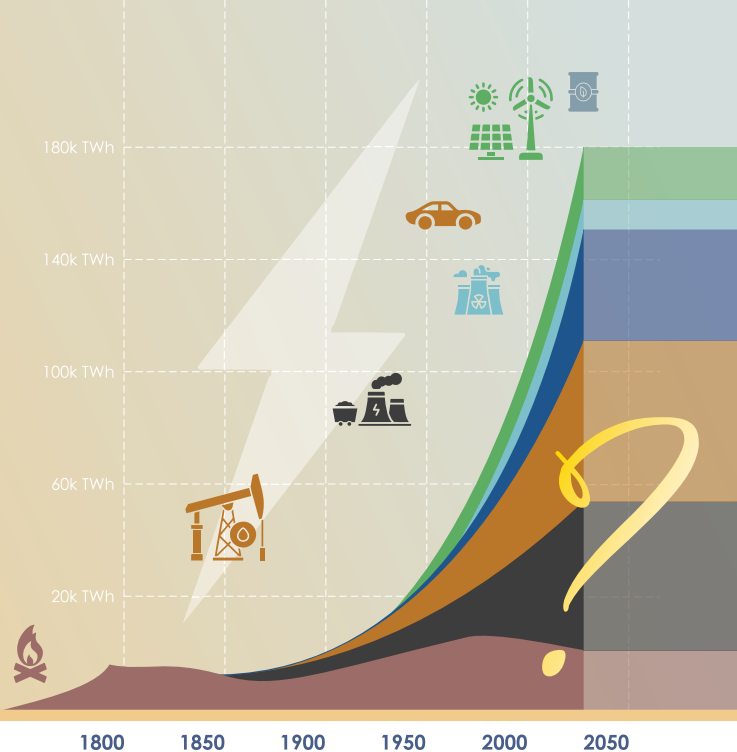


41. Međunarodno Savetovanje
International Conference

ENERGY ENERGETIKA 2026



ZBORNİK APSTRAKATA BOOK OF ABSTRACTS

15-18 / 04 / 2026
Hotel Zlatibor Resort, Zlatibor

POKROVITELJ - ENDORSEMENT



Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja
i inovacija Republike Srbije



Ministarstvo rudarstva i energetike
Republike Srbije



PLATINASTI SPONZOR - PLATINUM SPONSOR

PROINTER GROUP

ZLATNI SPONZORI - GOLDEN SPONSORS



SIEMENS

SIEMENS energy

SPONZORI - SPONSORS



EENERGOPROJEKT
HIDROINŽENJERING a.d.



SPONZOR KONGRESNE TORBE
CONFERENCE BAG SPONSOR



SPONZOR SVEČANE VEČERE
GALA DINNER SPONSOR



SPONZORI UČEŠĆA STUDENATA - STUDENT PARTICIPATION SPONSORS



41. Međunarodno savetovanje ENERGETIKA | International Conference ENERGY 2026

Zlatibor, 15-18 / 04 / 2026

Izdavač Publisher:	Savez energetičara Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd, Srbija E-mail: info@savezenergeticara.org Web: savezenergeticara.online
Glavni i odgovorni urednik Editor in Chief:	prof. dr Nikola Rajaković
Priprema i tehnička obrada Prepress:	BBN Congress Management d.o.o. Deligradska 9, 11000 Beograd, Srbija Tel: +381 11 3629 405, 3629 402, 2682 318 E-mail: bbn@bbn.co.rs Web: www.bbn.co.rs
Dizajn korica Cover design:	Marija Marković
Izrada - Umnožavanje Production:	BBN Congress Management d.o.o.
Tiraž Copies:	400
Mesto izdavanja Place of issue:	Beograd
Godina izdavanja Year of issue:	2026

doi: [10.46793/86199-07-2.EEE26](https://doi.org/10.46793/86199-07-2.EEE26).

CIP - Каталогизacija у публикацији Народна библиотека Србије, Београд

621.31(048)(0.034.2)
502.131.1:620.9(048)(0.034.2)
338.4:621.31(048)(0.034.2)

МЕЂУНАРОДНО саветовање Енергетика 2026 (41 ; 2026 ; Златибор)

Zbornik apstrakata [Elektronski izvor] / 41. Međunarodno savetovanje Energetika 2026, 15-18.04.2026, Zlatibor = Book of abstracts / 41. International Conference Energy 2026 ; [glavni i odgovorni urednik Nikola Rajaković]. - Beograd : Savez energetičara, 2026 (Beograd : BBN congress management). - 1 USB fleš memorija ; 1 x 2 x 6 cm. - (Energija, ekonomija, ekologija)

Sistemski zahtevi: Nisu navedeni. - Apstrakti uporedo na srp. i engl. jeziku. - Nasl. sa naslovne strane dokumenta. - Tiraž 400.

ISBN 978-86-86199-07-2

a) Електроенергетика -- Апстракти b) Енергетска политика -- Апстракти
v) Енергетски извори -- Одрживи развој -- Апстракти

COBISS.SR-ID 199787529

ORGANIZACIONO-PROGRAMSKO-NAUČNI ODBOR | ORGANIZING-PROGRAM-SCIENTIFIC COMMITTEE

Kopredsednici:

Dušan Živković, Generalni direktor, EPS, Srbija
Prof. dr Nikola Rajaković, Predsednik Saveza energetičara, Srbija
Prof. dr Milun Babić, Predsednik Skupštine Saveza energetičara, Srbija

Sekretarijat:

Prof. dr Dušan Gordić, Glavni i odgovorni urednik časopisa "Energija Ekonomija Ekologija", Srbija
dr Ilija Batas-Bijelić, naučni saradnik, Generalni sekretar Saveza energetičara, Srbija
Sandra Alagić, portparol Saveza energetičara, EDS, Srbija
Doc. dr Tomislav Rajić, urednik sajta Saveza energetičara, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Tanja Krstonijević, direktor Sektora za odnose s javnošću EPS AD
Dr Iva Batić, Zamenik Glavnog i odgovornog urednika časopisa "Energija Ekonomija Ekologija", Srbija
Doc. dr Jelena Stojković Terzić, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Marko Popović, BBN Congress Management, Srbija

Članovi:

Dr Dejan Ostojić, Nadzorni odbor Elektroprivreda Srbije a.d, Srbija
Jelena Matejić, Generalni direktor, EMS, Srbija
Biljana Komnenić, Generalni direktor, EDS, Srbija
Milutin Đukanović, Predsednik Odbora direktora, EPCG, Crna Gora
Luka Petrović, Generalni direktor, ERS, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina
Jovica Vlatković, Izvršni direktor za razvoj i investicije, ERS, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina
Dušan Torbica, Predsednik uprave ELNOS Grupe, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina
Prof. dr Mirjana Kijevčanin, Dekan, Tehnološko – metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Prof. dr Vladimir Popović, Dekan, Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Prof. dr Adriana Sida Manea, Politehnica-University of Timisoara, Rumunija
Prof. dr Čedomir Zeljković, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Banjaluci, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina
Prof. dr Vladimir Terzija, Newcastle University, Velika Britanija
Prof. dr Saša Mujović, Elektrotehnički fakultet Podgorica, Univerzitet Crne Gore
Prof. dr Kledi Xhaxhiu, Faculty of Natural Sciences, University of Tirana, Albanija
Prof. dr Mirza Kušljagić, Fakultet elektrotehnike, Univerzitet Tuzla, Bosna i Hercegovina
Prof. dr Neven Duić, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Hrvatska
Prof. dr Peter Vrtič, Faculty of Energy Technology, University of Maribor, Slovenija
Dr Iñigo Capellán-Pérez, Research Group on Energy, Economy and System Dynamics - University of Valladolid, Španija
Dr Nataša Markovska, Macedonian Academy of Sciences and Arts, Skopje (MANU), R. Severna Makedonija
Prof. dr Dejan Ivezić, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Prof. dr Miloš Banjac, Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Prof. dr Mladen Koprivica, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija

Prof. dr Aleksandar Nešković, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Prof. dr Ivan Božić, Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Prof. dr Aleksandar Jovović, Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Prof. dr Srećko Ćurčić, Fakultet tehničkih nauka Čačak, Univerzitet u Kragujevcu
Prof. dr Željko Despotović, Institut Mihajlo Pupin, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Prof. dr Željko Đurišić, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Prof. dr Luka Strezoski, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija
Nebojša Petrović, Predsednik CIGRE, Srbija
Dr Zoran Simendić, Predsednik CIRED Srbija
Radovan Stanić, dipl. el. ing., EPS, Srbija
Vladimir Milenović, EDS, Srbija
Srdan Srdanović, Siemens, Srbija
Petar Šainović, Siemens Energy, Srbija
Ljubo Mačić, konsultant, Srbija
Željko Marković, Scitech, Beograd, Srbija
Dunja Grujić, Beograd, Srbija
Nebojša Lapčević, EPS, Srbija
Angel Nikolaev, Black Sea Energy Research Center (BSERC), Bugarska
Miloš Mladenović, SEEPEX, Srbija
Mladen Apostolović, EFT, Srbija
Bojan Papić, Institut Mihajlo Pupin, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Slobodan Jerotić, Udruženje toplana Srbije, Srbija
Dejan Stojanović, Udruženje toplana Srbije

RECENZENTI | REVIEWERS

Ilija Batas Bjelić, Institut tehničkih nauka SANU
Iva Batić, Elektrotehnički fakultet
Vladimir Bečejac, Univerzitet u Beogradu
Ivan Božić, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet
Tina Dašić, Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu
Željko V. Despotović, Institut Mihajlo Pupin
Snežana Dragičević, Fakultet tehničkih nauka Čačak
Petar Đukić, University of Belgrade
Dušan Gordić, Fakultet inženjerskih nauka, Univerziteta u Kragujevcu
Dunja Grujić, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu
Bojan Ivanović, Elektrodistribucija Srbije
Dejan Ivezić, Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet
Slobodan Jerotić, JES
Mladen Josijević, Fakultet inženjerskih nauka, Univerziteta u Kragujevcu
Aleksandar Jovović, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet
Draško Kovač, Univerzitet Crne Gore-Pomorski fakultet Kotor
Jelisaveta Krstivojević, Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet
Branislava Lepotić Kovačević, Udruženje za pravo energetike Srbije
Miroslav Parović, Elektrodistribucija Srbije doo Beograd
Milan Petrović, AERS
Tomislav Rajić, Univerzitet u Beogradu-Elektrotehnički fakultet
Nikola Stanković, Elektroprivreda Srbije
Branko Stojanović, Tehnički opitni centar
Vanja Šušteršić, Fakultet inženjerskih nauka
Vladimir Vukašinović, Fakultet inženjerskih nauka
Miodrag Vuković, Fakultet za projektni menadžment
Mileta Žarković, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu
Dubravka Živković, Institut za informacione tehnologije, Univerzitet u Kragujevcu

SADRŽAJ | CONTENT

Specijalna sesija / Special Session 1.1

OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE – RENEWABLE ENERGY SOURCES

1.1.1 #554	18
OPERATIVNA OGRANIČENJA PRI PRIKLJUČENJU OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE: REGULATORNI OKVIR I MOGUĆNOSTI UNAPREĐENJA U REPUBLICI SRBIJI	
OPERATIONAL LIMITATIONS IN RENEWABLE ENERGY CONNECTION: REGULATORY FRAMEWORK AND IMPROVEMENT OPTIONS IN SERBIA	
<i>Milica Vukovljak, Ivan Trkulja</i>	
1.1.2 #598	19
INTEGRACIJA FOTONAPONSKIH SISTEMA PRILIKOM REKONSTRUKCIJE KOSIH I RAVNIH KROVOVA	
INTEGRATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN THE REFURBISHMENT PROCESS OF PITCHED AND FLAT ROOFS	
<i>Bojana Zeković, Iva Batić</i>	
1.1.3 #556	20
EVALUACIJA EFEKATA FLEKSIBILNIH RESURSA NA PRIMJERU IEEE TESTNE MREŽE	
EVALUATION OF THE EFFECTS OF FLEXIBLE RESOURCES USING AN IEEE TEST NETWORK	
<i>Jelena Samardžić, Miloš Jelovac, Vladan Durković</i>	
1.1.4 #588	21
ANALIZA POKAZATELJA POUZDANOSTI DISTRIBUTIVNOG SISTEMA UZ UVAŽAVANJE PRISUSTVA PROZJUMERA SA BATERIJSKIM SKLADIŠTENJEM ENERGIJE	
ANALYSIS OF DISTRIBUTION SYSTEM RELIABILITY INDICES CONSIDERING THE PRESENCE OF PROSUMERS WITH BATTERY ENERGY STORAGE	
<i>Doroteja Zarev, Jelisaveta Krstivojević</i>	
1.1.5 #632	22
ENERGETSKI NEZAVISNE HIBRIDNE MIKROMREŽE SA FOTONAPONSKIM SISTEMIMA, BIOGASNIM AGREGATOM I BATERIJSKIM SKLADIŠTEM	
ENERGY-INDEPENDENT HYBRID MICROGRIDS WITH PHOTOVOLTAIC SYSTEMS, A BIOGAS GENERATOR, AND BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM	
<i>Nikola Bogdanović, Marijan Rančić, Željko Đurišić</i>	
1.1.6 #518	23
AGRO-FOTONAPONSKE ELEKTRANE U REPUBLICI SRBIJI	
AGRO-PHOTVOLTAIC POWER PLANTS IN THE REPUBLIC OF SERBIA	
<i>Uroš Gordić, Miloš Bogdanović, Miloš Ječmenica</i>	
1.1.7 #546	24
INTEGRACIJA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE, SKLADIŠTENJA ENERGIJE I PROIZVODNJE ZELENOG VODONIKA U INDUSTRIJSKOM ENERGETSKOM SISTEMU	
INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES, ENERGY STORAGE AND GREEN HYDROGEN PRODUCTION IN AN INDUSTRIAL ENERGY SYSTEM	
<i>Saša Đorđević, Biljana Stekić - Jovanović</i>	
1.1.8 #553	26
TRŽIŠTE ELEKTRIČNE ENERGIJE U REPUBLICI SRBIJI - STRUKTURA, REGULATORNI OKVIR I USKLAĐENOST SA EVROPSKIM TRŽIŠTEM	
ELECTRICITY MARKET IN THE REPUBLIC OF SERBIA - MARKET STRUCTURE, REGULATORY FRAMEWORK AND ALIGNMENT WITH THE EUROPEAN MARKET	
<i>Milica Vukovljak, Dragana Barjaktarević</i>	

1.1.9 #657	27
UTICAJ VARIJACIJE PROIZVODNOG MIKSA NA STANJE ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA KORIŠĆENJEM TRŽIŠNIH PRORAČUNA	
THE IMPACT OF PRODUCTION MIX VARIABILITY ON THE STATE OF THE POWER SYSTEM USING MARKET-BASED CALCULATIONS	
<i>Andrija Pavićević, Vladan Ristić, Nebojša Vučinić</i>	
1.1.10 #658	28
UTICAJ PARAMETARA TRANSFORMATORA NA REAKTIVNE MOGUĆNOSTI PROIZVODNOG MODULA PRIKLJUČENOG NA PRENOSNI SISTEM	
IMPACT OF TRANSFORMER PARAMETERS ON THE REACTIVE POWER CAPABILITY OF A POWER GENERATING MODULE CONNECTED TO THE TRANSMISSION SYSTEM	
<i>Sonja Simović, Jelena Milić, Nebojša Vučinić</i>	
Specijalna sesija / Special Session 1.2	
KONCEPT I PRAKTIČNA ISKUSTVA UVOĐENJA AGREGATORA U ELEKTROENERGETIKU - INTRODUCTION OF AGGREGATORS IN POWER SYSTEMS, CONCEPT AND EXPERIENCE	
1.2.1 #582	29
ULOGA BATERIJSKIH SISTEMA ZA SKLADIŠTENJE ENERGIJE U MODERNIZACIJI ELEKTROENERGETSKIH MREŽA	
ROLE OF BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEMS IN MODERN POWER GRIDS	
<i>Sreten Čalasan, Vojislav Stojanović, Milan Stojanović</i>	
1.2.2 #596	31
FLEKSIBILNOST I ULOGA AGREGATORA U ENERGETSKOJ TRANZICIJI ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA SRBIJE	
FLEXIBILITY AND THE ROLE OF AGGREGATORS IN THE ENERGY TRANSITION OF THE SERBIAN POWER SYSTEM	
<i>Jelisaveta Krstivojević, Jelena Stojković Terzić, Dunja Grujić, Nikola Tošić</i>	
1.2.3 #600	32
MOGUĆNOSTI I IZAZOVI ZA RAD AGREGATORA U REPUBLICI SRBIJI	
OPPORTUNITIES AND CHALLENGES FOR AGGREGATOR OPERATIONS IN THE REPUBLIC OF SERBIA	
<i>Dunja Grujić, Nikola Tošić, Jelena Stojković Terzić, Jelisaveta Krstivojević</i>	
1.2.4 #618	33
ULOGA AGREGATORA U OBEZBEĐIVANJU FLEKSIBILNOSTI I BALANSIRANJU ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA	
THE ROLE OF AGGREGATORS IN PROVIDING FLEXIBILITY AND BALANCING SERVICES IN THE POWER SYSTEM	
<i>Dušan Vučić, Miloš Kuzman, Dunja Grujić</i>	
1.2.5 #601	35
PRIMENA IZVEŠTAJNIH SISTEMA U ELEKTROENERGETSKOM SEKTORU	
APPLICATION OF REPORTING SYSTEMS IN THE ELECTRIC POWER SECTOR	
<i>Jovana Nikolić, Dunja Grujić, Dejan Polugić</i>	
1.2.6 #499	37
ANALIZA ISPLATIVOSTI INVESTICIJE ZA KUPCE-PROIZVOĐAČE	
COST-EFFECTIVENESS ANALYSIS OF THE INVESTMENT FOR BUYERS-MANUFACTURERS	
<i>Radovan Đorđević, Svetlana Milošević Đorđević</i>	
1.2.7 #510	38
UTICAJ DISTRIBUIRANE PROIZVODNJE UZDUŽ NESIMETRIČNO OPTEREĆENOG NISKONAPONSKOG VODA	
IMPACT OF DISTRIBUTED GENERATION ALONG AN ASYMMETRICALLY LOADED LOW-VOLTAGE LINE	
<i>Siniša Spremić, Aleksandar Antonić</i>	

Specijalna sesija / Special Session 1.3

ENERGETSKA EFIKASNOST U SVIM SEKTORIMA FINALNE ENERGIJE - END USER ENERGY EFFICIENCY

1.3.1 #516	39
KA NISKOUGLJENIČNOM ZDRAVSTVENOM SEKTORU: SVEOBUHVAATNI PREGLED	
TOWARDS A LOW-CARBON HEALTHCARE SECTOR: A COMPREHENSIVE REVIEW	
<i>Dušan Gordić, Vladimir Vukašinović, Mladen Josijević, Nebojša Jurišević</i>	
1.3.2 #570	40
IDENTIFIKACIJA MOGUĆNOSTI ZA UNAPREĐENJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI KROZ ANALIZU POTROŠNJE VODE TOKOM TUŠIRANJA U DOMAĆINSTVIMA: STUDIJA SLUČAJA	
IDENTIFICATION OF OPPORTUNITIES FOR IMPROVING ENERGY EFFICIENCY THROUGH THE ANALYSIS OF SHOWER WATER CONSUMPTION IN HOUSEHOLDS: A CASE STUDY	
<i>Natalija Aleksić, Vanja Šušteršić, Dušan Gordić, Vladimir Vukašinović, Nebojša Jurišević, Strahinja Milenković</i>	
1.3.3 #573	42
ENERGETSKA I EKSERGETSKA ANALIZA BRODSKOG KOTLOVSKOG POSTROJENJA NA LNG POGON SA ISKORIŠĆAVANJEM OTPADNE TOPLOTE	
ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF A MARINE BOILER PLANT FUELED BY LNG WITH WASTE HEAT RECOVERY	
<i>Draško Kovač, Jakša Vujović, Sead Cvrk, Đorđe Nedeljkov</i>	
1.3.4 #575	43
OPTIMIZACIJA ENERGETSKE EFIKASNOSTI TURBOPUNJAČA VTR 714-32 NA BRODSKOM GLAVNOM MOTORU	
OPTIMISATION OF ENERGY EFFICIENCY OF THE TURBOCHARGER VTR 714-32 ON A SHIP'S MAIN ENGINE	
<i>Jakša Vujović, Draško Kovač, Sead Cvrk, Đorđe Nedeljkov</i>	
1.3.5 #585	44
UTICAJ SNIŽAVANJA GORNJE GRANICE VIŠE TARIFE ELEKTRIČNE ENERGIJE NA SISTEME GREJANJA U DOMAĆINSTVIMA	
THE IMPACT OF REDUCING THE UPPER ELECTRICITY TARIFF THRESHOLD ON RESIDENTIAL HEATING SYSTEMS	
<i>Mladen Josijević, Vladimir Vukašinović, Dušan Gordić, Vanja Šušteršić, Filip Nastić</i>	
1.3.6 #599	45
NUMERIČKI PRIKAZ OSLOBAĐANJA ENERGIJE TOKOM DETONACIJE EKSPLOZIVA U KUMULATIVNOM PROJEKTILU	
NUMERICAL REPRESENTATION OF ENERGY RELEASE DURING EXPLOSIVE DETONATION IN A CUMULATIVE PROJECTILE	
<i>Anđela Ivković, Mladen Josijević, Jelena Marinković, Danica Bajić, Saša Savić</i>	
1.3.7 #574	46
ISPITIVANJE UTICAJA BIODIZELA OD PALMINOG ULJA (PME) NA POGONSKE KARAKTERISTIKE BRODSKOG DVOTAKTNOG DIZEL MOTORA	
INVESTIGATION OF THE IMPACT OF OALM OIL BIODIESEL (PME) ON THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF A MARINE TWO-STROKE DIESEL ENGINE	
<i>Sead Cvrk, Draško Kovač, Jakša Vujović, Đorđe Nedeljkov</i>	

Specijalna sesija / Special Session 2.1

DIGITALIZACIJA I ODGOVORNA UPOTREBA PODATAKA U UPRAVLJANJU EES - DIGITALIZATION AND RESPONSIBLE USE OF DATA IN THE MANAGEMENT OF POWER SYSTEMS

2.1.1 #508	47
UPOTREBA MAŠINSKOG UČENJA I NAPREDNIH ALGORITAMA U PLANIRANJU RADA PRENOSNOG SISTEMA	
UTILIZATION OF MACHINE LEARNING AND ADVANCED ALGORITHMS IN TRANSMISSION SYSTEM OPERATION PLANNING	
<i>Srdan Mladenović, Marija Đorđević, Marija Miljuš, Petar Petrović, Miroslav Vilček, Ana Bukara</i>	

2.1.2 #512	48
ZNAČAJ TRANSFORMACIJE NAPONA U TS OBRENOVAC ZA POUZDANOST 110 KV MREŽE U REGIONU BEOGRADA PRI ISPADIMA DALEKOVODA U 400 KV I 220 KV MREŽI I PREDIKTIVNE DISPEČERSKE AKCIJE	
THE IMPORTANCE OF VOLTAGE TRANSFORMATION AT THE SS OBRENOVAC FOR THE RELIABILITY OF THE 110 KV NETWORK IN THE BELGRADE REGION DURING OUTAGES OF TRANSMISSION LINES IN THE 400 KV AND 220 KV NETWORKS AND PREDICTIVE DISPATCHING ACTIONS	
<i>Miloš Đorđević, Vladimir Bečejac, Milan Trifunović, Stefan Petković, Jovica Vidaković</i>	
2.1.3 #519	49
DIGITALIZACIJA PROCESA NABAVKE ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA NADOKNADU GUBITAKA U PRENOSNOM SISTEMU	
DIGITALIZATION OF THE ELECTRICITY PROCUREMENT PROCESS FOR LOSS COMPENSATION IN THE TRANSMISSION SYSTEM	
<i>Ružica Ašanin, Vladimir Bečejac, Aleksandar Vasković</i>	
2.1.4 #547	50
PRIMENA NEURALNIH MREŽA ZA PREDIKCIJU STANJA ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA	
APPLICATION OF NEURAL NETWORKS FOR SHORT-TERM STATE PREDICTION IN POWER SYSTEMS	
<i>Jelena Misita, Marija Milovanović, Željana Ristić, Đorđe Čakaravić</i>	
2.1.5 #584	51
DETEKCIJA FALSE DATA INJECTION NAPADA U PAMETNIM MREŽAMA PRIMENOM MAŠINSKOG UČENJA NA BIG DATA SETOVIMA	
DETECTION OF FALSE DATA INJECTION ATTACKS IN SMART GRIDS USING MACHINE LEARNING ON BIG DATA DATASETS	
<i>Vladimir Bečejac, Dobrila Škatarić, Petar Lukić</i>	
2.1.6 #586	52
UPRAVLJANJE POVERLJIVIM PODACIMA U OPERATIVNOM PLANIRANJU RADA ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA EVROPE	
MANAGEMENT OF CONFIDENTIAL DATA IN THE OPERATIONAL PLANNING OF THE EUROPEAN POWER SYSTEM	
<i>Andrej Tasić, Vladimir Bečejac</i>	
2.1.7 #593	53
MALICIOZNI NAPADI NA ESTIMATOR STANJA U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA: ANALIZA IZVODLJIVOSTI NAPADA U USLOVIMA MALE REDUNDANSE MERENJA	
MALICIOUS ATTACKS ON THE STATE ESTIMATOR IN DISTRIBUTION NETWORKS: ANALYSIS OF ATTACK FEASIBILITY UNDER CONDITIONS OF LOW MEASUREMENT REDUNDANCY	
<i>Stefan Čubonović, Dragan Četenović, Nikola Vojnović, Aleksandar Ranković</i>	
Specijalna sesija / Special Session 2.2	
PRIVREDA NAFTE, GASA I DRUGIH GORIVA – OIL, GAS, AND OTHER FOSSIL FUELS INDUSTRY	
2.2.1 #522	54
ANALIZA MOGUĆNOSTI KORIŠĆENJA NAPUŠTENIH NAFTNIH I GASNIH BUŠOTINA KAO IZVOR TOPLLOTNE ENERGIJE U SRBIJI	
ANALYSIS OF THE POTENTIAL USE OF ABANDONED OIL AND GAS WELLS AS A SOURCE OF THERMAL ENERGY IN SERBIA	
<i>Marija Ilić, Dušan Danilović, Miroslav Crnogorac, Anastasija Mirjanić, Vesna Karović-Maričić, Lola Tomić</i>	
2.2.2 #524	55
OPTIMIZACIJA RADA MEHANIČKIH METODA EKSPLOATACIJE NAFTE I GASA SA ASPEKTA ENERGETSKE EFIKASNOSTI	
ENERGY-EFFICIENT OPTIMIZATION OF ARTIFICIAL LIFT METHODS IN OIL AND GAS PRODUCTION	
<i>Anastasija Mirjanić, Dušan Danilović, Vesna Karović-Maričić, Miroslav Crnogorac, Marija Ilić, Lola Tomić</i>	
2.2.3 #526	56
MOGUĆNOST PRIMENE TEHNOLOGIJE SKLADIŠTENJA CO₂ IZ ENERGETSKIH OBJEKATA - STUDIJA SLUČAJA	
THE POSSIBILITY OF APPLYING CO₂ STORAGE TECHNOLOGY ON ENERGY FACILITIES - CASE STUDY	
<i>Nemanja Aleksić</i>	

2.2.4 #544	57
OBAVEZE OPERATORA TRANSPORTNIH I DISTRIBUTIVNIH SISTEMA PRIRODNOG GASA IZ UREDBI O MREŽNIM PRAVILIMA	
OBLIGATIONS OF NATURAL GAS TRANSMISSION AND DISTRIBUTION SYSTEM OPERATORS ARISING FROM NETWORK CODE REGULATIONS	
<i>Branka Tubin-Mitrović</i>	
2.2.5 #568	58
KORIŠĆENJE OBNOVLJIVIH IZVORA ZA PROIZVODNJU ZELENOG VODONIKA I NJEGOVO SKLADIŠTENJE U ISCRPLJENIM GASNIM LEŽIŠTIMA – PUT KA ENERGETSKOJ SIGURNOSTI I ODRŽIVOM RAZVOJU SRBIJE	
USING RENEWABLE ENERGY SOURCES FOR GREEN HYDROGEN PRODUCTION AND ITS STORAGE IN DEPLETED GAS FIELDS – A PATH TOWARD ENERGY SECURITY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF SERBIA	
<i>Aleksandar Madžarević, Predrag Jovančić, Miroslav Crnogorac, Nikoleta Aleksić, Filip Miletić</i>	
2.2.6 #521	59
PREDIKCIJA TOPLOTNE MOĆI UGLJA TERMoeLEKTRANE “KOSTOLAC B” POMOĆU MODELA MAŠINSKOG UČENJA	
PREDICTION OF THE HEATING VALUE OF COAL AT THE TPP “KOSTOLAC B” USING MACHINE LEARNING MODELS	
<i>Aleksandar Milićević, Srđan Belošević, Ivan Tomanović, Nenad Crnomarković, Milić Erić, Zoran Marković, Nikola Živković, Ivan Lazović</i>	
2.2.7 #531	60
UTICAJ PROMENE PROTOKA VAZDUHA NA SUŠENJE LIGNITA U FLUIDIZOVANOM SLOJU	
INFLUENCE OF AIR FLOW VARIATION ON LIGNITE DRYING IN A FLUIDISED BED	
<i>Milić Erić, Zoran Marković, Aleksandar Milićević, Rastko Jovanović, Marija Živković, Ivan Lazović, Nikola Živković</i>	
Specijalna sesija / Special Session 2.3	
UPRAVLJANJE RIZICIMA U ENERGETICI – RISK MANAGEMENT IN POWER SYSTEMS	
2.3.1 #612	61
PROCES UPRAVLJANJA RIZICIMA U REALIZACIJI INVESTICIONOG PROJEKTA MODERNIZACIJE OPREME VLASINSKIH HE, FINANSIRANOG IZ EU SREDSTAVA	
RISK MANAGEMENT PROCESS IN THE IMPLEMENTATION OF THE INVESTMENT PROJECT FOR THE MODERNIZATION OF VLASINSKE HPP EQUIPMENT, FINANCED FROM EU FUNDS	
<i>Nebojša Stojićević</i>	
2.3.2 #613	62
UPRAVLJANJE RIZICIMA U ELEKTROPRIVREDI SRBIJE RISK MANAGEMENT IN ELEKTROPRIVREDA SRBIJE	
<i>Nebojša Stojićević</i>	
2.3.3 #616	63
UPRAVLJANJE RIZICIMA U EPCG AD NIKŠIĆ RISK MANAGEMENT IN EPCG AD NIKŠIĆ	
<i>Velimir Strugar, Snežana Đurović, Jelena Gogić</i>	
2.3.4 #651	64
INOVATIVNI PRISTUPI U ODRŽAVANJU DALEKOVODA VISOKOG NAPONA I UPRAVLJANJU RIZICIMA KORIŠĆENJEM ERS (SISTEMA ZA HITNO OBNAVLANJE)	
INOVATIVE APPROACHES TO HIGH-VOLTAGE TRANSMISSION LINE MAINTENANCE AND EFFICIENT RISK MANAGEMENT USING ERS (EMERGENCY RESTORATION SYSTEMS)	
<i>Nada Curović, Branko Đorđević, Zoran Knežević, Mirko Borović, Nikola Šćekić</i>	
2.3.5 #609	65
REKONSTRUKCIJA NAPAJANJA SOPSTVENE POTROŠNJE ELEKTRANE HE ĐERDAP 1 SA OSVRTOM NA POTREBU PRUŽANJA USLUGA USPOSTAVLJANJA PRENOSNOG SISTEMA SRBIJE NAKON RASPADA	
RECONSTRUCTION OF THE POWER SUPPLY OF THE OWN CONSUMPTION OF THE HPP ĐERDAP 1 POWER PLANT WITH A FOCUS ON THE NEED TO PROVIDE SERVICES FOR THE ESTABLISHMENT OF THE TRANSMISSION SYSTEM OF SERBIA AFTER THE GRID OUTAGE	
<i>Milan Mišić, Slobodan Stamenov, Dragan Nikolić, Miloš Gicić, Dragan Gluvačević, Danijel Pejčić</i>	

2.3.6 #525	66
APPLICATION OF LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR ASSESSING THE HOURLY ENVIRONMENTAL IMPACT OF ELECTRICITY GENERATION: A SERBIA AND SLOVENIA CASE STUDY	
<i>Jelena Topic Bozic, Andreja Dobrovoljc, Simon Muhić</i>	

2.3.7 #654	67
STUDIJA RIZIKA INTERNE REVIZIJE U MH ERS INTERNAL AUDIT RISKS STUDY in MH ERD	
<i>Branka Ružević</i>	

2.3.8 #555	68
ANALIZA REGULACIJE FREKVENCIJE ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA PRIMJENOM ACE POKAZATELJA U UVJETIMA POVEĆANE INTEGRACIJE OIE	
ANALYSIS OF POWER SYSTEM FREQUENCY REGULATION USING THE ACE INDICATOR UNDER CONDITIONS OF INCREASED RENEWABLE ENERGY INTEGRATION	
<i>Karlo Koščak, Tonči Tadin, Mario Mužek, Marko Hajdina, Tomislav Lešković</i>	

Specijalna sesija / Special Session 3.1

PRAKTIČNI ASPEKTI PRIMENE I REALIZACIJE ENERGETSKIH SISTEMA NAPAJANJA – PRACTICAL ASPECTS OF THE APPLICATION AND IMPLEMENTATION OF POWER SUPPLY SYSTEMS

3.1.1 #513	69
PROJEKTOVANJE I REALIZACIJA SISTEMA BATERIJSKOG SKLADIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE SNAGE 500KW I KAPACITETA 1075KWH	
DESIGN AND IMPLEMENTATION OF BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM (BESS) WITH 500KW POWER AND 1075KWH CAPACITY	
<i>Miodrag Vuković, Željko V. Despotović, Manojlo Šoškić, Stanko Vuković</i>	

3.1.2 #520	70
IMPLEMENTACIJA KOREKTORA FAKTORA SNAGE U SKLOPU NAPAJANJA ELEKTROMAGNETNOG POGONA REZONANTNOG VIBRACIONOG TRANSPORTERA	
IMPLEMENTATION OF THE POWER FACTOR CORRECTOR AS PART OF THE POWER SUPPLY OF THE ELECTROMAGNETIC DRIVE OF THE RESONANT VIBRATORY TRANSPORTER	
<i>Uroš Ilić, Željko V. Despotović</i>	

3.1.3. #538	71
KONCEPTI NAPAJANJA ELEKTROLIZNIH STANICA I PROIZVODNJE VODONIKA ZA POTREBE ELEKTROPRIVREDE SRBIJE	
POWER SUPPLY CONCEPTS FOR ELECTROLYSIS PLANTS AND HYDROGEN PRODUCTION FOR THE NEEDS OF THE ELECTRIC POWER INDUSTRY OF SERBIA	
<i>Nikola Kovačević</i>	

3.1.4 #557	72
OFF GRID NAPAJANJE HIDROMETEOROLOŠKIH STANICA U SISTEMU ZA PRIKUPLJANJE I MONITORING HIDROMETEOROLOŠKIH PODATAKA DUŽ REKA DUNAV I SAVA U REPUBLICI SRBIJI	
OFF GRID POWER SUPPLY OF HYDRO METEOROLOGICAL STATIONS IN THE SYSTEM FOR COLLECTING AND MONITORING OF HYDRO METEOROLOGICAL DATA ALONG THE DANUBE AND SAVA RIVERS IN THE REPUBLIC OF SERBIA	
<i>Željko V. Despotović, Marko Tajdić, Marko Ristić, Marko Batić</i>	

3.1.5 #564	73
RAZVOJ I IMPLEMENTACIJA MREŽA HIDROMETEOROLOŠKIH STANICA DUŽ REKA DUNAV I SAVA U REPUBLICI SRBIJI	
DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF NETWORKS OF HYDRO METEOROLOGICAL STATIONS ALONG THE DANUBE AND SAVA RIVERS IN THE REPUBLIC OF SERBIA	
<i>Marko Ristić, Marko Batić, Marko Tajdić, Željko V. Despotović, Aleksandra Ružić, Dragan Mićević</i>	

3.1.6 #565	74
PRENAPONSKA ZAŠTITA DC BRZIH PUNJAČKIH STANICA ZA ELEKTRIČNE AUTOMOBILE INSTALIRANIH NA BENZINSKIM PUMPAMA	
OVER-VOLTAGE PROTECTION OF DC FAST CHARGING STATIONS FOR ELECTRIC CARS INSTALLED AT GAS STATIONS	
<i>Milan Đerić, Miloš Kostić, Željko V. Despotović</i>	

3.1.7 #648	75
BESPREKIDNA NAPAJANJA U ELEKTRODISTRIBUTIVNIM SISTEMIMA	
UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLIES IN POWER DISTRIBUTION SYSTEMS	
<i>Srđan Milićević</i>	

3.1.8 #589	76
PROJEKAT TESTIRANJA RADA SOLARNE ELEKTRANE SNAGE 387KW SA DALJINSKIM UPRAVLJANJEM OD ELEKTRODISTRIBUCIJE SRBIJE	
THE PROJECT OF TESTING OF WORK OF PV PLANT 387KW WITH THE REMOTE CONTROL FROM POWER DISTRIBUTION COMPANY SERBIA	
<i>Miodrag Vuković, Željko V. Despotović</i>	

Specijalna sesija / Special Session 3.2

HIDROENERGETIKA – HYDROENERGY

3.2.1 #549	77
ULOGA HE U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU REPUBLIKE SRBIJE - EFEKTI REKONSTRUKCIJE I POVEĆANJA SNAGE HE	
THE ROLE OF HPPS IN THE REPUBLIC OF SERBIA ELECTRIC POWER SYSTEM - EFFECTS OF HPP REHABILITATION AND POWER INCREASE	
<i>Todora Lazić, Nenad Lazić, Zdravko Stojanović, Marija Milić, Ljiljana Milicanović</i>	

3.2.2 #581	78
ODREĐIVANJE REŽIMA RADA BUDUĆE RHE „BISTRICA“ U ZAVISNOSTI OD NIVOVA USKLAĐENOSTI HIDROLOŠKIH, ENERGETSKIH I CENOVNIH PRILIKA	
DETERMINATION OF THE OPERATING MODES OF THE FUTURE PS HPP "BISTRICA" DEPENDING ON THE LEVEL OF COMPLIANCE OF HYDROLOGICAL, ENERGY AND PRICE CONDITIONS	
<i>Vladimir Šiljkut, Dragan Surudžić, Dušan Petrović, Mileta Đurković, Nikola Rajaković</i>	

3.2.3 #590	79
INŽENJERSKA PRAKSA I REŠENJA ZA PREVAZILAŽENJE POGONSKIH PROBLEMA KOD STARIH I NOVIH HIDRAULIČNIH ZATVARAČA RADI BUDUĆEG SVEUKUPNOG POVEĆANJA POUZDANOSTI	
ENGINEERING PRACTICE SOLUTIONS TO OVERCOME OPERATING ISSUES OF OLD AND NEW HYDRAULIC GATES FOR FUTURE OVERALL INCREASED RELIABILITY	
<i>Filip Stojkovski</i>	

3.2.4 #615	80
ANALIZA STANJA NAPONA VRATILA NAKON ZAVRŠETKA KAPITALNOG REMONTA NA AGREGATU A6 2025 GODINE, U HE "ĐERDAP 1"	
ANALYSIS OF THE SHAFT VOLTAGE STATE AFTER THE COMPLETION OF THE CAPITAL OVERHAUL ON UNIT A6 IN 2025, AT HPP "ĐERDAP 1"	
<i>Milan Mišić, Dragan Nikolić, Miloš Gicić, Dragan Gluvačević, Žarko Nestorović, Petar Nikolić, Slobodan Stamenov</i>	

3.2.5 #647	81
ENERGETSKO EKOLOŠKA OPTIMIZACIJA EKSPLOATACIJE HIDROENERGETSKOG SISTEMA – DEO I SREDNJEROČNA OPTIMIZACIJA	
ENERGY AND ECOLOGY OPTIMIZATION OF HYDROPOWER SYSTEM EXPLOITATION - PART I MID-TERM OPTIMIZATION	
<i>Aleksandar Gajić, Žarko Vasojević, Gojko Bajić, Radomir Mitrović, Jelena Đokić, Ljubisav Krsmanović</i>	

3.2.6 #650	82
ENERGETSKO EKOLOŠKA OPTIMIZACIJA EKSPLOATACIJE HIDROENERGETSKOG SISTEMA – DEO II KRATKOROČNA OPTIMIZACIJA	
ENERGY AND ECOLOGY OPTIMIZATION OF HYDROPOWER SYSTEM EXPLOITATION- PART II SHORT-TERM OPTIMIZATION	
<i>Aleksandar Gajić, Ljubisav Krsmanović, Žarko Vasojević, Gojko Bajić, Jelena Đokić</i>	

Specijalna sesija / Special Session 3.3

SAVREMENI ASPEKTI KORIŠĆENJA TOPLLOTNE ENERGIJE – MODERN ASPECTS OF HEAT USE

3.3.1 #539	83
VALORIZACIJA BIOOTPADNA KROZ KONVERZIJU U ENERGIJU - ODRŽIVOST I EKONOMSKI UTICAJI	
VALORIZATION OF BIOWASTE THROUGH ENERGY CONVERSION - SUSTAINABILITY AND ECONOMIC IMPACTS	
<i>Miroslav Kljajić, Đorđije Doder, Mladen Tomić</i>	

3.3.2 #501	84
MULTISENZORSKO PROSTORNO MAPIRANJE ENERGETSKIH GUBITAKA U URBANIM SREDINAMA: DOKAZ KONCEPTA	
MULTISENSOR SPATIAL MAPPING OF ENERGY LOSSES IN URBAN ENVIRONMENTS: PROOF OF CONCEPT	
<i>Aleksandar Peulić, Srećko Ćurčić</i>	
3.3.3 #602	85
SIMULATIONS OF CONTAMINANT DISPERSION FROM ACCIDENTAL RELEASES IN CITIES: A CFD APPROACH	
<i>Mahir Hafizović; Muhamed Hadžiabdić; Bojan Ničeno</i>	
3.3.4 #515	86
PRORAČUN ENERGETSKE EFIKASNOSTI PRIMENOM METODA DALJINSKE DETEKCIJE I GIS- A	
ENERGY EFFICIENCY CALCULATION USING REMOTE SENSING AND GIS METHODS	
<i>Milislav Tomić, Branislav Pajić, Miodrag Tomić, Rade Stanojević, Miodrag Đurović</i>	
3.3.5 #644	87
POTENCIJAL ZA SMANJENJE POTROSNJE ENERGIJE I EMISIJE KOD SISTEMA ODVLAŽIVANJA U LEDENIM DVORANAMA: STUDIJA	
SLUČAJA DESIKANTNIH ODVLAŽIVAČA NA PRIRODNI GAS I CO TOPLOTNIH PUMPI KAO ALTERNATIVNOG REŠENJA	
ENERGY AND EMISSIONS REDUCTION POTENTIAL OF ICE ARENA DEHUMIDIFICATION SYSTEMS: A CASE STUDY OF NATURAL GAS	
DESICCANT UNITS AND CO HEAT PUMP ALTERNATIVES	
<i>Dimitrije Manić, Mirko Komatina, Dragi Antonijević</i>	
3.3.6 #530	88
PLITKA GEOTERMALNA ENERGIJA U DUNAVSKOM REGIONU – PRIORITETI I MERE ZA SRBIJU	
SHALLOW GEOTHERMAL IN THE DANUBE REGION: SERBIA'S PRIORITIES AND ACTIONS	
<i>Davor Končalović, Vladimir Vukašinović, Dušan Gordić, Mladen Josijević, Filip Nastić, Dubravka Živković</i>	
3.3.7 #551	89
ANALIZA UTICAJA PASIVNIH MJERA NA ENERGETSKU EFIKASNOST OBJEKTA U CRNOJ GORI PRIMJENOM PAKETA ENERGY +	
ANALYSIS OF THE IMPACT OF PASSIVE MEASURES ON THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS IN MONTENEGRO USING THE	
ENERGY + PACKAGE	
<i>Jakša Draganić, Boris Hrnčić, Esad Tombarević, Igor Vušanović</i>	
Specijalna sesija / Special Session 4.1	
MREŽE, POSTROJENJA I OPREMA - NETWORKS, SUBSTATIONS AND EQUIPMENT	
4.1.1 #503	90
ANALIZA MOGUĆNOSTI PRIMJENE PSO ALGORITMA ZA DUGOROCNU PROGNOZU POTROŠNJE ELEKTRICNE ENERGIJE ZA POTREBE	
RADA ELEKTRODISTRIBUTIVNOG SISTEMA REGIONA 5	
ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF APPLYING THE PSO ALGORITHM FOR THE LONG-TERM FORECAST OF ELECTRICITY	
CONSUMPTION FOR THE NEEDS OF THE ELECTRICITY DISTRIBUTION SYSTEM OF REGION 5	
<i>Jelena Papović, Snežana Čučković</i>	
4.1.2 #507	91
TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA POSTAVLJANJA DISTRIBUIRANIH IZVORA, REKONFIGURACIJE I OTOČNE KOMPENZACIJE U RAZGRANATOJ	
DISTRIBUTIVNOJ MREŽI SA POSEBNIM OSVRTOM NA ULAZNI FAKTOR SNAGE MREŽE	
TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF DG UNIT PENETRATION, RECONFIGURATION AND CAPACITOR PLACEMENT IN LARGE SCALE	
DISTRIBUTION NETWORK WITH SPECIAL REGARD TO INPUT POWER FACTOR	
<i>Branko Stojanović, Tomislav Rajić, Darko Šošić, Aleksa Alagić</i>	
4.1.3 #509	92
ADAPTIVE OVERCURRENT PROTECTION IN INVERTER-DOMINATED MICROGRIDS CONSIDERING FAULT RIDE-THROUGH AND	
DYNAMIC OPERATING MODES	
<i>Aleksej Žilović, Luka Strezoski, Chad Abbey</i>	

4.1.4 #511	93
PRIMENA MAŠINSKOG UČENJA U KRATKOROČNOJ PROGNOZI POTROŠNJE U DISTIBUCIJI ELEKTRIČNE ENERGIJE	
APPLICATION OF MACHINE LEARNING IN SHORT-TERM CONSUMPTION FORECASTING IN ELECTRICITY DISTRIBUTION	
<i>Stevan Božić</i>	
4.1.5 #594	94
MODELOVANJE PROSTIRANJA I LOCIRANJE IZVORA SIGNALA PARCIJALNIH PRAŽNENJA PRI RAZLIČITIM OPSEZIMA UČESTANOSTI POBUDE U ENERGETSKOM TRANSFORMATORU KORIŠĆENJEM UHF METODE	
MODELLING PROPAGATION AND LOCATING THE SOURCE OF PARTIAL DISCHARGE SIGNALS AT DIFFERENT EXCITATION FREQUENCY RANGES IN A POWER TRANSFORMER USING THE UHF METHOD	
<i>Đorđe Dukanac</i>	
4.1.6 #595	95
UNAPREĐENJE TAČNOSTI PROVERE REGISTARA ELEKTRIČNE ENERGIJE PAMETNIH BROJILA KORIŠĆENJEM NOVOG POSTUPKA	
IMPROVING THE ACCURACY OF CHECKING ELECTRICITY REGISTERS OF SMART METERS USING A NEW PROCEDURE	
<i>Đorđe Dukanac</i>	
Specijalna sesija / Special Session 4.2	
SISTEMSKA TRANSFORMACIJA ZGRADA KAO ENERGETSKIH SISTEMA U PROCESU DEKARBONIZACIJE –	
BUILDINGS ENERGY SYSTEMS TRANSFORMATION IN THE DECARBONIZATION PROCESS	
4.2.1 #619	96
TEHNOEKONOMSKA ANALIZA KOMPRESIONOG I APSORPCIONOG SISTEMA ZA SOLARNO HLAĐENJE	
TECHNO-ECONOMIC ASSESSMENT OF COMPRESSION AND ABSORPTION SYSTEMS FOR SOLAR-DRIVEN COOLING	
<i>Marija Vasilev, Branislav Petrović, Miloš Banjac</i>	
4.2.2 #621	97
MATEMATIČKI MODELI TERMO-ENERGETSKOG PONAŠANJA ZGRADA	
MATHEMATICAL MODELS OF BUILDING THERMAL-ENERGY BEHAVIOUR	
<i>Miloš Banjac, Sandra Kovačević, Branislav Petrović, Mirko Komatina</i>	
4.2.3 #622	98
MATEMATIČKI MODELI PRENOSA TOPLOTE I VLAGE KROZ SISTEM ZELENOG KROVA	
MATHEMATICAL MODELS OF HEAT AND MOISTURE TRANSFER THROUGH A GREEN ROOF SYSTEM	
<i>Miloš Banjac, Branislav Petrović, Srđan Otović</i>	
4.2.4 #620	99
EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE DINAMIČKIH TERMIČKIH SVOJSTAVA ZGRADE	
EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE DYNAMIC THERMAL PROPERTIES OF A BUILDING	
<i>Miloš Banjac, Sandra Kovačević</i>	
4.2.5 #634	100
ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA I RAZVOJNI POTENCIJALI SISTEMA DALJINSKOG GREJANJA U SRBIJI	
ANALYSIS OF THE CURRENT STATE AND DEVELOPMENT POTENTIAL OF DISTRICT HEATING SYSTEMS IN SERBIA	
<i>Danijela Srećković, Mirko Komatina, Miloš Banjac</i>	
4.2.6 #635	101
PREGLED MOGUĆNOSTI I OGRANIČENJA PRIMENE PETE GENERACIJE DALJINSKOG GREJANJA I HLAĐENJA U ENERGETSKOM SISTEMU REPUBLIKE SRBIJE	
A REVIEW OF THE OPPORTUNITIES AND LIMITATIONS OF IMPLEMENTING FIFTH-GENERATION DISTRICT HEATING AND COOLING IN THE ENERGY SYSTEM OF THE REPUBLIC OF SERBIA	
<i>Mina Mirović, Mirko Komatina, Miloš Banjac</i>	
4.2.7 #637	102
ENERGETSKI I EKOLOŠKI ASPEKTI RETROFITA ZGRADA ENERGY AND ENVIRONMENTAL ASPECTS OF BUILDING RETROFITS	
<i>Sandra Kovačević, Mirko Komatina, Miloš Banjac</i>	

Specijalna sesija / Special Session 4.3

EKONOMSKA PERSPEKTIVA ENERGETIKE – ECONOMIC PERSPECTIVES IN ENERGY SECTOR

4.3.1 #569	103
OPOREZIVANJE UGLJENIKA KAO ALAT KLIMATSKE POLITIKE: MOGUĆE IMPLIKACIJE ZA SRBIJU I ZAPADNI BALKAN	
CARBON PRICING AS A CLIMATE POLICY INSTRUMENT: POTENTIAL IMPLICATIONS FOR SERBIA AND THE WESTERN BALKANS	
<i>Nemanja Lojanica, Dejan Molnar</i>	
4.3.2 #572	104
SAVREMENI PRISTUPI MODELIRANJU EKONOMSKIH PROCESA U ENERGETSKOM SEKTORU	
CONTEMPORARY APPROACHES TO MODELING ECONOMIC PROCESSES IN THE ENERGY SECTOR	
<i>Nemanja Backović</i>	
4.3.3 #536	105
INTEGRACIJA EKOLOŠKIH I EKONOMSKIH ASPEKATA ODRŽIVOG UPRAVLJANJA OTPADNIM VODAMA U SRBIJI	
INTEGRATING ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ASPECTS OF SUSTAINABLE WASTEWATER MANAGEMENT IN SERBIA	
<i>Milica Radojković, Milena Rikalović</i>	
4.3.4 #630	106
UTICAJ VOLATILNOSTI CENA ELEKTRIČNE ENERGIJE NA INVESTICIJE U OBNOVLJIVE IZVORE (OIE)	
THE IMPACT OF ELECTRICITY PRICE VOLATILITY ON INVESTMENTS IN RENEWABLE ENERGY SOURCES (RES)	
<i>Marko Vučković, Milica Vujisić</i>	
4.3.5 #631	107
EKONOMSKA ISPLATIVOST BATERIJSKIH SISTEMA ZA SKLADIŠTENJE ENERGIJE U USLOVIMA VISOKE VOLATILNOSTI TRŽIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE	
ECONOMIC VIABILITY OF BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEMS UNDER HIGH ELECTRICITY MARKET VOLATILITY	
<i>Marko Vučković, Milica Vujisić</i>	
4.3.6 #626	108
ANALIZA STEPENA RAZVIJENOSTI CIRKULARNE EKONOMIJE U ZEMLJAMA CENTRALNE I ISTOČNE EVROPE	
THE ANALYSIS OF CIRCULAR ECONOMY DEVELOPMENT IN CENTRAL AND EASTERN EUROPEAN COUNTRIES	
<i>Đorđe Mitrović, Đorđe Kotarac</i>	
4.3.7 #628	109
EKONOMSKI RAST I ZAGAĐENJE VAZDUHA: EMPIRIJSKA ANALIZA NA SUBREGIONALNOM (NUTS 3) NIVOU U EU	
THE RELATIONSHIP BETWEEN ECONOMIC GROWTH AND AIR POLLUTION: EMPIRICAL EVIDENCE FROM NUTS 3 REGIONS IN EUROPEAN UNION	
<i>Sonja Josipović, Dejan Molnar, Bojan Baškot</i>	
4.3.8 #629	110
ENERGETSKA BEZBEDNOST, OBRASCI FINALNE POTROŠNJE ENERGIJE I JAZOVI U ENERGETSKOJ PRODUKTIVNOSTI: DOKAZI O STRUKTURNIM RANJIVOSTIMA U EKONOMIJAMA JUGOISTOČNE EVROPE	
ENERGY SECURITY, FINAL ENERGY CONSUMPTION PATTERNS AND ENERGY PRODUCTIVITY GAPS: EVIDENCE OF STRUCTURAL VULNERABILITIES IN SOUTHEAST EUROPE ECONOMIES	
<i>Aleksandra Prašćević, Milutin Ješić</i>	

Specijalna sesija / Special Session 5.1

PREDIKCIJE I DIJAGNOSTIKA U MODERNIM ENERGETSKIM SISTEMIMA - PREDICTIONS AND DIAGNOSTICS IN MODERN ENERGY SYSTEMS

5.1.1 #577	111
METODE OPTIMIZACIJE I PRIMENE VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U EFIKASNOJ INTEGRACIJI VEHICLE-TO-GRID SISTEMA	
OPTIMIZATION FRAMEWORKS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS FOR EFFICIENT VEHICLE-TO-GRID INTEGRATION	
<i>Luka Zoroje, Doroteja Zarev, Balša Čeranić, Predrag Stefanov, Jelena Stojković Terzić, Leposava Ristić, Andrea Bonfiglio</i>	

5.1.2 #535	112
NAPREDNA DIJAGNOSTIKA STANJA VETROPARKOVA	
ADVANCED DIAGNOSTICS OF WIND FARM CONDITIONS	
<i>Jelena Balšić, Mileta Žarković</i>	
5.1.3 #562	113
DUGOROČNA PROCJENA VJETROENERGETSKOG POTENCIJALA PRIMJENOM MCP METODE	
LONG-TERM WIND RESOURCE ASSESSMENT USING MCP METHOD	
<i>Ana Dubljević, Vidosava Vilotijević, Uroš Karadžić</i>	
5.1.4 #607	114
PREDVIĐANJE DOTOKA VODE ZA POTREBE PROIZVODNJE HIDROELEKTRIČNE ENERGIJE PRIMENOM KALMAN FILTERA	
ON THE PEDICTION OF WATER FLOW FOR THE PURPOSE OF HYDROELECTRICTY PRODUCTION BY KALMAN FILTER	
<i>Žarko Nestorović, Mirko Pavić</i>	
5.1.5 #592	115
NUMERIČKA SIMULACIJA GRANIČNIH SLOJEVA NA ROTIRAJUĆIM STAKLENIM DISKOVIMA U VODI	
NUMERICAL SIMULATION OF BOUNDARY LAYERS ON ROTATING GLASS DISKS IN WATER	
<i>Matej Fike, Andraž Roger</i>	
5.1.6 #550	116
ANALIZA OPRAVDANOSTI ULAGANJA DOMAĆINSTVA U SOLARNU ELEKTRANU I TOPLOTNU PUMPU U ODNOSU NA ULAGANJE U OSTALE SISTEME I NJHOVO KORIŠĆENJE ENERGENATA	
ANALYSIS OF THE JUSTIFICATION OF HOUSEHOLD INVESTMENT IN SOLAR POWER PLANT AND HEAT PUMP IN RELATION TO INVESTMENT IN OTHER SYSTEMS AND THEIR USE OF ENERGY	
<i>Zoran Simendić, Dalibor Mraović, Ivana Mraović Simendić</i>	
5.1.7 #571	117
ANALIZA UTICAJA INTEGRACIJE FOTONAPONSKE ELEKTRANE NA ELEKTROENERGETSKI SISTEM	
ANALYSIS OF THE IMPACT OF PHOTOVOLTAIC POWER PLANT INTEGRATION ON THE POWER SYSTEM	
<i>Željana Ristić, Mileta Žarković</i>	
Specijalna sesija / Special Session	
TRŽIŠTE ELEKTRIČNE ENERGIJE – POWER EXCHANGE MARKETS	
5.2.1 #528	118
PRAVILA O PRUŽANJU NEFREKVENCIJSKIH USLUGA U DISTRIBUTIVNOM SISTEMU ELEKTRIČNE ENERGIJE U CRNOJ GORI - REGULATORNI OKVIR I MOGUĆNOSTI PRAKTIČNE PRIMJENE	
RULES ON THE PROVISION OF NON-FREQUENCY SERVICES IN THE ELECTRICITY DISTRIBUTION SYSTEM OF MONTENEGRO - REGULATORY FRAMEWORK AND POSSIBILITIES FOR PRACTICAL IMPLEMENTATION	
<i>Andrija Vujović, Aleksandar Iković, Stevan Živković, Mihailo Nikolić</i>	
5.2.2 #603	119
POVEZIVANJE TRŽIŠTA, MREŽE I KORISNIKA KROZ DIGITALNU ORKESTRACIJU FLEKSIBILNOSTI	
CONNECTING MARKETS, GRIDS AND MARKET PARTICIPANTS THROUGH DIGITAL FLEXIBILITY ORCHESTRATION	
<i>Ivan Špagnut, Vanja Ožegović</i>	
5.2.3 #604	120
PRIMJENA MODERNE PORTFOLIO TEORIJE U OPTIMIZACIJI PORTFOLIJA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE	
APPLICATION OF MODERN PORTFOLIO THEORY IN OPTIMIZATION OF RENEWABLE ENERGY PORTFOLIOS	
<i>Miroslav Divčić, Mladen Apostolović</i>	
5.2.4 #636	121
PPA UGOVORI KAO PODRŠKA ENERGETSKOJ TRANZICIJI	
PPAS AS A SUPPORT FOR THE ENERGY TRANSITION	
<i>Ivana Đurović, Dušan Vučić, Miloš Kuzman, Dunja Grujić</i>	

5.2.5 #639	123
UZROCI I EFEKTI POMERANJA GRANICE CRVENE ZONE POTROŠNJE SA 1.600 KWH NA 1.200 KWH U SISTEMU GARANTOVANOG SNABDEVANJA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM	
CAUSES AND EFFECTS OF SHIFTING THE RED CONSUMPTION ZONE THRESHOLD FROM 1.600 KWH TO 1.200 KWH IN THE REGULATED ELECTRICITY SUPPLY SYSTEM	
<i>Jadranka Ristić</i>	

5.2.6 #649	124
OPERATIVNI UTICAJ ODSTUPANJA IZMEĐU PROGNOZIRANE I REALIZOVANE PROIZVODNJE VETROELEKTRANA NA ANGAŽOVANJE PROIZVODNIH KAPACITETA EPS-A – STUDIJA KARAKTERISTIČNIH SLUČAJEVA	
OPERATIONAL IMPACT OF DEVIATIONS BETWEEN FORECASTED AND ACTUAL WIND POWER GENERATION ON THE DISPATCH OF EPS GENERATION CAPACITIES – A CHARACTERISTIC CASE STUDY	
<i>Vladimir Brković, Stefan Milanović, Aleksandar Fasujević</i>	

5.2.7 #655	125
ISPLATIVOST MODELA AKTIVNOG KUPCA SA SOLARNOM ELEKTRANOM I SKLADIŠTENJEM ENERGIJE	
PROFITABILITY OF THE ACTIVE CUSTOMER MODEL WITH SOLAR POWER PLANT AND ENERGY STORAGE	
<i>Miodrag Vuković</i>	

Specijalna sesija / Special Session

MEĐUSOBNI UTICAJI: ENERGETIKA, POLJOPRIVREDA, INDUSTRIJA I ŽIVOTNA SREDINA – MUTUAL IMPACTS: ENERGY, AGRICULTURE, INDUSTRY AND ENVIRONMENT

5.3.1 #558	126
DA LI ZELENA AGENDA MOŽE DA OPSTANE?	
CAN THE GREEN AGENDA SURVIVE?	
<i>Miroslav Parović</i>	

5.3.2 #638	127
UNAPREĐENJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI SISTEMA PUMPI REGULATORSKOG ULJA PRIMENOM FREKVENTNIH REGULATORA – STUDIJA SLUČAJA HE PIROT	
IMPROVING ENERGY EFFICIENCY OF THE GOVERNOR OIL PUMP SYSTEM THROUGH THE APPLICATION OF VARIABLE FREQUENCY DRIVES – A CASE STUDY OF HPP PIROT	
<i>Dušan Đorđević, Jovan Ilić, Ana Kitić</i>	

5.3.3 #576	128
PRIMENA GEOINFORMACIONIH SISTEMA (GIS) U ANALIZI ZAGADJENJA VAZDUHA	
APPLICATION OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (GIS) IN AIR POLLUTION ANALYSIS	
<i>Nikola Stanković</i>	

5.3.4 #504	129
MOGUĆNOSTI ZA KORIŠĆENJE RASPOLOŽIVE BIOMASE KAO OBNOVLJIVOG IZVORA ENERGIJE U RAZVOJU REGIONALNE TERITORIJE	
OPPORTUNITIES FOR USING THE AVAILABLE BIOMASS AS A RENEWABLE SOURCE OF ENERGY IN THE DEVELOPMENT OF THE REGIONAL TERRITORY	
<i>Srećko Čurčić, Aleksandar Peulić, Dragan Milićević, Anđela Vasiljević</i>	

Specijalna sesija / Special Session 6.1

EKONOMSKO – REGULATORNA I RAZVOJNA PITANJA ENERGETSKE TRANZICIJE - ECONOMIC - REGULATORY AND DEVELOPMENTAL ISSUES OF ENERGY TRANSITION

6.1.1 #606	130
TEORIJA PRIRODNOG MONOPOLA I TEORIJA REGULACIJE U SNABDEVANJU ELEKTRIČNOM ENERGIJOM	
THEORY OF NATURAL MONOPOLY AND REGULATION THEORY IN ELECTRICITY SUPPLY SECTOR	
<i>Žarko Nestorović</i>	

6.1.2 #640	131
ANALIZA OBUHVATA 3 U KORPORACIJSKOM LANCU VREDNOSTI: STUDIJA SLUČAJA ZA HIDROELEKTRANE	
ANALYSIS OF SCOPE 3 IN CORPORATIVE VALUE CHAIN: CASE STUDY FOR HYDROPOWER PLANTS	
<i>Žarko Nestorović, Ivana Mitrović, Ivan Stevović</i>	
6.1.3 #502	132
TEORIJA KATASTROFE I SIGURNOST BRANA	
ON THE CATASTROPHY THEORY AND DAM SAFETY	
<i>Žarko Nestorović</i>	
6.1.4 #633	133
POVEĆANJE KVALITETA NACIONALNOG ENERGETSKOG PLANIRANJA AUTOMATSKOM IDENTIFIKACIJOM OGRANIČENJA FLEKSIBILNOSTI IZ INTERKONECIJE	
INCREASING THE QUALITY OF NATIONAL ENERGY PLANNING BY AUTOMATICALLY IDENTIFYING FLEXIBILITY CONSTRAINTS FROM INTERCONNECTION	
<i>Bojan Ivanović, Ilija Batas Bjelić, Jelena Nikolić, Tomislav Rajić, Nikola Rajaković</i>	
6.1.5 #506	134
GREJANJE U DOMAĆINSTVIMA U SRBIJI: DUBINSKA ANALIZA I IMPLIKACIJE ZA ENERGETSKU TRANZICIJU	
HEATING IN SERBIAN HOUSEHOLDS: IN-DEPTH ANALYSIS AND IMPLICATIONS FOR THE ENERGY TRANSITION	
<i>Boban Pavlović, Dejan Ivezić, Marija Živković, Dušan Mojić</i>	
6.1.6 #653	135
UPRAVLJANJE ENERGETSKOM TRANZICIJOM: PRIVATIZACIJA MENADŽMENTA KAO PUT KA SIGURNOSTI SNABDEVANJA I INFRASTRUKTURNOM RAZVOJU	
GOVERNING THE ENERGY TRANSITION: MANAGEMENT PRIVATIZATION AS A PATH TO SECURITY OF SUPPLY AND INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT	
<i>Viktor Andonov; Snežana Hristova</i>	
Specijalna sesija / Special Session 6.2	
SKLADIŠTENJE ENERGIJE – ENERGY STORAGE	
6.2.1 #623	136
ELEKTROHEMIJSKE OSOBINE NATRIJUM-JONSKIH BATERIJA	
ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF SODIUM-ION BATTERIES	
<i>Ljubica Ljubičić, Iva Batić, Tomislav Rajić</i>	
6.2.2 #625	138
UPOTREBA VODONIKA ZA SKLADIŠTENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE	
THE USE OF HYDROGEN FOR ELECTRICAL ENERGY STORAGE	
<i>Mina Ristić, Iva Batić, Tomislav Rajić</i>	
6.2.3 #656	139
PROCENA OSTVARENE TRŽIŠNE CENE I UTICAJA INTEGRACIJE BATERIJSKOG SKLADIŠTA ENERGIJE NA OVU CENU KOD SOLARNIH FOTONAPONSKIH ELEKTRANA U SRBIJI	
ASSESSMENT OF CAPTURE PRICE AND THE IMPACT OF BATTERY ENERGY STORAGE INTEGRATION ON THE MARKET VALUE OF SOLAR PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS IN SERBIA	
<i>Željko Marković, Dejan Stojčevski, Miloš Kostić</i>	
6.2.4 #646	140
RAZVOJ SIMULACIONOG MODULA ZA PRIMJENU U OKVIRU DIGITALNIH BLIZANACA FOTONAPONSKIH ELEKTRANA	
TOWARDS A SIMULATION MODULE FOR APPLICATION IN DIGITAL TWINS OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS	
<i>Čedomir Zeljković, Predrag Mršić, Petar Matić, Bojan Erceg, Branko Blanuša, Mario Vražić, Luka Budin, Daniel Denkovski, Živko Kokolanski</i>	

6.2.5 #652	141
ULOGA BATERIJSKIH SKLADIŠTA U RADU EES BATTERY STORAGE AND THEIR IMPACT ON POWER SYSTEM OPERATION	
<i>Bojan Ivanović</i>	
6.2.6 #541	142
ANALIZA PROVERE ISPUNJENOSTI ZAKONSKOG MINIMALNO POTREBNOG KAPACITETA I SNAGE BATERIJSKOG SKLADIŠTA ZA POTREBE BALANSIRANJA	
ANALYSIS OF THE VERIFICATION OF COMPLIANCE WITH THE MINIMUM REQUIRED CAPACITY AND POWER OF THE BATTERY STORAGE FOR BALANCING PURPOSES	
<i>Sima Tatalović, Lazar Vesić</i>	
6.2.7 #610	143
UTICAJ OLTC REGULACIJE TRANSFORMATORA 35/10 KV NA PRIHVATNI KAPACITET SN/NN MREŽA ZA PRIKLJUČENJE FOTONAPONSKIH ELEKTRANA	
IMPACT OF 35/10 KV TRANSFORMER OLTC REGULATION ON PV HOSTING CAPACITY IN MV/LV NETWORKS	
<i>Jelena Gajović, Anja Čanović</i>	
6.2.8 #537	144
ANALIZA MOGUĆNOSTI ZAJEDNIČKOG RADA SOLARNE ELEKTRANE, PUMPNO-AKUMULACIONOG POSTROJENJA I HIDROELEKTRANE NA PROSTORNO BLISKIM LOKACIJAMA	
ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES FOR THE JOINT OPERATION OF A SOLAR POWER PLANT, A PUMPED-STORAGE FACILITY, AND A HYDROPOWER PLANT IN SPATIALLY CLOSE LOCATIONS	
<i>Jovan Tošić, Pavle Stjepanović, Veselin Anđelković, Jasmina Nešković</i>	
Specijalna sesija / Special Session 6.3	
PRAVO ENERGETIKE – ENERGY LAW	
6.3.1 #523	145
UNAPREĐENJE REGULATORNOG OKVIRA SIGURNOSTI SNABDEVANJA U NAFTNO GASNOM SEKTORU	
IMPROVING THE REGULATORY FRAMEWORK FOR SECURITY OF SUPPLY IN THE OIL AND GAS SECTOR	
<i>Miloš Kuzman</i>	
6.3.2 #527	146
REGULATORNI OKVIR REPUBLIKE SRBIJE ZA KORIŠĆENJE NUKLEARNE ENERGIJE	
REGULATORY FRAMEWORK OF THE REPUBLIC OF SERBIA FOR THE USE OF NUCLEAR ENERGY	
<i>Bojana Petrović Raičević</i>	
6.3.3 #534	147
EKOMANIPULACIJA U ENERGETSKOM SEKTORU: PRAVNI OKVIR U DOMAĆEM I UPOREDNOM PRAVU I UTICAJ NA ENERGETSKU TRANZICIJU	
GREENWASHING IN THE ENERGY SECTOR: LEGAL FRAMEWORK IN DOMESTIC AND COMPARATIVE LAW AND IMPACT ON ENERGY TRANSITION	
<i>Veljko Milošević</i>	
6.3.4 #540	148
PRIMENA MEDIJACIJE U ENERGETSKIM SPOROVIMA SA ELEMENTOM INOSTRANOSTI	
THE ROLE OF MEDIATION IN ENERGY DISPUTES WITH A CROSS-BORDER ELEMENT	
<i>Bojana Jovanović</i>	
6.3.5 #614	149
PRAVNI OKVIR ZA SKLADIŠTENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE	
LEGAL FRAMEWORK FOR ELECTRICITY STORAGE	
<i>Branislava Lepotić Kovačević</i>	

6.3.6 #587	151
------------------	-----

MOGUĆNOST KORIŠĆENJA PPA MODELA UGOVORA U REPUBLICI SRBIJI

THE POSSIBILITY OF USING THE PPA CONTRACT MODEL IN THE REPUBLIC OF SERBIA

Dejan Vasić, Ivana Đorđević

Predavanje po pozivu / Invited lecture

#543	153
------------	-----

MAPA PUTA DEKARBONIZACIJE SEKTORA DALJINSKOG GREJANJA U REPUBLICI SRBIJI

ROADMAP FOR THE DECARBONIZATION OF THE DISTRICT HEATING SECTOR IN THE REPUBLIC OF SERBIA

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

Dejan Stojanović, Poslovno udruženje „Toplane Srbije“

Branislava Lepotić Kovačević, Udruženje za pravo energetike Srbije

Odobrovanje operativnih ograničenja za priključenje obnovljivih izvora energije u prenosni sistem – iskustvo Srbije i usklađenost sa praksom Evropske Unije

Approval of Operational Limitations for the Connection of Renewable Energy Sources to the Transmission System – The Case of Serbia and Compliance with EU Practice

Milica Vukovljak*, Ivan Trkulja

*Agencija za energetiku Republike Srbije (AERS), Beograd

Rezime – Sve veći broj zahteva za priključenje postrojenja iz obnovljivih izvora energije (OIE) na prenosni sistem Srbije doveo je do uvođenja instituta „operativnih ograničenja“, koji predstavljaju privremeno smanjenje aktivne snage na mestu priključenja radi očuvanja sigurnosti rada sistema. Postupak njihovog odobravanja uređen je Zakonom o energetici i podrazumeva obaveznu saglasnost Agencije za energetiku Republike Srbije (u daljem tekstu: AERS) za svaki pojedinačni slučaj. Takvo rešenje obezbeđuje transparentnost i nediskriminaciju, ali, sa druge strane, stvara administrativne zastoje i smanjuje predvidivost za investitore. U radu su analizirani pravni, institucionalni i ekonomski aspekti ovog mehanizma i izvršeno poređenje sa praksama država članica Evropske unije. Na osnovu komparativne analize predložene su mere za unapređenje procesa odobravanja, uključujući uvođenje okvirnih odobrenja, grupno razmatranje više projekata, jačanje tehničkih kapaciteta i digitalizaciju postupka.

Ključne reči - operativna ograničenja, priključenje OIE, regulacija, EU praksa, efikasnost

Abstract - The increasing number of requests to connect renewable energy sources to Serbia's transmission network has led to the introduction of "operational limitations" – temporary reductions of active power at the connection point to ensure secure system operation. According to the Energy Law, the Energy Agency of the Republic of Serbia (AERS) must individually approve each reduction. While this ensures transparency and non-discrimination, it also introduces administrative delays and reduces investment predictability. This paper analyses the legal, institutional, and economic aspects of this mechanism and compares Serbia's approach with practices in EU Member States. Based on this comparison, it proposes improvements such as framework-based approvals, batch assessments, enhanced technical capacities and process digitalisation.

Index Terms - operational limitations, renewable energy, regulation, EU practice, efficiency.

Integracija fotonaponskih sistema prilikom rekonstrukcije kosih i ravnih krovova

Integration of photovoltaic systems in the refurbishment process of pitched and flat roofs

Bojana Zeković*, Iva Batić**

* Univerzitet u Beogradu – Arhitektonski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73/II

** Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73

Rezime - Obnova zgrada predstavlja jedan od ključnih koraka na putu dekarbonizacije i održivog upravljanja građevinskim fondom. Povećanje energetske efikasnosti i ušteda energije koja se postiže energetsom rehabilitacijom i sveobuhvatnom obnovom zgrada smatra se još i prvim gorivom, koje omogućava integraciju efikasnih tehničkih sistema (KGH) i obnovljivih izvora energije na samom objektu ili u neposrednoj okolini kao finalni korak u osavremenjivanju celokupnog građevinskog fonda.

Prethodna istraživanja karakteristika građevinskog fonda od značaja za proces njegove energetske rehabilitacije, kao i definisanje metodologije održive obnove, ukazala su na specifičnosti problema obnove različitih tipologija zgrada. Kao što materijalne i konstruktivne karakteristike zgrada u najvećoj meri utiču na stepen dometa i odabir mera obnove, tako i urbanistička dispozicija, vlasnički odnosi i oblik upravljanja i održavanja zgradama u velikoj meri određuju pristup planiranju odgovarajućih koraka obnove. Dalja istraživanja dovela su do detaljnije procene mogućnosti ušteda energije i poboljšanja energetske efikasnosti, kao i potencijala za primenu obnovljivih izvora energije, konkretno fotonaponskih panela.

Cilj ovog rada predstavlja dalje istraživanje problematike iskorišćenja potencijala krovnih površina za integraciju fotonaponskih panela pri obnovi same pozicije krova u procesu energetske rehabilitacije. Biće razmotreni različiti slučajevi sanacije krovne površine, u zavisnosti od toga da li ona predstavlja deo termičkog omotača (krovovi iznad grejanih prostora) ili ne (krovovi iznad nekorišćenih prostora kao što su tavani, hodnici i sl.), kao i da li je deo pozicije kosih ili ravnih krovova. Za svaki od navedenih tipova intervencija biće određen obim investicije i predložene glavne prednosti i mane samog postupka izvođenja.

Cilj rada je ukazivanje na prednosti sprovođenja integrisane obnove krovnih površina, koja pored instalacije fotonaponskih panela podrazumeva i energetska sanaciju pozicija krovnih površina, kako bi se što bolje iskoristila prilika jednovremene organizacije i sprovođenja mera obnove na često zahtevnim, nedostupnim i zapuštenim površinama krovova, i time postigli maksimalni benefiti ulaganja u proces obnove i isplativost investicije.

Ključne reči - Energetska sanacija, sveobuhvatna obnova zgrada, krovne površine, fotonaponski paneli

Abstract - Building renovation is one of the key steps in decarbonization and sustainable management of the building stock. The increase in energy efficiency and energy savings achieved through energy rehabilitation and deep refurbishment of buildings is also considered the first fuel, which enables the integration of efficient technical systems (HVAC) and renewable energy sources on the building itself or in the immediate surroundings as the final step in the modernization of the entire building stock.

Previous research into the characteristics of the building stock of importance for the process of its energy rehabilitation, as well as the definition of sustainable renovation methodology, highlighted the specifics in the problem of renovation of different typologies of buildings. Just as the material and constructive characteristics of buildings largely influence the scope and choice of renovation measures, so the urban layout, ownership relations and the form of management and maintenance of buildings largely determine the approach to planning the appropriate renovation steps. Further research led to a more detailed assessment of the possibility of energy savings and improvement of energy efficiency, as well as the potential for the application of renewable energy sources (solar photovoltaic panels).

The goal of this paper is further research into the problem of utilizing the potential of roof surfaces for the integration of solar photovoltaic panels during the renovation of the roof itself in the process of energy rehabilitation. Different cases of renovating the roof surface will be considered, depending on whether it is part of the thermal envelope (roofs above heated spaces) or not (roofs above unused spaces such as attics, corridors, etc.) and whether it is part of the position of pitched or flat roofs. For each of the mentioned types of interventions, the scope of the investment will be determined and the main advantages and disadvantages of the implementation procedure will be presented.

The aim of the paper is to point out the advantages of implementing integrated renovation of roof surfaces, which, in addition to the installation of solar photovoltaic panels, also includes energy refurbishment of roof surfaces, in order to make the most of the simultaneous organization and implementation of renovation measures on often demanding, inaccessible and neglected roof surfaces, and thus achieve the maximum benefits of investing in the renovation process and the profitability of the investment.

Index Terms - Energy rehabilitation, deep refurbishment, roof surfaces, photovoltaic panels

Evaluacija efekata fleksibilnih resursa na primjeru testne IEEE mreže

Evaluation of the Effects of Flexibility Resources Using an IEEE Test Network as a Case Study

Jelena Samardžić, Vladan Durković

Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet, Podgorica

Rezime - Sve veća integracija fotonaponskih elektrana u elektrodistributivne mreže predstavlja važan korak ka razvoju održivog energetskog sistema, ali istovremeno dovodi do pojave značajnih operativnih izazova usled promjenljive proizvodnje i vremenskog nepoklapanja sa potrošnjom. Ovi izazovi se ogledaju kroz naponska odstupanja, povećane tehničke gubitke i smanjenu mogućnost efikasnog korišćenja energije iz fotonaponskih elektrana, naročito u mrežama koje su prvobitno projektovane za jednosmjerni tok snage. Zbog navedenih razloga, primjena fleksibilnih resursa ima ključnu ulogu u obezbjeđivanju stabilnog i pouzdanog rada savremenih distributivnih elektroenergetskih sistema.

U ovom radu analizirani su efekti različitih fleksibilnih resursa na primjeru IEEE 33-čvorne testne distributivne mreže. Razmatrani su scenariji sa visokim i niskim nivoom učešća fotonaponske proizvodnje, kao i tipični ljetnji i zimski dani. Analiziran je rad mreže bez fleksibilnih resursa i sa koordinisanim upravljanjem baterijskim sistemima za skladištenje električne energije, upravljanjem potrošnjom i regulacijom reaktivne snage invertora fotonaponskih elektrana. Optimizacija je sprovedena primjenom algoritma zasnovanog na rojevima čestica u MATLAB okruženju, dok je za proračun tokova snaga korišćena DistFlow metoda. Cilj rada je identifikacija fleksibilnih resursa koji ostvaruju najveći doprinos poboljšanju rada mreže u različitim operativnim uslovima.

Ključne reči – fotonaponske elektrane, fleksibilni resursi, baterijski sistemi za skladištenje električne energije, upravljanje potrošnjom, upravljanje reaktivnom snagom invertora fotonaponskih elektrana

Abstract - The increasing integration of photovoltaic power plants into distribution networks represents an important step towards the development of a sustainable energy system; however, it also introduces significant operational challenges due to the variability of generation and its temporal mismatch with electricity demand. These challenges are reflected in voltage deviations, increased technical losses, and a reduced ability to efficiently utilise energy from photovoltaic power plants, particularly in networks that were originally designed for unidirectional power flow. For these reasons, the application of flexibility resources plays a key role in ensuring stable and reliable operation of modern distribution of power systems.

In this paper, the effects of various flexibility resources are analysed using the IEEE 33-bus test distribution network as a case study. Scenarios with high and low levels of photovoltaic generation are considered, as well as typical summer and winter days. The operation of the network is examined both without flexibility resources and with coordinated control of battery energy storage systems, demand-side management, and reactive power control of photovoltaic inverters. The optimisation problem is solved using a particle swarm optimisation algorithm implemented in the MATLAB environment, while the DistFlow method is employed for power-flow calculations. The objective of this work is to identify the flexibility of resources that provide the greatest contribution to improving network performance under different operating conditions.

Index Terms - photovoltaic power plants, flexibility resources, battery energy storage systems, demand-side management, reactive power control of photovoltaic inverters

Analiza pokazatelja pouzdanosti distributivnog sistema uz uvažavanje prisustva prozjumeri sa baterijskim skladištenjem energije

Analysis of Distribution System Reliability Indices Considering the Presence of Prosumers with Battery Energy Storage

Doroteja Zarev*, Jelisaveta Krstivojević**

* Katedra za energetske pretvarače i pogone

** Katedra za elektroenergetske sisteme

Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet

Beograd, Republika Srbija

Rezime - Standardni proračun pokazatelja pouzdanosti distributivnih sistema najčešće se zasniva na pretpostavci da su potrošači pasivni i u potpunosti zavisni od napajanja iz elektrodistributivne mreže. Međutim, savremeni distributivni sistemi sve češće uključuju prozjumeri koji poseduju lokalne izvore električne energije i baterijska skladišta, što može uticati na način na koji se prekid napajanja manifestuju kod krajnjih korisnika. U ovom radu biće dat proračun pokazatelja pouzdanosti distributivnog sistema koji sadrži distribuirane izvore električne energije u vidu prozjumeri sa fotonaponskim elektranama i baterijskim skladištem energije. Posebna pažnja posvećena je razlici između mrežnih prekida i efektivnih prekida napajanja koje prozjumeri zaista doživljavaju, pri čemu se prekid definiše u slučajevima kada lokalna proizvodnja i skladištenje energije nisu dovoljni da pokriju potrošnju tokom prekida napajanja iz mreže. Model prozjumeri obuhvata fotonaponski sistem, baterijsko skladište energije i sistem upravljanja energijom, dok se neizvesnosti ulaznih podataka u proračunu pouzdanosti uzimaju u obzir primenom Monte Karlo simulacija. U radu će biti analizirano na koji način prisustvo prozjumeri utiče na pokazatelje pouzdanosti distributivnog sistema, kao i uticaj veličine fotonaponskog sistema, kapaciteta baterijskog skladišta i režima rada baterije na ostvarene vrednosti pokazatelja pouzdanosti..

Ključne reči - pouzdanost distributivnog sistema, distribuirani izvori električne energije, prozjumeri, baterijsko skladištenje energije, Monte Karlo simulacije

Abstract - The conventional calculation of reliability indices of distribution systems is most often based on the assumption that consumers are passive and fully dependent on the electricity supplied from the distribution network. However, modern distribution systems increasingly include prosumers equipped with local energy sources and battery energy storage systems, which may significantly affect how power supply interruptions are experienced by end users. This paper presents the calculation of reliability indices of a distribution system that includes distributed energy resources in the form of prosumers with photovoltaic systems and battery energy storage. Special attention is given to the distinction between network interruptions and the effective power interruptions actually experienced by prosumers, where an interruption is defined as a condition in which local generation and energy storage are insufficient to meet the load demand during a grid outage. The prosumer model comprises a photovoltaic system, a battery energy storage system, and an energy management system, while uncertainties in the input data for reliability assessment are considered through Monte Carlo simulations. The paper analyzes the impact of prosumer presence on distribution system reliability indices, as well as the influence of photovoltaic system size, battery storage capacity, and battery operating mode on the resulting reliability indices.

Index Terms - distribution system reliability, distributed energy resources, prosumers, battery energy storage, Monte Carlo simulations

Energetski nezavisne hibridne mikromreže sa fotonaponskim sistemima, biogasnim agregatom i baterijskim skladištem

Energy-independent hybrid microgrids with photovoltaic systems, biogas generator, and battery energy storage system

Nikola Bogdanović*, Željko Đurišić, Marijan Rančić*****

* ELEM & ELGO d.o.o. Beograd

** Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet

*** New Energy Solutions d.o.o. Beograd

Rezime - U radu je analiziran rad hibridne mikromreže sačinjene od fotonaponskog sistema, biogasnog postrojenja i baterijskog sistema za skladištenje energije. Definisan je problem fiktivnog naselja u centralnoj Srbiji koje je sačinjeno od 10 domaćinstava koja donose odluku da formiraju mikromrežu i na taj način se potpuno izoluju od distributivne mreže. Sproveden je ogled u cilju procene potrošnje električne energije svakog domaćinstva, pri čemu su formirana tri različita modela potrošnje kako bi se realnije predstavila jednovremenost snage. Na osnovu dobijenih podataka, dimenzionisan je sistem koji se u najvećoj meri oslanja na proizvodnju iz fotonaponskih sistema instaliranih na krovovima domaćinstava. Baterijski sistem za skladištenje energije koristi se za rešavanje dnevno-noćnih disbalansa između potrošnje i proizvodnje, dok je centralni biogasni agregat predviđen za pokrivanje sezonskih disbalansa usled promenljive dostupnosti solarne energije tokom godine. Predložene su tri različite varijante rešenja u zavisnosti od kapaciteta baterijskog sistema i instalisane snage biogasnog agregata. Kao glavni kriterijum prilikom dimenzionisanja sistema i izbora najboljeg rešenja korišćen je LOLP indeks pouzdanosti mikromreže. Pored toga, sprovedena je ekonomska i ekološka analiza izgradnje i eksploatacije predložene mikromreže. Na kraju rada, prikazani su uporedni rezultati svih varijanti, na osnovu kojih je izveden zaključak. Ovakav koncept hibridne mikromreže predstavlja održivo rešenje kako za postizanje energetske nezavisnosti i pouzdanosti napajanja manjih naselja, tako i za povećanje žilavosti elektroenergetskog sistema i očuvanja životne sredine.

Ključne reči - mikromreža, fotonaponski sistemi, biogasni agregati, baterijsko skladište

Abstract - This paper presents an analysis of the operation of an energy-independent hybrid microgrid consisting of photovoltaic (PV) systems, a biogas-based power generation unit, and a battery energy storage system (BESS). The study considers a hypothetical settlement located in central Serbia, composed of ten households that collectively decide to establish a microgrid and fully disconnect from the distribution network. An experimental assessment was conducted to evaluate the electrical energy consumption of each household, resulting in the development of three distinct load profiles designed to avoid excessive simultaneous peak demand. Based on the obtained consumption data, the microgrid was dimensioned to predominantly rely on electricity generated by rooftop photovoltaic systems installed on individual households. The battery energy storage system is employed to address short-term day-night mismatches between electricity generation and consumption, while a centralized biogas generator is designed to compensate for seasonal imbalances arising from the variability of solar energy availability throughout the year. Three different system configurations are proposed, differing in battery storage capacity and installed biogas generator power. The Loss of Load Probability (LOLP) reliability index was adopted as the primary criterion for system sizing and for selecting the optimal configuration. Additionally, an economic and environmental analysis of the proposed microgrid's construction and operation was conducted. The paper concludes with a comparative evaluation of all considered variants, based on which final conclusions are drawn. The proposed hybrid microgrid concept represents a sustainable solution for achieving energy independence and reliable power supply in small settlements, while simultaneously enhancing the resilience of the power system and contributing to environmental protection.

Index Terms - microgrid, photovoltaic (PV) systems, biogas generator, battery energy storage systems

Agro-fotonaponske elektrane u Republici Srbiji

Agro-photovoltaic power plants in the Republic of Serbia

Uroš Gordić, Miloš Bogdanović, Miloš Ječmenica

Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu

Rezime - Rad istražuje primenu agro-fotonaponskih sistema kao održivog rešenja za harmonizovanu proizvodnju električne energije i poljoprivrednih kultura. Predstavljene su osnovne tehničke karakteristike agro-fotonaponskih sistema sa posebnim osvrtom na primenu u zasadima jagodičastog voća, konkretno maline kao poljoprivredne kulture od izuzetnog značaja za Republiku Srbiju. Analizirane su različite konfiguracije agro-fotonaponskih sistema, kao i prednosti upotrebe bifacijalnih u odnosu na monofacijalne fotonaponske panele. U radu je predstavljen tipičan primer agrofotonaponskog sistema u zasadu malina, sa predloženim tehničkim rešenjem i finansijskom analizom za elektranu instalisanu snage 150 kW na teritoriji Zapadne Srbije, koju je moguće priključiti na niskonaponsku elektroenergetsku distributivnu mrežu, a koja omogućava neometani uzgoj malina. Rezultati sprovedene analize pokazuju da je investicija posebno isplativa u slučaju kada se proizvedena električna energija iz agrofotonaponske elektrane koristi za sopstveno napajanje prerađivačkog postrojenja, uz period isplativosti do sedam godina. Rad može biti od značaja kako za planiranje novih, tako i za integraciju agro-fotonaponskih sistema u postojeće zasade poljoprivrednih kultura.

Ključne reči - održiva poljoprivreda, otpornost na klimatske promene, dvostruki prihod, energetska nezavisnost

Abstract - The paper investigates the application of agro-photovoltaic systems as a sustainable solution for the harmonized production of electricity and agricultural crops. The basic technical characteristics of agro-photovoltaic systems are presented with special reference to the application in berry fruit plantations, specifically raspberries as an agricultural crop of exceptional importance for the Republic of Serbia. Different configurations of agro-photovoltaic systems were analyzed, as well as the advantages of using bifacial compared to monofacial photovoltaic panels. The paper presents a typical example of an agro-photovoltaic system in a raspberry plantation, with a proposed technical solution and financial analysis for the agro-photovoltaic power plant installed with a power of 150 kW on the territory of Western Serbia, which can be connected to the low-voltage power distribution network, and which enables the undistributed cultivation of raspberries under the raised panels. The results of the conducted analysis show that the investment is particularly profitable when the produced electricity from the agro-photovoltaic power plant is used for its own power supply of the processing plant with the payback period of seven years. The work can be of importance both for the planning of new and for the integration of agro-photovoltaic systems in the existing plantings of agricultural crops.

Index Terms - Sustainable Agriculture, Climate Resilience, Dual Income, Energy Independence

Интеграција обновљивих извора енергије, складиштења енергије и производње зеленог водоника у индустријском енергетском систему

Integration of renewable energy sources, energy storage and green hydrogen production in an industrial energy system

Saša Đorđević, Biljana Stekić - Jovanović
AD Elektroprivreda Srbije

Abstract: Овај рад се бави интеграцијом обновљивих извора енергије, складиштењем енергије и производњом зеленог водоника у оквиру индустријског енергетског система. Савремени енергетски системи се налазе у фази трансформације због глобалних циљева смањења емисија гасова са ефектом стаклене баште, повећања енергетске ефикасности и потребе за флексибилношћу у раду са варијабилним обновљивим изворима. У овом контексту, зелени водоник се препознаје као кључни енергетски носилац који омогућава замену фосилних горива у индустријским процесима и транспорту, уз могућност дугорочног складиштења енергије и оптимизацију енергетских токова.

Пројекат је конципиран као пилот систем са фазном реализацијом. Прва фаза обухвата изградњу соларних електрана инсталисане снаге око 2,4 MWp и постављање пуњачке инфраструктуре за електрична возила, као и основног SCADA/EMS система за надзор и управљање енергетским токовима. Овај корак обезбеђује основну обновљиву производњу електричне енергије и поставља техничке основе за интеграцију водоничних технологија у наредним фазама.

Друга фаза се фокусира на производњу зеленог водоника електролизом воде помоћу електролизера снаге 300 kW, уз систему за пречишћавање воде, компресију водоника и складиштење у резервоарима високог притиска (350–700 bar). Интегрисано је складиштење топлотне енергије, при чему се отпадна топлота из електролизера користи за грејање објеката и технолошких процеса, повећавајући енергетску ефикасност и смањујући потрошњу мазута. SCADA/EMS систем омогућава паметно управљање енергијом, укључујући предикцију соларне производње, пуњење складишта и оптимизацију рада електролизера у складу са ценама енергије.

Трећа фаза предвиђа примену водоника у индустријском транспорту путем водоничних камиона за интерну логистику и транспорт пепела. Овим се успоставља затворени енергетски круг, минимизује време задржавања возила на пуњачким станицама и омогућава демонстрацију ефективне декарбонизације тешког транспорта.

Очекује се да интеграција обновљивих извора енергије, складиштења енергије и производње водоника омогући значајно смањење емисија CO₂, повећање флексибилности и поузданости индустријског енергетског система, смањење потрошње фосилних горива и стицање практичних искустава за широку примену водоничних технологија. Пројекат има висок демонстрациони и репликативни потенцијал, како у Србији, тако и у региону, и представља стратешки корак ка одрживом и нискоугљеничном енергетском систему.

Кључне речи: обновљиви извори енергије, зелени водоник, електролиза воде, складиштење енергије, индустријски енергетски системи, енергетска транзиција

Abstract: This paper addresses the integration of renewable energy sources, energy storage, and green hydrogen production within the industrial energy system of TENT B in Obrenovac. Modern energy systems are undergoing a significant transformation due to global objectives aimed at reducing greenhouse gas emissions, improving energy efficiency, and increasing operational flexibility in systems with variable renewable energy generation. In this context, green hydrogen is recognized as a critical energy carrier that can replace fossil fuels in industrial processes and transport, providing long-term energy storage capabilities and optimizing energy flows.

The project is designed as a pilot system implemented in phases. The first phase includes the construction of solar power plants with a total installed capacity of approximately 2.4 MWp, installation of charging infrastructure for electric vehicles, and a basic SCADA/EMS system for monitoring and managing energy flows. This phase provides foundational renewable electricity production and establishes the technical basis for integrating hydrogen technologies in subsequent phases.

The second phase focuses on green hydrogen production via water electrolysis using a 300 kW electrolyzer, including a water purification system, hydrogen compression, and storage in high-pressure tanks (350–700 bar). Thermal energy storage is integrated, utilizing waste heat from the electrolyzer for heating buildings and technological processes, thereby

improving energy efficiency and reducing fuel oil consumption. The SCADA/EMS system enables intelligent energy management, including solar production forecasting, storage charging, and electrolyzer operation optimization based on electricity prices.

The third phase involves hydrogen application in industrial transport through hydrogen trucks for internal logistics and ash transport. This establishes a closed energy loop, minimizes vehicle downtime at refueling stations, and demonstrates effective decarbonization of heavy-duty transport.

The integration of renewable energy sources, energy storage, and hydrogen production is expected to achieve significant CO emission reductions, enhance flexibility and reliability of the industrial energy system, reduce fossil fuel consumption, and provide practical experience for large-scale deployment of hydrogen technologies. The project has strong demonstration and replication potential both in Serbia and the region, representing a strategic step toward a sustainable and low-carbon energy system.

Keywords: renewable energy sources, green hydrogen, water electrolysis, energy storage, industrial energy systems, energy transition

Tržište električne energije u Republici Srbiji – struktura, regulatorni okvir i usklađenost sa evropskim tržištem

Electricity Market in the Republic of Serbia - Market Structure, Regulatory Framework and Alignment with the European Market Practice

Milica Vukovljak*,
Dragana Barjaktarević

*Agencija za energetiku Republike Srbije (AERS), Beograd

Rezime – Rad daje sveobuhvatan pregled tržišta električne energije u Republici Srbiji, sa posebnim fokusom na njegovu strukturu, regulatorni okvir i stepen usklađenosti sa evropskim tržištem električne energije. Tržište električne energije u Srbiji poslednjih godina prolazi kroz intenzivan proces reformi, podstaknut obavezama koje proističu iz članstva u Energetskoj zajednici, kao i potrebom za daljom integracijom u regionalno i panevropsko tržište.

U radu su analizirani osnovni segmenti tržišta, uključujući veleprodajno tržište (bilateralna trgovina, dnevno i unutardnevno tržište), balansno tržište, kao i maloprodajno tržište električne energije. Posebna pažnja posvećena je ulozi ključnih institucionalnih aktera, pre svega operatora prenosnog sistema, operatora distributivnog sistema, organizatora tržišta i regulatornog tela, kao i njihovim međusobnim nadležnostima u funkcionisanju tržišta.

Centralni deo rada posvećen je regulatornom okviru, sa naglaskom na novi Zakon o energetici, usvojen krajem 2024. godine, i prateća podzakonska akta i pravila rada tržišta električne energije, kojima se dodatno jača usklađenost nacionalnog tržišta sa pravnim tekovinama Evropske unije, uključujući Clean Energy Package i Electricity Integration Package. Analizira se stepen implementacije relevantnih evropskih mrežnih pravila i smernica, kao i izazovi koji proizlaze iz njihove praktične primene u uslovima tržišta u tranziciji.

Rad se bavi i ključnim izazovima daljeg razvoja tržišta električne energije u Republici Srbiji, uključujući integraciju obnovljivih izvora energije, unapređenje tržišne likvidnosti, razvoj balansnih mehanizama i regionalnu saradnju, kao i potencijalne efekte novih evropskih instrumenata, poput Mehanizma za prekogranično prilagođavanje ugljenika (CBAM), na tržišne tokove i konkurentnost domaćih učesnika..

Ključne reči - tržište električne energije, regulatorni okvir, Srbija, evropsko tržište, balansno tržište, integracija tržišta

Abstract - This paper provides a comprehensive overview of the electricity market in the Republic of Serbia, focusing on its market structure, regulatory framework, and level of alignment with the European electricity market. In recent years, the Serbian electricity market has undergone significant reforms driven by obligations arising from membership in the Energy Community and by the objective of deeper integration into the regional and pan-European electricity market.

The paper analyses the main market segments, including the wholesale electricity market (bilateral contracts, day-ahead and intraday markets), the balancing market, and the retail electricity market. Particular attention is paid to the roles and responsibilities of key institutional stakeholders, notably the transmission system operator, distribution system operators, the market operator, and the national regulatory authority, as well as their interaction within the overall market framework.

A central part of the paper is devoted to the regulatory and institutional framework, with a specific focus on the new Energy Law adopted at the end of 2024 and the accompanying secondary legislation and market rules. These reforms significantly enhance the alignment of the Serbian electricity market with the European Union acquis, including the Clean Energy Package and the Electricity Integration Package. The level of implementation of relevant European network codes and guidelines is assessed, together with the main challenges related to their practical application in a transitional market environment.

The paper also addresses the key challenges and future perspectives of electricity market development in the Republic of Serbia, including the integration of renewable energy sources, improvement of market liquidity, development of balancing mechanisms, and regional market integration. Additionally, the potential impacts of emerging European policy instruments, such as the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), on market functioning and competitiveness are discussed.

Index Terms - electricity market, regulatory framework, Serbia, European market, balancing market, market integration.

Uticaj varijacije proizvodnog miksa na stanje elektroenergetskog sistema korišćenjem tržišnih proračuna

The Impact of Production Mix Variability on the State of the Power System Using Market-Based Calculations

Andrija Pavićević, dr Vladan Ristić, Nebojša Vučinić*

* Elektromreža Srbije - EMS AD

Rezime - Tržišni proračuni pogodan su način za procenu uticaja različitih proizvodnih portfelja na stanje elektroenergetskog sistema. Ovi proračuni sastavni su deo procesa planiranja razvoja sistema. Korišćenjem alata za tržišne simulacije (ANTARES), definisani su različiti scenariji koji obuhvataju promene u udelu konvencionalnih elektrana, elektrana koje koriste varijabilne OIE i skladišta električne energije u proizvodnom miksu. Analizirane su posledice velikog udela solarnih i vetroelektrana na rad sistema i odražavanje ovog udela na fleksibilnost sistema. Sa druge strane, manji proizvodni kapacitet ovih tipova elektrana uz rast potrošnje može se negativno odraziti na energetska zavisnost. Simulacijama je pokazano kako bi promena proizvodnog miksa uticala na balans sistema, na potrebu za uvozom električne energije i na potencijalan manjak energije u sistemu. U definisanim scenarijima obrađena je mogućnost korekcije prekograničnih kapaciteta i pojava prirodnih fenomena koji bi mogli u velikoj meri uticati na proizvodnju solarnih elektrana, vetroelektrana i hidroelektrana. U ovom radu istaknuta je važnost adekvatnog planiranja generatorskog miksa i strateške upotrebe resursa kako bi stabilnost sistema bila osigurana, a rizik od pojave neisporučene električne energije značajno manji.

Ključne reči – tržišni proračun, planiranje razvoja sistema, proizvodni miks

Abstract - Market simulations provide a suitable approach for assessing the impact of different generation portfolios on the state of the power system. These simulations are an integral part of the system development planning process. Using market simulation tools (ANTARES), various scenarios were defined that encompass changes in share of conventional power plants, variable renewable energy sources, and energy storage systems in the generation mix. The consequences of the high share of solar and wind power in the system and its impact on system flexibility were analyzed. On the other hand, reduced generation capacity of these plants, combined with rising demand, negatively impacts the energy independence. Simulations demonstrate how changes in the generation mix affect system balance, import requirements, and potential shortfalls. The defined scenarios also address the possibility of adjusting cross-border capacities and the occurrence of natural phenomena that can significantly affect solar, wind, and hydroelectric generation. This study highlights the importance of adequate generation mix planning and strategic resource utilization to enhance the system stability and minimize the risk of the unserved energy appearing.

Index Terms – market simulation, system development planning, generation mix

Uticaj parametara transformatora na reaktivne mogućnosti proizvodnog modula priključenog na prenosni sistem

Impact of Transformer Parameters on the Reactive Power Capability of a Power Generating Module Connected to the Transmission System

Jelena Milić*, Sonja Simović**, Nebojša Vučinić***

Elektromreža Srbije ad, Beograd

Rezime - Stupanjem na snagu Uredbe o mrežnim pravilima koja se odnose na priključenje proizvodnih jedinica na mrežu, definisani su tehnički zahtevi u pogledu regulacije napona i razmene reaktivne snage koje proizvodni moduli moraju da ispune. Poseban značaj ovih zahteva ogleda se kod proizvodnih modula priključenih na prenosni sistem, gde parametri mrežnog transformatora imaju značajan uticaj na njihove reaktivne mogućnosti i sposobnost pružanja pomoćnih usluga sistema. U ovom radu analiziran je uticaj ključnih parametara transformatora na mogućnost proizvodnog modula da obezbedi zahtevani opseg proizvodnje i preuzimanja reaktivne snage. Analiza je sprovedena kroz simulacione proračune na reprezentativnom modelu proizvodnog modula priključenog na prenosnu mrežu, pri različitim radnim režimima i podacima o transformatorima dostupnih od strane proizvođača. Rezultati ukazuju na značaj pravilnog izbora i podešavanja parametara transformatora u cilju obezbeđenja usaglašenosti sa tehničkim zahtevima, ali i maksimalnog iskorišćenja reaktivnih mogućnosti proizvodnog modula.

Ključne reči - prenosni sistem, mrežni transformator, reaktivna snaga, proizvodni modul, regulacija napona, mrežna pravila

Abstract - Following the entry into force of the Grid Code specifying requirements for the connection of generation units to the network, detailed technical requirements concerning voltage control and reactive power exchange to be fulfilled by power generating modules have been established. These requirements are of particular relevance for generation units connected to the transmission system, where transformer parameters significantly influence both the reactive power capability of the unit and its ability to provide ancillary services. This paper presents a comprehensive analysis of the impact of key grid transformer parameters on the capability of a power generating module to achieve the required range of reactive power generation and absorption. The analysis is conducted by means of simulation-based studies performed on a representative model of a power generating module connected to the transmission network, considering various operating conditions and transformer characteristics based on manufacturers' data. The obtained results emphasize the critical importance of appropriate selection and parameterization of transformers in ensuring compliance with prescribed technical requirements, while simultaneously enabling optimal utilization of the reactive power capability of the power generating module..

Index Terms - transmission system, network transformer, reactive power, power generating module, voltage control, grid code

Uloga baterijskih sistema za skladištenje energije u modernizaciji elektroenergetskih mreža

Role of Battery Energy Storage Systems in Modern Power Grids

Sreten Čalasan - Hitachi energy d.o.o, Đorđa Stanojevića 12, Beograd
 Milan Stojanović - EKC d.o.o, Vojvode Stepe 412, Beograd
 Vojislav Stojanović - Electra

Rezime - Sve veći udeo izvora obnovljive energije zasnovanih na invertorskoj tehnologiji, vetro i solarne elektrane, fundamentalno menja dinamičko ponašanje savremenih elektroenergetskih sistema. Kao posledica gore navedenih promena u mreži dolazi do pojava koje utiču na inertnost sistema, mogućnost pravilnog rada sistema u slučaju naglih i neplaniranih promena u proizvodnji i ukupne stabilnosti sistema. U tom kontekstu, baterijski sistemi za skladištenje električne energije (BESS u daljem tekstu) osim skladištenja energije imaju sve značajniju ulogu za održavanje stabilnosti i operativne fleksibilnosti elektroenergetskih mreža. U ovom radu se razmatra sposobnost BESS da obezbedi ključne mrežne pomoćne systemske usluge, uključujući obezbeđivanje sintetičke inercije, doprinos struji kratkog spoja, jačanje snage sistema, regulaciju napona i brzu frekventnu reakciju (Fast Frequency Response – FFR). Primena naprednih strategija upravljanja energetskim pretvaračima omogućava BESS-u da obezbedi brzo i precizno kontrolisano injektiranje aktivne snage, čime se efektivno utiče na inertnost sistema i ublažavanje visoke brzine promene frekvencije (Rate of Change of Frequency – RoCoF). Na taj način BESS značajno unapređuju stabilnost frekvencije u sistemima sa visokim udelom nesinhronih generatora. Tokom poremećaja u mreži, režimi rada kako “grid forming” tako i “grid following” BESS mogu obezbediti kratkotrajni doprinos struji kvara, čime se podržava ispravan rad zaštitnih sistema kako bi se izbeglo neželjeno dejstvo reagovanja prilikom prelaznih procesa. Pored toga, BESS mogu obezbediti kontinuiranu i dinamičku podršku u vidu reaktivne snage u širokom opsegu radnih režima, omogućavajući efikasnu regulaciju napona i unapređujući naponsku stabilnost u prenosnim i distributivnim mrežama. Izuzetno brze odzivne karakteristike BESS omogućavaju visoko efikasnu FFR uslugu, pri čemu se odstupanja frekvencije mogu zaustaviti u vremenskom intervalu koji se meri u milisekundama, često uz bolje performanse u poređenju sa konvencionalnim sinhronim generatorima. Pored tehničkog doprinosa sigurnosti rada elektroenergetskog sistema, obezbeđivanje navedenih usluga stvara višestruke mogućnosti monetizacije za operatore BESS postrojenja. Prihodi se mogu ostvariti kroz učešće na tržištima pomoćnih usluga, odnosno uslugama povezanim sa inercijom, regulacijom frekvencije, regulacijom napona i podrškom reaktivnom snagom. Dodatno, BESS mogu primeniti strategije višestrukog korišćenja (service stacking), kombinujući arbitražu električne energije, učešće sa zagarantovanim količinama energije na raspolaganju operatoru i pružanje usluga stabilnosti mreže, čime se maksimalno povećava iskorišćenost sredstava i unapređuje ukupna ekonomska isplativost projekata. Instalacije „iza brojila“ (behind the meter) sve više se prepoznaju kao faktori koji imaju značajan uticaj na performanse i rad distributivnih elektroenergetskih mreža. Sve veća potražnja za sistemskim uslugama u savremenim elektro energetskim sistemima, naročito inercije i snage sistema, podstiče razvoj novih regulatornih okvira i tržišnih mehanizama, dodatno jačajući vrednosnu ponudu BESS. U celini posmatrano, BESS predstavlja značajan faktor za formiranje sigurnih, otpornih i fleksibilnih elektroenergetskih sistema koji se transformišu ka niskokarbonskoj budućnosti.

Ključne reči - baterijski sistemi za skladištenje energije, stabilnost elektroenergetskog sistema, pomoćne systemske usluge, fleksibilnost elektroenergetskog sistema, modernizacija elektroenergetske mreže

Abstract - The increasing share of renewable energy sources based on inverter technology, such as wind and solar power plants, fundamentally changes the dynamic behavior of modern power systems. As a consequence of these changes in the power grid, several challenges arise, including reduced system inertia, a diminished ability of the system to operate reliably under sudden and unplanned changes in power generation, and the overall stability of the system. In this context, Battery Energy Storage Systems (BESS) play an increasingly important role in maintaining the stability and operational flexibility of power networks. This paper examines the capability of BESS to provide key ancillary services, including the provision of synthetic inertia, contribution to short-circuit current, system strength enhancement, voltage regulation, and Fast Frequency Response (FFR). The application of advanced control strategies for power converters enables BESS to deliver rapid and precisely controlled active power injections, effectively influencing system inertia and mitigating high rates of change of frequency (RoCoF). In this way, BESS significantly improves frequency stability in systems with a high share of non-synchronous generators. During grid disturbances, both grid-forming and grid-following BESS can provide a short-term contribution to fault current, thereby supporting the proper operation of protection systems and preventing undesired protection actions during unforeseen events. In addition, BESS can provide continuous and dynamic reactive power support across a wide range of operating conditions, enabling effective voltage regulation and improving voltage stability in transmission and distribution networks. The exceptionally fast response characteristics of BESS allow for highly efficient FFR services, where frequency deviations can be arrested within timeframes measured in milliseconds, often with better performance compared to conventional synchronous generators with inherent mechanical inertia. Beyond the technical contribution to power system security, the provision of these services creates multiple monetization opportunities for BESS operators. Revenues can be achieved through participation in ancillary services markets,

including services related to inertia, frequency regulation, voltage regulation, and reactive power support. Further-more, BESS can implement multi-use strategies (service stacking), combining energy arbitrage, participation with guaranteed energy availability to system operators, and the provision of grid stability services, thereby maximizing asset utilization and improving overall project economic viability. Behind the meter installations are increasingly recognized as having a significant influence on the performance and operation of distribution networks. The increasing demand for system services in modern power systems, particularly inertia and system strength has driven the development of new regulatory frameworks and market mechanisms, further strengthening the value proposition of BESS. Overall, the results demonstrate that BESS are integral to the development of secure, resilient, and flexible power systems supporting the transition to low carbon energy.

Index Terms - power system stability, power grid modernization, ancillary services, power system flexibility, battery energy storage systems, grid-forming control

Fleksibilnost i uloga agregatora u energetskej tranziciji elektroenergetskog sistema Srbije

Flexibility and the Role of Aggregators in the Energy Transition of the Serbian Power System

Jelisaveta Krstivojević*, Jelena Stojković Terzić*, Dunja Grujić*, Nikola Tošić**

*Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet

** Elektromreža Srbije AD

Rezime - Energetska tranzicija, obeležena rastućim udelom varijabilnih obnovljivih izvora energije (VOIE), razvojem distribuiranih energetske resursa (DER) i elektrifikacijom potrošnje, značajno menja operativnu logiku elektroenergetskih sistema (EES). Izazov više nije samo izgradnja novih „zelenih“ proizvodnih kapaciteta, već njihova pouzdana i ekonomski održiva integracija u EES i tržišne mehanizme. U tom kontekstu, fleksibilnost se nameće kao ključni preduslov uspešne energetske tranzicije. Na početku rada prikazuje se kako rast VOIE, pre svega solarne i vetroenergije, porast broja i kapaciteta DER i elektrifikacija potrošnje menjaju operativnu logiku EES. Posebno se razmatra kako se manjak fleksibilnosti u praksi prepoznaje kroz zagušenja, prinudna ograničenja proizvodnje i sve češće periode veoma niskih ili negativnih cena električne energije. Dodatno se daje pregled faza integracije VOIE i tipičnih operativnih izazova u svakoj od njih. U radu se analizira stanje u Srbiji i očekivani pravac promena. Daje se pregled proizvodne strukture, udela OIE, karakteristika potrošnje i ključnih specifičnosti EES, uz projekcije rasta udela OIE i finalne potrošnje električne energije. Posebno se ističe da Srbija još uvek nije ušla u fazu masovne integracije VOIE, što predstavlja važnu prednost jer postoji prostor da se mehanizmi fleksibilnosti, pravila njihovog korišćenja i odgovarajući tržišni okvir razviju blagovremeno, pre nego što operativni problemi postanu izraženi i strukturni. U tom kontekstu biće definisana uloga agregatora kao mehanizma koji rasutu fleksibilnost pretvara u organizovan, merljiv i upravljiv resurs, uz objašnjenje njegove praktične funkcije i mesta na kojima agregirana fleksibilnost stvara vrednost.

Ključne reči - fleksibilnost, agregatori, energetska tranzicija, varijabilni obnovljivi izvori energije, distribuirani energetske resursi

Abstract - The energy transition, characterized by a growing share of variable renewable energy sources (VRES), the development of distributed energy resources (DER), and the electrification of demand, is significantly changing the operational logic of power systems (PS). The challenge is no longer limited to the deployment of new “green” generation capacities, but rather to their reliable and economically sustainable integration into the power system and market mechanisms. In this context, flexibility emerges as a key prerequisite for a successful energy transition. At the beginning of the paper, it is shown how the growth of VRES, primarily solar and wind energy, the increase in the number and capacity of DER, and the electrification of demand reshape power system operation. Particular attention is paid to how a lack of flexibility manifests in practice through network congestion, forced generation constraints (curtailment/redispach), and increasingly frequent periods of very low or negative electricity prices. In addition, an overview of the phases of VRES integration and the typical operational challenges associated with each phase is provided. The paper further analyzes the current situation in Serbia and the expected direction of future developments. An overview of the generation mix, the share of renewable energy sources, demand characteristics, and key power system specificities is presented, together with projections of VRES growth and final electricity consumption. It is emphasized that Serbia has not yet entered a phase of large-scale VRES integration, which represents an important advantage, as it leaves room for the timely development of flexibility mechanisms, rules for their utilization, and an appropriate market framework before operational issues become pronounced and structural. In this context, the role of aggregators is defined as a mechanism that transforms dispersed flexibility into an organized, measurable, and controllable resource, with an explanation of their practical function and the points at which aggregated flexibility creates value.

Index Terms - flexibility, aggregators, energy transition, variable renewable energy sources, distributed energy resources

Mogućnosti i izazovi za rad agregatora u Republici Srbiji

Opportunities and challenges for aggregator operations in the Republic of Serbia

Dunja Grujić*, Nikola Tošić**, Jelena Stojković Terzić*, Jelisaveta Krstivojević*

* Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu

** Elektromreža Srbije AD

Rezime - Energetska tranzicija i ciljevi dekarbonizacije usloveli su intenzivnu integraciju proizvodnih kapaciteta zasnovanih na obnovljivim izvorima energije u elektroenergetski sistem. U tom kontekstu, regulatorni okvir omogućava različite modele učešća obnovljivih izvora, uključujući proizvođače, kupce-proizvođače i aktivne kupce. Za razliku od tradicionalnih distributivnih sistema, u kojima je tok električne energije uglavnom bio od prenosnog sistema ka krajnjim potrošačima, povećano učešće distribuiranih izvora dovodi do značajnih promena tokova snage i načina upravljanja sistemom. Međutim, s obzirom na to da elektroenergetski sistem postoji radi pouzdanog snabdevanja krajnjih potrošača, neophodno je u svakom trenutku obezbediti stabilnost sistema i sigurnost snabdevanja. Zbog izražene varijabilnosti proizvodnje iz obnovljivih izvora, nameće se potreba za povećanjem fleksibilnosti sistema koji je prvobitno projektovan kao relativno krut. U tom cilju omogućeno je učešće skladišta električne energije, kao i različiti tržišni mehanizmi. Kako bi različiti tržišni učesnici mogli efikasno doprineti energetske tranziciji uz očuvanje sigurnosti snabdevanja, uveden je novi učesnik na tržištu - agregator. Agregatori vrše objedinjavanje proizvodnje, potrošnje i fleksibilnosti većeg broja učesnika na tržištu, između ostalog omogućavajući kupovinu i prodaju električne energije, pružanje pomoćnih usluga operatorima sistema, kao i smanjenje troškova balansiranja. U ovom radu biće analiziran regulatorni okvir i relevantni strateški dokumenti Republike Srbije koji se odnose na agregatore, razmatraće se uslovi i mogućnosti za njihov rad, biće identifikovani potencijalni izvori fleksibilnosti u elektroenergetskom sistemu Republike Srbije, kao i ključni izazovi koji stoje pred početkom rada prvih agregatora u Republici Srbiji.

Ključne reči - agregator, fleksibilnost sistema, obnovljivi izvori energije, pomoćne usluge, regulativa

Abstract - The energy transition and decarbonization targets have driven the intensive integration of renewable energy-based generation capacities into the electric power system. In this context, the regulatory framework enables various participation models for renewable energy sources, including producers, prosumers, and active consumers. Unlike traditional distribution systems, where the power flow was primarily from the transmission system to end consumers, the increased participation of distributed resources leads to significant changes in power flows and system management. However, since the electric power system exists to reliably supply end consumers, system stability and supply security must be ensured at all times. Due to the pronounced variability of renewable generation, there is a need to increase the flexibility of a system that was originally designed as relatively rigid. To this end, the participation of energy storage, as well as various market mechanisms, is enabled. In order for different market participants to efficiently contribute to the energy transition while maintaining supply security, a new market participant - the aggregator - has been introduced. Aggregators consolidate the generation, consumption, and flexibility of multiple market participants, enabling, among other things, electricity trading, provision of ancillary services to system operators, and reduction of balancing costs. This paper analyses the regulatory framework and relevant strategic documents of the Republic of Serbia concerning aggregators. It examines the conditions and opportunities for their operation, identifies potential sources of flexibility within Serbia's electric power system, and outlines the key challenges faced by the first aggregators entering the market in the Republic of Serbia.

Index Terms - aggregator, system flexibility, renewable energy sources, ancillary services, regulation

Uloga agregatora u obezbjeđivanju fleksibilnosti i balansiranju elektroenergetskog sistema

The Role of Aggregators in Providing Flexibility and Balancing Services in the Power System

*Dušan Vučić, **Miloš Kuzman, ***Dunja Grujić

Crnogorski operator tržišta električne energije
Udruženje za pravo energetike Srbije – UPES
Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu

Apstrakt: Razvoj savremenih elektroenergetskih sistema obilježen je decentralizacijom proizvodnje električne energije kroz sve veće učešće obnovljivih izvora energije i digitalizacijom mreže. Ovi procesi nameću povećane zahtjeve u pogledu fleksibilnosti i balansiranja sistema, posebno u manjim elektroenergetskim sistemima. U tom pogledu, a u skladu sa reformama tržišta i direktivama u EU, a koje region transponuje u svoje zakonodavne okvire, u tržište električne energije se uvode i novi učesnici na tržištu, kao što su agregatori, sistemi za skladištenje i aktivni kupci. Agregatori se pojavljuju kao novi tržišni učesnici koji objedinjavanjem distribuiranih energetske resursa omogućavaju njihovo efikasno i tehnički koordinisano učešće na tržištu električne energije i u radu elektroenergetskog sistema. Rad analizira potencijal agregacije fleksibilne potrošnje, distribuirane proizvodnje iz obnovljivih izvora (posebno solarnih elektrana) i sistema za skladištenje energije, kao i njihov objedinjeni doprinos stabilnosti sistema. Cilj ovog rada je da se sagleda tehnička uloga agregatora u obezbjeđivanju systemske fleksibilnosti, balansiranju proizvodnje i potrošnje, kao i u pružanju pomoćnih usluga, sa posebnim osvrtom na elektroenergetski sistem Crne Gore.

U tehničkom smislu, razmatra se uloga agregatora u optimizaciji profila potrošnje i proizvodnje, smanjenju odstupanja u balansiranju i aktivnom učešću na tržištu balansne energije. Posebna pažnja posvećena je mogućnostima korišćenja demand response mehanizama, kao i implementaciji automatizovanih sistema upravljanja koji omogućavaju brzu reakciju agregiranih resursa na signale operatora sistema. Analizira se i potencijal agregatora u pružanju sekundarne i tercijarne regulacije, naročito u uslovima povećane varijabilnosti proizvodnje iz obnovljivih izvora energije.

Rad razmatra regulatorni i tržišni okvir relevantan za uvođenje agregatora u Crnoj Gori, uključujući usklađenost nacionalnog sa evropskim energetske zakonodavstvom i pravilima tržišta električne energije. Poseban akcenat stavljen je na tehničku interoperabilnost između agregatora, operatora prenosnog i distributivnog sistema, mjernu infrastrukturu neophodnu za pouzdano funkcionisanje sistema agregacije i razmjenu podataka.

Zaključci rada ukazuju da agregatori mogu imati značajnu ulogu u povećanju fleksibilnosti i sigurnosti rada elektroenergetskog sistema Crne Gore, smanjenju troškova balansiranja i efikasnijoj integraciji obnovljivih izvora energije. Njihova primjena predstavlja važan korak ka razvoju pametnih mreža i modernog tržišta električne energije, prilagođenog zahtjevima energetske tranzicije.

Ključne reči: agregatori, fleksibilnost elektroenergetskog sistema, balansiranje sistema, distribuirani energetske resursi, tržište električne energije

Abstract: The development of modern power systems is characterized by decentralization of electricity generation through growing share of renewable energy sources and electricity network digitalization. These trends impose higher requirements in terms of system flexibility, operational security, and balancing capabilities, particularly in small power systems. In that view, in line with market reforms and EU directives, which the region is transposing into its legislative frameworks, new participants are being introduced into the electricity market, such as aggregators, storage systems, and active consumers. Aggregators are emerging as new market participants that enable the efficient and technically coordinated participation of distributed energy resources in electricity markets and system operation.

The paper examines the aggregation potential of flexible demand, distributed renewable generation - especially photovoltaic systems - and energy storage technologies, as well as their combined contribution to power system stability and reliability. The objective of this paper is to analyze the technical role of aggregators in providing system flexibility, balancing supply and demand, and delivering ancillary services, with a specific focus on the characteristics of the Montenegrin power system.

From a technical perspective, the role of aggregators in optimizing consumption and generation profiles, reducing imbalance volumes, and participating in balancing energy markets is analyzed. Special attention is given to the implementation of demand response mechanisms and automated control systems that allow aggregated resources to respond rapidly to signals from transmission and

distribution system operators. The potential of aggregators to provide secondary and tertiary frequency control services is also discussed, particularly under conditions of increased variability associated with renewable energy sources.

The paper further addresses the regulatory and market framework relevant to the introduction of aggregators in Montenegro, considering alignment of national with European energy legislation and electricity market rules. Emphasis is placed on technical interoperability between aggregators and system operators, metering infrastructure necessary for the reliable operation of aggregation systems and data exchange.

The conclusions indicate that aggregators can play a significant role in enhancing the flexibility and security of operation of the Montenegrin power system, reducing balancing costs, and facilitating the efficient integration of renewable energy sources. Their deployment represents an important step toward the development of smart grids and a modern electricity market capable of meeting the challenges of the ongoing energy transition.

Keywords: aggregators, power system flexibility, system balancing, distributed energy resources, electricity market

Primena izveštajnih sistema u elektroenergetskom sektoru

Application of Reporting Systems in the Electric Power Sector

*Jovana Nikolić, **Dunja Grujić, *Dejan Polugić

Flaner d.o.o. Beograd, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu

Apstrakt: Elektroenergetski sistem, kako distributivni tako i prenosni, nalazi se u procesu duboke transformacije usled energetske tranzicije, ciljeva dekarbonizacije i rastuće digitalizacije sektora. Intenzivna integracija proizvodnih kapaciteta zasnovanih na obnovljivim izvorima energije, uključujući proizvođače, kupce-proizvođače, aktivne kupce i energetske zajednice, dovodi do povećane varijabilnosti i neizvesnosti u radu sistema, čime se nameće potreba za značajnim unapređenjem njegove fleksibilnosti u cilju održanja sigurnosti snabdevanja i stabilnosti sistema. U tom kontekstu, regulatorni okvir omogućava primenu naprednih mehanizama kao što su skladištenje električne energije, upravljanje potrošnjom, rad agregatora i razvoj različitih tržišta električne energije.

Paralelno sa razvojem tržišta i novih uloga u sistemu, elektroenergetski sektor karakteriše ubrzana implementacija naprednih mernih sistema i digitalne infrastrukture. Sve šira primena pametnih brojala i skraćivanje obračunskih intervala merenja na 15 minuta omogućavaju detaljnije praćenje potrošnje i proizvodnje, precizniji obračun, mogućnosti preciznijeg planiranja rada, kao i aktivno učešće krajnjih korisnika na tržištu električne energije. Ovakav razvoj stvara velike količine podataka čija efikasna obrada, analiza i integracija postaju ključni preduslov za pouzdano upravljanje sistemom i donošenje odluka.

Uprkos tome što se izveštavanje često posmatra kao završna faza poslovnih procesa, ono predstavlja ključni element za efikasno upravljanje i strateško odlučivanje u elektroenergetskom sektoru. Na osnovu adekvatnog izveštajnog sistema može se redovno pratiti rad svakog preduzeća, blagovremeno se mogu uočiti eventualni problemi i na vreme se može sprečiti ili umanjiti njihov negativan efekat. Pored toga, mogu se planirati buduće aktivnosti preduzeća, ali i uočiti mogućnosti za uspešnije poslovanje.

U ovom radu biće predstavljen izveštajni sistem koji objedinjuje podatke i poslovne procese u skladu sa potrebama učesnika na tržištu. Prikazaće se napredne mogućnosti izveštavanja nad velikom količinom podataka visoke vremenske rezolucije, kao i primena predikcionih modela zasnovanih na istorijskim podacima.

Izveštajni sistem mogu koristiti kako operatori sistema i administratori različitih tržišta električne energije, tako i različiti učesnici na tržištu, uključujući snabdevače, balansno odgovorne strane, agregatore, proizvođače, aktivne kupce i skladišta električne energije. Sistem takođe može služiti i regulatornim agencijama, ministarstvima, zavodu za statistiku i sličnim institucijama u cilju obrade velike količine podataka koje dobijaju od različitih energetskih kompanija – korišćenjem ovakvog sistema na optimalan način može se kontrolisati i sagledati rad različitih kompanija i njihov međusobni uticaj, pri čemu zaključivanje i donošenje odluka od strane institucija može biti značajno olakšano.

Ključne reči: SAP, izveštajni sistem, elektroenergetski sistem, energetska tranzicija

Abstract: The electric power system, encompassing both distribution and transmission networks, is undergoing a profound transformation driven by the energy transition, decarbonization targets, and increasing sector digitalization. The extensive integration of renewable energy-based generation capacities - including producers, prosumers, active consumers, and energy communities - leads to greater variability and uncertainty in system operations, highlighting the need for significant enhancement of system flexibility to ensure supply security and overall stability. In this context, the regulatory framework facilitates the deployment of advanced mechanisms such as energy storage, demand-side management, aggregator operations, and the development of diverse electricity markets.

Alongside the evolution of markets and emerging system roles, the electric power sector is witnessing accelerated implementation of advanced metering infrastructure and digital technologies. The widespread adoption of smart meters and the reduction of measurement intervals to 15 minutes enable more detailed monitoring of consumption and generation, more accurate billing, improved operational planning, and active end-user participation in the electricity market. These developments generate substantial volumes of data, whose efficient processing, analysis, and integration are critical prerequisites for reliable system management and informed decision-making.

While reporting is often perceived as the final stage of business processes, it represents a fundamental element for effective management and strategic decision-making within the electric power sector. An appropriate reporting system enables continuous monitoring of each company's performance, timely detection of potential issues, and mitigation or prevention of their adverse effects. Additionally, it supports planning of future activities and identification of opportunities for enhanced operational performance.

This paper presents a reporting system that consolidates data and business processes according to the requirements of market participants. It demonstrates advanced reporting capabilities over large datasets with high temporal resolution and illustrates the application of predictive models based on historical data.

The reporting system can be employed by system operators and administrators of various electricity markets, as well as by a range of market participants, including suppliers, balancing responsible parties, aggregators, producers, active consumers, and energy storage operators. Furthermore, the system can assist regulatory agencies, ministries, statistical offices, and similar institutions in processing extensive datasets received from different energy companies - optimally utilizing such a system allows monitoring and evaluation of company operations and their mutual interactions, thereby significantly facilitating institutional decision-making and analysis.

Keywords: SAP, reporting system, electric power system, energy transition

Analiza isplativosti investicije za kupce-proizvođače

Cost-effectiveness analysis of the investment for buyers-manufactures

Radovan Đorđević, Svetlana Milošević Đorđević

* Elektrodistribucija Srbije, Slobode 7 Kragujevac

Rezime: U radu je prikazana analiza isplativosti sa ekonomskog aspekta izgradnje fotonaponskih panela za potrebe kupca- proizvođača kao i neophodan period koji je potreban da bi se investicija isplatila. Pre analiza dat je pregled zakonske regulative vezane za sticanje statusa kupac-proizvođač kao i sama procedura koja je propisana od strane Elektrodistribucije Srbije i EPS Snabdevanja a koja obuhvata sve neophodne korake potrebne da se ispune pre upisa u registar kupaca-proizvođača i priključenja.

Analizirano je više različitih kategorija potrošnje sa različitim opsezima mesečne potrošnje pre ugradnje fotonaponskih panela i to domaćinstva sa prosečnom mesečnom potrošnjom do 350 kWh, odnosno preko 500kWh kao i kupci na niskom naponu sa potrošnjom preko 2000kWh na mesečnom nivou. Definisana je specifikacija neophodnog materijala potrebnog za izgradnju proizvodnog objekta kao i svi prateći troškovi neophodni za sticanje statusa kupac-proizvođač, u koje spadaju neophodni radovi, stručna ispitivanja i atesti kao i definisani troškovi prema Elektrodistribuciji Srbije. Na osnovu detaljne specifikacije prikazana je prosečna vrednost investicije po 1 kW snage proizvodnog objekta. Takođe u analizi uzete su u obzir i subvencije koje Republika Srbija, odnosno lokalna samouprava opredeljuju u ovu svrhu tako da je analizom dat uporedni prikaz isplativosti za oba slučaja, sa i bez subvencija. Analiza je rađena na konkretnim primerima koji su duže od godinu dana u statusu kupac-proizvođač pri čemu je vršena analiza potrošnje pre i nakon ugradnje fotonaponskih panela. Na osnovu uštede u računima za električnu energiju data je projekcija vremena isplativnosti investicije. Na osnovu očekivanog veka trajanja opreme i vremena otplate investicije prikazan je period koji kupac-proizvođač može koristiti opremu bez troškova za utrošenu električnu energiju. Takođe, u radu su prikazani i fiksni troškovi na računu za električnu energiju koju kupac-proizvođač mora platiti bez obzira na proizvodnju električne energije. Na kraju rada dat je osvrt na prednosti i pogodnosti koje imaju kupci-proizvođači u odnosu na klasične kupce i na trend rasta ove kategorije kupaca u Republici Srbiji.

Ključne reči - kupac-proizvođač, analiza, subvencije, investicija, isplativost

Abstract - The paper presents an analysis of the profitability from the economic aspect of the construction of photovoltaic panels for the needs of the buyer-producer, as well as the necessary period required for the investment to pay off. Before the analysis, an overview of the legal regulations related to the acquisition of buyer-producer status as well as the procedure prescribed by Elektrodistribucija Srbije and EPS Snabdevanja, which includes all the necessary steps to be completed before entering the buyer-producer register and connection, was given.

Several different categories of consumption with different ranges of monthly consumption before the installation of photovoltaic panels were analyzed, namely households with an average monthly consumption of up to 350 kWh, i.e. over 500 kWh, as well as customers at low voltage with consumption over 2000 kWh on a monthly basis. The specification of the necessary material needed for the construction of the production facility is defined, as well as all the accompanying costs necessary for acquiring the status of buyer-producer, which include the necessary works, expert tests and certificates, as well as the defined costs according to the Electric Distribution of Serbia. Based on the detailed specification, the average value of the investment per 1 kW of power of the production facility is shown. The analysis also took into account the subsidies that the Republic of Serbia, i.e. the local self-government decides for this purpose, so that the analysis gives a comparative view of the cost-effectiveness for both cases, with and without subsidies. The analysis was done on specific examples that have been in the status of buyer-producer for more than a year, where the consumption analysis was performed before and after the installation of photovoltaic panels. Based on the savings in electricity bills, a projection of the investment's profitability time is given. Based on the expected lifetime of the equipment and the investment repayment time, the period during which the buyer-producer can use the equipment without costs for the consumed electricity is shown. Also, the paper shows the fixed costs on the electricity bill that the buyer-producer must pay regardless of the production of electricity. At the end of the paper, an overview is given of the advantages and benefits that buyer-producers have compared to traditional buyers and the growth trend of this category of buyers in the Republic of Serbia.

Index Terms - buyer-producer, analysis, subsidies, investment, cost-effectiveness

Uticaj distribuirane proizvodnje uzduž nesimetrično opterećenog niskonaponskog voda

Impact of distributed generation along an asymmetrically loaded low-voltage line

Siniša Spremić, Aleksandar Antić

Elektrodistribucija Srbije d.o.o. Beograd – DP Novi Sad, Bulevar oslobođenja 100, Novi Sad

Rezime - U većem delu niskonaponske distributivne mreže je prisutna manja ili veća amplitudna nesimetrija opterećenja po fazama. Ovo uzrokuje amplitudno nesimetrične fazne napone i povećane gubitke u faznim i nultom provodniku. Distribuirana proizvodnja proizvođača/potrošača (prozjumer - protošača) koji imaju distribuiranu proizvodnju i koja je na niskom naponu uglavnom fotonaponske prirode u određenim razdobljima imaju višak snage, nakon pokrivanja sopstvenih potreba, koju mogu dati u niskonaponsku distributivnu mrežu. Odata snaga distribuirane proizvodnje u niskonaponsku distributivnu mrežu može biti simetrična i nesimetrična zavisno koliko se snage po fazama koristi kod prozjumer. Dati su rezultati proračuna simetrično i nesimetrično opterećenog niskonaponskog voda u kojima se vide gubici snage sa ili bez uticaja prozjumer na gubitke snage i to u jednom proračunu po deonicama kako bi se video nivo gubitaka snage, a u preostalim proračunima su dati ukupni gubici snage. Za sva četiri proračuna su u dijagramu prikazane vrednosti gubitaka snage kako bi se vizuelno uporedili. Dijagramima su prikazane promene faznih vrednosti napona uzduž niskonaponskog nadzemnog voda za različita opterećenja i različite uticaje distribuirane proizvodnje sa dijagramom maksimalnih i minimalnih faznih vrednosti napona na kraju niskonaponskog voda za sva četiri proračuna.

Ključne reči – Distribuirana proizvodnja, Nesimetrija, Niskonaponski vod, Prozjumer, Napon, Gubici

Abstract – In most of the low-voltage distribution network, there is a smaller or larger amplitude asymmetry of the load per phase. This causes amplitude-asymmetrical phase voltages and increased losses in phase and neutral conductor. Distributed production of producers/consumers (prosumers) who have distributed production and which is at low voltage, mainly of a photovoltaic nature, in certain periods have excess power, after covering their own needs, which they can give to the low-voltage distribution network. The transmitted power of distributed production to the low-voltage distribution network can be symmetric or asymmetric depending on how much power is used per phase at the consumer. The results of calculations of symmetrically and asymmetrically loaded low-voltage lines are given, in which power losses with or without the influence of the prosumer on power losses are seen, in one calculation per section in order to see the level of power losses, and in the remaining calculations, total power losses are given. For all four calculations, the power loss values are shown in the diagram in order to visually compare them. The diagrams show the changes in the phase voltage values along the low-voltage overhead line for different loads and different impacts of distributed generation with a diagram of maximum and minimum phase voltage values at the end of the low-voltage line for all four calculations.

Index Terms – Distributed generation, Asimmetry, Low voltage line, Prosumer, Voltage, Losses

Ka niskougljeničnom zdravstvenom sektoru: sveobuhvatni pregled

Towards a Low-Carbon Healthcare Sector: A Comprehensive Review

Dušan Gordić, Vladimir Vukašinović, Mladen Josijević, Nebojša Jurišević

Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu

Rezime - Zdravstveni sektor predstavlja jednu od najvećih i najkritičnijih infrastruktura savremenog društva, čiji je udeo od 4-5 % u globalnim emisijama gasova sa efektom staklene bašte. Proces dekarbonizacije ovog sektora postaje imperativ za postizanje nacionalnih i međunarodnih klimatskih ciljeva. U radu se analiziraju ključni izvori emisija unutar zdravstvenih ustanova, uključujući potrošnju energije u zgradama, medicinsku opremu, upravljanje otpadom, logistiku i lanac snabdevanja. Rad sistematizuje sedam ključnih strateških akcija, uključujući snabdevanje dekarbonizovanom energijom, održivu izgradnju, cirkularno zdravstvo i eliminaciju medicinskih praksi niske vrednosti, koje omogućavaju zdravstvenim ustanovama da unaprede održivost uz očuvanje kvaliteta zdravstvenih usluga.

Kroz pregled globalnih inicijativa poput "Race to Zero" i primera dobre prakse iz EU projekta DAPHNE, identifikovani su modeli za uspešnu tranziciju ka niskougljeničnom modelu. Zaključno, rad razmatra institucionalne, finansijske i organizacione prepreke, naglašavajući da sistemska dekarbonizacija mora da balansira klimatske ciljeve sa očuvanjem kvaliteta i dostupnosti zdravstvene zaštite. Rad pruža metodološki okvir i preporuke za donosiocima politika, menadžment zdravstvenih ustanova i stručnu javnost, sa ciljem ubrzanja tranzicije ka niskougljeničnom zdravstvenom sistemu.

Ključne reči - dekarbonizacija, emisije gasova staklene bašte, zdravstveni sektor

Abstract – The healthcare sector represents one of the largest and most critical infrastructures of modern society, accounting for approximately 4–5% of global greenhouse gas emissions. The decarbonisation of this sector has become imperative for achieving national and international climate targets. The paper analyses key sources of emissions within healthcare facilities, including energy use in buildings, medical equipment, waste management, logistics and the supply chain. The work systematises seven key strategic actions, including the supply of decarbonised energy, sustainable construction, circular health and the elimination of low-value medical practices, which enable health institutions to improve sustainability while preserving the quality of health services.

Through a review of global initiatives such as "Race to Zero" and examples of good practice from the EU project DAPHNE, models for a successful transition to a low-carbon model have been identified. In conclusion, the paper considers institutional, financial and organizational obstacles, emphasizing that systemic decarbonisation must balance climate goals with preserving the quality and availability of health care. The paper provides a methodological framework and recommendations for policymakers, management of healthcare institutions and the professional public to accelerate the transition to a low-carbon healthcare system.

Index Terms – Decarbonisation, Green house gas (GHG) emmissions, Health sector

Identifikacija mogućnosti za unapređenje energetske efikasnosti kroz analizu potrošnje vode tokom tuširanja u domaćinstvima: studija slučaja

Identification of opportunities for improving energy efficiency through the analysis of shower water consumption in households: a case study

Natalija Aleksić, Vanja Šušteršič, Dušan Gordić, Vladimir Vukašinović, Nebojša Jurišević, Strahinja Milenković

Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu

Rezime - Potrošnja sanitarne tople vode u domaćinstvima predstavlja značajan krajnji potrošač energije, posebno u domaćinstvima sa električnim bojlerom, pri čemu tuširanje često ima dominantan udeo u ukupnoj potrošnji tople vode. Iako su regulative i propisi u oblasti energetske efikasnosti tokom poslednjih nekoliko decenija uslovlili kontinuirano smanjenje potrošnje energije za grejanje prostora, hlađenje, osvetljenje i rad kućnih uređaja, potreba za energijom za pripremu sanitarne tople vode za domaćinstvo ostala je relativno konstantna, a njen udeo u ukupnom energetsom bilansu postaje sve izraženiji.

U okviru rada izvršena je analiza potrošnje vode tokom tuširanja u domaćinstvima, identifikovani su obrasci korišćenja i faktori koji utiču na potrošnju tople vode, i predložene su efikasne strategije za smanjenje potrošnje tople vode i energije za pripremu sanitarne tople vode.

Analiza potrošnje vode sprovedena je u dva domaćinstva sa različitom strukturom korisnika u gradu Kragujevac, Republika Srbija, tokom tuširanja, pri čemu se u oba slučaja sanitarna topla voda zagrevala upotrebom električnog bojlera. Prikupljanje podataka u realnom vremenu o potrošnji vode i energije sprovedeno je korišćenjem pametnog tuša, dok je temperatura vode u odvodu tuš kabine kontinuirano praćena primenom sopstveno razvijenog sistema za monitoring. Period vremenskog praćenja obuhvatio je jedan mesec. Dodatne informacije o karakteristikama domaćinstava i navikama korisnika vezano za potrošnju vode prikupljene su putem upitnika. Na osnovu prikupljenih podataka odabrani su indikatori za analizu, kao što su: dnevna potrošnja vode i energije po osobi tokom tuširanja, trajanje i učestalost tuširanja, temperatura vode prilikom tuširanja, protok vode, itd. Takođe, analizirane su razlike u obrascima ponašanja prilikom tuširanja između dva domaćinstva i identifikovani su faktori koji utiču na potrošnju tople vode. Najmanja potrošnja vode tokom tuširanja iznosila je 30,9 l/tuširanje, a najveća 119,20 l/tuširanje. Minimalna i maksimalna temperatura mešane vode tokom tuširanja iznosile su 33,91°C i 42,59°C, respektivno. Rezultati ukazuju da struktura domaćinstva i navike korisnika značajno utiču na potrošnju sanitarne tople vode i da relativno male promene obrazaca ponašanja, kao i primena efikasnih sistema i savremenih tehnologija mogu dovesti do značajnih ušteda vode, a samim tim i energije.

Ključne reči - sanitarna topla voda, potrošnja vode, tuširanje, energetska efikasnost, domaćinstvo

Abstract - Domestic hot water consumption represents a significant end-use of energy in households, especially in households with an electric water heater, in which showering often accounts for the majority share of total hot water consumption. Although energy efficiency policies and regulations have led to a continuous reduction in energy consumption for space heating, cooling, lighting and the operation of household appliances over the past few decades, the energy demand for domestic hot water has remained relatively constant. Consequently, its share in the overall household energy balance is becoming increasingly significant.

The study analyzed water consumption during showering in households, identified usage patterns and factors affecting hot water consumption, and proposed effective strategies for reducing both hot water consumption and the energy required for domestic hot water preparation.

The analysis was conducted in two households with different user structures in the city of Kragujevac, Republic of Serbia, focusing on showering activities. In both cases, domestic hot water was heated using electric water heaters. Real-time data on water and energy consumption was collected using a smart shower device, while the temperature of wastewater in the shower drain was continuously monitored using custom-developed monitoring system. The monitoring period covered one month. Additional information on household characteristics and user habits related to water consumption was collected through questionnaires. Based on the collected data, several indicators were selected for analysis, including daily water and energy consumption per person during showering, duration and frequency of showering, water temperature during showering, water flow, etc. Differences in showering behavior patterns between the two households were also analyzed, and factors influencing hot water consumption were identified. The minimum water consumption

during showering was 30.9 l/shower, while the maximum was 119.20 l/shower. The minimum and maximum mixed water temperature during showering were 33.91°C and 42.59°C, respectively.

The results indicate that household structure and user habits have a significant impact on domestic hot water consumption and that relatively small changes in consumption patterns, as well as the implementation of efficient systems and modern technologies, can lead to significant water savings and, consequently, energy savings.

Index Terms - domestic hot water, water consumption, showering, energy efficiency, household

Energetska i eksergetska analiza brodskog kotlovskog postrojenja na LNG pogon sa iskorišćavanjem otpadne toplote

Energy and Exergy Analysis of a Marine Boiler Plant Fueled by LNG with Waste Heat Recovery

Draško Kovač, Jakša Vujović, Sead Cvrk, Đorđe Nedeljkov
Univerzitet Crne Gore-Pomorski fakultet Kotor

Apstrakt: Savremeni trendovi dekarbonizacije u pomorskom sektoru nameću sve strože zahtjeve u pogledu energetske efikasnosti i smanjenja emisije štetnih gasova, pri čemu se tečni prirodni gas (LNG) sve češće primjenjuje kao prelazno gorivo na velikim preokooeanskim brodovima. Poseban značaj u tom kontekstu ima iskorišćavanje otpadne toplote izduvnih gasova glavnog pogonskog motora (waste heat recovery – WHR), koje se u brodskim parnim sistemima najčešće realizuje primjenom kotla na izduvne gasove (exhaust gas boiler – EGB).

U ovom radu sprovedena je detaljna energetska i eksergetska analiza kotlovskog postrojenja na ultra-velikom kontejnerskom brodu (ULCV) kapaciteta 24.000 TEU, koje se sastoji od pomoćnog kotla na LNG pogon i utilizacionog kotla na izduvne gasove. Analiza je zasnovana na realnim operativnim podacima prikupljenim tokom stabilnog režima rada broda i obuhvata primjenu Prvog i Drugog zakona termodinamike, u skladu sa klasičnom Kotas-Bejan metodologijom. Rezultati energetske analize pokazuju da pomoćni kotao ostvaruje visok energetska stepen korisnosti, dok primjena kotla na izduvne gasove omogućava značajan povratak otpadne toplote i smanjenje potrebe za dodatnim sagorijevanjem goriva. Eksergetska analiza ukazuje da se dominantna eksergetska destrukcija javlja u ložištu pomoćnog kotla, kao posledica ireverzibilnosti procesa sagorijevanja, dok utilizacioni kotao pokazuje visoku eksergetsku efikasnost, što potvrđuje njegovu ključnu ulogu u poboljšanju ukupnih performansi parnog sistema.

Posebna pažnja posvećena je uticaju sistema iCER na termodinamičke uslove izduvnih gasova i raspoloživu eksergiju za povratak u kotlu na izduvne gasove. Dobijeni rezultati potvrđuju da komponentna eksergetska analiza predstavlja efikasan alat za identifikaciju dominantnih izvora nepovratnosti i pruža pouzdanu osnovu za unapređenje energetske efikasnosti i održivosti brodskih energetskih sistema.

Ključne reči: brodski kotao, kotao na izduvne gasove (EGB), iskorišćavanje otpadne toplote (WHR), eksergetska analiza, LNG, energetska efikasnost

Abstract: Contemporary decarbonization trends in the maritime sector impose increasingly stringent requirements regarding energy efficiency and the reduction of harmful emissions. In this context, liquefied natural gas (LNG) has been widely adopted as a transitional fuel for large ocean-going vessels. A particularly important role is played by the utilization of waste heat from main engine exhaust gases (waste heat recovery – WHR), which in marine steam systems is most commonly implemented through an exhaust gas boiler (EGB).

This paper presents a detailed energy and exergy analysis of the boiler plant installed on an ultra-large container vessel (ULCV) with a capacity of 24,000 TEU, consisting of an LNG-fired auxiliary boiler and an exhaust gas boiler. The analysis is based on real operational data collected during a stable operating regime of the vessel and applies both the First and Second Laws of Thermodynamics, following the classical Kotas-Bejan methodology.

The results of the energy analysis indicate that the auxiliary boiler achieves a high thermal efficiency, while the application of the exhaust gas boiler enables a significant recovery of waste heat and a reduction in the demand for additional fuel combustion. The exergy analysis reveals that the dominant exergy destruction occurs in the auxiliary boiler furnace due to the irreversibility of the combustion process, whereas the exhaust gas boiler exhibits high exergy efficiency, confirming its key role in improving the overall performance of the steam system.

Special attention is given to the influence of the iCER system on the thermodynamic conditions of the exhaust gases and the available exergy for recovery in the exhaust gas boiler. The obtained results demonstrate that a component-based exergy analysis represents an effective tool for identifying dominant sources of irreversibility and provides a reliable basis for improving the energy efficiency and sustainability of marine energy systems.

Keywords: marine boiler, exhaust gas boiler (EGB), waste heat recovery (WHR), exergy analysis, LNG, energy efficiency

Optimizacija energetske efikasnosti turbopunjača VTR 714-32 na brodskom glavnom motoru

Optimisation of Energy Efficiency of the Turbocharger VTR 714-32 on a Ship's Main Engine

Jakša Vujović, Draško Kovač, Sead Cvrk, Đorđe Nedeljkov

Univerzitet Crne Gore-Pomorski fakultet Kotor

Apstrakt: Sektor pomorstva se suočava sa stalnim pritiskom da smanji potrošnju goriva i emisije štetnih gasova, u skladu sa važećim IMO regulativama. Turbopunjač predstavlja kritičnu komponentu pogonskog sistema koja direktno utiče na termodinamičku efikasnost glavnog pogonskog motora broda. Razumijevanje i optimizacija efikasnosti turbinskog dijela, koji koristi otpadnu energiju izduvnih gasova, od suštinskog su značaja za unapređenje ukupne operativne efikasnosti broda.

U ovom radu prikazana je analiza i optimizacija energetske efikasnosti dva turbopunjača tipa VTR 714-32, instalirana na glavnom motoru Sulzer 7RTA84 kontejnerskog broda „MSC Martina“. Glavni cilj istraživanja je identifikacija ključnih parametara koji dovode do pada efikasnosti turbopunjača, na osnovu realnih operativnih podataka, kao i definisanje mjera za smanjenje specifične potrošnje goriva (LSFO).

Analiza je sprovedena korišćenjem podataka prikupljenih tokom redovne plovidbe broda, uključujući temperature i pritiske izduvnih gasova, broj obrtaja turbine i različite režime opterećenja glavnog motora. Izvršeno je poređenje stvarnih radnih performansi sa projektovanim vrijednostima, sa posebnim osvrtom na uticaj zaprljanosti turbinskog dijela i promjenljivih radnih uslova na efikasnost turbopunjača.

Rezultati istraživanja ukazuju na jasnu korelaciju između stanja turbopunjača i potrošnje goriva glavnog motora. Na osnovu dobijenih rezultata definisane su konkretne preporuke za optimizaciju intervala čišćenja turbinskog dijela i prilagođavanje režima rada motora. Primjena predloženih mjera dovela je do mjerljivih ušteda u potrošnji goriva i poboljšanja ekološkog otiska broda „MSC Martina“.

Ključne reči: energetska efikasnost, turbopunjač, VTR 714-32, Sulzer 7RTA84, pomorstvo, optimizacija

Abstract: The maritime sector is facing continuous pressure to reduce fuel consumption and harmful exhaust gas emissions in compliance with current IMO regulations. The turbocharger represents a critical component of the propulsion system, as it directly influences the thermodynamic efficiency of the ship's main propulsion engine. A thorough understanding and optimisation of the turbine section efficiency, which utilises waste energy from exhaust gases, are therefore essential for improving the overall operational efficiency of a vessel.

This paper presents an analysis and optimisation of the energy efficiency of two VTR 714-32 turbochargers installed on the Sulzer 7RTA84 main engine of the container ship MSC Martina. The primary objective of the study is to identify key parameters leading to a reduction in turbocharger efficiency based on real operational data, and to define effective measures for reducing specific fuel oil consumption (LSFO).

The analysis is based on data collected during regular vessel operation, including exhaust gas temperatures and pressures, turbine rotational speed, and various main engine load conditions. A comparison between actual operating performance and design values was performed, with particular emphasis on the effects of turbine fouling and variable operating conditions on turbocharger efficiency.

The results of the study indicate a clear correlation between the condition of the turbocharger and the main engine fuel consumption. Based on the obtained results, concrete recommendations were formulated for optimising turbine cleaning intervals and adjusting engine operating regimes. The implementation of the proposed measures resulted in measurable fuel savings and an improved environmental footprint of the container ship MSC Martina.

Keywords: energy efficiency, turbocharger, VTR 714-32, Sulzer 7RTA84, maritime sector, optimisation

Uticaj snižavanja gornje granice više tarife električne energije na sisteme grejanja u domaćinstvima

The impact of reducing the upper electricity tariff threshold on residential heating systems

Mladen Josijević*, Vladimir Vukašinović*, Dušan Gordić*, Vanja Šušteršić*, Filip Nastić*

* Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu

Rezime - Cilj rada je analiza uticaja promene tarifnog sistema naplate električne energije, tj. smanjenja granice prelaska u višu tarifu (takozvanu crvenu zonu), na domaćinstva koja koriste električnu energiju za zagrevanje time što poredi energetske potrebe i troškove eksploatacije u jednom domaćinstvu u dva slučaja: korišćenje električnog kotla i toplotne pumpe vazduh-voda. Analiza se fokusira na celokupne troškove grejanja, ali dodatno predstavlja i ekonomske pokazatelje koji ste tiču isplativosti ova dva različita sistema grejanja u novonastalnim okolnostima. Naime, poseban akcenat rad stavlja na posledica promene tarifnog sistema na povraćaj investicije potrebne za ugradnju toplotne pumpe kao zamene za električni kotao. Poređenje dva sistema koje je ovde sprovedeno ukazuje na razlike u konkurentnosti i osetljivosti dva sistema na promene, a na osnovu strukture potrošnje prema tarifnim razredima. Najzad, rad analizira mogućnost upotrebe solarnih fotonaponskih panela u cilju smanjenja potrošnje u višem tarifnom razredu (tzv. crvenoj zoni) u cilju smanjenja negativnih efekata povećanih troškova za električnu energiju u domaćinstvima sa višom potrošnjom.

Ključne reči - Tarifni sistem, Električna energija, Toplotna pumpa, Sistemi grejanja

Abstract - This paper aims to analyze how the change in the electricity tariff system, i.e., the decreased limit for getting into a higher tariff (the so-called red zone), impacts households that use electricity for heating by comparing energy demands and exploitation costs in one household with two scenarios: using an electrical boiler and an air-source heat pump. The analysis focuses on total heating costs, but it shall also present the economic indicators concerning the profitability of two different heating systems under these novel circumstances. Namely, the special emphasis is placed on the impact that the changed tariff system has on the payback period of an investment into a heat pump utilized as a replacement for an electric boiler. The comparison of two heating systems conducted here suggests the differences in their competitiveness and sensitivity to changes based on the consumption structure in the tariff grades. Finally, the paper discusses the possibility of using solar photovoltaic panels to reduce electricity consumption in the higher tariff grade (the so-called red zone), thereby mitigating the negative effects of increased electricity costs on households with higher energy demands.

Index Terms - tariff system, Electricity, Heat pump, Heating system

Numerički prikaz oslobađanja energije tokom detonacije eksploziva u kumulativnom projektilu

Numerical representation of energy release during explosive detonation in a cumulative projectile

Andjela Ivković^{1,2}, Mladen Josijević², Saša Savić¹, Jelena Marinković¹, Danica Bajić^{1,3}

¹ Vojnotehnički institut, Beograd

² Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu

³ Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Beograd

Rezime - Rad proučava proces oslobađanja i raspodele energije tokom detonacije izabranog eksploziva unutar modela kumulativnog projektila primenom numeričke simulacije. Numeričkim modeliranjem prikazani su ključni fenomeni koji se odvijaju tokom detonacije, sa naglaskom na transformaciju hemijske energije eksploziva. Rezultati simulacije pokazuju da se ukupna energija eksploziva raspoređuje na energiju kumulativnog mlaza, energiju deformacije košuljice i energiju udarnog pritiska. Utvrđeno je da energija udarnog pritiska zavisi od količine i vrste eksploziva, debljine košuljice, kao i ugla konusa kumulativne obloge. Analizirani projektil inicijalnu energiju preusmerava u hemijsku energiju eksploziva glavnog punjenja, fokusirajući je na određenu tačku ili liniju radi ostvarivanja penetracije ili proboja mete. Dobijeni rezultati doprinose boljem razumevanju energetskog bilansa kumulativnog dejstva i kao takvi mogu poslužiti za dalja numerička i eksperimentalna istraživanja.

Ključne reči - Kumulativni projektil, Kumulativna obloga, Oslobođena energija, Numerički program, Numerička simulacija

Abstract - The paper investigates the process of energy release and distribution during the detonation of a selected explosive within a shaped-charge projectile model using numerical simulation. Numerical modeling is used to illustrate the key phenomena occurring during detonation, with particular emphasis on the transformation of the explosive's chemical energy. The simulation results show that the total energy of the explosive is distributed into the energy of the shaped-charge jet, the energy of casing deformation, and the energy of shock pressure. It has been determined that the shock pressure energy depends on the amount and type of explosive, the thickness of the casing, as well as the cone angle of the shaped-charge liner. The analyzed projectile redirects the initial energy into the chemical energy of the main explosive charge, focusing it onto a specific point or line in order to achieve target penetration or perforation. The obtained results contribute to a better understanding of the energy balance of the shaped-charge effect and can serve as a basis for further numerical and experimental research.

Key words- Shaped charge projectile, Shaped liner, released energy, Numerical program, Numerical simulation

Ispitivanje uticaja biodizela od palminog ulja (PME) na pogonske karakteristike brodskog dvotaktnog dizel motora

Investigation of the impact of palm Oil biodiesel (PME) on the performance characteristics of a marine two-stroke diesel engine

Sead Cvrk, Draško Kovač, Jakša Vujović, Đorđe Nedeljkov

Univerzitet Crne Gore, Pomorski fakultet Kotor

Rezime - Sektor pomorskog saobraćaja postao je ključna komponenta svjetske privrede, pri čemu je smanjenje zagađenja okoline koje prouzrokuje upotreba teške nafte u brodskim motorima imperativ. Ovaj rad istražuje uticaj biodizela dobijenog od otpadnog palminog ulja (PME) na pogonske karakteristike i emisije dvotaktnog dizel motora, nadovezujući se na ranija istraživanja sprovedena korišćenjem biodizela od otpadnog suncokretovog ulja. U cilju smanjenja negativnih uticaja i pronalaženja ekološki prihvatljivijih rešenja, istražene su alternative u vidu kvalitetnih dizel goriva i njihovih mješavina sa biodizelom.

Primijenjena je eksperimentalna metoda za analizu performansi dvotaktnog dizel motora, najčešće korišćenog pogona u trgovačkom pomorskom saobraćaju. Korišćeni su čisti euro dizel i različite smjese euro dizela sa PME-om u različitim odnosima (npr. 7%, 20%, 25%). Praćene su izduvne emisije, uključujući CO, CO₂, NO_x, SO₂ i O₂, tokom četiri različita režima rada motora, kao i specifična potrošnja goriva. Eksperiment je sproveden na školskom brodu Jadran, koji je u sastavu Mornarice Vojske Crne Gore, dok je brod bio privezan u luci baziranja, koristeći karakteristiku teškog propelera.

Rezultati ovog istraživanja pružaju uvid u efikasnost i ekološki aspekt upotrebe PME-a, te definišu optimalan sastav smjese za poboljšane performanse i smanjenje zagađenja u realnim uslovima pomorskog saobraćaja, u skladu sa opštim ciljevima smanjenja zagađenja definisanim u MARPOL Aneksu VI (p. 2).

Ključne reči – brodski dizel motor, dizel goriva, biodizel od palminog ulja (PME), potrošnja goriva, izduvne emisije, karakteristike teškog propelera

Abstract - The maritime transport sector has become a vital component of the global economy, making the reduction of environmental pollution caused by the use of heavy fuel oil in marine engines an imperative. This paper investigates the impact of biodiesel derived from waste palm oil (Palm Methyl Ester - PME) on the performance and emissions of a two-stroke diesel engine, building upon previous research conducted using waste sunflower oil biodiesel. To mitigate negative environmental impacts and identify more eco-friendly solutions, alternatives in the form of high-quality diesel fuels and their blends with biodiesel were explored.

An experimental method was applied to analyze the performance of a two-stroke diesel engine, the most commonly used propulsion system in commercial shipping. Pure Euro Diesel and various blends of Euro Diesel with PME in different ratios (e.g., 7%, 20%, 25%) were utilized. Exhaust emissions, including CO, CO₂, NO_x, SO₂, and O₂, were monitored across four different engine operating modes, alongside specific fuel consumption. The experiment was conducted on the training ship Jadran, part of the Navy of the Armed Forces of Montenegro, while the vessel was moored at its home port, utilizing the heavy propeller characteristic.

The results of this study provide insights into the efficiency and environmental aspects of PME usage and define the optimal blend composition for enhanced performance and pollution reduction in real-world maritime conditions, aligning with the global emission reduction targets defined in MARPOL Annex VI.

Index Terms - marine diesel engine, diesel fuels, palm oil methyl ester (PME), fuel consumption, exhaust emissions, heavy propeller characteristic.

Upotreba mašinskog učenja i naprednih algoritama u planiranju rada prenosnog sistema

Utilization of machine learning and advanced algorithms in transmission system operation planning

Srdan Mladenović, Marija Đorđević, Marija Miljuš, Petar Petrović, Miroslav Vilček, Ana Bukara

Apstrakt: Primena mašinskog učenja u elektroenergetici postaje ključni element modernizacije, digitalizacije i optimizacije rada elektroenergetskih sistema. Jedna od ključnih oblasti jeste prognoza potrošnje električne energije, koja predstavlja osnovu za planiranje proizvodnje, raspodelu opterećenja, upravljanje rezervama i održavanje stabilnosti mreže. Savremeni algoritmi, poput neuralnih mreža, omogućavaju analizu velikih skupova istorijskih podataka. Zahvaljujući tome, ovi modeli postižu znatno veću tačnost u odnosu na klasične statističke pristupe.

Precizna prognoza potrošnje donosi brojne prednosti: smanjenje troškova balansiranja, efikasnije korišćenje proizvodnih kapaciteta, bolju integraciju obnovljivih izvora energije i unapređenje rada prenosne i distributivne mreže. Takođe, tačna predikcija potrošnje doprinosi razvoju konkurentnog tržišta električne energije, jer omogućava pouzdanije planiranje nabavke, optimalno zakazivanje kapaciteta i smanjenje rizika od odstupanja.

U praktičnom delu rada razvijen je MATLAB kod za prognozu potrošnje koji koristi veštačke neuralne mreže. Na osnovu istorijskih podataka o satnoj potrošnji, temperaturi i kalendarskim varijablama (dan u nedelji, vikend/praznik i sl.), formirana je baza podataka za treniranje mreže. Izlaz je prognoza opterećenja na satnom nivou, pri čemu se generišu dva seta rezultata: replan za ostatak dana (ažurirana prognoza za danas) i plan za naredni dan (day-ahead prognoza).

Takođe, integracija mašinskog učenja u SCADA platforme predstavlja važan korak ka razvoju pametnih mreža (smart grids), koje karakterišu visoka automatizacija, decentralizovana proizvodnja i napredno upravljanje fleksibilnošću. Očekuje se da će dalji razvoj digitalnih brojala i napredne analitike dodatno proširiti mogućnosti mašinskog učenja u elektroenergetici.

Ključne reči: Masinsko učenje, prognoza potrosnje, MATLAB, EMS, neuralne mreze

Abstract: The utilization of machine learning in power system engineering is becoming a key element in the modernization, digitalization, and optimization of the electric power system. One important area is load forecasting, which serves as the foundation for production planning, load allocation, reserve management, and maintaining system stability. Modern algorithms, such as neural networks, enable the analysis of large sets of historical data and achieve significantly higher accuracy compared to traditional statistical methods.

Accurate load forecasting brings numerous advantages: reduced balancing costs, more efficient use of generation capacities, improved integration of renewable energy sources, and enhanced operation of transmission and distribution networks. Moreover, reliable demand predictions support the development of a competitive electricity market by enabling more accurate procurement planning, optimal capacity scheduling, and reduced deviation risks.

In the practical part of the work, MATLAB code was developed for load forecasting using artificial neural networks. Based on historical data on hourly consumption, temperature, and calendar variables (day of the week, weekend/holiday, etc.), a dataset for training the network was created. The output is an hourly load forecast, generating two sets of results: a plan for the remainder of the day (an updated forecast for the current day) and a plan for the next day (day-ahead forecast).

Additionally, integrating machine learning into SCADA platforms represents an important step toward the development of smart grids, characterized by high automation, decentralized generation, and advanced flexibility management. The continued advancement of digital meters and advanced analytics is expected to further expand the potential of machine learning in power system engineering.

Keywords: machine learning, load forecast, MATLAB, networks, modernization

Značaj transformacije napona u TS Obrenovac na pouzdanost 110 kV mreže u regionu Beograda pri ispadima dalekovoda u 400 kV i 220 kV mreži i prediktivne dispečerske akcije

The importance of voltage transformation at the SS Obrenovac for the reliability of the 110 kV network in the Belgrade region during outages of transmission lines in the 400 kV and 220 kV networks and predictive dispatching actions

Miloš Đorđević*, Vladimir Bečejac*⁺, Milan Trifunović*, Stefan Petković*, Jovica Vidaković*

* Elektromreža Srbije AD

⁺ Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet

Rezime - Upravljanje elektroenergetskim sistemom u beogradskom regionu zahteva pažljivo praćenje i optimizaciju naponskih prilika, naročito u situacijama kada dolazi do ispada dalekovoda u 400 kV i 220 kV mreži. Ovaj rad istražuje značaj transformacije napona u TS Obrenovac 400/220/110 kV/kV/kV, koja predstavlja jedan od ključnih čvorišta u elektroenergetskom sistemu Srbije i Beograda. Kroz analizu rada transformatora 220/110 kV/kV u TS Obrenovac, istražuje se njegov doprinos povećanju stabilnosti 110 kV mreže, posebno u uslovima povećane potrošnje električne energije.

Koristeći aplikaciju STNET GE SCADA, simulirane su različite studije slučaja kako bi se analizirali efekti ispada elemenata prenosne mreže viših naponskih nivoa na tokove aktivne i reaktivne energije, kao i uticaj na naponske prilike u distributivnim trafostanicama. Takođe, posmatran je doprinos proizvodnje električne energije u TE Kolubara u optimizaciji tokova snaga i smanjenju opterećenja sistemskih dalekovoda. Rad posebno razmatra konkretne dispečerske akcije, kao što su promene topologije mreže i preusmeravanje tokova energije, koje mogu očuvati stabilnost sistema u slučaju ispada dalekovoda. Rezultati ukazuju na važnost blagovremenog donošenja operativnih odluka, kako bi se minimizovali negativni efekti na pouzdanost snabdevanja električnom energijom u beogradskom regionu.

Ključne reči - upravljanje elektroenergetskim sistemom, stabilnost mreže, STNET GE SCADA, optimizacija tokova snaga, dispečerske akcije.

Abstract- The management of the power system in the Belgrade region requires careful monitoring and optimization of voltage conditions, particularly during outages of 400 kV and 220 kV transmission lines. This paper explores the significance of voltage transformation in the SS Obrenovac 400/220/110 kV/kV/kV, which is one of the key nodes in the power system of Serbia and Belgrade. Through the analysis of the 220/110 kV/kV transformer in SS Obrenovac, its contribution to enhancing the stability of the 110 kV network, especially during periods of increased electricity demand, is explored.

Using the STNET GE SCADA application, various study cases were simulated to analyze the effects of the outage of higher voltage level transmission network elements on active and reactive power flows, as well as the impact on voltage conditions in distribution substations. Additionally, the contribution of electricity production at the TPP Kolubara in optimizing power flows and reducing the load on transmission lines was considered. The paper specifically addresses dispatcher actions, such as network topology changes and power flow rerouting, that can help maintain system stability during transmission line outages. The results emphasize the importance of timely operational decisions to minimize the negative effects on the reliability of electricity supply in the Belgrade region.

IndexTerms- power system management, network stability, STNET GE SCADA, optimizing power flows, dispatcher actions

Digitalizacija procesa nabavke električne energije za nadoknadu gubitaka u prenosnom sistemu

Digitalization of the Electricity Procurement Process for Loss Compensation in the Transmission System

RUŽICA AŠANIN*, VLADIMIR BEČEJAC*¹, ALEKSANDAR VASKOVIĆ

*Akcionarsko društvo EMS AD Beograd
1 Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet

Rezime

Operator prenosnog sistema ima obavezu da obezbedi električnu energiju za nadoknadu tehničkih gubitaka u prenosnoj mreži u skladu sa transparentnim, nediskriminativnim i tržišnim principima. U uslovima povećane volatilnosti cena na organizovanom tržištu električne energije, javlja se potreba za unapređenjem procesa nabavke kroz digitalizaciju i primenu fleksibilnijih tržišnih modela. U radu se razmatra razvoj i primena aukcijske platforme za bilateralnu trgovinu električnom energijom, zasnovane na odgovornoj upotrebi podataka, kao alata za optimizaciju nabavke energije za nadoknadu gubitaka. Analiza se zasniva na uporednom prikazu estimiranih troškova nabavke električne energije primenom dva modela: kupovine isključivo na organizovanom dan-unapred tržištu i kombinovanog modela koji uključuje bilateralnu trgovinu putem digitalne platforme uz delimičnu kupovinu na organizovanom tržištu. Studije slučaja za mesec maj i novembar 2024. godine pokazuju da primena kombinovanog modela omogućava smanjenje ukupnih troškova nabavke u rasponu od 15% do 20%, uz veću predvidivost troškova i smanjenu izloženost tržišnoj volatilnosti. Zaključuje se da digitalizacija procesa nabavke kroz razvoj aukcijske platforme predstavlja strateški korak ka efikasnijem, stabilnijem i ekonomski opravdanom upravljanju gubicima u prenosnom sistemu.

Ključne reči: nabavka električne energije, gubici u prenosnom sistemu, aukcijska platforma, digitalizacija

Abstract

The transmission system operator is obliged to procure electrical energy to cover technical losses in the transmission network in accordance with transparent, non-discriminatory, and market-based principles. In conditions of increased price volatility on the organized electricity market, there is a growing need to improve procurement processes through digitalization and the application of more flexible market models. This paper examines the development and application of an auction-based platform for bilateral electricity trading, founded on the responsible use of data, as a tool for optimizing the procurement of energy for covering transmission system losses. The analysis is based on a comparative assessment of estimated procurement costs using two models: procurement exclusively on the organized day-ahead market and a combined model that integrates bilateral trading via a digital platform with purchases on the organized market. Case studies for May and November 2024 demonstrate that the combined model enables a reduction in total procurement costs ranging from 15% to 20%, while simultaneously increasing cost predictability and reducing exposure to market volatility. The results indicate that the digitalization of procurement processes through the implementation of an auction platform represents a strategic step toward more efficient, stable, and economically justified management of losses in the transmission system.

Index Terms: electricity procurement, transmission system losses, auction platform, digitalization

PRIMENA NEURALNIH MREŽA ZA PREDIKCIJU STANJA ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

APPLICATION OF NEURAL NETWORKS FOR SHORT-TERM STATE PREDICTION IN POWER SYSTEMS

Jelena Misita, Marija Milovanović, Željana Ristić, Đorđe Čakarević

Elektromreža Srbije A.D., Kneza Miloša 11, Beograd

Rezime - Poslednjih godina beleži se rastući trend istraživanja potencijala veštačke inteligencije u energetici, posebno mašinskog učenja u cilju prognoziranja potrošnje, analize, detekcije anomalija i kratkoročnog predviđanja veličina u elektroenergetskim sistemima, čime se teži unapređenju pouzdanosti i efikasnijem operativnom upravljanju i planiranju EES-a. Pregledom literature uočava se da se najveći broj istraživačkih radova odnosi na analizu pojedinačnih elemenata EES-a, postrojenja ili retko na analizu prenosne i distributivne mreže bez eksplicitnog uvažavanja njene topologije. Relativno je mali broj radova koji razmatraju kombinovanje više tipova neuralnih mreža za prostorno-vremensku analizu i obradu podataka, posebno u pogledu kratkoročnog predviđanja elektroenergetskih veličina. Ovo razmatranje ukazuje na potrebu za daljim proučavanjem i razvojem modela koji integrišu topologiju mreže i vremensku dinamiku sistema, što je i osnovni fokus ovog rada. U ovom radu razvijena je metodologija za analizu i prediktivnu analitiku stanja elektroenergetske mreže u bliskoj budućnosti, čiji je krajnji cilj predikcija kompleksnih napona svakog čvora u bliskoj budućnosti. Predloženi pristup kombinuje dve neuralne mreže u cilju dobijanja prostorno-vremenske arhitekture. Graf-neuralna mreža koristi se za opis prostornih karakteristika i međuveza u elektroenergetskom sistemu, dok rekurentna neuralna mreža modeluje vremenske zavisnosti. Kombinacijom ove dve tehnologije, obezbeđuje se agregacija čvornih (trafostanice) i linijskih (vodovi) karakteristika, formirajući reprezentacije čvorova koje odražavaju lokalnu dinamiku i dinamiku susednih čvorova. Obradivanjem sekvenci vremenskih instanci grafova, modeluje se međusobni uticaj elektroenergetskih veličina radi dobijanja predikcija amplituda napona i faznih uglova po čvorovima. Preliminarni rezultati pokazuju da razmatrani model ostvaruje manje greške predviđanja u odnosu na strukturu neuralne mreže bez prostornog modelovanja, što ukazuje na njegov potencijal za dalje istraživanje u cilju primene u alatima za podršku odlučivanju u upravljanju i planiranju rada elektroenergetskih sistema.

Ključne reči - veštačka inteligencija (AI), predikcija stanja, elektroenergetski sistem, mašinsko učenje (ML), neuralne mreže, graf-neuralna mreža

Detekcija False Data Injection napada u pametnim mrežama primenom mašinskog učenja na Big Data setovima

Detection of False Data Injection Attacks in Smart Grids Using Machine Learning on Big Data Datasets

Vladimir Bečejac*, Dobrila Škatarić*, Petar Lukić*

* Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, Beograd

Rezime - Digitalizacija elektroenergetskog sistema omogućava efikasnije upravljanje, ali otvara prostor za sofisticirane sajber napade, poput ubacivanja lažnih podataka. Tradicionalne metode detekcije loših podataka često nisu u stanju da prepoznaju napade koji su dobro programirani i ostaju unutar granica greške estimacije stanja. Ovaj rad daje pristup detekciji lažnih napada primenom algoritama mašinskog učenja u MATLAB okruženju. Koristeći velike setove podataka razvijen je model koji identifikuje anomalije u korelacijama mrežnih parametara u realnom vremenu. Rezultati simulacija na IEEE test sistemima pokazuju visoku preciznost modela u razlikovanju normalnih promena podataka od zlonamernih manipulacija podacima, čime se direktno unapređuje pouzdanost i odgovorna upotreba digitalne infrastrukture EES.

Ključne reči - FDIA, mašinsko učenje, estimacija stanja, big data

Abstract - Digitalization of the electric power system enables more efficient management, but also creates space for sophisticated cyber-attacks, such as false data injection. Traditional bad data detection methods are often unable to recognize attacks that are well-programmed and remain within the error bounds of state estimation. This paper provides an approach to detecting false attacks by applying machine learning algorithms within the MATLAB environment. Using large datasets, a model has been developed that identifies anomalies in the correlations of network parameters in real-time. Simulation results on IEEE test systems demonstrate the model's high precision in distinguishing normal data changes from malicious data manipulations, thereby directly improving the reliability and responsible use of EPS digital infrastructure.

Index Terms - FDIA, machine learning, state estimation, big data

Upravljanje poverljivim podacima u operativnom planiranju rada elektroenergetskog sistema Evrope

Management of confidential data in the operational planning of the European power system

*Andrej Tasić, **Vladimir Bečejac

*SCC Srbija, **Univerzitet u Beogradu

Apstrakt: Ovaj rad se bavi problematikom upravljanja poverljivim podacima koji se koriste u svakodnevnom operativnom radu i u važećim procedurama i procesima operatora prenosnih sistema (TSO) i regionalnih koordinatora sigurnosti (RSC)/regionalnih koordinacionih centara (RCC) u Evropi. U praksi neretko dolazi do različitih tumačenja šta je poverljivo i u kojoj meri i na koji način se određeni podaci mogu prikazati i deliti. Tržište električne energije u Evropi podrazumeva pojam transparentnosti, dok su sa druge strane podaci o elementima mreže i stanjima sistema u vidu mrežnih modela klasifikovani kao poverljivi i kao takvi podležu restriktivnom pristupu i oprezu prilikom njihovog korišćenja. U digitalnom svetu današnjice kada svaki od podataka može biti zloupotrebljen, neophodno je obezbediti sistemsko rešenje i stroga pravila za svakoga ko ima pristup poverljivim podacima. Ovaj rad daje sistematizaciju pravila upravljanja poverljivim podacima u procesima operativnog planiranja rada elektroenergetskog sistema Evrope sa odgovarajućim primerima. Cilj je da sa ovim radom budu pokriveni najznačajniji slučajevi upravljanja poverljivim podacima i da rad kao takav posluži kao odgovarajući operativni priručnik.

Ključne reči: Operativno planiranje, TSO, RCC, RSC, Evropa, Upravljanje poverljivim podacima

Abstract: This paper deals with the management of confidential data used in daily operational work and in official procedures and processes of transmission system operators (TSOs) and regional security coordinators (RSCs)/regional coordination centers (RCCs) in Europe. In practice, there are often different interpretations of what is confidential and to what extent and in what way certain data can be displayed and shared. The electricity market in Europe implies the transparency concept, while on the other hand, data on network elements and system states in the form of network models are classified as confidential and as such are subject to a restrictive approach and caution when using them. In today's digital world where any data can be misused, it is necessary to provide a systemic solution and strict rules for anyone who has access to confidential data. This paper provides a systematization of confidential data management rules in the processes of operational planning of the European power system with appropriate examples. The aim is to cover the most important cases of confidential data management with this paper and for the paper as such to serve as a suitable operational handbook.

Keywords: Operational planning, TSO, RCC, RSC, Europe, Confidential data management

Maliciozni napadi na estimator stanja u distributivnim mrežama: Analiza izvodljivosti napada u uslovima male redundanse merenja

Malicious attacks on the state estimator in distribution networks: Analysis of attack feasibility under conditions of low measurement redundancy

Stefan Čubonović*, Dragan Ćetenović*, Nikola Vojnović**, Aleksandar Ranković*

* Fakultet tehničkih nauka u Čačku, Univerziteta u Kragujevcu

** Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu

Rezime - U poslednjoj deceniji je intenzivirana upotreba informaciono-komunikacionih tehnologija u distributivnim mrežama. Takve tehnologije su izložene rizicima od malicioznih sajber napada, što predstavlja pretnju po rad distributivnih mreža. Jedna od mogućih meta takvih napada u distributivnim mrežama je i estimator stanja. Klasični algoritmi za detekciju loših podataka, među kojima se najčešće sreću statističke metode kao što su χ^2 test ili test najvećeg normalizovanog reziduala, ne mogu da detektuju maliciozne napade injektiranjem lažnih podataka (False Data Injection Attacks - FDIAs) ukoliko su ovi vešto prikriveni. Međutim, zbog male redundanse merenja karakteristične za distributivne mreže, napadači su u problemu da prikriju napad, pa ga u tom slučaju čak i klasični algoritmi za detekciju loših podataka mogu prepoznati. To omogućuje detekciju FDIAs bez dodatnih finansijskih ulaganja koja bi iziskivala implementacija sofisticiranih rešenja. Ovaj rad se bavi analizom izvodljivosti FDIAs u distributivnim mrežama, nastojeći da dovede u vezu izvodljivost napada i redundansu merenja. Rezultati analize se mogu upotrebiti da ukažu operatoru distributivnog sistema da li postoji potreba za sofisticiranim tehnikama za detekciju FDIAs ili ne, a zavisno od merne infrastrukture mreže kojom operator upravlja.

Ključne reči - BDD, FDIA, pseudo merenja, WLS

Abstract - In the last decade, the use of information and communication technologies in distribution networks has intensified. Such technologies are exposed to the risk of malicious cyber attacks, which poses a threat to the operation of distribution networks. One of the potential targets of such attacks in distribution networks is the state estimator. Classical bad data detection algorithms, most commonly statistical methods such as the χ^2 test and the Largest Normalized Residual test, are unable to detect malicious false data injection attacks (FDIAs) if these attacks are skillfully concealed. However, due to the low measurement redundancy characteristic of distribution networks, attackers face difficulties in concealing the attack, in which case even classical bad data detection algorithms may be able to identify it. This enables the detection of FDIAs without additional financial investments that would be required for the implementation of sophisticated detection solutions. This paper analyzes the feasibility of FDIAs in distribution networks, aiming to relate attack feasibility to measurement redundancy. The results of the analysis can be used to inform distribution system operators whether there is a need for sophisticated FDIA detection techniques, depending on the measurement infrastructure of the network under their control.

Index Terms - BDD, FDIA, pseudo measurements, WLS

Analiza mogućnosti korišćenja napuštenih naftnih i gasnih bušotina kao izvor toplotne energije u Srbiji

Analysis of the Potential Use of Abandoned Oil and Gas Wells as a Source of Thermal Energy in Serbia

Marija Ilić*, Dušan Danilović*, Miroslav Crnogorac*, Anastasija Mirjanić*, Vesna Karović-Maričić*, Lola Tomić*

* Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7

Rezime - Naftne i gasne bušotine kod kojih dalja proizvodnja ugljovodonika nije ekonomski opravdana zatvaraju se, odnosno konzerviraju ili likvidiraju, čime se kategorizuju kao napuštene bušotine. S obzirom da njihove dubine dosežu od 1000 m do više od 2000 m, takve bušotine dopiru do toplijih Zemljinih slojeva, i predstavljaju značajan neiskorišćen geotermalni potencijal. Na području Srbije nalazi se preko 1000 napuštenih naftnih i gasnih bušotina, koje imaju značajan potencijal za proizvodnju toplotne energije. Pored Srbije, slične studije širom sveta pokazuju da napuštene bušotine mogu pružiti značajnu podršku lokalnim i regionalnim sistemima grejanja, što ih čini relevantnim za strategije tranzicije ka obnovljivim izvorima energije. Troškovi opremanja postojećih dubokih bušotina i primene odgovarajućih tehnologija za proizvodnju toplotne energije predstavljaju samo manji deo ulaganja u poređenju sa izradom novih bušotina, zbog čega se napuštene bušotine mogu smatrati već postojećim i značajnim materijalnim resursom. Toplotna energija proizvedena iz napuštenih bušotina dobija se korišćenjem geotermalne energije, pa se samim tim klasifikuje kao energija iz obnovljivih i zelenih izvora. Proizvodnja toplotne energije iz napuštenih bušotina zasniva se na utiskivanju radnog medijuma u bušotinu, njegovom zagrevanju i istiskivanju na površinu. Ovaj proces je energetski efikasan, jer se u istoj bušotini ostvaruje zatvoren sistem cirkulacije radnog medijuma, pri čemu zagrejani fluid dospeva na površinu kroz tubing, dok se iskorišćeni, ohlađeni fluid vraća u bušotinu kroz međuprostor. U radu se prikazuju mogućnosti korišćenja napuštenih bušotina za proizvodnju toplotne energije.

Ključne reči - napuštene naftne i gasne bušotine, toplotna energija, geotermalna energija

Abstract – Oil and gas wells for which further hydrocarbon production is no longer economically viable are categorized as abandoned wells. Given that their depths range from about 1000 m to over 2000 m, such wells reach warmer layers of the Earth and represent a significant unused geothermal potential. In Serbia, there are approximately over 1000 abandoned oil and gas wells that hold substantial potential for thermal energy production. In addition to Serbia, similar studies worldwide show that abandoned wells can provide considerable support to local and regional heating systems, making them relevant for strategies aimed at transitioning toward renewable energy sources.

The costs of equipping existing deep wells and applying appropriate technologies for thermal energy production represent only a small portion of the investment compared to drilling new wells. Therefore, abandoned wells can be considered an already existing and valuable material resource.

Thermal energy produced from abandoned wells is obtained by utilizing geothermal energy and is therefore classified as energy from renewable and green sources.

Thermal energy production from abandoned wells is based on injecting a working fluid into the well, heating it, and extracting it back to the surface. This process is energy efficient, as a closed-loop circulation of the working fluid is established within the same well, with the heated working fluid flowing to the surface through the tubing, while the cooled fluid is returned into the well through the annulus. This paper presents potential examples of the use of abandoned wells for thermal energy production.

Index Terms - abandoned oil and gas wells, thermal energy, geothermal energy

Optimizacija rada mehaničkih metoda eksploatacije nafte i gasa sa aspekta energetske efikasnosti

Energy-efficient optimization of artificial lift methods in oil and gas production

Anastasija Mirjanić*, Miroslav Crnogorac*, Dušan Danilović*, Vesna Karović-Maričić*, Marija Ilić*, Lola Tomić*

*Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Dušina 7

Rezime - Energetska efikasnost proizvodnih sistema nafte i gasa može se značajno unaprediti optimizacijom rada mehaničkih metoda eksploatacije, što ima poseban značaj kod ležišta u kasnoj fazi eksploatacije, tipičnih za naftno-gasna polja u Srbiji. U radu se prezentuje kvantitativna analiza energetske efikasnosti primene mehaničkih metoda eksploatacije na bušotini X-023 malog, niskoproduktivnog ležišta X koje je duži period u proizvodnji. Mehaničke metode eksploatacije čija se primena kvantifikuje sa energetskog aspekta su električne potapajuće pumpe i dubinske pumpe na klipnim šipkama. Dobijeni rezultati uporedne analize ključnih energetskih parametara dva sistema pokazuju da je primena sistema dubinskog pumpanja na klipnim šipkama energetski i ekonomski opravdanija u odnosu na postojeći sistem električne potapajuće pumpe u uslovima dugotrajne eksploatacije ovog niskoproduktivnog naftnog ležišta.

Izvršena analiza ukazuje da izbor optimalne mehaničke metode eksploatacije treba biti usklađen sa dinamikom promena ležišnih i proizvodnih parametara kako bi se obezbedila optimalna energetska efikasnost i dugoročno održiva proizvodnja.

Ključne reči - energetska efikasnost, mehaničke metode eksploatacije, naftna ležišta u kasnoj fazi eksploatacije.

Abstract - The energy efficiency of oil and gas production systems can be substantially enhanced through the optimization of artificial lift operations, which is particularly critical for reservoirs in the late stages of production, a scenario typical for many oil and gas fields in Serbia. This study presents a quantitative evaluation of the energy performance of artificial lift methods applied to well X-023 in a small, low-productivity oil reservoir X, which has been producing for an extended period. The artificial lift methods whose energy performance is quantified in this study are electrical submersible pumps (ESP) and sucker rod pumps (SRP). The results of the comparative analysis of key energy parameters for the two systems indicate that the application of sucker rod lift systems is more energy- and cost-efficient compared to the existing electrical submersible pump system under the conditions of prolonged production at this low-productivity oil reservoir.

The analysis highlights that the selection of the optimal artificial lift method should be aligned with the dynamics of reservoir and production parameters to ensure optimal energy efficiency and sustainable long-term production.

Index Terms - energy efficiency, artificial lift methods, mature oil reservoirs.

Mogućnost primene tehnologije skladištenja CO₂ iz energetske objekata - studija slučaja

The possibility of applying CO₂ storage technology on energy facilities - case study

Nemanja Aleksic*, Dejan Ivezić*

* Rudarsko-geoloski fakultet, Univerzitet u Beogradu

Rezime - Emisije gasova sa efektom staklene bašte (GHG) predstavljaju jedan od glavnih pokretača globalnih klimatskih promena, pri čemu energetske objekata ima najveći udeo u emisijama CO₂ na svetskom nivou.

CCUS (eng. Carbon capture and storage) tehnologije predstavljaju kompleksan proces izdvajanje, korišćenje i skladištenje ugljen-dioksida, odnosno jednu od najperspektivnijih opcija za smanjenje emisija CO₂ iz energetske objekata uz očuvanje energetske bezbednosti. Njihov osnovni cilj je izdvajanje CO₂ iz velikih izvora (termoelektrana i industrijskih objekata) i sprečavanje njegovog ispuštanja u atmosferu. Trenutno je razvijeno nekoliko vrsta tehnologija, uključujući nakon sagorevanja goriva (eng. post-combustion), do sagorevanja (eng. pre-combustion) i sagorevanje u prisustvu kiseonika (eng. oxy-fuel), pri čemu svaka od njih ima specifične prednosti, ograničenja i energetske zahteve.

Rad daje opšti pregled implementacije CCUS tehnologije kroz tri glavne tehnološke komponente: izdvajanje, transport i skladištenje CO₂. Pored toga, analiziraju se operativni i kapitalni troškovi povezani sa CCUS projektima.

Na osnovu dostupne literature i iskustava iz rada aktivnih CCUS objekata širom sveta, izvršena je procena ekonomske isplativosti primene CCUS tehnologije na termoelektrani na uglj u Republici Srbiji, sa kapacitetom izdvajanja od 1 Mt ugljen-dioksida godišnje, pri čemu je dobijen indeks profitabilnosti od 1,17. Takođe, sprovedena je analiza osetljivosti kako bi se identifikovali ključni faktori koji utiču na isplativost projekta, kao što su diskontna stopa, visina kapitalnih ulaganja, cena emisijskih dozvola, operativni troškovi i kapacitet hvatanja objekata. Rezultati sprovedene analize ukazuju na ukupnu isplativost primene CCUS tehnologije.

Ključne reči – Izdvajanje ugljen-dioksida, Utilizacija i skladištenje, emisija gasova staklene bašte, energetske objekata, dekarbonizacija, ekonomska isplativost CCUS projekata

Abstract - Greenhouse gas (GHG) emissions remain one of the primary drivers for global climate change, with the energy sector representing the largest contributor to CO₂ emissions worldwide. CCUS technologies represent one of the most promising options for reducing CO₂ emission from energy facilities while maintaining energy security. Their primary objective is to capture carbon dioxide from large point source (power plants, industrial facilities) preventing its release into the atmosphere. Several technologies are examined, including post-combustion, pre-combustion and oxy-fuel combustion capture, each with specific advantages, limitation and energy requirements. This work provides a general overview of CCUS implementation by addressing three main technological components: capture, transport and storage of CO₂. Furthermore, the work examines both operational and capital expenditures, associated with CCUS projects, illustrating cost ranges based on real world examples. Different national and international policies supporting the deployment of CCUS projects are also examined. Key challenges, occurring in the process of implementation and designing of CCUS technology have been identified based on available literature and experiences from the operation of active CCUS facilities around the world. An assessment is conducted to evaluate the economic feasibility of implementing CCUS technology on a coal power plant in the Republic of Serbia, with capturing capacity of 1 Mt carbon dioxide annually, resulting in a profitability index of 1.17. Additionally, a sensitivity analysis is performed to identify key factors affecting project viability, such as discount rates, capital investments, price of emission allowances, operational cost and plant's capturing capacity. The results of the performed analysis highlight the overall cost-effectiveness of CCUS implementation.

Index Terms - Carbon Capture, Utilization and Storage, Greenhouse gas emissions, energy sector, dekarbonization, CCUS economic feasibility

Obaveze operatora transportnih i distributivnih sistema prirodnog gasa iz Uredbi o mrežnim pravilima

Obligations of Natural Gas Transmission and Distribution System Operators under the Network Code Regulations

Branka Tubin-Mitrović

Agencija za energetiku Republike Srbije, Beograd, Terazije 5

Rezime - Primena mrežnih pravila u sektoru prirodnog gasa uvodi niz novih obaveza za operatore transportnih i distributivnih gasovodnih sistema, kao i za Agenciju za energetiku Republike Srbije, sa ciljem uspostavljanja jedinstvenog, transparentnog i efikasnog tržišta prirodnog gasa. Ključne obaveze operatora sistema se odnose na usklađivanje principa za raspodelu kapaciteta i balansiranje, interoperabilnost sistema, kao i na povećane zahteve u pogledu razmene i objavljivanja podataka. Osim novih nadležnosti Agencije za energetiku Republike Srbije predviđenih mrežnim pravilima, kao značajna novina izdvaja se donošenje Metodologije o harmonizovanim transportnim tarifama kojom se propisuju nova načela formiranja zajedničkih tarifa za više transportnih sistema. Operatori su dužni da obezbede transparentan i nediskriminatoran pristup sistemima, primenjuju jedinstvene tarife za transportne sisteme kao i da obezbede interoperabilnost i razmenu informacija sa drugim operatorima sistema i učesnicima na tržištu. Implementacija ovih obaveza doprinosi stvaranju integrisanog, konkurentnog i stabilnog tržišta prirodnog gasa.

Ključne reči - alokacija kapaciteta, balansiranje, interoperabilnost, razmena podataka i transparentnost, harmonizovane transportne tarife

Abstract - The implementation of network codes in the natural gas sector introduces a number of new obligations for transmission and distribution system operators, as well as for the Energy Agency of the Republic of Serbia, with the aim of establishing a common, transparent, and efficient natural gas market. The key obligations of system operators relate to the harmonization of principles for capacity allocation and balancing, system interoperability, as well as increased requirements regarding data exchange and publication. In addition to the new responsibilities of the Energy Agency of the Republic of Serbia envisaged by the network codes, a significant novelty is the adoption of a Methodology on Harmonized Transmission Tariffs, which prescribes new principles for forming common tariffs for multiple transmission systems. Operators are required to ensure transparent and non-discriminatory access to the systems, apply uniform tariffs for transmission systems, and ensure interoperability and information exchange with other system operators and market participants. The implementation of these obligations contributes to the creation of an integrated, competitive, and stable natural gas market.

Index Terms - capacity allocation, balancing, system interoperability, data exchange and transparency, harmonized transmission tariffs

Korišćenje obnovljivih izvora za proizvodnju zelenog vodonika i njegovo skladištenje u iscrpljenim gasnim ležištima – put ka energetske sigurnosti i održivom razvoju Srbije

Using renewable energy sources for green hydrogen production and its storage in depleted gas fields – a path toward energy security and sustainable development of Serbia

Aleksandar Madžarević*, Predrag Jovančić*, Miroslav Crnogorac*, Nikoleta Aleksić*, Filip Miletić*

* Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Dušina 7, Beograd, Srbija

Rezime - Tranzicija energetskeg sistema Srbije ka održivom i niskougljeničnom modelu zahteva uvođenje novih tehnologija koje obezbeđuju pouzdano snabdevanje energijom uz smanjenje negativnog uticaja na životnu sredinu. Ovaj rad razmatra mogućnosti korišćenja obnovljivih izvora energije, pre svega solarnih i vetroelektrana, za proizvodnju zelenog vodonika putem elektrolize, kao i njegovo skladištenje u iscrpljenim gasnim ležištima. Takva ležišta predstavljaju značajan nacionalni resurs, jer njihova geološka stabilnost i postojeća infrastruktura omogućavaju dugoročno i bezbedno skladištenje različitih gasova. Analiza ukazuje da podzemno skladištenje vodonika može doprineti većoj fleksibilnosti energetskeg sistema, omogućiti bolje usklađivanje proizvodnje i potrošnje energije i olakšati integraciju promenljivih obnovljivih izvora. Pored vodonika, ista ležišta mogu se koristiti za skladištenje prirodnog gasa i trajno odlaganje ugljen-dioksida, čime se dodatno povećava energetska sigurnost i smanjuju emisije gasova sa efektom staklene bašte. Rezultati pokazuju da kombinacija obnovljivih izvora, proizvodnje zelenog vodonika i geološkog skladištenja predstavlja realan i održiv put ka jačanju energetske nezavisnosti, otpornosti i dugoročnog razvoja energetskeg sistema Srbije nakon 2035. godine. Prikazani rezultati su deo istraživanja koje se sprovodi u okviru projekta „Forward-Looking Framework for Accelerating Households' Green Energy Transition – FF GreEN“ koji se realizuje sredstvima Fonda za nauku Republike Srbije (grant br. 4344).

Gljučne reči – Energetska sigurnost, Geološko skladištenje, Zeleni vodonik, Iscrpljena gasna ležišta, Obnovljivi izvori energije

Abstract - The transition of Serbia's energy system toward sustainability requires innovative solutions that ensure both supply security and environmental protection. This paper examines the potential of renewable energy sources, primarily solar and wind power, for the production of green hydrogen through water electrolysis and its long-term storage in depleted natural gas fields. Such geological formations represent a valuable national resource, as their structural stability and existing infrastructure enable multifunctional use for energy storage and emissions reduction. The analysis highlights the strategic importance of underground storage for balancing energy supply, increasing system flexibility, and supporting the integration of variable renewable energy sources. In addition to hydrogen, depleted gas reservoirs can accommodate natural gas for seasonal storage and carbon dioxide for permanent sequestration, contributing to greenhouse gas mitigation and compliance with climate policies. The results indicate that hydrogen storage offers particular long-term benefits by transforming surplus renewable electricity into a storable energy carrier with high energy density. This approach strengthens Serbia's energy independence, reduces reliance on fossil fuel imports, and supports the gradual decarbonization of industry, transport, and power generation. Overall, the combined use of renewable energy, green hydrogen production, and underground storage represents a realistic and sustainable pathway toward a resilient, low-carbon energy system in Serbia after 2035. The presented results are part of the research supported by the Science Fund of the Republic of Serbia (#Grant No. 4344), Forward-Looking Framework for Accelerating Households' Green Energy Transition - FF GreEN.

Index Terms – Energy security, Green hydrogen, Renewable energy sources, Depleted gas fields, Geological storage

Predikcija toplotne moći uglja termoelektrane „Kostolac B” pomoću modela mašinskog učenja

Prediction of the heating value of coal at the TPP “Kostolac B” using machine learning models

Aleksandar Milićević*, Srđan Belošević*, Ivan Tomanović*, Nenad Crnomarković*,
Milić Erić*, Zoran Marković*, Nikola Živković*, Ivan Lazović*

* Laboratorija za termotehniku i energetiku, Institut za nuklearne nauke „Vinča” - Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu

Rezime - Toplotna moć uglja predstavlja jedan od ključnih parametara za upravljanje procesom sagorevanja i energetsom efikasnošću termoelektrana. Njeno tačno određivanje od suštinskog je značaja za kontrolu potrošnje goriva, optimizaciju rada kotlova i smanjenje negativnih uticaja na životnu sredinu. Iako se toplotna moć uglja tradicionalno određuje laboratorijskim merenjima, ova procedura je vremenski zahtevna za kontinuirano praćenje kvaliteta goriva u realnim uslovima rada termoelektrane. U kontekstu rastućih zahteva za digitalizacijom energetskih sistema i razvojem prediktivnih metoda zasnovanih na bazama podataka, cilj ovog rada je razvoj modela mašinskog učenja za pouzdanu predikciju donje toplotne moći lignita korišćenog u termoelektrani „Kostolac B”, na osnovu rezultata laboratorijskih merenja. Baza podataka sa rezultatima tehničke i elementarne analize lignita i donje toplotnoj moći uglja, formirana je na osnovu eksperimentalnih merenja u akreditovanom Odeljenju za karakterizaciju goriva u okviru Laboratorije za termoenergetiku i energetiku Instituta za nuklearne nauke “Vinča”. U radu su razvijena tri metode mašinskog učenja na formiranoj bazi: *Linear Regression*, kao bazni, linearni model, *Random Forest* kao robustan ansambl-model zasnovan na agregaciji podataka tokom treninga modela (bagging) i *Gradient Boosting* kao napredna metoda zasnovana na sekvencijalnoj nadogradnji tzv. stabala odlučivanja (decision tree). Za predikciju toplotne moći na osnovu tehničke analize uglja, model linearne regresije je pokazao stabilne i pouzdane rezultate, dok složeniji nelinearni pristupi ne donose dodatnu korist. Pri predikciji toplotne moći zasnovanoj na elementarnoj analizi uglja, modeli linearne regresije i *Gradient Boosting* su ostvarili slične tačnosti na test skupu, pri čemu nelinearni pristupi omogućavaju modeliranje složenijih hemijskih odnosa. Rezultati studije pokazuju da izbor modela zavisi od složenosti dostupnih ulaznih podataka i specifičnih zahteva primene. Primena ovih modela omogućava bržu procenu kvaliteta uglja i podržava efikasnije operativno planiranje, čime se smanjuje potreba za laboratorijskim analizama.

Ključne reči - lignit, toplotna moć, laboratorijska merenja, modeli mašinskog učenja, termoelektrana

Abstract - The heating value of coal is one of the key parameters for managing the combustion process and the energy efficiency of thermal power plants (TPPs). Its accurate determination is essential for controlling fuel consumption, optimizing boiler operation, and reducing negative environmental impacts. Although the heating value of coal is traditionally determined through laboratory measurements, this procedure is time-consuming for continuous monitoring of fuel quality under real operating conditions. With increasing demands for the digitalization of energy systems and the development of data-driven predictive methods, the aim of this study is to develop machine learning models for reliable prediction of the lower heating value of lignite used at the TPP “Kostolac B”, based on laboratory measurements. A database containing the results of proximate and ultimate lignite analyses, as well as its lower heating value, was created from experimental measurements conducted in the accredited Department for Fuel Characterization within the Laboratory for Thermal Engineering and Energy at the “Vinča” Institute of Nuclear Sciences. Three machine learning models were developed using this database: Linear Regression as the baseline linear model, Random Forest as a robust ensemble model based on bagging, and Gradient Boosting as an advanced method based on sequential decision-tree enhancement. For predicting heating value based on the proximate analysis of coal, the linear regression model demonstrated stable and reliable results, while complex nonlinear approaches provided no additional benefit. When predicting heating value based on ultimate coal analysis, both linear regression and Gradient Boosting achieved similar accuracy on the test set, with nonlinear approaches enabling the modeling of more complex chemical relationships. The study results indicate that the choice of model depends on the complexity of the available input data and the specific application requirements. The application of these models enables faster assessment of coal quality and supports more efficient operational planning, thereby reducing the need for laboratory analyses.

Index Terms - lignite, heating value, laboratory measurements, machine learning, thermal power plant

Uticaj promene protoka vazduha na sušenje lignita u fluidizovanom sloju

Influence of Air Flow Variation on Lignite Drying in a Fluidized Bed

Milić Erić*, Zoran Marković*, Aleksandar Milićević*, Rastko Jovanović*, Marija Živković*,
Ivan Lazović*, Nikola Živković*

*Laboratorija za termotehniku i energetiku, Institut za nuklearne nauke „Vinča” - Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju - Univerzitet u Beogradu

Rezime - Kjoto protokol je konkretizovao obaveze država članica u smanjenju emisije GHG (Greenhouse gases) u nastupajućem periodu. S obzirom na to da emisija ugljen-dioksida najviše učestvuje u ukupnoj emisiji GHG (oko 75%), najveći izazovi su u smanjenju potrošnje fosilnih goriva, naročito uglja, jer on ima najveću emisiju ugljen-dioksida po jedinici iskorišćene energije, ali su njegove rezerve u svetu najveće, najravnopravnije raspoređene od svih fosilnih goriva i imaju relativno nisku cenu na međunarodnom tržištu.

Jedan od brojnih programa za smanjenje emisije ugljen-dioksida povećanjem energetske efikasnosti u procesu konverzije hemijske energije uglja u električnu energiju termobloka je program pod nazivom Clean Coal Technologies. Posebna pažnja posvećena je niskokvalitetnim ugljevima sa velikim sadržajem vlage, u koje spadaju i ligniti. Intenzivno se radi na povećanju energetske efikasnosti konverzije niskokvalitetnih ugljeva sa velikim sadržajem vlage u električnu energiju razvojem i uvođenjem procesa njihovog predsušenja toplotnom energijom raspoloživom na samom termobloku, čime se stepen korisnosti može značajno povećati. Osnovna ideja predsušenja uglja je da se što veći deo vlage iz uglja ukloni pre samog procesa sagorevanja, a da se energija potrebna za uklanjanje vlage obezbedi rekuperacijom ili regeneracijom raspoložive otpadne toplote.

Eksperimentalna istraživanja procesa sušenja lignita vazduhom u fluidizovanom sloju sprovedena su pri dve različite brzine fluidizacije. Vazduh je zagrevan na više različitih temperatura, a korišćene su različite mase uzoraka i granulacije domaćeg lignita Kolubara. Dobijeni eksperimentalni rezultati i uticaj promene protoka pokazuju da se brzina sušenja uzorka povećava sa povećanjem protoka vazduha, dok se vreme sušenja smanjuje.

Ključne reči - konvektivno sušenje, protok vazduha, lignit, vlaga, fluidizovani sloj

Abstract - The Kyoto Protocol specified the obligations of member states to reduce greenhouse gas (GHG) emissions in the coming period. As carbon dioxide emissions constitute the largest share of total GHG emissions (around 75%), the main challenge is to reduce fossil fuel consumption, especially coal, which produces the highest carbon dioxide emissions per unit of energy used. However, coal reserves are the largest and most evenly distributed of all fossil fuels worldwide, and coal has a relatively low price on the international market.

One of the many programmes aimed at reducing carbon dioxide emissions by increasing energy efficiency in the conversion of the chemical energy of coal into electrical energy in a thermal block is the Clean Coal Technologies programme. Special attention is given to low-quality coals with high moisture content, such as lignite. Intensive efforts are being made to improve the energy efficiency of converting low-quality coals with high moisture content into electrical energy by developing and implementing a process for their pre-drying using thermal energy available within the thermal block itself, which can significantly increase efficiency. The main idea of coal pre-drying is to remove as much moisture as possible from the coal before combustion, using energy for moisture removal that is recovered or regenerated from available waste heat.

Experimental studies on the drying of lignite with air in a fluidised bed were conducted at two different fluidisation rates. The air was heated to various temperatures, and different sample masses and granulations of domestic lignite from Kolubara were used. The experimental results and the influence of flow rate changes show that the drying rate of the sample increases with increasing air flow, while the drying time decreases.

Index Terms Convective drying, Air Flow, Lignite, Moisture, Fluidised bed

Proces upravljanja rizicima u realizaciji investicionog projekta modernizacije opreme Vlasinskih HE

Risk management process in the implementation of the investment project of modernization of the equipment of Vlasinske HPP

Nebojša Stojićević, Helena Tot, Blaža Ilić

Akcionarsko društvo „Elektroprivreda Srbije“, Beograd

Rezime - U ovom radu, studiji slučaja, istražuje se proces upravljanja rizicima na realizaciji investicionog projekta modernizacije opreme Vlasinskih HE u EPS AD, finansiranog iz EU sredstava. Projekat je zasnovan na kvalitetu zelene tranzicije jer ima za cilj da unapredi udeo obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije u Srbiji poboljšanjem performansi pogona Vlasinskih HE (HE Vrla 1, 2, 3, 4).

Cilj rada je predstaviti kako se identifikuju i procenjuju rizici, i kako se njima dalje može upravljati tokom realizacije ovog specifičnog projekta. Ovim se želi ukazati na važnost sistemskog pristupa upravljanja rizicima kako bi se osigurao uspešan završetak projekta i ostvarili planirani ciljevi. Na osnovu analize, predložene su mere za ublažavanje rizika kao i preporuke za unapređenje upravljanja rizicima na sličnim investicionim projektima u EPS AD. Rad zaključuje da integracija sistemskog upravljanja rizicima u kompaniji predstavlja temelj dugoročne konkurentske prednosti i pomaže kompaniji da višegodišnje investicione projekte realizuje u okviru planiranog vremena i opredeljenih finansijskih sredstava.

Ključne reči – upravljanje rizicima, investicioni projekat, Vlasinske HE, EPS AD

Abstract -This paper, a case study, examines the risk management process in the implementation of the investment project for the modernization of equipment at Vlasina HPPs within EPS AD, financed through EU funds. The project is aligned with the objectives of the green transition, aiming to increase the share of renewable energy sources in electricity production in Serbia by improving the performance of Vlasina HPP units.

The purpose of this paper is to present how risks are identified and assessed, and how they can be further managed during the execution of this specific project. The study highlights the importance of a systematic approach to risk management to ensure the successful completion of the project and achievement of its planned objectives. Based on the analysis, risk mitigation measures are proposed, along with recommendations for improving risk management in similar investment projects within EPS AD. The paper concludes that integrating systematic risk management within the company forms the foundation of long-term competitive advantage and helps the company execute multi-year investment projects within the planned timeframes and allocated financial resources.

Index Terms - risk management; investment project; Vlasina HPPs; EPS AD

Upravljanje rizicima u Elektroprivredi Srbije

Risk Management in Elektroprivreda Srbije

Mirna Trifunović, Dejan Đorđević, Nada Tatalović

Akcionarsko društvo „Elektroprivreda Srbije“, Beograd

Rezime - Upravljanje rizicima predstavlja sistematičan, strukturiran i kontinuiran proces identifikacije, analize, vrednovanja i postupanja sa rizicima, sa ciljem smanjenja negativnih efekata neizvesnosti na ostvarenje ciljeva organizacije i očuvanje kontinuiteta poslovanja. Svrha ovog rada je predstavljanje procesa upravljanja rizicima, njegovih osnovnih elemenata i registra rizika kao ključnog dokumenta za kontrolu i praćenje identifikovanih rizika. Rad razmatra okvir upravljanja rizicima uz osvrt na dobre prakse iz okruženja. Analiziraju se dominantne grupe rizika, uključujući strateške, operativne, finansijske i IT rizike, rizike informacione bezbednosti, kao i rizike sistemske podrške. Posebna pažnja posvećena je metodama identifikacije i procene rizika primenom kvalitativnih i kvantitativnih pristupa, uz korišćenje matrice rizika sa jasno definisanim kriterijumima verovatnoće i uticaja. Rad ukazuje na značaj sistematskog upravljanja rizicima kao osnove za unapređenje otpornosti elektroenergetskog sistema i podršku donošenju odluka u uslovima energetske tranzicije i povećane složenosti poslovnog okruženja.

Ključne reči - upravljanje rizicima; identifikacija i analiza rizika; procena i postupanje sa rizikom; matrica rizika; verovatnoća i uticaj; elektroenergetski sistem.

Abstract - Risk management represents a systematic, structured, and continuous process of identifying, analyzing, evaluating, and treating risks, with the aim of reducing the negative effects of uncertainty on the achievement of organizational objectives and ensuring business continuity.

The purpose of this paper is to present the risk management process, its key elements, and the risk register as a fundamental document for controlling and monitoring identified risks. The paper examines the risk management framework, with particular emphasis on good practices from the surrounding environment. Dominant risk categories are analyzed, including strategic, operational, financial, IT, information security, and system support risks. Special attention is devoted to risk identification and assessment methods using qualitative and quantitative approaches, taking into account the likelihood of risk occurrence and the severity of its potential impact through the application of a risk matrix with clearly defined criteria.

The paper highlights the importance of a systematic approach to risk management as a means of enhancing the resilience of the power system, mitigating the adverse consequences of uncertainty, and supporting decision-making under conditions of energy transition and increasing complexity of the business environment.

Index Terms - risk management; risk identification and analysis; risk assessment and treatment; risk matrix; likelihood and impact; power system.

Upravljanje rizicima u EPCG AD Nikšić

Risk management in EPCG AD Nikšić

dr Velimir Strugar, mr Snežana Đurović, Jelena Gogić

Elektroprivreda Crne Gore AD Nikšić

Rezime - U savremenim energetske kompanijama upravljanje rizicima sve rjeđe se posmatra isključivo kao regulatorna obaveza, a sve češće kao praktičan alat za očuvanje stabilnosti sistema i dugoročne održivosti poslovanja. U kontekstu Elektroprivrede Crne Gore (EPCG) posebno su izraženi rizici povezani sa životnom sredinom, prije svega hidrološka neizvjesnost, promjene klimatskih uslova i emisije CO₂ iz termoelektričnih postrojenja, koji neposredno utiču na pouzdanost proizvodnje i finansijske rezultate. Dodatni pritisak u ovom segmentu donosi i primjena CBAM mehanizma, kojim se pitanje emisija ugljen-dioksida prenosi i u ekonomski domen.

Rad razmatra integrisan pristup upravljanju rizicima u EPCG koji obuhvata ekološke, operativne i tehnološke aspekte, uz oslanjanje na principe standarda ISO 31000, ISO 14001 i ISO/IEC 27001.

Poseban naglasak stavljen je na primjenu kvantitativnih metoda procjene rizika i na ulogu savremenih digitalnih sistema u ranom prepoznavanju tehničkih i informacionih prijetnji. Zaključno, proaktivan i tehnički utemeljen pristup upravljanju rizicima može se posmatrati kao jedan od ključnih preduslova otpornosti EPCG u procesu energetske tranzicije.

Ključne reči - EPCG, upravljanje rizicima, ekološki i tehnološki rizici, ESG, ISO standardi, CBAM

Abstract - In contemporary energy companies, risk management is increasingly understood as a practical tool rather than merely a formal compliance requirement. In the case of the Electric Power Company of Montenegro (EPCG), environmental risks—most notably hydrological uncertainty, changing climate conditions, and CO₂ emissions from thermal power plants—have a direct impact on both operational reliability and financial performance.

The implementation of the CBAM mechanism further intensifies this issue by placing carbon emissions within a clear economic framework.

This paper considers an integrated risk management approach applicable to EPCG, covering environmental, operational, and technological aspects and aligned with the principles of ISO 31000, ISO 14001, and ISO/IEC 27001. Particular attention is given to the use of quantitative risk assessment methods, as well as to the role of modern digital systems in the early identification of technical and information-related threats. Overall, a proactive and technically grounded approach to risk management represents an important prerequisite for enhancing EPCG's resilience in the context of the ongoing energy transition.

Index Terms - EPCG, risk management, environmental and technological risks, ESG, ISO standards, CBAM

Inovativni pristupi u održavanju dalekovoda visokog napona i upravljanju rizicima korišćenjem ERS (sistema za hitno obnavljanje)

Inovative Approaches to High-Voltage Transmission Line Maintenance and Efficient Risk Management Using ERS (Emergency Restoration Systems)

Nada Curović, Branko Đorđević, Zoran Knežević, Mirko Borović, Nikola Šćekić

* Elektromreža Srbije AD

Rezime - Povećanje potražnje za električnom energijom, u kombinaciji sa niskom tolerancijom na prekidu u snabdevanju korisnika sistema (posebno ključnih korisnika mreže), uz globalne klimatske promene i ekstremne vremenske fenomene, predstavljaju izazove za operatore prenosnog sistema u pogledu kontrole i pouzdanog rada mreže. Razvoj savremenih tehnologija omogućio je obnavljanje elektroenergetskih sistema u vremenskim okvirima koji su ranije bili nezamislivi ili nemogući. Određene intervencije na mreži, čak i rekonstrukcije dalekovoda duž trase, sada se mogu realizovati i bez potrebe za dugotrajnim prekidima u napajanju.

Implementacija i korišćenje ERS (Emergency Restoration Systems – sistemi za hitno obnavljanje) od strane operatera prenosnog sistema omogućila je efikasno i brzo obnavljanje elektroenergetskih sistema u vanrednim situacijama ili prilikom prekida isporuke električne energije. Ova tehnologija je doprinela unapređenju ukupnog koncepta održavanja i otvorila nove mogućnosti u projektovanju i izgradnji dalekovoda visokog napona. Takođe, ovaj sistem je doprineo izuzetnom unapređenju kontrole rizika. A može se reći i da je sigurno najbolji odgovor sistema na klimatske promene i ekstremne uslove sa kojima se u eksploataciji suočavamo.

U ovom radu biće predstavljeni primeri primene ERS sistema u okviru srpske prenosne mreže. Biće opisani koraci u postupanju u vanrednim situacijama, kao i primeri primene modularnih havarijskih stubova. Poseban fokus biće stavljen na neophodne resurse i stručno znanje potrebne za potpunu implementaciju, kao i na obuku, spremnost i kompetenciju timova za rad na vodovima. Identifikacija rizika povezanih sa primenom sistema, na osnovu postojećih tehničkih uslova i iskustava iz prethodnih projekata, predstavlja ključni element za sigurno i pouzdano funkcionisanje.

Pored toga, kontinuirano unapređenje implementacije sistema ostaje od izuzetnog značaja. Na kraju, biće prikazani primeri realnih hitnih obnavljanja realizovanih u poslednjih deset godina u Elektromreži Srbije..

Ključne reči - dalekovod, rizik, havarije, sistemi za hitno obnavljanje

Abstract - The increasing demand for electrical energy, combined with a low tolerance for supply interruptions among system users—particularly critical network customers—together with global climate change and extreme weather events, presents significant challenges for transmission system operators in maintaining control and ensuring reliable network operation. The development of modern technologies has enabled the restoration of power systems within timeframes that were previously unimaginable or unattainable. Certain network interventions, including transmission line reconstructions along existing routes, can now be executed without prolonged outages.

The implementation and utilization of Emergency Restoration Systems (ERS) by the transmission system operator have enabled efficient and rapid restoration of the power system during emergency conditions or supply interruptions. This technology has contributed to the advancement of the overall maintenance concept and has opened new perspectives in the design and construction of high-voltage transmission lines. Furthermore, it has significantly enhanced risk control and may be considered one of the most effective system responses to climate change and the extreme operating conditions increasingly encountered in practice.

This paper presents examples of ERS application within the Serbian transmission network operator Elektromreža Srbije. The procedures followed in emergency situations will be described, along with practical cases involving the use of modular emergency towers. Special emphasis is placed on the required resources, technical expertise, and full implementation capacity, including team training, operational readiness, and competence of staff and field operations. The identification of risks associated with system deployment—based on existing technical conditions and experience from previous projects—represents a key element in ensuring safe and reliable operation. In addition, the continuous improvement of system implementation remains of paramount importance. Finally, examples of real emergency restorations carried out over the past ten years within Elektromreža Srbije will be presented.

Index Terms - Transmission line, risk, outages, Emergency Restoration Systems (ERS)

Rekonstrukcija napajanja sopstvene potrošnje elektrane HE Đerdap1 sa osvrtnom na potrebu pružanja usluga uspostavljanja prenosnog sistema Srbije nakon raspada

Reconstruction of the power supply of the own consumption of the HPP Đerdap 1 power plant with a focus on the need to provide services for the establishment of the transmission system of Serbia after the grid outage

Milan Mišić, Slobodan Stamenov, Dragan Nikolić, Miloš Gicić, Dragan Gluvačević, Danijel Pejčić

EPS AD Beograd, Ogranak HE Đerdap, HE „Đerdap 1“, Trg kralja Petra br. 1 Kladovo, Srbija

Rezime - Hidroelektrana „Đerdap 1“ u Kladovu, kao deo AD EPS, ima bitnu ulogu u elektroenergetskom sistemu Srbije. U skladu sa Ugovorom o pružanju usluga zaključenim između EMS AD i EPS AD "HE Đerdap 1" pruža pomoćne nefrekventne usluge beznaponskog pokretanja sinhronih proizvodnih modula kao i mogućnost rada proizvodnih modula u ostrvskom režimu definisane u Planu uspostavljanja prenosnog sistema nakon delimičnog ili potpunog raspada. Izvedenom revitalizacijom agregata i blokova kao i rekonstrukcijom sistema napajanja sopstvene potrošnje elektrane omogućen je pouzdan i brz odgovor na eventualne havarijske situacije u elektroenergetskom sistemu Srbije. Ovim radom je obuhvaćen način rada sistema napajanja sopstvene potrošnje sa osvrtnom na havarijske situacije koje imaju za cilj brzo pokretanje agregata u hidroelektrani HE "Đerdap 1".

Ključne reči - start sinhronog generatora, hidroelektrana, ispad mreže, ostrvski režim rada generatora.

Abstract - Hydroelectric power plant "Đerdap 1" in Kladovo, as part of AD EPS, plays an important role in the electric power system of Serbia. In accordance with the Agreement on the provision of services concluded between EMS AD and EPS AD and the Plan for the establishment of the transmission system after a partial or complete breakdown, "HE Đerdap 1" provides auxiliary services of voltage-free start-up of synchronous production modules as well as the possibility of operation of production modules in islanded operation. The performed revitalization of aggregates and blocks as well as the reconstruction of the power plant's own consumption power supply system enabled a reliable and quick response to possible emergency situations in the Serbian power system. This paper covers the mode of operation of the self-consumption power supply system with reference to emergency situations, which aim to quickly start the generator from a voltage-free state and normalize the transmission system.

Index Terms – black start, hpp, grid outage, islanded operation

Primjena procjene životnog ciklusa za procjenu utjecaja proizvodnje električne energije na okoliš na satnoj razini: primjer Srbije i Slovenije

Application Of Life Cycle Assessment for Assessing the Hourly Environmental Impact of Electricity Generation: A Serbia and Slovenia Case Study

Jelena Topić Božić^{1,2}, Andreja Dobrovoljc¹, Simon Muhič^{1, 2, 3}

¹ Rudolfovo – Science and Technology Centre Novo mesto, Podbreznik 15, 8000 Novo mesto, Slovenia

² Faculty of Industrial Engineering Novo mesto, Šegova ulica 112, 8000 Novo mesto, Slovenia

³ INOVEKS, Cesta 2. grupe odredov 17, 1295 Ivančna Gorica, Slovenia

Rezime - Elektroenergetska industrija odgovorna je za značajan udio emisija stakleničkih plinova. Potrošnja električne energije često je najznačajniji čimbenik koji utječe na utjecaj proizvodnog sustava na okoliš. To se posebno odnosi na sustave na električni pogon. Prednosti elektrifikacije prometa i grijanja povezane su s dekarbonizacijom elektroenergetskog sektora. Većina LCA studija koristi prosječnu godišnju mješavinu električne energije; međutim, to može dovesti do podcjenjivanja ili precjenjivanja rezultirajućeg utjecaja na okoliš. Nedavno su provedene LCA studije mješavine električne energije koje se mijenjaju na satnoj bazi, a koje se mogu koristiti za identifikaciju ekološki optimiziranih operacija sustava, kao što je identifikacija ekološki optimiziranih strategija punjenja električnih vozila. Izvor satne proizvodnje električne energije po vrsti za 2023. u Srbiji i Sloveniji bila je Platforma transparentnosti Europske mreže operatora prijenosnih sustava za električnu energiju (ENTSO-E). Skupovi podataka za procjenu životnog ciklusa za proizvodnju električne energije preuzeti su iz sveobuhvatne baze podataka inventara životnog ciklusa EcoInvent 3.11. Za procjenu potencijalnog utjecaja na okoliš 1 kWh električne energije proizvedene različitim vrstama proizvodnje korišten je softver SimaPro 10.1 LCA. Dinamička procjena pokazuje da utjecaj na okoliš znatno varira ovisno o vremenu proizvodnje električne energije. Rezultati ističu potrebu za provedbom dinamičke mješavine električne energije jer najviše dnevne vrijednosti emisija stakleničkih plinova mogu varirati ovisno o sastavu mješavine električne energije. Za točnije izračune, trebalo bi koristiti višegodišnje prosječne vrijednosti sa stopama iskorištenosti.

Ključne reči - procjena životnog ciklusa, električna energija, obnovljivi izvori energije, utjecaj na okoliš na temelju sata, potencijal globalnog zatopljenja

Abstract - The power industry is responsible for a significant share of greenhouse gas emissions. Electricity use is often the most significant factor influencing the environmental impact of a product system. This applies particularly to electricity-powered systems. The benefits of electrifying transportation and heating are related to the decarbonization of the electricity sector. Most LCA studies use a yearly average electricity mix; however, this can lead to an underestimate or overestimate of the resulting environmental impact. Recently, hourly time-varying electricity mix LCA studies have been conducted, which can be used to identify environmentally optimized system operations, such as identification of environmentally optimized charging strategies for electric vehicles. The source of hourly electricity production by type for 2023 in Serbia and Slovenia was the Transparency Platform of the European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E). Life cycle assessment datasets for electricity production were taken from a comprehensive life cycle inventory database EcoInvent 3.11. SimaPro 10.1 LCA software was used to assess the potential environmental impact of 1 kWh of electricity produced by different production types. Temporal profiles of the environmental impacts of the respective electricity mixes were generated, with a focus on global warming potential (GWP). The electricity production varies both on a daily and a monthly basis. Energy sources, such as biomass, lignite, and nuclear power, generate a constant supply of electricity and serve as base-load power plants. The differences in the composition of electricity lead to variation in the environmental impact of electricity. This is particularly reflected in the results for GWP, as variations can be observed throughout the year. A higher share of renewable electricity in the total electricity generation reduces the GWP of the electricity mix. For more accurate calculations, multi-year average values with utilization rates should be used to adjust for annual weather variations and possible year-specific events.

Index Terms - life cycle assessment, electricity, renewable energy sources, hourly-based environmental impact, global warming potential

STUDIJA RIZIKA INTERNE REVIZIJE

INTERNAL AUDIT RISKS STUDY

Branka RUŽEVIĆ, MH “ERS” Matično preduzeće a.d. Trebinje, Odjeljenje interne revizije, branka8591@gmail.com

REZIME

U ovom radu se prikazuje značaj utvrđivanja rizika sa kojim se susreću preduzeća u javnom sektoru Republike Srpske i uloga interne revizije u tom procesu. Upravljanje rizicima koji se pojavljuju u procesu poslovanja omogućava identifikaciju istih, njihovu ocjenu i na kraju kontrolu njihovog djelovanja u okolnostima neizvjesnosti u ostvarivanju planiranih radnih zadataka. U savremenoj tržišnoj ekonomiji, uporedo sa rastom i razvojem, sve više se ističe značaj upravljanja rizicima. Sa stanovišta interne revizije, rizik se definiše kao mogućnost da događaji, postupci i neiskorištene prilike imaju negativan uticaj na ostvarivanje ciljeva preduzeća. Istovremeno, rizik se ne posmatra isključivo kao prijetnja, već kao i prilika. Efikasno upravljanje rizicima omogućava zaštitu postojeće vrijednosti imovine i stvaranje dodatne vrijednosti za preduzeće.

Upravljanje rizicima predstavlja kontinuiran proces identifikovanja, analize, procjene i praćenja rizika kojim je poslovanje izloženo. Kako bi preduzeće poslovalo uspješno, interna revizija u javnom preduzeću ima obavezu da identifikuje rizike u procesu poslovanja, da ih vrednuje i prikaže kroz matricu i tako omogući rukovodstvu da donosi odluke koje doprinose rastu i razvoju. Osnov za izradu studije rizika u javnom sektoru Republike Srpske predviđen je Zakonom o javnim preduzećima Republike Srpske, Zakonom o sistemu internih finansijskih kontrola, međunarodnim standardima profesionalne prakse interne revizije, osnivačkim dokumentima javnih preduzeća, kao i odlukama i izvještajima nastalim u procesu poslovanja u javnom preduzeću. Godišnjom studijom rizika se indentifikuju, definišu i procjenjuju rizična područja poslovanja i uvrđuje osnova za planiranje i provođenje revizorskih aktivnosti, a samim tim i aktivnosti menadžmenta u javnom preduzeću.

Ključne riječi: interna revizija, studija rizika, upravljanje rizicima

ABSTRACT

This paper shows the importance of determining the risks faced by companies in the public sector of the Republic of Srpska and the role of internal audit in that process. The management of risks that appear in the business process enables their identification, their evaluation and finally the control of their actions in circumstances of uncertainty in the realization of planned work tasks. In the modern market economy, along with growth and development, the importance of risk management is emphasized more and more. From the point of view of internal audit, risk is defined as the possibility that events, actions and unused opportunities have a negative impact on the achievement of the company's goals. At the same time, risk is not viewed exclusively as a threat, but as an opportunity. Effective risk management enables the protection of the existing property value, as well as the creation of additional value for the company.

Risk management is a continuous process of identifying, analyzing, assessing and monitoring the risks to which the business is exposed. In order for the company to operate successfully, the internal audit in a public company has the obligation to identify risks in the business process, to evaluate them and present them through a matrix, thus enabling the management to make decisions that contribute to growth and development. The basis for preparing a risk study in the public sector of the Republic of Srpska is the provisions of the Law on Public Enterprises of the Republic of Srpska, the Law on the System of Internal Financial Controls, international standards of the professional practice of internal auditing, founding documents of public enterprises and all decisions and reports made in the process of doing business in a given public enterprise. The annual risk study identifies, defines and assesses the risky business areas and establishes the basis for planning and conducting audit activities, and therefore management activities in a public company.

Key words: internal audit, risk study, risk management

Analiza regulacije frekvencije elektroenergetskog sustava primjenom ace pokazatelja u uvjetima povećane integracije OIE

Analysis of power system frequency regulation using the ace indicator under conditions of increased renewable energy integration

Karlo Koščak, Tonči Tadin, Mario Mužek, Marko Hajdina, Tomislav Lešković

Hrvatski Operator Prijenosnog Sustava d.d.

Sažetak - Rad se bavi utjecajem porasta udjela proizvodnje iz vjetroelektrana (VE) i fotonaponskih elektrana (FNE) na odstupanja elektroenergetskog sustava u razdoblju od 2020. do 2025. godine. Prikazan je trend rasta proizvodnje električne energije iz VE i FNE te njegova povezanost s količinama energije korištenima za uravnoteženje sustava.

U kontekstu procjene kvalitete regulacije razrađeni su parametri Level 1 i Level 2, definirani Smjernicama o pogonu elektroenergetskog sustava (SO GL), koji određuju dopuštene razine prekoračenja ACE-a i predstavljaju referentne granice za ocjenu uspješnosti regulacije, pri čemu su njihove vrijednosti prikazane za 2025. godinu.

Analiziran je utjecaj promjene udjela VE i FNE na raspodjelu i učestalost odstupanja ACEol-a (odstupanje sustava bez aktivirane regulacije) i stvarnog ACE-a, odnosno odstupanja sustava nakon djelovanja mehanizama za uravnoteženje, pri čemu je jasno prikazana promjena u strukturi odstupanja sustava ovisno o udjelu obnovljivih izvora energije (OIE).

Ključne riječi – ACE (Area Control Error), uravnoteženje, obnovljivi izvori energije, stabilnost sustava

Abstract - The paper examines the impact of the increasing share of electricity generation from wind power plants (WPP) and photovoltaic power plants (PVPP) on power system deviations in the period from 2020 to 2025. The growth trend of electricity generation from WPP and PVPP is presented, along with its correlation with the amount of energy activated for system balancing purposes.

In the context of assessing control quality, the Level 1 and Level 2 parameters, defined by the System Operation Guideline (SO GL), are elaborated. These parameters specify the permissible levels of ACE exceedance and represent reference limits for evaluating regulation performance, with their values presented for the year 2025. The analysis investigates the impact of the increasing share of WPP and PVPP generation on the distribution and frequency of ACEol (Area Control Error Open Loop, representing system deviation without activated regulation) and the actual ACE, i.e., system deviation after the activation of balancing mechanisms. The results clearly demonstrate changes in the structure of system deviations depending on the share of renewable energy sources (RES).

Index Terms - ACE (Area Control Error), system balancing, renewable energy sources, system stability

Projektovanje i realizacija sistema baterijskog skladišta električne energije snage 500kW i kapaciteta 1075kWh

Design and implementation of battery energy storage system (BESS) with 500kW power and 1075 kWh capacity

Miodrag Vuković*, Željko V.Despotović**, Manojlo Šoškić***, Stanko Vuković*

* Conseko d.o.o, Beograd, Srbija

** Institut Mihajlo Pupin, Univerzitet u Beogradu,

*** Naftna Industrija Srbije –NIS a.d., Novi Sad

Rezime – U radu su prikazani projektovanje i realizacija baterijskog skladišta električne energije, tzv. *Battery Energy Storage System* (BESS) snage 500kW i kapaciteta 1075kWh koje predstavlja deo sistema fotonaponske elektrane (FNE) Smederevo snage 3159 kWp (2450kW AC) koji je vlasništvo firme NIS a.d. Novi Sad. Predviđeni sistem baterijskog skladišta sastoji se od pet baterijskih modula pojedinačne snage 100 kW i kapaciteta 215 kWh, čime se postiže ukupan kapacitet litijumskih baterija (LiFePO₄) od 1075 kWh. U okviru baterijskog skladišta je predviđen multi-level bidirekcionni energetski pretvarač koji obezbeđuje dvosmerni protok električne energije. Svi predviđeni moduli u sklopu sistema baterijskog skladišta poseduju sledeće sertifikate: CE -EMC, CE -LVD, IEC 62619, IEC 63056, CEI-016, UN 38.3, nCEI-021, što potvrđuje usklađenost sa međunarodnim standardima bezbednosti. Između ostalog, u radu su predstavljeni detalji topologije skladišta i prikaz konfiguracije koja je projektovana i prilagođena FNE Smederevo. Celokupan rad sistema BESS se upravlja putem *Energy Management System* (EMS) kontrolera, koji je u stalnoj komunikaciji sa kontrolerom solarne elektrane, NIS-ovom energetskom platformom za praćenje rada FNE, RTU jedinicom (daljinska stanica EDS-a) i SCADA sistemom operatora sistema.

Ključne reči - baterijsko skladište električne energije, fotonaponske elektrane, balansiranje, baterijski kontroler, energetska elektronika, energetski pretvarači

Abstract – The paper presents the design and implementation of the battery energy storage system (BESS) with a power of 500kW and a capacity of 1075kWh, which is part of the system of the photovoltaic power plant (FPP) Smederevo with a power of 3159 kWp (2450kW AC), which is owned by the company NIS a.d. Novi Sad. The planned BESS consists of five battery modules of the individual power type of 100kW and a capacity of 215kWh, which achieves a total lithium batteries (LiFePO₄) capacity of 1075kWh. Within the BESS, a multi-level bidirectional power converter is provided, which ensures a bi-directional flow of electricity. All intended modules within the BSEE have the following certificates: CE-EMC, CE-LVD, IEC 62619, IEC 63056, CEI-016, UN 38.3, nCEI-021, which confirms compliance with international safety standards. Among other things, the paper presents the details of the warehouse topology and the configuration that was designed and adapted to PV power plant Smederevo. The entire operation of the BESS system is managed by the EMS (Energy Management System) controller, which is in constant communication with the controller of the PV power plant, system for monitoring of PV power plant for NIS, the RTU unit (remote station EDS) and the SCADA system of the system operator.

Index Terms - BSEE, PV power plants, balancing energy, battery controller, power electronics, power converters

Implementacija korektora faktora snage u sklopu napajanja elektromagnetnog pogona rezonantnog vibracionog transportera

Implementation of the power factor corrector as part of the power supply of the electromagnetic drive of the resonant vibratory conveyor

Uroš Ilić, Željko V. Despotović

Institut Mihajlo Pupin, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija

Rezime - Rezonantni vibracioni transporteri sa elektromagnetnom pobudom predstavljaju veoma efikasne mehanizme, obzirom da je njihov rad baziran na korišćenju mehaničke rezonance. Za relativno nisku energetska pobudu moguće postići značajne vrednosti amplituda oscilacija, a shodno tome i intenzitete protoka rasutog materijala koji se transportuje. Da bi se obezbedila amplitudska i frekventna kontrola vibracionog transporta u ovim sistemima se koriste razne topologije energetskih pretvarača. U novije vreme se kao pretvarački moduli koriste tranzistorski IGBT moduli. Ovi moduli se u mrežnim primenama koriste zajedno sa mrežnim diodnim ispravljačima (AC/DC pretvaračima), koji imaju za cilj da mrežni napon, 230V, 50Hz pretvore u jednosmerni napon 310Vdc. Diodni ispravljači, koji u suštini predstavljaju nelinearna opterećenja za elektroenergetsku mrežu, kvare ulazni faktor snage elektromagnetnog pogona transportera i ubrizgavaju u mrežu spektar viših harmonika, od kojih su dominantni neparni, 3, 5, 7, 11 reda. Iz ovih razloga je potekla motivacija za implementacijom ulaznog ispravljača sa korekcijom faktora snage, primenjenog u sklopu elektromagnetnog pogona rezonantnog vibracionog transportera. Korekcijom faktora snage se dodatno uvećava energetska efikasnost pogona i eliminišu svi negativni uticaji diodnog ispravljača. U radu su dati opis topologije korektora faktora snage, prikaz kompletnog sistema napajanja elektromagnetnog pogona vibracionog transportera i ključni eksperimentalni rezultati dobijeni na realnom industrijskom sistemu vibracionog transportera za doziranje sitnozrnih materijala.

Ključne reči - vibracioni transport, rezonanca, korekcija faktora snage, IGBT pretvarač, amplitudska kontrola, frekventna kontrola

Abstract -The resonant vibration conveyors with electromagnetic drive are very efficient mechanisms, given that their operation is based on the use of mechanical resonance. For a relatively low-energy excitation, it is possible to achieve significant values of oscillation amplitudes and, accordingly, flow intensities of bulk material being transported. In order to ensure the amplitude and frequency control of vibratory transport, various topologies of power converters are used in these systems. Recently, IGBT power converters are used as power stage modules. These power modules are used in mains power applications together with mains diode rectifiers (AC/DC power converter), which convert mains voltage 230V, 50Hz to voltage 310Vdc. The diode rectifiers, which essentially represent non-linear loads for power grid, spoil the input power factor of the conveyor's electromagnetic drive and inject into the mains power a spectrum of higher harmonics, of which the dominant ones are odd, 3, 5, 7, 11 orders. For these reasons, the motivation for implementing an input rectifier with power factor correction, applicable as part of the electromagnetic drive of a resonant vibration conveyor, arose. By correcting the power factor, the energy efficiency of the drive is further increased and all the negative effects of the diode rectifier are eliminated. The paper provides a description of the topology of the power factor corrector, a presentation of the complete power supply system of the electromagnetic drive of the vibratory conveyor and key experimental results obtained on a real industrial system of a vibrating conveyor for dosing particulate materials.

Index Terms - vibratory conveying, resonance, power factor correction, IGBT power converter, amplitude control, frequency control

Koncepti napajanja elektroliznih stanica i proizvodnje vodonika za potrebe elektroprivrede Srbije

Power supply concepts for electrolysis plants and hydrogen production for the needs of the electric power industry of Serbia

Nikola Kovačević*

* Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Koste Glavinića 8a, Beograd

Rezime - Proizvodnja vodonika u svetu doživljava značajnu ekspanziju, podstaknuta zelenom tranzicijom i potrebom za dekarbonizacijom elektroenergetskih sistema pojedinih zemalja. Do sada, vodonik je u najvećoj meri dobijan kao nusproizvod u hemijskoj i metalurškoj industriji, dok je njegovo dobijanje elektrolizom vode bilo zanemarljivo malo. Upotrebom obnovljivih izvora energije, proces elektrolize vode postaje ekološki čist način za dobijanje vodonika i kiseonika. Sam vodonik se može koristiti kao gorivo ali i kao fluid za hlađenje obrtnih mašina, dok se kiseonik može koristiti u medicinske i druge svrhe. U radu je prikazano razmatranje koncepata napajanja elektroliznih stanica, koji podrazumevaju jednostepene i dvostepene pretvarače, kao i neki od mogućih načina primene dobijenog vodonika i kiseonika u elektroprivredi Srbije a i van nje. Data je i analiza integracije obnovljivih izvora energije u sisteme za napajanje elektrolizera kao i praktična merenja električnih veličina jednog realizovanog sistema napajanja alkalnog elektrolizera.

Ključne reči – Ispravljači, Vodonik, Elektroliza vode, Obnovljivi izvori energije

Abstract - Hydrogen production is undergoing a significant global expansion, driven by the green transition and the need for the decarbonization of the power systems of individual countries. Until now, hydrogen has been obtained mostly as a byproduct in the chemical and metallurgical industries, while its production through water electrolysis has been negligible. By utilizing renewable energy sources, the process of water electrolysis becomes an environmentally clean method for producing hydrogen and oxygen. Hydrogen itself can be used as a fuel, but also as a cooling fluid for rotating machines, while oxygen can be used for medical and other purposes. This paper presents an overview of power supply concepts for electrolysis plants, including single-stage and two-stage converters, as well as some of the possible applications for the produced hydrogen and oxygen within and beyond the electric power industry of Serbia. Furthermore, the paper provides an analysis of integrating renewable energy sources into electrolyzer power supply systems, as well as practical measurements of electrical quantities of a implemented alkaline electrolyzer power supply system.

Index Terms – Converters, Hydrogen, Electrolysis of water, Renewable energy sources

Off Grid napajanje hidrometeoroloških stanica u sistemu za prikupljanje i monitoring meteoroloških podataka duž reka Dunav i Sava u Republici Srbiji

Off Grid power supply of hydro meteorological stations in the system for collecting and monitoring of meteorological data along the Danube and Sava rivers in the Republic of Serbia

Željko V. Despotović, Marko Tajdić, Marko Ristić, Marko Batić

Institut Mihajlo Pupin, Univerzitet u Beogradu,

Rezime – U radu je dat prikaz *Off-Grid* napajanja hidrometeoroloških stanica (HMS) u sistemu za prikupljanje i praćenje meteoroloških podataka duž plovnog puta reka Dunav i Sava na teritoriji Republike Srbije. *Off-grid* napajanje je u osnovi bazirano na fotonaponskom panelu snage 415W, bateriji 12Vdc/265Ah i odgovarajućem kontroleru punjenja sa implementiranom funkcijom praćenja tačke maksimalne snage fotonaponskog panela (MPPT kontrola). Potrošači u sistemu za prikupljanje i praćenje meteoroloških podataka su: meteorološka stanica sa pripadajućim senzorima (smer i brzina vetra, temperatura vazduha, relativna vlažnost, vazdušni pritisak i količina padavina), senzor vidljivosti, senzori pritiska i temperature vode u reci, komunikacioni interfejs sa uređajem za detekciju i merenje prisustva i karakteristika rečnih talasa (plutajuća bova), PLC kontroler kao koncentrador podataka i ostali telekomunikacioni uređaji za komunikaciju sa nadzornim komandnim centrima. Napajanje električnom energijom sistema HMS obezbeđuje pouzdano i besprekidno napajanje pomenute merne i komunikacione opreme u širokom opsegu temperatura okoline (-40°C do $+60^{\circ}\text{C}$), pri nepovoljnim vremenskim uslovima, atmosferskim uticajima (kiša, sneg, vlaga) kao i uticajima atmosferskih pražnjenja koja su veoma učestala duž pomenutih rečnih tokova. Stoga je u radu dodatno istaknuta uloga i načini realizacije kako primarne zaštite od atmosferskih pražnjenja (udara groma), tako i sistema sekundarne prenaponske zaštite merne i telekomunikacione opreme.

Ključne reči - Hidrometeorološke stanice, *Off-grid* napajanje, baterija, MPPT kontroler, zaštita od udara groma, prenaponska zaštita

Abstract – The paper presents the *Off-Grid* power supply of hydro meteorological stations (HMS) in the system for collecting and monitoring meteorological data along the waterway of the Danube and Sava rivers on the territory of the Republic of Serbia. The *Off-grid* power supply is based on a 415W photovoltaic panel, a 12Vdc/265Ah battery and a suitable charge controller with an implemented photovoltaic panel maximum power point tracking (MPPT) function. Consumers in the meteorological collecting and data monitoring system are: meteorological station with associated sensors (wind direction and speed, air temperature, relative humidity, air pressure and rainfall amount), visibility sensor, pressure and water temperature sensors in the river, communication interface with a device for detecting and measuring the presence and characteristics of river waves (floating buoy), a PLC controller as a data concentrator and other telecommunication devices for communication with supervisory command centers. The electric power supply of the HMS system ensures reliable and uninterrupted power supply of the mentioned measuring and communication equipment in a wide range of ambient temperatures (-40°C to $+60^{\circ}\text{C}$), in adverse weather conditions, atmospheric influences (rain, snow, humidity) as well as the effects of atmospheric discharges, which are very frequent along the mentioned waterways. Therefore, the role and methods of implementation of both primary protection against atmospheric discharges (lightning strikes) and secondary over-voltage protection of measuring and telecommunication equipment are additionally highlighted in the paper

Index Terms - Hidrometeorological stations, Off-grid power supply, battery, MPPT controller, lightning protection, over voltage protections.

Razvoj i implementacija mreža hidrometeoroloških stanica duž reka Dunav i Sava u Republici Srbiji

Development and implementation of networks of hydro meteorological stations along the Danube and Sava rivers in the Republic of Serbia

Marko Ristić, Marko Batić, Marko Tajdić, Željko V. Despotović, Aleksandra Ružić, Dragan Mićević
Institut Mihajlo Pupin

Apstrakt: U radu je prikazan razvoj i implementacija sistema za praćenje meteoroloških podataka posredstvom hidrometeoroloških stanica (HMS) duž plovnog puta reka Dunav i Sava na teritoriji republike Srbije. U ovom sistemu je predviđeno 38 mernih HMS. Meteorološki podaci i podaci o ponašanju reka, mogu se koristiti i u druge svrhe, kao što su obaveštavanje javnosti o mogućim poplavama, olujama naglim promenama temperature vazduha i drugim elementarnim nepogodama. Tako se može sprečiti materijalna šteta i ugrožavanje zdravlja i života ljudi. Druga primena je obaveštavanje nadležnih službi o uslovima plovidbe, plovnog puta i sl. Centralni deo sistema za praćenje meteoroloških podataka i ponašanje reka je namenski razvijen PLC - Atlas Hydra (koncentrator podataka). Svaka stanica obuhvata meteorološke senzore, koji se montiraju na stub i koji prate i prate mere meteorološke podatke vazduha. Senzor vidljivosti je uređaj koji meri vidljivost vazduha. Senzor pritiska i temperature vode postavlja se na dnu reke i povezan je žičanom vezom sa koncentратором. LoRa modem služi za komunikaciju sa bocom na kojoj se nalaze senzori za detekciju talasa i pomeraja. Satelitski modem se takođe postavlja na stub. Svi izmereni parametri na lokacijama prikupljaju se i obrađuju lokalno, odakle se komunikacionim putem prenose u komandno-nadzorni (KN) centar, u okviru kojeg se prate, obrađuju i analiziraju. Projekat je finansiran delom od strane Evropske investicione banke (EIB), delom od strane Ministarstva građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture Republike Srbije. Korisnik rezultata projekta je Plovput-Direkcija za vodne puteve Republike Srbije.

Keywords: Hidrometeorostanica (HMS), plovni put, PLC, merenje, nadzor, telekomunikacija

Abstract: The paper presents the development and implementation of a system for monitoring meteorological data through hydro meteorological stations (HMS) along the waterway of the Danube and Sava rivers on the territory of the Republic of Serbia. In this system, 38 measuring HMS are provided. Meteorological data and data on the behaviour of rivers can also be used for other purposes, such as informing the public about possible floods, storms, sudden changes in air temperature and other natural disasters. In this way, material damage and threats to people's health and life can be prevented. Another application is informing the competent services about the conditions of navigation, waterways, etc. The central part of the system for monitoring meteorological data and river behaviour is a specially developed PLC - Atlas Hydra (data concentrator). Each station includes meteorological sensors, which are mounted on a pole and which monitor and measure the meteorological data of the air.

A visibility sensor is a device that measures air visibility. The water pressure and temperature sensor is placed at the bottom of the river and connected by a wire connection to the concentrator. The LoRa modem is used for communication with the buoy on which there are sensors for detecting waves and movements. A satellite modem is also mounted on a pole. All measured parameters at the locations are collected and processed locally, from where they are transmitted via communication to the command and control center, where they are monitored, processed and analysed. The project was financed partly by the European Investment Bank (EIB), and partly by the Ministry of Construction, Transport and Infrastructure of the Republic of Serbia. The beneficiary of the project results is Directorate for Inland Waterways-Navigational Bulletin of the Republic of Serbia.

Keywords: Hidro-meteo station (HMS), waterway, PLC, measuring, monitoring, telecommunication

Prenaponska zaštita brzih DC punjačkih stanica za električne automobile instaliranih na benzinskim pumpama

Over voltage protection of DC fast charging stations for electric cars installed at gas stations

Milan Đerić*, Željko V.Despotović **, Miloš Kostić*

* Charge and Go, Beograd, Srbija

** Institut Mihajlo Pupin, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija

Rezime - U radu je prikazana praktična implementacija prenaponskih zaštita na AC strani brze DC punjačke stanice snage 240kW za punjenje baterija na električnim vozilima, koja se napaja iz transformatorske stanice TS 10/0.4kV 400kVA. Punjačka stanica je ulaznog napona 3x400V, 50Hz i izlaznog napona 400Vdc i maksimalne izlazne struje 600A. Prenaponi na AC ulazima punjačke stanice mogu biti posledica sklopnih prenapona koji mogu doći iz elektroenergetske mreže, ali takođe mogu nastati i kao rezultat naglog isključenja punjačke stanice tokom eksploatacije. Usled ovih prenapona dolazi do nepouzdanog rada DC punjačke stanice i nepouzdanog snabdevanja napajanjem benzinske stanice i pogoršanja njegovog kvaliteta. Takođe, prenaponi na AC strani brze punjačke stanice mogu dodatno prouzrokovati neželjeno aktiviranje alarma na dizel električnom agregatu koji se obično koristi kao rezervno AC napajanje kompletne benzinske pumpe. U radu je data dispozicija i prikaz implementacije praktičnog rešenja zaštite od prenapona, koje je na zadovoljavajući način rešilo sve pomenute probleme na AC nisko-naponskim sabirnicama u TS i obezbedilo siguran i pouzdan rad DC punjačke stanice, a shodno tome i pouzdan rad napajanja benzinske pumpe.

Ključne reči - napajanje, DC punjačka stanica, električna vozila, prenaponi, prenaponska zaštita, implementacija

Abstract - The paper shows the practical implementation of over-voltage protection on the AC side of a fast DC charging station with a power of 240kW for charging batteries on electric cars, which is powered by a 10/0.4KV 400kVA transformer station. The charging station has an input voltage of 3x400V, 50Hz and an output voltage of 400Vdc and a maximum output current of 600A. Over-voltages at the AC inputs of the charging station can be the result of switching over-voltages that can come from the power grid, but can also occur as a result of a sudden shutdown of the charging station during operation. As a result of these over-voltages, unreliable operation of the DC charging station and unreliable supply of power to the gas station and deterioration of its quality occur. Also, over-voltages on the AC side of the fast charging station can additionally cause an unwanted activation of the alarm on the diesel electric generator that is used as a backup AC power supply for the complete gas station. The paper provides a description and presentation of the implementation of a practical solution for over-voltage protection, which satisfactorily solved all the mentioned problems on the AC low-voltage buses in TS and ensured safe and reliable operation of the DC charging station, and accordingly, reliable operation of the gas station.

Index Terms - power supply, DC fast charging station, electric cars, over-voltage, over-voltage protection, implementation

Besprekidna napajanja u elektrodistributivnim sistemima

Uninterruptible power supplies in power distribution systems

Srdan Milićević
Konvereks doo

Apstrakt: Današnji trendovi u besprekidnom napajanju u elektrodistributivnim sistemima. Načini povećanja pouzdanosti i efikasnosti. Principijalne šeme Ispravljača i Invertora. Osnovne tehnologije ispravljačkih sistema sa proračunima redundanse. Složeni Invertorski sistemi sa AC/AC konverzijom i bidirekcionim DC priključkom. Podele baterijskih sistema prema nameni i dužini eksploatacije. Određivanje potreba za ventilacijom baterijskih soba. Kompaktna rešenja koja u jednom kućištu obezbeđuju neprekidan izvor AC i DC struje. Uloga DC/DC konvertora u pogledu optimizacije sistema jednosmernog razvoda. STS uređaji za besprekidno prebacivanje između nezavisnih AC izvora.

Ključne reči: UPS, DC, AC, BEES, Ispravljači, Invertori

Abstract: Today's trends in uninterruptible power supply in electrical distribution systems. Ways to increase reliability and efficiency. Principle schemes of Rectifiers and Inverters. Basic technologies of rectification systems with redundancy calculations. Complex inverter systems with AC/AC conversion and bidirectional DC connection. Division of battery systems according to purpose and length of exploitation. Determining the need for ventilation of battery rooms. Compact solutions that provide a continuous source of AC and DC current in one housing. The role of the DC/DC converter in the optimization of the DC distribution system. STS devices for seamless switching between independent AC sources.

Keywords: UPS, AC, DC, BEES, Rectifier, Inverter

Projekat testiranja rada solarne elektrane snage 387kW sa daljinskim upravljanjem od Elektrodistribucije Srbije

The project of testing of work of PV plant 387kW with the remote control from power distribution company Serbia

*Miodrag Vuković, **Željko V. Despotović

Fakultet za projektni menadžment, Institut Mihajlo Pupin

Apstrakt: The paper describes the project with the goal to test the regulation and remote control of a PV plant 387 kW, with parameters such as active power, reactive power and $\cos \Phi$. The intended mode of operation of the solar power plant is to produce electricity for the self-consumption with the delivery of excess energy to the electrical distribution system, but with the monitoring and the possibility of remote control of the operation by utility company EDS. The project was realized in cooperation with the Mihajlo Pupin Institute who provided RTU for the solar power plant within the EP Belt factory from Loznica, Serbia. For the purpose of regulating the operation of 15 inverters and connecting them to the SCADA system of electricity distribution company Serbia (EDS), for managing communication with the inverters via the Modbus TCP/IP protocol, a controller from the Danish manufacturer Deif was used. The project was realized with the technical support of engineers from Fronius and Deif.

Ključne reči: control, PV plant, remote control, active customer, acceptance testing, project management

Abstract: Rad opisuje realizaciju projekta čiji je cilj bio da se izvrši testiranje regulacija rada i daljinskog upravljanja solarnom elektranom snage 387kW, sa parametrima poput aktivne snage, reaktivne snage i $\cos \Phi$. Predviđeni mod rada solarne elektrane je proizvodnja električne energije za sopstvene potrebe uz predaju viškova energije u elektrodistributivni sistem, uz ostvarenje nadzora i mogućnosti daljinskog upravljanja radom od strane Elektrodistribucije Srbije (EDS). Projekat je realizovan uz saradnju sa Institutom Mihajlo Pupin, za solarnu elektranu u okviru fabrike EP Belt iz Loznice. U svrhu regulacije rada 15 invertora i povezivanja sa Skada sistemom Elektrodistribucije Srbije, za upravljanje komunikacijom sa inverterima putem Modbus TCP /IP protokola, korišćen je kontroler danskog proizvođača Deif. Projekat je realizovan uz tehničku podršku inženjera Fronius i Deif.

Keywords: regulacija, solarna elektrana, daljinsko upravljanje, aktivni kupac, upravljanje projektima, testiranje ispravnosti

Uloga HE u elektroenergetskom sistemu Republike Srbije - Efekti rekonstrukcije i povećanja snage HE

The Role of HPPs in the Republic of Serbia Electric Power System - Effects of HPP Rehabilitation and Power Increase

Todora Lazić*, Nenad Lazić*, dr Zdravko Stojanović*, Marija Milić*, Ljiljana Milicanović**

*Energoprojekt Hidroinženjering, Beograd

** AD Elektroprivreda Srbije

Rezime - Pred elektroenergetskim sistemom Republike Srbije stoje brojni izazovi. Republika Srbija je članstvom u Energetskoj zajednici prihvatila brojne obaveze vezane za smanjenje emisija gasova sa efektom staklene bašte, što u krajnjoj liniji dovodi i do smanjenja obima rada termoelektrana. Razvoj postrojenja koja koriste intermitentne obnovljive izvore energije (OIE) u Republici Srbiji je izazvao dosta interesovanja kod investitora, ali u ovom trenutku postoje značajna ograničenja u vezi sa priključenjem novih kapaciteta na mrežu. Istovremeno je prosečna starost hidroelektrana u Srbiji veoma visoka (poslednje veće postrojenje je izgrađeno 1989. godine). U ovoj situaciji rekonstrukcija, sanacija i adaptacija postojećih HE, sa povećanjem njihove instalisane snage (gde je to moguće), predstavlja strateški važnu aktivnost. Takođe je od velikog značaja i izgradnja reverzibilnih hidroelektrana (RHE, u ovom trenutku Republika Srbija raspolaže samo jednom), jer je ovo neophodan korak za priključenje novih kapaciteta OIE na mrežu. U radu su prikazani prošli, aktuelni i budući projekti sanacije, adaptacije i rekonstrukcije HE koje rade u sastavu EPS a.d., kao i projekti vezani za buduće RHE.

Ključne reči - hidroenergetika, hidroelektrane, elektroenergetski sistem, rekonstrukcija, povećanje snage

Abstract – Numerous challenges lie ahead of the electric power system of the Republic of Serbia. By joining the Energy Community, the Republic of Serbia has accepted a number of obligations related to the reduction of greenhouse gas emissions, which ultimately leads to a certain decrease in the operating scope of thermal power plants. The development of facilities based on intermittent renewable energy sources (RES) in the Republic of Serbia has generated considerable interest among investors; however, at present there are significant limitations regarding the connection of new capacities to the power grid. At the same time, the average age of hydropower plants in Serbia is very high (the last major facility was built in 1989). In this context, the revitalization of existing hydropower plants, including an increase in their installed capacity (where possible), represents a strategically important task. The construction of pumped-storage hydropower plants (PSHPPs, presently the Republic of Serbia disposes over just one) is also of great importance, as this is a necessary step for connection of new RES capacities to the grid. This paper presents past, current, and future projects related to the sanation, adaptation and reconstruction of hydropower plants operating within the EPS JSC system, as well as projects associated with future PSHPPs.

Index Terms - hydropower, hydropower plants, electric power system, reconstruction, power increase

Određivanje režima rada buduće RHE „Bistrica” u zavisnosti od nivoa usklađenosti hidroloških, energetske i cenovnih prilika

Determination of the Operating Modes of the Future PS HPP "Bistrica" Depending on the Level of Compliance of Hydrological, Energy and Price Conditions

Vladimir Šiljkut*, Dragan Surudžić*, Dušan Petrović*, Mileta Đurković*, Nikola Rajaković**

* Akcionarsko društvo Elektroprivreda Srbije Beograd, Balkanska 13, 11000 Beograd, Republika Srbija

** Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, Republika Srbija

Rezime – U ovom radu je prikazana metodologija korišćena za određivanje režima rada buduće reverzibilne hidroelektrane (RHE) „Bistrica” u zavisnosti od međusobne usklađenosti hidroloških prilika, snage potrošnje električne energije, angažovanja obnovljivih izvora energije (OIE) sa varijabilnom proizvodnjom (V-OIE) i tržišnih cena električne energije. Dat je pregled vrsta ulaznih podataka potrebnih za ovu analizu i prikazani su načini njihovog svodenja na istu vremensku (satnu) rezoluciju i njihove normalizacije. Za navedenu studiju slučaja, pošlo se od hidrološke šeme hidroelektrana (HE) na Limu i Uvcu, u čiji sistem će biti inkorporirana buduća RHE, i od jednačina bilansa primarnog resursa (vode). Kao referentna godina izabrana je 2023, s obzirom da su nju karakterisale gotovo prosečne hidrološke prilike. Njihova usklađenost je najpre procenjena uparivanjem i poređenjem sa cenama postignutim na „dan unapred” SEEPEx tržištu, a potom i sa proizvodnjom iz V-OIE i potrošnjom električne energije. Pri tome su utvrđivani kriterijumi tj. referentne vrednosti karakterističnih veličina i parametara. Na osnovu tih vrednosti određivano je da li buduća RHE treba da radi u turbinskom ili pumpnom režimu, ili bi, zbog njihove međusobne neusklađenosti ili narušavanja kritičnih vrednosti nekih parametara, RHE trebalo da ostane van pogona. Metodologija omogućava i uvid u to koliki će udeo angažovanja buduće RHE poticati od dotoka u njenu donju akumulaciju (postojeće Potpečko jezero na Limu), a koliki od korisne zapremine buduće gornje akumulacije (jezero Klak), kao i u kojoj meri će biti neophodno korišćenje vode iz kaskade sada postojećih HE i akumulacija u njenom zaleđu, na reci Uvac. U radu su prikazani prvi, preliminarni rezultati postignuti primenom metodologije opisane u njemu.

Glavne reči – Akumulacija, cene, hidrologija, proizvodnja, reverzibilna hidroelektrana

Abstract – This paper presents the methodology used to determine the operational modes of the future pump storage hydropower plant (PS HPP) "Bistrica" depending on the mutual compatibility of hydrological conditions, the power of electricity consumption, the engagement of renewable energy sources (RES) with variable generation (V-RES) and market prices of electricity. An overview of the types of input data required for this analysis is given, and the manners of reducing them to the same time (hourly) resolution and their normalization are shown. For the afore mentioned case study, the starting point was the hydrological scheme of the hydroelectric power plants (HPPs) on Lim and Uvac rivers, in which system the future PS HPP will be incorporated, and the balance equations of the primary resource (water). Year 2023 was chosen as the reference one, given that it was characterized by almost average hydrological conditions. Their compliance was first assessed by matching and comparing with the electricity prices achieved on the "day ahead" SEEPEx market, and then with the generation from V-RES and the consumption of electricity. At the same time, the criteria were established, i.e., reference values of characteristic dimensions and parameters. Based on those values, it was determined whether the future PS HPP should work in turbine or pumping mode, or, due to their mutual incompatibility or violation of the critical values of some parameters, the PS HPP should remain out of operation. The methodology also allows insight into how much of the engagement of the future PS HPP will come from the inflow into its lower reservoir (the existing Potpeć Lake on river Lim), and how much from the useful volume of the future upper reservoir (Klak Lake), as well as to what extent it will be necessary to use water from the cascade of the existing HPPs and reservoirs in its hinterland, on the Uvac river. The paper presents the first, preliminary results achieved by applying the methodology described in it.

Index Terms – Generation, hydrology, prices, pump storage hydroelectric power plant, reservoir

Inženjerska Praksa i Rešenja za Prevazilaženje Pogonskih Problema kod Starih i Novih Hidrauličnih Zatvarača Radi Budućeg Sveukupnog Povećanja Pouzdanosti

Engineering Practice Solutions to Overcome Operating Issues of Old and New Hydraulic Gates for Future Overall Increased Reliability

Filip Stojkovski*, Sašo Belšak, Robert Broz

* Iskra Impuls d.o.o. Zasavska cesta 43-G 4000 Kranj, Slovenia
Engineering Division Maribor, ul. Pohorskega Bataljona 14, 2000 Maribor

Rezime - U ovom radu analiziraju se dva tipa hidraulično podizanih zatvarača temeljnih ispusta brana – zatvarači koji su direktno povezani i zatvarači montirani na podizne motke. Ključna razlika između ova dva sistema javlja se prilikom rekonstrukcije, jer se direktno povezani zatvarači mogu u potpunosti izvući u kućište zatvarača (gate bonnet), dok se zatvarači montirani na podizne motke ne mogu u potpunosti pristupiti, s obzirom na to da se kućište zatvarača nalazi pod vodom. U radu je načinjen korak ka definisanju tehničkih detalja zatvarača na osnovu već ugrađene opreme u suvim uslovima u hidroelektranama tokom procesa izgradnje, pri čemu se prate kontinuirani obrasci prisutni kod gotovo svih starijih zatvarača. Ovi obrasci identifikovani su kao „problematici“, jer dovode do narušene stabilnosti, potencijalnih oštećenja, pa čak i potpune nefunkcionalnosti same opreme, čime se povećava rizik po bezbednost objekta u kojem ova oprema ima ključnu ulogu u obezbeđivanju sigurnosti i stabilnosti postrojenja. Definisanjem ovih detalja učinjen je pokušaj njihove precizne specifikacije i prikaza metoda rekonstrukcije koje se koriste za otklanjanje navedenih problema kod starijih sistema, uz istovremeno pružanje smernica za projektovanje novih zatvarača sa više aspekata: proširene funkcionalnosti, buduće prevencije istih problema i olakšanog budućeg održavanja. Analiza je fokusirana na identifikaciju tehničkih problema kao što su habanje, korozija, geometrijska neusklađenost, habanje točkova, kao i neusklađenost i degradacija zaptivki. Dodatno, analizirani su i hidraulični sistemi za podizanje, uz napore da se isprave geometrijske neusklađenosti, uključujući unapređenja i modifikacije zaptivnih elemenata, kao i poboljšanja pojedinih komponenti sistema radi obezbeđenja efikasnijeg i bezbednijeg rada. Obradom ovih ključnih aspekata, u radu su objedinjene savremene prakse rekonstrukcije usmerene ka produženju radnog veka i povećanju pouzdanosti kako postojećih, tako i novih hidrauličnih zatvarača.

Ključne reči - Hidraulični zatvarači, bezbednost i pouzdanost, rekonstrukcija, nadgrađivanje sistema, produžena funkcionalnost

Abstract - In this paper, two types of dam bottom outlet hydraulically hoisted vertical fixed-wheel gate closures are analyzed – gates which are directly connected and gates mounted on lifting rods. Crucial difference lies in both systems when reconstruction is considered, as the directly connected gates can be accessed fully into the gate bonnet, and lifting rods mounted gates cannot be fully accessed as the gate bonnet is under water. A step is taken towards defining the technical details of gate closures based on already installed equipment in dry conditions in the hydroelectric power plants during the building process, which follows continuous patterns found in almost all older gate closures. These patterns have been identified as "problematic," as they lead to compromised stability, potential damage, and even complete disfunction of the equipment itself, increasing the risk associated with the safety of the structure where this equipment serves a critical role, ensuring the security and stability of the facility. By defining these details, an attempt has been made to specify them and outline the reconstruction methods used to eliminate these issues in older systems, while also serving as a guideline for designing new gate closures from multiple perspectives: extended functionality, future prevention of the same problems and future facilitated maintenance. The analysis focuses on identifying technical issues such as wear, corrosion, geometric misalignment, wheel wear, and seal misalignment and degradation. Additionally, hydraulic hoist systems have been analyzed, with efforts to correct geometric misalignments, also through upgrades and modifications of sealing components, as well as enhancements to system components to ensure more efficient and safer operation. By addressing these key aspects, this paper compiles modern reconstruction practices aimed at extending the lifespan and increasing the reliability of both old and new hydraulic gate closures.

Index Terms - Hydraulic gates, Safety and reliability, Reconstruction, System upgrades, Extended functionality

Analiza stanja napona vratila nakon završetka kapitalnog remonta na agregatu A6 2025 godine, u HE "Đerdap 1"

Analysis of the shaft voltage state after the completion of the capital overhaul on unit A6 in 2025, at hpp "Đerdap 1"

Milan Mišić, Dragan Nikolić, Miloš Gicić, Dragan Gluvačević,

Žarko Nestorović, Petar Nikolić, Slobodan Stamenov,

EPS AD Beograd, Ogranak HE Đerdap, HE „Đerdap 1“, Trg kralja Petra br. 1 Kladovo, Srbija

Rezime - Pojava napona na vratilima električnih mašina je poznata u teoriji i praksi i zbog potencijalnih visokih rizika za pogon zahteva redovno praćenje. Na hidroagregatima u HE Đerdap 1 ova pojava se periodično prati merenjem napona na različitim mernim mestima na vratilima svih 6 hidroagregata. U toku 2025. godine izvršen je kapitalni remont agregata A6 zbog prethodno uočenih nedostataka na mehanizmima za zakretanje lopatica radnog kola. Nakon izvršenog kapitalnog remonta i priključenja agregata A6 na elektroenergetski sistem Srbije izvršeno je merenje napona vratila na agregatu A6 sa ciljem da se utvrdi da li je došlo do promena karakteristika napona na mernim mestima gde se vrše redovna merenja napona vratila. U ovom radu su prikazani rezultati analize karakteristika napona na vratilu agregata A6 u HE Đerdap 1 pre i posle kapitalnog remonta.

Ključne reči - sinhroni generator, indukovani napon vratila, struje ležajeva

Abstract - The occurrence of shaft voltages in electrical machines is a well-established phenomenon in both theoretical studies and practical operation and, due to the associated potential risks to reliable operation, requires continuous monitoring. In the generating units of the Đerdap 1 Hydropower Plant (HPP Đerdap 1), shaft voltages are periodically monitored by measurements performed at several designated measuring points along the shafts of all six turbine-generator sets. In 2025, a major overhaul of generating unit A6 was conducted because of previously identified deficiencies in the runner blade pitching mechanisms. Following the completion of the overhaul and the reconnection of generating unit A6 to the Serbian power system, shaft voltage measurements were carried out to assess possible changes in shaft voltage characteristics at the standard measuring locations used for routine monitoring. This paper presents a comparative analysis of the shaft voltage characteristics of generating unit A6 at HPP Đerdap 1 before and after the major overhaul.

Index Terms – synchronous generator, induced shaft voltage, bearing currents

ENERGETSKO EKOLOŠKA OPTIMIZACIJA EKSPLOATACIJE HIDROENERGETSKOG SISTEMA – DEO I SREDNJEROČNA OPTIMIZACIJA

ENERGY AND ECOLOGY OPTIMIZATION OF HYDROPOWER SYSTEM EXPLOITATION - PART I MID-TERM OPTIMIZATION

A. Gajić^{1,3}, Lj. Krsmanović^{+,1}, Ž. Vasojević², G. Bajić², R. Mitrović², J. Djokić³

¹Akademija Inženjerskih Nauka Srbije, Beograd, Srbija

²Elektroprivreda Srbije A. D., Beograd, Srbija

³Inosens d.o.o., Novi Sad, Srbija

Rezime - Rad se bavi optimizacijom proizvodnje hidroenergetskog sistema. Pregled matematičkih modela i metoda optimizacije bavi se izazovima i mogućnostima u poboljšanju energetske efikasnosti i pouzdanosti. Studija se bavi optimizacijom hidroenergetskih sistema kroz različite vremenske horizonte: dugoročno, srednjoročno i kratkoročno planiranje.

Srednjoročna optimizacija je primenjena na najveći hidroenergetski sistem u Srbiji, Hidroenergetski i plovidbeni sistem „Djerdap I i II“, tokom jednonedeljne eksploatacije.

Kratkoročna optimizacija, ključna za zadovoljavanje dnevnih zahteva za opterećenjem, istražuje se kroz studiju slučaja hidroelektrane niskog pritiska „Međuvršje“. Ovaj odeljak ističe strategije i procese donošenja odluka potrebne za održavanje ravnoteže između proizvodnje energije i pouzdanosti sistema. Pored toga, rad istražuje strategiju energetske optimizacije za rekonstruisanu hidroelektranu, uključujući ekološke zahteve kako bi se uskladili sa savremenim standardima održivosti.

Ključne reči - Hidroelektraenergetski system, Efikasnost, Ekologija, Optimizacija

Abstract - The paper deals with the optimization of hydroelectric power system production. An overview of mathematical models and optimization methods addresses the challenges and opportunities in enhancing energy efficiency and reliability. The study delves into the optimization of hydropower systems across various time horizons: long-term, mid-term, and short-term planning. Mid-term optimization is applied to the largest hydropower system in Serbia Hydropower and Navigation system „Iron Gate I and II“, for a one-week exploitation.

Short-term optimization, crucial for meeting daily load demands, is explored through a case study of the low-head hydropower plant “Medjuvršje”. This section highlights the operational strategies and *decision-making processes required to maintain a balance between energy production and system reliability*. In addition, the paper investigates energy optimization strategies for a reconstructed hydropower plant, incorporating ecological requirements to align with modern sustainability standards.

Index Terms - Hydro Energy System, Efficiency, Ecology, Optimization

ENERGETSKO EKOLOŠKA OPTIMIZACIJA EKSPLOATACIJE HIDROENERGETSKOG SISTEMA – DEO II KRATKOROČNA OPTIMIZACIJA

ENERGY AND ECOLOGY OPTIMIZATION OF HYDROPOWER SYSTEM EXPLOITATION- PART II SHORT-TERM OPTIMIZATION

A. Gajić^{1,3}, Lj. Krsmanović^{+,1,*}, Ž. Vasojević², G. Bajić², J. Djokić³

¹*Akademija Inženjerskih Nauka Srbije, Beograd, Srbija*

²*Elektroprivreda Srbije A. D., Beograd, Srbija*

³*Inosens d.o.o., Novi Sad, Srbija*

Rezime - Rad se bavi optimizacijom proizvodnje hidroenergetskog sistema. Pregled matematičkih modela i metoda optimizacije bavi se izazovima i mogućnostima u poboljšanju energetske efikasnosti i pouzdanosti. Studija se bavi optimizacijom hidroenergetskih sistema kroz različite vremenske horizonte: dugoročno, srednjoročno i kratkoročno planiranje.

Srednjoročna optimizacija je primenjena na najveći hidroenergetski sistem u Srbiji, Hidroenergetski i plovidbeni sistem „Djerdap I i II“, tokom jednonedeljne eksploatacije.

Kratkoročna optimizacija, ključna za zadovoljavanje dnevnih zahteva za opterećenjem, istražuje se kroz studiju slučaja hidroelektrane niskog pritiska „Međuvršje“. Ovaj odeljak ističe strategije i procese donošenja odluka potrebne za održavanje ravnoteže između proizvodnje energije i pouzdanosti sistema. Pored toga, rad istražuje strategiju energetske optimizacije za rekonstruisanu hidroelektranu, uključujući ekološke zahteve kako bi se uskladili sa savremenim standardima održivosti.

Ključne reči - Hidroelektraenergetski system, Efikasnost, Ekologija, Optimizacija

Abstract - This paper addresses the optimization of hydroelectric power system production. An overview of mathematical models and optimization methods addresses the challenges and opportunities in enhancing energy efficiency and reliability. The study examines the optimization of hydropower systems across various time horizons, including long-term, mid-term, and short-term planning. Mid-term optimization is applied to the largest hydropower system in Serbia Hydropower and Navigation system „Iron Gate I and II“, for a one-week exploitation.

Short-term optimization, crucial for meeting daily load demands, is explored through a case study of the low-head hydropower plant „Međuvršje“. This section highlights the operational strategies and *decision-making processes required to maintain a balance between energy production and system reliability*. In addition, the paper investigates energy optimization strategies for a reconstructed hydropower plant, incorporating ecological requirements to align with modern sustainability standards.

Index Terms - Hydro Energy System, Efficiency, Ecology, Optimization

Valorizacija biootpada kroz konverziju u energiju - održivost i ekonomski uticaji

Valorization of Biowaste through Energy Conversion - Sustainability and Economic Impacts

Miroslav Kljajić*, Đorđije Doder*, Mladen Tomić*

* University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Serbia

Rezime - Namera rada je da ispita i oceni primenljivost koncepta konverzije biootpada u energiju kroz razvoj novog izvora toplotne i električne energije u jednom gradu u Srbiji sa nižom gustinom energetske potrebe. Cilj rada je da se sagleda konkretan razvoj novog izvora energije u skladu sa mogućnostima održivog ekonomskog rasta i njegovim uticajem na širi razvoj komunalnih energetskih sistema. Razmatrana sirovina u vidu biootpada je mešavina travnate biomase i otpada od hrane. Sprovedena analiza ukazuje da ova vrsta dostupne sirovine ima potencijal za proizvodnju bioenergije i prepoznata je kao perspektivno rešenje za ublažavanje energetske deficita. Uprkos izazovnim okolnostima, u kojima korišćenje biootpada za proizvodnju energije još uvek nije u potpunosti razvijeno zbog ekonomskih i tehnoloških prepreka, namera rada je da ukaže na mogućnosti održivog ekonomskog rasta kroz konverziju tokova biootpada u izvore čiste energije. Korišćenje travne biomase i otpada od hrane može pomoći kako komunalnim sistemima tako i lokalnim zajednicama da smanje zavisnost od fosilnih goriva i povećaju energetske sigurnost diversifikacijom energetskih izvora. Gradovi koji lokalno proizvode biogas iz sopstvenih sirovina mogu smanjiti oslanjanje na uvozna fosilna goriva, čime se umanjuje izloženost cenovnim oscilacijama i poremećajima u snabdevanju. Osnova koncepta biogasnog postrojenja je kombinovana proizvodnja električne i toplotne energije (koje se proizvode u kogeneracionom modulu koji kao gorivo koristi biogas), kao i proizvodnja visokokvalitetnog organskog đubriva (koje nastaje kao produkt anaerobne fermentacije). Rezultati pokazuju da se travna silaža može uspešno koristiti kao supstrat za dobijanje biogasa u procesu anaerobne digestije mešanjem sa otpadom od hrane. Može se očekivati prosečan prinos biogasa od 0,63 Nm³/kg suve materije. Opcija mešanja travne sirovine sa otpadom od hrane značajno povećava finansijski prinos investicije i omogućava prihvatljiv period povraćaja ulaganja – približno polovinu ekonomskog veka trajanja projekta.

Ključne reči - Biootpad, kogeneracija, komunalni energetski sistemi.

Abstract - The intention of this paper is to check and evaluate the applicability of the “biowaste to energy” concept to the development of a new heat and electricity source, in a Serbian city with a lower density of energy needs. Aim is to check concrete new energy source development according to sustainable economic growth opportunities and impact on the wider communal energy systems developments. The considered biowaste raw material is a mixture of grass and food waste. The conducted analysis indicates that this kind of available raw material has the potential to generate bioenergy and is acknowledged as a hopeful solution to address the energy deficit. Despite the challenging circumstances, where using biowaste for energy are not fully developed due to economic and technological obstacles, the intention of the work is to reveal the possibilities of sustainable economic growth through the conversion of the bio-waste flow into sources of clean energy production. The use of grass feedstock and food waste can help both utility systems and local communities to reduce their dependence on fossil fuels and increase their energy security by diversifying their energy mix. Cities that produce biogas locally from their own feedstock can reduce their reliance on imported fossil fuels, thereby reducing their exposure to price fluctuations and supply disruptions. The basis of the concept of the biogas plant is the combined production of electricity and heat (which are produced in the cogeneration module, which uses biogas as fuel), as well as the generation of high-quality organic fertilizer (which is produced as a product of anaerobic fermentation). The results suggest that grass silage can be successfully used as a substrate for the purposes of obtaining biogas from the process of anaerobic digestion by mixing it with waste food. An average yield of 0.63 Nm³/kgdm of biogas can be expected. The option of mixing grass raw material with food waste significantly increases the financial yield of the investment and achieves an acceptable investment repayment period - about half of the economic life of the project.

Index Terms - Biowaste, Cogeneration, Communal energy systems.

Multisenzorsko prostorno mapiranje energetske gubitaka u urbanim sredinama: Dokaz koncepta

Multisensor Spatial Mapping of Energy Losses in Urban Environments: Proof of Concept

Aleksandar Peulić*, Srećko Ćurčić**

* Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet

** Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet tehničkih nauka, Čačak

Rezime - Gubici energije u urbanim sredinama predstavljaju jedan od ključnih faktora koji utiču na energetske efikasnost, održivost i troškove infrastrukture. Tradicionalne metode za analizu energetske performansi, kao što su stacionarne senzorske mreže, ručne termalne inspekcije i individualni građevinski energetske pregledi, često nisu dovoljno precizne niti vremenski efikasne, jer ne pružaju visok nivo prostorne rezolucije niti pregled mikroklimatskih promena u realnom vremenu. U ovom radu predstavljen je predlog sveobuhvatnog sistema za procenu urbanih energetske gubitaka koji kombinuje podatke sa senzorske mreže, prostorno-analitičke metode i termalne mape dobijene upotrebom bespilotnih letelica (drone). Predloženi sistem integriše zemaljske ekološke senzore (temperatura, vlažnost, brzina vetra, CO₂), mobilne senzorske jedinice postavljene na vozila javnog prevoza, kao i termalne podatke dobijene letovima bespilotnih letelica. Prikupljeni podaci obrađuju se primenom naprednih metoda prostorne analitike, modela veštačke inteligencije za interpolaciju i fuzije podataka, kao i GIS tehnika za višeslojnu vizuelizaciju. Termalne slike koje generišu bespilotne letelice omogućavaju preciznu detekciju curenja toplote, degradacije materijala, gubitaka kroz krovne i fasadne strukture, ali i identifikaciju urbanih toplinskih ostrva koja klasične metode teško registruju. Predložena metodologija predstavlja skalabilno i isplativo rešenje pogodno za različite urbane konfiguracije i pruža temelje za prediktivne modele, kontinuirani nadzor i razvoj inteligentnih energetske sistema.

Ključne reči - energetske gubici, mikroklima, bespilotne letelice, IoT senzori, GIS analiza, veštačka inteligencija

Abstract - Energy losses in urban environments represent one of the key factors affecting energy efficiency, sustainability, and infrastructure costs. Traditional methods for analyzing energy performance—such as fixed sensor networks, manual thermal inspections, and individual building energy audits—are often neither sufficiently precise nor time-efficient, as they do not provide high spatial resolution or real-time insight into microclimatic variations. This paper presents a proposal for a comprehensive system for assessing urban energy losses, which combines sensor-network data, spatial-analytical methods, and thermal maps obtained using unmanned aerial vehicles (drones).

The proposed system integrates ground-based environmental sensors (temperature, humidity, wind speed, CO₂), mobile sensing units installed on public transportation vehicles, as well as thermal data collected during UAV flights. The collected data are processed using advanced spatial-analytics techniques, artificial intelligence models for interpolation and data fusion, and GIS methods for multi-layer visualization. Thermal images generated by unmanned aerial vehicles enable precise detection of heat leakage, material degradation, energy losses through roof and façade structures, as well as the identification of urban heat-island zones that are difficult to detect using classical methods. The proposed methodology represents a scalable and cost-effective solution suitable for various urban configurations and provides a foundation for predictive models, continuous monitoring, and the development of intelligent energy systems.

Index Terms - energy losses; microclimate; unmanned aerial vehicles; IoT sensors; GIS analysis; artificial intelligence

Simulacije širenja zagađujućih materija uslijed nenamjernih ispuštanja u gradovima: CFD pristup

Simulations of Contaminant Dispersion from Accidental Releases in Cities: A CFD Approach

Mahir Hafizović*, Muhamed Hadžiabdić**, Bojan Ničeno***

* Enova LLC Consultants and Engineers Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

** International University of Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

*** Paul Scherrer Institute, Switzerland

Rezime - Slučajna ispuštanja opasnih zagađujućih materija u urbanim sredinama predstavljaju značajan izazov za hitne službe, procjenu rizika i javnu sigurnost, posebno u scenarijima koji uključuju toksične ili radioaktivne materije. Precizno predviđanje transporta zagađujućih materija u gusto izgrađenim područjima zahtijeva numeričke alate sposobne da reproduciraju složene tokove uzrokovane urbanom geometrijom. Za ovu svrhu se široko koristi računska dinamika fluida (eng. *Computational Fluid Dynamics*, CFD), ali njena tačnost uveliko zavisi od izbora pristupa modeliranju turbulencije.

Ova studija ispituje hibridni RANS–LES (HRL) pristup za simulaciju širenja zagađujućih materija u realnom gradskom okruženju, zasnovanom na eksperimentu u zračnom tunelu. Transport zagađujućih materija analiziran je korištenjem srednjih i trenutnih polja brzine i koncentracije, kao i eksperimentalnih profila, s posebnim naglaskom na lateralno širenje u susjedne ulice, dvorišta i zone recirkulacije.

Rezultati pokazuju da HRL može predvidjeti nestacionarne vrtložne strukture, stvarajući obrasce širenja zagađujućih materija koji se vrlo dobro poklapaju s eksperimentalnim rezultatima. Ovi rezultati naglašavaju važnost modela turbulencije sposobnih da reproduciraju nestacionarne strukture toka za pouzdano predviđanje širenja zagađujućih materija u gradovima i naglašavaju ključnu ulogu CFD-a u procjeni kvaliteta zraka, pripremi za hitne situacije i donošenju odluka zasnovanih na riziku.

Ključne reči – Disperzija zagađujućih materija, slučajna ispuštanja, kvalitet zraka, modeliranje turbulencije, računska dinamika fluida

Abstract - Accidental releases of hazardous airborne contaminants in urban environments present a significant challenge for emergency response, risk assessment, and public safety, particularly in scenarios involving toxic or radiological substances. Accurate prediction of contaminant transport in densely built areas requires numerical tools capable of capturing the complex flow structures induced by urban geometry. Computational Fluid Dynamics (CFD) is widely used for this purpose, but its predictive accuracy depends strongly on the choice of turbulence modelling approach. This study evaluates hybrid RANS–LES (HRL) approach, for simulating contaminant dispersion from ground-level accidental releases in a realistic urban layout based on the wind tunnel experiment. Pollutant transport is analysed using mean and instantaneous flow and concentration fields, as well as experimental profiles, with particular emphasis on lateral spreading into adjacent streets, courtyards, and recirculation zones. Results show that HRL resolves unsteady vortex structures, producing pollutant transport patterns that closely match experimental observations. These findings underscore the importance of scale-resolving turbulence models for reliable prediction of accidental contaminant dispersion in urban areas and highlight the critical role of CFD in urban air quality assessment, emergency preparedness, and risk-informed decision-making.

Index Terms - Contaminant dispersion, Accidental releases, Urban air quality, Turbulence modelling, Computational Fluid Dynamics (CFD)

Proračun energetske efikasnosti primenom metoda daljinske detekcije i GIS- a

Energy efficiency calculation using remote sensing and GIS methods

dr Milisav Tomić*; Branislav Pajić **; Miodrag Tomić**; Rade Stanojević**; Miodrag Đurović***

*Služba za biološku rekultivaciju Ogranak RB "Kolubara" Lazarevac, EPS AD. email: milisav.tomic@eps.rs; tel: 0638685712; ORCID iD: 0009-0001-8781-5645.

** Služba za zaštitu životne sredine Ogranak RB "Kolubara" Lazarevac, EPS AD. email: Branislav.Pajic@eps.rs; Miodrag.Tomic@eps.rs; (ORCID iD: 0009-0007-3653-6658); Rade.Stanojevic@eps.rs;.

*** Sektor za proizvodno tehničke poslove, OC Prerada Vreoci, Ogranak RB "Kolubara" Lazarevac, EPS AD. Miodrag.Djurovic@eps.rs.

Rezime - U radu su prikazani rezultati proračuna energetske efikasnosti u zoni rudnika sa površinskom eksploatacijom kolubarskog lignita, primenom metoda daljinske detekcije (RS) i geografskih informacionih sistema (GIS-a), na primeru sedam kotlarnica koje u zimskom periodu godine služe za grejanje poslovnih prostorija i proizvodno tehničkih objekata i koje kao energent koriste ugalj. Cilj rada je i da se ponude rešenja koja podrazumevaju obradu i analizu geoprostornih podataka za potrebe planiranja i upravljanja energentima, energijom i energetsom efikasnosti kroz proračune i vizuelizaciju za donošenja najoptimalnijih odluka. U zaključku su predstavljeni rezultati i ponuđena energetska najefikasnija rešenja.

Ključne reči - GIS, RS, energetska efikasnost, kolubarski basen.

Abstract -The paper presents the results of energy efficiency calculations in the area of the mine with surface exploitation of Kolubara lignite, using remote sensing (RS) and geographic information systems (GIS) methods, on the example of seven boiler houses that in the winter period of the year are used for heating business premises and production-technical facilities and which use coal as an energy source. The goal of the work is to offer solutions that involve processing and analyzing geospatial data for the purposes of planning and managing energy resources, energy and energy efficiency through calculations and visualization for making the most optimal decisions. In the conclusion, the results are presented and the most energy-efficient solutions are offered.

Index Terms - GIS, RS, energy efficiency, Kolubara basin.

Zamena adsorpcionih odvlaživača vazduha na prirodni gas sa CO₂ toplotnim pumpama u ledenim dvoranama: studija na više objekata

Replacement of Natural Gas Desiccant Dehumidifiers with CO₂ Heat Pump Systems in Ice Arenas: A Multi-Facility Case Study

Dr. Dimitrije Manić*, prof. dr. Mirko Komatina**, dr. Dragi Antonijević*

*The Innovation Center of the Faculty of Mechanical Engineering in Belgrade, Kraljice Marije 16, Belgrade

**University of Belgrade Faculty of Mechanical Engineering, Kraljice Marije 16, Belgrade

Apstrakt – Ledene dvorane spadaju među energetske najintenzivnije rekreativne objekte zbog istovremenog rada rashladnih sistema, ventilacije i sistema za kontrolu vlažnosti vazduha. U mnogim postojećim objektima kontrola vlažnosti ostvaruje se pomoću adsorpcionih odvlaživača vazduha sa regeneracijom zagrejanom prirodnim gasom, što rezultira značajnom potrošnjom fosilnih goriva. Ovaj rad analizira mogućnost zamene konvencionalnih gasnih adsorpcionih odvlaživača sistemima za odvlaživanje zasnovanim na CO₂ (R744) toplotnim pumpama u četiri opštinske ledene dvorane u gradu Delta, Britanska Kolumbija, Kanada. Razvijeni su kalibrisani energetske modeli objekata korišćenjem merenih podataka o potrošnji energije i meteoroloških podataka za stvarnu godinu (AMY). Na osnovu kalibrisanih modela simulirani su scenariji sa primenom CO₂ toplotnih pumpi radi procene promena u potrošnji energije i emisijama gasova sa efektom staklene bašte. Rezultati simulacija pokazuju značajno smanjenje potrošnje prirodnog gasa u svim analiziranim objektima, u opsegu od približno 9 % do 67 %, u zavisnosti od karakteristika objekta i konfiguracije sistema. Potrošnja električne energije se povećava usled rada kompresora toplotne pumpe, ali ukupne emisije gasova sa efektom staklene bašte značajno se smanjuju zbog eliminacije sagorevanja prirodnog gasa za regeneraciju adsorbensa. Dobijeni rezultati ukazuju da sistemi za odvlaživanje zasnovani na toplotnim pumpama predstavljaju efikasan pristup elektrifikaciji i dekarbonizaciji sistema klimatizacije u ledenim dvoranama.

Ključne reči – ledene dvorane; odvlaživanje vazduha; CO₂ toplotne pumpe; energetske modeliranje zgrada; dekarbonizacija

Abstract - Ice arenas are among the most energy-intensive recreational facilities due to the simultaneous operation of refrigeration systems, ventilation equipment, and humidity control systems. In many existing facilities, humidity control is achieved using natural-gas-fired desiccant dehumidifiers, which require high-temperature regeneration air streams and therefore result in significant fossil fuel consumption. This study evaluates the replacement of conventional gas-fired desiccant dehumidifiers with CO₂ (R744) heat-pump-based dehumidification systems in four municipal ice arenas operated by the City of Delta, British Columbia, Canada. Calibrated building energy models were developed using measured utility consumption data and actual meteorological year (AMY) weather conditions. Retrofit scenarios representing CO₂ heat pump dehumidification systems were simulated to estimate impacts on energy consumption and greenhouse gas emissions. Simulation results indicate substantial reductions in natural gas consumption across the analyzed facilities, ranging from approximately 9% to 67% depending on facility characteristics and system integration. Electricity consumption increases due to operation of the heat pump compressor; however, overall greenhouse gas emissions decrease significantly because the retrofit eliminates natural gas combustion for desiccant regeneration. The results demonstrate that heat-pump-assisted dehumidification represents a viable pathway for electrification and decarbonization of ice arena mechanical systems.

Index Terms –ice arenas; air dehumidification; CO₂ heat pumps; building energy modeling; decarbonization

Plitka geotermalna energija u Dunavskom regionu – Prioriteti i mere za Srbiju

Shallow Geothermal in the Danube Region: Serbia's Priorities and Actions

Davor Končalović, Vladimir Vukašinović, Dušan Gordić, Mladen Josijević, Filip Nastić, Dubravka Živković*

Faculty of Engineering, University of Kragujevac, Kragujevac, Serbia

Rezime – Grejanje i hlađenje čine skoro polovinu konačne potrošnje energije u Evropi, pri čemu približno 75% ove energije i dalje dolazi iz fosilnih goriva. Dekarbonizacija ovog sektora je stoga ključna za klimatsku neutralnost kontinenta. Ovaj rad analizira prepreke i moguće puteve ka široj primeni korišćenja plitke geotermalne energije zemljama Dunavskog regiona sa osvrtom na R. Srbiju. Istraživanje je rezultat izrade dokumenta pod nazivom Transnacionalni Akcioni Plan (TAP), koji je razvijen u okviru projekta Interreg Danube GeoHeCo. U fokusu se dva osnovna pristupa u korišćenju plitke geotermalne energije: (i) sistemi toplotnih pumpi zemlja-voda i to zatvorenog i otvorenog tipa, a koji koriste plitke geološke slojeve do dubine od 400 metara i (ii) sistemi za rekuperaciju toplote otpadnih voda korišćenjem toplotnih pumpi bez dodatnih bušotina. Na osnovu nacionalnih geoloških, regulatornih i tržišnih podataka, rad identifikuje strukturne barijere i predlaže ciljne mere za ubrzavanje ekspanzije ovog izvora energije. Sve predložene mere su podeljene u 5 prioriteta: Resursi i propisi, Tehnologija i dizajn, Obrazovanje i obuke, Finansiranje i Podizanje svesti.

Ključne reči – Plitka geotermalna energija, Obnovljivi izvori energije, Energetska tranzicija, Dunavski region

Abstract - Heating and cooling account for nearly half of Europe's final energy consumption, with approximately 75% still relying on fossil fuels. Decarbonisation of this sector is therefore critical for the continent's climate neutrality. This paper analyses the obstacles and possible pathways to broader implementation of shallow geothermal energy (SGE) utilisation in Danube region and in Serbia. The research was conducted for the purpose of producing a document titled Transnational Action Plan (TAP), which was developed within the framework of the Interreg Danube GeoHeCo project. Two major types of shallow geothermal energy exploitation are examined: (i) closed-loop and open-loop ground source heat pump systems exploiting shallow geological layers up to 400 m depth, and (ii) wastewater heat recovery systems using high-temperature water source heat pumps without additional drilling. Based on national geological, regulatory, and market data, the paper identifies structural barriers and proposes targeted measures for accelerating the deployment of this source of energy. All proposed measures are divided into 5 priorities: Resources and regulations; Technology and design; Education and training; Financing and Awareness raising.

Index Terms – Shallow geothermal energy, Renewable energy sources, Energy transition, Danube region

Analiza uticaja pasivnih mjera na energetske efikasnost objekta u crnoj gori primjenom paketa energy

Analysis of the impact of passive measures on the energy efficiency of buildings in montenegro using the energy + package

Jakša Draganić 1 , Boris Hrnčić 2 , Esad Tombarević 2 , Igor Vušanović 2

¹Agencija za projektovanje i planiranje, 813400 Nikšić, Crna Gora

²Univerzitet Crne Gore, Mmašinski fakultet, Cetinjski put br. 2, 81000 Podgorica, Crna Gora

Rezime Tema ovog rada je analiza uticaja pasivnih mjera na omotaču objekta i rješenja zasnovanih na prirodi (NBS) na energetske efikasnost stambene zgrade u Podgorici. Istraživanje je sprovedeno u uslovima mediteranske klime, koju karakterišu vruća ljeta i izražen rizik od pregrijavanja objekata. Analiza je zasnovana na primjeni dinamičke simulacije u softveru EnergyPlus, pri čemu je formiran referentni model objekta sa definisanim karakteristikama omotača objekta.

U okviru rada razmatrane su pojedinačne pasivne mjere energetske efikasnosti, uključujući promjene svojstava fasade, poboljšanje karakteristika prozora, zasjenjivanje objekta drvećem i primjenu zelenog krova. Rezultati simulacija pokazuju da se zasjenjivanje drvećem izdvaja kao najefikasnija mjera u pogledu smanjenja godišnje potrošnje energije, dok zeleni krov ostvaruje značajan dodatni efekat. Poboljšanja prozora imaju umjeren uticaj, dok promjene svojstava fasade doprinose najmanjem smanjenju energetske potrošnje.

Pored pojedinačnih mjera, analizirane su i kombinacije pasivnih rješenja, pri čemu je kombinacija zasjenjivanja drvećem i zelenog krova ostvarila najbolje rezultate u smislu neto smanjenja potrebne sekundarne energije. Dodatno, određene mjere doprinose poboljšanju termičkog komfora u nekondicioniranim prostorijama i smanjenju potrebne snage sistema grijanja i hlađenja, što potvrđuje da pasivne strategije predstavljaju održiv i isplativ pristup unapređenju energetske performansi stambenih objekata u Podgorici.

Ključne reči - Pasivne mjere, energetska efikasnost, Energy plus, omotač objekta, Dinamička simulacija

Abstract - The aim of this paper is to analyse the impact of passive measures applied to the building envelope and nature-based solutions (NBS) on the energy efficiency of a residential building located in Podgorica. The research was conducted under Mediterranean climate conditions, characterised by hot summers and a pronounced risk of building overheating. The analysis is based on the application of dynamic simulation using the EnergyPlus software, where a reference building model was developed with defined building envelope characteristics.

The study considers individual passive energy efficiency measures, including modifications of façade properties, improvements in window performance, tree-based shading and the implementation of a green roof. Simulation results indicate that tree-based shading represents the most effective measure in terms of reducing annual energy consumption, while the green roof provides a significant additional effect. Improvements in window characteristics show a moderate impact, whereas changes in façade properties contribute the least to the reduction of energy consumption.

In addition to individual measures, combinations of passive solutions were also analysed. The combination of tree-based shading and a green roof achieved the best results in terms of net reduction of required secondary energy. Furthermore, certain measures contribute to improved thermal comfort in non-conditioned spaces and to a reduction in the required capacity of heating and cooling systems, confirming that passive strategies represent a sustainable and cost-effective approach to enhancing the energy performance of residential buildings under the climatic conditions of Podgorica.

Index Terms - Passive measures, Energy efficiency, EnergyPlus, Building envelope, Dynamic simulation

Analiza mogućnosti primjene PSO algoritma za dugoročnu prognozu potrošnje električne energije za potrebe rada Elektro distributivnog sistema Regiona 5

Analysis of the possibility of applying the PSO algorithm for the long-term forecast of electricity consumption for the needs of the Electricity Distribution System of Region 5

Jelena Papović*, Snežana Čučković, ...**

CEDIS d.o.o. Podgorica

Rezime - Ovaj rad analizira primjenljivost i tačnost algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) za dugoročno prognožiranje potrošnje električne energije u Regionu 5 elektro distributivnog sistema. Razmotrena su tri scenarija obuke modela. U prvom scenariju, model je treniran korišćenjem broja stanovnika kao ulazne promjenljive, dok je ciljna promjenljiva bila ukupna potrošnja energije. PSO algoritam je primjenjen pod pretpostavkom da svi ostali faktori koji utiču na potrošnju ostaju konstantni. U drugom scenariju, meteorološki indikatori — prije svega temperatura — korišćeni su kao ulazna promjenljiva, pri čemu je ciljna promjenljiva ponovo bila potrošnja energije. Kako se tačnost prognoze generalno poboljšava sa povećanjem broja relevantnih ulaznih promjenljivih, razvijen je i treći scenario u kome je korišćeno više ulaznih promjenljivih, dok je ciljna promjenljiva ostala potrošnja energije.

Tačnost modela procijenjena je korišćenjem istog skupa podataka koji je upotrebljen za obuku. Izvršena je detaljna analiza dobijenih rezultata, kao i kratak pregled mogućnosti praktične primijene prognoze potrošnje zasnovanog na PSO algoritmu.

Ključne reči - PSO, prognoza potrošnje

Abstract - This paper analyzes the applicability and accuracy of the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm for long-term electricity consumption forecasting in Region 5 of the electricity distribution system. Three training scenarios were examined. In the first scenario, the model was trained using population size as the input variable and total energy consumption as the target variable. The PSO algorithm was applied under the assumption that all other factors influencing consumption remained constant. In the second scenario, meteorological indicators—primarily temperature—were used as the input variable, with energy consumption again serving as the target variable. Since forecast accuracy generally improves when multiple relevant variables are included, a third scenario was developed using a combination of several input variables, while the target variable remained energy consumption. Model accuracy was evaluated using the same dataset applied for training. The results were analyzed in detail, and a brief discussion of the potential practical applications of the PSO-based forecasting approach was provided.

Index Terms - PSO, consumption forecast

Techno-economic analysis of DG unit penetration, reconfiguration and capacitor placement in large scale distribution network with special regard to input power factor

Branko Stojanović*, Tomislav Rajić**, Darko Šošić**, Aleksa Alagić***

* Tehnički opitni centar, Beograd, Srbija

** Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija

*** Elektromreža Srbije a.d.

Abstract--With advent of renewables, distributed generation (DG), operating conditions in distribution networks change. There is not one direction power flow. Active power losses and voltage profile with DG proper penetration improved. But all technical characteristics are not better. One of them is input power factor. It ought to be in certain margins (between 1 and 0.85). Negative power factor means reverse power flow what can not be allowed. In presented study DG of unity power factor are placed optimally regarding active power losses. It is shown that network input power factor deteriorates by increasing value of DG. The solution is adding the shunt capacitor banks. However in reality when the load changes to Gaussian distribution, wind generators to Weibull, solar generators to insolation diagram situation is not bright. For optimally placed DG input power factor can not be improved not to endanger overcompensation for period of 1008 hours that was considered. Network reconfiguration with additional compensation of the 118 bus network is analysed. Problem is overcome with DGs of smaller value and with different position. Main contribution is realistic technically feasible scenario imposing less savings but with acceptable input power factor.

Index Terms--Distributed generation (DG), Gaussian distribution, input power factor, network reconfiguration, Weibull distribution.

Adaptive Overcurrent Protection in Inverter-Dominated Microgrids Considering Fault Ride-Through and Dynamic Operating Modes

Aleksej Zilovic*, Luka Strezoski**, Chad Abbey***

*Department for Power, Electronics, and Telecommunication Engineering, Faculty of Technical Sciences, University

**DerMag Consulting LLC, USA

***Quanta Technology, USA

Rezime – Sve veći udeo distribuiranih energetske resursa (DER) zasnovanih na inverterima (IBDER) u mikromrežama značajno menja prirodu i ponašanje sistema tokom trajanja kratkog spoja, pri čemu su struje kvara bliske nominalnim vrednostima. Pored toga, česti prelazi između režima povezanog na mrežu i ostrvskog režima rada, to čini tradicionalne šeme prekostrujne zaštite (*Over Current Protection – OCP*) nepouzdanim, što dovodi do nepravilnog delovanja zaštite, gubitka selektivnosti i kasnom uklanjanju kvarova. Dodatno, Fault Ride – Through (FRT) zahtevi omogućavaju IBDER jedinicama da tokom tačno definisanog vremenskog intervala održavaju ograničen doprinos struji kvara pre isključenja sa mreže, što dodatno komplikuje podešavanje zaštite.

U ovom radu se predstavlja adaptivna struktura prekostrujne zaštite koja dinamički prilagođava vrednosti za koje će zaštita da reaguje u zavisnosti od radnog režima mikromreže, kao i vremenskih intervala usklađenih sa očekivanim strujnim odzivom IBDER jedinica. Uvođenjem vremenskih intervala zasnovanih na FRT zahtevima, predloženi pristup omogućava pouzdano razlikovanje prolaznih i trajnih kvarova, uz očuvanje stabilnosti sistema. Preliminarne simulacione studije pokazuju značajna poboljšanja u osetljivosti detekcije i koordinaciji u poređenju sa fiksnim podešavanjem prekostrujne zaštite, što ukazuje na održivu osnovu za primenu u budućim šemama zaštite mikromreža u stvarnom životu.

Ključne reči – Prekostrujna zaštita, IBDER, Mikromreže, FRT zahtevi, Adaptivna zaštita u mikromrežama

Abstract - The increasing penetration of inverter-based distributed energy resources (IBDERs) in microgrids significantly alters short-circuit behavior, often resulting in fault currents that are comparable to nominal load levels. Combined with frequent transitions between grid-connected and islanded modes, this renders conventional overcurrent protection (OCP) schemes unreliable, leading to mis-operations, loss of selectivity, and delayed fault clearing. Additionally, Fault Ride – Through (FRT) requirements allow IBDERS to sustain limited current contribution for a defined time window before tripping, which further complicates protection settings.

This paper introduces an adaptive OCP framework that dynamically adjusts protection thresholds based on both the microgrid operating mode and time intervals aligned with expected IBDER current response. By incorporating FRT-driven time segmentation, the proposed approach allows reliable discrimination between transient and permanent faults, while preserving system stability. Preliminary simulation case studies demonstrate promising improvements in detection sensitivity and coordination when compared to fixed OCP settings, suggesting a viable foundation for implementation in future real-time microgrid protection schemes.

Index Terms – Overcurrent protection, IBDER, Microgrids, FRT requirements, Adaptive protection in microgrids

Primena mašinskog učenja u kratkoročnoj prognozi potrošnje u distribuciji električne energije

Application of Machine Learning in Short-Term Load Forecasting (STLF) for electricity distribution

Stevan Božić, Elektrodistribucija Srbije d.o.o , Beograd

Rezime - Za kratkoročnu prognozu potrošnje električne energije koriste se statičke metode i metode veštačke inteligencije i mašinskog učenja. U radu je predstavljena Random forest prognoza potrošnje jednog dela distributivne mreže. Random forest je algoritam mašinskog učenja koji formira nekoliko stotina stabala odlučivanja paralelno. Svako stablo se trenira na nasumično odabranom podskupu podataka. Rezultat prognoze je prosek svih pojedinačnih stabala. Pojedinačno stablo može postati previše “opsednuto” detaljima jednog specifičnog dana. Zato je pristup sa više stabala odlučivanja bolji, jer će uvažiti niz događaja i uvrstiti ih u prognozu. Kao rezultat takve analize imaćemo dijagram potrošnje koji će odgovarati satnim promenama potrošnje.

Ključne reči - Veštačka inteligencija, Mašinsko učenje, Random forest, prognoza potrošnje, dijagram potrošnje

Abstract - Efficient management of the distribution network and maintaining stability in the operation of the distribution network requires a more accurate forecast of future load. It is necessary to include complex, nonlinear and variable phenomena in consumption at the distribution network level. The model will be tested on real data from the medium-voltage network, using historical consumption data and meteorological data. It is precisely machine learning models that provide greater accuracy in the forecast compared to traditional statistical methods (which will not be discussed here). Accurate short-term consumption forecasting allows for better load distribution planning and more reliable network management. Input data will be taken from remote sensing systems that are currently available on the low-voltage network in the urban area. The analysis will be related to widespread consumption and the urban residential core of the selected area. Finally, the results obtained by applying one of the machine learning techniques will be directly comparable again with real measurements, taking into account the forecast of other input data that will be tested in the model.

Index Terms - electricity distribution network, electricity consumption, medium-voltage network, weather data, short-term forecast, input data for analysis.

Modelovanje prostiranja i lociranje izvora signala parcijalnih pražnjenja pri različitim opsezima učestanosti pobude u energetskom transformatoru korišćenjem UHF metode

Modelling propagation and locating the source of partial discharge signals at different excitation frequency ranges in a power transformer using the UHF method

Đorđe Dukanac

Akcionarsko društvo „Elektromreža Srbije“ Beograd, Kneza Miloša 11, 11000 Beograd, Srbija

Rezime - U ovom radu se, primenom različitih opsega učestanosti pobude (OUP-ova), modeluje prostiranje signala parcijalnih pražnjenja (PP-a) iz izvora (predajnika) u električnoj izolaciji energetskog transformatora ka četiri davača (prijemnika) ultravisoke učestanosti (UHF). Četiri prijemna signala sa UHF davača bila su neophodna da bi se dobile procenjene vrednosti mesta izvora za razne OUP-ove. Razmotrene su razlike u oblicima izlaznih i ulaznih signala pobude i njihovih amplitudnih spektara na izvoru PP-a simuliranom pomoću dipolne antene, kojom su simulirani i UHF davači. Detaljno se obrađuje i razmatra kako OUP-ovi izvora PP-a utiču na osobine pristiglih signala na davačima, kao što su: talasni oblici, slabljenje talasa, amplitudni spektri i posebno kašnjenja pristizanja amplituda prvih vrhova i ekstremnih vrednosti u prvim paketima talasa. Zatim su analizirani međusobni odnosi parametara signala na pojedinim davačima za razne OUP-ove. Parametri uticaja OUP-ova na prve vrhove signala posebno su važni za detaljno razmatranje u pogledu njihovog uticaja na procenjeno mesto izvora PP-a, određeno metodom prvog vrha. U odnosu na eksperimentalni model energetskog transformatora, složeni računarski model energetskog transformatora, izvora PP-a i četiri UHF davača odličan je pristup za simulacije prostiranja signala PP-a, procenu uticaja različitih OUP-ova na dobijene signale na davačima i izračunato mesto izvora. Međutim, nije samo položaj izvora PP-a odlučujući za procenu intenziteta signala PP-a snimljenih na UHF davačima i tačnost određivanja mesta izvora, već i OUP izvora PP-a, što je osnovni predmet razmatranja ovog rada.

Ključne reči - energetski transformator, izvor parcijalnih pražnjenja (PP-a), simulacioni model, opseg učestanosti pobude (OUP), razlika u vremenima prispeća (RUVF), ultravisoka učestanost (UHF).

Abstract - In this paper, by applying different excitation frequency ranges (EFRs), the propagation of partial discharge (PD) signals from the source (transmitter) in the electrical insulation of a power transformer to four ultra-high frequency (UHF) sensors (receivers) is modelled. Four received signals from the UHF sensors were necessary to obtain estimated source location values for the various EFRs. Differences in the forms of the output and input excitation signals and their amplitude spectra at the PD source, simulated by means of a dipole antenna with which UHF sensors were also simulated, were considered. How the EFRs of the PD source affect the properties of the incoming signals at the sensors—such as waveforms, wave attenuation, amplitude spectra, and especially delays in arrivals of amplitudes of the first peaks and extreme values in the first wave packets—is processed and considered in detail. Then, the mutual relationships of the signal parameters on individual sensors for various EFRs were analysed. The parameters of the influence of the EFR on the first peaks of the signal are particularly important to consider in detail regarding their influence on the estimated source location of the PD, determined by the first peak method. In relation to the experimental model of the power transformer, the complex computer model of the power transformer, PD source, and four UHF sensors is an excellent approach for simulations of PD signal propagation, assessment of the influence of different EFRs on the received signals at the sensors, and the calculated source location. However, it is not only the position of the PD source that is decisive for the assessment of the intensity of PD signals recorded on UHF sensors and the accuracy of determining the location of the source, but also the EFR of the source, which is the main subject of consideration in this paper.

Index Terms - power transformer, partial discharge (PD) source, simulation model, excitation frequency range (EFR), time difference of arrival (TDOA), ultra-high frequency (UHF).

Unapređenje tačnosti provere registara električne energije pametnih brojila korišćenjem novog postupka

Improving the Accuracy of Checking Electrical Energy Registers of Smart Meters Using a New Procedure

Đorđe Dukanac

Akcionarsko društvo „Elektromreža Srbije“ Beograd, Kneza Miloša 11, 11000 Beograd, Srbija

Rezime - U ovom radu predlaže se novi, metrološki pouzdaniji postupak za proveru registara električne energije (EE) pametnih brojila različitih klasa tačnosti u postupku overavanja brojila, u odnosu na one koji su propisani odgovarajućim važećim domaćim pravilnicima, međunarodnom preporukom OIML-a i SRPS IEC standardom. Podnosilac zahteva za overavanje brojila često postavlja kratke rokove za završetak overe i traži što nižu cenu overe, ne ulazeći u pouzdanost primenjenih metoda overe. U domaćim pravilnicima uvedene su čak četiri različite definicije za proveru registara aktivne EE klasa tačnosti A, B, C, 2, 1, 0,5S i 0,2S, uključujući i one reaktivne EE klasa tačnosti 2 i 3. Na primer, u domaćem Pravilniku o brojilima aktivne električne energije klase tačnosti 0,2S od 23.12.2016. godine propisano je poređenje zadate energije i energije očitane na registru brojila, uz kriterijum da relativna razlika bude manja od 1/10 NDG (najveće dozvoljene greške) brojila. Međutim, u kontrolnom telu „Elektromreža Srbije“, radi dobijanja rezultata u širem opsegu tolerancije, kao kriterijum se uzima NDG, a najmanje vreme ispitivanja se uzima prema istoj formuli iz Pravilnika. Tako se dobija jedna gruba, slabo pouzdana metoda čije je korišćenje prećutno podržano od strane nadzornog organa, tj. Direkcije za mere i dragocene metale. Novi postupak se zasniva na sinhronom merenju srednje slučajne greške i njenom posrednom uklanjanju iz ukupne greške registra, uz korišćenje strogog kriterijuma 1/10 NDG za relativnu grešku.

Ključne reči - električna energija (EE), ispitni (impulsni) izlaz, kontrolno telo (KT), provera registra EE, najveća dozvoljena greška (NDG), pametno brojilo EE.

Abstract - In this paper, a new, metrologically more reliable procedure is proposed for checking the electric energy (EE) registers of smart meters of different accuracy classes in the meter verification procedure, in relation to those prescribed by the corresponding valid domestic regulations and the international recommendation of the OIML and the SRPS IEC standard. The applicant for meter verification often sets short deadlines for the completion of the verification and requests the lowest possible verification price, without considering the reliability of the verification methods used. In domestic regulations, as many as four different definitions have been introduced for checking registers of active EE accuracy classes A, B, C, 2, 1, 0.5S, and 0.2S, including those of reactive EE accuracy classes 2 and 3. For example, in the domestic Rulebook on active electricity meters of accuracy class 0.2S from December 23, 2016, a comparison of the set energy and the energy read on the meter register is prescribed, with the criterion that the relative difference should be less than 1/10 of the MPE (maximum permissible error) of the meter. However, in the inspection body "Elektromreža Srbije", in order to obtain results in a wider range of tolerance, MPE is taken as a criterion, and the minimum test time is taken according to the same formula from the Rulebook. Thus, a rough, poorly reliable method is obtained, the use of which is tacitly supported by the supervisory authority, i.e., the Directorate for Measures and Precious Metals. The new procedure is based on synchronous measurement of the mean random error and its indirect removal from the total register error, using a strict 1/10 MPE criterion for relative error.

Index Terms - electrical energy (EE), test (pulse) output, inspection body (IB), smart EE meter, maximum permissible error (MPE), EE register check.

Tehnoekonomska analiza kompresionog i apsorpcionog sistema za solarno hlađenje

Techno-Economic Assessment of Compression and Absorption Systems for Solar-Driven Cooling

Marija VASILEV, Branislav PETROVIĆ, Miloš BANJAC

Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet

Rezime - U radu je prikazana tehnoekonomska analiza rada i sprovedeno poređenje dva rashladna postrojenja kojima je moguće ostvariti tzv. solarno hlađenje: kompresionog rashladnog postrojenja i apsorpcionog rashladnog postrojenja. Energija sunčevog zračenja predstavlja primarni energetski izvor za oba postrojenja. Razlike između sistema odnose se na način konverzije energije i princip ostvarivanja rashladnog procesa. Kod kompresionog rashladnog postrojenja solarna energija se konvertuje u električnu energiju primenom fotonaponskih prijemnika sunčeve energije, koja se zatim koristi za pogon kompresora. Kod apsorpcionog rashladnog postrojenja rashladni proces se ostvaruje korišćenjem toplote, koja se obezbeđuje pomoću termičkih prijemnika sunčeve energije. Radi obezbeđivanja uporedivosti rezultata, oba rashladna sistema analizirana su za istu nominalnu rashladnu snagu od 15 kW.

Ključne reči - solarno hlađenje, kompresioni rashladni sistem, apsorpcioni rashladni sistem, tehnoekonomska analiza

Abstract - This paper presents a techno-economic performance analysis and a comparison of two refrigeration systems capable of providing so-called solar cooling: a compression refrigeration system and an absorption refrigeration system. Solar radiation is considered the primary energy source for both systems. The differences between the systems arise from the energy conversion pathway and the principle by which the cooling process is achieved. In the compression refrigeration system, solar energy is converted into electrical energy using photovoltaic devices, which is subsequently used to drive the compressor. In the absorption refrigeration system, the cooling process is achieved using thermal energy supplied by solar thermal collectors. To ensure comparability of the results, both refrigeration systems are analyzed for the same nominal cooling capacity of 15 kW.

Index Terms - solar-driven cooling, vapor compression refrigeration system, absorption refrigeration system, techno-economic analysis

Matematički modeli termo-energetskog ponašanja zgrada

Mathematical models of building thermal-energy behaviour

Miloš BANJAC, Sandra KOVAČEVIĆ, Branislav PETROVIĆ, Mirko KOMATINA

Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet

Rezime - Modeliranje ponašanja zgrada predstavlja osnovni alat za analizu, projektovanje i upravljanje energetskim performansama savremenih zgrada. Različiti modeli, razvijeni u zavisnosti od svrhe primene, razlikuju se po nivou fizičke detaljnosti, načinu dobijanja parametara i računskoj složenosti. U ovom radu dat je pregled najčešće korišćenih modela za simulaciju ponašanja zgrada, sa posebnim osvrtom na podelu na modele crne, sive i bele kutije. Prikazane su njihove osnovne karakteristike, matematička osnova, tipične oblasti primene, kao i prednosti i ograničenja. Posebna pažnja posvećena je ulozi modela sive kutije kao kompromisa između fizičke razumljivosti i praktične primene u kontekstu pametnih zgrada i sistema upravljanja.

Ključne reči - modeliranje termičkog ponašanja zgrada; simulacija energetskih performansi; RC modeli; modeli sive kutije

Abstract - Modeling of building behavior represents a fundamental tool for the analysis, design, and management of the energy performance of modern buildings. Different models, developed depending on their intended application, vary in terms of the level of physical detail, parameter identification methods, and computational complexity. This paper provides an overview of the most commonly used models for simulating building behavior, with particular emphasis on the classification into black-box, grey-box, and white-box models. Their main characteristics, mathematical foundations, typical application areas, as well as advantages and limitations are presented. Special attention is devoted to the role of grey-box models as a compromise between physical interpretability and practical applicability in the context of smart buildings and energy management systems.

Index Terms - thermal behaviour modelling of buildings; energy performance simulation; RC models; grey-box models

Matematički modeli prenosa toplote i vlage kroz sistem zelenog krova

Mathematical models of heat and moisture transfer through a green roof system

Branislav PETROVIĆ, Srđan OTOVIĆ, Miloš BANJAC

Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, bpetrovic@mas.bg.ac.rs

Rezime - U početku iz estetsko-dizajnerskih razloga, a kasnije i zbog efekta poboljšanja kvaliteta vazduha, upotreba vegetativnih krovnih pokrivki, tj. tzv. zelenih krovova, postala je opšte prihvaćeni koncept savremene arhitekture. Istovremeno, ostvarivanje efekata ublažavanja pojave termičkih ostrva, smanjivanje potreba za energijom za grejanje, odnosno za hlađenje objekata, doprineli su da ponašanje ovih biosistema, odnosno efekata koje ove krovne pokrivke ostvaruju kao toplotno izolacioni materijali i kao ponori CO₂, postane i predmet termodinamičkih analiza.

U letnjem periodu, pored direktnog pozitivnog efekta zelenog krova na energetska svojstva objekta, koji kao dodatni izolacioni sloj stvara povećanjem otpora provođenju toplote, vegetacija na krovu objekta direktno utiče na smanjenje dobitaka toplote tako što apsorbira kratkotalasno Sunčevo zračenje, a posredno i tako što snižava temperaturu površine krova koja se nalazi u senci vegetacije. Istovremeno, smanjenje toplotnog opterećenja ostvaruje se usled efekta evapotranspiratornog hlađenja u sloju tla i vegetacije.

U cilju određivanja egzaktnog uticaja vegetativnih krovova na toplotno opterećenje zgrade razvijeni su i odgovarajući, relativno kompleksni matematički modeli kojima se opisuje prenošenje toplote i vlage kroz ove biosisteme. Kompleksnost ovih modela proističe iz velikog broja uticajnih parametara i promenljivih veličina kao što su intenzitet Sunčevog zračenja, evapotranspiracija u zavisnosti od sadržaja vlage u slojevima, različita struktura i debljina slojeva, razmena toplote konvekcijom u funkciji odgovarajućih temperatura i brzine vetra, razgranatost i vrsta vegetacije i drugo.

Sa namerom kontrolisanog upravljanja efektima koji se ostvaruju zelenim krovovima, u ovom radu dat je prikaz i analiza najznačajnijih i najčešće korišćenih matematičkih modela koji opisuju njihovo ponašanje, sa posebnim osvrtom na kvalitet pretpostavljenih energetskih bilansa, kao i sličnosti i razlike između ovih modela.

Ključne reči - zeleni krov, prenošenje toplote i vlage, evapotranspiratorno hlađenje, toplotni bilansi

Abstract - Initially for aesthetic and design reasons, and later due to the effect of improving air quality, the use of vegetative roof coverings, i.e. so-called green roofs, has become a widely accepted concept in contemporary architecture. At the same time, achieving the effects of mitigating the phenomenon thermal islands, reducing energy demands for heating, or for cooling of buildings, contributed to the behavior of these biosystems, specifically the effects these roof coverings achieve as thermal insulation materials and CO₂ sinks, become a subject of thermodynamic analyses.

In the summer period, in addition to the direct positive effects on the building's energy properties, green roof as an additional insulating layer increases resistance to heat conduction, the vegetation on the building's roof directly influences the reduction of heat gains by absorbing shortwave solar radiation. Indirectly, it also lowers the temperature of the roof surface which is in the shade of the vegetation. At the same time, the reduction of heat load is achieved through the effect of evapotranspirative cooling in the layer of soil and vegetation.

In order to determine the exact influence of vegetative roofs on the heat load of building, appropriate, relatively complex mathematical models describing the transfer of heat and moisture through these biosystems have been developed. The complexity of these models arises from the large number of influencing parameters and variables, such as the intensity of solar radiation, evapotranspiration depending on the moisture content in the layers, different structure and thickness of layers, heat exchange by convection as a function of corresponding temperatures and wind speed, branching and type of vegetation, etc.

With the aim of controlled management of the effects achieved by green roofs, this paper provides an overview and analysis of the most significant and commonly used mathematical models describing their behavior, with a special focus on the quality of assumed energy balances, as well as the similarities and differences between these models.

Index Terms - green roof, heat and moisture transfer, evapotranspiration cooling, energy balance

Eksperimentalno određivanje dinamičkih termičkih svojstava zgrade

Experimental determination of the dynamic thermal properties of a building

Miloš BANJAC, Sandra KOVAČEVIĆ

Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet

Rezime - Efektivni toplotni otpor R_{eff} i efektivni toplotni kapacitet C_{eff} predstavljaju ključne parametre za opis termodinamičkog ponašanja zgrada, posebno u uslovima promenljivih spoljašnjih uslova i naprednih sistema upravljanja. U ovom radu predstavljena je eksperimentalna metodologija za njihovo pouzdano određivanje. Metodologija se zasniva na kontrolisanom unosu toplote i analizi vremenskog odziva unutrašnje temperature zgrade, pri čemu se zgrada modeluje kao dinamički sistem opisan najjednostavnijim 1R-1C modelom. Prikazane su matematičke osnove metode, analitička rešenja za tipične pobude i postupak identifikacije efektivnih parametara. Posebna pažnja usmerena je na ulogu efektivnog toplotnog kapaciteta i ograničenja kvazistacionarnih proračunskih metoda, kod kojih se uticaj termičke mase uvodi posredno. Rezultati pokazuju da ova metoda omogućava direktno i na fizičkim principima zasnovano određivanje dinamičkih termičkih karakteristika postojećih zgrada, što ga čini pogodnim alatom za energetske analize, verifikaciju mera energetske efikasnosti i unapređenje sistema upravljanja.

Ključne reči - efektivni toplotni otpor, efektivni toplotni kapacitet, RC model, dinamičko ponašanje zgrade, termički odziv

Abstract - The effective thermal resistance R_{eff} and the effective thermal capacitance C_{eff} represent key parameters for describing the thermodynamic behavior of buildings, particularly under varying external conditions and in the presence of advanced energy management systems. This paper presents an experimental methodology for their reliable determination. The methodology is based on a controlled heat input and the analysis of the time response of the indoor temperature, with the building modeled as a dynamic system described by an equivalent 1R-1C model. The mathematical foundations of the method, analytical solutions for typical excitations, and the procedure for identifying the effective parameters are presented. Special emphasis is placed on the role of the effective thermal capacitance and on the limitations of quasi-steady-state calculation methods, in which the influence of thermal mass is introduced indirectly. The results demonstrate that the proposed method enables a direct and physically based determination of the dynamic thermal characteristics of existing buildings, making it a suitable tool for energy analysis, verification of energy efficiency measures, and improvement of energy management systems.

Index Terms - effective thermal resistance, effective thermal capacitance, RC model, building thermal dynamics, thermal response

Analiza postojećeg stanja i razvojni potencijali sistema daljinskog grejanja u Srbiji

Analysis of the current state and development potential of district heating systems in Serbia

Danijela Srećković*, Mirko Komatina**, Miloš Banjac**

* eCon Engineering Kft, Budimpešta, Mađarska

** Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet

Rezime - Sistemi daljinskog grejanja (SDG) zauzimaju značajno mesto u energetsom sektoru Republike Srbije, posebno sa stanovišta potrošnje energije. U skladu sa razvojem urbanih sredina i povećanjem broja korisnika priključenih na SDG, beleži se stalan rast energetske potražnje. Sagledano je postojeće stanje ovih sistema, identifikovani su ključni problemi i definisani pravci njihovog unapređenja. Sprovedena je svebuhvatna analiza sistema daljinskog grejanja u Srbiji, sa posebnim osvrtom na toplotne izvore i primarnu distributivnu mrežu. Analiza obuhvata starost sistema, njihovo tehničko stanje, stepen korisnosti, kao i strukturu korišćenih energenata. Rezultati pokazuju da su postojeći toplotni izвори u sistemima daljinskog grejanja u Republici Srbiji, po pravilu, energetske neefikasni i ekološki neprihvatljivi. Razmotrene su mogućnosti za smanjenje energetske intenziteta i emisije gasova sa efektom staklene bašte primenom hibridnih sistema sa više izvora energije, od kojih je barem jedan izvor energije obnovljiv. Na osnovu sagledavanja opštih potencijala Republike Srbije u ovoj oblasti, kao i analize primera dobre prakse iz savremenih sistema daljinskog grejanja zemalja Evropske unije, predložena su alternativna rešenja prilagođena specifičnostima lokacija i tehničkom stanju analiziranih postrojenja, uz smernice za povećanje energetske efikasnosti i održivosti SDG.

Ključne reči - sistemi daljinskog grejanja (SDG), toplotni izvori, obnovljivi izvori energije (OIE).

Abstract - District Heating Systems (DHS) occupy a significant position in the energy sector of the Republic of Serbia, particularly from the perspective of energy consumption. In line with urban development and increasing energy demand, the number of users connected to DHS is recording steady growth. It is essential to conduct a detailed assessment of the current state of these systems, identify key issues, and define directions for their improvement. This paper provides a comprehensive analysis of district heating systems in Serbia, with a specific focus on heat sources and the primary distribution network. The analysis covers system age, technical condition, efficiency rates, and the structure of energy sources used. Results indicate that existing heat sources in the Republic of Serbia's district heating systems are generally energy-inefficient and environmentally unacceptable. Opportunities for reducing energy intensity and greenhouse gas emissions through the implementation of renewable energy sources and hybrid systems are examined. Based on an evaluation of Serbia's general potential in this field, as well as an analysis of best practices from modern district heating systems in European Union countries, alternative solutions tailored to specific locations and the technical state of the analyzed facilities are proposed, alongside guidelines for increasing the energy efficiency and sustainability of DHS.

Index Terms - district heating systems (DHS), heat sources, renewable energy sources (RES).

Pregled mogućnosti i ograničenja primene pete generacije daljinskog grejanja i hlađenja u energetsom sistemu Republike Srbije

A Review of the Opportunities and Limitations of Implementing Fifth-Generation District Heating and Cooling in the Energy System of the Republic of Serbia

Mina Mirović*, prof. dr Mirko Komatina 2**, prof. dr Miloš Banjac 3***

* Altera ECD, Vojvodanska 12, Beograd

** Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Kraljice Marije 16, Beograd

*** Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Kraljice Marije 16, Beograd

Rezime - Peta generacija sistema daljinskog grejanja i hlađenja (5GDH) predstavlja savremeni koncept energetske infrastrukture koji ima ključnu ulogu za transformaciju sistema grejanja i hlađenja u zgradama u kontekstu savremenih energetskih efikasnih i ekološki održivih rešenja. Sistemi se zasnivaju na primeni niskotemperaturnih obnovljivih izvora energije i iskorišćenju raspoloživog toplotnog potencijala, integrisanih u decentralizovanu distributivnu mrežu. U Republici Srbiji trenutno dominiraju centralizovani visokotemperaturni sistemi daljinskog grejanja, koje karakterišu velike distributivne udaljenosti, značajni gubici toplotne energije, visoka potrošnja primarne energije i nepovoljni ekološki pokazatelji. Takva struktura sistema nameće potrebu za postepenom transformacijom ka decentralizovanim i niskotemperaturnim rešenjima, u cilju povećanja energetske efikasnosti i smanjenja emisija zagađujućih materija. U radu su prikazana iskustva razvijenih evropskih zemalja u primeni sistema daljinskog grejanja i hlađenja pete generacije (5GDH), sa posebnim osvrtom na tehnička, energetska i organizaciona rešenja koja omogućavaju njihovu implementaciju. Na osnovu uporedne analize razmatra se mogućnost primene ovih koncepata na buduće objekte i nove urbane zone na teritoriji Srbije. Pored isticanja tehničkih prednosti, kao što su smanjeni distributivni gubici, povećan sezonski koeficijent performansi i unapređena integracija obnovljivih izvora energije, rad kritički sagledava i ograničavajuće faktore koji usporavaju širu primenu 5GDH sistema. Rezultati ukazuju na značajan dugoročni potencijal unapređenja energetske efikasnosti i smanjenje negativnog uticaja sistema daljinskog grejanja na životnu sredinu kroz postepenu tranziciju ka sistemima pete generacije.

Ključne reči - peta generacija sistema daljinskog grejanja i hlađenja (5GDH), obnovljivi izvori energije, energetska efikasnost, sistemi daljinskog grejanja

Abstract - Fifth-generation district heating and cooling (5GDH) systems represent an advanced energy infrastructure concept that plays a key role in the transformation of building heating and cooling systems within the framework of contemporary energy-efficient and environmentally sustainable solutions.

Systems are based on the utilization of low-temperature renewable energy sources and the exploitation of available thermal potential, integrated within a decentralized distribution network. In the Republic of Serbia, centralized high-temperature district heating systems currently prevail, characterized by long distribution distances, significant thermal losses, high primary energy consumption, and unfavorable environmental performance indicators. Such a system configuration necessitates a gradual transition toward decentralized and low-temperature solutions in order to enhance overall energy efficiency and reduce pollutant emissions. This paper presents experiences from developed European countries in the implementation of fifth-generation district heating and cooling systems (5GDH) systems, with particular emphasis on the technical, energy related and organizational solutions that enable their successful deployment. Based on a comparative analysis, the feasibility of applying these concepts to future buildings and new urban development zones in Serbia is analyzed. In addition to highlighting technical advantages, such as reduced distribution losses, increased seasonal coefficient of performance, and enhanced integration of renewable energy sources, the paper also critically assesses the limiting factors that hinder the wider adoption of 5GDH systems. The results indicate a significant long-term potential for improving energy efficiency and reducing the environmental impact of district heating systems through a gradual transition toward fifth-generation solutions.

Index Terms - fifth-generation district heating and cooling (5GDH), renewable energy sources, energy efficiency, district heating systems

Energetski i ekološki aspekti retrofita zgrada

Energy and environmental aspects of building retrofits

Sandra Lj. Kovačević, Mirko S. Komatina, Miloš J. Banjac

Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet

Rezime - U Evropi većinu postojećeg stambenog fonda zgrada čine energetski neefikasni objekti. Godišnja stopa njihove energetske sanacije nije dovoljna da omogući ostvarenje energetskih i klimatskih ciljeva Evropske unije, odnosno transformaciju građevinskog sektora ka energetski efikasnim i niskougljeničnim sistemima. Slična situacija prisutna je i u Srbiji, gde je najveći deo stambenog fonda izgrađen u periodu kada energetski standardi nisu bili jasno definisani ili uopšte nisu postojali, što je rezultiralo lošim termičkim karakteristikama objekata i zastarelim tehničkim sistemima. Parcijalne sanacije, koje se često primenjuju u praksi, ne omogućavaju ostvarenje punog potencijala uštede energije niti značajno smanjenje emisije zagađujućih materija. Polazeći od navedenih ograničenja, u radu su analizirani energetski i ekološki aspekti energetskog retrofita zgrada, kako na nivou pojedinačnih objekata, tako i na nivou stambenih naselja, sa posebnim fokusom na arhitektonsko-građevinske mere, modernizaciju unutrašnjih tehničkih sistema, pre svega sistema grejanja, kao i integraciju obnovljivih izvora energije. Posebna pažnja posvećena je primeni hibridnih energetskih sistema, prelasku na niskotemperaturne režime grejanja, gde je to tehnički izvodljivo i smanjenju potrošnje primarne energije, čime se indirektno smanjuje i emisija zagađujućih materija.

Ključne reči - energetski retrofit, energetska efikasnost, obnovljivi izvori energije, hibridni sistemi grejanja, emisije zagađujućih materija

Abstract - The majority of the existing building stock in Europe is energy-inefficient. The annual energy renovation rate is not sufficient to enable the achievement of the energy and climate goals of the European Union, i.e., the transformation of the construction sector towards energy-efficient and low-carbon systems. A similar situation is present in Serbia, where a large number of buildings were constructed during a period when energy standards were not clearly defined or did not exist at all, which resulted in poor thermal characteristics of buildings and outdated technical systems. Partial renovations, which are often applied in practice, do not enable the achievement of the full energy-saving potential nor a significant reduction in pollutant emissions. Starting from these limitations, the paper analyzes the energy and environmental aspects of building energy retrofits, both at the level of individual buildings and at the level of residential neighborhoods, with a particular focus on architectural and building measures, the modernization of internal technical systems, primarily heating systems, as well as the integration of renewable energy sources. Special attention is devoted to the application of hybrid energy systems, the transition to low-temperature heating regimes, where technically feasible, and the reduction of primary energy consumption, thereby indirectly reducing pollutant emissions.

Index Terms - building retrofit, energy efficiency, renewable energy, hybrid heating systems, pollutant emissions

Oporezivanje ugljenika kao alat klimatske politike: moguće implikacije za Srbiju i Zapadni Balkan

Carbon pricing as a climate policy instrument: potential implications for Serbia and the Western Balkans

*Nemanja Lojanica, **Dejan Molnar

*Ekonomski fakultet, Univerzitet u Kragujevcu, **Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu

Apstrakt: Porez na ugljenik i povezani instrumenti klimatske politike, poput Mehanizma za prekogranično prilagođavanje cene ugljenika (CBAM), imaju izražen globalni karakter i značajne prekogranične efekte koji prevazilaze područje Evropske unije (EU). Iako su pomenuti mehanizmi prvenstveno usmereni na smanjenje emisija gasova sa efektom staklene bašte i sprečavanje “curenja” ugljenika, njihovi ekonomski efekti na trgovinske partnere EU, naročito zemlje u razvoju, još uvek su nedovoljno istraženi. Ovaj rad analizira makroekonomske i trgovinske implikacije uvođenja CBAM-a i poreza na ugljenik, sa posebnim fokusom na zemlje Zapadnog Balkana i Republiku Srbiju.

Empirijska i komparativna analiza ukazuju na to da stepen izloženosti CBAM merama značajno varira među zemljama izvoznicama. Zemlje Zapadnog Balkana, zbog snažne trgovinske povezanosti sa EU i izvozne strukture koju karakteriše visoka karbonska intenzivnost, spadaju među najizloženije, kako u ekonomskom, tako i u širem socijalnom smislu. Kada je u pitanju Srbija, potencijalni efekti preliivanja bi mogli proizaći usled pogoršanja trgovinskog bilansa, pritiska na konkurentnost izvoza i ograničenih fiskalnih i tehnoloških kapaciteta za sprovođenje ubrzane dekarbonizacije. Rezultati rada ukazuju da CBAM može produbiti postojeće razlike između razvijenih i zemalja u razvoju, povećati nejednakost u raspodeli dohotka i otežati ostvarivanje održivog ekonomskog rasta u zemljama sa nižim nivoima dohotka. Potreba da se obezbedi pravedna tranzicija ka niskougljeničnoj privredi, dodatno ukazuje na neophodnost da supranacionalne institucije preuzmu aktivniju ulogu u procesu ublažavanja potencijalnih negativnih efekata klimatskih politika na manje razvijene zemlje, posebno u oblastima kao što su međunarodna trgovina, privredni rast i dugoročna stabilnost.

Ključne reči: Klimatska politika, CBAM, međunarodna trgovina, Zapadni Balkan, Srbija

Abstract (Serbian (Cyrillic or Latin)): Carbon taxation and related climate policy instruments, such as the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), have a pronounced global character and generate significant cross-border effects that extend beyond the European Union (EU). Although these mechanisms are primarily aimed at reducing greenhouse gas emissions and preventing carbon leakage, their economic effects on the EU's trading partners—particularly developing countries—remain insufficiently explored. This paper analyzes the macroeconomic and trade implications of the introduction of the CBAM and carbon taxation, with a particular focus on the Western Balkan countries and the Republic of Serbia.

Empirical and comparative analysis indicates that the degree of exposure to CBAM measures varies considerably across exporting countries. Due to their strong trade integration with the EU and an export structure characterized by high carbon intensity, Western Balkan countries rank among the most exposed, both in economic terms and in a broader social sense. In the case of Serbia, potential spillover effects may arise from a deterioration of the trade balance, increased pressure on export competitiveness, and limited fiscal and technological capacities to implement accelerated decarbonization.

The results suggest that the CBAM may deepen existing disparities between developed and developing countries, increase income inequality, and hinder the achievement of sustainable economic growth in lower-income economies. The need to ensure a just transition toward a low-carbon economy further highlights the importance of a more active role for supranational institutions in mitigating the potential adverse effects of climate policies on less developed countries, particularly in areas such as international trade, economic growth, and long-term stability.

Keywords: Climate policy, CBAM, international trade, Western Balkans, Serbia

Savremeni pristupi modeliranju ekonomskih procesa u energetsom sektoru

Contemporary approaches to modeling economic processes in the energy sector

Nemanja Backović*

* Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade

Rezime - U radu se analizira značaj savremenih pristupa modeliranju ključnih ekonomskih procesa u okviru energetske tranzicije. Kroz komparativan prikaz metodoloških osnova energetske modeliranja prikazani su specifični pristupi tretiranju procesa poput analize podataka iz sistema nacionalnih računa, formiranja cena energenata, procene nivelisanih cena električne energije, uticaja investicionih odluka na strukturu troškova elektrana, uticaja strategije dekarbonizacije na ekonomski razvoj i drugih pokazatelja. Poseban akcenat je na pregledu kapaciteta energetske modeliranja da sprovedu adekvatno istraživanje efekata strukturnih promena ekonomije i sektorske realokacije, u kontekstu razvojnog potencijala energetske modeliranja. U radu se razmatra i kako se nelinearne ekonomske pretpostavke mogu sistematski integrisati u energetske modele.

Fokus rada je na uporednom pregledu tehnoloških mogućnosti bottom-up, top-down i hibridnih energetske modeliranja da uključe ekonomske procese u sveobuhvatnu analizu energetske transformacije na dugi vremenski rok. U radu se identifikuje i koji ekonomski parametri nisu sastavni deo standardnih modela i koje izmene bi omogućile definisanje endogenih ekonomskih varijabli. U radu je dat predlog smernica za izbor adekvatnog okvira energetske modeliranja u zavisnosti od ekonomskih procesa koje je potrebno analizirati.

Ključne reči - energetske modeli, ekonomski procesi, strukturne promene ekonomije

Abstract - This paper analyzes the importance of modern approaches to modeling key economic processes within the energy transition. Through a comparative overview of the methodological bases of energy models, specific approaches to the treatment of processes such as the analysis of data from the system of national accounts, the formation of energy prices, the estimation of levelized cost of electricity, the impact of investment decisions on the structure of power plant costs, the impact of the decarbonization strategy on economic development, and other indicators are presented. Particular emphasis is placed on reviewing the capacity of energy models to conduct adequate research on the effects of structural changes in the economy and sectoral reallocation in the context of the development potential of the energy sector. The paper also discusses how nonlinear economic assumptions can be systematically integrated into energy models.

The focus of the paper is on a comparative review of the technological possibilities of bottom-up, top-down, and hybrid energy models to include economic processes in a comprehensive analysis of energy transformation in the long term. The paper also identifies which economic parameters are not an integral part of standard models and which changes would allow the definition of endogenous economic variables. The paper provides a proposal for guidelines for the selection of an appropriate energy model framework depending on the economic processes that need to be analyzed.

Index Terms - energy models, economic processes, structural changes in the economy

Integrisanje ekoloških i ekonomskih aspekata održivog upravljanja otpadnim vodama u Republici Srbiji

Integrating Environmental and Economic Aspects of Sustainable Wastewater Management in Serbia

Milica Radojković*, Milena Rikalović**

* Singidunum University, Belgrade

** Singidunum University, Belgrade

Rezime - Održivo upravljanje otpadnim vodama predstavlja ključnu komponentu zaštite životne sredine i održivog razvoja, posebno u zemljama u razvoju, koje se često suočavaju sa značajnim infrastrukturnim i institucionalnim izazovima. Neadekvatno prečišćavanje otpadnih voda dovodi do degradacije životne sredine, rizika po javno zdravlje i dugoročnih ekonomskih gubitaka, što ukazuje na potrebu za integrisanim pristupima u ovoj oblasti. U radu se razmatra međusobna povezanost ekoloških i ekonomskih aspekata održivog upravljanja otpadnim vodama, sa posebnim fokusom na Republiku Srbiju. Istraživanje se zasniva na kvalitativnoj analizi relevantne naučne literature, dokumenata javnih politika i strateških okvira na nivou Evropske unije i nacionalnom nivou. Ekološki uticaji analizirani su kroz indikatore koji se odnose na kvalitet vode, zaštitu ekosistema i smanjenje zagađenja, dok ekonomski aspekti obuhvataju investicione troškove, operativne rashode i dugoročne socioekonomske koristi. Rezultati ukazuju na to da je Srbija ostvarila određeni napredak u usklađivanju regulatornog okvira sa evropskim standardima, ali da i dalje postoje značajni izazovi u pogledu razvoja infrastrukture, mehanizama finansiranja i institucionalnih kapaciteta. Pored toga, na osnovu dostupnih podataka, u radu su date preporuke usmerene ka unapređenju sprovođenja politika i podršci ciljevima održivog razvoja, koje se odnose na tehnologije prečišćavanja, ponovnu upotrebu otpadnih frakcija i racionalno korišćenje resursa.

Ključne reči - održivo upravljanje otpadnim vodama; zaštita životne sredine; ekonomski aspekti; održivi razvoj; Srbija

Abstract - Ensuring environmentally sound wastewater treatment is increasingly recognised as a strategic prerequisite for sustainable development and environmental integrity. The urgency of this issue is particularly evident in developing and transition countries, where structural deficiencies and limited institutional capacity continue to impede systematic progress. This paper examines the interconnection between environmental and economic aspects of sustainable management in this field, with a specific focus on Serbia. The study is based on a qualitative analysis of relevant scientific literature, policy documents, and strategic frameworks at the European Union and national levels. Environmental impacts are analysed through indicators related to water quality, ecosystem protection, and pollution reduction, while economic aspects include investment costs, operational expenses, and long-term socio-economic benefits. The findings indicate that although Serbia has made progress in aligning its regulatory framework with European standards, significant challenges remain regarding infrastructure development, financing mechanisms, and institutional capacity. Additionally, based on available data, the study provides recommendations aimed at improving policy implementation and supporting sustainable development goals directed to treatment technology, reuse of the waste fraction, and rational resource consumption.

Index Terms - sustainable wastewater management; environmental protection; economic aspects; sustainable development; Serbia

Uticaj volatilnosti cena električne energije na investicije u obnovljive izvore (OIE)

The Impact of Electricity Price Volatility on Investments in Renewable Energy Sources (RES)

Marko Vučković, Milica Vujisić

NIS a.d. Novi Sad

Apstrakt: Uticaj volatilnosti cena električne energije na investicije u obnovljive izvore energije (OIE) postaje jedno od ključnih pitanja u savremenoj energetskej tranziciji. Dinamična kretanja cena, izazvana rastućim udelom vetra i sunca u proizvodnom miksu, promenama u potražnji i geopolitičkim faktorima, direktno utiču na finansijsku održivost novih projekata i na strategije investitora. Volatilnost tržišta stvara prilike za dodatne prihode, ali istovremeno povećava rizike i otežava planiranje povrata kapitala, pa se investicije u OIE sve više oslanjaju na sofisticirane modele upravljanja rizikom i fleksibilne poslovne aranžmane. Rad će obraditi problematiku pojave negativnih cena električne energije, koje nastaju u uslovima viškova proizvodnje i ograničenja mreže, i koje značajno utiču na prihode proizvođača iz OIE. Poseban fokus biće na konceptu „capture price rate“ za ključne tehnologije vetra i sunca, koji pokazuje razliku između tržišne cene i stvarno ostvarene cene proizvođača, a time i direktno utiče na ekonomsku logiku novih investicija. Analiziraće se i kretanje troškova kompletnog tehnološkog lanca OIE projekata, uključujući analizu cenovnih kretanja ključnih komponenti za proizvodnju turbina i fotonaponskih modula, troškove balansiranja i integracije u mrežu, kao i operativne troškove održavanja tokom životnog veka ovih energetskih postrojenja.

Razmatraće se različiti načini obezbeđenja prihoda projekata: PPA ugovori (Power Purchase Agreements) kao dugoročni instrumenti za stabilizaciju prihoda, CFD mehanizmi (Contracts for Difference) koji obezbeđuju zaštitu od volatilnosti, merchant modeli zasnovani na tržišnim osnovama, kao i hibridni pristupi koji kombinuju ugovornu sigurnost sa tržišnim plasmanom. Biće analizirano kako ovi modeli utiču na odluke investitora, na strukturu finansiranja i na sposobnost projekata da opstanu u uslovima visokih oscilacija cena.

Ključne reči: Investicioni rizik i poslovni modeli, Volatilnost cena električne energije, Tržišni i ugovorni mehanizmi prihoda, Cost-benefit analiza, Obnovljivi izvori energije (OIE)

Abstract: The impact of electricity price volatility on investments in renewable energy sources (RES) has become one of the key issues in the contemporary energy transition. Dynamic price movements, driven by the increasing share of wind and solar in the generation mix, changes in demand, and geopolitical factors, directly affect the financial sustainability of new projects and investor strategies. Market volatility creates opportunities for additional revenues but simultaneously increases risks and complicates capital return planning, which is why investments in RES increasingly rely on sophisticated risk management models and flexible business arrangements. The paper will address the issue of negative electricity prices, which occur in situations of production surpluses and grid constraints, and which significantly affect the revenues of RES producers. Special attention will be given to the concept of the capture price rate for key technologies such as wind and solar, which highlights the difference between the market price and the actual realized price for producers, thereby directly influencing the economic logic of new investments. The analysis will also cover cost trends across the entire technological chain of RES projects, including the decline in turbine and photovoltaic module prices, balancing and grid integration costs, as well as operational expenses related to maintenance and plant lifetime. Different mechanisms for securing project revenues will be examined: Power Purchase Agreements (PPAs) as long-term instruments for revenue stabilization, Contracts for Difference (CFDs) providing protection against volatility, merchant models based on market fundamentals, and hybrid approaches that combine contractual security with market exposure. The paper will analyze how these models influence investor decisions, financing structures, and the ability of projects to remain viable under conditions of high price fluctuations.

Keywords: Renewable Energy Sources (RES), Investment risk and business models, Electricity price volatility, Market and contractual revenue mechanisms, Cost-benefit analysis

Ekonomska isplativost baterijskih sistema za skladištenje energije u uslovima visoke volatilnosti tržišta električne energije

Economic Viability of Battery Energy Storage Systems under High Electricity Market Volatility

Marko Vučković, Milica Vujisić

NIS a.d. Novi Sad

Apstrakt: Rastuća volatilnost cena električne energije, izazvana povećanim udelom obnovljivih izvora energije i promenama u potražnji, značajno utiče na stabilnost elektroenergetskih sistema i tržišta. U tom kontekstu, baterijski sistemi za skladištenje energije (Battery Energy Storage Systems – BESS) prepoznaju se kao ključni element koji može doprineti povećanju fleksibilnosti u srednjem roku, smanjenju cenovnih oscilacija i efikasnijoj integraciji OIE. Međutim, pitanje njihove ekonomske isplativosti i dalje ostaje otvoreno, naročito u uslovima visokih inicijalnih investicija i tržišne neizvesnosti.

Cilj ovog rada je da ispita ekonomsku opravdanost ulaganja u baterijske sisteme za skladištenje energije u uslovima visoke volatilnosti tržišta električne energije, sa posebnim fokusom na različite konfiguracije biznis-modela i njihov uticaj na finansijsku održivost projekata. Rad analizira da li BESS sistemi mogu biti profitabilni isključivo na tržišnim osnovama na primerima cenovnih kretanja relevantnih energetske Evropskih tržišta električne energije, bez oslanjanja na direktne i ostale mehanizme podsticaja.

Ključne reči: Sistemi baterijskog skladištenja energije (BESS), Volatilnost tržišta električne energije, Cost-benefit analiza, Poslovni modeli u skladištenju energije

Abstract: The growing volatility of electricity prices, driven by the increasing share of renewable energy sources and changes in demand, significantly affects the stability of power systems and electricity markets. In this context, Battery Energy Storage Systems (BESS) are recognized as a key element that can contribute to enhancing medium-term flexibility, reducing price fluctuations, and enabling more efficient integration of renewables. However, the question of their economic viability remains open, particularly given the high upfront investment costs and prevailing market uncertainties.

The aim of this paper is to examine the economic justification for investing in battery energy storage systems under conditions of high electricity market volatility, with a particular focus on different business model configurations and their impact on the financial sustainability of projects. The paper analyzes whether BESS can achieve profitability solely on market-based principles, using examples of price dynamics from relevant European electricity markets, without reliance on direct subsidies or other support mechanisms.

Keywords: Battery Energy Storage Systems (BESS), Electricity market volatility, Cost-benefit analysis, Business models in energy storage

Analiza stepena razvijenosti cirkularne ekonomije u zemljama Centralne i Istočne Evrope

The analysis of circular economy development in Central and Eastern European countries

***Đorđe Mitrović, **Đorđe Kotarac**

*Univerzitet u Beogradu - Ekonomski fakultet, **Univerzitet u Beogradu - Poljoprivredni fakultet

Apstrakt: Cirkularna ekonomija predstavlja jedan od ključnih stubova dugoročne razvojne strategije Evropske unije i zauzima važno mesto u glavnim političkim inicijativama, uključujući Evropski zeleni dogovor. Nakon pristupanja Evropskoj uniji, zemlje Centralne i Istočne Evrope (CEE-10) postepeno su razvijale aktivnosti povezane sa cirkularnim sektorom u okviru šireg procesa ekonomske transformacije. U radu se analizira da li se može uočiti konvergencija u bruto dodatnoj vrednosti ostvarene u aktivnostima cirkularne ekonomije između zemalja CEE-10 i razvijenih država članica EU, koje prednjače u zelenoj tranziciji. Empirijska analiza primenjuje tri komplementarna pristupa kako bi se identifikovali zajednički obrasci konvergencije, kao i specifični procesi sustizanja ili divergencije na nivou pojedinačnih zemalja. Rezultati ukazuju na jasnu konvergenciju na grupnom nivou, uz heterogene, ali pretežno pozitivne dinamike sustizanja među pojedinačnim ekonomijama CEE-10 u odnosu na razvijenije članice EU.

Ključne reči: Cirkularna ekonomija, Teorija konvergencije, Evropska unija, Ekonomski rast

Abstract: The circular economy (CE) has emerged as a key pillar of the European Union's long-term development agenda and is firmly embedded in major policy initiatives, including the European Green Deal. Since joining the European Union, Central and Eastern European countries (CEE-10) have gradually expanded circular economy activities as part of their economic transformation. This paper examines whether convergence in gross value added (GVA) generated by circular economy activities can be observed between the CEE-10 countries and the developed EU member states, which are at the forefront of the green transition. The analysis applies three empirical approaches to identify common convergence trends and country-specific patterns of catching up or divergence. The findings indicate clear evidence of convergence at the group level, alongside heterogeneous but generally positive catching-up dynamics among individual CEE-10 economies relative to more advanced EU members.

Keywords: Circular Economy, Convergence theory, European Union, Economic growth

Ekonomski rast i zagađenje vazduha: empirijska analiza na subregionalnom (NUTS 3) nivou u EU

The relationship between economic growth and air pollution: empirical evidence from NUTS 3 regions in European Union

*Sonja Josipović, **Dejan Molnar, ***Bojan Baškot

*Tehnološko metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu, **Univerzitet u Beogradu - Ekonomski fakultet, ***Ekonomski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci

Apstrakt: Ubrzani ekonomski razvoj, industrijalizacija i rastuća potrošnja energije doveli su do izraženih ekoloških problema i degradacije životne sredine, posebno u pogledu kvaliteta vazduha. Dosadašnja istraživanja odnosa između kvaliteta životne sredine i ekonomskog razvoja ukazuju da karakter ove veze zavisi od nivoa razvijenosti posmatranog regiona ili nacionalne ekonomije. U tom kontekstu, koncept Kuznjecove krive životne sredine sugerise da se u ranim fazama razvoja privredni rast često povezuje sa rastom zagađenja, dok se na višim nivoima razvoja fokus premešta ka unapređenju energetske efikasnosti, većoj primeni obnovljivih izvora energije, inovacijama i novim tehnologijama koje omogućavaju ekonomski rast uz smanjenje negativnih uticaja na životnu sredinu.

Imajući u vidu da su efekti zelene tranzicije neujednačeni na regionalnom i subregionalnom nivou, cilj ovog rada jeste analiza međuzavisnosti privrednog razvoja i degradacije životne sredine na nižim teritorijalnim nivoima. Predmet istraživanja predstavlja ispitivanje odnosa između privrednog rasta i zagađenosti vazduha na subregionalnom nivou. Analiza odnosa između privrednog rasta, merenog bruto domaćim proizvodom po stanovniku, i zagađenja vazduha, merenog koncentracijama PM_{2.5}, NO i O, zasniva se na podacima Eurostata za period 2013–2023. godine, uz primenu panel-ekonometrijskih modela i metoda. Istraživanje je sprovedeno na uzorku od 1.146 subregiona NUTS 3 nivoa u zemljama Evropske unije. Koristi se više komplementarnih ekonometrijskih pristupa kako bi se obezbedila robustnost i interpretabilnost rezultata. Metodološka strategija je osmišljena tako da uzima u obzir heterogenost između regiona, nestacionarnost podataka (Panel analiza nestacionarnosti u idiosinkratičnim i zajedničkim komponentama), dinamičke procese prilagođavanja, potencijalne asimetrije (Nelinearni autoregresivni model sa distribuiranim kašnjenjem – NARDL), i povratne efekte između ekonomske aktivnosti i zagađenja vazduha (analiza VAR-a u Bajesovom okviru). Na osnovu dobijenih rezultata date su preporuke za donošenje ekoloških regulativa i predlog ekonomskih instrumenata usmerenih ka efikasnom zaustavljanju degradacije životne sredine i unapređenju njenog kvaliteta, a sve u cilju ostvarivanja pravednije zelene tranzicije koja doprinosi ekonomskoj sigurnosti, socijalnoj pravednosti i ekološkoj ravnoteži.

Ključne reči: zagađenje vazduha, ekonomski rast, zelena tranzicija, subregioni.

Abstract: Accelerated economic development, industrialization, and increasing energy consumption have led to pronounced environmental problems and environmental degradation, particularly with regard to air quality. Previous studies examining the relationship between environmental quality and economic development indicate that the nature of this relationship depends on the level of development of the observed region or national economy. In this context, the concept of the Environmental Kuznets Curve suggests that in the early stages of development economic growth is often associated with increasing pollution, while at higher levels of development the focus shifts toward improving energy efficiency, greater use of renewable energy sources, innovations, and new technologies that enable economic growth while reducing negative environmental impacts.

Given that the effects of the green transition are uneven across regional and subregional levels, the aim of this paper is to analyze the interdependence between economic development and environmental degradation at lower territorial levels. The subject of the research is the examination of the relationship between economic growth and air pollution at the subregional level. The analysis of the relationship between economic growth, measured by gross domestic product per capita, and air pollution, measured by concentrations of PM_{2.5}, NO, and O, is based on Eurostat data for the period 2013–2023, using appropriate panel econometric models and methods. The study is conducted on a sample of 1,146 NUTS 3 subregions across European Union countries. Multiple complementary econometric approaches are employed to ensure robustness and interpretability of the results. The methodological strategy is designed to account for heterogeneity across regions, non-stationarity of the data (Panel Analysis of Nonstationarity in Idiosyncratic and Common components), dynamic adjustment processes, potential asymmetries (Nonlinear Autoregressive Distributed Lag), and feedback effects between economic activity and air pollution (Bayesian VAR analysis). Based on the obtained results, recommendations for environmental regulations and proposals for economic instruments are formulated, aimed at effectively halting environmental degradation and improving environmental quality, with the goal of achieving a fairer green transition that contributes to economic security, social justice, and ecological balance.

Keywords: air pollution, economic growth, green transition, NUTS 3 regions.

Energetska bezbednost, obrasci finalne potrošnje energije i jazovi u energetskejskoj produktivnosti: dokazi o strukturnim ranjivostima u ekonomijama jugoistočne Evrope

Energy Security, Final Energy Consumption Patterns and Energy Productivity Gaps: Evidence of Structural Vulnerabilities in Southeast Europe Economies

Aleksandra Prašćević, Milutin Ješić

Ekonomski fakultet Univerziteta Beograd

Apstrakt: Rad analizira kako stepen energetske zavisnosti od uvoza i strukturni obrasci finalne potrošnje energije u izabranim državama jugoistočne Evrope i to u Srbiji, Crnoj Gori, BiH, Severnoj Makedoniji, Hrvatskoj, Albaniji, Bugarskoj i Rumuniji, sa posebnim fokusom na prirodni gas, naftu i naftne derivate, kao i čvrsta fosilna goriva, utiču na strukturnu ranjivost ovih ekonomija. Energetska bezbednost postala je jedno od ključnih ekonomskih i političkih pitanja u Evropi, naročito u kontekstu geopolitičkih tenzija i poslednje energetske krize iz 2022. godine. Visoka zavisnost od uvoza energenata povećava izloženost zemalja spoljnim šokovima, utiče na makroekonomsku stabilnost i predstavlja potencijalno ograničenje dugoročnog privrednog rasta. Analiza ukazuje na snažno izražene razlike između zemalja u nivou i strukturi energetske zavisnosti, koje su naročito došle do izražaja tokom energetske krize. Rezultati pokazuju da pojedine zemlje regiona karakteriše izrazita zavisnost od uvoza prirodnog gasa i nafte, dok druge ostvaruju znatno viši stepen samodovoljnosti zahvaljujući domaćoj proizvodnji. Struktura finalne potrošnje dodatno ukazuje na visok značaj električne energije u domaćinstvima i dominantnu ulogu prirodnog gasa u industriji, uz istovremeno postojanje značajnog jaza u energetskejskoj produktivnosti između država Zapadnog Balkana i država EU. Nalazi ukazuju na potrebu za jačanjem energetske bezbednosti kroz diversifikaciju izvora snabdevanja, unapređenje regionalne energetske povezanosti, povećanje energetske efikasnosti i ubrzanje strukturne transformacije energetskejskih sistema regiona.

Ključne reči: energetska bezbednost, uvozna zavisnost energije, prirodni gas, energetska kriza, energetskejskaproduktivnost

Abstract: The paper analyzes how the degree of energy dependence on imports and the structural patterns of final energy consumption in the selected countries of Southeast Europe, namely in Serbia, Montenegro, Bosnia and Herzegovina, North Macedonia, Croatia, Albania, Bulgaria and Romania, with a special focus on natural gas, oil and oil derivatives, as well as solid fossil fuels, affect the structural vulnerability of these economies. Energy security has become one of the key economic and political issues in Europe, especially in the context of geopolitical tensions and the latest energy crisis in 2022. High dependence on energy imports increases countries' exposure to external shocks, affects macroeconomic stability and represents a potential limitation of long-term economic growth. The analysis points to strong differences between countries in the level and structure of energy dependence, which particularly came to the fore during the energy crisis. The results show that some countries of the region are characterized by a pronounced dependence on the import of natural gas and oil, while others achieve a significantly higher degree of self-sufficiency thanks to domestic production. The structure of final consumption additionally indicates the high importance of electricity in households and the dominant role of natural gas in industry, with the simultaneous existence of a significant gap in energy productivity between the countries of the Western Balkans and the EU countries. The findings point to the need to strengthen energy security through diversification of supply sources, improvement of regional energy connectivity, increase in energy efficiency and acceleration of structural transformation of the region's energy systems.

Keywords: energy security, import dependence of energy, natural gas, energy crisis, energy productivity

Metode optimizacije i primene veštačke inteligencije u efikasnoj integraciji *vehicle-to-grid* sistema

Optimization Frameworks and Artificial Intelligence Applications for Efficient Vehicle-to-Grid Integration

Luka Zoroje*, Doroteja Zarev*, Balša Čeranić*, Predrag Stefanov*, Jelena Stojković Terzić*, Leposava Ristić*,
Andrea Bonfiglio**

* Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet

** Univerzitet u Đenovi, Fakultet za elektrotehniku, elektroniku, telekomunikacije i brodogradnju

Rezime - Tehnologija Vehicle-to-Grid (V2G) pojavila se kao perspektivno rešenje za unapređenje fleksibilnosti, pouzdanosti i održivosti savremenih elektroenergetskih sistema u uslovima brzog rasta broja električnih vozila i distribuiranih energetske resursa. Efikasna primena V2G koncepta zahteva razvoj i primenu optimizacionih algoritama koji su u stanju da istovremeno obuhvate tehničke, ekonomske, ekološke i korisnički orijentisane ciljeve. Rezultati mnogih studija pokazuju da čak i primena jednostavnih algoritama može značajno smanjiti operativne troškove mreže u poređenju sa scenarijima bez ikakve intervencije. Ovaj rad pruža kratak pregled optimizacionih strategija za integraciju V2G sistema, sa fokusom na ključne ciljeve kao što su minimizacija gubitaka energije, upravljanje naponskim i tehničkim ograničenjima, smanjenje troškova punjenja, maksimizacija prihoda, ublažavanje emisija štetnih gasova i očuvanje stanja baterija. Determinističke, metaheurističke, višekriterijumske i tržišno orijentisane metode sistematski su razmotrene, uz isticanje njihove primenljivosti, prednosti i ograničenja u različitim operativnim uslovima. Posebna pažnja posvećena je sve većoj primeni veštačke inteligencije u V2G sistemima koja nudi moćne alate za upravljanje složenim interakcijama između električnih vozila, infrastrukture za punjenje i elektroenergetske mreže. Najzad, identifikovani su ključni izazovi optimizacije i upotrebe veštačke inteligencije, čime se ukazuju glavni pravci budućih istraživanja za primenu inteligentnih V2G sistema u velikom obimu.

Ključne reči - Električna vozila, Vehicle-to-Grid, Optimizacija, Veštačka inteligencije, Inteligentne mreže

Abstract - Vehicle-to-Grid (V2G) technology has emerged as a promising solution for enhancing the flexibility, reliability, and sustainability of modern power systems in the context of the rapid growth of electric vehicles and distributed energy resources. Effective implementation of the V2G concept requires advanced optimization algorithms capable of simultaneously addressing technical, economic, environmental, and user-oriented objectives. The results of numerous studies indicate that even the application of simple algorithms can significantly reduce grid operating costs compared to scenarios without any intervention. This paper provides a brief overview of optimization strategies for the integration of V2G systems, focusing on key objectives such as minimizing power losses, managing voltage and technical constraints, reducing charging costs, maximizing revenue, mitigating gas emissions, and preserving battery health. Deterministic, metaheuristic, multi-objective, and market-oriented methods are systematically reviewed, highlighting their applicability, advantages, and limitations under different operating conditions. Special attention is devoted to the increasing use of artificial intelligence in V2G systems, which offers powerful tools for managing complex interactions between electric vehicles, charging infrastructure, and the power grid. Finally, key challenges related to optimization and the use of artificial intelligence are identified, outlining the main directions for future research toward the large-scale deployment of intelligent V2G systems.

Index Terms - Electric Vehicles, Vehicle-to-Grid, Optimization, Artificial Intelligence, Smart Grids

Napredna dijagnostika stanja vetroparkova

Advanced diagnostics of wind farm conditions

Jelena Balšić *, Mileta Žarković **

* Elektromreža Srbije - EMS AD, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu

** Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu

Rezime - Savremeni elektroenergetski sistemi se u sve većoj meri oslanjaju na obnovljive izvore energije, pri čemu vetroelektrane zauzimaju značajno mesto u strukturi proizvodnje. Zbog rada u promenljivim i često nepovoljnim uslovima okoline, vetroagregati su izloženi povećanom mehaničkom i električnom naprezanju, što dovodi do degradacije komponenti i povećanog rizika od kvarova. U tom kontekstu, monitoring stanja i pravovremena dijagnostika predstavljaju ključne alate za obezbeđenje visoke pouzdanosti, raspoloživosti i ekonomske isplativosti vetroparkova. U radu je dat pregled savremenih metoda monitoringa i dijagnostike stanja vetroagregata tokom eksploatacije. Posebna pažnja posvećena je praćenju kritičnih podistema, kao što su rotor i lopatice, reduktor, ležajevi, generator, energetski konvertori i sistem upravljanja. Analizirane su najčešće korišćene dijagnostičke tehnike, uključujući analizu vibracija, analizu ulja, termografiju, ultrazvučno ispitivanje, akustičnu emisiju, inspekciju lopatica i analizu električnih signala. Poseban akcenat rada stavljen je na primenu fazi logike u procesu dijagnostike stanja vetroagregata. Fazi logika omogućava integraciju nepreciznih, nepotpunih i heterogenih podataka, kao i uključivanje ekspertskog znanja u vidu lingvističkih pravila. Na taj način moguće je objediniti informacije iz više izvora monitoringa i dobiti jedinstvenu numeričku procenu stanja opreme i verovatnoće kvara. Fazi ekspertski sistemi doprinose pouzdanijem donošenju odluka o hitnosti intervencija, smanjenju vremena zastoja i optimizaciji strategija održavanja. Ovakav pristup omogućava prelazak sa korektivnog i preventivnog, na održavanje zasnovano na stvarnom stanju, čime se produžava radni vek opreme, povećava raspoloživost sistema i smanjuju ukupni troškovi eksploatacije.

Ključne reči – vetroparkovi, monitoring stanja, dijagnostika kvarova, fuzzy logika

Abstract - Modern power systems increasingly rely on renewable energy sources, with wind power plants playing a significant role in the generation mix. Due to operation under variable and often harsh environmental conditions, wind turbines are exposed to increased mechanical and electrical stresses, which lead to component degradation and an elevated risk of failures. In this context, condition monitoring and timely fault diagnostics represent essential tools for ensuring high reliability, availability, and economic viability of wind farms.

This paper presents an overview of state of the art methods for condition monitoring and fault diagnostics of wind turbines during operation. Special attention is devoted to the monitoring of critical subsystems, including the rotor and blades, gearbox, bearings, generator, power electronic converters, and control system. The most commonly applied diagnostic techniques are analyzed, such as vibration analysis, oil analysis, thermography, ultrasonic testing, acoustic emission, blade inspection, and electrical signal analysis. Particular emphasis is placed on the application of fuzzy logic in the wind turbine condition diagnostics process. Fuzzy logic enables the integration of imprecise, incomplete, and heterogeneous data, as well as the incorporation of expert knowledge through linguistic rules. In this way, information from multiple monitoring sources can be unified to obtain a single numerical assessment of equipment condition and failure probability. Fuzzy expert systems contribute to more reliable decision-making regarding the urgency of maintenance actions, reduction of downtime, and optimization of maintenance strategies. Such an approach supports the transition from corrective and preventive maintenance to condition-based maintenance, thereby extending equipment lifetime, increasing system availability, and reducing overall operating costs.

Index Terms – wind farms, condition monitoring, fault diagnostics, fuzzy logic

Long-Term Wind Resource Assessment Using MCP Method

Ana Dubljević¹, Vidosava Vilotijević², Uroš Karadžić²,

¹ Permonte d.o.o, Podgorica, Montenegro

² University of Montenegro, Faculty of Mechanical Engineering, Podgorica, Montenegro

Abstract - Accurate long-term wind resource assessment is a crucial prerequisite for the development and bankability of onshore wind energy projects, particularly in regions characterized by complex terrain and limited measurement periods. This paper presents a long-term wind resource assessment for a site located in northern Montenegro, using the Measure–Correlate–Predict (MCP) method based on measured wind data.

A twelve-month measurement campaign was conducted using a 90 m meteorological mast, collecting high-resolution data on wind speed, wind direction, temperature, pressure, and humidity. Due to the relatively short measurement period, the MCP methodology was applied to correlate on-site measurements with long-term reference data obtained from an external meteorological database. The analysis was performed using the MCP module implemented in the WindPRO software package, enabling the correction and extrapolation of short-term measurements to long-term wind climate conditions.

The results indicate that the application of the MCP method leads to a more reliable estimation of the long-term mean wind speed, exceeding 7 m/s at hub height, and provides refined Weibull distribution parameters for the site. The MCP-corrected wind climate was further used to assess the impact on annual energy production (AEP), demonstrating noticeable differences compared to estimations based solely on short-term measurements. These findings highlight the importance of MCP-based corrections in reducing uncertainty and improving the accuracy of energy yield assessments.

The presented case study confirms that the MCP method is an effective tool for long-term wind resource assessment in complex terrain and supports its application in early-stage wind farm development in Montenegro and similar regions.

Index Terms - wind resource assessment, Measure–Correlate–Predict (MCP), long-term wind climate, measured wind data, annual energy production (AEP), WindPRO, onshore wind farm, complex terrain, Montenegro

Predviđanje dotoka vode za potrebe proizvodnje hidroelektrične energije primenom Kalman filtera

On the Prediction of Water Flow for the Purpose of Hydroelectricity Production by Kalman Filter

Žarko Nestorović*, Mirko Pavić *

* EPS AD Beograd, ogranak Đerdap, Kladovo

Rezime - Predikcija dotoka vode vrši se svakodnevno na hidroelektrani HE Đerdap 1 radi usklađivanja prognoze i podele potencijalne energije vode između srpske i rumunske strane. Predikcija dotoka se vrši za 5 dana unapred i za svaki dan u tom intervalu. Metodologija je uspostavljena i usklađena međunarodnim protokolom između dve strane, primenjuje se od početka rada hidroelektrane i daje zadovoljavajuće rezultate koji su prihvatljivi za obe strane. Tokom razmatranja problematike prognoze dotoka vode došlo se na ideju da se primeni metod Kalman filtera i da se uporede rezultati dobijeni standardnom metodom za duži vremenski period. Metod Kalman filtera pokazuje manja srednja kvadratna odstupanja u odnosu na standardnu metodu za sve razmatrane periode predviđanja.

Ključne reči - Kalman filter, Dotok, Srednje kvadratno odstupanje, Statistička analiza

Abstract – Prediction of water flow on the hydropower plant Đerdap 1 is daily task for the purpose of water flow forecasting and hydropotential division between Serbian and Romanian side. prediction of water flow is providing for 5 days in advance and for each day in that interval. Methodology is established and aligned to international protocol between two sides, it is applied from the beginning of hydropower production and gives acceptable results for both sides. During consideration of the issue of water flow determination the idea of utilization of Kalman filtering was taken as possible method for accuracy improvement. The comparison between two results obtained by standard method and Kalman filter method, should be the first parameter for applying the Kalman filter method in the future. Kalman filter method shows smaller average quadrate deviation (empirical dispersion) than standard method for water flow forecasting.

Index Terms – Kalman filter, Water flow, Empirical dispersion, Statistical analysis

Numerička simulacija graničnih slojeva na rotirajućim staklenim diskovima u vodi

Numerical Simulation of Boundary Layers on Rotating Glass Disks in Water

Matej Fike, Andraž Roger

Faculty of Energy Technology, Slovenia

Apstrakt: Performanse i efikasnost Tesline turbine zavise od viskoznih efekata i razvoja graničnog sloja na rotirajućim diskovima, koji predstavljaju osnovni radni princip ove vrste turbine. Detaljna karakterizacija graničnog sloja u tečnim strujanjima je od suštinskog značaja za razumevanje, modeliranje i na kraju optimizaciju rada Tesline turbine. Ovaj rad predstavlja numeričku studiju graničnog sloja koji se formira na rotirajućim staklenim diskovima potopljenim u radnu fluidnu sredinu – vodu. Diskovi su bili pokretani različitim ugaonim brzinama. Numeričke simulacije su sprovedene korišćenjem softvera ANSYS CFX. Proračunski domen je diskretizovan struktuiranom numeričkom mrežom generisanom u ANSYS ICEM CFD, uz dodatno rafinisanje mreže u oblasti graničnog sloja. Simulacije su izvedene za iste radne uslove kao i eksperimentalna merenja, što omogućava direktno poređenje numeričkih simulacija sa eksperimentalnim rezultatima. Eksperimentalni i numerički rezultati su upoređeni u pogledu raspodele brzine i razvoja graničnog sloja.

Ključne reči: CFD, rotirajući diskovi, granični sloj, Teslina turbina

Abstract: The performance and efficiency of Tesla turbine is influenced by viscous effects and boundary layer development on rotating disks, which represent the basic working principle of this type of turbine. Detailed characterization of the boundary layer in liquid flows is vital for understanding, modelling, and in the end optimization of Tesla turbine operation. This paper presents numerical study of the boundary layer formed on rotating glass disks immersed working fluid, water. The disks were driven at different angular velocities. Numerical simulations were conducted using ANSYS CFX. The computational domain was discretized with a structured numerical mesh generated in ANSYS ICEM CFD, using mesh refinement in the boundary layer region. The simulations were performed for the same operating conditions as the experimental measurements, therefore enabling a direct comparison between numerical simulations and experimental measurement. The experimental and numerical results are compared in terms of velocity distribution and boundary layer development.

Keywords: CFD, rotating disks, boundary layer, Tesla turbine

Analiza opravdanosti ulaganja domaćinstva u solarnu elektranu i toplotnu pumpu u odnosu na ulaganje u ostale sisteme i njihovo korišćenje energenata

Analysis of the Justification of Household Investment in Solar Power Plant and Heat Pump in Relation to Investment in Other Systems and Their Use of Energy

Zoran Simendić*, Dalibor Mraović, Ivana Simendić Mraović*****

* CIRED Srbija, Novi Sad

** Aqua Flam Vent d.o.o. Sombor

*** Agro Plus Energy d.o.o., Sombor

Rezime - Poslednjih godina povećava se broj domaćinstva koja pored električne energije, koju po potrebi preuzimaju iz distributivne mreže, koriste i električnu energiju proizvedenu na svojim solarnim elektranama, i energiju razmene sa toplotnih pumpi. Domaćinstva sa takvim integrisanim sistemima mogu da ostvare velike uštede u odnosu na domaćinstva koja za grejanje, hlađenje i ostale potrebe koriste neke druge klasične sisteme. Klasični sistemi su sistemi koji koriste samo električnu energiju iz distributivne mreže; koriste električnu energiju, gas i/ili pelete; pored električne energije iz distributivne mreže koriste i svoje dodatne izvore energije (solarnu elektranu, i/ili toplotnu pumpu). Mogućnosti integrisanih sistema, njihove prednosti i mane, u odnosu na klasične sisteme, osnovna su tema ovog rada. Kao pokazatelj ekonomske opravdanosti sistema razmatrani su troškovi njihove realizacije i troškovi njegovog korišćenja.

Mogućnosti integrisanog sistema su analizirane u dužem vremenskom periodu, na području Elektrodistribucije Sombor, u domaćinstvu koje ima toplotnu pumpu i solarnu elektranu, koji mogu skoro u potpunosti da pokriju celokupnu potrošnju električne energije. Podaci izmereni u toku jedne godine upoređeni su sa podacima koji bi se dobili da je domaćinstvo u istom periodu koristilo neki od klasičnih sistema. Krajem 2025. godine su se promenili uslovi Elektrodistribucije i povećala se cena el. en. tako da je procenjena ekonomska opravdanost sa novim cenama i različitim površinama domaćinstava.

Ključne reči - Toplotna pumpa, solarni paneli, solarna elektrana, energetska efikasnost

Abstract - In recent years, the number of households that, in addition to electricity, which they take from the distribution network if necessary, also use electricity produced at their solar power plants and exchange energy from heat pumps has been increasing. Households with such integrated systems can achieve great savings compared to households that use other classic systems for heating, cooling and other needs. Classic systems are systems that use only electricity from the distribution network; use electricity, gas and/or pellets; in addition to electricity from the distribution network, they also use their own additional sources of energy (solar power plant and/or heat pump). The possibilities of integrated systems, their advantages and disadvantages, in relation to classic systems, are the main topic of this paper. As an indicator of the economic justification of the system, the costs of their realization and the costs of its use were considered.

The possibilities of the integrated system were analyzed over a long period of time, in the area of the Elektrodistribucija Sombor, in a household that has a heat pump and a solar power plant, which can almost completely cover the entire consumption of electricity. The data that were measured during one year were compared with the data that would have been obtained if the household had used one of the classic systems in the same period. At the end of 2025, the conditions of Elektrodistribucija changed and the price of electricity increased. en. so the economic justification was assessed with new prices and different household areas.

Index Terms - Heat pump, solar panels, solar power plant, energy efficiency

Analiza uticaja integracije fotonaponske elektrane na elektroenergetski sistem

Analysis of the impact of photovoltaic power plant Integration on the power system

Željana Ristić, Mileta Žarković, Elektrotehnički fakultet u Beogradu

Rezime- Sve veća integracija fotonaponskih elektrana donosi nove izazove u pogledu efikasnog rada, pouzdanosti i stabilnosti elektroenergetskih sistema. Optimalno mesto priključenja i dimenzionisanje fotonaponskih izvora imaju ključnu ulogu u smanjenju tehničkih gubitaka, poboljšanju naponskih prilika i povećanju ukupne energetske efikasnosti elektroenergetskog sistema. U ovom radu razmatra se opšti optimizacioni pristup za određivanje pogodnih lokacija i nominalnih snaga fotonaponskih elektrana, pri čemu je korišćena standardna IEEE mreža, sa ciljem unapređenja rada elektroenergetskog sistema u različitim radnim uslovima. Različita angažovanja generatora uzeta su u obzir kako bi se uvideo njihov uticaj na ponašanje elektroenergetskog sistema. Performanse elektroenergetskog sistema posmatraju se na osnovu više kriterijuma, kao što su smanjenje gubitaka, poboljšanje naponskog profila i povećanje operativne stabilnosti, uz poštovanje tehničkih ograničenja. Dobijeni rezultati ukazuju da optimalna integracija fotonaponskih elektrana može značajno doprineti efikasnijem i pouzdanijem radu elektroenergetskog sistema, pružajući osnovu za planiranje budućih elektroenergetskih sistema sa većim udelom obnovljivih izvora.

Ključne reči - fotonaponske elektrane, optimalno lociranje i dimenzionisanje, optimizacija elektroenergetskog sistema, poboljšanje naponskog profila, smanjenje gubitaka snage, integracija obnovljivih izvora energije.

Abstract - The increasing integration of photovoltaic power plants introduces new challenges in terms of efficient operation, reliability, and stability of power systems. The optimal placement and sizing of photovoltaic sources play a crucial role in reducing technical losses, improving voltage profiles, and enhancing the overall energy efficiency of the power system. This paper presents a general optimization approach for determining suitable locations and nominal capacities of photovoltaic power plants, using the standard IEEE 14-bus test system, with the aim of improving power system performance under different operating conditions. Various generator dispatch scenarios are considered in order to analyze their impact on system behavior. Power system performance is evaluated based on multiple criteria, including loss reduction, voltage profile improvement, and enhancement of operational stability, while satisfying all technical constraints. The obtained results indicate that the optimal integration of photovoltaic power plants can significantly contribute to a more efficient and reliable operation of the power system, providing a solid foundation for planning future power systems with a higher share of renewable energy sources.

Index Terms - Photovoltaic power plants, optimal placement and sizing, power system optimization, voltage profile improvement, power loss reduction, renewable energy integration

Pravila o pružanju nefrekvencijskih usluga u distributivnom sistemu električne energije u Crnoj Gori - regulatorni okvir i mogućnosti praktične primjene

Rules on the Provision of Non-Frequency Services in the Electricity Distribution System of Montenegro - Regulatory Framework and Possibilities for Practical Implementation

Andrija Vujović, Stevan Živković, Aleksandar Iković, Mihailo Nikolić

CEDIS d.o.o. – Crnogorski elektrodistributivni sistem, Sektor za upravljanje mrežom, Podgorica

Rezime - Savremeni razvoj distributivnih elektroenergetskih sistema, uz rast udjela distribuiranih izvora energije i aktivnih potrošača, zahtijeva uvođenje novih mehanizama za obezbjeđenje pouzdanog i kvalitetnog rada mreže. U tom kontekstu, u radu se razmatraju Pravila o pružanju nefrekvencijskih usluga u distributivnom sistemu električne energije u Crnoj Gori, koja su u fazi pripreme i čije se skoro usvajanje očekuje. Cilj rada je da se pruži pregled osnovnih rješenja predviđenih Pravilima, sa posebnim osvrtom na mogućnosti njihove praktične primjene u distributivnoj mreži. Rad analizira potencijalne pružaoce nefrekvencijskih usluga, uključujući proizvođače iz obnovljivih izvora energije, sisteme za skladištenje energije, aktivne potrošače i agregatore, kao i ekonomske aspekte njihovog učešća. Zaključci rada imaju za cilj da doprinesu razumijevanju uloge nefrekvencijskih usluga u budućem razvoju distributivnog sistema Crne Gore i da ukažu na potencijalne koristi i izazove njihove implementacije.

Ključne riječi - nefrekvencijske usluge, distributivni sistem, obnovljivi izvori energije, pravila, Crna Gora

Abstract - The contemporary development of electricity distribution systems, along with the increasing share of distributed energy resources and active consumers, requires the introduction of new mechanisms to ensure reliable and high-quality grid operation. In this context, the paper examines the Rules on the Provision of Non Frequency Services in the electricity distribution system of Montenegro, which are currently under preparation and whose adoption is expected in the near future. The aim of the paper is to provide an overview of the basic solutions envisaged by these Rules, with particular emphasis on the possibilities for their practical application in the distribution network. The paper analyzes potential providers of non-frequency services, including renewable energy producers, energy storage systems, active consumers, and aggregators, as well as the economic aspects of their participation. The conclusions of the paper aim to contribute to a better understanding of the role of non-frequency services in the future development of Montenegro's distribution system and to highlight the potential benefits and challenges of their implementation.

Index Terms - non-frequency services, distribution network, renewable energy sources, rules, Montenegro

Povezivanje tržišta, mreže i korisnika kroz digitalnu orkestraciju fleksibilnosti

Connecting markets, the grid, and market participants through digital flexibility orchestration

Ivan Špagnut*, Vanja Ožegović**

* NITES d.o.o. Beograd

** NITES a.s.

Rezime - Rast učešća obnovljivih izvora energije i decentralizacija proizvodnje menjaju operativnu i tržišnu strukturu elektroenergetskog sistema. Povećana varijabilnost proizvodnje i rast broja distribuiranih resursa zahtevaju veći stepen fleksibilnosti kako bi se obezbedilo pouzdano balansiranje i stabilan rad mreže. Fleksibilnost se u tom kontekstu posmatra kao sistemski resurs koji omogućava prilagođavanje proizvodnje i potrošnje u definisanom vremenskom okviru, uz očuvanje sigurnosti snabdevanja. Rad razmatra fleksibilnost kao tehnički i tržišni koncept, sa posebnim osvrtom na uloge aktivnih kupaca i agregatora. Aktivni kupci mogu doprinostiti sistemu kroz upravljanje potrošnjom, proizvodnjom ili skladištenjem energije, dok agregatori omogućavaju objedinjavanje velikog broja manjih resursa i njihovo učešće na tržištu balansnih i sistemskih usluga. Analizira se uticaj fleksibilnosti na balansno tržište i raspodelu odgovornosti između učesnika. Posebna pažnja posvećena je digitalnoj orkestraciji fleksibilnih resursa. Prikazan je koncept platforme koja omogućava agregaciju, automatizovanu aktivaciju i pouzdanu razmenu podataka između tržišnih i mrežnih aktera, čime se fleksibilnost prevodi iz regulatornog okvira u operativnu primenu.

Ključne reči - fleksibilnost, elektroenergetsko tržište, aktivni kupci, agregatori, digitalna platforma

Abstract - The increasing share of renewable energy sources and the decentralization of electricity generation are reshaping both the operational and market structure of power systems. Higher variability and a growing number of distributed resources require enhanced flexibility to ensure reliable balancing and stable network operation. In this context, flexibility is addressed as a systemic resource enabling adjustments of generation and demand within defined timeframes while maintaining security of supply. This paper examines flexibility as both a technical and market concept, with particular focus on active customers and aggregators. Active customers can contribute through demand management, generation or storage, while aggregators enable the participation of numerous small-scale resources in balancing and ancillary service markets. The paper analyzes the impact of flexibility on balancing processes and the allocation of responsibilities among market participants. Special attention is given to digital orchestration of flexible resources. A platform concept is presented that supports aggregation, automated activation and reliable data exchange among market and system actors, enabling the practical implementation of flexibility within existing market frameworks.

Index Terms - flexibility, electricity market, active customers, aggregators, digital platform

Primjena moderne portfolio teorije u optimizaciji portfolija obnovljivih izvora energije

Application of Modern Portfolio Theory in Optimization of Renewable Energy Portfolios

*Miroslav Divčić, **Mladen Apostolović

*Trading Energy Cluster (TEC) doo, **EFT Trade d.o.o.

Apstrakt: Ubrzana energetska tranzicija i sve veće učešće obnovljivih izvora energije (OIE) u elektroenergetskim sistemima značajno mijenjaju strukturu rizika i prihoda proizvođača električne energije. Za razliku od konvencionalnih izvora, proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora karakteriše se visokom vremenskom neizvjesnošću, snažnom zavisnošću od meteoroloških uslova, te rastućom izloženošću tržišnim cijenama električne energije. Sa postepenim napuštanjem garantovanih otkupnih cijena i prelaskom na tržišno orijentisane modele prodaje, upravljanje rizikom postaje ključni element održivog poslovanja proizvođača OIE. U tom kontekstu, primjena kvantitativnih metoda za optimizaciju portfelja dobija sve veći značaj.

Moderna portfolio teorija (MPT), razvijena od strane Harryja Markowitza, predstavlja jedan od fundamentalnih pristupa upravljanju rizikom i prinosom u finansijskoj teoriji. Osnovna pretpostavka MPT jeste da se ukupni rizik portfelja ne može posmatrati isključivo kroz rizik pojedinačnih sredstava, već kroz njihove međusobne korelacije. Diverzifikacijom sredstava sa niskom ili negativnom korelacijom moguće je smanjiti ukupni rizik portfelja bez proporcionalnog smanjenja očekivanog prinosa. Ovaj koncept je naročito relevantan za portfelje obnovljivih izvora energije, gdje različite tehnologije, poput solarnih, hidro i vjetroelektrana, imaju različite proizvodne profile i različite odnose prema tržišnim cijenama električne energije.

Cilj ovog rada je da analizira mogućnosti primjene moderne portfolio teorije u optimizaciji portfelja obnovljivih izvora energije, uzimajući u obzir specifičnosti elektroenergetskog sektora. Rad razmatra definisanje prinosa u energetsom portfelju, gdje se prinos ne posmatra isključivo kao finansijski povrat, već kao kombinacija tržišnih prihoda, troškova balansiranja i operativnih ograničenja, kao i kroz termin "capture rate". Poseban fokus stavljen je na analizu korelacija između različitih OIE tehnologija, kao i na uticaj cjenovne volatilnosti i volumenskog rizika tj rizika obima proizvodnje na ukupni rizik portfelja.

U radu se pokazuje da kombinovanjem različitih obnovljivih tehnologija, kao i diversifikacijom proizvodnih jedinica po geografskim područjima i tržištima, dolazi do značajnog smanjenja varijanse portfelja. Rezultati ukazuju da portfelji koji uključuju mješavinu solarnih i hidroelektrana, uz eventualnu integraciju baterijskih sistema ili dugoročnih ugovora o kupoprodaji električne energije, ostvaruju povoljniji odnos rizika i prinosa u poređenju sa tehnološki homogenim portfeljima.

Zaključno, rad potvrđuje da moderna portfolio teorija predstavlja koristan analitički okvir za optimizaciju portfelja obnovljivih izvora energije, ali i naglašava njena ograničenja u kontekstu elektroenergetskih tržišta. Posebno se ističe potreba za daljim unapređenjem modela kroz uključivanje nelinearnih rizika, ekstremnih tržišnih događaja i naprednih metoda optimizacije, kako bi se obezbijedila realnija i robusnija primjena u savremenom energetsom sektoru. Takođe, primjena moderne portfolio teorije je korisna kako za trgovce / otkupljivače / agregatore električne energije tako i za investitore u obnovlje izvore energije.

Ključne reči: Moderna portfolio teorija (MPT), Odnos rizika i prinosa, Korelacija i diverzifikacija, Portfolioobnovljivih izvora energije, capture rate, Rizik cijena i obima proizvodnje

Abstract: The accelerated energy transition and the increasing share of renewable energy sources (RES) in power systems are significantly transforming the risk and revenue structure of electricity producers. Unlike conventional generation, electricity production from renewable sources is characterized by high temporal uncertainty, strong dependence on meteorological conditions, and growing exposure to wholesale electricity market prices. With the gradual phase-out of guaranteed feed-in tariffs and the transition toward market-based sales models, risk management has become a key element of the sustainable operation of RES producers. In this context, the application of quantitative methods for portfolio optimization is gaining increasing importance.

Modern Portfolio Theory (MPT), developed by Harry Markowitz, represents one of the fundamental approaches to risk and return management in financial theory. The core assumption of MPT is that the total risk of a portfolio cannot be assessed solely through the risk of individual assets, but rather through their mutual correlations. By diversifying assets with low or negative correlation, it is possible

to reduce overall portfolio risk without a proportional reduction in expected returns. This concept is particularly relevant for renewable energy portfolios, where different technologies—such as solar, hydro, and wind power plants—exhibit distinct production profiles and differing relationships with electricity market prices.

The objective of this paper is to analyze the applicability of Modern Portfolio Theory in optimizing renewable energy

portfolios, taking into account the specific characteristics of the power sector. The paper examines the definition of returns in an energy portfolio, where returns are not viewed exclusively as financial yields, but rather as a combination of market revenues, balancing costs, operational constraints, and the concept of the capture rate. Special emphasis is placed on analyzing correlations between different RES technologies, as well as on the impact of price volatility and volume risk on overall portfolio risk.

The analysis demonstrates that combining different renewable energy technologies, along with diversification of production units across geographical areas and electricity markets, leads to a significant reduction in portfolio variance. The results indicate that portfolios comprising a mix of solar and hydropower assets, potentially complemented by battery energy storage systems or long-term power purchase agreements, achieve a more favorable risk–return profile compared to technologically homogeneous portfolios.

In conclusion, the paper confirms that Modern Portfolio Theory provides a useful analytical framework for optimizing renewable energy portfolios, while also highlighting its limitations in the context of electricity markets. In particular, the need for further model enhancements is emphasized, including the incorporation of nonlinear risks, extreme market events, and advanced optimization techniques, in order to enable a more realistic and robust application in the modern energy sector. Furthermore, the application of Modern Portfolio Theory is shown to be beneficial both for electricity traders and aggregators, as well as for investors in renewable energy assets.

Keywords: Modern Portfolio Theory (MPT), Risk–Return Trade-off, Correlation and Diversification, Renewable EnergyPortfolio, capture rate, Price and Volume Risk

PPA ugovori kao podrška energetske tranziciji

PPAs as a Support for the Energy Transition

***Ivana Đurović, **Dušan Vučić, *Miloš Kuzman, ***Dunja Grujić**

*UDRUŽENJE ZA PRAVO ENERGETIKE SRBIJE, **Crnogorski operator tržišta električne energije, ***Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu

Apstrakt: U kontekstu energetske tranzicije, integracija značajnih proizvodnih kapaciteta iz obnovljivih izvora energije postaje neophodna. Međutim, zbog varijabilnosti proizvodnje iz obnovljivih izvora energije, očuvanje stabilnosti elektroenergetskog sistema i sigurnosti snabdevanja predstavlja sve veći izazov. Jedan od značajnih mehanizama za postizanje ciljeva energetske tranzicije uz održanje pouzdanosti sistema predstavljaju Power Purchase Agreement (PPA ugovori). PPA ugovori su dugoročni ugovori o prodaji električne energije između proizvođača (npr. solarne ili vetroelektrane) ili snabdevača i krajnjeg kupca električne energije.

Ovaj rad analizira prirodu PPA ugovora, njihove vrste i mogućnost primene. Posebna pažnja posvećena je ekološkim i ekonomskim prednostima koje PPA ugovori donose kako proizvođačima, tako i krajnjim kupcima električne energije, naročito u kontekstu uvođenja Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM). Pored toga, razmatraju se potencijalni rizici povezani sa PPA ugovorima za ugovorne strane.

Analizirane su i mogućnosti korišćenja PPA ugovora u okviru postojećeg regulatornog okvira u Republici Srbiji, identifikovani su ključni izazovi i predložena rešenja za njihovo prevazilaženje. Rad takođe uključuje procenu potencijala za zaključenje PPA ugovora u Republici Srbiji, uz naglasak na praktičnu primenu ovog mehanizma u podsticanju energetske tranzicije i održivog razvoja elektroenergetskog sektora.

Ključne reči: PPA ugovori, Obnovljivi izvori energije, CBAM, Energetska tranzicija

Abstract: In the context of the energy transition, the integration of significant renewable energy generation capacities is becoming essential. However, due to the variability of renewable energy production, maintaining the stability of the power system and ensuring supply security represents an increasing challenge. One of the key mechanisms for achieving energy transition goals while preserving system reliability is the Power Purchase Agreement (PPA). PPAs are long-term contracts for the sale of electricity between a producer (e.g., a solar or wind power plant) or a supplier and the end consumer.

This paper analyses the nature of PPAs, their types, and possibilities for application. Special attention is given to the environmental and economic benefits that PPAs provide to both producers and end consumers, particularly in the context of the introduction of the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM). Additionally, potential risks associated with PPAs for both contracting parties are discussed. The paper also examines the possibilities for using PPAs within the existing regulatory framework in the Republic of Serbia, identifies key challenges, and proposes solutions for their mitigation. Furthermore, it includes an assessment of the potential for concluding PPAs in Serbia, emphasizing the practical application of this mechanism in promoting the energy transition and sustainable development of the power sector.

Keywords: PPA, Renewable Energy Sources, CBAM, Energy Transition

Uzroci i efekti pomeranja granice crvene zone potrošnje sa 1600 kWh na 1200 kWh u sistemu garantovanog snabdevanja električnom energijom

Causes and effects of shifting the red consumption zone threshold from 1600 kWh to 1200 kWh in the regulated electricity supply system

Jadranka Ristić

Akcionarsko društvo „Elektroprivreda Srbije, Beograd

Rezime - Rad analizira razloge i očekivane efekte pomeranja granice crvene zone potrošnje električne energije sa 1600 kWh na 1200 kWh u sistemu garantovanog snabdevanja. Promena je posmatrana kroz četiri ključne dimenzije: fiskalno ekonomsku, energetska sistemsku, regulatornu i dimenziju energetske efikasnosti. Na fiskalnom planu, cilj je smanjenje skrivenih subvencija velikim potrošačima i rasterećenje budžeta kroz povećanje prihoda od energije u višoj tarifi. Sa stanovišta elektroenergetskog sistema, niži prag crvene zone treba da utiče na smanjenje potrošnje u vršnim opterećenjima i smanjenje zavisnosti od skupog uvoza električne energije, posebno u zimskom periodu. Regulatorni okvir i obaveze prema međunarodnim institucijama uslovljavaju postepeno približavanje cena struje ekonomskim, uz ciljno usmeravanje socijalne zaštite ka energetska ugroženim kupcima, a ne ka visokoj potrošnji. Istovremeno, promena praga predstavlja instrument podsticanja energetska efikasnosti i promene potrošačkih navika, posebno kod domaćinstava koja se greju na električnu energiju. U radu se kvantifikuju efekti po različite kategorije potrošača i razmatra se uloga ove mere u obezbeđenju finansijske održivosti EPS i stabilnosti elektroenergetskog sistema.

Ključne reči - crvena zona potrošnje, garantovano snabdevanje

Abstract - The paper analyzes the reasons and expected effects of shifting the red consumption zone threshold from 1600 kWh to 1200 kWh in the regulated (guaranteed) electricity supply system. The change is examined along four key dimensions: fiscal economic, power system, regulatory, and energy efficiency. On the fiscal side, the main objective is to reduce hidden subsidies to high consumption customers and relieve the state budget by increasing revenues collected in the highest tariff band. From the power system perspective, the lower red zone threshold is intended to reduce demand during peak load periods and decrease dependence on expensive electricity imports, particularly in winter. The regulatory framework and commitments to international institutions require a gradual convergence of retail electricity prices towards cost reflective levels, while targeting social protection measures at energy vulnerable customers rather than supporting high consumption. At the same time, the threshold change acts as a tool to promote energy efficiency and modify consumer behavior, especially in households that use electricity for heating. The paper quantifies the impact on different consumer categories and discusses the role of this measure in ensuring the financial sustainability of the national power utility EPS and the stability of the power system.

Index Terms - ed consumption zone, regulated (guaranteed) electricity supply

Operativni uticaj odstupanja između prognozirane i realizovane proizvodnje vetroelektrana na angažovanje proizvodnih kapaciteta EPS-a – studija karakterističnih slučajeva

Operational Impact of Deviations Between Forecasted and Actual Wind Power Generation on the Dispatch of EPS Generation Capacities – A Characteristic Case Study

Vladimir Brković*, Stefan Milanović*, Aleksandar Fasujević*

* Elektroprivreda Srbije AD Beograd

Rezime - U elektroenergetskom sistemu odstupanja između prognozirane i realizovane proizvodnje vetroelektrana mogu dovesti do velikih izazova u balansiranju sistema, posebno u krutim režimima rada. Cilj ovog rada je prikaz operativnih efekata ovih odstupanja kroz dva karakteristična i vremenski bliska perioda. U prvom analiziranom periodu dolazi do naglog porasta proizvodnje vetroelektrana znatno iznad planiranih vrednosti za taj period, što je zahtevalo korekciju angažovanja konvencionalnih proizvodnih kapaciteta. Takva redukcija proizvodnje, u zavisnosti od trenutnih uslova na profilu elektrana, može predstavljati veliki izazov za upravljanje njima. Imajući u vidu da termoblokovi predstavljaju baznu energiju za pokrivanje osnovnog kontinuiranog opterećenja, usled tehničkih ograničenja u fleksibilnosti promene opterećenja, balansiranje odstupanja proizvodnje iz vetroelektrana u sistemu se vrši pomoću hidroelektrana. U obrađenom slučaju redukovanje proizvodnje se vršilo na račun promene na profilima hidroelektrana HE Đerdap 1, HE Bajina Bašta i RHE Bajina Bašta. Drugi analizirani period odnosi se na uticaj tokom noćnog minimuma potrošnje električne energije (konzuma). Ovaj slučaj pokazuje kako drastično veća proizvodnja iz vetroelektrana u odnosu na očekivanu (predviđenu) za taj period, kada je većina proizvodnih entiteta na minimumu proizvodnje ili nisu uopšte na mreži, dovodi do aktiviranja pumpnih kapaciteta, koji inicijalno nisu bili planirani za angažovanje u tom terminu. To dodatno potvrđuje njihov značaj u procesu balansiranja, ali pokazuje i određene nedostatke. Prognoziranom proizvodnjom vetroelektrana smatra se plan proizvodnje za dan unapred (day-ahead), uz uvažavanje unutar dnevnih (intraday) korekcija plana koji mogu unaprediti tačnost prognoze, ali ne garantuju njenu potpunu preciznost. S obzirom na planirano povećanje instalisanih kapaciteta vetroelektrana u okviru balansne grupe EPS-a u bliskoj budućnosti, slični operativni izazovi za balansiranje sistema mogli bi biti još izraženiji i zahtevniji. Stvara se osnova za razmatranje dodatnih opcija za fleksibilnije balansiranje, kao i potrebu za preciznijim prognozama proizvodnje iz obnovljivih izvora energije.

Ključne reči - Vetroelektrane, prognoza proizvodnje, balansiranje sistema, fleksibilni kapaciteti

Abstract - In power systems, deviations between forecasted and actual wind power generation can create significant challenges for system balancing, particularly under rigid operating regimes. The objective of this paper is to present the operational impacts of such deviations through the analysis of two characteristic and temporally close periods. In the first analyzed period, a sudden increase in wind power generation significantly exceeded the planned values for the given timeframe, requiring adjustments in the dispatch of conventional generating units. Such production reductions, depending on the current operational conditions and plant profiles, may represent a considerable challenge for system management. Considering that thermal power units provide base-load energy for covering continuous demand and are subject to technical limitations in load flexibility, balancing wind generation deviations within the system is primarily achieved through hydropower plants. In the analyzed case, generation reduction was implemented through adjustments in the operational profiles of HPP Đerdap 1, HPP Bajina Bašta, and PSHP Bajina Bašta. The second analyzed period addresses the impact during the nighttime load minimum. This case demonstrates how substantially higher-than-expected wind generation, compared to day-ahead forecasts, during hours when most generation units operate at minimum output or are offline, leads to the activation of pumped-storage capacities that were not initially scheduled for dispatch. This further confirms their importance in the balancing process, while also revealing certain operational limitations. Forecasted wind generation refers to the day-ahead production schedule, including intraday plan corrections that may improve forecast accuracy but do not guarantee complete precision. Given the planned increase in installed wind power capacity within the EPS balancing group in the near future, similar operational balancing challenges may become even more pronounced and demanding. This creates a basis for considering additional flexibility options, as well as the need for more accurate renewable generation forecasting.

Index Terms - Wind power plants, generation forecasting, system balancing, flexible capacities

Isplativost modela aktivnog kupca sa solarnom elektranom i skladištenjem energije

Profitability of the active customer model with solar power plant and energy storage

Miodrag Vuković

Fakultet za projektni menadžment, Srbija

Apstrakt: Novi koncept solarnih elektrana za sopstvenu potrošnju na industrijskim i komercijalnim objektima prema Zakonu o energetici ostvaruje se kroz koncept takozvanog aktivnog kupca na tržištu električne energije. Ključni faktor za donosiocce odluka u privrednim subjektima, kada se razmatra uključivanje u ovaj model, jesu generisane uštede i dodatni prihodi od prodaje viška električne energije, zatim period povrata ulaganja u potrebnu energetska opremu za proizvodnju energije i izgradnju priključka. U okviru rada se kroz analiziraju mogućnosti istovremenog generisanja više prihoda i ušteda koje ostvaruju aktivni kupci koji poseduju solarnu elektranu sa skladištem električne energije. Kroz sistemsku integraciju predmetnog projekta Conseko doo obavlja tehničku integraciju sistema aktivnog kupca sa sistemom operatera na tržištu električne energije. Posebno se razmatraju mogući prihodi kroz dnevne razlike u ceni t.j. arbitražu, na novim tržištima koja se u regionu otvaraju, kao i kroz takozvane pomoćne usluge za stabilizaciju elektroenergetskog sistema.

Ključne reči: aktivni kupac, skladištenje energije, arbitraža električne energije, pomoćne usluge, integracija sistema

Abstract: The new concept of solar power plants for self-consumption at industrial and commercial facilities, under the Energy Law, is implemented through the concept of the so-called active customer in the electricity market. A key factor for decision-makers in companies when considering participation in this model is the level of generated savings and additional revenues from the sale of surplus electricity, as well as the payback period of the investment in the necessary energy equipment for electricity generation and the construction of the grid connection. Within this paper, the possibilities of simultaneously generating multiple revenue streams and cost savings achieved by active customers who own a solar power plant with an electricity storage system are analyzed. Through the system integration of observed project, Conseko doo carries out the technical integration of the system of the active customer with the system of the operator in the electricity market. Particular attention is given to potential revenues arising from daily electricity price differences, i.e. energy arbitrage, in new emerging markets in the region, as well as revenues from so-called ancillary services for the stabilization of the power system.

Keywords: active customer, energy storage, electricity arbitrage, ancillary services, system integration

Da li zelena agenda može da opstane?

Can the Green Agenda Survive?

Dr Miroslav Parović

Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet Novi Sad

Rezime - Zelena agenda nije definisana kao jedinstveni dokument, već kao širi okvir koji koriste države, međunarodne organizacije, kompanije i finansijske institucije. Reč je o skupu politika, ciljeva i mera kojima se teži održivom razvoju, zaštiti životne sredine i smanjenju negativnog uticaja čoveka na klimu i prirodu, uz istovremeno očuvanje ekonomskog razvoja i društvene stabilnosti. Na bazi ovoga započeto je stvaranje ideološkog koncepta koji širom sveta, a pre svega u visoko razvijenim državama, ima puno sledbenika. „Pariskim sporazumom“ iz decembra 2015. godine zelena agenda je na neki način globalno institucionalizovana. Tada se razbukvalo rivalstvo među velikim silama i kompanijama za što bolje pozicioniranje u novootvorenom polju ekonomije u kojoj je ključna tema smanjenje emisija štetnih gasova. Obnovljivi izvori energije, industrija električnih automobila i ciklična ekonomija postale su globalno važne, sa potencijalom da ugroze tradicionalne grane privrede. Sve ovo dovelo je do toga da širom sveta počne i organizovani politički otpor zelenoj agendi, do te mere da su brojni konzervativni političari i politički pokreti kao važne ciljeve naveli njeno uništenje. Jedan od najpoznatijih, a svakako najjači, protivnik zelene agende je predsednik SAD, Donald Trump. On u tom ideološko-političkom okviru vidi opasnost po globalnu dominaciju države na čijem je čelu, te otuda u poslednjih godinu dana povlači poteze koji za početak imaju cilj redefinisane, a u konačnom i rušenje „zelenog poretka“. Cilj ovog rada je da napravi osvrt na glavne aspekte tzv. „politike energetske slobode“, koja predstavlja važan alat nove američke administracije. Sa tim u vezi biće analizirana i polazna teza koja glasi: „Da li zelena agenda može da opstane?“. Na kraju, biće dat osvrt na poziciju Republike Srbije u novonastalim okolnostima.

Ključne reči - Energetska politika, zelena agenda, OIE, energetska pravda

Abstract - The Green Agenda is not defined as a single, unified document, but rather as a broad framework utilized by states, international organizations, companies, and financial institutions. It encompasses a set of policies, objectives, and measures aimed at sustainable development, environmental protection, and the reduction of humanity's negative impact on climate and nature, while simultaneously preserving economic growth and social stability. On this basis, an ideological concept has emerged that has gained numerous adherents worldwide, particularly in highly developed countries. Through the Paris Agreement of December 2015, the Green Agenda was, in a sense, globally institutionalized. At that time, rivalry intensified among major powers and corporations to secure the most advantageous positions in the newly emerging economic field, where the central issue was the reduction of harmful gas emissions. Renewable energy sources, the electric vehicle industry, and the circular economy became globally significant, with the potential to disrupt traditional sectors of the economy. As a result, organized political resistance to the Green Agenda began to take shape, to the extent that many conservative politicians and political movements explicitly listed its dismantling as a key objective. One of the most prominent, and arguably the most influential, opponents is U.S. President Donald Trump. He perceives the Green Agenda as a potential threat to the global dominance of the state he leads, and over the past year he has taken measures initially aimed at redefining, and ultimately at dismantling, the so-called “green order.” The aim of this paper is to review the main aspects of the so-called “Energy Freedom Policy”, which represents a central tool of the new American administration. In this context, the paper will analyze the guiding question: “Can the Green Agenda survive?” Finally, the paper will offer an assessment of the position of the Republic of Serbia in these evolving circumstances.

Index Terms - Energy policy, Green Agenda, renewable energy sources, energy justice

Unapređenje energetske efikasnosti sistema pumpi regulatorskog ulja primenom frekventnih regulatora – studija slučaja HE Pirot

Improvement of energy efficiency of turbine oil pump system using variable frequency drives -case study hpp Pirot

Dušan Đorđević*, Jovan Ilić 2**, Ana Kitić 3***

* Elektroprivreda Srbije, Beograd, Srbija

** Elektroprivreda Srbije, Beograd, Srbija

*** Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet Niš. Aleksandra Medvedeva br. 14, 18000 Niš, Srbija

Rezime - Energetska efikasnost predstavlja jedan od ključnih izazova savremenog industrijskog sektora, naročito u energetske postrojenjima, gde racionalno upravljanje sopstvenom potrošnjom električne energije direktno utiče na tehničke, ekonomske i eksploatacione performanse sistema. Iako hidroelektrane proizvode električnu energiju iz obnovljivih izvora, njihovi pomoćni industrijski sistemi mogu predstavljati značajne potrošače električne energije, zbog čega unapređenje energetske efikasnosti ovih sistema ima poseban značaj u okviru industrijske energetske efikasnosti i održivog razvoja. U tom kontekstu, unapređenje energetske efikasnosti pomoćnih sistema u hidroelektranama nameće se kao značajan potencijal za smanjenje interne potrošnje energije, povećanje pouzdanosti rada i produženje životnog veka opreme. Ovaj rad je koncipiran kao studija slučaja i usmeren je na analizu potencijala primene frekventnih regulatora u drenažnom sistemu Hidroelektrane Pirot, sa ciljem unapređenja energetske efikasnosti i optimizacije rada elektromotornih pumpi. Drenažni sistemi imaju ključnu ulogu u bezbednom i stabilnom radu industrijskih energetskih objekata, ali se u praksi često susreću sa neefikasnim režimima rada usled konstantne brzine obrtanja elektromotora, nezavisno od realnih potreba sistema. Posebna pažnja u radu posvećena je analizi postojećeg režima rada drenažnog sistema, identifikaciji energetskih i hidrauličkih gubitaka, kao i sagledavanju mogućnosti regulacije brzine obrtanja elektromotora u skladu sa promenljivim uslovima opterećenja. Primenom simulacionog pristupa razmatran je hipotetički scenario ugradnje frekventnih regulatora, čime se omogućava procena energetskih i eksploatacionih efekata bez fizičke implementacije opreme. Na taj način ostvareno je prilagođavanje rada pumpi stvarnim potrebama sistema, uz eliminaciju nepotrebne potrošnje energije karakteristične za rad sa konstantnom brzinom. Metodološki pristup rada zasniva se na analizi tehničke dokumentacije, realnih radnih parametara sistema i relevantne stručne literature, kao i na poređenju potrošnje električne energije u postojećem režimu rada i simuliranom režimu sa frekventnom regulacijom. Rezultati analize ukazuju na značajan potencijal za ostvarivanje energetskih ušteda, smanjenje operativnih troškova, povećanje pouzdanosti sistema i produženje radnog veka elektromotornih pumpi. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da primena frekventnih regulatora predstavlja efikasnu meru unapređenja energetske efikasnosti pomoćnih industrijskih sistema u energetske postrojenjima.

Ključne reči - energetska efikasnost, industrija, hidroelektrana Pirot, frekventni regulator, drenažni sistem, elektromotorne pumpe

Primena geografskih informacionih sistema (GIS) u analizi zagađenja vazduha

Application of Geographic Information Systems (GIS) in Air Pollution Analysis

Nikola Stanković

* Akcionarsko društvo „Elektroprivreda Srbije“, Balkanska 13, 11 000 Beograd

Rezime - Ovaj rad prikazuje primenu Geografskih informacionih sistema (GIS) u analizi prostornih i vremenskih obrazaca emisija azotnih oksida (NO_x) iz termoelektričnih postrojenja u okviru Elektroprivrede Srbije (EPS) tokom 2024. godine. Korišćenjem podataka sa sistema za kontinuirano merenje emisija i metodom prostorne interpolacije IDW (Inverse Distance Weighted), izrađene su tematske karte koje omogućavaju identifikaciju emisionih tačaka i distribuciju zagađenja po mesecima. Rezultati pokazuju da su najviše koncentracije NO_x registrovane u okolini TENT A/B i TE Костолац B, sa izraženim sezonskim varijacijama, naročito tokom zimskih meseci. Primena GIS-a omogućava vizualizaciju stvarnih podataka u prostoru i vremenu, čime se pruža značajan alat za planiranje mera za poboljšanje kvaliteta vazduha, procenu uticaja na životnu sredinu i podršku donošenju odluka u energetskom sektoru. Ovaj pristup takođe demonstrira potencijal integracije kontinuiranih mernih podataka u GIS okruženje, što doprinosi razvoju preciznijih i interpretabilnih alata za upravljanje kvalitetom vazduha.

Ključne reči - GIS, IDW interpolacija, azotni oksidi (NO_x), termoelektrična postrojenja, prostorna analiza, kvalitet vazduha

Abstract - This study presents the application of Geographic Information Systems (GIS) in analyzing the spatial and temporal patterns of nitrogen oxide (NO_x) emissions from thermal power plants of the Electric Power Industry of Serbia (EPS) during 2024. Using data from Continuous Emission Monitoring Systems (CEMS) and the Inverse Distance Weighted (IDW) spatial interpolation method, thematic maps were produced to identify emission points and the distribution of air pollution across months. The results indicate that the highest NO_x concentrations were recorded around TENT A/B and TE Kostolac B, with notable seasonal variations, particularly during winter months. GIS application allows visualization of real-time emission data in space and time, providing a valuable tool for air quality improvement measures, environmental impact assessment, and decision support in the energy sector. This approach also demonstrates the potential of integrating continuous monitoring data into a GIS environment, contributing to the development of more precise and interpretable tools for air quality management.

Index Terms - GIS, IDW interpolation, nitrogen oxides (NO_x), thermal power plants, spatial analysis, air quality

MOGUĆNOSTI ZA KORIŠĆENJE RASPOLOŽIVE BIOMASE KAO OBNOVLJIVOG IZVORA ENERGIJE U RAZVOJU REGIONALNE TERITORIJE

OPPORTUNITIES FOR USING THE AVAILABLE BIOMASS AS A RENEWABLE SOURCE OF ENERGY IN THE DEVELOPMENT OF THE REGIONAL TERRITORY

Srećko Ćurčić¹, Aleksandar Peulić², Dragan Milićević³, Anđela Vasiljević⁴

^{1,2} Fakultet tehničkih nauka u Čačku, Univerzitet u Kragujevcu

² Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Kragujevcu

³ Institut za higijenu i preradu mesa, Beograd

⁴ Anđela Vasiljević, SLOVAS, Čačak

Rezime

Može se očekivati da će racionalno korišćenje raspoložive biomase imati veoma važnu ulogu u proizvodnji energije i drugih proizvoda u Srbiji u narednim godinama. Imajući u vidu i da je neophodno da se smanji uvoz energenata, a takođe, smanji količina ugljen - dioksida koji se emituje u atmosferu.

Korišćenje raspoložive biomase šumskih i poljoprivrednih ekosistema kao obnovljivih izvora energije, poslednjih godina predstavlja praktičan i pouzdan način za dobijanje energije u većini zemalja EU. Brojna naučna i praktična istraživanja usmerena su upravo na mogućnosti upotrebe različitih oblika drvnih i biljnih biomasa kao potencijalnih resursa za razne proizvode. U ovom radu date su osnove tehnologija za korišćenje raspoloživih resursa biomase.

Postoje velike mogućnosti za korišćenje biomase i to: toplotne energije (loženjem), građevinskog materijala (razne presovane ploče i kocke), delova nameštaja (ploče „iverice“), alkohola (vrenjem), biogasa (anaerobnim vrenjem), za proizvodnju papira i ambalaže, sredstava za čišćenje metalnih površina (poliranjem), raznih kozmetičkih sredstava, ukrasnih predmeta (tapiserija, slamnatih šešira, i dr.) i za druge svrhe.

Za racionalno korišćenje raspoloživih resursa za dobijanje odgovarajućih proizvoda, dobro isplaniran lanac snabdevanja raspoloživim resursima, sa odgovarajućom pripremnom tehnologijom može značajno da utiče na cenu proizvoda iz raspoloživih resursa biomase.

Ključne reči: biomasa, raspoloživi resursi, odgovarajuće korišćenje, regionalna teritorija.

Abstract

It can be expected that the rational use of available biomass will play a very important role in the production of energy and other products in Serbia in the coming years. Bearing in mind that it is necessary to reduce the import of energy products, and also to reduce the amount of carbon dioxide emitted into the atmosphere.

Using the available biomass of forest and agricultural ecosystems as a renewable energy source has been a practical and reliable way to obtain energy in most EU countries in recent years. Numerous scientific and practical researches are focused precisely on the possibilities of using different forms of wood and plant biomass as potential resources for various products. In this paper, the basics of technologies for using available biomass resources are given.

There are great possibilities for using biomass, namely: thermal energy (burning), building materials (various pressed boards and cubes), furniture parts (chipboards), alcohol (fermentation), biogas (anaerobic fermentation), for the production of paper and packaging, cleaning agents for metal surfaces (polishing), various cosmetics, decorative items (tapestry, straw hats, etc.) and for other purposes.

For the rational use of available resources to obtain appropriate products, a well-planned supply chain of available resources, with appropriate preparation technology can significantly influence the price of products from available biomass resources.

Keywords: biomass, available resources, appropriate use, regional territory.

Teorija prirodnog monopola i teorija regulacije u snabdevanju električnom energijom

Theory of Natural Monopoly and Regulation Theory in Electricity Supply Sector

Žarko Nestorović

Akcionarsko društvo „Elektroprivreda Srbije“, Beograd Ogranak HE Đerdap

Apstrakt: Teorija prirodnog monopola tretira problematiku resursa koji su od velike važnosti za kvalitet ljudskog života i dovoljno retki da bi bili izloženi isključivo uticaju principa slobodnog tržišta. Električna energija svakako pripada ovoj kategoriji ljudskih potreba. Međutim, prirodni monopol mora biti regulisan kako bi korisnicima bilo obezbeđeno snabdevanje na adekvatan način. Problematika regulacije objašnjava se na različite načine. Ovaj rad predstavlja diskusiju nekih pogleda teorije prirodnog monopola i teorije regulacije na snabdevanje električnom energijom. Posebna pažnja u ovom radu posvećena je razmatranju teorije koju su razvili Stigler i Pelcman i primenjena je na snabdevanje električnom energijom.

Ključne reči: Teorija prirodnog monopola, Stigler Pelcman teorija, snabdevanje električnom energijom

Abstract: Natural monopoly theory is treating the issues in resources which are of crucial important for the human quality of life and rare enough to be influenced only by the principles of free market. The electricity is recognized as one of those resources. However the natural monopoly must be regulated in order to supply the users in adequate way. The regulation issues are also very complex and explained in different ways. This paper discuss some aspects of the natural monopoly theory and the regulation theory in electricity supply sectors. The attention was focused on the Stigler Peltzman theory and its impact on electricity supply.

Keywords: Theory of natural monopoly, Stigler Peltzman theory, electricity supply

ANALIZA OBUHVATA 3 U KORPORACIJSKOM LANCU VREDNOSTI: STUDIJA SLUČAJA ZA HIDROELEKTRANE

ANALYSIS OF SCOPE 3 IN CORPORATIVE VALUE CHAIN: CASE STUDY FOR HYDROPOWER PLANTS

Žarko Nestorović*, Ivana Mitrović*, Ivan Stevović**

* EPS AD Beograd, ogranak Đerdap Kladovo

** Inovacioni centar Mašinskog fakulteta u Beogradu, Srbija

Rezime - Korporacijski lanac vrednosti ima različite karbonske otiske u svakom svom delu. Obuhvat 3 odnosi se na emisiju gasova staklene bašte koja nastaje kao indirektna emisija nastala usled transporta zaposlenih, proizvodnje i transporta opreme kao i korišćenih građevinskih materijala. Ovaj obuhvat može imati promenljiv nivo relativnog značaja koji se može rangirati od niskog do visokog. U ovom radu izvršena je analiza transporta zaposlenih ako se koriste različite vrste prevoza za transport zaposlenih i različiti izvori energije. Kao vrste prevoza za prevoz zaposlenih uvodi se pretpostavka da zaposleni koriste automobile ili autobuse na klasično gorivo i ovi rezultati se upoređuju sa rezultatima ako bi se uveo prevoz električnim vozilima, električnim autobusima i tramvajima. Kao izvori energije koriste se ugalj, hidroenergija i solarni paneli. Rezultat istraživanja pokazuje da korišćenje tramvaja na koji bi se pokretao na hidroenergiju rezultira najmanjom emisijom gasova staklene bašte.

Ključne reči – Obuhvat 3, Karbonski otisak, Životna sredina, Transport zaposlenih, Elektrifikacija transporta

Abstract - Corporative value chain has different carbon footprints in its each part. Scope 3 is related to the greenhouse gases emission which occurs as consequence of employee transportation, equipment production and transportation as well as the utilization of materials in construction. This scope could have variable level of relative significance from low to high. In this paper the research, conducted for employees transportation, is presented for the case of hydropower plants when different types of transportation including cars and buses which uses fossil oil and electrified transportation. Also, the different types of electricity sources were considered. The research resulted with the conclusion that utilization of electrical transport with minimization vehicles number reduces the carbon footprint.

Index Terms – Scope 3, Carbon footprint, Environment, Employee transportation, Transportation electrification

On the catastrophe theory and dam safety

Теорија катастрофе и сигурност брана

Žarko Nestorović

Akcionarsko društvo „Elektroprivreda Srbije“, Beograd Ogranak HE Đerdap

Apstrakt: Dam safety is of crucial importance for water supply, electricity production but also for people and material goods safety in downstream area. The fact that the number of dams in Serbia reach the period of exploitation which is near or longer of the half of century warns and required the need of careful dedication to the topic. In this research some aspects of dam safety have been analysed on the base of catastrophe theory and some examples of catastrophic events on the dams have been presented.

Ključne reči: dam safety, risk, hazard

Abstract: Сигурност брана је тема од изузетног значаја за стабилност снабдевања водом, производњу електричне енергије али и безбедност људи и материјалних добара у низводном подручју. Чињеница да све већи број брана у Србији приближава или је прешла пола века експлоатације упозорава на потребу посвећивања посебне пажње њиховој сигурности. У овом раду анализирају се поједини аспекти сигурности брана са аспекта теорије катастрофе и поједини примери катастрофалних догађаја на бранама.

Keywords: сигурност брана, ризик, хазард

Povećanje kvaliteta nacionalnog energetskeg planiranja automatskom identifikacijom ograničenja fleksibilnosti iz interkonekcije

Increasing the quality of national energy planning by automatically identifying flexibility constraints from interconnection

*Bojan Ivanović, **Ilija Batas Bjelić, ***Jelena Nikolić, ****Tomislav Rajić, ****Nikola Rajaković

*Elektro distribucija Srbije, **Institut tehničkih nauka SANU, ***Aalborg University, Department of Sustainability and Planning, Denmark, ****Univerzitet u Beogradu-Elektrotehnički fakultet

Apstrakt: Povećanje učešća obnovljivih izvora energije u elektroenergetskim sistemima nameće potrebu izbora tehničkih opcija fleksibilnosti. U slučaju Republike Srbije, zbog njenog regionalnog značaja i povezanosti sa susednim zemljama, posebno je relevantna opcija fleksibilnosti koja proizlazi iz elektroenergetskih interkonekcija, odnosno mogućnosti povećanog uvoza i izvoza električne energije. Dosadašnje analize perspektivnih scenarija oslanjale su se na ručnu identifikaciju i pojedinačnu evaluaciju tzv. kritičnih sati u godišnjem horizontu od 8760 sati, što predstavlja metodološki jednostavnu ili vremenski zahtevnu proceduru. Stim u vezi, cilj ovog rada je definisanje ograničenja kao i predlog angažovanja snaga za sve relevantne proizvodne jedinice (tzv. „vozni red“) u identifikovanim kritičnim vremenskim intervalima. Predloženi pristup omogućava unapređeno razumevanje fizičkih ograničenja fleksibilnosti putem interkonekcija, kao i procenu njihovog doprinosa radu elektroenergetskog sistema u uslovima visokog nivoa učešća OIE. Metodologija se zasniva na integrisanom korišćenju modela EnergyPLAN i CASE, čime se obezbeđuje istovremeno sagledavanje energetskeg bilansa, sistemskih ograničenja i raspoloživih kapaciteta prenosne infrastrukture. Shodno tome, doprinos rada se ogleda u pružanju relevantnih smernica za procese energetskeg planiranja i strateškog odlučivanja u okviru energetske tranzicije Republike Srbije.

Ključne reči: prenos električne energije, energetskeg planiranje, energetskeg bilans, softverske alati, optimizacija

Abstract: The increase in the participation of renewable energy sources in power systems imposes the need to choose technical flexibility options. In the case of the Republic of Serbia, due to its regional importance and connection with neighboring countries, the option of flexibility resulting from power interconnections, i.e. the possibility of increased import and export of electricity, is particularly relevant. Previous analyzes of perspective scenarios relied on manual identification and individual evaluation of the so-called critical hours in the annual horizon of 8760 hours, which represents a methodologically simple but time-consuming procedure. In this connection, the aim of this work is to define the limitations and the proposal of the unit commitment for all relevant production units (the so-called "train schedule") in the identified critical time intervals. The proposed approach enables an improved understanding of the physical limitations of flexibility through interconnections, as well as an assessment of their contribution to the operation of the power system in cases of a high level of variable RES participation. The methodology is based on soft-linking the EnergyPLAN and CASE computer tools, which ensures a simultaneous overview of the energy balance, system limitations and available capacities of the transmission infrastructure. Accordingly, the contribution of the paper is reflected in the provision of relevant guidelines for the processes of energy planning and strategic decision-making within the energy transition of the Republic of Serbia.

Keywords: electricity transmission, energy planning, energy balance, software tools, optimization

Grejanje u domaćinstvima u Srbiji: dubinska analiza i implikacije za energetska tranziciju

Heating in Serbian Households: In-Depth Analysis and Implications for the Energy Transition

Boban Pavlović*, Dejan Ivezić*, Marija Živković*, Dušan Mojić**

* Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet, Dušina 7, 11120 Beograd, Srbija

** Univerzitet u Beogradu - Filozofski fakultet, Čika Ljubina 18-20, 11000 Beograd, Srbija

Rezime - Dekarbonizacija i unapređenje energetske efikasnosti grejanja u domaćinstvima se ističu kao jedni od ključnih činilaca uspešne energetske tranzicije u domaćinstvima, budući da se najveći deo finalne potrošnje energije u ovom sektoru odnosi upravo na zagrevanje stambenog prostora. U Srbiji gotovo polovina domaćinstava i dalje zavisi od zastarelog i energetski neefikasnog korišćenja čvrstih goriva, pre svega ogrevnog drveta, a u manjoj meri i uglja. Takva praksa dovodi do lokalnog zagađenja vazduha i do neefikasne i neodržive upotrebe prirodnih resursa. Istovremeno, prosečna potrošnja energije za grejanje u Srbiji je oko 200 kWh/m² godišnje, dok je u Evropskoj uniji oko 140 kWh/m². U takvim okolnostima, energetska politika u Srbiji naglašava potrebu za unapređenjem energetskih karakteristika stambenog prostora i smanjenjem oslanjanja na konvencionalne energente, što je u skladu i sa opredeljenjem da se nacionalna energetska politika usaglasi sa ciljevima Evropskog zelenog dogovora. Kako bi se bolje razumela struktura grejanja u domaćinstvima i ocenili faktori koji utiču na trenutno stanje i perspektive, ovaj rad analizira rezultate ankete domaćinstava sprovedene 2024. godine na uzorku od 1033 domaćinstva, reprezentativnom na nivou države. U analizi je primenjen hi-kvadrat test nezavisnosti radi testiranja nultih hipoteza o odsustvu odnosa između tipa sistema grejanja (moderne i efikasne tehnologije naspram zastarelih sistema na čvrsta goriva) i niza varijabli prikupljenih u anketi. Rezultati pokazuju postojanje značajne statističke povezanosti između tipa grejanja i nivoa primanja domaćinstva, sprovedenih mera energetske efikasnosti, percepcije uticaja grejanja na životnu sredinu, kao i umerene povezanosti sa kolektivističkim orijentacijama ispitanika. Iako su neki od rezultata intuitivni, utvrđeni i kvantifikovani odnosi između varijabli, kao i potvrđivanje određenih nultih hipoteza, sužavaju širok spektar potencijalno uticajnih faktora koji se u literaturi često navode i obezbeđuju čvrst empirijski temelj za identifikaciju onih koji su relevantni za energetska tranziciju domaćinstava u Srbiji. Dobijeni rezultati mogu biti korisni donosiocima odluka pri razvijanju ciljanih podsticaja i komunikacionih kampanja koje za cilj imaju energetska tranziciju u domaćinstvima.

Ključne reči - Energetska tranzicija, domaćinstva, grejanje, anketa, uticajni faktori, Srbija

Abstract - Decarbonizing and improving the energy efficiency of household heating systems are recognized as key components of a successful energy transition in households, as space heating represents the largest share of final energy consumption in this sector. In Serbia, almost half of all households still rely on outdated and energy-inefficient solid-fuel systems, primarily firewood and, to a lesser extent, coal. This practice contributes to local air pollution and leads to inefficient and unsustainable use of natural resources. At the same time, the average annual energy consumption for heating in Serbia is around 200 kWh/m², compared to approximately 140 kWh/m² in the European Union. In this context, Serbian energy policy highlights the need to improve the energy performance of residential buildings and reduce dependence on conventional fuels, in line with the country's commitment to align national energy policy with the goals of the European Green Deal. To better understand the current structure of household heating and identify the factors shaping present conditions and future prospects, this study analyzes the results of a household survey conducted in 2024 on a nationally representative sample of 1,033 households. A chi-square test of independence was applied to examine the null hypotheses regarding the absence of a relationship between the type of heating system (modern and efficient technologies versus outdated solid-fuel systems) and a set of variables collected in the survey. The results confirm a statistically significant association between heating type and household income level, implemented energy-efficiency measures, and perceived environmental impacts of heating, as well as a moderate association with respondents' collectivist orientations. Although several results may appear intuitive, the quantified relationships between variables—as well as the confirmation of certain null hypotheses—help narrow the wide range of potentially influential factors frequently cited in literature. This provides a robust empirical basis for identifying those factors that are truly relevant for the energy transition of Serbian households. The findings may support policymakers in designing targeted incentives and communication campaigns aimed at advancing the household energy transition.

Index Terms - Energy transition, households, heating, survey, influential factors, Serbia

Управљање енергетском транзицијом: Приватизација менаџмента као пут ка сигурности снабдевања и инфраструктурном развоју

Governing the Energy Transition: Management Privatization as a Path to Security of Supply and Infrastructure Development

Viktor Andonov*, Snezhana Hristova**,

* EnVA Solution, Skopje, North Macedonia

** University of American College – UACS, Skopje, North Macedonia

Rezime - Danas se Smernice OECD-a za korporativno upravljanje u državnim preduzećima (SOE) širom sveta prepoznaju kao referentni standard za profesionalizaciju uloge države kao vlasnika, čime se obezbeđuje da državna preduzeća posluju podjednako efikasno i transparentno kao privatna preduzeća. Ovi međunarodni standardi postali su neizostavni u savremenoj globalnoj ekonomiji, u kojoj država i dalje ostaje dominantan akter u strateškim sektorima kao što su energetika i infrastruktura.

Cilj ovog rada je da analizira sistemski problem „jaza u implementaciji“ (Implementation Gap) u energetske sektorima ekonomija u tranziciji, sa posebnim fokusom na slučaj Republike Severne Makedonije. U takvim okolnostima imperativ održive energetske tranzicije, koji obuhvata i sigurnost snabdevanja i ublažavanje klimatskih promena, stalno je suočen sa ukorenjenom realnošću upravljanja pod dominantnom ulogom države. Uprkos normativnoj posvećenosti državnih energetske preduzeća u Severnoj Makedoniji, kao što su AD ESM i AD MEPSO, ovim međunarodnim standardima, političko mešanje i institucionalno razdvajanje između formalnih pravila i prakse i dalje predstavljaju značajnu prepreku napretku.

U istraživanju su primenjene kvantitativne metode za ispitivanje kvaliteta korporativnog upravljanja kroz instrumentalni dizajn studije višestrukog slučaja, koji obuhvata nalaze iz 80 strukturiranih anketa i kvalitativne uvide iz šest dubinskih ekspertskih intervju. Rezultati pokazuju postojanje značajnog „jaza u percepciji“ (Perception Gap) od 1,70 poena između samopercepcije internih članova odbora i ocena eksternih zainteresovanih strana. Komparativna dimenzija istraživanja obezbeđena je analizom različitih modela upravljanja, počevši od visokoprofesionalizovanih centralizovanih holding modela Singapura (Temasek) и Slovenije (SDH), pa sve do tekućeg restrukturiranja srpskog nacionalnog preduzeća, Elektroprivrede Srbije (EPS). Iako imenovanje međunarodnih stručnjaka u Nadzorni odbor EPS-a, podstaknuto uslovima MMF-a, predstavlja korak ka OECD standardima, ovo istraživanje tvrdi da Severna Makedonija mora ići dalje od savetodavnog nadzora. Sintetizujući pouke iz ovih globalnih i regionalnih primera, studija predlaže robusniju strukturnu reformu model mešovitoг vlasništva kako bi se osigurala dugoročna institucionalna izolacija i operativna efikasnost.

Kako bi se prekinuo ovaj ciklus, rad predlaže radikalnu strukturnu reformu u vidu modela mešovitoг vlasništva sa „privatizacijom upravljanja“ (management privatization). Uključivanjem visoko kredibilnog međunarodnog strateškog partnera koji bi stekao manjinski vlasnički udeo, država bi mogla uspostaviti snažan „ugovorni štiti“ protiv lokalnog političkog uticaja.

Ključni razlog za uključivanje međunarodnog strateškog partnera kroz model mešovitoг vlasništva jeste hitna nacionalna potreba za značajnim prilivom kapitala i naprednim tehničkim znanjem. Ovakav pristup donosi direktnu korist državi jer omogućava izgradnju ključne energetske infrastrukture, sektora u kojem se Severna Makedonija suočava sa dugotrajnom stagnacijom, bez realizacije značajnih projekata velikih razmera u poslednjih trideset godina. Poveravanjem upravljačkih funkcija kredibilnom partneru, država obezbeđuje potrebne investicije i „know-how“ za modernizaciju zastarelih energetske kapaciteta i izgradnju sistema neophodnih za dugoročnu energetske nezavisnost.

Ključne reči: Smernice OECD-a, Korporativno upravljanje, Energetska tranzicija, Model mešovitoг vlasništva, Sigurnost snabdevanja

Abstract - Today, the OECD Guidelines for Corporate Governance of State-Owned Enterprises (SOEs) are recognized worldwide as the benchmark for professionalizing the state's role as an owner, ensuring that state-owned enterprises operate in an equally efficient and transparent manner to private enterprises.

These international standards have become indispensable in the modern global economy, where the state remains a dominant actor in strategic sectors such as energy and infrastructure. The goal of this paper is to address the systematic issue of the "Implementation Gap" in the energy sectors of transition economies, focusing specifically on the case of the Republic of North Macedonia. In these contexts, the imperative of a sustainable energy transition encompassing both security of supply and climate change mitigation is constantly challenged by the entrenched reality of state-led governance. Despite the normative commitment of SOEs in the Macedonian energy sector, such as JSC ESM and JSC MEPSO, toward these international benchmarks, the reality of political interference and institutional decoupling remains a significant barrier to progress.

We have used the quantitative methods to investigate the quality of corporate governance through an instrumental multiple case study design, incorporating findings from 80 structured surveys and qualitative insights from 6 in-depth expert interviews. The findings have shown that there is a massive "Perception Gap" of 1.70 points between the self-perception of internal board members and the observations of external stakeholders. The comparative aspect is covered by examining various types of governance structures, from the highly professionalized and centralized holding structures of Singapore (Temasek) and Slovenia (SDH) to the ongoing restructuring of the Serbian national utility, EPS – Elektroprivreda Srbije. Although the appointment of international experts for the EPS Supervisory Board, following IMF conditionalities, is a step towards OECD best practices, it is argued in the following research that North Macedonia needs to look beyond advisory-type oversight mechanisms. Instead, by synthesizing best practices from global and regional role models, a better solution for institutional insulation and operational efficiency is proposed.

To break this cycle, the paper proposes a radical structural reform: a Mixed-Ownership Model with "Management Privatization." By inviting a highly credible international strategic partner to acquire a minority stake, the state can establish a robust "contractual shield" against local political influence.

The core rationale for inviting a strategic international partner through a mixed-ownership model is the urgent national need for both substantial capital injection and advanced technical expertise. This approach provides a direct benefit to the state by facilitating the construction of critical energy infrastructure, a sector where North Macedonia has faced a stagnation point with no significant large-scale projects realized in the past 30 years. By outsourcing management to a credible partner, the state secures the necessary investment and "know-how" to finally modernize its aging assets and build the critical systems required for long-term energy independence.

Keywords: OECD Guidelines, Corporate Governance, Energy Transition, Mixed-Ownership Model, Security of Supply

Elektrohemijske osobine natrijum-jonskih baterija

Electrochemical properties of sodium-ion batteries

Ljubica Ljubičić, Iva Batić, Tomislav Rajić

Univerzitet u Beogradu-Elektrotehnički fakultet

Rezime – U savremenom društvu, svakodnevno se susrećemo sa globalnim izazovima u oblasti energetike. Potreba za efikasnijim, ekonomičnijim i ekološki održivijim rešenjima je jedan od ključnih pokretača razvoja savremenih tehnologija skladištenja energije. Ubrzan razvoj obnovljivih izvora energije, poput energije sunca i vetra, navodi nas da obezbedimo pouzdan sistem za balansiranje proizvodnje i potrošnje električne energije. Obnovljivi izvori energije su varijabilne prirode i iz tog razloga je njihovo skladištenje ključan faktor u obezbeđivanju stabilnosti elektroenergetskog sistema. Natrijum-jonske baterije predstavljaju perspektivno rešenje zbog svoje široke dostupnosti i rasprostranjenosti. Sa svojim niskim troškovima proizvodnje i mogućnostima široke primene u stacionarnim sistemima očekuje se da će u budućnosti zauzeti značajno mesto na tržištu.

Ključne reči – natrijum joni, redoks-reakcije, interkalacija/deinterkalacija

Abstract – In contemporary society, global challenges in the energy sector are encountered on a daily basis. The demand for more efficient, cost-effective, and environmentally sustainable solutions represents one of the key driving forces behind the development of modern energy storage technologies. The accelerated deployment of renewable energy sources, such as solar and wind energy, necessitates the establishment of reliable systems for balancing electricity generation and consumption. Due to the inherently variable nature of renewable energy sources, energy storage plays a crucial role in ensuring the stability and reliability of power systems. Sodium-ion batteries represent a promising alternative owing to the wide availability and abundance of sodium resources. With low production costs and significant potential for application in stationary energy storage systems, sodium-ion batteries are expected to occupy an important position in the future energy storage market.

Keywords – sodium ions, redox reactions, intercalation/deintercalation

Upotreba vodonika za skladištenje električne energije

The Use of Hydrogen for Electrical Energy Storage

Iva Batić, Mina Ristić, Tomislav Rajić

Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet

Rezime - Integracija obnovljivih izvora energije u savremene elektroenergetske sisteme zahteva razvoj efikasnih i pouzdanih tehnologija za skladištenje električne energije, usled njihove promenljive i nepredvidive proizvodnje. Među brojnim dostupnim rešenjima, vodonik se izdvaja kao perspektivan energetski nosač za dugoročno i sezonsko skladištenje velikih količina energije. U ovom radu su analizirane različite tehnologije skladištenja električne energije, sa posebnim osvrtom na koncept Power-to-Hydrogen-to-Power (P2H2P), koji podrazumeva konverziju viška električne energije u vodonik procesom elektrolize, njegovo skladištenje i naknadnu proizvodnju električne energije pomoću gorivnih ćelija. Razmatrani su princip rada P2H2P sistema, njegova ukupna efikasnost, kao i mogućnosti integracije u elektroenergetske mreže sa visokim udelom obnovljivih izvora energije. Pored toga, izvršeno je poređenje ovog koncepta sa drugim tehnologijama skladištenja energije, kao što su elektrohemijske baterije i mehanički sistemi, u pogledu primenljivosti, prednosti i ograničenja. Rezultati analize ukazuju da vodonični sistemi imaju značajan potencijal u obezbeđivanju fleksibilnosti i stabilnosti budućih niskougljeničnih energetskih sistema.

Ključne reči - skladištenje energije, vodonik, Power-to-Hydrogen-to-Power, obnovljivi izvori energije, elektroenergetski sistem, dekarbonizacija

Abstract - The integration of renewable energy sources into modern power systems requires the development of efficient and reliable electrical energy storage technologies, due to the variable and unpredictable nature of renewable generation. Among the various available solutions, hydrogen stands out as a promising energy carrier for long-term and seasonal storage of large amounts of energy. This paper analyses different electrical energy storage technologies, with particular focus on the Power-to-Hydrogen-to-Power (P2H2P) concept, which involves the conversion of surplus electrical energy into hydrogen via electrolysis, its storage, and subsequent electricity generation using fuel cells. The operating principles of P2H2P systems, their overall efficiency, and possibilities for integration into power grids with a high share of renewable energy sources are examined. In addition, the concept is compared with other energy storage technologies, such as electrochemical batteries and mechanical systems, in terms of applicability, advantages, and limitations. The results of the analysis indicate that hydrogen-based systems have significant potential to provide flexibility and stability in future low-carbon energy systems.

Index Terms - energy storage, hydrogen, Power-to-Hydrogen-to-Power, renewable energy sources, power system, decarbonisation

Procena ostvarene tržišne cene i uticaja integracije baterijskog skladišta energije na ovu cenu kod solarnih fotonaponskih elektrana u Srbiji

Assessment of Capture Price and the Impact of Battery Energy Storage Integration on the Market Value of Solar Photovoltaic Power Plants in Serbia

Željko Marković*, Dejan Stojčevski**, Miloš Kostić***

* SCITECH d.o.o. Beograd, ** SEEPEX a.d. Beograd, *** MT KOMEX d.o.o. Beograd

Rezime - Povećanje udela solarnih fotonaponskih elektrana (SFNE) i rast volatilnosti veleprodajnih cena električne energije zahtevaju analize prihoda koje prevazilaze jednostavnu upotrebu prosečne godišnje tržišne cene. Ostvarena ponderisana tržišna cena proizvodnje (CP engl. *Capture Price*) predstavlja ključni pokazatelj stvarne tržišne vrednosti PV proizvodnje.

U radu je izvršena procena CP solarnih fotonaponskih elektrana u Srbiji za period 2023–2025. godine. S obzirom na nedostatak javno dostupnih agregiranih satnih podataka o proizvodnji svih SFNE u Srbiji, razvijen je metodološki pristup zasnovan na ERA5 meteorološkoj reanalizi koju objavljuje Copernicus Climate Change Service, kojim je modelovana uniformno raspoređena flota SFNE na celokupnoj teritoriji Srbije. Za proračun su korišćene ostvarene satne cene sa tržišta „dan unapred“ na nacionalnoj berzi SEEPEX. Metodologija je potvrđena poređenjem sa izmerenim satnim podacima o proizvodnji referentne elektrane za 2024. i 2025. godinu, pri čemu su odstupanja izračunatih vrednosti CP bila manja od 2%, što potvrđuje robusnost predloženog pristupa.

Dalje je analiziran uticaj integracije baterijskog skladišta energije (BESS engl. *Battery Energy Storage System*) u dve konfiguracije (nominalne snage 25% i 50% od instalisane snage PV elektrane, i kapaciteta 2 sata), simulacijom algoritma optimalnog upravljanja uz potpunu informaciju o budućim cenama. Rezultati pokazuju da integracija BESS sistema povećava CP, ali istovremeno povećava odstupanja dobijenih vrednosti CP između modela uniformno raspoređene SFNE flote i rezultata na nivou pojedinačne, referentne elektrane (5–8%).

Predstavljeni okvir omogućava transparentnu i ponovljivu metodologiju za procenu tržišne vrednosti SFNE i hibridne SFNE (sa BESS) u narednim godinama na tržištu Srbije.

Ključne reči – SFNE, ERA5, Ostvarena ponderisana tržišna cena proizvodnje, SEEPEX, BESS

Abstract - The increasing penetration of solar photovoltaic power plants (SPPs) and the growing volatility of wholesale electricity prices require revenue assessments that go beyond the simple use of average annual market prices. The achieved production-weighted market price (CP, Capture Price) represents a key indicator of the actual market value of PV generation.

This paper presents an assessment of the CP of solar photovoltaic power plants in Serbia for the period 2023–2025. Due to the lack of publicly available aggregated hourly production data for all SPPs in Serbia, a methodological approach based on the ERA5 meteorological reanalysis published by the Copernicus Climate Change Service was developed to model a spatially uniform fleet of SPPs across the entire territory of Serbia. Realized hourly day-ahead market prices from the national power exchange SEEPEX were used for the calculation. The methodology was validated through comparison with measured hourly production data from a reference power plant for 2024 and 2025, with deviations of calculated values of the CP below 2%, confirming the robustness of the proposed approach.

Furthermore, the impact of integrating a Battery Energy Storage System (BESS) was analyzed under two configurations (nominal power equal to 25% and 50% of the installed PV capacity, with a two-hour storage duration), using a simulation of an optimal dispatch algorithm assuming perfect foresight of future prices. The results indicate that BESS integration increases the CP but simultaneously enlarges the deviations of obtained values for the CP between the spatially uniform SPP fleet model and plant-level results for the reference facility (5–8%).

The proposed framework provides a transparent and replicable methodology for assessing the market value of solar photovoltaic power plants and hybrid SPP (with BESS) systems in the Serbian electricity market in the coming years.

Index Terms – PV power plants, ERA5, Capture Price, SEEPEX, BESS

Towards a Simulation Module for Application in Digital Twins of Photovoltaic Systems

Čedomir Zeljković*, Predrag Mršić*, Petar Matić*, Bojan Erceg*, Branko Blanuša*, Mario Vražić**,
Luka Budin**, Daniel Denkovski***, Živko Kokolanski***

* University of Banja Luka, Faculty of Electrical Engineering, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina

** University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing, Zagreb, Croatia

*** Ss Cyril and Methodius University, Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Skopje, North Macedonia

Abstract – The digitalization process facilitates the faster integration of renewable energy sources into power systems and enhances their planning and operation. Among contemporary digital technologies, digital twins stand out as virtual replicas of physical system assets, well suited for performance monitoring and optimization. This paper presents initial steps toward the development of a simulation module for digital twins of photovoltaic (PV) systems. The proposed module is implemented in Python and adopts a modular structure composed of astronomical, optical, thermal, and electrical submodels to estimate the AC power output of a PV system. A challenging simulation scenario is considered, in which the output power is calculated using a minimal set of input data, namely global horizontal irradiance, ambient temperature, and wind speed. The simulation results are validated using measurements from a real PV system, demonstrating satisfactory agreement despite limited data availability. The developed simulation module represents a key component of digital twin implementations for PV systems and can be applied to performance monitoring, fault detection, and optimization.

Index Terms – Digital Twin, Photovoltaic System, Simulation module.

Uloga baterijskih skladišta u radu EES

Battery Storages and Their Impact on Power System Operation

Bojan Ivanović*, Tomislav Rajić**

* Elektrodistribucija Srbije, Beograd, Srbija

** Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet, Beograd, Srbija

Rezime – Baterijska skladišta električne energije sve više nalaze primenu u elektroenergetskom sistemu, bilo za obezbeđenje sigurnosti napajanja bilo za regulaciju rada obnovljivih izvora energije promenljive proizvodnje, odnosno solarnih i vetroelektrana. Osim toga, koriste se i za potrebe: a) regulacije sistemske učestanosti, b) regulacije snage razmene regulatorne oblasti i c) upravljanje naponima. Njihove performanse se permanentno unapređuju, dok im cene u poslednjih nekoliko godina imaju trend pada. Operatori prenosnih sistema sve češće zahtevaju da priključenje solarnih i vetroelektrana bude podržano određenim kapacitetima baterijskih skladišta radi samobalansiranja. Na taj način se indirektno forsira instalacija baterijskih skladišta u sistemu. S druge strane, baterijska skladišta imaju povišene bezbedonosne rizike, dok je njihovo recikliranje na veoma niskom nivou. Zbog toga njihova intenzivna izgradnja može narušiti bezbedonosne parametre sistema i ugroziti životnu sredinu. Regulacione oblasti se međusobno razlikuju u konvencionalnim regulacionim kapacitetima te stoga nije racionalno povlačiti paralele među njima po pitanju ugradnje baterijskih skladišta. U radu se razmatraju karakteristike baterijskih skladišta i predlaže mera njihove primene u elektroenergetskom sistemu Srbije.

Ključne reči – BSEE, reciklaža, životni vek, OIE.

Abstract - Battery energy storage systems (BESS) are increasingly being integrated into power networks, whether to ensure supply security or to control the operation of renewable energy sources (RES) with variable output, such as solar and wind power plants. In addition, they are also used for: a) system frequency control, b) control area power exchange control, and c) voltage regulation. Their performance is continuously improving, while costs have shown a downward trend in recent years. Transmission system operators are increasingly requiring that the connection of solar and wind facilities be supported by specific battery storage capacities to enable self-balancing, thereby indirectly encouraging their installation within the power grid. However, battery storage systems also entail elevated safety risks, and recycling remains at a very low level. Consequently, large-scale deployment may compromise system safety parameters and pose environmental challenges. Control areas differ in their conventional balancing capacities, making it irrational to draw direct parallels regarding battery storage integration. This paper examines the characteristics of battery energy storage systems and proposes measures for their application in power system of Serbia.

Index Terms – BESS, recycling, lifetime, RES.

Analiza provere ispunjenosti zakonskog minimalno potrebnog kapaciteta i snage baterijskog skladišta za potrebe balansiranja

Analysis of the verification of compliance with the minimum required capacity and power of the battery storage for balancing purposes

Sima Tatalović, Lazar Vesić,
Sage Solutions d.o.o. Beograd

Rezime - U skladu sa Zakonom o korišćenju obnovljivih izvora energije ("Sl. glasnik RS", br. 40/2021, 35/2023 i 94/2024), odlaganje postupka priključenja elektrana koje koriste varijabilne obnovljive izvore energije na prenosni i distributivni sistem ne primenjuje se u slučaju kada klijent preuzme obavezu za obezbeđivanje novog kapaciteta za pružanje pomoćnog usluge sekundarne regulacije frekvencije (odnosno balansiranja). Zakonom je definisan minimalno potrebni opseg regulacije odnosno kapacitet baterijskog skladišta iskazan u odnosu na instalisanu aktivnu snagu elektrane koju je potrebno balansirati.

U ovom radu sprovedeće se analiza provere ispunjenosti zakonom definisanih minimalnih vrednosti regulacionog opsega snage i kapaciteta baterijskog skladišta povezanih na unutrašnje instalacije elektrane varirajući tačku u sistemu u kojoj se uslov mora ispuniti, a koji važeća regulativa nije definisala, uvažavajući i zahtev da se obezbeđen kapacitet za pružanje usluga balansiranja mora ispuniti tokom čitavog životnog veka elektrane za vreme za koje je priključena na sistem. Računske provere će se izvršiti za slučaj priključenja baterijskog skladišta na unutrašnje instalacije elektrane koja se priključuje na prenosni i distributivni sistem, uz analizu mogućih načina dokazivanja ispunjenosti uslova u trenutku prvog puštanja baterijskog skladišta u rad i prilikom svakog učestovanja na javnom pozivu za pružanje pomoćne usluge.

Posebnom studijom slučaja, analiziraće se i scenario kada je baterijsko skladište povezano na unutrašnje instalacije elektrane priključene na distributivni sistem, bez mogućnosti punjenja skladišta iz distributivne mreže, uz poseban osvrt na način definisanja instalisane snage hibridnog sistema koga čine solarna elektrana i baterijsko skladište u odnosu na regulatorni okvir kojim se u zavisnosti od „snage“ sistema opredeljuje nadležnost za izdavanje akata za izgradnju.

Ključne reči - Baterijsko skladište, balansiranje, odlaganje postupka priključenja

Abstract - In accordance with the Law on the Use of Renewable Energy Sources (Official Gazette of the RS, Nos. 40/2021, 35/2023, and 94/2024), the postponement of the grid connection process for power plants utilizing variable renewable energy sources (vRES) to the transmission and distribution systems does not apply if the applicant assumes the obligation to provide new capacity for secondary frequency control ancillary services (i.e., balancing). The Law defines the minimum required regulation range, specifically the Battery Energy Storage System (BESS) capacity, expressed relative to the installed active power of the power plant to be balanced.

This paper provides an analysis of the compliance verification for the legally mandated minimum regulation range and BESS capacity when integrated into the plant's internal installations. The study evaluates the impact of varying the reference point in the system where compliance must be met—a parameter currently undefined by existing regulations—while accounting for the requirement that balancing capacity must be maintained throughout the plant's entire operational lifespan.

Computational verifications are conducted for BESS integration within internal installations for both transmission and distribution grid connections. Furthermore, the paper analyzes potential methodologies for verifying compliance during initial commissioning and subsequent participation in public tenders for ancillary services.

A specific case study examines a scenario where a BESS is connected to the internal installations of a distribution-connected plant without the capability to charge from the grid. Particular focus is placed on the methodology for defining the installed capacity of the hybrid system (Solar PV + BESS) in relation to the regulatory framework, which determines the jurisdictional authority for issuing construction and operational permits based on the system's rated power.

Index Terms - Battery Energy Storage System (BESS), postponement of the grid connection procedure, balancing

Uticaj OLTC regulacije transformatora 35/10 kV na prihvatni kapacitet SN/NN mreža za priključenje fotonaponskih elektrana

Impact of 35/10 kV Transformer OLTC Regulation on PV Hosting Capacity in MV/LV Networks

Jelena Gajović*, Anja Čanović**

CEDIS d.o.o. Podgorica, Crna Gora

Rezime - Masovna integracija fotonaponskih (PV) elektrana u distributivne mreže u Crnoj Gori dovodi do ograničenja prihvatnog kapaciteta (engl. hosting capacity, HC) za distribuiranu proizvodnju, prvenstveno usljed dostizanja dozvoljene promjene napona u niskonaponskim (NN) i srednjenaponskim (SN) dijelovima mreže, kao i termičkih ograničenja vodova. U radu se procjenjuje u kojoj mjeri primjena aktivne regulacije napona na nivou transformatorskih stanica 35/10 kV, zasnovana na transformatorima sa regulacijom pod opterećenjem (OLTC) i odgovarajućim podešavanjima automatskog regulatora napona, može doprinijeti povećanju prihvatnog kapaciteta SN/NN mreže za priključenje PV izvora uz očuvanje sigurnog i pouzdanog rada mreže. Analiza je zasnovana na proračunima tokova snaga za reprezentativne režime opterećenja i proizvodnje, uz postepeno povećavanje dodatne PV snage i određivanje lokalnog HC po čvorovima na SN (10 kV) i NN (0,4 kV) nivou, kako za slučaj bez postojećih izvora, tako i za postojeće stanje mreže. Posebno se razmatra uticaj podešavanja OLTC regulatora (deadband $\pm 1\%$ i $\pm 2\%$) na promjenu lokalnog HC i naponske prilike u mreži, uz poređenje sa scenarijem $\cos\phi = 0,95$ kao operativnom mjerom koja se može propisati kroz tehničke uslove priključenja PV sistema. Rezultati su prikazani na primjeru realne distributivne mreže u Crnoj Gori sa postojećim priključenim PV elektranama, s ciljem sagledavanja dometa i ograničenja razmatranih mjera u zasićenim zonama mreže.

Ključne reči - prihvatni kapacitet mreže, regulacija pod opterećenjem (OLTC), 35/10 kV transformatorska stanica, fotonaponske elektrane (PV), distributivna mreža, SN/NN mreže.

Abstract - The large-scale integration of photovoltaic (PV) power plants into distribution networks in Montenegro is increasingly leading to limitations of the hosting capacity (HC) for distributed generation, primarily due to reaching the allowable voltage change limits in low-voltage (LV) and medium-voltage (MV) network sections, as well as potential thermal constraints of feeders. This paper evaluates the extent to which the application of active voltage regulation at 35/10 kV substations-based on transformers equipped with on-load tap changers (OLTC) and appropriate settings of the automatic voltage regulator-can contribute to increasing the hosting capacity of MV/LV networks for PV integration while maintaining safe and reliable network operation. The analysis is based on power-flow calculations for representative loading and generation conditions, with a gradual increase of additional PV capacity and the determination of local HC at MV (10 kV) and LV (0.4 kV) nodes, both for the case without existing sources and for the existing network state. Particular attention is given to the impact of OLTC controller settings (deadband $\pm 1\%$ and $\pm 2\%$) on changes in local HC and voltage conditions, with a comparison to the $\cos\phi = 0.95$ scenario as an operational measure specified through the technical connection requirements for PV systems. The results are demonstrated on a real distribution network in Montenegro with existing connected PV plants, with the aim of assessing the potential and limitations of the considered measures in saturated network areas.

Index Terms - hosting capacity, on-load tap changer (OLTC), 35/10 kV substation transformer, photovoltaic (PV) power plants, distribution network, MV/LV networks

Analiza mogućnosti zajedničkog rada solarne elektrane, pumpno-akumulacionog postrojenja i hidroelektrane na prostorno bliskim lokacijama

Analysis of the possibilities for the joint operation of a solar power plant, a pumped-storage facility and a hydropower plant in spatially close locations

Jovan Tošić*, Pavle Stjepanović*, Veselin Anđelković*, Jasmina Nešković*

* Rudarski institut d.o.o. Beograd, Beograd

Rezime - Ovaj rad ima za cilj da sagleda, u kojoj meri je, moguće da se postojeći diskontinuitet, iz proizvodnje električne energije u solarnim elektranama (SE, ili u stranoj literaturi Photovoltaic, PV), ublaži, na taj način što bi se na prostorno bliskim lokacijama, spregnule u zajednički rad solarna elektrana – pumpno-akumulaciono postrojenje sa akumulacijom na višim kotama i hidroelektrana (sistem SE – PAP – HE). Osnovna ideja je da se u sistemu SE – PAP – HE, omogući što duži kontinualan rad hidroelektrane, a da se sve diskontinualnosti u radu solarne elektrane što više ravnaju i kompezuju, odnosno "peglažu" na dnevnom, sezonskom i godišnjem nivou preko akumulacije. Nakon opštih konstatacija u vezi sa mogućim sistemom SE – PAP – HE, izvršena je kratka analiza diskontinualnosti rada SE i predložena su neka od mogućih rešenja. U zaključku je konstatovano da koncept izgradnje na prostorno bliskim lokacijama sistema SE – PAP – HE je ostvarljiv. Diskontinuitet koji se javlja u proizvodnji električne energije iz solarne elektrane se kroz ovaj koncept u velikoj meri otklanja. Ukoliko se ovaj sistem posmatra kao zatvoren sistem, izlaz iz njega bi bio kontinuirana proizvodnja električne energije iz poslednjeg postrojenja, odnosno iz hidroelektrane. Međutim, hidroelektrana ne može da radi tokom svih 24 sata istom snagom i imala bi pad proizvodnje u ranim jutarnjim časovima i pred sumrak, za slučaj godišnjeg izravnavanja preko gornje akumulacije.

Gljučne reči - prostorno bliske lokacije, solarna elektrana, pumpno-akumulaciono postrojenje, hidroelektrana, diskontinuitet proizvodnje električne energije

Abstract - The aim of this paper is to examine whether and to what extent it is possible to mitigate the existing discontinuity in electricity production from solar power plants (SPP, or Photovoltaic - PV in foreign literature) by integrating a solar power plant, a pumped-storage facility with an upper reservoir, and a hydropower plant (the SPP–PSP–HPP system) in spatially close locations. The basic idea is to enable the longest possible continuous operation of the hydropower plant within the SPP–PSP–HPP system while smoothing and compensating for all discontinuities in solar power plant operation at daily, seasonal, and annual levels using the upper reservoir. After general observations on the potential SPP–PSP–HPP system, a brief analysis of the discontinuities in solar power plant operation is conducted, and several possible solutions are proposed. The conclusion indicates that the concept of constructing the SPP–PSP–HPP system in spatially close locations is feasible. The discontinuity in electricity production from the solar power plant is significantly reduced through this concept. If observed as a closed system, its output would be the continuous generation of electricity from the final facility, i.e., the hydropower plant. However, the hydropower plant cannot operate at full capacity 24/7 and would experience a decrease in production during early morning hours and at dusk in the case of annual balancing through the upper reservoir.

Index Terms - spatially close locations, solar power plant, pumped-storage facility, hydroelectric power plant, discontinuity of electricity production

Unapređenje regulatornog okvira sigurnosti snabdevanja u naftno gasnom sektoru

Improving the regulatory framework for security of supply in the oil and gas sector

Miloš Kuzman*

* Udruženje za pravo energetike Srbije, Pjarona de Mondezira 30, Beograd

Rezime - Sve više se na globalnom nivou govori o potrebi da se sigurnost snabdevanja učini pouzdanijom nego što je to trenutno slučaj. Energetska tranzicija je umnogome doprinela ovakvoj diskusiji kao i drugi faktori, kao što su političke prilike u svetu i sve ograničenija dostupnost neobnovljivih izvora energije. Brojni su načini na koji može da se unapredi sigurnost snabdevanja i oni mogu biti tehničke, ekonomske pa i regulatorne prirode. U Republici Srbiji propisi koji uređuju oblast nafte, derivata nafte, prirodnog gasa kao i njihovih obaveznih rezervi nalazili su se u brojnim propisima što je za posledicu moglo imati regulatornu neusklađenost i različito tumačenje pojmova kada su ove oblasti u pitanju. Donošenjem zakona o nafti, zakona o gasu i zakona o obaveznim rezervama nafte, derivata nafte i prirodnog gasa u decembru 2025. godine zakonodavac je želeo da većinu zakonske materije koja se odnosi na ove oblasti uredi posebnim propisima. Cilj ovakvog uređivanja je obezbeđivanje sigurnosti isporuke i snabdevanja nafte, derivata nafte i gasa odnosno sveobuhvatnije uređivanje obaveznih rezervi u ovim oblastima. U ovom radu biće reči o potrebi, rešenjima i mogućnostima koje donose navedeni propisi. Poseban akcenat u radu će biti posvećen međuzavisnosti sigurnosti snabdevanja koja se jemči ovim propisima i njihovog odnosa sa energetsom tranzicijom. Na kraju će biti predloženi zaključci i preporuke u susret primeni ova tri zakona.

Ključne reči - nafta, prirodni gas, obavezne rezerve, sigurnost snabdevanja, energetska tranzicija

Abstract - There is increasing global talk about the need to make security of supply more reliable than it currently is. The energy transition has greatly contributed to this discussion, as have other factors, such as the political situation in the world and the increasingly limited availability of non-renewable energy sources. There are numerous ways in which greater security of supply can be ensured and they can be of a technical, economic and even regulatory nature. In the Republic of Serbia, the regulations governing the area of oil, oil derivatives, natural gas, as well as their mandatory reserves, were contained in numerous regulations, which could have resulted in regulatory inconsistency and different interpretations of terms when it comes to these areas. By passing the Oil Law, Gas Law and Law on mandatory reserves of oil, oil derivatives and natural gas in December 2025, the legislator wanted to regulate most of the legal matter related to these areas with new regulations. The goal of this regulation is to ensure the safety of delivery and supply of oil, oil derivatives and gas, as well as more comprehensive regulation of mandatory reserves in these areas. In this paper, we will talk about the need, solutions and possibilities brought by the mentioned regulations. Special emphasis in the work will be devoted to the interdependence of security of supply guaranteed by these regulations and their relationship with the energy transition. At the end, conclusions and recommendations for the implementation of these three laws will be presented.

Key words - oil, natural gas, mandatory reserves, security of supply, energy transition

Regulatorni okvir Republike Srbije za korišćenje nuklearne energije

Regulatory framework of the Republic of Serbia for the use of nuclear energy

Bojana Petrović Raičević*

* NIS a.d. Novi Sad, Narodnog fronta 12, Novi Sad

Rezime – Nakon višedecenijskog opadanja političke i investicione podrške izazvanog havarijama u Černobilju i Fukušimi, nuklearna energija dobija ponovnu afirmaciju na tlu Evrope podstaknuta energetsom krizom prouzrokovanom rusko-ukrajinskim sukobom. Jačanju nacionalnog regulatornog okvira korišćenja nuklearne energije doprinosi i usvajanje REPower Plana EU koji postavlja energetska nezavisnost Evropske unije kao primarni strateški cilj. Pored toga, Taksonomija Evropske unije svrstala je nuklearne aktivnosti u klasu aktivnosti kojima se u značajnoj meri ublažavaju klimatske promene čime je nuklearna energija prepoznata kao jedan od ključnih instrumenata za postizanje dekarbonizacije i klimatske neutralnosti.

Ovaj novi zamah podstakao je i države koje decenijama nisu razmatrale nuklearne tehnologije, uključujući i Srbiju, da preispitaju svoj pravni okvir. Republika Srbija je 2024. godine kroz izmene Zakona o energetici ukinula višedecenijski moratorijum na izgradnju nuklearnih elektrana što predstavlja strateški zaokret i otvara potrebu za sveobuhvatnom procenom regulatorne spremnosti države za potencijalnu proizvodnju nuklearne energije. Cilj ovog rada jeste komparativna analiza regulatornog okvira korišćenja nuklearne energije Evropske unije, međunarodnih konvencija koje je ratifikovala Republika Srbija, kao i važećeg nacionalnog zakonodavstva, sa ciljem identifikovanja onih oblasti koje zahtevaju dalje unapređivanje.

Prvi deo rada sistematizuje međunarodne obaveze Republike Srbije iz oblasti nuklearne sigurnosti, zaštite od jonizujućih zračenja, upravljanja radioaktivnim otpadom, odgovornosti za nuklearnu štetu i sprečavanja nuklearnog terorizma, uz poseban osvrt na Euratom legislativu. Drugi deo rada fokusiran je na propise Republike Srbije u oblastima kao što su: zaštita radnika i stanovništva, industrijska i fizička sigurnost postrojenja, sistemi pripravnosti i reagovanja, tehnički standardi, licenciranje, upravljanje nuklearnim otpadom, transport i skladištenje nuklearnih materija, kao i dekomisija nuklearnih postrojenja. Na osnovu ovakve analize u zaključku su date preporuke za dalji razvoj sveobuhvatnog i usklađenog pravnog okvira za potencijalnu proizvodnju nuklearne energije u Republici Srbiji.

Ključne reči – nuklearna energija, EU regulativa, jonizujuće zračenje

Abstract - After decades of declining in political and investment support caused by the Chernobyl and Fukushima disasters, the peaceful use of nuclear energy is regaining its prominence on the European soil encouraged by the energy crisis caused by the Russo-Ukrainian crisis. The adoption of the EU's REPower Plan, which sets the European Union's energy independence as a primary strategic goal, also contributes to the process of strengthening the national regulatory framework for the use of nuclear energy. Moreover, the European Union Taxonomy has classified nuclear activities as activities deemed to contribute substantially to climate change mitigation, thereby recognizing nuclear energy as one of the key instruments for achieving decarbonization and climate neutrality.

This new momentum has also prompted countries that have not considered nuclear technologies for decades, including Serbia, to re-examine their legal framework. In 2024, the Republic of Serbia lifted its decades-long moratorium on the construction of nuclear power plants through amendments to the Energy Law, marking a strategic shift and necessitating a comprehensive assessment of the country's regulatory readiness. The purpose of this paper is a comparative analysis of the European Union's regulatory framework for the use of nuclear energy, the international conventions ratified by the Republic of Serbia, and the current national legislation, with the aim of identifying areas that require further improvement.

The first part of the paper systematizes the Republic of Serbia's international obligations in the areas of nuclear security, protection against ionizing radiation, radioactive waste management, liability for nuclear damage, and the prevention of nuclear terrorism, with a focus on EU legislation and Euratom standards. The second part of the paper focuses on the regulations of the Republic of Serbia in areas such as: worker and public protection, industrial and physical security of facilities, preparedness and response systems, technical standards, supervision and licensing, nuclear waste management, transport and storage of nuclear materials, as well as the decommissioning of nuclear facilities. On the basis of this analyze, the paper concludes with recommendations for the further development of a comprehensive and harmonized legal framework for the potential use of nuclear energy in the Republic of Serbia.

Index Terms – nuclear energy, EU legislation, ionizing radiation

Ekomanipulacija u energetsom sektoru: pravni okvir u domaćem i uporednom pravu i uticaj na energetska tranziciju

Greenwashing in the Energy Sector: Legal Framework in Domestic and Comparative Law and Impact on Energy Transition

Veljko Milošević*

*BDK Advokati AOD, Bulevar kralja Aleksandra 28, Beograd

Rezime - Klimatske promene, globalno zagrevanje i geopolitičke prilike doneli su nove izazove za energetski sektor i ubrzali potrebu za globalnom energetsom tranzicijom i dekarbonizacijom. Republika Srbija, kao članica Energetske zajednice, nalazi se u izazovnoj poziciji zbog obaveze direktnog usklađivanja sa zakonodavstvom Evropske unije u ovoj oblasti. Strateški dokumenti i ratifikovani međunarodni ugovori postavljaju ambiciozne klimatske i energetske ciljeve, u odnosu na koje bi energetski subjekti trebalo blagovremeno da se pripreme i adekvatno usklade svoje poslovanje. Jedan od opšteprihvaćenih odgovora na nove izazove jeste postepeno napuštanje fosilnih goriva kao osnovnog izvora energije i prelazak na obnovljive izvore energije (OIE). Paralelno sa tim procesom, civilno društvo, potrošači i finansijske institucije postali su znatno informisaniji i sve više zainteresovani da doprinesu energetske tranzicije donošenjem ekonomskih odluka koje prednost daju subjektima čije poslovanje smatraju održivijim. Takvom razvoju doprinelo je nekoliko faktora: razvoj regulative i uspostavljanje jasnijih standarda, reputacione prednosti koje društveno odgovorni subjekti ostvaruju kod potrošača i finansijskih institucija, kao i pritisak konkurencije koja se, minimiziranjem negativnih uticaja svog poslovanja na životnu sredinu, bolje pozicionira na tržištu. Ovakvo regulatorno, društveno i tržišno okruženje ima uticaj na subjekte u energetsom sektoru koji su tradicionalno veliki zagađivači, poput fosilnih industrija. Kako bi doprineli ciljevima energetske tranzicije i održali konkurentnost, postoji potreba da se prilagode novim zahtevima i optimizuju svoje poslovanje u skladu sa ciljevima održivog razvoja. Posledica toga je da sve češće ulažu u OIE projekte, koriste mehanizme poput kompenzacije emisija ugljenika (*carbon offsetting*) i uvode druge održive prakse. Takve okolnosti i pritisak dovode do rizika od ekomanipulacije, tzv. *greenwashinga*, odnosno iznošenja neistinitih ili nedokazivih tvrdnji o uticaju na životnu sredinu.

Rad ima za cilj da ekspertima u oblasti energetike približi pojam ekomanipulacije u energetsom sektoru i podstakne dalje istraživanje ove teme. Akcenat je stavljen na pravni okvir u domaćem pravu i poređenje sa uporednopravnim rešenjima i primerima dobre prakse iz zemalja Evropske unije. Analizirana je odluka suda u Parizu u postupku u vezi sa ekomanipulacijom protiv kompanije TotalEnergies iz oktobra 2025. godine, koja može poslužiti kao presedan u klimatskim parnicama u sektoru energetike. U tom smislu, posebna pažnja posvećena je pitanju klasifikacije različitih izvora energije, njihovoj podeli na obnovljive i neobnovljive i rešenjima iz Evropske direktive o obnovljivoj energiji (RED III).

Ključne reči - energetska tranzicija, OIE, ekomanipulacija, klimatske parnice, TotalEnergies

Abstract - Climate change, global warming, and geopolitical developments have posed new challenges to the energy sector and accelerated the need for a global energy transition and decarbonisation. The Republic of Serbia, as a member of the Energy Community, finds itself in a challenging position due to the obligation to align directly with European Union legislation in this area. Strategic documents and ratified international agreements set ambitious climate and energy targets, which companies in the energy sector are expected to meet in a timely manner by adequately aligning their operations. One of the widely accepted responses to these new challenges is the gradual phasing out of fossil fuels as the primary energy source and the transition to renewable energy sources (RES). In parallel with this process, civil society, consumers, and financial institutions have become significantly more informed and increasingly interested in contributing to the energy transition by making economic decisions that favour entities whose operations they consider more sustainable. Several factors have contributed to this development: the advancement of regulations and the establishment of clearer standards, the reputational benefits that socially responsible entities gain with consumers and financial institutions, as well as competitive pressure, whereby minimizing the negative impacts of their operations on the environment allows companies to better position themselves in the market. Such a regulatory, social, and market environment has an impact on entities in the energy sector that are traditionally major polluters, such as fossil fuel industry. In order to contribute to the goals of the energy transition and maintain competitiveness, there is a need for them to adapt to new requirements and optimize their operations in line with sustainable development goals. As a result, they are increasingly investing in RES projects, utilizing mechanisms such as carbon offsetting, and introducing other sustainable practices. These circumstances and pressure give rise to the risk of greenwashing, that is, making false or unsubstantiated claims about environmental impact.

This paper aims to introduce experts in the energy field to the concept of greenwashing in the energy sector and to encourage further research on the topic. The focus is placed on the domestic legal framework with a comparison to similar legal solutions and best practice examples from European Union countries. Analysis includes the Court of Paris judgement in a greenwashing case against TotalEnergies from October 2025, which may serve as a precedent in climate litigation within the energy sector. In this context, particular attention is given to the classification of different energy sources, their division into renewable and non-renewable, and the provisions of the European Union Renewable Energy Directive (RED III).

Index Terms - energy transition, RES, greenwashing, climate litigation, TotalEnergies

Primena medijacije u energetske sporovima sa elementom inostranosti

The role of mediation in energy disputes with a cross-border element

Bojana Jovanović*

* Akcionarsko društvo Elektroprivreda Srbije Beograd

Rezime - Ovaj rad istražuje značaj medijacije kao pouzdanog mehanizma za rešavanje sporova između privatnih subjekata u energetske sektoru, posebno u uslovima liberalizovanog i digitalizovanog tržišta energije, u kojima tehnološka međuzavisnost i različita normativna okruženja povećavaju rizik od parničenja i prekida saradnje.

Do spora najčešće može doći usled nepoštovanja ugovornih obaveza, pogrešnog tumačenja ugovora o kupovini električne energije (PPA skraćeno od engleskog *Power Purchase Agreement*), nestabilnosti mreže, tehničkih kvarova ili sajber incidenata... S obzirom na složenost odnosa i sve češće prekogranični element sporova, tradicionalni sudski postupci i arbitraža često nisu najpogodniji mehanizmi za njihovo rešavanje, posebno imajući u vidu visoke troškove, dugotrajnost postupka i različite pravne sisteme. Nasuprot tome, medijacija kao oblik alternativnog rešavanja sporova (skraćeno ADR od engleskog *Alternative Dispute Resolution*) je priznati pravni institut koji nudi fleksibilno i sporazumno rešavanje sporova van suda. Ona je usmerena ka interesima strana, omogućava brže postupke i doprinosi očuvanju dugoročne poslovne saradnje, što je posebno značajno u slučajevima operativne, tehničke i komercijalne zavisnosti između partnera, kao što je odnos proizvođača energije i agregatora. Umesto konfrontacije, medijacija podstiče dijalog, kompromis i obostrano prihvatljivo rešenje, čime omogućava dugoročnu stabilnost energetske partnerstva. Složenost energetske sporova i njihov visok rizik, uloga regulatornih i međunarodnih mehanizama za rešavanje sporova, relevantna nacionalna regulativa, pojam medijacije, nedostajuća klauzula o nadležnosti i izboru prava u spornom ugovoru, predstavljeni su kroz primer hipotetičke studije slučaja povodom spora između učesnika na tržištu električne energije, kupaca-proizvođača i agregatora iz različitih država. Polazna pretpostavka je da su kompanije zaključile ugovor o virtuelnoj elektrani, definišući prava i obaveze, gde je kupac-proizvođač obezbeđivao kapacitete za fleksibilnost i električnu energiju iz decentralizovanih izvora, uključujući solarne panele, baterije za skladištenje i druge obnovljive izvore, a agregator je tu energiju, potrebnu za stabilnost elektroenergetskog sistema, agregirao i nudio na balansnom tržištu. Kompenzacija je bila zasnovana na dinamičkom modelu cena, vezana za realno isporučene količine električne energije u konkretnim vremenskim intervalima. Spor je nastao zbog tvrdnji agregatora o nepredviđenim gubicima nastalim usled odstupanja od ugovorene količine isporučene električne energije i sankcijama koje trpi na tržištu usled nepoštovanja ugovornih obaveza, dok je kupac-proizvođač ukazivao na tehničke propuste u interfejsu i obradi podataka kao razloge za nastale, a sporne gubitke. Rad ukazuje na značaj medijacije u međunarodnom privatnom pravu i naglašava potrebu ugradnje medijacione klauzule (*mediation clause*) u buduće ugovore, koje zaključuju učesnici na tržištu električne energije, sa ciljem da same oblikuju postupak. Razmotreni su mogući ishodi medijacije, uključujući i situacije u kojima sporazum nije postignut ili nije dobrovoljno izvršen, kada je potrebna primena međunarodnih instrumenata prinudnog izvršenja. Naročita pažnja posvećena je ulozi medijatora i uključivanju stručnjaka sa interdisciplinarnim znanjima iz energetike, IKT sistema i tržišnih mehanizama, što je presudno za razumevanje i rešavanje sporova tehničke prirode.

Ključne reči - sporovi u energetici, medijacija, energetske tržište, energetske subjekti, pravo energetike

Abstract - This paper analyzes the use of mediation as an effective mechanism for resolving disputes between private entities in the energy sector, particularly in a liberalized and digitalized energy market. In such an environment, technological interdependence and diverse regulatory frameworks increase the risk of disputes, litigation, and disruption of cooperation. Disputes most often arise from breaches of contractual obligations, misinterpretation of power purchase agreements (PPA), grid instability, technical failures, or cyber incidents. Due to the complexity of energy relationships and the growing cross-border nature of disputes, traditional court proceedings and arbitration are frequently inadequate, given their high costs, lengthy duration, and differences between legal systems. Mediation, as a form of alternative dispute resolution (ADR), represents a recognized legal mechanism that enables flexible, consensual, and out-of-court settlement of disputes. It focuses on the interests of the parties, allows for faster resolution, and supports the preservation of long-term business relationships. This is especially important in situations involving operational, technical, and commercial interdependence, such as relationships between energy producers and aggregators. By promoting dialogue, compromise, and mutually acceptable solutions instead of confrontation, mediation contributes to the long-term stability of energy partnerships. The paper addresses the complexity and high-risk nature of energy disputes, the role of regulatory and international dispute resolution mechanisms, relevant national legislation, and the legal concept of mediation through a hypothetical case study. The case concerns a

dispute between electricity market participants, a prosumer and an aggregator from different countries arising from a virtual power plant agreement. Under the agreement, the prosumer provided flexibility services and electricity from decentralized renewable sources, including solar panels and battery storage systems, while the aggregator combined this energy and offered it on the balancing market to support power system stability. Compensation was based on a dynamic pricing model linked to the actual quantities of electricity delivered within defined time intervals. The dispute emerged when the aggregator claimed unforeseen losses caused by deviations from the agreed electricity volumes and market penalties resulting from alleged non-performance, while the prosumer attributed the losses to technical deficiencies in the interface and data processing systems. The paper emphasizes the importance of mediation within private international law and highlights the need to include mediation clauses in future electricity market contracts, enabling parties to design the dispute resolution process in advance. Possible mediation outcomes are examined, including scenarios where no agreement is reached or where settlement is not voluntarily enforced, necessitating the use of international enforcement instruments. Attention is given to the role of the mediator and the involvement of interdisciplinary experts with knowledge in energy systems, ICT, and market mechanisms, which is essential for resolving technically complex disputes.

Index Terms - energy disputes, mediation, energy market, energy entities, energy law

PRAVNI OKVIR ZA SKLADIŠTENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

LEGAL FRAMEWORK FOR ELECTRICITY STORAGE

Branislava Lepotić Kovačević
Udruženje za pravo energetike Srbije

Apstrakt: Skladištenje električne energije je zvanično uvedeno u pravni okvir o električnoj energiji Evropske unije kroz paket propisa „Čista energija za sve Evropljane“.

Uredba (EU) 2018/1999, koja otvara ovaj paket propisa uvela je u strateški i pravni okvir nove pravce razvoja tržišta električne energije. Regulatorno je prepoznato skladištenje električne energije. Ova uredba je otvorila vrata za dublju razradu skladištenja električne energije kroz ostale propise prava energetike Evropske unije.

Skladištenje električne energije su i pre ovog propisa u različitim formama i situacijama preduzimali energetske subjekti, ali je bilo povezane sa načinom obavljanja njihovih delatnosti proizvodnje, prodaje, snabdevanja, prenosa i distribucije električne energije. Sa novim propisima otišlo se čak i korak napred i uređeno je da skladištenje električne energije mogu da obavljaju i kupci električne energije.

Prepoznavanje skladištenja električne energije u izvorima prava Evropske unije uticalo je na prepoznavanje skladištenja električne energije u pravnom okviru država članica Evropske unije. Prateći ovaj proces, Odlukom Ministarskog saveta Energetske zajednice br. 2022/03/MC-EnC, stvorena je obaveza za Ugovorne strane Energetske zajednice da transponuju ove propise u svoj pravni okvir. To je uticalo da se i u Republici Srbiji, kao Ugovornoj strani Energetske zajednice, uredi skladištenje električne energije.

U ovom radu će se razmatrati skladištenje električne energije u izvorima prava energetike Evropske unije i njenih država članica, u izvorima prava energetike, kao i u drugim propisima Republike Srbije koji upotpunjuju pravni okvir za skladištenje električne energije. Takođe, razmotriće se da li je skladištenje električne energije energetska delatnost ili energetska aktivnost, vidovi skladištenja električne energije i njihovi aspekti, kao i drugi aspekti od značaja za skladištenje električne energije.

Ključne reči: skladištenje električne energije, pravo energetike, Energetska zajednica, tržište električne energije, fleksibilnost

Abstract: Electricity storage has been officially introduced into the European Union's electricity legal framework through the "Clean Energy for All Europeans" package of regulations.

Regulation (EU) 2018/1999, which opens this package of regulations, has introduced new directions for the development of the electricity market in the strategic and legal framework. Electricity storage has been recognized by regulation. This regulation has opened the door for a deeper elaboration of electricity storage through other regulations of the energy law of the European Union.

Even before this regulation, electricity storage was undertaken by energy entities in various forms and situations, but it was related to the manner of performing their activities of production, sale, supply, transmission and distribution of electricity. With the new regulations, even a step forward has been taken and it has been arranged that electricity storage can also be performed by electricity customers.

The recognition of electricity storage in the sources of European Union law has influenced the recognition of electricity storage in the legal framework of the Member States of the European Union. Following this process, the Decision of the Ministerial Council of the Energy Community No. 2022/03/MC-EnC created an obligation for the Contracting Parties of the Energy Community to transpose these regulations into their legal framework. This has led to the regulation of electricity storage in the Republic of Serbia, as a Contracting Party to the Energy Community.

This paper will consider the storage of electricity in the sources of energy law of the European Union and its Member States, in the sources of energy law, as well as in other regulations of the Republic of Serbia that complement the legal framework for electricity storage. Also, there will be considered whether the storage of electricity is an energy licensed activity or energy activity, the types of electricity storage and their aspects, as well as other aspects of importance for electricity storage.

Keywords: electricity storage, energy law, Energy Community, electricity market, flexibility

MOGUĆNOSTI KORIŠĆENJA PPA MODELA UGOVORA U REPUBLICI SRBIJI

THE POSSIBILITY OF USING THE PPA CONTRACT MODEL IN THE REPUBLIC OF SERBIA

Dejan Vasić*, Ivana Đorđević**

* Elektrodistribucija Srbije, Beograd

**Ivana Đorđević, Elektroprivreda Srbije, Beograd

Rezime: PPA ili Ugovor o kupovini električne energije je ugovor o snabdevanju električnom energijom direktno između proizvođača (proizvođača iz obnovljivih izvora) i potrošača (kompanije kojoj su potrebne velike količine električne energije). Radi se o dugoročnim ugovoru, gde je cena električne energije (čiste energije) unapred određena. Sigurno snabdevanje električnom energijom iz OIE po unapred dogovorenim cenama su benefiti PPA ugovora. Prednost za sve korisnike ovih ugovora, i kupaca i proizvođača je ta što nema nikakvih barijera kada je reč o granicama. Postoje različite vrste PPA ugovora, fizički PPA sa direktnim preuzimanjem energije i virtuelni PPA gde se daju samo sertifikati za otkupljenu energiju, kao i modeli gde se primenjuju druge odrednice. Svi modeli će biti detaljno obrađeni u radu. Osnovni elementi PPA ugovora (cena, količina, plaćanje, mesto preuzimanja, ročnost, plaćanje, odstupanje od ugovorenih količina, raskid ugovora, penali....) biće prikazani u radu. Takođe će se u radu analizirati i zakonska regulativa u Republici Srbiji kroz najnovije izmene Zakona o energetici. Navešće se i primeri dobre prakse iz zemalja EU koje su u primeni PPA ugovora već dugo godina, i koji se veoma uspešno koriste kao ugovori kojima se prevazilaze periodične krize u snabdevanju električnom energijom i smanjenje uticaja rasta cena energije. Potpisivanje PPA se može shvatiti kao prodaja projekta i njegovih ekoloških atributa (Garancije porekla). Na primer, kao potrošač zelene energije na osnovu potpisivanja PPA, potrošač će dobiti Zeleni sertifikat, kojim se može trgovati ili koristiti u marketinške svrhe, što mu daje dokaz da energija koja se tamo koristi ima manji CO2 otisak. U nekim zemljama, posedovanje garancija porekla može doneti poreske olakšice ili subvencije, i može da utiče na životnu sredinu. Takođe, u slučaju Republike Srbije, kada budu implementirani, svaki proizvođač energije koji se ne angažuje na posedovanju zelenog sertifikata biće podvrgnut CBAM mehanizmu, što će znatno otežati izvoz proizvoda u zemlje koje su implementirale taj sistem. U radu ćemo sagledati i istražiti mogućnosti i prepreke implementacije PPA u Republici Srbiji, sagledati potrebe za ovom vrstom ugovora, navesti primere potpisanih ugovora i tražiti moguće probleme i rešenja za veću implementaciju ovih ugovora kod nas. Rad će kao zaključak predložiti preporuke za dalju primenu PPA ugovora u Republici Srbiji koji u značajnoj meri mogu uticati na dalji razvoj i izgradnju obnovljivih izvora energije, ali i značajno iskoristiti sve prednosti korišćenja ovih ugovora.

Ključne reči: zelena energija, PPA ugovori, CBAM, garancije porekla

Abstract: PPA or Power Purchase Agreement is a contract for the supply of electricity directly between a producer (a producer from renewable sources) and a consumer (a company that needs large amounts of electricity). It is a long-term contract, where the price of electricity (clean energy) is determined in advance. Secure supply of electricity from RES at pre-agreed prices are the benefits of a PPA contract. The advantage for all users of these contracts, both buyers and producers, is that there are no barriers when it comes to borders. There are different types of PPA contracts, physical PPA with direct energy takeover and virtual PPA where only certificates for purchased energy are provided, as well as models where other determinants are applied. All models will be discussed in detail in the paper. The basic elements of a PPA contract (price, quantity, payment, place of receipt, maturity, payment, deviation from the contracted quantities, contract termination, penalties...) will be presented in the paper. The paper will also analyze the legal regulations in the Republic of Serbia through the latest amendments to the Energy Law. Examples of good practice from EU countries that have been applying PPA contracts for many years will be cited, and which are very successfully used as contracts to overcome periodic crises in electricity supply and reduce the impact of rising energy prices. Signing a PPA can be understood as the sale of a project and its environmental attributes (Guarantees of Origin). For example, as a consumer of green energy, based on signing a PPA, the consumer will receive a Green Certificate, which can be traded or used for marketing purposes, which gives him proof that the energy used there has a lower CO2 footprint. In some countries, having a guarantee of origin can bring tax breaks or subsidies, and can affect the environment. Also, in the case of the Republic of Serbia, when they are implemented, any energy producer that does not engage in having a green certificate will be subject to the CBAM mechanism, which will significantly complicate the export of products to countries that have implemented this system. As a conclusion, the paper will propose recommendations for the further implementation of PPAs in the Republic of Serbia, which can significantly influence the further development and construction of renewable energy sources, but also significantly exploit all the advantages of using these contracts.

Index terms: green energy, PPA contracts, CBAM, guarantees of origin

Mapa puta dekarbonizacije sektora daljinskog grejanja u Republici Srbiji

Policy Roadmap for Decarbonization of the District Heating Sector in the Republic of Serbia

Dejan Ivezić*, Dejan Stojanović**, Branislava Lepotić Kovačević***, Marija Živković*

* Univerzitet u Beogradu – Rudarsko-geološki fakultet

** Poslovno udruženje „Toplane Srbije“, Šabac

*** Udruženje za pravo energetike Srbije, Beograd

Rezime - Sektor daljinskog grejanja ima značajnu ulogu u energetsom sistemu Republike Srbije i obuhvata 60 sistema daljinskog grejanja. Međutim, sektor se suočava sa ozbiljnim strukturnim i finansijskim izazovima, uključujući zastarelu infrastrukturu, visoku zavisnost od fosilnih goriva — posebno prirodnog gasa — i ograničenu integraciju obnovljivih izvora energije. S obzirom na to da se proizvodnja toplote pretežno zasniva na sagorevanju, sistemi daljinskog grejanja značajno doprinose emisijama gasova sa efektom staklene bašte i lokalnom zagađenju vazduha. Pored toga, analize poslovnih performansi ukazuju na izražene razlike među komunalnim preduzećima u pogledu efikasnosti, produktivnosti i profitabilnosti, dok ukupna finansijska nestabilnost ostaje sistemski problem u celom sektoru. Institucionalne nadležnosti za daljinsko grejanje u velikoj meri su decentralizovane i nalaze se na nivou lokalnih samouprava, što dodatno otežava koordinisane napore u procesu dekarbonizacije.

U ovom radu predstavlja se Mapa puta (engl. „Policy Roadmap“) za dekarbonizaciju sektora daljinskog grejanja u Srbiji, razvijena u skladu sa nacionalnim strateškim dokumentima — Nacionalnim energetske i klimatskim planom i Strategijom energetike.

Mapa puta je strukturirana oko šest ključnih stubova: koordinacije zainteresovanih strana, definisanja ciljeva za smanjenje emisija, finansijskih mehanizama podrške, lokalnog planiranja snabdevanja toplotom, obezbeđivanja konkurentnih i transparentnih cena, kao i diverzifikacije energetske mikse kroz dinamičku optimizaciju snabdevanja. Razmatraju se dva pristupa implementaciji: Osnovni pristup, usklađen sa postojećim regulatornim okvirom, i Decentralizovani pristup, koji podstiče pristup trećih strana mrežama i uključivanje novih proizvođača toplote. Mapa puta predviđa faznu primenu u periodu do 2040. godine, koja obuhvata pravne reforme, jačanje institucionalnih kapaciteta, finansijske mehanizme i uvođenje novih tehnologija.

Ključne reči – daljinsko grejanje, dekarbonizacija, mapa puta

Abstract –The district heating (DH) sector plays a significant role in Serbia’s energy system, comprising 60 DH systems and serving a large share of the population. However, the sector faces substantial structural and financial challenges, including aging infrastructure, high dependence on fossil fuels—particularly natural gas—and limited integration of renewable energy sources. As heat production is predominantly based on fuel combustion, DH systems contribute notably to GHG emissions and local air pollution. In addition, performance assessments reveal significant disparities among utilities in terms of efficiency, productivity, and profitability, while overall financial instability remains a systemic issue across the sector. Institutional responsibilities for district heating are largely decentralized and lie at the local government level, further complicating coordinated decarbonization efforts.

This paper presents a Policy Roadmap for the decarbonization of Serbia’s DH sector, developed in alignment with national strategic documents - the National Energy and Climate Plan and the Energy Strategy.

The policy framework is structured around six key pillars: stakeholder coordination, GHG reduction targets, financial support mechanisms, local heat planning, competitive and transparent pricing, and diversification of the energy mix through dynamic supply optimization. Two implementation approaches are considered: a Basic Approach aligned with existing regulatory frameworks, and a Decentralized approach promoting third-party access and new heat producers. The roadmap foresees phased implementation until 2040, encompassing legal reforms, institutional capacity building, financing mechanisms, and technological deployment.

Index Terms - district heating, decarbonization, policy roadmap

