

PREGLED RASPOLOŽIVOG SOFTVERA ZA SOLARNE FN ELEKRANE OVERVIEW OF AVAILABLE SOFTWARE FOR SOLAR PV POWER PLANTS

Žolt Kančar, Aleksandar Stanisavljević, Vladimir A. Katić,
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu opisano je nekoliko softverskih alata za simulaciju fotonaponskih (FN) sistema. U cilju nastavka prethodnih istraživanja na temu komparacije FN softvera zadate su njihove karakteristike na osnovu kojih je po datim kriterijumima izvršena komparacija. Zatim je urađena simulacija u softveru koji se pokazao kao softver sa najvećim dijapazonom opcija na lokaciji u vlasništvu prvog autora. Rezultati ukazuju na pogodnost i dobar prikaz simulacije.

Ključne reči: softveri, solarni paneli, fotonaponski sistemi, simulacija.

Abstract – In this paper, several software tools for the simulation of photovoltaic (PV) systems are described. In order to continue the previous research on the topic of comparison of PV software, their characteristics are given, on the basis of which the comparison was made according to the given criteria. Then a simulation was done in the software that turned out to be the software with the largest range of options at the site owned by the first author. The results indicate the convenience and good representation of the simulation.

Keywords: Solar energy, PV power plants, Software tools.

1. UVOD

Pod pojmom solarna energija podrazumevamo energiju sunčevog zračenja koju primećujemo u obliku svetlosti i toplote kojom nas naša zvezda svakodnevno obasipa. Sunce je najveći izvor energije na Zemlji. Sem neposrednog zračenja koje greje Zemljinu površinu i stvara klimatske uslove u svim pojasevima, ovo zračenje je odgovorno i za stalno obnavljanje energije vetra, morskih struja, talasa, vodnih tokova i termalnog gradijenta u okeanima. S obzirom na svoju prirodu i dostupnost, ovo zračenje se smatra „čistim“ i obnovljivim izvorom energije [1].

U sklopu borbe protiv emisije štetnih gasova, koji uzrokuju klimatske promene, poslednjih godina se sve više podstiče, planira i realizuje korišćenje ovakvih izvora energije. Tradicionalni način je dobijanje termalne energije, dok je napredan neposredna proizvodnja električne energije korišćenjem fotonaponskog (FN) efekta u poluprovodničkim FN ćelijama.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Aleksandar Stanisavljević.

Zbog malog izlaznog napona i snage FN ćelije, one se grupišu serijskim i paralelnim vezama u FN module, odnosno u jedinice veće snage, FN panele. Današnji FN paneli su snaga između 250 W i 700 W standardnih dimenzija i zauzimaju površinu od oko 6 m²/kW.

Grupisanjem FN panela u nizove (*string*) i njihovim paralelnim vezivanjem formiraju se FN elektrane, koje su snaga od nekoliko kW do više MW i zauzimaju velike površine (oko 1-1,5 ha/MW). Kako se FN elektrane ubrzano grade svuda po svetu, FN sistemi se moraju dalje poboljšavati. U tom smislu važna komponenta je razvoj odgovarajućih softverskih alata za određivanje solarnog potencijala i prognoziranje proizvodnje električne energije, te projektovanje samih FN sistema, odnosno FN elektrana [2]. Solarni potencijal predstavlja raspoloživu solarnu energiju, koja je dostupna na površini Zemlje i on zavisi od niza parametara, ali prvenstveno od lokacije. Za pretvaranje solarne u električnu energiju, bitan faktor je i tip i kvalitet FN ćelije, njena efikasnost, upadni pravac solarnog zračenja na FN panel, temperatura FN ćelije, njen životni vek i dr. Ovi parametri se koriste za prognoziranje, odnosno procenu očekivane proizvodnje električne energije datog FN sistema, korišćenjem odgovarajućeg modela performansi. Upotreba simulacionih softverskih paketa je popularna tehnika i alat, jer ne samo da omogućava korisnicima da modeluju, već i da analiziraju FN sisteme, njihovu proizvodnju i da daju dugoročnu prognozu.

Cilj rada jeste da izvrši komparaciju raspoloživih softverskih alata uvažavajući specifične, originalno definisane kriterijume njihove upotrebe u FN sistemima.

2. KRATAK PREGLED LITERATURE

U literaturi, i na različitim Internet portalima i stranicama pojavljuje se veliki broj prikaza i poređenja različitih softvera, odnosno softverskih alata za FN sisteme. Oni daju pregled i upoređenje karakteristika raspoloživih, komercijalnih softverskih alata, te niz praktičnih primera primene. U ovom ograničenom prostoru, nije ih moguće sve pomenuti i objasniti, pa će u nastavku biti predstavljeni samo prikazi iz naučne literature objavljeni u poslednjem periodu i to sa studentskim pogledom na ovu problematiku.

U [3] je dat pregled deset različitih FN softvera sa ciljem da korisnik lakše izabere softver koji će obezbediti dobijanje najpreciznijih podataka za simulaciju, ekonomsku evaluaciju, analizu i planiranje FN sistema.

U [4] je rangirano čak 12 savremenih FN softvera. Osnovni kriterijum je bio dostupnost softverskih paketa

za korisnika, kao i odnos cene i kvaliteta. Najbolje je ocenjen Solar Labs softver.

Značajan doprinos istraživanju dat je u [5] gde je urađena simulacija FN elektrane u Nišu korišćenjem 14 softvera. Cilj je bio da se kroz poređenje primene u konkretnom slučaju dođe do softvera, koji u najvećoj meri oslikava realnost. Rezultati su pokazali da se najmanje odstupanje od realno merenih podataka dobijalo primenom softverskog paketa SolarPro.

Problematika izbora najboljeg softvera za dizajn i projektovanje FN sistema se već duže vremena intenzivnije istražuje i na Fakultetu tehničkih nauka (FTN) u Novom Sadu. Ova institucija prednjači u primeni solarne energije, tako da su značajna istraživanja urađena u ranijem periodu [6], a prva FN elektrana priključena u elektroenergetski sistem Srbije bila je izgrađena i postavljena još 2011. god. na krovu FTN [7]. U nastavku je dat pregled najznačajnijih rezultata:

U [8] je predstavljeno stanje u ponudi softverskih alata vezano za simulaciju pretvaračkog dela FN elektrane, kao i njihovih glavnih proizvođača. Urađeno je poređenje 17 softvera, s tim da su kriterijumi bili cena (sa najvećom težinom), broj komponenti, memorija, vreme učenja i opšti utisak. Kao najbolji, proglašen je PSIM firme Powersim Inc.

U [9] je urađena komparacija FN softvera upoređivanjem dostupnih paketa. Kriterijum je bio da je omogućen besplatan pristup, ali da dostupni alati zadovoljavaju sve potrebne performace u vezi simulacije solarnog zračenja i projektovanja FN elektrana. Razmatrano je pet softvera (Sunny Design, Profotonapsis, PVSyst, Homer i PV Sol) po kriterijumima cene, izvora meteo podataka, praćenja (tracking), senčenja, prezentiranja izlaznih podataka, raspoloživosti modula i izbora FN invertora, vremenu učenja i na opšteg utiska. Nakon komparacije, autori su utvrdili da je Sunny Design najpovoljniji softver za planiranje FN elektrana.

Nova komparacija softvera PVGIS, RetScreen, PvPlanner, Homer, PVSyst i System Advisor Model (SAM) izvršena je u [10]. Korišćeni su kriterijumi funkcionalnosti, korisničkog interfejsa, obimnosti baze podataka o vremenskim uslovima, sveobuhvatnosti biblioteka modula i invertora, te dostupnosti i cene softvera. Najbolje je ocenjen softver Pvsyst, koji je iskorišćen za simulaciju FN elektrane na krovu FTN, a rezultati simulacije verifikovani sa merenim.

Slična tema je obrađena u [11], gde je urađena komparacija čak 11 softvera: PV*SOL premium 2018 (R6), PVSyst 6, RETScreen, Solmetric, BlueSol, HOMER Pro 3.11, PVSize, PV-F Chart, PVGIS 5, Polysun 10.2 i Sunny Design Web. Softveri su rangirani i ocenjivani po kriterijumima: operativni sistem, jezici, systemske opcije, sistemi za praćenje kretanja Sunca, parametri lokacije sistema, vremenski podaci, mesto montiranja, gubici, senčenje, ekonomska analiza, opcija izbora baterija. Najbolje je rangirani softver PV*SOL premium 2018 (R6), a u radu je dat i jedan primer primene.

Različito predloženih optimalnih softvera nameće potrebu da se uradi još jedno poređenje, ali sa najnovijim dostupnim verzijama softvera. Traženi su popularni softveri koje se mogu koristiti i na online i na offline platformama kao i oni koji imaju širok dijapazon opcija.

Odabrano je osam najnaprednijih softverskih alata, koji su zatim detaljnije analizirani.

3. SOFTVERI ZA PLANIRANJE FN SISTEMA

U nastavku će ukratko biti predstavljeno 8 softvera, s tim da se detaljniji prikaz može naći u [8], gde su svi softveri dati kroz najvažnije karakteristike.

3.1. Pvsyst 7.3

PVSyst je najrasprostranjeniji softver za simulaciju solarne energije za procenu prinosa energije i za optimalno projektovanje solarnih elektrana. PVSyst koristi prošireno znanje o fotonaponskoj tehnologiji, podacima o resursima meteorološkog zračenja i komponentama fotonaponskog sistema. PVSyst nudi dve vrste solarne simulacije, preliminarni i projektni dizajn. U režimu preliminarnog dizajna procene proizvodnje sistema se izvode veoma brzo u mesečnim vrednostima, koristeći samo vrlo malo opštih karakteristika sistema ili parametara, bez preciziranja stvarnih komponenti sistema.

3.2. Homer

Homer (Hibrid Optimization Model for Electric Renewables) je razvijen kompjuterski model 1992. godine od strane američke Nacionalne laboratorije za obnovljivu energiju (NREL) da pomogne u projektovanju mikroenergetskih sistema i da se olakša poređenje tehnologija za proizvodnju električne energije. Homer modelira fizičko ponašanje elektroenergetskog sistema i procenu njegovog životnog ciklusa, što je ukupna procena instaliranja i rada sistema tokom njegovog životnog veka. Homer simulira i optimizuje samostalne i mrežne sisteme za napajanje koji se sastoje od bilo koje kombinacije PV nizova. Simulacija uzima u obzir vremenski period od 1 godine koristeći minimalni vremenski korak od 1 minuta. To omogućuje analitičaru da uradi bilo kakve analize i da istražuje slučaje neizvesnosti ili promene ulaznih varijabli.

3.3. BlueSol 4

BlueSol je profesionalni alat za projektovanje fotonaponskih sistema. BlueSol pojednostavljuje projektovanje fotonaponskih postrojenja, pomažući korisniku u svim fazama projektovanja, počev od dimenzionisanja sistema do realizacije dokumentacije. Podržava dizajn i optimizaciju, kako tehničku tako i finansijsku, svakog tipa fotonaponskih sistema. Postoje systemske opcije u vidu: sistemi povezani na mrežu, samostalni sistemi, sistemi povezani na mrežu sa skladištenjem baterija spojenih naizmeničnom strujom, sistemi povezani na mrežu sa DC-spregnutim skladištem baterija

3.4. RETScreen

Kao kvalitetno i širokoobuhvatno softversko rešenje danas se nudi RETScreen, preveden na 36 jezika, sa širokom lepezom pokrivenih obnovljivih izvora energije. Posebno se ističe mogućnost obračunavanja energetske efikasnosti, hlađenja, zagrevanja, pored dobijanja električne energije, što može itekako pomoći energetskim menadžerima i inženjerima. Pri projektovanju u softveru RETScreen postoje opcije u vidu odabira lokacije, objekta, energije, troškova, emisije kao i analiza rizika i osetljivosti.

3.5. HelioScope

HelioScope softver je u osnovi baziran na internetu. To je softver gde je potreban početni unos podataka o geografskoj dužini i širini područja ili unos podatak je moguć i preko ukucavanja tačnog naziva područja geografske lokacije. Takođe, izbor odgovarajućeg tipa panela i invertera, kao i kompletan raspored postrojenja se generiše automatski sa svim relevantnim podacima kao što je izlazna snaga gubitak sistema, energija u mreži, broj modula, pretvarači, grupisanje panela itd. Ukratko, može se reći da ovaj softver automatski proizvodi dizajn rasporeda značajnih komponenti.

3.6. Pylon

Pylon je softver za solarni dizajn zasnovan na webu koji su izradili solarni inženjer N. Zheng i programer D. Buckmaster 2016. god. Pylon je došao na tržište solarne industrije da popuni prazninu u softverima za solarni dizajn. Ispostavilo se da je lakši, pristupačniji za korišćenje od ostalih. Softver je veoma lak za korišćenje i ima sve funkcije koje su potrebne projektantima solarnih elektrana. Pylon je dizajniran neverovatno intuitivan i moderan. Dizajn je elegantan i lak za navigaciju, što čini projektovanje solarnog sistema lakim.

3.7. System Advisor Model (SAM)

SAM je tehnno-ekonomski računarski model dizajniran da olakša ljudima donošenje odluka koje su uključeni u industriju obnovljive energije. Da biste modelirali projekat obnovljive energije u SAM-u, birate model performansi ili finansijski model i dodeljuje se vrednost ulaznim varijablama kao što su lokacija projekta, vrsta opreme u sistemu, cena instalacije i rada sistema, kao i finansijske pretpostavke. SAM-ovi modeli performansi pokreću simulacije kako bi izračunali električnu snagu sistema za napajanje. Finansijski model koristi izlaz sistema za izračunavanje godišnjih novčanih tokova projekta i finansijske metrike.

3.8. PV*SOL premium 2023

Sa PV*SOL premium, industrijskim standardom za programe fotonaponskog dizajna, možete dizajnirati i simulirati sve vrste modernih fotonaponskih sistema. Od malog krovnog sistema sa nekoliko modula do sistema srednje veličine na komercijalnim krovovima do velikih solarnih parkova. PV*SOL premium vas podržava sa brojnim alatima za dizajn i simulaciju. Jedinstvena 3D vizualizacija je vrhunac PV*SOL premium softvera. Nudi vizualizaciju svih uobičajenih tipova sistema u 3D, bilo da su integrisani u krov ili na krov, bilo na malim krovovima, velikim industrijskim halama ili otvorenim prostorima.

Tabela 1. Rezultati komparativne analize

	Softveri	Bodovi
1	BlueSol 4	51
2	PV*SOL premium 2023	46
3	System Advisor Model (SAM)	39
4	Pvsyst 7.3	37
5	Homer Pro 3.14 HelioScope	36
6	RETScreen	35
7	Pylon	33

4. KOMPARACIJA SOFTVERA

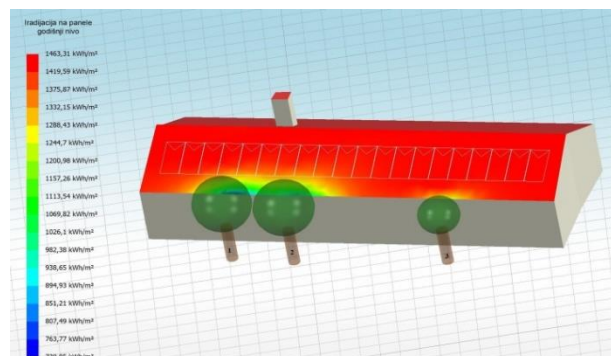
Nakon izvršenog pregleda dostupnih softvera izvršeno je poređenje njihovih karakteristika radi utvrđivanja koji je od njih najpogodniji za projektovanje FN sistema. Karakteristike softvera su razmtrane po 14 stavki (operativni sistem, jezici, cena, sistemske opcije, sistemi za praćenje kretanja Sunca, parametri lokacije sistema, vremenski podaci, mesto montiranja, gubici, senčenje, električna šema, ekonomska analiza, opcija izbora baterija i dizajn) i ocenjivane od 0 do 5 bodova.

Komparativnom analizom prethodno opisanih softvera, dobijeni su rezultati u vidu ukupnog broja bodova (zbira svih ocena) i dati u Tabeli 1. Analizirajući date kriterijume softver BlueSol 4 se pokazao kao najbolji (51 od maksimalnih 67 bodova), jer je od 14 kriterijuma 7 puta ocenjen najvišom ocenom (cena, parametri lokacije sistema, gubici, senčenje, električna šema, ekonomska analiza, opcija izbora baterija). Iza njega je softver PV*SOL premium 2023 koji se takođe smatra dobrim za planiranje i modelovanje fotonaponskih sistema, i dobio je 46 bodova. Dok su ostali softveri sa ispod 40 bodova (PVsyst 7.3, Homer Pro 3.14, RETScreen, HelioScope, Pylon, System Advisor Model (SAM)), procenjeni kao pogodni za jednostavne projekte, koji ne zahtevaju puno opcija i detalja

5. SIMULACIJA U SOFTVERU BLUESOL

U cilju potvrde izvršena je simulacija u BlueSol 4 za izvođenje solarne FN elektrane na krovu kuće u čijoj okolini nema građevinskih objekata koji bi uzrokovali senčenje na panele. Lokacija fotonaponskog sistema se nalazi u Južnobačkom okrugu u opštini Srbobran na oko 30 km od Novog Sada. Na Sl.1 prikazan je 3D izgled kuće, kao i iznos zračenja, uticaj rastinja i predložena raspodela FN panela.

Veličinu FN sistema određuje softver uzimajući u obzir potrebe za električnom energijom jedne četvoročlane porodice, koje su zadate na 3353,8 kWh/god, a zatim određuje broj i veličinu FN panela i ostale komponente sistema. Izabrani su paneli modela Luxor Solar GmbH, invertori modela FRONIUS, baterije LG Chem RESU3.3 48V, dok je punjač baterija SMA Solar Technology Sunny Boy Storage 2.5. Ugrađen je jedan MPPT za dva stringa sa po 10 modula u seriji.

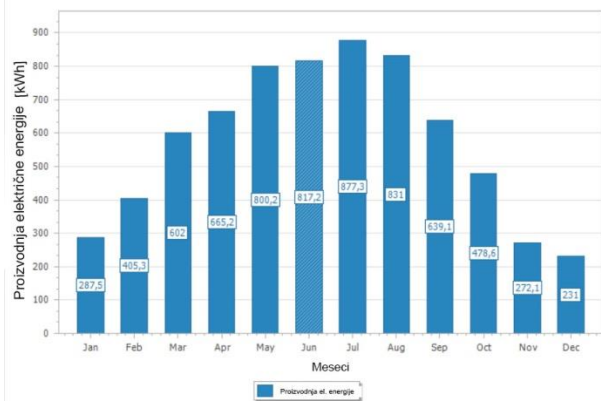


Sl. 1. Iradijacija na panele FN elektrane i senčenje

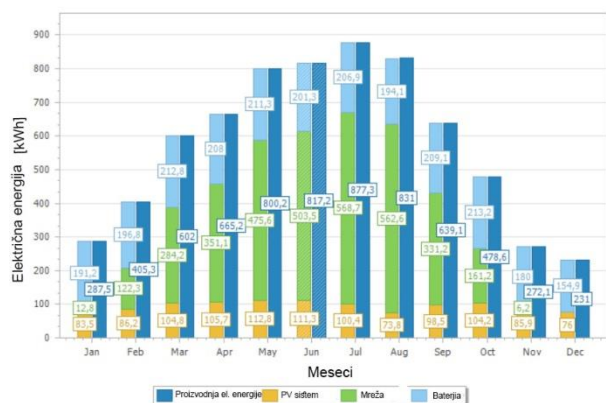
5.1. Rezultati simulacije

Vršna snaga FN panela je procenjena na 5,6 kWhp, dok je godišnja proizvodnja 1233,30 kWh/kWp. Redukcija proizvodnje prouzrokovana senčenjem je 2,52%/god. Na

osnovu datog grafika koji prikazuje godišnju prognozu proizvodnju energije FN sistema po mesecima (Sl.2.) utvrđena je očekivana najveća proizvodnja u prolećnim i letnjim danima kada je sunčeva radijacija najveća, kao i udeo ove proizvodnje u ukupnoj potrošnji kuće (Sl.3). Postavljanjem ove solarne elektrane na površni krova od 38,8 m² emisija CO₂ je na godišnjem nivou smanjena za 4143,9 kg/god.



Sl. 2. Prognoza godišnje proizvodnje po mesecima



Sl. 3. Udeo FN sistema u potrošnji kuće po mesecima

6. ZAKLJUČAK

U radu je dat opis i pregled trenutno dostupnih, najnovijih verzija softvera koji se koriste za planiranje i dizajn fotonaponskih sistema: Pvsyst 7.3, Homer Pro 3.14, BlueSol 4, RETScreen, HelioScope, Pylon, System Advisor Model (SAM) i PV*SOL premium 2023. Karakteristike korišćenih softvera su opisane u 14 stavki, po kojima je i izvršeno međusobno poređenje i bodovanje. Rezultati pokazuju da je softver *BlueSol 4* najbolji.

U cilju potvrde, demonstrirana je primena softvera *BlueSol 4* za projektovanje jedne kućne krovne FN elektrane. Prikazane su opcije koje softver nudi i njihovo korišćenje u svrhu što boljeg izbora efikasnog FN sistema.

7. LITERATURA

[1] V. Katić, I. Kapetanović, V. Fuštić, „Obnovljivi izvori energije“, TEMPUS-CEFES, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2007.
 [2] S. Deambi, „Photovoltaic System Design – Procedures, Tools and Applications“, CRC Press, Boca Raton (USA), 2020.

[3] N.H. Umar, C. Banerjee, and B. Bora, “Comparison of different PV power simulation software: a case study on performance analysis of 1 MW grid-connected PV solar power plant”, *Int. Journal of Engin. Science Invention (IJESI)*, Vol. 7, Iss. 2, July 2018, pp.11-24.
 [4] Akshay VR, “Best Solar Panel Design Software” 2023, Jun 14, 2022, Available online: <https://thesolarlabs.com/ros/best-solar-panel-design-software/>
 [5] D. Milosavljević, T. Kevkić, S. Jovanović, “Review and validation of photovoltaic solar simulation tools/software based on the case study”, *Open Physics*, Vol. 20, 2022, pp.431-451.
 [6] V. Katić et al., “Potentials of Renewable Energy Market in Serbia – Case of Wind and Solar Energy”, IEEE 8th Int. Conf. on European Energy Market – EEM 11, May 2011, Zagreb (Croatia), pp.785-790,
 [7] V.A. Katić i dr., “Realizacija krovne fotonaponske elektrane na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu”, *Tehnika*, god. 70, br. 4, 2015, pp.655-662.
 [8] J. Belančić, V. Katić, „Pregled i primena softvera za simulaciju rada energetskih pretvarača u fotonaponskom izvoru električne energije”, *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka*, god. 27, br. 1, 2012, pp.65-68
 [9] M. Petronijević, V. Katić, „Projektovanje fotonaponske elektrane – pregled softverskih alata“, *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka*, god. 27, br. 5, 2012, pp.1025-1028.
 [10] T. Savčić, V. Katić, „Pregled softverskih alata za simulaciju rada fotonaponskih sistema”, *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka*, god. 33, br.11, 2018, pp.1992-1994.
 [11] A. Gavrilović, V. Katić, „Pregled raspoloživih softvera za solarne elektrane”, *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka*, god.34, br.3, 2019, pp.554-557

Kratka biografija:



Žolt Kančar rođen je u Vrbasu 1998. god. Srednju Elektrotehničku školu „ETŠ Mihajlo Pupin“ završio je u Novom Sadu, 2016. god. Diplomirao je na Fakultetu tehničkih nauka, studijski program Energetika, elektronika i telekomunikacije 2021. god. Master studije na istom fakultetu i smeru završio je 2023. god.



Aleksandar Stanisavljević je rođen 1988. godine u Beogradu. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu 2019. god., gde je trenutno u zvanju docenta. Autor ili koautor je više od 20 naučnih radova od kojih su tri u vrhunskim međunarodnim časopisima.



Vladimir A. Katić rođen je 1954. god. u Novom Sadu. Doktorirao je na Univerzitetu u Beogradu 1991. god. Od 2002. god. je redovni profesor Univerziteta u Novom Sadu. Autor je ili koautor blizu 600 naučnih radova i saopštenja. Oblasti interesovanja su mu energetska elektronika, kvaliteta električne energije, obnovljivi izvori električne energije i električna vozila.