo vremena da se podaci obrade, pogotovo ako se izabere posmatranje cele godine. Na brzinu učitavanja baze utiču i performanse računara na kojem se pokreće program, slika 4. i slika 5.

Program uđe u Excel tabelu, proveri sve kartice koje zapravo predstavljaju različite invertore i na svakoj kartici od svakog invertora preuzme sve snimljene podatke. Na ovaj način postoji mogućnost odabira invertora čije podatke želimo da analiziramo i koji podatak od izabranog invertora želimo da analiziramo. Ove dve opcije su takođe predstavljene pomoću padajućeg menija, biramo šta želimo da analiziramo i na kojem invertoru.



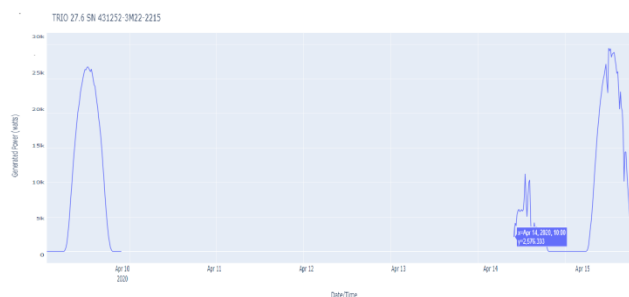
Slika 4. Prikaz kartice analize podataka



Slika 5. Grafički prikaz generisane snage za celu 2020 godinu

Kada se prikaže jedan mesec po X osi prvo će se videti dani u mesecu, a kada se zumira jedan poseban dan videće se prikaz u minutama. Na Y osi biće prikazani željeni podatak analize. Koje sve podatke možemo posmatrati zavisi šta se sve prati i memoriše sa invertora.

Kretanjem kroz grafik uz pomoć uveličavanja željenog perioda može se detaljnije videti kada je proizvodnja stala i kada se vratila. Kada se kursom miša dotakne linija podataka, pojavice se pravougaonik sa detaljima u toj tački.



Slika 6. Grafički prikaz nestanka proizvodnje u aprilu sa povratkom proizvodnje

Alat je vrlo jednostavan za korišćenje i praktičan. Funkcionalan je za sve podatke koje *Aurora portal* memoriše. Vrlo bitna karakteristika jeste to što nije ograničen brojem podataka koji se analiziraju kao na primer Excel.

6. ZAKLJUČAK

Ideja ovog rada je nastala na master studijama kada je bilo potrebno da se analiziraju podaci dobijeni sa fotonaponske elektrane. Baza podataka nije bila velika i uz pomoć Excela zadatak analize je bio ispunjen. Ozbiljne analize zahtevaju duži period posmatranja rada elektrane, a time se utiče i na veličinu baze podataka. Glavni doprinos ovog rada je kreiran softver pomoću kojeg se uspešno dolazi do kvalitetnih podataka u različitim vremenskim okvirima (godišnjem, sezonskom, mesečnom i dnevnom nivou), neophodnih za donošenje zaključaka o eventualnim nastalim zastojevima na radu panela. Ova platforma omogućuje bolji pristup i analizu podataka od komercijalna rešenja, jer je prilagodljiva za bilo koju elektranu. Kada se baza učita za svega par trenutaka mogu se predstaviti grafički prikazi raznih podataka i početi analiza radi otkrivanja potencijalnih grešaka i problema u radu elektrane.

Sam eksperiment će sigurno uticati na poboljšanje rada prikazanog softvera, potencijalnog razvoja i daljeg usavršavanja. Sa ovim softverom moguće je u budućem periodu stvoriti i dodatne funkcije koje bi uticale na poboljšanje rada elektrane, a samim tim bi se smanjio i trošak njihovog održavanja.

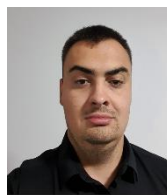
7. LITERATURA

- [1] „Energija za budućnost.” 2017, dostupno na: <http://www.astronomija.org.rs/nauka/fizika/2427-energija-za-budunost>
- [2] E. Romero-Cadaval, G. Spagnuolo, L. G. Franquelo, C. A. Ramos-Paja, T. Suntio, and W. M. Xiao, „Grid-Connected Photovoltaic Generation Plants: Components and Operation,” *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol. 7, no. 3, pp. 6–20, Sep. 2013, doi: 10.1109/MIE.2013.2264540.
- [3] L. Hassaine, E. OLias, J. Quintero, and V. Salas, „Overview of power inverter topologies and control structures for grid connected photovoltaic systems,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 30, pp. 796–807, Feb. 2014, doi: 10.1016/j.rser.2013.11.005.
- [4] „Plant Portfolio Manager- Aurora Vision platform” 2021, dostupno na: <https://www.fimer.com/aurora-vision-plant-management-platform/plant-portfolio-manager>
- [5] „Python” 2021, dostupno na: [https://en.wikipedia.org/wiki/Python_\(programming_language\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Python_(programming_language))

Kratka biografija:

Aleksandar Magoč rođen je u Vrbasu 1992. godine. Osnovne akademske studija uspio je 2011 godine na Fakultetu tehničkih nauka, studijski program Energetika, elektronika i telekomunikacije. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Elektroenergetski sistemi odbranio 2017. godine. Master studije upisao je 2017. godine.

Kontakt: alexmagic53@gmail.com



Boris Dumnić rođen je 1976. godine. Zaposlen je na Fakultetu tehničkih nauka, Departmanu za energetiku, elektroniku i telekomunikacije, Katedri za energetsku elektroniku i pretvarače. Oblasti interesovanja su mu električne mašine, pogoni, energetska elektronika i obnovljivi izvori električne energije.

