

ZBORNİK REZIMEA RADOVA

pisanih za Drugu međunarodnu konferenciju
o obnovljivim izvorima električne energije

PROCEEDINGS

of The Second International Conference on
Renewable Electrical Power Sources



Ovo je interaktivni PDF. Molimo, kliknite na željeni odeljak **This is an interactive PDF. Please, click on the desired section**

Impresum Inprint

Pokrovitelji Patrons

Odbori Committees

Program Programme

Predgovor Preface

Sadržaj Contents



ZBORNİK REZİMEA RADOVA
pisanih za Drugu međunarodnu konferenciju
o obnovljivim izvorima električne energije
MKOİEE '13

Dom inženjera „Nikola Tesla“,
Kneza Miloša 9/III
16–18. oktobar 2013.

Izdavač

Savez mašinskih i elektrotehničkih
inženjera i tehničara Srbije (SMEITS)
Društvo za obnovljive izvore električne energije
Kneza Miloša 7a/II,
11000 Beograd

Predsednik Društva obnovljive izvore električne energije
Prof. dr Zoran Nikolić, dipl. inž.

Urednik

Prof. dr Zoran Stević, dipl. inž.

Štampa

„Šprint“, Beograd

GENERALNI POKROVITELJI
GENERAL PATRONS



Elektroprivreda Srbije,
Beograd



Termoelektrane „Nikola Tesla“,
Obrenovac

PROGRAMSKI POKROVITELJI
PROGRAMME SPONSORS



Ministarstvo energetike, razvoja i zaštite životne sredine RS
Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja RS



Elektrotehnički fakultet, Beograd



Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd



Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, Beograd



Inženjerska komora Srbije, Beograd



Privredna komora Srbije, Beograd

Institut tehničkih nauka
Srpske akademije nauka, Beograd

**MEĐUNARODNI
PROGRAMSKI ODBOR
INTERNATIONAL
PROGRAMME COMMITTEE**

Prof. Viorel Badescu	<i>Rumunija</i>
Prof. dr Pellumb Berberi	<i>Albanija</i>
Prof. dr Milorad Bojić	<i>Srbija</i>
Prof. dr Alla Denysova	<i>Bugarska</i>
Dr Aleksandar Ivancic	<i>Španija</i>
Prof. dr Miroljub Jevtić	<i>Srbija</i>
Prof. Dr Vladimir Krstić	<i>Kanada</i>
Prof. Nikolay Mihailov	<i>Bugarska</i>
Prof. dr Stefka Nedeltcheva	<i>Bugarska</i>
Mr Dušan Nikolić	<i>Australija</i>
Dr Zoran Nikolić	<i>Srbija</i>
Dr Mila Pucar	<i>Srbija</i>
Prof. dr Valerij Sitnikov	<i>Ukrajina</i>
Prof. dr Velimir Stefanović	<i>Srbija</i>
Prof. dr Zoran Stević	<i>Srbija (predsednik Odbora)</i>
Prof. dr Zoran Stojiljković	<i>Srbija</i>
Prof. dr Michael Todorov	<i>Bugarska</i>

**ORGANIZACIONI ODBOR
ORGANIZING COMMITTEE**

Rastislav Kragić
Zoran Nikolić (*predsednik Odbora*)
Ilija Radovanović
Zoran Stević
Stevan Šamšalović
Žarko Ševaljević

**ORGANIZATOR
ORGANIZER**

Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera
i tehničara Srbije (SMEITS),
Društvo za obnovljive izvore električne energije
Kneza Miloša 7a/II, 11000 Beograd
Tel. 011/3230-041, 3031-696, tel./faks 3231-372
Tekući račun broj 255-0007430101000-55
E-mail: office@smeits.rs
www.smeits.rs

PROGRAM KONFERENCIJE

THE CONFERENCE PROGRAMME

SREDA, 16. OKTOBAR 2013.
Wednesday, October 16th, 2013

9.30–9.50 h **REGISTRACIJA UČESNIKA I URUČENJE MATERIJALA ZA KONFERENCIJU**
Registration of Participants and Taking Over the Conference Materials

9.50–10.00 h **OTVARANJE KONFERENCIJE**
The Conference Opening

10.00–10.20 h **PLENARNO PREDAVANJE**
Plenary Session

10.20–12.20 h **SEKCIJA I • OBNOVLJIVI IZVORI ELEKTRIČNE ENERGIJE I ENERGETSKA POLITIKA**
Session I • Electrical Energy Renewable Sources and Energy Policy

12.20–12.40 h Pauza
Break

12.40–15.00 h **Nastavak izlaganja radova**
The Session I Continuation

14.00–15.00 h **SEKCIJA II • KOGENERACIJA**
Session II • Cogeneration

ČETVRTAK, 17. OKTOBAR 2013.

Thursday, October 17th, 2013

9.00–11.20 h **SEKCIJA III • ENERGIJA SUNCA**

Session III • Solar energy

11.20–11.40 h Pauza

Break

11.40–14.00 h **Nastavak izlaganja radova**

The Session III Continuation

13.20–14.20 h **SEKCIJA IV • HIDROENERGIJA**

Session IV • Hydroenergy

PETAK, 18. OKTOBAR 2013.

Friday, October 18th, 2013

9.00–11.00 h **SEKCIJA V • ENERGIJA VETRA**

Session V • Wind Energy

11.00–11.30 h **Panel diskusija i zatvaranje MKOIEE**

Panel Discussion and the 2nd MKOIEE Closing Ceremony

11.30 h

**Godišnja konferencija Društva za
obnovljive izvore električne energije**

**The Society for Electrical Energy Renewable Sources
Annual Conference**

Koktel

Coctail

PREDGOVOR

Energetske potrebe se uglavnom podmiruju ekološki problematičnim fosilnim gorivima kojih ima sve manje, a koja sve više zagađuju životnu okolinu. Zbog toga je poslednjih godina povećano interesovanje naučne i stručne javnosti za korišćenje obnovljivih izvora energije (OIE). Jedan od razloga njihovog nedovoljnog korišćenja je, pored nedostatka finansijskih sredstava i nepotpunih saznanja o ovoj vrsti energije, nedovoljno razvijena ekološka svest. Srećom, odnos prema energiji se menja. Sve više podsticajnih mera za dobijanje električne energije iz obnovljivih izvora, za usavršavanje tehnologija njihovog korišćenja, pravljenje modela za planiranje, primenu, finansiranje itd. – doprinose stvaranju boljih uslova za korišćenje ovih vrsta energetske izvora.

Poznati su ciljevi EU da do 2020. godine smanji ukupnu potrošnju energije za 20%, da u ukupnoj potrošnji energije koristi 20% njenih obnovljivih izvora i da emisiju gasova staklene bašte smanji za 20%. Poseban značaj posvećen je obnovljivim izvorima električne energije (OIEE), tako da su vlade skoro svih evropskih država donele uredbe o merama podsticaja za proizvodnju električne energije korišćenjem obnovljivih izvora energije i kombinovanom proizvodnjom električne i toplotne energije.

Obnovljivi izvori električne energije (OIEE) predstavljaju verovatno centralni deo proučavanja korišćenja OIE jer električna energija predstavlja najkvalitetniji vid energije koji se lako proizvodi, prenosi, koristi i pretvara u praktično sve ostale vidove energije. Pored toga, električna energija se može dobiti iz gotovo svih vrsta obnovljivih izvora energije i lako se pretvara u sve druge vidove energije.

PREFACE

Energy needs are today mostly covered by using fossil fuels. Not only that these fuels reserves are not endless, but they pollute environment.

Scientific and professional public is interested in renewable sources utilization. Reasons for this sources underutilization are ecological unawareness, lack of financial means.

Fortunately, attitude towards energy is changing. There are more incentives for adoption of electrical energy renewable sources, for their utilization techniques improvement, for development of planning, financing, utilization models, etc.

European Union established its Climate and Energy Package with a 20% reduction in EU greenhouse gas emissions from 1990 levels; raising the share of energy consumption produced from renewable resources to 20%; and 20% improvement in the energy efficiency.

Most of European governments adopted incentives for electrical energy production by renewable and combined sources.

The renewable sources of electrical energy are, probably, the central point of study because electrical energy is the most efficient energy, easy to produce, transport, use and transform to almost any other type of energy.

Apart from that, electrical energy can be produced by almost any type of renewable sources.

SADRŽAJ • CONTENTS

PLENARNO PREDAVANJE

1. PONAŠANJE I KARAKTERISTIKE SPOJNIH ELEMENATA I ELEKTRODNIH MATERIJALA U GORIVNIM ČELIJAMA NA BAZI ČVRSTOG OKSIDA
PROPERTIES AND PERFORMANCE OF INTERCONNECTOR AND ELECTRODE MATERIALS IN SOLID OXIDE FUEL CELLS
Vladimir D. Krstić i Zoran Stević

Sekcija I • Obnovljivi izvori električne energije i energetska politika

2. SUPERKONDENZATORI U SISTEMU ZA KORIŠĆENJE ENERGIJE KOČENJA ELEKTRIČNIH VOZILA
SUPERCAPACITORS IN KINETIC ENERGY RECOVERY SYSTEM OF ELECTRIC CARS
V. Busher i V. Sytnikov
3. HIBRIDNI SISTEMI SA TRI IZVORA ENERGIJE
HYBRID SYSTEM WITH THREE ENERGY SOURCES
Vesko Panov, Stefka Nedeltcheva, Detelin Markov, Veselin Tchobanov, Alexander Kojuharov
4. ENERGETSKI EFIKASNO NAPAJANJE AUTONOMNIH POTROŠAČA KORIŠĆENJEM HIBRIDNOG (FOTONAPONSKOG I DIZELAGREGATSKOG) IZVORA
ENERGY EFFICIENT POWER SUPPLY OF AUTONOMOUS CONSUMERS USING HYBRID (PHOTOVOLTAIC AND DIESEL AGGREGATES) SOURCES
Z. Nikolić i P. Petrović
5. PRIMENA TERMOVIZIJE U DIJAGNOSTICI OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE
THERMOGRAPHY APPLICATION IN THE DIAGNOSIS OF RENEWABLE ENERGY SOURCE
Z. Stević, I. Radovanović, M. Rajčić-Vujasinović i V. Fajnišević
6. SUPERKONDENZATORI, AKUMULATORSKE BATERIJE I GORIVNE ČELIJE U ELEKTRIČNIM VOZILIMA
SUPERCAPACITORS, ACCUMULATOR BATTERIES AND FUEL CELLS IN EV
Zoran Stević, Ilija Radovanović, Mirjana Rajčić-Vujasinović i Vesna Fajnišević
7. KARAKTERIZACIJA POLUPROVODNIČKIH TERMOELEKTRIČNIH ELEMENATA TERMOVIZIJOM
CHARACTERIZATION OF SEMICONDUCTOR THERMOELECTRIC ELEMENTS BY THERMOGRAPHY
Z. Stević, S. Ivanov, E. Požega, M. Rajčić-Vujasinović, V. Fajnišević i I. Radovanović
8. EKSTRAKCIJA METALA I PROCES SEPARACIJE U RECIKLAŽI FOTONAPONSKIH MODULA NA BAZI CIGS
METAL EXTRACTION AND SEPARATION PROCESSES IN RECYCLING OF CIGS BASED THIN FILM PV MODULES
Stevan Dimitrijević, Mirjana Rajčić-Vujasinović, Zoran Stević, Željko Kamberović, Marija Korać i Silvana Dimitrijević

9. UTICAJ OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE NA KONCEPT PRIMENE PAMETNIH SENZORA U URBANOJ SREDINI – PAMETNI GRADOVI
RENEWABLE ENERGY SOURCES IMPACT ON SMART TRANSDUCERS APPLICATION CONCEPT IN URBAN ENVIROMENT-SMART CITY SOLUTION
I. Radovanović, I. Popović i N. Bežanić
10. JAVNO PRIVATNO PARTNERSTVO KAO MODEL FINANSIRANJA IZGRADNJE OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE
PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP AS A MODEL FOR FINANCING RENEWABLE ENERGY PROJECTS
M. Radunović i D. Hamzić
11. KARAKTERIZACIJA TROJNOG JEDINJENJA BITESE
CHARACTERIZATION OF BISMUTH TELLURIDE SELENIUM TERNARY COMPOUND
Emina D. Požega, Svetlana Lj. Ivanov, Zoran M. Stević, Duško M. Minić, Lidija J. Gomidželović i Nikola S. Vuković

Sekcija II • Kogeneracija

12. CHP TEHNOLOGIJE – EFIKASNOST I CENE
DIFFERENT TYPES OF CHP PLANTS AND TECHNOLOGIES WITH ITS EFFICENCY AND COSTS
Aleksandar Dedić, Srbislav Genić i Nenad Ćuprić
13. CONTEMPORARY ISSUES IN BIOMASS BASED COGENERATION TECHNOLOGIES FOR ELECTRICITY AND FUEL PRODUCTION
NAJNOVIJA DOSTIGNUĆA U OBLASTI TEHNOLOGIJA KOGENERACIJE BIOMASE ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE I GORIVA
Andrijana Stojanović i Velimir Stefanović
14. ENERGANA NA BIOGAS – SLUČAJ DOBRE PRAKSE U BLACU
A BIOGAS POWER PLANT – GOOD PRACTICES IN BLACE
Aleksandar Matić i Snežana M. Petrović

Sekcija III • Energija Sunca

15. UPRAVLJANJE DVOOSNIM SOLARNIM TREKEROM RADI POBOLJŠANJA AUTONOMNOSTI MOBILNOG ROBOTA
CONTROL OF TWO-AXIS SOLAR TRACKER FOR INCREASING THE AUTONOMY OF MOBILE ROBOT
Lj. Kevac, A. Rodi i M. Filipović
16. GEOMETRIJSKA KONFIGURACIJA SOLARNIH KONCENTRATORA SREDNJE I VISOKE TEMPERATURE
SOME TECHNIQUES IN CONFIGURATIONAL GEOMETRY AS APPLIED TO MIDDLE AND HIGH TEMPERATURE SOLAR CONCENTRATORS
Saša R. Pavlović i Velimir P. Stefanović
17. UTICAJ PRIMENE FOTONAPONSKIH PANELA NA ARHITEKTURU OBJEKTA
THE EFFECTS OF APPLICATION OF PHOTOVOLTAIC PANELS ON ARCHITECTURE OF THE BUILDING
Vladana Stanković i Goran Jovanović

18. ENERGETSKA EFIKASNOST SOLARNE ELEKTRANE SA MODULIMA OD MONOKRISTALNOG SILICIJUMA
ENERGY EFFICIENCY PV SOLAR POWER PLANT WITH MONOCRYSTALLINE SILICON SOLAR MODULE
D. Divnić, D. Lj. Mirjanić, T. M. Pavlović i D. D. Milosavljević
19. PREGLED NESILICIJUMSKIH I NOVIH FOTONAPONSKIH TEHNOLOGIJA ZA GENERISANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE
A REVIEW OF NON-SILICON AND NEW PHOTOVOLTAICS TECHNOLOGY FOR ELECTRICITY GENERATION
Danijela Nikolić, Milorad Bojić, Jasmina Skerlić, Jasna Radulović i Dragan Taranović
20. ANALIZA I OCENA SOLARNIH ENERGETSKIH SISTEMA BUDUĆNOSTI
A KEY REVIEW ON EXERGETIC ANALYSIS AND ASSESSMENT OF SOLAR ENERGY SYSTEMS FOR A SUSTAINABLE FUTURE
J. Skerlić, M. Bojić, D. Nikolić, J. Radulović i D. Cvetković
21. POBOLJŠANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI GREJNIH SISTEMA KORIŠĆENJEM GSHP I FOTONAPONSKIH PANELA
IMPROVING ENERGY EFFICIENCY OF PANEL HEATING SYSTEMS USING GSHP AND PV PANELS
Dragan Cvetković, Milorad Bojić, Vesna Ranković, Danijela Nikolić i Jasmina Skerlić
22. MONITORING FOTONAPONSKOG SISTEMA ZA NAPAJANJE OSVETLJENJA UPOTREBOM LABVIEW PLATFORME
MONITORING OF A SYSTEM FOR SOLAR POWERED LIGHT BASED ON LABVIEW
M. Mišković, M. Milivojević, Z. Stević, N. Rajaković i B. Reljin
23. GUBICI ENERGIJE U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI U ZAVISNOSTI OD RASPOREDA KROVNIH FOTONAPONSKIH PANELA
ENERGY LOSS IN DISTRIBUTION NETWORK RELATED TO PLACEMENT OF SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS
I. Batas Bjeli, D. Šošić i N. Rajaković
24. SOLARNO NAVODNJAVANJE MALIH POLJOPRIVREDNIH DOBARA
SOLAR IRRIGATION OF SMALL AGRICULTURAL FARMS
Z. Stojiljković, Ž. Ševaljević i Z. Nikolić
25. DETEKCIJA REDNOG ELEKTRIČNOG LUKA U KOLU FOTONAPONSKIH PANELA
DETECTION OF SERIES DC ARC-FAULT IN PHOTOVOLTAIC PANEL CIRCUITS
Nikola Georgijević, Srđan Srdić i Zoran Radaković
26. IZBOR METODE ZA PRAĆENJE TAČKE MAKSIMALNE SNAGE FOTONAPONSKIH PANELA
CHOOSING THE MPPT METHOD FOR PHOTOVOLTAIC PANELS
Srđan Srdić, Zoran Radaković i Nikola Đorđević

Sekcija IV • Hidroenergija

27. ISKORIŠĆENJE HIDROPOTENCIJALA KROZ IZGRADNJU MALIH HIDROELEKTRANA (MHE)
REUTILISATION OF HYDRO POTENTIAL THROUGH CONSTRUCTION OF SMALL HYDROPOWER PLANTS (SHP)
Zoran Mojić, Jelena Janevski i Biljana Božić-Ognjević

28. ANALIZA KRIVE VODOSTAJA , LINIJE TRAJANJA VODENIH KOLIČINA I ANALIZA INSTALISANE SNAGE MHE NA REČNIM TOKOVIMA
ŠARPLANINE SA POSEBNIM OSVRTOM NA GORU
ANALYSIS OF WATER LEVEL CURVES, LINES OF WATER QUANTITY AND ANALYSIS OF INSTALLED CAPACITY MINI HYDRO POWER PLANTS ON THE RIVER FLOWS SARPLANINA WITH SPECIAL EMPHASIS ON GORA
Šefik M. Bajmak
29. ANALIZA MOGUĆIH LOKACIJA ZA MALE HIDROELEKTRANE NA SEVERU KOSOVA I METOHIJE PRIMENOM SOFTVERA RETSCREEN
ANALYSIS OF POSSIBLE LOCATIONS FOR SMALL HYDRO POWER PLANTS IN NORTHERN PART OF KOSOVO AND METOHIJA USING THE SOFTWARE RETSCREEN
M. Tomović i M. Jevtić

Sekcija V • Energija vetra

30. TORZIONE VIBRACIJE PRENOSNOG MEHANIZMA VETROGENERATORA SA GREŠKAMA U USKLAĐIVANJU KRUTOSTI
PARAMETRIC TORSIONAL VIBRATION OF A DRIVE TRAIN OF A WIND TURBINE WITH FAULTS IN MESHING STIFFNESS
M. Todorov i G. Vukov
31. MONITORING PTICA ZA POTREBE BUDUĆE FARME VETROGENERATORA “ŠUŠARA POLJA”
BIRD MONITORING STUDY FOR THE PURPOSE OF THE FUTURE WIND FARM “ŠUŠARA FIELDS”
Đ. Klisić, I. Radovanović, S. Škorić, M. Zlatanović i I. Popović
32. INOVIRANI MODEL VEROVATNOĆE SUDARA PTICE I ELISE VETROGENERATORA
NOVEL PROBABILITY MODEL OF A BIRD – WIND TURBINE COLLISION
Đ. Klisić, I. Radovanović, V. Jovandić, I. Popović i Lj. Stamenić
33. VEROVATNOĆA SUDARA PTICE I ELISE VETROGENERATORA KORIŠĆENJEM MONTE KARLO METODE
BIRD WIND TURBINE COLLISION PROBABILITY USING MONTE CARLO METHOD
Đ. Klisić, P. Marinković, Lj. Stamenić i I. Popović
34. ANALIZA MOGUĆNOSTI PRIMENE ENERGIJE VETRA U SISTEMIMA SNABDEVANJA ELEKTRIČNOM I TOPOTNOM ENERGIJOM PLANINSKIH TURISTIČKIH CENTARA
ANALYSIS OF POTENTIAL USE OF WIND ENERGY SYSTEMS IN THE SUPPLY OF ELECTRICITY AND HEAT, MOUNTAIN TOURIST CENTRES
Šefik M. Bajmak
35. ZNAČAJ ETALONIRANJA ANEMOMETARA U VETROENERGETICI I PRIKAZ ANEMOMETRIJE U METEOROLOŠKOJ LABORATORIJI RHMZ SRBIJE
SIGNIFICANCE OF ANEMOMETER CALIBRATION IN WIND-ENGINEERING AND AN OVERVIEW OF ANEMOMETRY IN THE METEOROLOGICAL LABORATORY OF THE RHMS OF SERBIA
Branko Živković, Predrag Kolarž i Bratislav Tatić
36. PRIMENA NOVIH PRENOSNIKA SNAGE KOD EKSPLOATACIJE ENERGIJE VETRA
APPLICATION OF NEW POWER TRANSMISSION FOR EXPLOITATION OF WIND ENERGY
Nenad Kostić, Mirko Blagojević, Vesna Marjanović, Tihomir Mačkić i Milorad Bojić

ZNAČAJ ETALONIRANJA ANEMOMETARA U VETROENERGETICI I PRIKAZ ANEMOMETRIJE U METEOROLOŠKOJ LABORATORIJI RHMZ SRBIJE

SIGNIFICANCE OF ANEMOMETER CALIBRATION IN WIND-ENGINEERING
AND AN OVERVIEW OF ANEMOMETRY IN THE METEOROLOGICAL
LABORATORY OF THE RHMS OF SERBIA

Branko Živković, Predrag Kolarž, Bratislav Tatić

REPUBLIČKI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD SRBIJE
Kneza Višeslava 66 Beograd

branko.zivkovic@hidmet.gov.rs

Tema rada je značaj etaloniranja anemometara u vetroenergetici, prikaz anemometrije, opis opreme i instrumenata za etaloniranje, procedure etaloniranja, proračun merne nesigurnosti i pravci daljeg razvoja anemometrije u Meteorološkoj laboratoriji RHMZ.

Ključne reči: *anemometrija; brzina vetra; aero tunel; merna nesigurnost; vetroturbina*

The paper deals with the importance of anemometer calibration in wind-engineering, an overview of anemometry, a description of the equipment and instruments for calibration, calibration procedures, calculations of measurement uncertainty and further directions of anemometry development in the Meteorological laboratory of RHMSS.

Key words: *anemometry; wind speed; wind tunnel; uncertainty of measurement; wind turbine*

1. UVOD

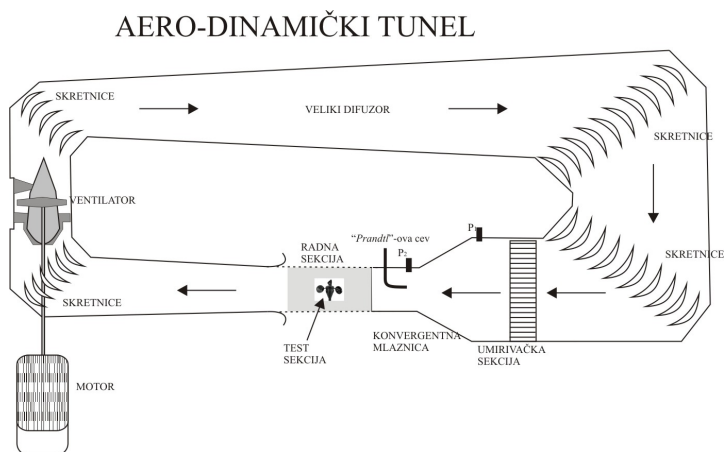
Vertoenergetika kao obnovljiv izvor energije u svetskim razmerama, kod nas je tek u povoju i njen obimniji razvoj se tek očekuje na prostoru Srbije. Sama gradnja vetroenergetskih sistema ne može biti uspešna bez poznavanja osnovnih karakteristika vetra (brzina i pravac vetra, temperatura, relativna vlažnost i gustina vazduha). Raspoloživa snaga vetra je proporcionalna trećem stepenu brzine vetra, pa je precizno određivanje brzine vetra i njegovog trajanja dominantno pri određivanju i izboru lokacije za postavljanje vetroenergetskog sistema. Izrada atlasa vetra koji daje podatke o prosečnim brzinama vetra kao i njegovoj snazi u dužem vremenskom periodu je najvažniji parametar pri određivanju mesta postavljanja vetro elektrana. Iz tog razloga su neophodna dugotrajna namenska merenja karakteristika vetra sa etaloniranim meteorološkim instrumentima po standardu IEC 61400-12-1 [1] na što više lokacija.

2. MOGUĆNOSTI METEOROLŠKE LABORATORIJE

Meteorološka laboratorija za etaloniranje meteoroloških instrumenata nalazi se u sastavu Republičkog Hidrometeorološkog Zavoda (RHMZ) Srbije. Obim akreditacije laboratorije za oblast anemometrije važi za digitalne i analogne anemometre, a etaloniranje se vrši u opsegu od 0,5 do 40 m/s. Etaloniranje se vrši po Uputstvu za etaloniranje anemometara [2] i Uputstvu za proračun merne nesigurnosti [3]. Proširena merna nesigurnost etaloniranja anemometara iznosi $U=(0,2+0,04*V)$ m/s. Etaloniranja se vrše u skladu sa standardom ISO 17713-1 (Meteorology - Wind measurements - Part 1: Wind tunnel test methods for rotating anemometer performance).

3. OPREMA ZA ETALONIRANJE ANEMOMETARA

Od potrebne opreme za etaloniranje anemometara Laboratorija poseduje: aero-tunel WT 01/61-VTI sa dodatnom opremom (Slika 1a,b), etalonski diferencijalni mikro-manometar "ManoAir 500" Schiltknecht Messtechnik AG (Slika 2), dve etalonirane "Prandtl"-ove sonde (Schiltknecht Messtechnik AG), senzori "ManoAir"-a za očitavanje uslova radne sredine (termometar, higrometar, barometar), kontrolni instrument - vodeni diferencijalni mikro-manometar Schiltknecht Messtechnik AG (Slika 3) i multimer sa multiplekserom i software-om (Agilent Technologies) za očitavanje frekvence senzora merila koja se etaloniraju.



Slika 1a. Shema aero-tunela.



Slika 1b. Deo tunela sa test sekcijom.

Aerodinamički tunel u laboratoriji je tunel sa poluotvorenom test sekcijom za podzvučne brzine (Slika 1b) u kome je moguće ostvariti brzine strujanja vazduha od 0 do $50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Test sekcija je elipsa sa polu-osama 0,3 m i 0,4 m. Dužina radnog dela test sekcije je 1.2 m. Osnovne karakteristike aero-tunela su uniformnost, turbulencija i stabilnost unutar test sekcije. One su su predmet periodične provere i ispunjavaju standard ISO 17713-1 [4].



Slika 2 "ManoAir500" digitalni mikromanometar.



Slika 3. Vodeni diferencijalni mikro-manometar.

4. PRINCIP MERENJA

Za potrebe etaloniranja anemometara koriste se dva fundamentalna fizička principa, *Bernuli*-jev kao primarni i *Venturi*-jev, kao princip kontrolnog mernog sistema. Razlika ova dva merna sistema sa stanovišta etaloniranja je u načinu merenja i očitavanja razlike pritiska. Primarni merni sistem (Slika 2, 4). koristi digitalizovan signal sa senzora pritiska i vrši njegovu korekciju na temperaturu i

relativnu vlažnost što ga čini efikasnim po pitanju brzine etaloniranja. Kontrolni sistem merenje razlike pritiska vrši pomoću vodenog manometra koji se očitava vizuelno, a akvizicija podataka i korekcija na temperaturu i relativnu vlažnost se vrši manuelno tako da mu je efikasnost mala. Ipak, zbog jednostavnosti principa rada on ima veću dugovremensku stabilnost te je idealan kao kontrolni sistem (Slika 3, 4).

5. PRIMARNI MERNI SISTEM

Primarni merni sistem zasnovan na *Bernuli*-jevom principu koristi "Prandtl" cevi za merenje brzine vetra. Brzina strujanja fluida pomoću "Prandtl"-ove cevi je određena tzv. zaustavnim pritiskom (p_t) koji predstavlja zbir statičkog (p_s) i dinamičkog pritiska:

$$p_t = p_s + (\rho V^2 / 2) \rightarrow V^2 = 2(p_t - p_s) / \rho \quad (1)$$

gde je ρ gustina fluida.

Srednja brzina vetra u aero-tunelu pomoću "Prandtl" ovih merila se računa pomoću:

$$\bar{v} = k_f \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{k=1}^n v_k = k_f (1/n) \sum_{k=1}^n \left(\frac{2k_c p_k R T_k}{C_h B_k K_\rho} \right)^{1/2} \quad (2)$$

gde je: \bar{v} - srednja brzina vetra; k_f - korekcionni faktor protoka; v_k - očitane vrednosti brzine vetra sa etalonskog merila za k broja očitavanja; k_c - korekcionni faktor pritiska koji se odnosi na razliku položaja "Prandtl"-ove cevi i anemometra; p_k - dinamički pritisak izmeren "Prandtl"-ovom cevi (Δp); R - gasna konstanta; T_k - temperatura u test sekciji; C_h - koeficijent ulaznog otvora "Prandtl"-ove cevi; B_k - barometarski pritisak; K_ρ - korekcionni faktor koji koriguje gustinu vazduha.

Očitavanje i akvizicija podataka razlike pritiska kao i parametara sredine u test sekciji tunela vrši se pomoću instrumenta "ManoAir 500" (Schiltknecht Messtechnik AG) i softvera „Terminal”.

6. KONTROLNI MERNI SISTEM

Princip *Venturi*-jeve cevi [5] kao kontrolni merni sistem zasnovan na merenju statičkih pritiska u dva različita preseka konvergentne mlaznice tunela (Slika 1a). Opseg merenja vodenog diferencijalnog manometra je od 0 – 30 mbar-a sa tačnošću očitavanja 0.01 mbar. Za proračun brzine vetra u test sekciji koriste se sledeće formule:

$$\rho_{atm} = 0,003483 \frac{p_{atm}}{T_{atm}} \quad (3)$$

gde je ρ_{atm} - gustina vazduha, p_{atm} - statički pritisak u test sekciji, T_{atm} - temperatura u test sekciji

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \rho_{atm} \frac{V^2}{2} \quad (4)$$

gde je Δp - razlika statičkih pritiska u presecima p_1 i p_2 (Slika 1a).

Dinamički pritisak (q) u test sekciji je definisan kao:

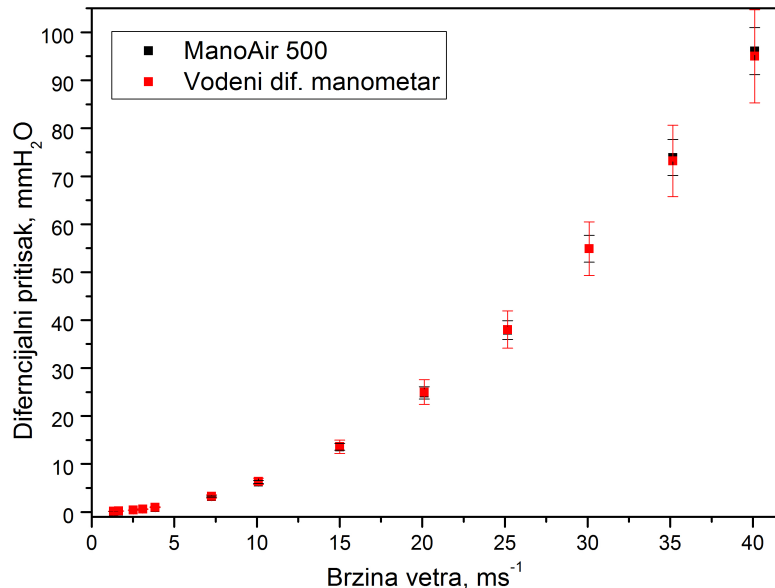
$$q = 1,05 \cdot \Delta p \quad (5)$$

Brzina vetra u test sekciji se izračunava po formuli:

$$V = \sqrt{2 \frac{q[P_a]}{\rho[kg/m^3]}} = \sqrt{2 \frac{q[mbar] \cdot 100}{0,003483 \frac{p_{atm}[mbar] \cdot 100}{(T_{atm}[^{\circ}C) + 273,15}}}}$$

(6)

Brzina vetra se po očitavanju parametara izračunava softverski.



Slika 4. Poređenje diferencijalnih pritisaka digitalnog i analognog mikromanometra.

7. ETALONIRANJE ANEMOMETARA

Etaloniranje anemometara se vrši u skladu sa standardom ISO 17713-1 i po standardu ISO 17025 [6]. Definisane su dve procedure, procedura za prijem merila (NML.UP.03) i procedura za etaloniranje (NML.PC.05).

8. PROCEDURA ETALONIRANJA

Postupak etaloniranja [2, 4] sastoji se od određivanja početnog praga brzine (osetljivosti) merila i etaloniranja u nelinearnom i linearnom delu rada anemometra. Nelinearni deo rada anemometra se određuje kao 6 puta početni prag brzine (V_0). Ako je izmerena početna brzina anemometra koji se etalonira veća od 0,5 m/s onda se tako određeni prag V_0 uzima kao osnova koja se umnožava sa koeficijentima 2, 3, 4, 5 i 6 tj.: $2 \cdot V_0$, $3 \cdot V_0$, $4 \cdot V_0$, $5 \cdot V_0$ i $6 \cdot V_0$. Ako je izmerena početna brzina anemometra koji se etalonira manja od 0,5 m/s onda se kao V_0 za određivanje tačaka etaloniranja u nelinearnom delu uzima 0,5 m/s i rade se sledeće tačke: 1 m/s, 1,5 m/s, 2 m/s, 2,5 m/s i 3 m/s.

Linearni deo rada merila se određuje kao umnožak maksimalne brzine etaloniranja (V_{max}): $0,2 \cdot V_{max}$, $0,4 \cdot V_{max}$, $0,6 \cdot V_{max}$, $0,8 \cdot V_{max}$, V_{max} , $0,9 \cdot V_{max}$, $0,7 \cdot V_{max}$, $0,5 \cdot V_{max}$, $0,3 \cdot V_{max}$ i $0,1 \cdot V_{max}$. Radi usaglašavanja sa WMO [6] kao fiksna tačka se uzima 5 m/s za sve anemometre koji se etaloniraju.

9. MERNA NESIGURNOST ETALONIRANJA ANEMOMETARA

Процена мерне несигурности анемометра се обавља у три корака:

Korak 1. Određivanje prave korigovane vrednosti brzine vetra koju pokazuje primarni tj. referentni etalonski merni sistem i pripadajuće merne nesigurnosti;

Korak 2. Određivanje vrednosti brzine vetra koje ostvari merilo sa pripadajućom kombinovanom merenom nesigurnošću;

Korak 3. Određivanje proširene merne nesigurnosti.

Merna nesigurnost primarnog mernog sistema

Merna nesigurnost tipa B se može prikazati kao [8,9]:

$$u_{c,B}^2(\bar{v}) = c_f^2 u_f^2 + c_t^2 u_t^2 + c_{p,t}^2 u_{p,t}^2 + c_{p,s}^2 u_{p,s}^2 + c_{p,d}^2 u_{p,d}^2 + c_{T,t}^2 u_{T,t}^2 + c_{T,s}^2 u_{T,s}^2 + c_{T,d}^2 u_{T,d}^2 + c_h^2 u_h^2 + c_{B,t}^2 u_{B,t}^2 + c_{B,s}^2 u_{B,s}^2 + c_{B,d}^2 u_{B,d}^2 + c_\rho^2 u_\rho^2 \quad (7)$$

gde je c faktor osetljivosti čiji se donji indeks odnosi na isti izvoer greške kao i onaj sa kojim se množi.

$u_{c,B}$ – kombinovana greška tipa B;

u_f – standardna nesigurnost tunela (blokada tunela), korekcionni faktor k_f ;

u_t – standardna nesigurnost protoka tunela, korekcionni faktor k_t ;

$u_{p,t}$ – standardna nesigurnost osetljivosti davača pritiska, korekcionni faktor $K_{p,t}$;

$u_{p,s}$ – standardna nesigurnost A/D konverzije pojačanja senzora pritiska, korekcionni faktor $K_{p,s}$;

$u_{p,d}$ – standardna nesigurnost semplovanja podataka senzora pritiska, korekcionni faktor $K_{p,d}$;

$u_{T,t}$ – standardna nesigurnost davača ambijentalne temperature, korekcionni faktor $K_{T,t}$;

$u_{T,s}$ – standardna nesigurnost pojačanja signala davača ambijentalne temperature, korekcionni faktor $K_{T,s}$;

$u_{T,d}$ – standardna nesigurnost A/D konverzije pojačanja davača ambijentalne temperature, korekcionni faktor $K_{T,d}$;

u_h – standardna nesigurnost glave "Prandtl"-ove cevi, koeficijent osetljivosti C_h ;

$u_{B,t}$ – standardna nesigurnost osetljivosti barometra, korekcionni faktor $K_{B,t}$;

$u_{B,s}$ – standardna nesigurnost pojačanja signala barometra, korekcionni faktor $K_{B,s}$;

$u_{B,d}$ – standardna nesigurnost A/D konverzije pojačanja signala barometra, korekcionni faktor $K_{B,d}$;

u_ρ – korekcija uticaja vlage na gustinu vazduha, relativna vlažnost φ .

U Tabeli 1 dat je primer proračuna budžeta kombinovane merne nesigurnosti primarnog mernog sistema na brzini od 10 ms^{-1} .

Tabela 1. Prikaz budžeta merne nesigurnosti primarnog mernog sistema na brzini od 10 ms⁻¹.

Veličina	Kratak opis	Procena	Standardna merna nesigurnost	Raspodela verovatnoće	Koef. osetljivosti	Doprinos standardnoj mernoj nesigurnosti (4) * (6)	Kvadrat standardne merne nesigurnosti
X_i		x_i	$u(x_i)$		c_i	$u_i(y)$	$u_i^2(y)$
k_f	korekcionni faktor aerotunela	1.03	0.005	normalna	9.76 ms ⁻¹	0.049 ms ⁻¹	0.002401
k_c	kalibracionifaktor aerotunela	0.99	0.005	normalna	5.05 ms ⁻¹	0.025 ms ⁻¹	0.000625
$K_{p,t}$	osetljivost davača pritiska	-	0.204 Pa	trougaona	$c_{p,t}=0.086$ m ³ /Ns	0.017 ms ⁻¹	0.008836
$K_{T,t}$	davač ambijentalne temperature	-	0.2 °C	trougaona	0.08 m(s °C) ⁻¹	0.0014 ms ⁻¹	0.000002
C_h	koeficijent glave "Prandtl"-ove cevi	-	0.00099	normalna	-5.05 ms ⁻¹	-5.005 ms ⁻¹	0.000025
$K_{B,t}$	osetljivost barometra	-	1000Pa	normalna	-0.00005 m·(sPa) ⁻¹	-0.05 ms ⁻¹	0.0025
S_A	statistička nesigurnost semplovanja	-	0.053 ms ⁻¹	normalna	1	0.053 ms ⁻¹	0.002809
k_ρ	korekcija vlage ili gustine	-	0.016 ms ⁻¹	normalna	0.027	0.00042 ms ⁻¹	0.00000017
Budžet kombinovane merne nesigurnosti referentnog merila u_v					$\sqrt{\sum u_i^2}$		0.128 ms⁻¹

10. PROŠIRENA MERNA NESIGURNOST MERILA

Proračun merne nesigurnosti etaloniranih anemometara [8,9] obuhvata merne nesigurnosti:

- referentnog mernog sistema za etaloniranje anemometara koji obuhvata sve meteorološke parametre (navedene u formuli 2);
- parametre vezane za karakteristike tunela;
- parametre svakog tipa anemometra koji se dele po tipu indikatora i principu rada;
- parametre vezane za statističku obradu podataka i linearnu regresiju.

Proširena merna nesigurnost merila (Slika 5) koje se etalonira (U_{CAL}) se dobija pomoću:

$$U_{CAL} = \sqrt{u_v^2 + u_{iut}^2 + u_{lr}^2} \quad (8)$$

gde je: u_v - kombinovana merna nesigurnost referentnog merila; u_{iut} - merna nesigurnost merila koje se etalonira; u_{lr} - merna nesigurnost linearne regresije (Slika 5).

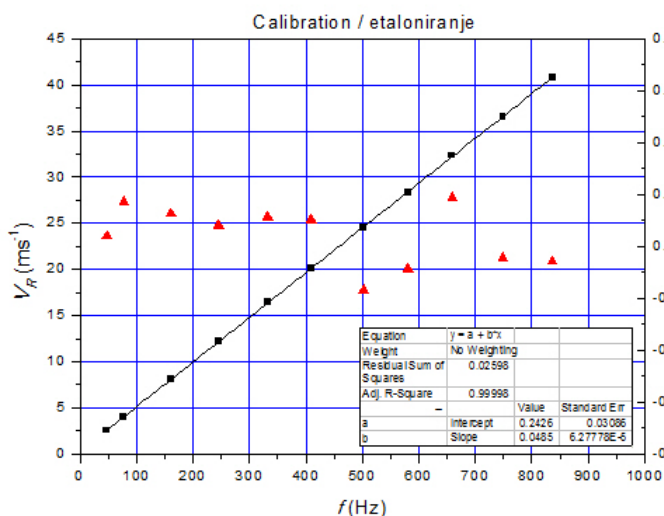
Merna nesigurnost merila koje se etalonira se dobija pomoću:

$$U_{iut} = \sqrt{B_{iut}^2 + (t \cdot S_{iut})^2} \quad (9)$$

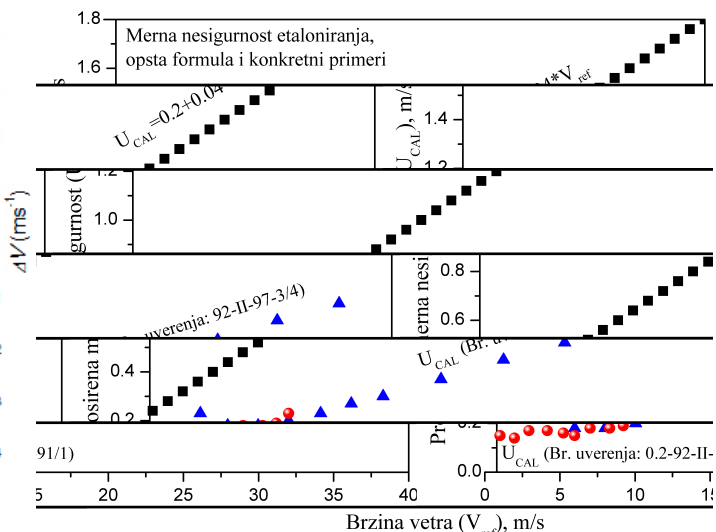
B_{iut} - vezano je za najmanju značajnu cifru kod digitalnih anemometara;

S_{iut} - statistička nesigurnost očitavanja izlaznog signala etaloniranog anemometra, vezana za standardnu devijaciju izlaznog signala u toku očitavanja tj. akvizicije;

t - faktor obuhvata, $t=1.96$ za 95% intervala poverenja izlaznog signala anemometra u toku očitavanja podataka.



Slika 5. Linearna regresija sa mernom nesigurnošću linearnog fita.



Slika 6. Grafički prikaz deklarisanе merne nesigurnosti i rezultata etaloniranja merila.

Merna nesigurnost linearne regresije (u_{lr}) se dobija pomoću:

$$u_{lr} = \sqrt{u_a^2 + u_b^2} \quad (10)$$

u_a - merna nesigurnost koeficijenta linearne regresije, u_b – merna nesigurnost ofseta (odsečka na y-osi). Величине a и b се одређују методом линеарне регресије (видети Упутство за еталонирање анемометара). За линеарну везу константа a се назива офсет (померај) нуле и изражава у ms^{-1} док је константа b коефицијент регресије који одређује нагиб регресионе праве. У пракси се ови коефицијенти као и њихове мерне несигурности (u_a и u_b) добијају коришћењем линеарног фита графика фреквенце ротације анемометра и brzine veta u tunelu korišćenjem softverskog paketa „Origin“ ili „Microsoft Office“.

Sledi da je ukupna proširena merna nesigurnost (Slika 6, plavi i crveni grafik):

$$U_{CAL} = \sqrt{u_v^2 + B_{int}^2 + (t \cdot S_{IUT})^2 + (u_a^2 + u_b^2)} \quad (11)$$

Za potrebe proračuna merne nesigurnosti anemometri se dele po vrsti indikatora i po načinu rada na: analogne, digitalne i anemografe. Obrada merne nesigurnosti za sve navedene vrste anemometara se vrši u programskom paketu „Excel” po automatizovanoj proceduri.

11. ZAKLJUČAK

Redovno etaloniranje anemometara je od velike važnosti za precizno određivanje brzine veta. Precizno određivanje brzine veta i ostalih karakteristika veta je dominantan faktor pri izradi atlasa veta i izboru mesta postavljanja vetroenergetskog sistema. Za vetroenergetiku je od posebne važnosti oblast etaloniranja anemometara od 4 do 16 m/s.

Etaloniranje i merna nesigurnost anemometara u meteorološkoj laboratoriji RHMZ su u skladu sa zahtevima ISO 17025, sa zahtevima MEASNET-a [8] kao i sa zahtevima Svetske Meteorološke organizacije (Guide to Meteorological Instruments and methods of Observation, WMO No. 8). Pravci daljeg razvoja anemometrije u RHMZ-u treba da budu uvođenje novih mernih sistema na

nezavisnim fizičkim principima (ultrasonična anemometrija i lasrer-dopler anemometrija) koji će omogućiti smanjenje merne nesigurnosti kalibracije. Meterološka labratorija RHMZ-a ima potencijale da u budućnosti dobije status imenovane laboratorije za oblast anemometrije kao i da postane regionalni centar za anemometriju.

LITERATURA

- [1] IEC61400-12-1- Wind turbines-Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines;
- [2] Uputstvo za etloniranje anemometara, NML UE.05, Interni dokument Meteorološke laboratorije RHMZ Srbije, 2013.
- [3] Uputstvo za proračun merne nesigurnosti, NML.UE.15, Interni dokument Meteorološke laboratorije RHMZ Srbije, 2013.
- [4] ISO 17713-1-Meteorology - Wind measurements-Part 1: Wind tunnel test methods for rotating anemometer performance;
- [5] Low speed wind tunnel testing at wind tunnel T-32, Military Technical Institute of Yugoslav Army.
- [6] ISO/IEC 17025, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories, 2005.
- [7] WMO Guide to Meteorological instruments and methods of observation WMO-No. 8 (Seventh edition), 2008.
- [8] MEASNET Cup Anemometer Calibration Procedure, Version 1, 1997.
- [9] ECN-C-05-066 European ACCUWIND Research Project; Uncertaines in Cup Anemometer Calibrations (Type A and Type B uncertaines) P. J. Eecen and M. De Noord, 2005.