

energija

| ekonomija | ekologija

es



ENERGETIKA 2020

energija

| ekonomija | ekologija



MONOGRAFIJA
XXXV Međunarodnog savetovanja
u organizaciji Saveza energetičara

ENERGETIKA 2020

ZBORNİK RADOVA CONFERENCE PROCEEDINGS

21-24. jun 2020. godine
Hotel Palisad, Zlatibor

SAVEZ ENERGETIČARA
Prof. dr Nikola Rajaković
Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu
Bulevar kralja Aleksandra 73
11120 Beograd
Srbija
info@savezenergeticara.org

www.savezenergeticara.org

energija



| ekonomija | ekologija

Energija / Ekonomija / Ekologija

Monografija XXXV Međunarodnog savetovanja ENERGETIKA 2020 - Zbornik radova

Radovi su recenzirani uz tehničku obradu. Nijedan deo ove publikacije ne može biti reprodukovan, presnimavan ili prenošen bez prethodne saglasnosti Izdavača.

Izdavač: Savez energetičara
Bulevar kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd
E-mail: info@savezenergeticara.org
www.savezenergeticara.org

Glavni i odgovorni urednik: Prof. dr Nikola Rajaković

Priprema i tehnička obrada: BBN Congress Management d.o.o.

Produkcija: NT Company

Tiraž: 150

Godina izdavanja: 2020.

CIP - Каталогизacija u publikaciji
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

621.31(082)(0.034.2)
502.131.1:620.9(082)(0.034.2)
338.4:621.31(082)(0.034.2)

МЕЂУНАРОДНО саветовање Енергетика (35 ; 2020 ; Златибор)

Zbornik radova [Elektronski izvor] = Conference proceedings : XXXV Međunarodno savetovanje u organizaciji Saveza energetičara Energetika 2020 : 24-27. jun 2020. godine, Zlatibor / [glavni i odgovorni urednik] Nikola Rajaković. - Beograd : Savez energetičara, 2020 (Beograd : NT Company). - 1 elektronski optički disk (CD-ROM) ; 12 cm. - (Energija, ekonomija, ekologija, ISSN 0354-8651)

Sistemske zahteve: Nisu navedeni. - Radovi na više jezika. - Nasl. sa naslovne strane dokumenta. - Tiraž 150. - Napomene i bibliografske reference uz tekst. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.

ISBN 978-86-86199-02-7

а) Електроенергетика -- Зборници б) Енергетска политика -- Зборници в) Енергетски извори -- Одрживи развој -- Зборници

COBISS.SR-ID 15460873

energija

| ekonomija | ekologija

ORGANIZACIONO – PROGRAMSKO – NAUČNI ODBOR

Kopredsednici organizaciono-programsko-naučnog odbora:

Prof. dr Milun Babić, Predsednik Skupštine Saveza energetičara

Prof. dr Nikola Rajaković, Predsednik Saveza energetičara

Sekretarijat organizaciono-programsko-naučnog odbora:

dr Ilija Batas-Bijelić, naučni saradnik, v.d. Generalni sekretar Saveza energetičara

Prof. dr Dušan Gordić, v.d. Glavni i odgovorni urednik časopisa "Energija".

Sandra Alagić, Portparol ODS EPS Distribucija Beograd

Marko Popović, Direktor BBN Congress Management

Članovi:

Dr Matthias Jochem, Mitsubishi Hitachi Power System Europe GmbH, Germany

Dr Jean Rizzon, Mitsubishi Hitachi Power System Europe GmbH

Dr Patrick Weckes, Mitsubishi Hitachi Power System Europe GmbH

Prof. dr Jovica V. Milanović, The University of Manchester, Manchester Christian Kissling

Dejan Popović, Predsednik Agencije za energetiku Republike Srbije

Prof. dr Adriana Sida Manea, Politehnica-Universitety of Timisoara, Romania

dr Ivan Souček, Prague Institute of Chemical Technology, Czech Republic

Prof. dr Miloš Banjac, pomoćnik ministra u Ministarstvu Rudarstva i energetike Republike Srbije

Prof. dr Branko Kovačević, predsednik Nadzornog odbora JP Elektroprivreda Srbije

Prof. dr Miloš Nedeljković, Mašinski fakultet u Beogradu

Prof. dr Aleksandar Gajić, Mašinski fakultet u Beogradu

Prof. dr Damir Đaković, Fakultet tehničkih nauka u Novim Sadu

prof. dr Zlate Veličković, Vojna akademija, Univerzitet odbrane u Beogradu

Mirko Petković, Rafinerija ulja Modriča a.d. Modriča, Republika Srpska, BiH

Mladen Simović, direktor Energoprojekt ENTEL

Prof. dr Valentino Stojkovski, Faculty of Mechanical Engineering u Skopju, Republika Severna Makedonija

Prof. dr Zoran Markov, Faculty of Mechanical Engineering u Skopju, Republika Severna Makedonija

Ass. mr Marija Lazarevikj, Faculty of Mechanical Engineering u Skopju, Republika Severna Makedonija

Prof. dr Vlatko Cingoski, Goce Delcev University of Štip, Faculty of Electrical Engineering, Republika Severna Makedonija

dr Goce Vasilievski, Rudarski institut, u Skopju, Republika Severna Makedonija

Prof. dr Atanaso Tuneski, Faculty of Mechanical Engineering u Skopju, Republika Severna Makedonija

dr Aleksandar Levkoski, ELEM Macedonian Power Plants u Skopju, Republika Severna Makedonija

doc. dr Vladimir Rajs, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu

Prof. dr Neven Dujić, Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu

Prof. dr Mirko Komatina, Mašinski fakultet u Beogradu

Prof. dr Željko Đurišić, Elektrotehnički fakultet u Beogradu

Slobodan Babić, Poslovno udruženje Elektromašinogradnja, Beograd

prof. dr Mirjana Laković, Mašinski fakultet u Nišu

Prof. dr Milan Petrović, Mašinski fakultet u Beogradu

Prof. dr Dejan Ivezić, Rudarsko-geološki fakultet u Beogradu

Prof. Daniela Marasova, CSc. Technical university of Kosice Faculty of Mining, Ecology, Czech Republic

Prof. dr Беляков Алексей Васильевич, Российская Федерация

Mr Milenko Nikolić, direktor Instituta Mihailo Pupin - Automatika, Beograd

Olga Stavskaya, Lead Engineer JSC «ZiO-COTES», Russian Federation

Prof. dr Danijela Milošević, dekan Fakulteta tehničkih nauka u Čačku

Prof. dr Milo Tomašević, dekan Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu

Prof. dr Radivoje Mitrović, dekan Mašinskog fakulteta u Beogradu

Prof. dr Dobrica Milovanović, dekan Fakulteta inženjerskih nauka u Kragujevcu

Prof. dr Ozren Očić, Savez energetičara

dr Miodrag Arsić, IMS Beograd

Prof. dr Željko Despotović, Institut Mihailo Pupin Beograd

Prof. dr Zoran Rajić, Poljoprivredni fakultet Beograd

Prof. dr Silvana Ilić, Fakultet za menadžment Zaječar

Jovica Budimir, izvršni direktor JP Srbijagas

Prof. dr Pavlović Vladimir, Rudarsko-geološki fakultet

dr Radoslav Raković, "Energoprojekt Entel" a.d. Beograd

prof. dr Martin Čalasan, Elektrotehnički fakultet Podgorica

Prof. dr Nenad Đajić, Akademija inženjerskih nauka Srbije

Prof. dr Petar Đukić, Tehnološko-metalurški fakultet u Beogradu

Ljubo Mačić, specijalni savetnik Ekonomskog instituta iz Beograda



Sadržaj

Uvodno predavanje

MOGUĆI SCENARIJI RAZVOJA ENERGETSKOG SEKTORA REPUBLIKE SRBIJE 11
Miloš Banjac, Srbija

Tema 1 - Ekonomska i regulatorno-razvojna pitanja energetskog sektora

ANALIZA LEGISLATIVE KOJA UREĐUJE DJELATNOST SNABDIJEVANJA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM U BOSNI I HERCEGOVINI IZ PERSPEKTIVE SNABDJEVAČA - JP ELEKTROPRIVREDA BIH	12
Meliha Džizić, Džemo Borovina, Elvedin Grabovica, Bosna i Hercegovina	
ANALIZA MEĐUZAVISNOSTI POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE I RASTA BRUTO DOMAĆEG PROIZVODA U SRBIJI	19
Mileta Đurković, Vojin Grujić, Đorđe Ristić, Srbija	
OCENA I RAZVOJ STRATEGIJA ZA ODRŽIVO ENERGETSKO PLANIRANJE U SRBIJI PRIMENOM SWOT-AHP METODOLOGIJE	24
Bojan Stojčetović, Živče Šarkoćević, Dragan Lazarević, Jasmina Dedić, Srbija	
ZELENA EKONOMIJA I DUGOROČNA STRATEGIJA RAZVOJA ENERGETIKE	30
Gordana Kokeza, Srbija	
METODOLOGIJA ZA PRIORITIZACIJU INVESTICIONIH PROJEKATA	35
Miljan Žikić, Vladan Ristić, Vojislav Simović, Srbija	
NAJVEĆI IZAZOVI ENERGETSKE TRANZICIJE U SRBIJI: U SREDNJEM I DUGOM ROKU	40
Petar Đukić, Slaviša Đukanović, Srbija	
UPRAVLJANJE LJUDSKIM RESURSIMA U ENERGETSKIM KOMPANIJAMA – PRIMER KOMPANIJE ROSETI (RUSIJA)	46
Aleksandar Latinović, Jovana Petrović, Dragan Surudžić, Dušan Marinković, Jelena Drašković, Uroš Rajović, Milan Vuksan, Isidora Ljumović, Srbija	
ISTRAŽIVANJE MOGUĆIH SCENARIJA ENERGETSKE BUDUĆNOSTI REPUBLIKE SRBIJE UZ POMOĆ BACKCASTING METHODOLOGY I SOFTVERA ENERGOVIZIJA MB	51
Milun Babić, Srbija	
PROJEKTI SOLARNIH FOTONAPONSKIH SISTEMA U INDUSTRIJI	60
Miodrag Vuković, Aca Jovanović	

Tema 2 - Elektroenergetske mreže i tržišta u energetici

REKONFIGURACIJA I OTOČNA KOMPENZACIJA DISTRIBUTIVNE MREŽE U SVRHU SMANJENJA GUBITAKA NA ELEKTRIČNU ENERGIJU	65
Branko Stojanović, Tomislav Rajić, Srbija	
STOHAŠTIČKA ANALIZA RADA I RAZVOJA ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA SRBIJE	73
Đorđe Lazović, Aleksandar Savić, Mileta Žarković, Kristina Džodić, Srbija	
UTICAJ GREŠKE PRENOSNOG ODNOSA ENERGETSKOG TRANSFORMATORA NA ODREĐIVANJE POLOŽAJA REGULACIONE PREKLOPKE IZ STRUJA I NAPONA PRIMARA I SEKUNDARA	81
Siniša Spremić, Dušan Obradović, Srbija	
VOĐENJE PODATAKA O POUZDANOSTI ELEKTRODISTRIBUTIVNE MREŽE U ED KRAGUJEVAC	86
Miroslav Domanović, Biljana Janković, Srbija	
ANALIZA STANJA SISTEMA ZAŠTITE NA OBJEKTIMA ELEKTRANA SRBIJE I REPUBLIKE SRPSKE I SMERNICE ZA UNAPREĐENJE PODEŠENJA	91
Milorad Zakić, Miljana Todorović, Srbija	
UPOTREBA NOVIH TEHNOLOGIJA U UPRAVLJANJU DISTRIBUTIVNIM ELEKTROENERGETSKIM SISTEMOM	100
Milica Porobić, Sonja Nikolić, Gordana Jovanović, Ratko Rogan, Milan Ogrizović, Srbija	
ZAŠTITA TRONAMOTAJNOG ENERGETSKOG TRANSFORMATORA ZASNOVANA NA FAZNOJ KOMPARACIJI STRUJA	106
Jelisaveta Krstivojević, Zoran Stojanović, Milenko Đurić, Srbija	
ANALIZA IZVODLJIVOSTI JAVNOG OSVETLJENJA GRADA KRAGUJEVCA PRIMENOM RAZLIČITIH SVETLOSNIH IZVORA	113
Zoran Kovačević, Marija Mladenović, Srbija	

PROBLEMATIKA PRIKLJUČENJA VETROELEKTRANA NA PRENOSNU MREŽU EMS AD.....	118
Saša Zdravković, Milan Blažić, Branko Šumonja, Marija Đorđević, Julijana Vićovac, Nebojša Đurin, Srbija	
ANALIZA UTICAJA INTEROPERABILNOSTI NA TROŠKOVE UVOĐENJA SISTEMA ZA DALJINSKO OČITAVANJE BROJILA I UPRAVLJANJE POTROŠNJOM	124
Jovan Vujašinović, Goran Savić, Nikola Rajaković, Srbija	
IMPLEMENTACIJA ALGORITMA KOLONIJE MRAVA ZA OPTIMALNU REKONFIGURACIJU DISTRIBUTIVNE MREŽE	128
Predrag Mršić, Bosna i Hercegovina, Nikola Rajaković, Srbija	
ANALIZA ZAGREVANJA BAKARNIH PROVODNIKA SA STRUJOM	136
Karolina Kasaš-Lažetić, Gorana Mijatović, Dejana Herceg, Miroslav Prša, Srbija	
UTICAJ ARMIRANO BETONSKOG STUBA NA RASPODELU MAGNETSKOG POLJA MEŠOVITOG VODA	142
Teodora Gavrilov, Karolina Kasaš-Lažetić, Kristian Haška, Miroslav Prša, Srbija	
PRORAČUN EKVALENTNOG VREMENA TRAJANJA GUBITAKA NA OSNOVU IZMERENIH ISTORIJSKIH VREDNOSTI	149
Vojislav Simović, Vladan Ristić, Miljan Žikić, Ivan Trkulja, Srbija	
POBOLJŠANJE KVALITETA ISPORUKE ELEKTRIČNE ENERGIJE OPŠTINE OBRENOVAC U PERIODU 2016.-2018.	154
Aleksandar Milojković, Dragan Milenković, Srbija	
BRZA REGULACIJA FREKVENCIJE U SISTEMIMA MALE INERCIJE	160
Jelena Stojković, Predrag Stefanov, Srbija	
PRIMENA GIS REZULTATA I GIS ANALIZE NAKON PRIKUPLJENIH TERENSKIH PODATAKA O DISTRIBUTIVNOJ MREŽI NA PRIMERU OGRANKA MLADENOVAC	166
Vladimir Stojičić, Srbija	

Tema 3 - Energetska efikasnost (domaćinstva, komunalni sektor, industrija, zgradarstvo, ...

LABORATORIJSKIM ISTRAŽIVANJEM DO IZBORA MJESTA UVOĐENJA STEPENOVANOG VAZDUHA ZA SAGORIJEVANJE U LOŽIŠTE.....	174
Nihad Hodžić, Anes Kazagić, Kenan Kadić, Bosna i Hercegovina	
POBOLJŠANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI INDUSTRIJSKE GASNE PEĆI KORIŠĆENJEM SISTEMA PONOVNE UPOTREBE TOPLOTE	181
Vlatko Cingoski, Sašo Gelev, Zoran Kocevski, Republika Severna Makedonija	
TOPLOTNO BILANSIRANJE I POVEĆANJE EFIKASNOSTI KORIŠĆENJA TOPLOTNE ENERGIJE VRTIČA „ZEKA“ U GRADU KRAGUJEVCU, SRBIJA.....	187
Davor Jovanović, Dušan Gordić, Jelena Nikolić, Mladen Josijević, Nebojša Jurišević, Srbija	
REKONSTRUKCIJA ELEKTROMOTORNOG POGONA KOLICA TRANSPORTNIH TRAKA T5L I T5P U SISTEMU DOPREME UGLJA NA TERMOELEKTRANI „NIKOLA TESLA“-B....	194
Željko V. Despotović, Aleksandar Ribić, Dejan Đokić, Ranko Rakijaš, Dušan Ivanić, Srbija	
PREGLED MERA ENERGETSKE EFIKASNOSTI I SPROVOĐENJE ENERGETSKOG PREGLEDA U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI.....	203
Mladen Josijević, Vanja Šušteršić, Dušan Gordić, Vladimir Vukašinović, Danijela Nikolić, Nikola Rakić, Srbija	
POBOLJŠAVANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI HIDRAULIČNIH SISTEMA KOD TEŠKIH MAŠINA.....	209
Emil Zaev, Darko Babunski, Laze Trajkovski, Dejvid Anastasovski, Republika Severna Makedonija, Gerhard Rath, Austrija	
OTPADNI GAS KAO ENERAGENT – POVEĆANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI U SKLADU SA STRATEGIJOM RAZVOJA HIP-PETROHEMIJE	217
Siniša Petrić, Biljana Suslov, Srbija	
ISPITIVANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI U DOMAĆINSTVIMA NA TERITORIJI GRADA NOVOG SADA	222
Ivona Cokić, Aleksandra Ivanović, Srbija	
PRIMJENA RC-MODELA U SIMULACIJI DINAMIČKIH PROCESA RAZMJENE TOPLOTE GRAĐEVINSKIH OBJEKTA SA OKRUŽENJEM	228
Svetlana Dumonjić-Milovanović, Petar Gvero, Zdravko Milovanović, Bosna i Hercegovina	
SISTEM MENADŽMENTA ENERGIJOM HIP-PETROHEMIJA PANČEVO	234
Biljana Suslov, Miša Bulajić, Srbija	

Tema 4 - Nove tehnologije u energetici

LABORATORIJSKIM ISTRAŽIVANJEM PULSIRAJUĆEG SAGORIJEVANJA DO NOVIH TEHNOLOGIJA U TERMOENERGETICI	238
Nihad Hodžić, Sadit Metović, Bosna i Hercegovina	
OPTIMIZACIJA KONCENTRATORA VAZDUHA VETROTURBINA SA VERTIKALNOM OSOM OBRTANJA	244
Ognjen Peković, Jelena Svorcan, Aleksandar Simonović, Toni Ivanov, Dragoljub Tanović, Srbija	
ISPITIVANJE MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA KOMPOZITNIH PLOČA NA ISTEZANJE	250
Marija Baltić, Mohammad Sakib Hasan, David Daou, Aleksa Milovanović, Aleksandar Kovačević, Miloš Milošević, Srbija	
OTKRIVANJE I ANALIZA SIGNALA PARCIJALNIH PRAŽNENJA U ENERGETSKOM TRANSFORMATORU UHF METODOM	256
Đorđe Dukanac, Srbija	
NUMERIČKA STRUKTURALNA ANALIZA KOMPOZITNE LOPATICE VETROTURBINE ...	262
Milica Milić, Jelena Svorcan, Vladimir Jazarević, Srbija	
MODIFIKACIJA MODELA HIDROELEKTRIČNE CENTRALE PREKO IZMERENIH ODZIVA REALNE CENTRALE	267
Darko Babunski, Pance Bogoevski, Emil Zaev, Atanasko Tuneski, Republika Severna Makedonija	
RAZVOJ PROPELERSKE TURBINE SA PROMENLJIVOM BRZINOM ZA PIKO HIDROELEKTRANE.....	272
Filip Stojkovski, Slovenija, Valentino Stojkovski, Republika Severna Makedonija	
OPTIMIZACIJSKI MODEL ZA ODREĐIVANJE PARAMETARA EKSPLOATACIJE TURBINA KOD HEC SA VIŠE AGREGATA	278
Zvonimir Kostikj, Jovan Adamovski, Vojo Atanasovski, Jovan Stefanovski, Valentino Stojkovski, Republika Severna Makedonija	
ODNOS INOKULUM/SUPSTRAT: PRORAČUNSKE METODE	285
Nikola Rakić, Vanja Sušteršič, Dušan Gordić, Mladen Josijević, Nebojša Jurišević (Srbija), Jelena Nikolić, Srbija	
NEKI ASPEKTI PRIMENE HERMETIČKI ZAPTIVENIH TRANSFORMATORA 20(10)/0,4 KV U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI SRBIJE.....	292
Vladimir Ostračanin, Veljko Jovanović, Radomir Todorović, Novica Knežević, Nenad Janković, Srbija	
ANALIZA RAZLOGA NASTANKA PUKOTINA NA CEVOVODU JELOVSKI SIFON	297
Aleksandar Levkoski, Valentino Stojkovski, Darko Mićkoski, Republika Severna Makedonija	
IZAZOVI U PROJEKTOVANJU I MONTAŽI HIDROMEHANIČKE OPREME VELIKIH RAZMERA	305
Filip Stojkovski, Sašo Belšak, Robert Broz, Slovenija	
FRANCIS TURBINE S PROMJENJIVOM BRZINOM U MALIM HIDROELEKTRANAMA: MOGUĆNOSTI I IZAZOVI	312
Filip Stojkovski, Slovenija, Marija Lazarevikj, Valentino Stojkovski, Zoran Markov, Republika Severna Makedonija	
STRATEGIJA ZA REVITALIZACIJU OPREME MHE SA EFEKTIMA ZA POVEĆANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI HS STREZEVO.....	318
Jovan Adamovski, Metodija Gramatkovski, Dame Korunoski, Valentino Stojkovski, Republika Severna Makedonija	
ANALIZA ALGORITAMA ZA KOMPENZACIJU ZASIĆENJA STRUJNOG TRANSFORMATORA	324
Nenad Belčević, Zoran Stojanović, Srbija	
PRIMENA SOFTVERSKOG ALATA XGSLAB ZA PRORAČUN ELEKTROMAGNETSKOG POLJA U BLIZINI DALEKOVODA	331
Dragutin Salamon, Jovan Mikulović, Tomislav Rajić, Srbija	
INCIDENTI U INFORMACIONO-KOMUNIKACIONIM SISTEMIMA U ENERGETICI.....	337
Zdravko Ristić, Duško Ralić, Srbija	
MOGUĆNOSTI UPOTREBE REZNICA MALINE I KUPINE ZA PROIZVODNJU: PELETA, BRIKETA, TERMO-ZVUČNE IZOLACIONE PLOČE I KOMPOSTA.....	345
Srećko Ćurčić, Sandra Milunović Koprivica, Milan Vesković, Srbija	
HIBRIDNO NAPAJANJE TELEKOMUNIKACIONE I MERNE OPREME DALJINSKIH MERNIH STANICA U SISTEMIMA ZAŠTITE OD POPLAVA	350
Željko V. Despotović, Marko Tajdić, Jovan Kon, Srbija	
SANACIJA OŠTEĆENJA VRATILA I LOPATICA VENTILACIONOG PRSTENA GENERATORA AGREGATA NA HIDROELEKTRANI.....	360
Miodrag Arsić, Vencislav Grabulov, Mladen Mladenović, Srđan Bulatović, Zoran Savić, Srbija	
SANACIJE OŠTEĆENIH POVRŠINA RUKAVACA I ZAVARENIH OBLOGA LOPATICA USMERNOG APARATA NA HIDROELEKTRANI ĐERDAP 1	364
Miodrag Arsić, Srđan Bošnjak, Vencislav Grabulov, Mladen Mladenović, Dušan Arsić, Srbija	

Tema 5 – Obnovljivi izvori energije (sunce, vetar, voda biomasa, biogas, geotermalna energija,...)

SKLADIŠTENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U NISKONAPONSKOJ DISTRIBUTIVNOJ MREŽI SA FOTONAPONSKIM ELEKTRANAMA	369
Sakib Jusić, Bosna i Hercegovina	
ENERGETSKO - EKONOMSKA ANALIZA RADA VETROELEKTRANA U SRBIJI SA ASPEKTA JP EPS.....	377
Nikola Milićević, Vladimir Brković, Srbija	
PROJEKTOVANJE MODELA OPTIMALNOG UPRAVLJANJA SA KASKADNO POVEZANIM HIDROELEKTRANAMA.....	382
Darko Babunski, Sašo Spasovski, Emil Zaev, Atanasko Tuneski, Republika Severna Makedonija	
SKRIVENI HIDROENERGETSKI POTENCIJAL U SISTEMU HEC VRBEN	388
Ejup Bekiri, Valentino Stojkovski, Stojče Ilieski, Republika Severna Makedonija	
ANALIZA KAPACITETA I USLOVA IZGRADNJE FOTONAPONSKIH SISTEMA NA KROVOVIMA ŠKOLSKIH OBJEKTA U SRBIJI.....	394
Iva Batić, Željko Đurišić, Srbija	
NAPAJANJE STAMBENOG OBJEKTA POMOĆU OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE PRIMJENOM PROGRAMA HOMER.....	402
Velemir Gavrilović, Bosna i Hercegovina	
ZAMENA IZOLACIONIH ULOŽAKA NA STATORU SINHRONOG GENERATORA U HIDROELEKTRANI POTPEĆ.....	409
Predrag Mladenović, Predrag Šaponjić, Srbija	
KORIŠĆENJE ALATA ZA TRŽIŠNO MODELOVANJE PRI ANALIZI BENEFITA PO ELEKTROENERGETSKI SISTEM IZGRADNJOM NOVOG INTERKONEKTIVNOG DALEKOVODA.....	414
Srđan Bošković, Srbija	
FOTONAPONSKE ELEKTRANE SA MODULIMA SA DVOSTRANIM AKTIVNIM POVRŠINAMA	420
Vladan Durković, Crna Gora, Željko Đurišić, Srbija	
TEHNOEKONOMSKA ANALIZA PROIZVODNJE BRIKETA I PELETA	427
Sandra Milunović Koprivica, Ivan Lapčević, Srećko Ćurčić, Srbija	
UPOREDNA TERMODINAMIČKA ANALIZA ORGANSKOG RANKINOVOG I KALINA CIKLUSA.....	434
Miloš Banjac, Srbija	
UTICAJ SOLARNE ELEKTRANE NA KVALITET ELEKTRIČNE ENERGIJE U NISKONAPONSKOJ DISTRIBUTIVNOJ MREŽI	440
Hidajet Salkić, Amir Softić, Amer Salkić, Bosna i Hercegovina	
PRIMENA GIS-A I FUZZY LOGIKE U EVALUACIJI POGODNIH LOKACIJA ZA SOLARNE PARKOVE	449
Ljubomir Gigović, Zlate Veličković, Zoran Bajić, Srbija	
PROVERA TEHNIČKIH PARAMETARA GENERATORA I BLOK-TRANSFORMATORA ZA POTREBE UKLAPANJA HE KOMARNICA U EES CRNE GORE	456
Brankica Popović Zdravković, Zoran Popović, Srbija	
PRIMENA LAGRANŽOVE OPTIMIZACIJE NA PROBLEMATIKU PROIZVODNJE ENERGIJE IZ OBNOVLJIVIH IZVORA.....	463
Vladan Ristić, Nikola Rajaković, Srbija	
ANALIZA MOGUĆIH EFEKATA REGULACIJE REAKTIVNIH SNAGA U PERSPEKTIVNIM VETROELEKTRANAMA NA NAPONSKE PRILIKE I GUBITKE U PRENOSNOJ MREŽI SRBIJE.....	472
Milica Koprivica, Ivana Stamenić, Željko Đurišić, Srbija	
OPERATIVNI REŽIM RADA HIDROELEKTRANA U KASKADNOM SISTEMU ZAVISNO OD POTREBE ENERGETSKOG SISTEMA	478
Sofija Nikolova Poceva, Anton Chaushevski, Valentino Stojkovski, Zoran Markov, Republika Severna Makedonija	
DEKARBONIZACIJA TRANSPORTNOG SEKTORA KROZ INTEGRACIJU FOTONAPONSKIH SISTEMA I ELEKTRIČNIH VOZILA.....	485
Đorđe Lazović, Bojana Škrbić, Kristina Džodić, Željko Đurišić, Srbija	
UTICAJ VETROPARKOVA NA ŽIVOTNU SREDINU	493
Nada Curović, Nebojša Petrović, Ivan Milanov, Srbija	
PREDIKCIJA INTENZITETA GLOBALNOG SUNČEVOG ZRAČENJA PRIMENOM VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA	500
Milan Marjanović, Nedeljko Dučić, Vojislav Vujičić, Snežana Dragičević, Srbija	

ELEKTRIČNI AUTOMOBILI SA INTEGRISANIM FOTONAPONSKIM SISTEMOM	505
Vladimir Antonijević, Željko Đurišić, Srbija	
EKSPERIMENTALNO ISTRAZIVANJE KOEFICIJENTA PRITISKA AEROPROFILA U VAZDUSNI TUNEL	512
Borjan Janoski, Viktor Aleksoski, Marija Lazarevikj, Viktor Iliev, Makedonija	

Tema 6 - Neobnovljivi izvori energije i nove tehnologije u energetici

ANALIZA VIBRACIJA NA STRELI KOPAČA UGLJA U SISTEMU NA DOPREMI UGLJA NA TERMOELEKTRANI „NIKOLA TESLA“-B	517
Željko V. Despotović, Aleksandar Ribić, Aleksandar Pavlović, Uroš Tanasić, Nenad Glišić, Srbija	
ISKUSTVO I PREDNOSTI RADA KOMBINIRANE GASNE ELEKTRANE TE-TO AD SKOPLJE NA CENTRALNOM SISTEMU GREJANJA U GRADU SKOPLJU	524
Dejan Kitanovski, Hristo Kirovski, Gjorgi Karaliev, Republika Severna Makedonija	
SIGURNOST SNABDEVANJA PRIRODNIM GASOM U REPUBLICI SRBIJI	529
Dejan Ivezić, Marija Živković, Srbija	
ANALIZA SAVREMENIH SISTEMA ZA PRAĆENJE KVANTITATIVNOG STANJA DERIVATA NAFTE U SKLADIŠTU I TERENSKIM USLOVIMA	534
Darko Latinkić, Jovica Bogdanov, Radovan Karkalić, Mihael Bučko, Srbija	
ISPITIVANJE ELEMENATA ZAŠTITE OD ATMOSFERSKOG PRAŽNJENJA UNAPREĐENIM METODAMA	539
Dejan Mojić, Daliborka Ilić, Srbija	
VIBRO-MONITORING SISTEM ZA TURBINE, ILI BILO KOJE DRUGE ROTACIONE MAŠINE	546
Vladimir Nešić, Aleksa Srećković, Ognjen Ristić, Predrag Marić, Srbija	
IMPLEMENTACIJA SISTEMA DOJAVE POŽARA NA LOKOMOTIVAMA ŽELEZNIČKOG TRANSPORTA U TENT-U	551
Nenad Jovanić, Dragana Miletić, Saša Trivić, Đorđe Babić, Srbija	

Tema 7 - Multisektorski zadaci u oblasti unapređenja životne sredine na putu Republike Srbije prema EU

ENERGETSKO SIROMAŠTVO	557
Slavica Bardić, Hrvatska	
ZELENI PRSTEN KAO METOD UNAPREĐENJA ŽIVOTNE SREDINE U JP EPS	563
Jovana Šejat, Sandra Stefanović, Tijana Starčević, Srbija	
PRIMENA JEFTINOG ADSORBENTA NA BAZI LETEĆEG PEPELA ZA UKLANJANJE PESTICIDA IZ VODE	570
Zlate Veličković, Zoran Bajić, Aleksandar Marinković, Milica Karanac, Radovan Karkalić, Snežana Radić, Ljubomir Gigović, Srbija	
OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE - PRIMARNI MEHANIZAM ENERGETSKE POLITIKE EUROPSKE UNIJE	576
Milan Ivanović, Hrvoje Glavaš, Hrvatska	
METODOLOGIJE ENERGETSKO – KLIMATSKOG PLANIRANJA ZAPADNOG BALKANA: NAJNOVIJA DOSTIGNUĆA IZ REPUBLIKE SRBIJE I BOSNE I HERCEGOVINE	582
Ilija Batas Bjelić, Nikola Rajaković, Srbija	
SAJBER BEZBEDNOST U ENERGETSKOM SEKTORU	583
Biljana Trivić, Darko Šošić, Srbija	
SMANJENJE EMISIJE NOX IZ BLOKA A4 TE NIKOLA TESLA – IMPLEMENTACIJA PROJEKTA FINANSIRANOG IZ SREDSTAVA EU IZ PERSPEKTIVE FIDIC INŽENJERA	590
Danila Stančević, Jasna Grujić, Srbija	
ZAGAĐENJE ŽIVOTNE SREDINE I NAFTA I GAS	597
Sonja Ketin, Rade Biočanin, Mirjana Vojinović Miloradov, Marko Andrejić, Srbija	

Predikcija intenziteta globalnog Sunčevog zračenja primenom veštačkih neuronskih mreža

Global solar radiation prediction using Artificial Neural Networks

Milan Marjanović, Nedeljko Dučić, Snežana Dragičević, Vojislav Vujičić

* Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet tehničkih nauka u Čačku

Abstrakt- Upotreba obnovljivih izvora energije je u stalnom porastu jer se rezerve neobnovljivih izvora smanjuju a nivo zagađenja životne sredine dostiže razmere koje značajno utiču na kvalitet života. Zbog praktično neiscrpane količine energije Sunčevog zračenja, tehnologije za njeno korišćenje su u stalnom razvoju. Decenijama se energija Sunca koristi za generisanje toplotne i električne energije. Uprkos značaju poznavanja intenziteta Sunčevog zračenja broj meteoroloških stanica koji meri intenzitet globalnog Sunčevog zračenja nije veliki u poređenju sa stanicama koje mere ostale meteorološke parametre. U ovom radu je prikazana primena veštačkih neuronskih mreža za modelovanje i predikciju globalnog Sunčevog zračenja na horizontalnu površinu koristeći najčešće merene meteorološke parametre. Za razvoj modela za predikciju korišćene su srednje dnevne vrednosti maksimalne i minimalne temperature vazduha, dnevne sume trajanja sijanja Sunca, vlažnosti vazduha i eksteraterističkog zračenja za lokaciju grada Čačka. Meteorološki parametri koji su korišćeni za razvoj modela su mereni u periodu od 2 godine. Primena predloženog modela se može primeniti i na druge lokacije sa sličnim klimatskim parametrima.

Ključne reči- Globalno Sunčevo zračenje, predikcija, neuronske mreže, meteorološki parametri, solarna energija.

Abstract - The use of renewable energy sources is at constantly increasing due to the decrease of non-renewable energy sources and the fact that the level of environmental pollution has come to a point which significantly affects the quality of life. Solar energy technologies have continuous efficiency improvement due to the enormous radial spreading of Sun radiation. Solar energy is used worldwide and has become increasingly popular for electricity generation or heating in the recent decades. Despite the importance of measuring the intensity of solar radiation, the number of meteorological stations that measure the intensity of global solar radiation is smaller than the number of meteorological stations that measure other meteorological parameters. This paper presents the application of artificial neural networks for modeling and prediction of global solar

radiation on a horizontal surface using the most commonly measured meteorological parameters. For the development of the prediction model, mean daily values of maximum and minimum air temperatures, daily sums of sunshine duration, air humidity, and atmospheric pressure, were used for the location of the Čačak region. The meteorological parameters that were used to develop the model were measured over a period of 2 years. The proposed model for the prediction of the global solar radiation can be applied to other locations with similar climatic parameters.

Keywords - global solar radiation, prediction, neural networks, meteorological parameters, solar energy

I. UVOD

Srbija ima značajan potencijal u obnovljivim izvorima energije koji još uvek nije dovoljno iskorišćen. Zbog povoljnog geografskog položaja u Srbiji je ekonomična i efikasna primena solarne energije moguća, naročito tokom letnjih meseci. Energija Sunca predstavlja značajan energetske potencijal Srbije, koji se može koristiti za proizvodnju toplotne ili električne energije. Na većem delu teritorije Srbije broj časova Sunčevog zračenja znatno je veći nego u mnogim evropskim zemljama (između 1500 i 2200 časova godišnje) a prosečan intenzitet Sunčevog zračenja se kreće od 1,1 kWh/m²/dan na severu do 1,7 kWh/m²/dan na jugu tokom januara, odnosno od 5,9 do 6,6 kWh/m²/dan tokom jula. Na godišnjem nivou, prosečna vrednost energije zračenja iznosi od 1200 kWh/m²/godišnje u severozapadnoj Srbiji, do 1550 kWh/m²/godišnje u jugoistočnoj Srbiji, dok u centralnom delu iznosi oko 1400 kWh/m²/godišnje.

Podaci o globalnom Sunčevom zračenju smatraju se najvažnijim parametrom za dimenzionisanje sistema za konverziju solarne energije u toplotnu i električnu energiju. Meteorološki podaci dobijeni direktnim merenjima daju potrebne informacije o parametrima zračenja i vremenskim prilikama. U mnogim

zemljama u razvoju, kao što je Srbija, pouzdani merni instrumenti i način njihovog održavanja daju nedovoljno tačne podatke o Sunčevoj radijaciji. U nedostatku preciznih merenja, teorijski modeli predstavljaju dobre alate za predviđanje i procenu globalnog Sunčevog zračenja na određenoj lokaciji koristeći najčešće merene meteorološke parametre kao što su temperatura, vreme trajanja sisanja Sunca i relativna vlažnost.

Tehnika modelovanja primenom veštačkih neuronskih mreža (VNM) daje dobra rešenja za razvoj opšteg modela za predviđanje podataka Sunčevog zračenja koristeći meteorološke parametre. VNM predstavljaju alat za modelovanje i predviđanje koji je široko prihvaćen kao tehnika koja nudi alternativni način za rešavanje složenih i loše definisanih problema [1]. Ovaj način modelovanja korišćen je u brojnim istraživanjima za predviđanje intenziteta globalnog Sunčevog zračenja u različitim delovima sveta. Sanusi i dr. (2013) su pokazali da je model dobijen primenom veštačkih neuronskih mreža za predviđanje dnevnog Sunčevog zračenja u Sokotu u Nigeriji veoma pouzdan koristeći srednje dnevne podatke za trajanje sisanja Sunca, temperaturu vazduha i relativnu vlažnost [2]. Olatomiwa i dr. (2016) su razvili efikasan adaptivni neuro-fazi sistem za simulaciju Sunčevog zračenja na osnovu izmerenih podataka za mesečne srednje minimalne i maksimalne temperature i trajanje Sunčevog zračenja u Iseinu, Nigerija [3]. Quej i dr. (2017) su koristili različite računarske tehnike kao što su adaptivni neuro-fuzzi sistem zaključivanja, veštačke neuronske mreže i mašinsko učenje, za predviđanje dnevnog horizontalnog globalnog Sunčevog zračenja na osnovu izmerenih meteoroloških podataka na poluostrvu Iucatan, Meksiko [4]. U ovom radu korišćeni su izmereni podaci za srednje dnevne vrednosti maksimalne i minimalne temperature vazduha, dnevne sume trajanja sisanja Sunca, i vlažnosti vazduha za generisanje modela za predikciju globalnog Sunčevog zračenja primenom veštačkih neuronskih mreža za modelovanje i predikciju globalnog Sunčevog zračenja na horizontalnu površinu za lokaciju grada Čačka. Značaj ovog istraživanja ogleda se u potrebi za pouzdanim podacima o solarnom zračenju jer energetiku budućnosti treba bazirati na masovnijoj upotrebi obnovljivih izvora energije čime bi se smanjila potrošnja neobnovljivih fosilnih goriva koje je Sunčeva energija stvarala milionima godina.

II. PODACI ZA RAZVOJ VNM SOLARNOG MODELA

Ulazni podaci modela za procenu intenziteta globalnog Sunčevog zračenja na horizontalnu površinu kreiranog primenom veštačkih neuronskih mreža su izmerene vrednosti meteoroloških parametara u periodu 2017-2018. godine na automatskoj meteorološkoj stanici Fakulteta tehničkih nauka u Čačku čija je lokacija prikazana u tabeli 1.

Tabela 1. Lokacija meteorološke stanice

Stanica	Geografska širina	Geografska dužina	Nadmorska visina
Čačak	N 43°89'	E 20°35'	240

Klima Čačka je umereno kontinentalna sa srednjom godišnjom temperaturom vazduha 11 °C, relativnom vlažnost vazduha 74,1 % i slabo izraženim vetrovima. Ulazni podaci modela

korišćeni u ovom istraživanju su dnevne minimalne i maksimalne temperature vazduha, broj sati trajanja sisanja sunca, srednja relativna vlažnost vazduha.

Pored navedenih izmerenih meteoroloških parametara za ulazni parametar modela korišćeno je i srednje horizontalno dnevno ekstraterestričko Sunčevo zračenje H_0 izračunato korišćenjem sledećih izraza [5]:

$$H_0 = \frac{24 \cdot 3600}{\pi} G_{sc} \cdot \left(1 + 0.033 \cos \frac{360^\circ n}{365} \right) \cdot \left(\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \cos \varphi \cos \delta \right) \quad (1)$$

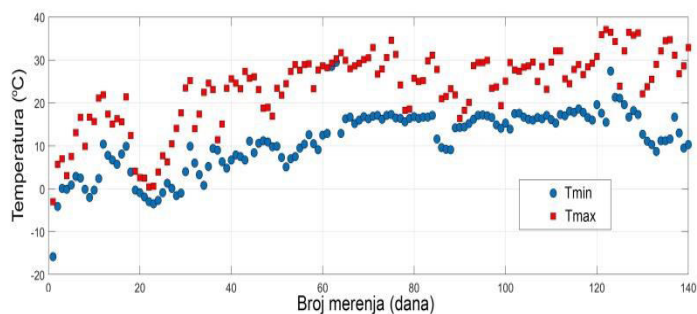
$$\delta = 23.45 \cdot \sin \left(360 \cdot \frac{284 + n}{365} \right) \quad (2)$$

$$\cos \omega_s = -\tan \varphi \cdot \tan \delta \quad (3)$$

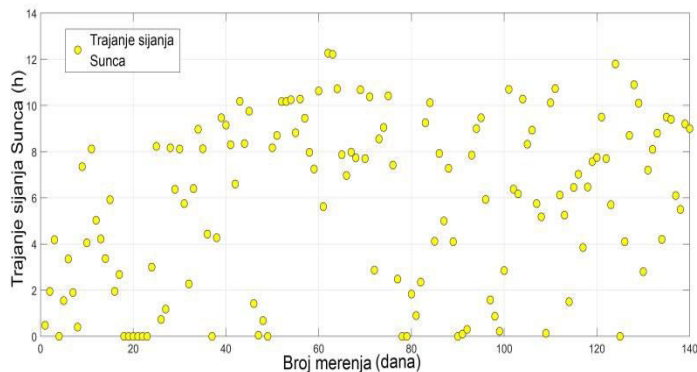
gde su:

- $G_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$ solarna konstanta
- n redni broj dana u godini
- δ deklinacioni ugao Sunca
- φ geografska širina
- ω_s ugao izlaska (zalaska) Sunca na horizontalnu ravan

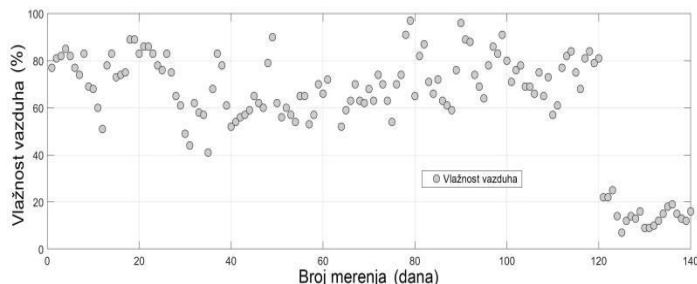
Izmerene vrednosti meteoroloških parametara koji su korišćeni u fazi testiranja i treniranja solarnog modela prikazani su na slikama 1-4.



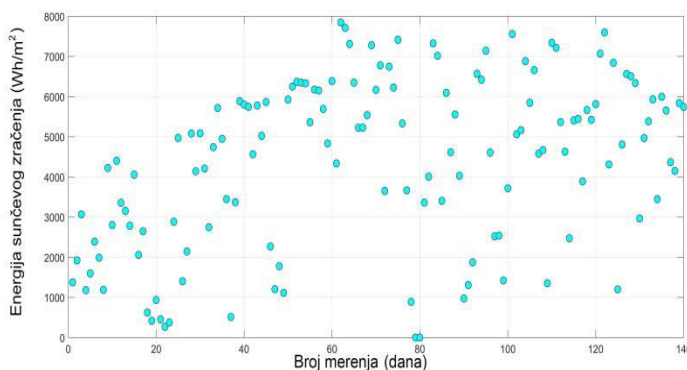
Slika 1. Izmerene vrednosti minimalne (T_{min}) i maksimalne (T_{max}) dnevne temperature



Slika 2. Izmerene vrednosti dnevnog trajanja sisanja Sunca



Slika 3. Izmerene vrednosti srednje dnevne relativne vlažnosti vazduha

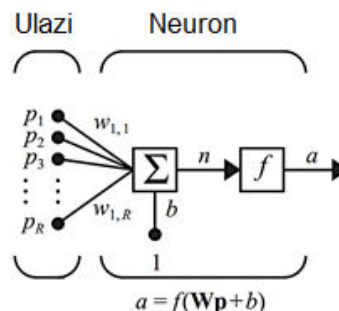


Slika 4. Izmerene vrednosti ukupne dnevne energije Sunčevog zračenja na horizontalnu površinu

U vremenskom periodu za koji su vršena istraživanja izmerene vrednosti prosečnih dnevnih temperatura variraju između $-15,8$ °C (mart) i $37,1$ °C (avgust), sa prosečnom vrednošću od $16,9$ °C. Prosečna dnevna relativna vlažnost vazduha varira između $6,8$ % (avgust) i $96,5$ % (mart), sa prosečnom vrednošću $62,7$ %. Prema izmerenim podacima, maksimalno dnevno trajanje sisanja Sunca iznosi $12,3$ h (maj) a prosečna dnevna vrednost u analiziranom periodu je $5,8$ h. Maksimalno izmerena dnevna vrednost globalnog Sunčevog zračenja na horizontalnoj površini je $7,8$ kWh/m² a prosečna vrednost je $4,4$ kWh/m². Izmerene vrednosti pokazuju da grad Čačak ima dobar potencijal Sunčeve energije koji se može efikasno iskoristiti pomoću različitih tehnologija za konverziju u korisne oblike toplotne i električne energije. Zbog toga bi tačno predviđanje globalnog Sunčevog zračenja za ovaj region bilo izuzetno bitno sa aspekta praktične upotrebe Sunčeve energije.

III. NEURO PREDIKCIJA SUNČEVOG ZRAČENJA

Veštačke neuronske mreže (VNM) predstavljaju metodologiju kojom se znanje prikupljeno iz setova podataka smešta u distribuiranom obliku u povezanu strukturu mreže. VNM sačinjavaju jednostavne međusobno povezane procesne jedinice, neuroni. Na slici 5 prikazan je neuron sa R ulaza. Svi ulazi (p_1, \dots, p_R) imaju odgovarajuće težinske koeficijente ($w_{1,1}, \dots, w_{1,R}$).



Slika 5. Neuron sa više ulaza

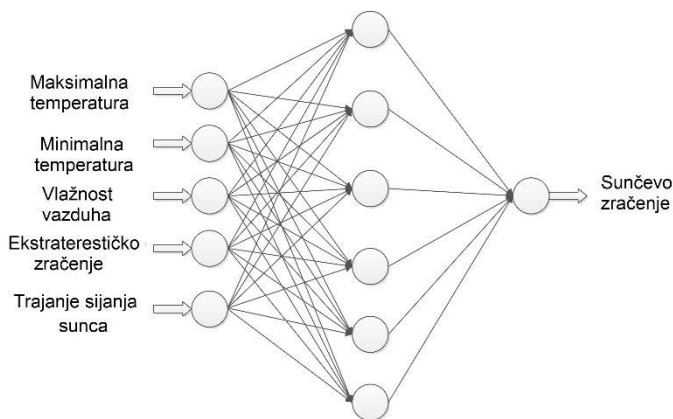
Neuron ima prag aktivacije b , koji se sumira sa proizvodom ulaza i njihovim pripadajućim težinskim koeficijentima formirajući ulaznu veličinu n (4).

$$n = w_{1,1}p_1 + \dots + w_{1,R}p_R + b = Wp + b \quad (4)$$

Izlaz iz neurona definisan je odgovarajućom aktivacionom funkcijom (linearna, odskočna, sigmoidna):

$$a = f(Wp + b) \quad (5)$$

Veštačku neuronsku mrežu karakteriše algoritam obuke i arhitektura mreže. Arhitekturu veštačke neuronske mreže definišu slojevi i neuroni u njima. Izlaz iz svakog neurona iz prethodnog sloja predstavlja ulaz svakog neurona u sledećem sloju. Na slici 6 prikazana je arhitektura veštačke neuronske mreže koja daje najbolje rezultate u predviđanju Sunčevog zračenja, koja se sastoji od tri sloja: ulaznog, skrivenog i izlaznog sloja. U ulaznom sloju je pet neurona koji predstavljaju ulazne promenljive (minimalna temperatura, maksimalna temperatura, vlažnost vazduha, trajanje sisanja Sunca i ekstraterestičko zračenje). Skriveni sloj sadrži šest neurona, a izlazni sloj sadrži jedan neuron koji predstavlja izlaznu promenljivu tj. intenzitet globalnog Sunčevog zračenja na horizontalnu površinu. Neuroni u ulaznom i skrivenom sloju veštačke neuronske mreže imali su sigmoidnu aktivacionu funkciju, dok neuroni izlaznog sloja imaju linearnu aktivacionu funkciju.



Slika 6. Arhitektura veštačke neuronske mreže (VNM 5-6-1)

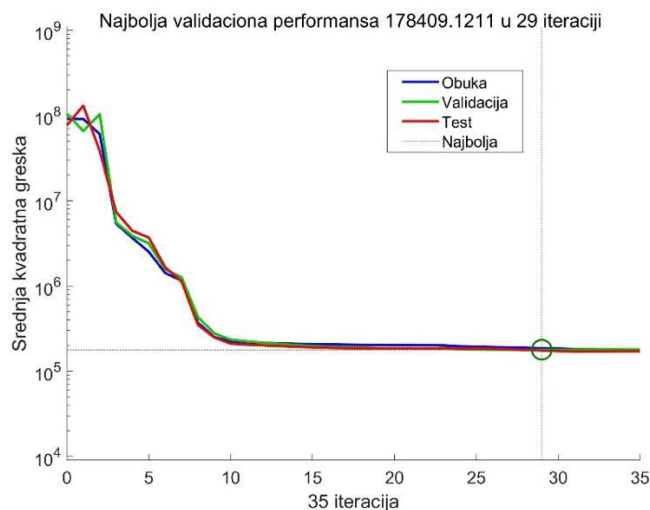
U konkretnom slučaju korišćena je višeslojna neuronska mreža sa propagacijom greške unazad kao mehanizmom obuke. Algoritam propagacije greške unazad koristi srednju kvadratnu grešku kao meru uspešnosti procesa obuke. Algoritmu se predstavlja uređeni skup podataka: $(p_1, t_1), (p_2, t_2), \dots, (p_q, t_q)$, gde je p_q ulaz u mrežu, a t_q je odgovarajući ciljani izlaz [7]. Ulazi u mrežu kroz algoritam obuke generišu odgovarajuće izlaze koji se porede sa ciljanim, a algoritam prilagođava mrežne parametre (težinske koeficijente i prag aktivacije) kako bi minimizirao srednju kvadratnu grešku:

$$MSE = \frac{1}{q} \sum_{k=1}^q e(k)^2 = \frac{1}{q} \sum_{k=1}^q (p(k) - t(k))^2 \quad (6)$$

Za obuku je korišćena unapređena verzija bazičnog algoritma sa propagacijom greške unazad, *Levenberg-Marquardt* algoritam. *Levenberg-Marquardt* algoritam je tehnika numeričke optimizacije koja se veoma uspešno primenjuje u obuci višeslojnih perceptrona i obezbeđuje brzu i stabilnu konvergenciju [8]. Ukupni broj izvršenih eksperimenata je 140. Skup podataka je proizvoljno podeljen na skupove za obuku, validaciju i testiranje (80%: 10%: 10%). Uzorak treninga (112 merenja) predstavljen je mreži tokom treninga, a mreža je prilagođena svojoj grešci. Uzorak validacije, realizovan na setu od 14 merenja, korišćen je za merenje unapređenja mreže i za zaustavljanje treninga kada se sposobnost mreže prestala poboljšavati. Konačno, uzorak za testiranje (14 merenja) nije imao uticaja na trening i tako je pružio nezavisnu meru valjanosti mrežnih performansi tokom i nakon treninga. Trening veštačke neuronske mreže završava se u 29. iteraciji, a srednje kvadratne greške dobijenog modela prikazane su na slici 7.

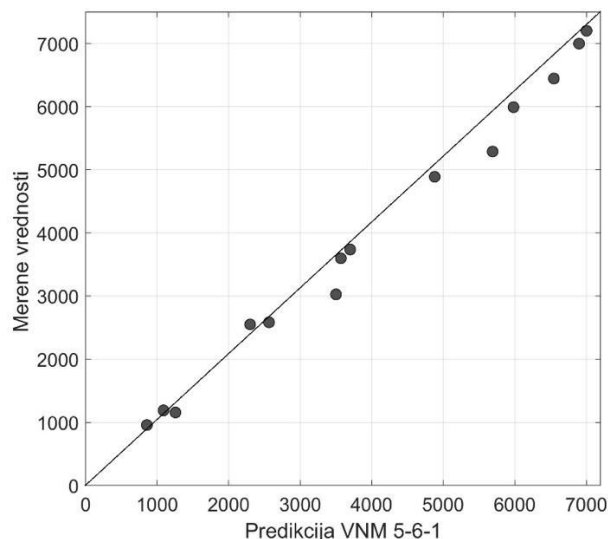
IV. REZULTATI

Rezultati istraživanja pokazuju da je veštačka neuronska mreža ANN 5-6-1 pokazala je zadovoljavajući stepen predviđanja globalnog Sunčevog zračenja na horizontalnu površinu obzirom da je praćen određeni vremenski period, koji je bio prilično širokog opsega, tokom samo jedne godine. Praćenje istog vremenskog intervala tokom više godina rezultiralo bi značajno stabilnijim modelom i preciznijom predikcijom. Na slici 8 prikazano je poređenje rezultata predviđanja veštačke neuronske mreže (ANN 5-6-1) i izmerenih rezultata intenziteta globalnog Sunčevog zračenja na horizontalnu površinu na izabranoj lokaciji.



Slika 7. Srednja kvadratna greška tokom iteracija

Rezultati istraživanja pokazuju da je modelovanje Sunčevog zračenja pomoću predložene metodologije moguće sa visokim stepenom pouzdanosti. Rezultati u fazi testiranja razvijenog modela VNM 5-6-1 pokazuju maksimalnu i srednju grešku 13,54% i 4,94%, respektivno. Ovakav rezultat je prihvatljiv ako se u obzir uzme korišćena količina podataka, odnosno činjenica da je istraživanje sprovedeno na nivou jedne kalendarske godine. U budućim istraživanjima za predviđanje intenziteta globalnog Sunčevog zračenja cilj je obuhvatiti isti vremenski period višegodišnjim praćenjem i akvizicijom podataka, kao i sprovesti analizu drugih potencijalno uticajnih meteoroloških parametara kako bi se poboljšala tačnost razvijanih modela.



Slika 8. Poređenje izmerenih i prediktovanih vrednosti globalnog Sunčevog zračenja

V. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazana je primena veštačkih neuronskih mreža za predviđanje globalnog Sunčevog zračenja na horizontalnu. Prikazana je metodologija razvoja solarnog modela baziranog na najčešće dostupnim izmerenim meteorološkim

parametrima kao što su minimalna i maksimalna temperatura vazduha, vreme trajanja sijanja Sunca i relativne vlažnosti vazduha kao ulaznim podacima za razvoj modela. Izbor ovih ulaznih parametara je rezultat njihove široke raspoloživosti na većini lokacija, dobre korelacije sa globalnim Sunčevim zračenjem, kao i jednostavne i jeftine opreme potrebne za njihovo merenje. Za istraživanje u ovom radu korišćeni su izmereni podaci sa automatske meteorološke stanice Fakulteta tehničkih nauka za lokaciju grada Čačka.

Rezultati istraživanja pokazuju da primena višeslojnih neuronska mreža sa propagacijom greške unazad kao mehanizmom obuke daje zadovoljavajuće rezultate predikcije globalnog Sunčevog zračenja na izabranoj lokaciji. Analiza rezultata u fazi testiranja uspešnosti neuronske mreže pokazuje da su maksimalna i srednja greška u predviđanju intenziteta globalnog Sunčevog zračenja na horizontalnu površinu 13,54%, odnosno 4,94%. Vrednosti dobijenih grešaka u fazi ispitivanja su zadovoljavajući obzirom da je ispitivanje izvršeno na setu od 140 podataka. Predloženi solarni model može se koristiti kao efikasan alat za procenu intenziteta globalnog Sunčevog zračenja na horizontalnu površinu i na drugim lokacijama i ima mogućnost proširenja za korišćenje drugih dostupnih meteoroloških parametara.

ZAHVALNOST

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije i Fakultetu tehničkih nauka u Čačku Univerziteta u Kragujevcu na podršci u realizaciji i finansiranju naučnoistraživačkog rada prema Ugovoru 451-03-68/2020-14/ 200132.

LITERATURA

- [1] S. A. Kalogirou, "Artificial neural networks in renewable energy systems applications: a review" in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, Vol. 5(4), December 2001, pp. 373-401.

- [2] Y. K. Sanusi, S. G. Abisoye A. O. Abiodun, "Application of Artificial Neural Networks to Predict Daily Solar Radiation in Sokoto," in *International Journal of Current Engineering and Technology*, Vol.3, No.2, June 2013, pp. 647-652.
- [3] L. Olatomiwa, S. Mekhilef, S. Shamshirband, D. Petković, "Adaptive neuro-fuzzy approach for solar radiation prediction in Nigeria," in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 51, 2015, pp. 1784–1791.
- [4] V. H. Quej, J. Almorox, J. A. Arnaldo, L. Saito, "ANFIS, SVM and ANN soft-computing techniques to estimate daily global solar radiation in a warm sub-humid environment," in *Journal of Atmospheric and Solar–Terrestrial Physics*, Vol. 144, 2017, pp. 62-70.
- [5] J. A. Duffie, W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons, 2006.
- [6] M. T. Hagan, H. B. Demuth, M. H. Beale, O. De Jesus, *Neural Network Design (2nd Edition)*, Oklahoma State University, Stillwater, United States, 2014.
- [7] T. M. Hagan, M. B. Menhaj, Training feed-forward networks with the Marquardt algorithm, *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol.5, No.6, November 1994, pp. 989–993.

AUTORI

Milan Marjanović – Master inženjer mašinstva,

milan.marjanovic@ftn.kg.ac.rs

Nedeljko Dučić – Doktor tehničkih nauka – mašinsko

inženjerstvo, nedeljko.ducic@ftn.kg.ac.rs

Snezana Dragičević, Doktor tehničkih nauka – mašinsko

inženjerstvo, snezana.dragicevic@ftn.kg.ac.rs

Vojislav Vujičić – Master inženjer mehatronike,

vojislav.vujicic@ftn.kg.ac.rs

Autor za kontakt – Milan Marjanović,

milan.90.marjanovic@gmail.com, 032-302710