

ISSN 0354-8651

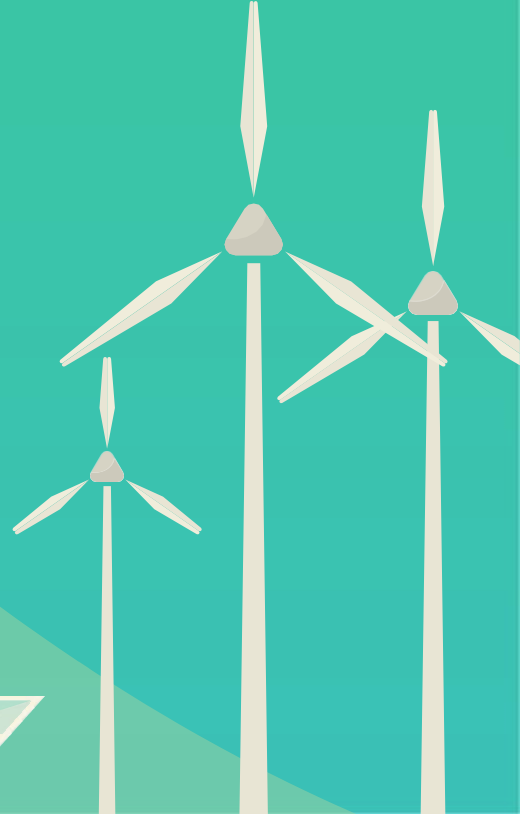


List Saveza energetičara

Broj 3 / Godina XXIII / Septembar 2021.

energija

| ekonomija | ekologija



energija

| ekonomija | ekologija



Energija / Ekonomija / Ekologija

Broj 3, Septembar 2021

Izdavač:

Savez energetičara
Bulevar kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd
e-mail: info@savezenergeticara.org
<http://www.savezenergeticara.org>

Predsednik Saveza energetičara:
prof. dr Nikola Rajaković

Predsednik Skupštine Saveza energetičara:
prof. dr Milun Babić

Glavni i odgovorni urednik:

prof. dr Dušan Gordić, Fakultet inženjerskih nauka, Univerzitet u Kragujevcu

Uređivački odbor i izdavački savet:

prof. dr Željko Đurišić, Elektrotehnički fakultet u Beogradu
prof. dr Dejan Ivezić, Rudarsko-geološki fakultet u Beogradu
prof. dr Mirka Komatina, Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu
prof. dr Željko Despotović, Institut Mihailo Pupin Beograd
prof. dr Petar Đukić, Tehnološko-metalurški fakultet u Beogradu
prof. dr Nenad Đajić, Akademija inženjerskih nauka Srbije
prof. dr Damir Đaković, Fakultet tehničkih nauka u Novim Sadu
prof. dr Nenad Đajić, Akademija inženjerskih nauka Srbije
dr Vladimir Šiljkut, JP Elektroprivreda Republike Srbije
prof. dr Jovica V. Milanović, The University of Manchester, Velika Britanija
prof. Vladimir Terzija, Humboldt Fellow, IEEE Fellow, EiC Elsevier IJEPES
prof. dr Adriana Sida Manea, Politehnica University Timisoara, Rumunija
prof. dr Neven Duić, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, Hrvatska
prof. dr Rade Ćirić, University of Agder, Norveška
prof. dr Nataša Markovska, MANU Skopje, Severna Makedonija
dr Stanko Janković, TenneT TSO GmbH, Savezna Republika Nemačka
prof. dr Mirza Kušljugić, Fakultet elektrotehnike, Tuzla, BiH
prof. dr Peter Vrtič, Univerzitet u Mariboru, Slovenija
prof. dr Predrag Popovski, Mašinski fakultet Skopje, Severna Makedonija
dr Ilija Batas-Bijelić, Generalni sekretar Saveza, Institut tehničkih nauka SANU

Priprema, tehnička i jezička obrada:
Savez energetičara

Štamparija:
Mašinac, Kragujevac

Tiraž:
100

UDK
620.9
338:620.9
502:620.9

COBISS.SR-ID 108696839

Časopis izlazi četiri puta godišnje

Radovi su recenzirani uz tehničku obradu. Nijedan deo ove publikacije ne može biti reprodukovano, presnimavano ili prenošeno bez prethodne saglasnosti Izdavača.

Sadržaj

- [01] Varvara ALEKSIĆ, Ilija BATAS BJELIĆ
Da li nam treba više ambicije za tranziciju na obnovljive izvore u Srbiji?
Temelji upravljanja i planiranja energije / **Do We Need More Ambition for the Renewable Energy Transition in Serbia? Foundations of Energy Governance and Planning?**
- [10] Ivan VUJOVIĆ, Željko ĐURŠIĆ
Idejno rešenje regionalnog Data Centra kod Beograda napajanog iz obnovljivih izvora energije / Conceptual Solution of the Regional Data Centre near Belgrade That Is Powered from Renewable Energy Sources
- [18] Ivan VUJOVIĆ, Darko Šošić, Željko ĐURŠIĆ
Integrirani sistem za monitoring i upravljanje Data Centra napajanog iz obnovljivih izvora energije / Integrated System for Monitoring and Management of the Data Centre Powered by Renewable Energy Sources
- [26] Vladimir JELAVIĆ, Valentina DELIJA-RUŽIĆ
Multisektorski pristup u tranziciji prema niskougljičnom razvoju i ciljevima Zelenog akcionog plana EU – iskustva Republike Hrvatske / Multisectoral Approach in Transition to Low - Carbon Development and Goals of the EU Green Action Plan - Experiences in the Republic of Croatia
- [31] Filip STOJKOVSKI, Zoran MARKOV
Uticaj pojedinih konstruktivnih parametara radijalnih lopatica sprovodnog aparata na hidrauličke karakteristike Fransisovih turbina sa promenljivom brzinom / **Influence of Particular Design Parameters of Radial Guide Vane Cascades on Their Hydraulic Performance at Variable Speed Operated Francis Turbines**

- [37] Đorđe LAZOVIĆ, Kristina DŽODIĆ, Željko ĐURIŠIĆ
Analiza ekonomske opravdanosti investiranja u solarnu elektranu sa vertikalno postavljenim bifacijalnim fotonaponskim modulima u perspektivnim uslovima slobodnog tržišta / Analysis of Economic Justification of Investing in a Solar Power Plant with Vertically Placed Bifacial Photovoltaic Modules in Perspective of Free Market Conditions
- [45] Nikola KRSTIĆ, Dardan KLIMENTA, Dragan TASIĆ, Dragana RADOSAVLJEVIĆ
Određivanje optimalnih nagibnih uglova fotonaponskih panela uz uvažavanje smanjenja direktne komponente iradijacije usled efekata senki u fotonaponskim sistemima / Determining the Optimal Tilt Angles of Photovoltaic Panels Considering the Reduction of Direct Component of Irradiation Due to Shading Effect in Photovoltaic Systems
- [54] Milica KOPRIVICA, Željko ĐURIŠIĆ
Poboljšanje predikcije proizvodnje vetroelektrana u Južnom Banatu kombinovanjem pojedinačnih prognoza pomoću modela veštačke inteligencije / Improving the Prediction of Wind Farm Production in South Banat by Combining Individual Forecasts Using an Artificial Intelligence Model
- [61] Jasmina IMAMOVIĆ, Sanda MIDŽIĆ KURTAGIĆ, Esma MANIĆ
Analiza potencijala za uvođenje sistema pametnih mreža u Bosni i Hercegovini / Analysis of the Potential for the Introduction of Smart Grid Systems in Bosnia and Herzegovina
- [66] Gojko RIKALOVIĆ, Bojan VRAČAREVIĆ, Dejan MOLNAR
Energetska politika kao faktor održivog razvoja / Energy Policy as a Factor of Sustainable Development
- [73] Jasmina MANDIĆ LUKIĆ, Đorđina MILOVANOVIĆ, Maja STIPIĆ, Sanja PETROVIĆ BEČIROVIĆ, Radoslav RAKOVIĆ, Brankica POPOVIĆ ZDRAVKOVIĆ, Miodrag ŽIVOTIĆ
Pametna i socijalno odgovorna energetska tranzicija u regionima sa intenzivnom eksploatacijom uglja / Smart and Socially Responsible Energy Transition in Coal Intensive Regions
- [80] Srećko Ćurčić, Milan Vesković, Momčilo Vujičić
Analiza zahteva za korišćenje otpadne drvne i biljne biomase u Srbiji u energetske svrhe / Analysis of Requirements for the Use of Waste Wood and Plant Biomass in Serbia for Energy Purposes

Da li nam treba više ambicije za tranziciju na obnovljive izvore u Srbiji? Temelji upravljanja i planiranja energije

Do We Need More Ambition for the Renewable Energy Transition in Serbia? Foundations of Energy Governance and Planning

Varvara Aleksić*, Ilija Batas Bjelić**

* Central European University Vienna, Austria / Budapest, Hungary

** Research Associate of the Institute of Technical Sciences of Serbian Academy of Science and Art, Belgrade, Serbia

Rezime - Obnovljiva energija je predložena kao primarni pristup za dekarbonizaciju energetskeg sistema i razdvajanje potrošnje energije od emisije gasova sa efektom staklene bašte, kako u energetskejoj literaturi, tako i u praksi. Evropska unija je prepoznala izazov i postavila tranziciju na obnovljive izvore energije visoko na dnevni red svojih politike, sa najnovijom ambicijom da do 2050. godine bude ugljenično-neutralna ekonomija. Sa druge strane, države Zapadnog Balkana i dalje zavise od fosilnih goriva kao jednog od glavnih izvora u energetskeom miks. Ambicija za tranziciju na obnovljive izvore energije u državama Zapadnog Balkana, uključujući i Srbiju, uglavnom je vođena težnjama ka njihovoj evropskejoj budućnosti. Štaviše, potpisivanje Ugovora o Energetskejoj zajednici pružilo je institucionalne i pravne alate kako ugovornim stranama, tako i Evropskejoj uniji za izgradnju zajedničkog energetskeg tržišta. Ovi procesi inspirisali su mnoge autore u poslednje dve decenije da analiziraju tehničke, ekonomske, tržišne i životno-sredinske aspekte obnovljivih izvora, međutim, upravljanje i planiranje, iako identifikovani kao izazovni, izostali iz detaljnije analize. Ovaj rad ima za cilj da prikaže pregled odabrane literature i zakonodavstva o tranziciji na obnovljive izvore energije, kako bi se analizirala glavna pravna i politička postignuća, kao i ambicije za tranziciju u Srbiji. Takođe, u radu se raspravlja o lekcijama naučenim iz relevantne literature kroz prizmu upravljanja energijom i planiranja. Prvi deo rada daje pregled literature glavnih koncepata tranzicije na obnovljive izvore energije. Istorijska analiza politika i prava obnovljivih izvora energije u Evropskejoj uniji, Energetskejoj zajednici i Srbiji je u fokusu drugog dela. U poslednjem delu, rezimiraju se lekcije naučene iz literature za buduće upravljanje i planiranje energije kroz perspektive procesa energetskeg planiranja, evaluacije politika i obrazovanja i administrativnih kapaciteta. U zaključku se ističe važnost postojećih nalaza iz literature kao budućih koraka ka ubrzanom upravljanju i planiranju energije.

Ključne reči - tranzicija na obnovljive izvore energije, energetske upravljanje i planiranje, energetska politika i pravo, Srbija

Abstract - Renewable energy has been suggested as the primary approach for decarbonizing the energy system and decoupling energy consumption from greenhouse gas emissions, both in the energy literature and in practice. The European Union has acknowledged the challenge and put renewable energy transition high on the policy agenda with the latest ambition of being a carbon-neutral economy by 2050. On the other hand, Western Balkan countries are still dependent on fossil fuels as one of their primary energy mix sources. The pledge about the European future has mostly driven the renewable energy transition ambition in the Western Balkan countries, including Serbia. Moreover, signing the Energy Community Treaty provided institutional and legal tools to both Contracting Parties and the European Union to build the common energy market. These processes inspired many authors in the last two decades to analyse technical, economic, market and environmental aspects of renewables. However, the governance and planning, even though identified as challenging, have been side-lined from the analysis. This paper aims to overview the selected renewable energy transition literature and legislation to analyse the main legal and policy milestones reached so far, as well as ambition in Serbia. It also discusses the lessons learned from the related literature from energy governance and planning prism. To do so, it firstly provides a literature review of the main concepts of the renewable energy transition. Moreover, the historical analysis of renewable energy policy and legal developments in the European Union, the Energy Community and Serbia are in the second part's focus. Finally, the discussion part summarizes lessons learned from the literature for future energy governance and planning with the perspective of the energy planning process, policy evaluation, and education and administrative capacity. The article concludes by emphasizing the importance of taking the current literature findings as prospective steps to follow towards accelerated energy governance and planning.

Index terms - renewable energy transition, energy governance and planning, energy policy and law, Serbia

I INTRODUCTION

The production and consumption of energy based on fossil fuels are responsible for around two-thirds of global GHG emissions [1], which is the leading cause of climate change. Transition to energy from renewable non-fossil sources has been accepted both in academia [2]–[4] and among decision-makers as a way towards sustainable energy in order to address the causes and mitigate climate change.

The European Union (EU) has acknowledged the challenge and put renewable energy (RES) transition high on the policy agenda with the latest ambition of being a carbon-neutral economy by 2050, introduced in the EU Green Deal¹. On the other hand, the Western Balkan countries² are still highly dependent on fossil fuels as one of the main sources of their primary energy mix. According to the Energy Community, 68.8% of the primary fuel mix in Serbia comes from solid fuels³, while its energy sector was responsible for 80.6% of greenhouse gas emissions in 2015 [5, p. 4]. This comes with a significant burden on nature – pollution of air, water, soil, and quality of life both in Serbia [6] and beyond since pollution does not recognize state borders. What brings complexity to this topic is the renewable energy transition path of the Western Balkan countries, including Serbia, which is related to their EU future and membership in the Energy Community [7], [8].

The central hypothesis is that the renewable energy transition ambition is rising in the last two decades in the EU and the Energy Community. The article aims to answer the following questions: does and how the rise in ambition in the EU and the Energy Community influenced renewable energy transition ambition in Serbia and does Serbia need more ambition in renewables transition. With the rise of ambition, the number of scientific papers exploring the process also increased. This paper analyses the related legal and policy milestones and ambition by giving an overview of the selected renewable energy transition literature and legislation. In addition, it discusses the lessons learned from the related literature from energy governance and planning prism. In order to do so, after the methodology, the first part defines the main concepts of the renewable energy transition. Historical outline of the policy and legal developments in the European Union, the Energy Community and Serbia are in the second part's focus. Finally, the last part of this paper recaps lessons learned from the literature for future energy governance and planning and

explores the following elements: energy planning process, policy evaluation and education and administrative capacity.

II METHODOLOGY

The proposed research is a qualitative content analysis with a historical and comparative approach of the renewable energy transition literature in the EU, the Energy Community and Serbia. In order to test the hypothesis and answer questions, the paper draws on an in-depth analysis of documents covering the period from the beginning of 2000s until 2020. Namely, the research is based on an analysis of Serbian national energy laws and strategies, Energy Community documents and Annual Implementation Reports, European Commission Country Reports, EU energy *acquis* documents and selected renewable energy transition literature.

Although the broader focus is on the Western Balkan region due to the regional cooperation's significance, the paper will analyse Serbia as the case country. As a representative country, Serbia has a high potential for various renewable energy source exploitation [9]–[11]. In addition, it has the highest population (6.9 million) and GDP (48.04 billion 2010 USD) among Western Balkan countries, while at the same time it has high energy intensity [12] and greenhouse gas intensity when compared to the EU [13]. Recognizing the importance of the technical, economic, environmental, and social aspects of renewable energy transition, this paper focuses on regulatory features of energy governance and planning to contribute to the renewable energy transition discussions.

III LITERATURE REVIEW

A (Renewable) energy transition and governance

The shift from the current energy system highly dependent on fossil fuels to renewable sources has been suggested as the main approach for the decarbonisation of the energy system and decoupling energy consumption from greenhouse gas emissions [14]. Countries worldwide have embraced the challenge and invested in exploring the best method for sustainable energy transition. Since this is not the first transition in the energy sector, the energy transition definitions have evolved [15, p. 112]. Although there is no universally accepted definition of 'energy transition', modern definitions fluctuate from the transformation of economies in order to reduce carbon emissions to emphasizing how developments in technology, information and practices can alter the way energy is utilized [15]. These multi-disciplinary effects of energy transition create a challenge in identifying energy transition as a concept.

Energy transition and its future directions challenge energy governance. Cherp underlines that “successful governance for energy transition should mobilise unprecedented resources, overcome tremendous inertia and ensure coordination across timescales, national energy systems and energy sectors as well as effectively interface with non-energy arenas” [16, p. 79]. The urgency of action raises the question about introducing energy governance within and beyond the national level. For this to happen, a comprehensive reform of the policy and legal

¹ For more about European Green Deal see: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en.

² The Western Balkans is a political term for the region of the central and western part of the Balkan Peninsula. Apart from Albania, it consists of former Yugoslavian countries: Bosnia and Herzegovina, Montenegro, North Macedonia, Serbia, including peculiarity with Kosovo*.

* This designation is without prejudice to positions on status and is in line with UNSC 1244 and the ICJ Opinion on the Kosovo* Declaration of Independence.

³ <https://www.energy-community.org/implementation.html>, Accessed 30.01.2021.

framework is required, led by a resilient and effective governance model.

The research of governance is broad and since the term is often overused, for this purpose, the following definition of governance will be used: "governance (...) refers to how humans make decisions and form institutions that craft rules shaping individual behaviour" [17, p. 21]. Literature focusing on global energy governance [16], [18] is emerging. However, dominant perspectives still seem to be technological or economic rather than energy policy and law [18]. Although technology is an integral part of the renewables transition, Gunningham emphasizes the role of energy law and governance as equally important and argues, "not only that climate change mitigation and energy policy are inextricably interlinked, but also that without effective energy law and governance the necessary transition to a low carbon economy will be all but impossible" [19, p. 120]. What ties energy transition with energy governance is ambition. The regulatory framework and the energy policy and law are setting the renewable energy deployment pace, which drives the transition forward both at the regional and national levels.

B The literature review focused on the Western Balkans and Serbia: the research gap analysis

Concerning the Western Balkan perspective, the literature has been focused on the current state of the energy systems in relation to sustainable energy development [20], renewables development trends [21] and the current state and opportunities of the renewable energy [22], [23]. When it comes to the literature in Serbia, it is analysing the renewable energy production and its progress [24], [25], the potential and value of wind energy [9], [26], potential, perspectives, techno-economic and environmental aspects of small hydropower plants [10], [27], and the potential of solar energy and incentives for solar water heating systems [11].

What the above-listed studies share is pointing to regulatory features, including the legal and institutional framework and energy governance, as one of the challenges or risks for renewables transition in the Western Balkans. However, by avoiding a close analysis of the significant role of energy regulation challenges, they are not going deep into the details of this challenge. Taking everything mentioned into consideration, governance for the purpose of this paper refers to the policy and legal framework in the energy sector as decisions that shape the ambition for the renewable energy transition.

IV HISTORICAL OVERVIEW OF RES TRANSITION IN THE EU, THE ENERGY COMMUNITY AND SERBIA

A European Union – regional influencer in renewables transition

The EU has recognized the challenge that the energy sector brings for climate change and the environment. As a result, the EU Commission has drafted policy and legislative objectives in the energy sector that all Member States follow. The ambitious goals have shaped the EU as the global leader of renewable

energy through the following *acquis*⁴ chronologically:

- From the introduction of the first Directive on promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market in 2001⁵ and Directive on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport in 2003⁶,
- The recognition of the energy sector in the Lisbon Treaty⁷ in 2009,
- The Renewable Energy Directive in 2009 that incorporated both electricity and transport targets⁸, to
- The latest adoption of its recast version Renewable Energy Directive II⁹ from 2018 as part of the Clean Energy Package.

Besides energy efficiency and decarbonisation, the transition to "energy from renewable non-fossil sources, namely wind, solar, aerothermal, geothermal, hydrothermal and ocean energy, hydropower, biomass, landfill gas, sewage treatment plant gas and biogases" [29] Article 2(a) is a core segment of the EU energy policy. In practice, renewables transition is also an important part of the national energy and climate plans, as a comprehensive planning mechanism that is combining energy and climate policy, stipulated by the Clean Energy Package¹⁰.

⁴ *Acquis or acquis communautaire* is, as a term in the EU law, defined as: "The objectives, principles, rights and obligations contained in the Treaties and all laws and decisions adopted under them since the Communities were established, prior to the entry into force of the Lisbon Treaty", Inter Active Terminology for Europe, <http://iate.europa.eu/FindTermsByLilId.do?lilId=767495&langId=en>, 01 February 2021.

⁵ Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council of 27 September 2001 on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market. For more: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32001L0077>.

⁶ Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport. For more: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32003L0030>.

⁷ Article 176 A of the Treaty of Lisbon amending the Treaty on European Union and the Treaty establishing the European Community, signed at Lisbon, 13 December 2007. For more: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A12007L%2FTXT>.

⁸ Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. For more: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0028>.

⁹ Directive 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. For more: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.328.01.0082.01.ENG&toc=OJ.L:2018:328:TOC.

¹⁰ For more on national energy and climate plans: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/national-energy-climate-plans_en.

What differs when being compared to the EU 2020 renewables targets that the EU imposed, is that by the Clean Energy Package rules, Member States committed to their national targets in their national energy and climate plans. This means that they assessed their progress so far, their potential, and set national trajectories that will be evaluated by the European Commission and the Member States itself during the ten years until the target year 2030.

The latest ambition comes as a part of the European Green Deal with the most ambitious goal so far for the EU – to become carbon neutral by 2050. “Clean Energy” part of the European Green Deal, among others, calls for better integration of renewables to the grid and increases cross-border and regional integration. However, in order to be carbon neutral, since it is not an isolated island, the EU also recognized external challenges. Therefore, a new push for sustainability which this Deal brings to the countries outside the EU is the Carbon Border Adjustment Mechanism¹¹. This initiative puts carbon price on certain goods imported from outside the EU to prevent carbon leakages. More details about this initiative's content are expected erealong, but it is undoubtedly a vital tool to be consider by Contracting Parties of the Energy Community when planning their renewables transition.

Accordingly, all this has pressured energy sectors within the Member States to increase transparency and competition and fight climate change while creating a low-carbon economy. Moreover, considering the EU enlargement policy, it also brings specific obligation and pressure to the candidate countries, to take the same path. Finally, under the European Green Deal, a separate act is envisaged to deal with the Western Balkan countries – Green Agenda for Western Balkan together with the Economic and Investment Plan for the Western Balkan. The latter was presented by EU Commissioner for Neighbourhood and Enlargement, as the plan to: “... mobilise up to €9 billion of funding for investment flagships in the areas of transport, energy, green and digital transition, to create sustainable growth and jobs” [30]. Moreover, guidelines adopted at the Sofia Summit in November 2020 identify renewables transition as one of the ten investment flagships supported by the EU [31].

B Renewable energy transition in the Balkan dimension: role of the Energy Community

To administer complex topics such as renewable energy transition in the EU neighbourhood, the EU initiated the idea about the regional cooperation among the Western Balkan countries and targeted the energy sector as a common denominator. Namely, the energy sector that united EU countries back in the 1950s was pulled out as a common ground for the initial step in the regional cooperation in the Western Balkans. Boromisa writes the idea about “ ‘Balkan dimension’ that is not a purely transitory arrangement, an EU waiting room,

but a regionally-owned policy whose value [could] be recognised in the region, regardless of institutional ties with the EU” [32, pp. 126–127]. However, as Boromisa notes, “[i]n the process of the creation of the Energy Community, potential EU membership has served as an incentive to join it. The EU, which launched the idea, has had sufficient means to ensure participation, at least at a formal level” [32, p. 118] or as Hunt and Karova explain it, the “carrot of accession to the EU appears as a force to re-merge formerly integrated countries” [33, p. 59].

The idea of EU enlargement united the Western Balkan countries to sign the first joint treaty after the geopolitical turbulence at the end of the 20th century – The Treaty establishing the Energy Community [34]. The Treaty has been institutionalized in the form of the Energy Community with the aim to create an “integrated pan-European energy market” which would involve EU member states and EnC contracting parties¹². The commitment to improve the environmental situation in relation to renewable energy sources is proclaimed already in the Preamble and in Article 2 of the Treaty as one of the Energy Community's tasks. In addition, there is a devoted chapter V in the Treaty, where the concrete piece of the renewables *acquis* is defined as an obligation to be transposed by the Contracting Parties. Before 2012, it was the two ancestors of the Renewables Directives, and after 2012, it has been Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources.

By ratifying the Energy Community Treaty as one of the “pre-steps” for the EU integration process, the Western Balkan countries embraced renewable energy transition and agreed to reach a particular percentage of final energy consumption from renewables by 2020. Besides the challenge of meeting the renewables goal for the Energy Community governance model to be implemented, a comprehensive and consistent reform of the national governance framework has been required. This has initiated the introduction of renewable energy into the policy and legislation frameworks, such as revision of energy law or the adoption of renewable energy action plans and related secondary legislation. In parallel, institutional infrastructure has been built to support the process, such as establishing the national regulator authority, establishing renewables units within the ministry in charge of energy, and raising the administration's implementation capacity [7], [35].

However, when renewables targets were determined back in 2015, they seemed challenging but still reachable for Western Balkan countries. Nevertheless, according to the latest Energy Community Annual Implementation Report from 2020, which is reporting data from 2019, only Montenegro already met its 2020 renewable energy targets, while other countries are still struggling to increase the renewables share in their national energy mix [36].

¹¹ For more see: Vajda Peter, Aleksić Varvara. “Carbon border adjustment mechanism: The case of the Energy Community” In *Future of International Economic Law and the Rule of Law*, edited by Rafael Leal-Arcas, Eliva Press, 2020. pp. 187-198.

¹² Currently the Energy Community has nine contracting parties – Albania, Bosnia and Herzegovina, Kosovo*, North Macedonia, Georgia, Moldova, Montenegro, Serbia and Ukraine, and the EU, as the party to the Energy Community Treaty, represented by the European Commission.

This underachievement of the renewables transition in the Western Balkans, together with the fast-growing ambitions in the EU, especially after the adoption of the Clean energy package at the end of 2018, caused a switch from hard law to soft law measures in the Energy Community. Namely, the Ministerial Council of the Energy Community adopted Recommendations for the adoption of the National Climate and Energy Plans [37] and respective Policy Guidelines [38] to be also incorporated in its Contracting Parties. Since recommendation and guidelines are not obligatory legal acts according to the Energy Community Treaty, this act is considered a soft law measure [39]. However, the question remains if the hard law measures (decisions which are obligatory acts) have not supported Energy Community Contracting Parties meeting 2020 renewables targets, would the soft law succeed. The process of drafting the 2030 renewables goals in the Energy Community is ongoing and it would also be interesting to see if and what will be the measures against countries that have not met their 2020 goal.

C Serbia as the case country

The strategic and legal approach to renewables in Serbia

Less than a year before the Energy Community Treaty's ratification [40], Serbia adopted the Energy Development Strategy in 2005 [41] with the central premise to align its energy development with its European integration path. Besides the fossil fuels and the large hydropower plants as hydro potential, which is at the time already exploited in Serbia, the Strategy also recognizes the significant potential of renewable sources. Therefore, the use of renewable energy sources is one of the goals and priorities set by the Strategy. The Strategy prompts a variety of measures such as financial incentives and the adoption of programs to frame renewable energy development and give the Energy Agency a task to promote renewable energy projects. However, all these could still be considered a more declarative than a substantive commitment to renewables since the Strategy from 2005 does not set any significant quantitative developments.

A second step, which comes as a direct obligation from the Energy Community *acquis*, is adopting the most important renewables related strategic document in Serbia, the National Renewable Energy Action Plan [42]. Adopted in 2013, besides a legal commitment to the concrete goal of 27% of renewables in final consumption by 2020 and actions to reach it, the Action Plan aims to go a step further and facilitate new investments in the renewables. Serbian ministry responsible for energy also has an obligation to monitor and report on the implementation of the Renewable Energy Action Plan objectives to the Government and the Energy Community. Finally, if there are deviations from the Action Plan dynamics, the legislation allows for new measures that would contribute to achieving the targets within a reasonable time.

In 2015, ten years after the previous, the new Serbian Energy Strategy was adopted for the ten years, but with projections until 2030 [43]. In comparison to the earlier strategy, this one manifests clear commitment towards a sustainable energy

system while at the same time foresees sustainability as one of the biggest challenges for the future. Besides aligning the energy strategy to the commitments towards the EU and Energy Community, it also recognizes the potential of renewables sources in more detail and sets sustainable energy transition as one of the top priorities of the Serbian energy sector. The Strategy goes into more details of renewable energy sources use and prioritizes actions already set in National Renewable Energy Action Plan. Finally, the Program of Energy Strategy implementation from 2017 until 2023 is adopted in 2017, which has completed the strategy framework for renewables in Serbia by introducing concrete measures, activities, indicators and list of particular projects envisaged for the Energy Strategy implementation.

When it comes to legislation, the Law on Elektroprivreda from 1991 [44] besides regulating fossil fuels and large hydro, does not recognize renewable energy sources. However, from 2000 onwards, this change as Serbia adopted three energy laws, in 2004 [45], in 2011 [46] and the latest in 2014 [47]. Although all of them recognize renewable energy sources, the ones from 2011 and 2014 go beyond definition and dedicate a separate section to this topic. The Energy Law from 2014 in practice transposes the EU Third Energy Package and for this, Serbia was praised as the first from the Contracting Parties to make such an accomplishment [48].

Indeed, the law which initiated all mentioned strategic and legal development of renewable energy in Serbia is the Law on ratification of the Treaty Establishing the Energy Community [40]. Moreover, it introduced a particular supranational energy governance level [49], which is unique in the Western Balkan countries' EU integration process. By ratifying the Energy Community Treaty, Serbia committed not only to the renewables target but also to the transposition of the current EU legislation at the national level. One example of this is unbundling in the electricity sector, which resulted in the separation of the production, transmission and distribution of the electricity into individual legal entities.

Renewables transition in Serbia: ambitious or not ambitious enough?

When the above policy and legal framework in Serbia are analysed, the elevation in renewables transition is evident. In both strategy and legal documents, the development of renewable energy from a concept to the precise mechanisms of incentives in the form of feed-in tariffs and quotas for renewables technology, activities such as adopting the secondary legislation or projects like wind parks is envisaged. The evolution is also obvious in both Energy Community¹³ and European Commission Reports¹⁴, which are focusing on

¹³ Energy Community, Secretariat's past reports, for more see: <https://www.energy-community.org/implementation/IR2020/reports.html>

¹⁴ European Commission, European Neighbourhood Policy and Enlargement Negotiations, Serbia, for more see: https://ec.europa.eu/neighbourhood-enlargement/countries/detailed-country-information/serbia_en

Serbia. Finally, the progress is evident, especially with the latest draft package of energy legislation covering energy efficiency, mining and renewable energy in separate legal acts¹⁵ introduced in 2021. The latest is not only the opportunity to align the renewables ambitions with its potential, but it is also the opportunity to materialize the investment envisaged by the Green Agenda for Western Balkan together with the Economic and Investment Plan.

However, some authors believe that the existing renewables' potential for exploitation, for example, in the wind, is constrained by the legislation measures. For instance, "[t]here are a number of proposed wind power projects with an envisaged capacity of up to 2500 MW and the project documentation has been developed for 1300 MW. Within the existing feed-in tariff scheme, only 500 MW are eligible." [9, p. 30]. This leads to the conclusion that "that it [was] possible to integrate more wind than was previously envisaged with the feed-in tariff and available studies" [9, p. 35] and that the ambition could be even higher. Also, on the example of the different governments cycles, despite the renewables ambition set in 2013 remained the same until 2021, renewables' total capacity increased in between [50]. Despite the apparent ambition, whether it was conservative or not, both the literature and the Energy Community and European Commission Reports repeat the same suggestions for accelerating renewables transition in Serbia year after year. The last part is elaborating on these and the lessons learned for future energy governance and planning.

V DISCUSSION: LESSONS LEARNED FOR FUTURE ENERGY GOVERNANCE AND PLANNING

Based on the literature overview, there are three areas of energy governance that authors underline as required improvements for accelerated renewables transition in Serbia. The first one is the energy planning process, the second is policy evaluation, and the third is education and administrative capacity. All three are discussed in detail in this chapter.

A Lesson 1: Energy planning – the key to success

Since the energy sector transitions last for decades and require comprehensive shifts of not only the energy but also other sectors, the energy planning process is valuable for the consistency and success of the process. Dunjic et al. recognize as one of the obstacles for increasing the market uptake of renewables in the Western Balkan countries the "lack of planning" [21, p. 1031]. What also has an impact on energy planning, especially for the renewable energy transition, is the lack of "inefficient coordination between various institution" [21, p. 1031]. The example from practice to illustrate previous is the adoption of National Energy and Climate Plans, which is forthcoming for Serbia. Both sectors, energy and climate, are crosscutting and demand the involvement of at least two ministries and regulatory agencies (responsible for environment and energy), but also other relevant institutions.

Besides institutions, the planning process should include a wide range of stakeholders such as industry representatives, civil society institutions, professional associations, and citizens. This means that successful planning involves balancing different interests and requires broad public dialogue about the directions for the energy future. Last but not least, the great challenge for energy planning is four-year election cycles. According to the Serbian legislation [47, p. Article 4], energy is being planned for at least fifteen or more years. However, the frequent change or institutions' representatives resulting from elections, increases the risk of delays or discourages the inclusive decision-making procedure.

B Lesson 2: Evaluation of policies and legislation – ambitious but still realistic targets

Long-term planning requires the process before and after the adoption of policies and legislation. Namely, the first one is an *ex-ante* assessment, which includes assessing needs and targets before the document adoption. The second one, even more important, is *ex-post* evaluation, which aims to track the challenges and obstacles in the document as such or in its implementation. Then, targeted challenges and unreach targets should be reassessed and, if needed, included in future policy legal documents. As Ilić notes, "[s]uccessful development of renewable energy sector in [Western Balkans] requires a combination of political commitment and decision making, as well as supporting mechanisms that would include well-defined government targets" [51, p. 3194]. The evaluation process is precisely the support mechanism to define ambitious but still realistic targets also in the renewable energy transition. However, even though the Serbia legislation left some space for assessing the renewables 2020 targets implementation, the alignment of related measures was not exercised in practice.

C Lesson 3: Education and administrative capacity – makes the difference in the renewables transition

Another obstacle underlined by Dunjic et al. is public acceptance of renewables. However, in the back of this challenge, Dunjic et al. recognize something more important for energy governance, "information scarcity" [21, p. 1031], which leads to the third lesson for renewables energy transition – education and administrative capacity. According to Lalic et al. "[t]he RES development is tied to a wide range of new and specific knowledge that has multi-disciplinary character, most often not covered by the traditional educational schemes and not recognized as a research priority" [51, p. 3194]. Lalić et al. continues, "[e]ducation of the professional staff is a must for carrying out expert jobs such as certification of products, authorization of renewable generators, monitoring, organization of mechanism for incremental cost distribution, etc." [51, p. 3194].

Besides in the literature, this lesson is also empathized in policy practice. Namely, energy efficiency and use of renewable resources in the education curriculum is also recognized as part of the Sustainability Charter endorsed by Western Balkan Six countries in 2016 [52]. Finally, although courses covering renewables and energy efficiency from the basic technical

¹⁵ <https://www.mre.gov.rs/>

aspect are introduced in Serbia, for example, at the Faculty of Architecture and Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade, no courses are dealing with the broad picture of energy transition using a multi-disciplinary approach by including in addition: environmental, climate, social, governance, economic, technology, policy and law perspectives at the university level so far. On the other hand, raising education and research capacities is acknowledged as vital and thus set as a priority in both Energy Strategies from 2005 [41, p. 43] and 2015 [43, p. 28].

One of the suggestions, which is closely correlated with education, is the insufficient administrative capacity of the institutions dealing with the renewables transition. This recommendation is repeated continuously both in the Energy Community and European Commission Reports and the literature [20, p. 183]. Namely, draft Low Carbon Strategy of the Republic of Serbia estimates that for the fulfilment of measure in the energy sector, additional 19 – 28 (exact number depends on the scenario) permanent employees is required for the Strategy implementation [53, p. 28]. Though, when it comes to the existing capacities, according to the Annual Activity Report of the Ministry of Energy and Mining from 2019, Sector for Green Energy has three experts, although the employment systematization designates six expert positions [54, p. 25].

For an increase of renewable energy in the energy mix, education and administrative capacity building is a prerequisite task for both the public and private sectors. Demand for qualified experts who would be the initiators and carriers of the energy transition process, both in terms of technology and policy, legal and economic matters, are high. On the other hand, the deficiency in an administrative capacity is valuable data for analysing the renewable transition ambition since the lack of a workforce inevitably affects its planning and governance.

VI CONCLUSION

Although widely accepted as a tendency towards sustainable energy and an approach to mitigate climate change effects, the renewable energy transition sparked a different level of governance ambition among countries. On the one hand, the EU has set its policy and legal framework to support its ambition to become the world renewables transition leader. On the other hand, countries like Serbia, in order to follow its EU future, have followed EU dynamics when it comes to setting renewable ambition and governance. According to the analysis, the renewable energy transition ambition has risen in the last two to three decades in the EU and the Energy Community. However, when it comes to Western Balkan countries, the paper illustrates examples to show how the rise in ambition in the EU and the Energy Community influenced renewable energy transition in the case country – Serbia.

Although the EU future is one of the main drivers of the energy reforms in the Western Balkan countries, including Serbia, since the process is long and ongoing, the level of ambition is also impermanent. However, when it comes to policy and law framework to support the renewables transition, the developments are evident in the last two decades. What lacks is

the final result – reaching renewables 2020 targets and raising ambition for further renewables development. Nevertheless, despite stagnation in renewables ambition in the Western Balkans, the Green Agenda and the Economic and Investment Plan have the potential to bring Western Balkan countries, including Serbia, back to the sustainable energy track.

With more than 20 years of distance, the “carrot and stick” energy diplomacy of the EU towards the Western Balkan countries, including Serbia, brought development within the renewable energy sector. What comes as a question is would this be the same without the Energy Community and the EU enlargement. In addition, there is an open question of the nature of future measures – soft or hard law – of the EU and Energy Community towards the Western Balkan countries. For these analyses, factors other than policy and law should be taken into consideration. Therefore, these could be directions for further research.

Last but not least, when it comes to the ambition from the energy governance and planning perspective, the paper recognizes and elaborates on three suggestions from the literature that are repeating as a foundation – energy planning process, policy evaluation and education and administrative capacity. Finally, the emphasis is on using the existing literature outcomes for future energy governance and planning. Namely, the literature does not lack the theoretical and practical solutions for the successful renewable energy transition. On the contrary, its findings should be considered as prospective steps towards accelerated renewables transition.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] International Renewable Energy Agency, *Renewable energy: A key climate solution*, pp. 8, 2017. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Nov/IRENA_A_key_climate_solution_2017.pdf?la=en&hash=A9561C1518629886361D12EFA11A051E004C5C98 [pristupljeno 30.01.2021]
- [2] Marquardt, J. A Struggle of Multi-level Governance: Promoting Renewable Energy in Indonesia, *Energy Procedia*, Vol. 58, pp. 87-94, 2014, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.413>
- [3] Lund, H. Renewable energy strategies for sustainable development, *Energy*, Vol. 32, No. 6, pp. 912-919, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.10.017>
- [4] Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M.D., Wagner, N., Gorini, R. The role of renewable energy in the global energy transformation, *Energy Strategy Reviews*, Vol. 24, pp. 38-50, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.006>
- [5] Draft Low Carbon Strategy with the Action Plan of the Republic of Serbia 2019. <https://balkangreenenergynews.com/rs/wp-content/uploads/2020/01/Strategija-niskougljeni%C4%8Dnog-razvoja-sa-akcionim-planom-za-javnu-raspravu.pdf> [pristupljeno 30.01.2021]
- [6] Matic, B., Rakic, U., Dejanovic, S., Jovanovic, V., Jevtic, M., Djonovic, N. Industrially contaminated areas in Serbia as a potential public health threat to the exposed population, *Tehnika*, Vol. 72, no. 3, pp. 441-447, 2017. <https://doi.org/10.5937/tehnika1703441m>
- [7] Karova, R. Energy Community for South East Europe: Rationale Behind and Implementation to Date, Working Paper, in: *EUI RSCAS, 2009/12*, Florence, 2009. https://cadmus.eui.eu/bitstream/handle/1814/10912/EUT%20RSCAS%202009_12.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [8] Prange-Gst hl, H. Enlarging the EU's internal energy market: Why would third countries accept EU rule export?, *Energy Policy*, Vol. 37, No. 12, pp. 5296-5303, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.07.070>
- [9] Batas Bjelić, I., Rajaković, N., Cosić, B., Duić, N. Increasing wind power penetration into the existing Serbian energy system, *Energy*, Vol. 57, pp. 30-37, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.043>

- [10] Panić, M., Urošev, M., Milanović Pešić, A., Brankov, J., Bjeljic, Ž. Small hydropower plants in Serbia: Hydropower potential, current state and perspectives, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 23, pp. 341–349, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.016>
- [11] Pavlović, T.M., Radonjić, I.S., Milosavljević, D.D., Pantić, L.S. A review of concentrating solar power plants in the world and their potential use in Serbia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, No. 6, pp. 3891–3902, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.042>
- [12] Eurostat, *Enlargement countries - energy statistics - Statistics Explained*, 2020. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Enlargement_countries_-_energy_statistics#Energy_consumption [pristupljeno 06.02. 2021].
- [13] Heinrich Boell Stiftung, *Out of pace or out of the race? Energy transition in the Western Balkans*, 2021. <https://sway.office.com/bsMGXXOBc6arTlbi> [pristupljeno 06.02. 2021].
- [14] Grubler, A., Nakićenović, N. Decarbonizing the Global Energy System, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 53, No. 1, pp. 97–110, 1996. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(96\)00049-2](https://doi.org/10.1016/0040-1625(96)00049-2)
- [15] Araújo, K. The emerging field of energy transitions: Progress, challenges, and opportunities, *Energy Research & Social Science*, Vol. 1, pp. 112–121, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.03.002>
- [16] Cherp, A., Jewell, J., Goldthau, A. Governing Global Energy: Systems, Transitions, Complexity, *Global Policy*, Vol. 2, No. 1, pp. 75–88, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1758-5899.2010.00059.x>
- [17] Sovacool, B.K. What are we doing here? Analyzing fifteen years of energy scholarship and proposing a social science research agenda, *Energy Research & Social Science*, Vol. 1, pp. 1–29, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.02.003>
- [18] Florini, A., Sovacool, B.K. Who governs energy? The challenges facing global energy governance, *Energy Policy*, Vol. 37, No. 12, pp. 5239–5248, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.07.039>
- [19] Gunningham, N. Confronting the Challenge of Energy Governance, *Transnational Environmental Law*, No. 1, pp. 119–135, 2012. <https://doi.org/10.1017/s2047102511000124>
- [20] Golušin, M., Munitlak Ivanović, O., Redžepagić, S. Transition from traditional to sustainable energy development in the region of Western Balkans – Current level and requirements, *Applied Energy*, Vol. 101, pp. 182–191, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.06.008>
- [21] Dunjic, S., Pezzutto, S., Zubaryeva, A. Renewable energy development trends in the Western Balkans, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 65, pp. 1026–1032, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.051>
- [22] Rakic, N., Gordic, D., Sustersic, V., Josijevic, M., Babic M. Renewable electricity in Western Balkans: Support policies and current state, *Therm science*, Vol. 22, No. 6 Part A, pp. 2281–2296, 2018. <https://doi.org/10.2298/tsci180512169r>
- [23] Apostolović, M., Škokljek, I. Renewable energy sources development in South East European Countries and its future prospects, in Proc. *Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion (MedPower 2016)*, Belgrade, Serbia, pp. 69, 2016. <https://doi.org/10.1049/cp.2016.1058>
- [24] Golusin, M., Tesic, Z., Ostojic, A. The analysis of the renewable energy production sector in Serbia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, No. 5, pp. 1477–1483, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.01.012>
- [25] Karakosta, C., Flouri, M., Dimopolou, S., Psarras, J. Analysis of renewable energy progress in the western Balkan countries: Bosnia–Herzegovina and Serbia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, No. 7, pp. 5166–5175, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.040>
- [26] Loncar, D., Milovanovic, I., Rakic, B., Radjenovic, T. Compound real options valuation of renewable energy projects: The case of a wind farm in Serbia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 75, pp. 354–367, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.001>
- [27] Ciric, R.M. Review of techno-economic and environmental aspects of building small hydro electric plants – A case study in Serbia, *Renewable Energy*, Vol. 140, pp. 715–721, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.091>
- [28] Talus, K. *EU Energy Law and Policy: A Critical Account*. Oxford University Press, 2013.
- [29] European Parliament and Council, *Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC (Text with EEA relevance)*, vol. OJ L 140, 5.6.2009, pp. 16–6. 2009.
- [30] European Commission, Western Balkans: An Economic and Investment Plan to support the economic recovery and convergence - Press release, *European Commission - European Commission*, 2020. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_1811 [pristupljeno 28.01.2021].
- [31] European Commission, Western Balkans Summit in Sofia: Important steps taken to advance regional cooperation to boost socio-economic recovery and convergence with the EU - Press release, *European Commission - European Commission*, 2020. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_2051 [pristupljeno 07.02.2021].
- [32] Boromisa, A.-M. Traditional Solutions in the Traditional Sector – (Un)expected Outcomes? Energy Sector in the SEE, in *Dialogues Ownership for Regional Cooperation in the Western Balkan Countries*, pp. 117–129, 2009.
- [33] Hunt, M., Karova, R. The Energy ACQUIS Under the Energy Community Treaty and the Integration of South East European Electricity Markets: An Uneasy Relationship?, in: *EU ENERGY LAW AND POLICY ISSUES*, 2nd ed., B. Delvaux, M. Hunt, and K. Talus, Eds. Rixensart: Euroconfidential, pp. 51–87, 2010.
- [34] Energy Community, Treaty establishing Energy Community. 2005, <https://www.energy-community.org/legal/treaty.html> [pristupljeno 07.02.2021]
- [35] Simurdić, M. The Energy Community – EU Energy Enlargement?, *International Issues & Slovak Foreign Policy Affairs*, Vol. 18, No. 3, pp. 49–68, 2009.
- [36] Energy Community Secretariat, Energy Community Annual Implementation Report, Energy Community Secretariat, Nov. 2020. <https://www.energy-community.org/implementation/IR2020.html> [pristupljeno 28.01.2021]
- [37] Ministerial Council of the Energy Community, Recommendation of the Ministerial Council of the Energy Community 2018/11MC-EnG on preparing for the development of integrated national energy and climate plans by the Contracting Parties of the Energy Community - Annex 201 I 4th MC/03-01 -20 1 I. Energy Community, 2018. https://www.energy-community.org/dam/jcr:de3adce9-e047-4fb3-a632-f63c64a5c9c6/REC_2018_01_MC_CLI.pdf [pristupljeno 28.01.2021]
- [38] Energy Community Secretariat, Policy Guidelines by the Energy Community Secretariat on the development of National Energy and Climate Plans under Recommendation 2018/01/MC-EnC PG 03/2018. Energy Community, 2018. https://www.energy-community.org/dam/jcr:c9886332-a1f5-43ee-b46c-31c637aedfa6/PG_03_2018_ECS_NECPL.pdf [pristupljeno 28.01.2021]
- [39] Goldthau, A., Sitter, N. Soft power with a hard edge: EU policy tools and energy security, *Review of International Political Economy*, Vol. 22, No. 5, pp. 941–965, 2015. <https://doi.org/10.1080/09692290.2015.1008547>
- [40] Parliament of the Republic of Serbia, Law on Ratification of the Treaty Establishing Energy Community between the European Community and the Republic of Albania, Republic of Bulgaria, Bosnia and Herzegovina, Republic of Croatia, Former Yugoslav Republic of Macedonia, Republic of Montenegro, Romania, Republic of Serbia and United Nation Interim Administration Mission on Kosovo in compliance with the Resolution 1244 of the UN Security Council (Zakon o ratifikaciji Ugovora o osnivanju Energetske zajednice između Evropske zajednice i Republike Albanije, Republike Bugarske, Bosne i Hercegovine, Republike Hrvatske, Bivše Jugoslovenska Republike Makedonije, Republike Crne Gore, Rumunije, Republike Srbije i Privremene Misije Ujedinjenih nacija na Kosovu u skladu sa Rezolucijom 1244 Saveta bezbednosti Ujedinjenih nacija), Official Gazette of the Republic of Serbia, No. 62/06. Official Gazette of the Republic of Serbia, 2006, [Online]. https://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SIGlasnikPortal/prilozi/Ugovor_o_osnivanju_Energetske_zajednice.htm®actid=404637&doctype=reg [pristupljeno 28.01.2021]
- [41] Parliament of the Republic of Serbia, Decision on the Energy Development Strategy of the Republic of Serbia until 2015, Official Gazette of the Republic of Serbia no 44/2005. Official Gazette of the Republic of Serbia, 2005.
- [42] Ministry of Energy, Development and Environmental Protection, NATIONAL RENEWABLE ENERGY ACTION PLAN OF THE REPUBLIC OF SERBIA. Ministry of Energy, Development and Environmental Protection, 2013.

- [43] Parliament of the Republic of Serbia, STRATEGY OF ENERGY DEVELOPMENT OF THE REPUBLIC OF SERBIA UNTIL 2025 WITH PROJECTIONS UNTIL 2030. Official Gazette of the Republic of Serbia, 2015.
- [44] Parliament of the Republic of Serbia, Law on Elektroprivreda ('Official Gazette of the Republic of Serbia', br. 45/91, 53/93, 67/93, 48/94, 69/94 - decision USRS i 44/95 - other laws). Official Gazette of the Republic of Serbia, 1991.
- [45] Parliament of the Republic of Serbia, Energy Law ('Official Gazette of RS', No. 84/2004). Official Gazette of the Republic of Serbia, 2004.
- [46] Parliament of the Republic of Serbia, Energy Law ('Official Gazette of RS', No. 57/2011, 80/2011 - correction, 93/2012 and 124/2012). Official Gazette of the Republic of Serbia, 2011.
- [47] Parliament of the Republic of Serbia, Energy Law ('Official Gazette of RS', No. 145/2014 and 95/2018 - other law). Official Gazette of the Republic of Serbia, 2014.
- [48] EWB, Kopač za N1: Zakoni u oblasti energetike u Srbiji su samo mrtvo slovo na papiru, *European Western Balkans*, 2018. <https://europeanwesternbalkans.rs/kopac-za-n1-zakoni-u-oblasti-energetike-u-srbiji-su-samo-mrtvo-slovo-na-papiru/> [pristupljeno 07.02.2021].
- [49] Petrov, R. Energy Community as a Promoter of the European Union's 'Energy Acquis' to Its Neighbourhood, *Legal Issues of Economic Integration*, Vol. 38, No. 3, pp. 331–356, 2012.
- [50] Energy Community Secretariat, Total capacities of renewable energy 2019, 2018, 2017 (MW) Serbia, 2020. <https://www.energy-community.org/implementation/Serbia.html> [pristupljeno 06.02.2021].
- [51] Lalic, D., Popovski, K., Gecevski, V., Vasilevska, S.P., Tesic, Z. Analysis of the opportunities and challenges for renewable energy market in the Western Balkan countries, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15, No. 6, pp. 3187–3195, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.011>
- [52] Energy Community Secretariat, Western Balkan Sustainable Charter. Energy Community Secretariat, 2016. https://www.energy-community.org/dam/jcr:3a24e29c-0c32-459c-83b9-7ba99448f2ca/WB6_SUS_Charter.pdf [pristupljeno 07.02.2021].
- [53] Ministry of Environmental Protection, Draft Low Carbon Strategy of the Republic of Serbia. 2019.
- [54] Ministry of Energy and Mining, Annual Activity Report of the Ministry of Energy and Mining. Ministry of Energy and Mining, 2020.

AUTORI/AUTHORS

Varvara Aleksić - Energy lawyer and PhD candidate, Central European University Vienna, Austria / Budapest, Hungary, aleksic_varvara@phd.ceu.edu

Ilija Batas Bjelić Ph.D. - Research Associate, Institute of Technical Sciences of Serbian Academy of Science and Art, Belgrade, ilija.batas-bjelic@itm.sanu.ac.rs

Idejno rešenje regionalnog Data Centra kod Beograda napajanog iz obnovljivih izvora energije

Conceptual Solution of the Regional Data Centre near Belgrade That Is Powered from Renewable Energy Sources

Ivan Vujović*, Željko Đuršić**

* Ericsson AB Štokholm, dio stranog društva Podgorica

** Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet

Rezime - Trendovi centralizacije telekomunikacione i računarske opreme radi postizanja ekonomskih benefita, odnosno implementacije tehnoloških inovacija i novih tehničkih rešenja dovode do potrebe izgradnje sve većih Data Centara (DC-a). Povećanje veličine objekta DC-a, odnosno broja rekova sa opremom koji se implementiraju unutar DC-a, kao i broja uređaja koji omogućavaju pravilnu funkcionalnost te opreme, prati neminovno povećanje potrebne količine električne energije za napajanje. Za DC-e koji zahtijevaju veliku količinu električne energije isplativa je izgradnja sopstvenih, obično obnovljivih izvora energije (OIE). Tada su OIE primarni, a ElektroEnergetski Sistem (EES) služi kao sekundarni i redundantni izvor napajanja. U radu je predstavljena ideja za realizaciju DC-a koji se, preko EES-a, primarno napaja iz OIE. Generisana električna energija iz OIE se prenosi u EES upotrebom razvodnih postrojenja (RP-a) visokog napona, a DC napaja iz EES-a preko RP-a niskog, srednjeg i visokog napona. Za realizaciju jednog takvog objekta potrebno je obezbijediti adekvatne uslove koji se odnose na geografsku poziciju, dostupnost lokacije sa stanovišta pristupa, kao i mogućnosti elektroenergetskog, odnosno telekomunikacionog povezivanja. Na osnovu sprovedenih istraživanja potencijala OIE, raspoložive putne, elektroenergetske i telekomunikacione infrastrukture, u ovom radu su analizirani uslovi razvoja DC-a na lokaciji kod Beograda i to u blizini Transformatorske Stanice (TS) „Beograd 20“. Predloženo rešenje, sa aspekta napajanja DC-a, uključuje izgradnju vjetroelektrane, solarne elektrane i elektrane na deponijski gas, kao i pratećih RP-a. Predviđeno je telekomunikaciono povezivanje objekta sa mrežom EES-a i drugim važnim telekomunikacionim centrima. Ove konekcije se ostvaruju preko optičkih kablova, postavljenih uz elektroenergetske vodove i kablove, a gdje to nije moguće, postavljene samostalno. Prikazan je dizajn unutrašnjosti DC-a i urađeni proračuni potrebne količine električne energije za napajanje opreme i uređaja u objektu. Na osnovu toga je izvršen proračun potrebnog kapaciteta OIE, kao i proračun pripadajućih RP-a. Dato je i rešenje optičkog povezivanja unutar objekta DC-a. Na kraju rada izvršena je uopštena procjena investicionih i ekonomskih aspekata izgradnje ovakvog DC-a.

Abstract - Telecommunications and computer equipment centralisation trends for the purpose of achieving economic benefits, usage of technological innovations and new technical solutions implementation leads to the requirements for building bigger Data Centres (DCs). An increase in the size of the DC facility i.e. the number of racks inside occupied with equipment and the number of devices that enables the proper functioning of that equipment leads to necessarily power energy requirements increasing for power supply. For the DCs that require a large amount of energy, the building of their own, usually renewable energy sources (RES) is cost-effective. In such a case, RES are primary and Power System (PS) is secondary and redundant power source. A concept of a DC primary powered from RES is presented in this paper. Generated electrical energy in RES is transmitted in PS through high voltage switch-gears (SGs) while DC is power supplied from PS through low voltage, medium voltage and high voltage SG-s. For the purpose of realisation of such facility, it is necessary to enable adequate conditions related to geographical location, physical access to the facility, possibility of connecting to the PS and possibility of connecting to the telecommunications centres. Based on carried out researches related to RESs potential, available roads, power supply infrastructure and telecommunication infrastructure, development conditions for DC on location near to Belgrade, close to power transformer station „Belgrade 20“ are analysed in this paper. From the aspect of DC power supply, proposed solution includes wind farm, solar plant and landfill gas power plant, as well as related SGs. Telecommunication connections from DC to the PS and other important telecommunication centres are provided. These connections are realised through optical cables placed next to the electrical lines and cables, and, when that is not possible, placed independently in the ground. The design of the DC interior is given and calculations of the required electrical energy for the power supply of the equipment and devices in the facility are performed. Based on calculation results, capacity calculation of the RES and calculation of SGs are performed. Design of the interior optical connections inside DC is also given. A General assessment of the investment and economics of building such DC are given at the end of the paper.

Ključne reči - Data Centar, obnovljivi izvori energije, razvodno postrojenje, redundansa, telekomunikaciono povezivanje

Index Terms - Data Center, renewable energy sources, switch-gear, redundancy, telecommunication connections

I. UVOD

Razvoj tehnologije informacionih sistema koji se ogleda u hardverskim, a naročito u softverskim inovacijama, upućuje na potrebu za centralizacijom resursa, što je potpuno suprotan trend od postojećih, široko rasprostranjenih, distribuiranih rešenja. Povećanje procesorskih i memorijskih kapaciteta hardvera, kao i brzine, sigurnosti i pouzdanosti u prenosu podataka, uz upotrebu sofisticiranih softverskih komponenti na svim nivoima, omogućava razvoj virtuelnih platformi. Virtuelizacijom se postiže mnogo bolje iskorišćenje resursa jer se oni dijele između više entiteta i servisa. Samim tim se značajno smanjuje potrebna električna energija za napajanje i klimatizaciju DC-a u kojima se virtuelni sistemi implementiraju. Radi još boljeg iskorišćenja Information and Communications Technology (ICT), elektroenergetskih i termotehničkih resursa izgrađuju se veći DC-i. Kada potreba za električnom energijom objekta DC-a dostigne vrijednost koja opravdava izgradnju sopstvenih izvora napajanja, onda je ekonomski isplativo u projekat realizacije DC-a uključiti i OIE. Elektroenergetska RP-a povezuju DC i OIE sa EES-om. U periodima kada OIE proizvode više nego što je potrebno za napajanje cjelokupne infrastrukture DC-a, višak se plasira u EES, dok se u periodima kada je proizvodnja iz OIE nedovoljna za napajanje, električna energija uzima iz EES-a. Kapacitet OIE se projektuje minimalno tako da ekonomske vrijednosti predate i iz sistema preuzete električne energije, na nivou godine, budu približno jednake. Napajanje DC-a je neprekidno jer je moguće vršiti prebacivanje snabdijevanja između dva različita i nezavisna izvora. Takođe, napajanje je i redundantno jer, u svakom trenutku, prekidom isporuke električne energije iz primarnog izvora (OIE), njemu redundantni izvor (EES) preuzima snabdijevanje.

U radu je konceptualno predstavljen jedan veliki DC koji se primarno napaja iz OIE. Dat je predlog realizacije svih bitnih sistema koje je neophodno implementirati unutar i van objekta sa ciljem postizanja što veće efikasnosti. Urađeni su i uopšteni ekonomski proračuni vrijednosti i isplativosti investicije.

II OPRAVDANOST I USLOVI ZA REALIZACIJU DATA CENTRA

Postoji nekoliko bitnih razloga koji upućuju na mogućnost ostvarivanja značajnih benefita od izgradnje velikog DC-a blizu Beograda. Poslije isteka Return Of Investment (ROI) perioda, iznajmljivanjem kapaciteta i servisa, ostvaruje se ekonomska korist. Zbog toga se ostvaruje i plasiranjem viška električne energije proizvedene u OIE, odnosno generisane električne energije u elektrani na deponijski gas. Veoma bitna prednost izgradnje je i tehnološki, odnosno tehnički napredak koji ovakav objekat, sam po sebi, donosi, kao i ostvarivanje značajnog kadrovskog potencijala u vidu velikog broja ljudi različitih profesija koji će steći iskustvo u radu prilikom realizacije ovakvog DC-a. Svakako bitan faktor je i politički s obzirom na kompleksnost realizacije ovakvog projekta u kom, obično, učestvuje i država.

Beograd se nalazi na povoljnoj geografskoj poziciji gdje se ukrštaju saobraćajne, energetske i komunikacione trase. Objekti velikih DC-a obično se izgrađuju na periferijama velikih gradova, odnosno na mjestima gdje je dostupna putna, elektroenergetska i telekomunikaciona infrastruktura. Kako je planirana izgradnja sopstvenih OIE to je preporučljivo

obezbijediti da i takvi izvori budu relativno blizu samom objektu DC-a. Na osnovu postavljenih kriterijuma za izbor lokacije objekta DC-a i istraživanja potencijala OIE u vidu mjerenja brzine vjetra, odnosno insolacije na području periferije Beograda, kao i količine otpada na deponiji, predložene su sledeće pozicije za izgradnju pojedinih delova DC-a u širem smislu:

- Prostor istočno od postojećeg elektroenergetskog RP-a „Beograd 20“ i južno od groblja „Lešće“ za objekat DC-a i pripadajućeg novog RP-a (Razvodno postrojenje 1);
- Prostor sjeveroistočno od mjesta „Starčevo“ za vjetroelektranu i pripadajuće novo RP (Razvodno postrojenje 2);
- Prostor sjeverozapadno od zatvorenog dijela deponije „Vinča“ za solarnu elektranu i pripadajuće novo RP (Razvodno postrojenje 3); i
- Prostor ispod deponije „Vinča“ za elektranu na deponijski gas.

Navedene lokacije su prikazane na slici 1.



Slika 1. Predložene lokacije objekta DC-a, OIE i RP-a

Priključenje DC-a na razvodno postrojenje 1 vrši se preko 10 kV kablova. Sa druge strane, povezivanje razvodnog postrojenja 1 sa EES-om, vrši se spajanjem na RP „Beograd 20“ koje se nalazi u neposrednoj blizini, dvostrukim 110 kV vodovima. Priključenje vjetroelektrane na razvodno postrojenje 2 realizuje se upotrebom 35 kV kablova, dok se veza razvodnog postrojenja 2 sa EES-om ostvaruje preko RP „Pančevo 2“ – RP „Beograd 20“, dvostrukim 400 kV vodovima. Razvodno postrojenje 3 na koje se, 10 kV kablovima, priključuju solarna elektrana i elektrana na deponijski gas, povezuje se sa RP „Beograd 20“, dvostrukim 110 kV vodovima.

III TEHNIČKO REŠENJE OBJEKTA DATA CENTRA

Osnovno polazište u dimenzionisanju objekta DC-a, OIE, kao i elektroenergetskog, odnosno telekomunikacionog povezivanja objekta sa RP-a, odnosno drugim telekomunikacionim centrima je predviđeni broj rekov a koji se smještaju unutar objekta. Sagledavajući trenutne potrebe za DC infrastrukturom u Srbiji, a imajući u vidu da u zemljama regiona do sada nisu izgrađeni veliki DC-i, kao i da je nedavno počeo probni rad DC-a u Kragujevcu koji je projektovan za 1.080 rekov a i instalisanu snagu od 14 MW [1], predložen broj rekov a ovog DC-a je 5.000. Sami objekat treba da zadovoljava minimalno standard nivoa (Tier) 4 kao što je opisano u [2], a u nekim segmentima je

poželjno postići i standard nivoa 5 opisanog u [3].

Prema [4], u DC-ima koji za hlađenje opreme i uređaja koriste čilere, potrošnja električne energije je okvirno raspoređena tako da na ICT opremu ide 50%, hlađenje 35%, UPS i ispravljače 11% i osvjetljenje 4%.

Prema proračunima i podacima predstavljenim u [5], a na osnovu trenda razvoja ICT rešenja i kompleksnosti dizajna DC-a, optimalno je u rekeve smjestiti opremu koja zahtijeva 5 – 8 kW Alternating Current (AC) električne snage. Kako bi se omogućilo smještanje opreme koja je trofazni potrošač, a s obzirom da je predviđena gornja granica konzumacije AC električne snage po reku 20 kW, pogodno je, u svakom reku, implementirati redundantni trofazni sistem napajanja koji čine dvije 3 x 16 A grane od kojih svaka može prenijeti po 11 kW AC električne snage.

Trendovi u proizvodnji ICT opreme sve više idu ka jednosmjernom (Direct Current - DC) napajanju, posebno većih potrošača. S tim u vezi, dio rekova treba opremiti sa -54 V DC redundantnim napajanjem. U tu svrhu se koriste ispravljački sistemi. Obično se rekovi napajaju ili sa AC ili sa DC izvora električne energije, mada se mogu pojaviti slučajevi kada je u istom reku potrebno smjestiti i AC i DC napajanje opreme, ali zbog relativno malog broja takvih slučajeva, nije opravdano svaki rek napajati i sa AC i sa DC redundantnih izvora već se, kada je to potrebno, u reku implementiraju posebni ispravljački, odnosno invertorski uređaji. Dio rekova za koje je predviđeno DC redundantno napajanje koristiće DC električnu snagu ekvivalentnu AC snazi tako da su proračuni ukupne potrebne snage vršeni kao da je svaki rek potrebno napajati iz AC izvora.

Optimalna električna snaga kojom treba napojiti svaki rek je 8 kW, pa je za 5.000 rekova potrebna ukupna snaga od 40 MW.

Konzumacija električne energije sistema za ventilaciju i klimatizaciju (Heating Ventilation and Air Conditioning - HVAC) varira zavisno od spoljašnje temperature, meteoroloških uslova, godišnjeg doba i td., ali se električna snaga uvijek projektuje za maksimalnu vrijednost tj., kako je navedeno u [4], za 70% snage predviđene za ICT opremu u rekovima. Ta vrijednost je, na nivou cijelog DC-a, 28 MW. Prema istom izvoru, za UPS i ispravljačke sisteme se koristi 22% tj. 8,8 MW, a za osvjetljenje 8% tj. 3,2 MW predviđene snage za ICT opremu DC-a. Ukupna snaga potrebna za sve navedene sisteme u DC-u je 80 MW.

Za potrebe ostvarivanja komunikacije između opreme u različitim rekovima i prema drugim komunikacionim centrima, za svaki rek je predviđena redundantna optička veza prema distributivnim rekovima i to preko 2 x 2 duplex singlmodna optička vlakna. Ukupan broj distributivnih rekova je 20, a po svakom reku se ostvaruje 1.008 optičkih konekcija (24 panela sa po 48 LC konektora).

Zbog efikasnosti hlađenja tj. odvođenja disipirane toplote koju generiše oprema [6], postavljanje rekova se vrši tako da se između dva niza rekova formira „hladna zona“ [7]. Svaka dva niza rekova jedne zone napajaju se trofazno AC (400/230 V), sa dva UPS sistema, ili DC (- 54 V) sa dva ispravljačka sistema. U jednom nizu se postavlja 10 ICT rekova tj. u zoni 20 ICT rekova. Kako je projektovana snaga po reku 8 kW, svaki UPS ili

ispravljački sistem treba da bude snage po 160 kW radi postizanja potpune redundanse u zoni. Ukupan broj UPS/ispravljačkih postrojenja u DC-u je 358. Kapacitet baterija koje su sastavni dio ovih sistema treba biti takav da omogućava samostalnost u radu opreme pri potpunom nestanku električne energije od najmanje jednog časa. S obzirom da je snaga svakog UPS ili ispravljačkog sistema 160 kW, a jednosmjerni izlazni napon baterija - 54 V DC, to struja koju daju baterije UPS-a/ispravljača treba da bude 2.963 A DC. Kapacitet baterija jednog UPS-a/ispravljača koji omogućava autonomnost u radu od jednog časa je 2.963 Ah tj. 3.000 Ah. Da bi se obezbijedio taj kapacitet, na svaki UPS/ispravljač redno, u dva niza, se povezuju po 27 baterija kapaciteta 1.500 Ah i napona 2 V (ukupan napon 27 redno vezanih baterija je: 54 V DC). Ukupan potreban broj baterija kapaciteta 1.500 Ah u DC-u je: $358 \times 2 \times 27 = 19.332$. U situaciji kada nisu funkcionalni ni primarni izvori napajanja (OIE) ni redundantno napajanje (EES), tj. kada se oprema u DC-u napaja iz baterija, potrebno je, po uspostavljanju primarnog, odnosno sekundarnog napajanja, omogućiti ponovno dopunjavanje ili punjenje baterija. Pretpostavljajući da su kapaciteti svih baterijskih nizova potpuno iskorišćeni, punjenje svakog niza od 27 baterija se vrši desetočasovno tj. strujom od 150 A. Ukupna DC snaga potrebna za punjenje jednog baterijskog niza je: $150 \text{ A} \times 54 \text{ V} = 8,1 \text{ kW}$. Za dva niza baterija koji se povezuju na svaki UPS/ispravljač potrebno: 16,2 kW DC, a to je adekvatno 3,804 kW AC snage, što znači da će u periodu punjenja baterija, za jedan niz rekova, snaga dostupna opremi u rekovima od 160 kW (Snaga svakog UPS-a/ispravljača) biti umanjena za 3,804 kW tj. svakom reku u nizu biće dostupno $8 - 3,804/10 = 7,62 \text{ kW}$. Za smještanje 2 x 27 baterijskih jedinica potrebna su tri reka, što, uz jedan UPS ili ispravljački rek, čini ukupno 4 reka za napajanje u svakom nizu tj. zajedno sa ICT rekovima, 14 rack-ova u nizu, odnosno 28 rekova u svakoj zoni. Navedena realizacija baterijskog sistema podrazumijeva upotrebu takozvanih „olovnih“ baterija i predstavlja standardno rešenje za sadašnje DC-e. Značajno bolje rešenje u smislu obezbjeđivanja mnogo veće autonomije rada uz, praktično, nultno zagađenje je upotreba vodoničnih gorivnih ćelija. Ova tehnologija se tek počinje široko koristiti.

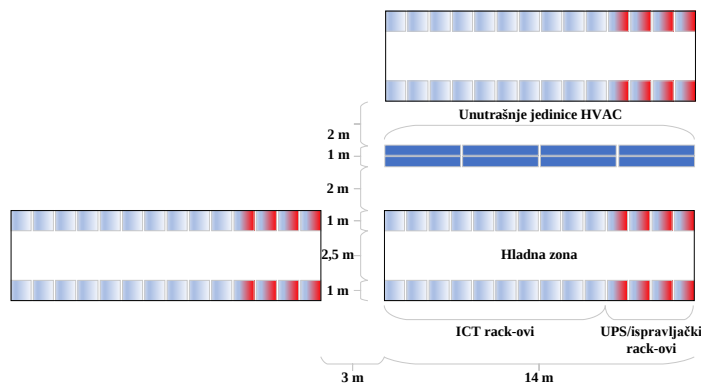
Sistem HVAC čine unutrašnje jedinice, spoljašnje jedinice, ventilatori i cijevi kroz koje cirkuliše voda. Unutrašnje jedinice se smještaju između zona sa rekovima i vrše uduvavanje ohlađenog vazduha u „hladnu zonu“ između nizova rekova, odnosno usisavanje toplog vazduha sa zadnje strane rekova.

Spoljašnje jedinice su čileri i jedinice za disipaciju toplote sa ventilatorima koje se postavljaju pored objekta DC-a. Odvođenje toplote koju usisavaju unutrašnje jedinice vrši se preko cijevi kroz koje cirkuliše voda do spoljašnjih jedinica, gdje se, posredstvom ventilatora, toplota odaje u okolinu.

Regulacijom HVAC sistema, temperatura unutar „hladnih zona“ održava se na približno 21°C koliko je sobna temperatura koja je optimalna za funkcionisanje ICT opreme smještene u rekovima. Dozvoljena varijacija temperature unutar „hladne zone“ je $\pm 2^\circ\text{C}$. Takođe, održava se i vlažnost vazduha unutar DC-a i to na optimalnih 55% uz dozvoljene varijacije $\pm 5\%$.

Dimenzije svakog reka (ICT i UPS/ispravljačkog, odnosno baterijskog) su: 1 m x 1 m x 2 m. Unutrašnje jedinice HVAC

sistema su dimenzija: 3,5 m x 0,5 m x 2 m. Na ulazima u „hladnu zonu“, sa obje strane, su postavljena klizna vrata, a u duplom podu između rekova rešetke kroz koje se uduvava rashlađeni vazduh. Dizajn unutrašnjeg prostora DC-a predstavljen je na slici 2.



Slika 2. Dizajn unutrašnjosti DC-a

IV TEHNIČKO REŠENJE OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE

Prethodno navedeni OIE (vjetroelektrana, solarna elektrana) predviđeni su za primarno napajanje DC-a preko EES-a. Kao primarni izvor napajanja predviđena je i elektrana na deponijskim gas. Sekundarni i redundantni izvor napajanja je EES.

A. Vjetroelektrana

Na osnovu izmjerenih vrijednosti brzine vjetra i smjera vjetra, odnosno temperature u periodu od jedne godine tj. na osnovu poznavanja vjetropotencijala lokacije na kojoj je predviđena izgradnja vjetroelektrane, kao i karakteristika izabranog vjetroagregata i visine na kojoj se postavlja osovina, vrši se procjena prosječne godišnje proizvodnje električne energije jednog vjetrogeneratora, a na osnovu izračunatih potreba za električnom energijom objekta DC-a i broj vjetrogeneratora koji će činiti vjetroelektanu. Za lokaciju vjetroelektrane se određuje „ruža vjetrova“, odnosno dominantan smjer vjetra na osnovu kog se vjetrogeneratori postavljaju tako da se minimizuje efekat zavjetrine. Snaga vjetra koji struji normalno na površinu A opisanu vrhovima lopatica vjetroturbine izračunava se prema izrazu datom u [8] kao:

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (1)$$

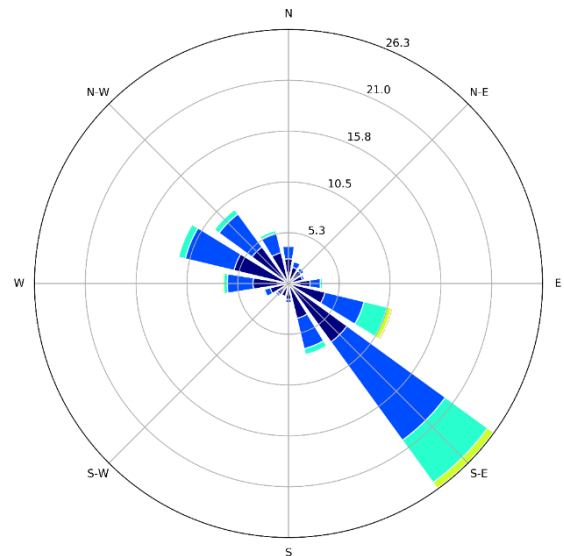
gdje su:

P [W] – prosječna vrijednost snage vjetra na visini h iznad tla,
 ρ [Kg/m³] – prosječna gustina vazduha na nadmorskoj visini H ,
 A [m²] – površina koju opisuju vrhovi lopatica vjetroturbine,
 v [m/s] – brzina vjetra na visini h iznad tla.

Iz relacije (1) je uočljiva linearna zavisnost snage vjetra od gustine vazduha i površine koju opisuju vrhovi lopatica vjetroturbine, dok je dominantna zavisnost od brzine vjetra i to sa trećim stepenom.

Mjerenje brzine i smjera vjetra na lokaciji: „Bavanište“ vršeno je u jednogodišnjem intervalu sa desetominutnom rezolucijom zapisa podataka, na visinama 10 m, 40 m, 50 m i 60 m od tla, dok je mjerenje temperature vršeno na visini od 5 m iznad tla. Na

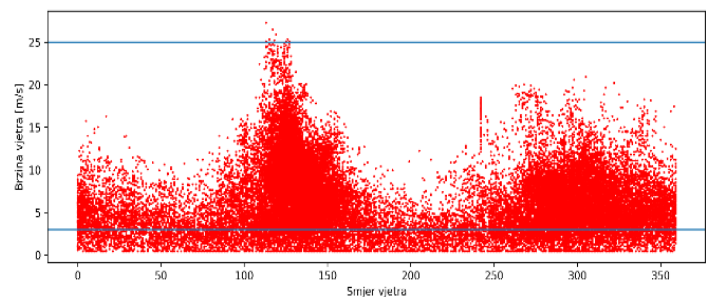
osnovu sprovedene statističke analize utvrđeno je da su srednje godišnje brzine vjetra, za navedenu lokaciju, na 10 m, 40 m, 50 m i 60 m jednake: 3,73 m/s, 5,28 m/s, 5,37 m/s i 5,72 m/s respektivno. Procijenjena brzina vjetra na 135 m iznad tla, tj. na visini osovine vjetroturbine, koja odgovara karakteristikama vjetrogeneratora specificiranog u [9] je proračunata na osnovu stepenog zakona i iznosi: 6,62 m/s. Obradom podataka dobijenih mjerenjima i rezultata proračuna, za navedenu lokaciju i visinu od 135 m dobija se „ruža vjetrova“ prikazana na slici 3.



Slika 3. Ruža vjetrova za visinu od 135 metara

Sa slike je očigledan dominantan smjer vjetra South East (SE) što je i očekivano jer se lokacija nalazi uz rijeku Dunav duž koje, u zimskim mjesecima, kada su brzine vjetra najveće, duva jugoistočni vjetar „Košava“.

Slika 4 prikazuje zavisnost brzine od smjera vjetra na visini od 135 metara.



Slika 4. Zavisnost brzine od smjera vjetra na visini od 135 m

Gustina vazduha se može odrediti na osnovu relacije date u [8]:

$$\rho = \rho_0 \cdot k_a \cdot k_t \quad (2)$$

gdje su:

$$k_a = \frac{p}{p_0} = e^{-0,000118 \cdot H} \text{ - korekcionni faktor pritiska,}$$

$$k_t = \frac{273,15+15,04}{273,15+t [^{\circ}\text{C}]} \text{ - korekcionni faktor temperature.}$$

Visina H predstavlja nadmorsku visinu osovine turbine. Kako je nadmorska visina mjesta gdje je predviđeno postavljanje vjetroagregata 164 m, a visina osovine turbine vjetroagregata iznad tla 135 m to je vrijednost $H = 299$ m pa je $k_a = 0,965$. Temperatura se, sa porastom visine, na srednjoj geografskoj širini, mijenja približno prema gradijentu $\Delta T = -0,0066$ K/m [8], a na osnovu relacije:

$$T_{135} = T_5 + \Delta T \cdot (135 - 5) \quad (3)$$

Kako je prosječna izmjerena vrijednost temperature u toku godine, na visini od 5 metara iznad tla, $T_5 = 13,9$ °C to je $T_{135} = 13,0$ °C, što znači da je $k_t = 1,007$, odnosno, na osnovu relacije (2), uz poznato $\rho_0 = 1,225$ kg/m³, izračunato je: $\rho = 1,19$ kg/m³. Ova vrijednost gustine vazduha koristi se za korekciju krive snage vjetroturbine koja je data za ρ_0 [9].

Intenzitet turbulentnosti vjetra, za homogene ravne terene, računa se prema poluempirijskoj relaciji:

$$I(h) \approx \frac{1}{\ln\left(\frac{h}{h_0}\right)} \quad (4)$$

datoj u [8], gdje su: h_0 – jedinstvena dužina hrapavosti (za izabrani teren je $h_0 = 0,03$), h – visina na kojoj se procjenjuje intenzitet turbulentnosti.

Upotrebom relacije (4) dobija se intenzitet turbulentnosti od $I(135) = 12$ %.

Ekstremne brzine vjetra koje se mogu pojaviti na lokaciji predviđenoj za postavljanje vjetroagregata mjerodavne su za izbor tipa turbine, projektovanje temelja stuba, kao i za analizu naprezanja materijala pojedinih dijelova agregata. Prema [8], veza između ekstremne i srednje godišnje brzine vjetra na određenoj lokaciji i određenoj visini data je relacijom:

$$v_{50god} = 5 \cdot v_{1god} \quad (5)$$

gdje su:

v_{50god} – srednja desetominutna vrijednost ekstremne brzine vjetra koja se javlja, u prosjeku, jednom u 50 godina,

v_{1god} – srednja godišnja brzina vjetra na visini osovine vjetroturbine.

Kako je, na visini od 135 m, $v_{1god} = 6,62$ m/s, to je $v_{50god} = 33,1$ m/s. Ekstremni udar vjetra, odnosno srednja trosekundna vrijednost brzine vjetra koja se pojavljuje, u prosjeku, jednom u 50 godina računa se upotrebom faktora udarnosti G čija je standardna pretpostavljena vrijednost $G = 1,4$ prema relaciji:

$$v_{max50god} = G \cdot v_{50god} \quad (6)$$

Na osnovu (6) i izračunate vrijednosti v_{50god} dobija se:

$$v_{max50god} = 46,34 \text{ m/s.}$$

Ukupni rezultati izvršenih proračuna su sledeći:

- srednja godišnja vrijednost brzine vjetra na visini od 135 m je: $v = 6,62$ m/s;
- minimalna i maksimalna izmjerena vrijednost temperature u toku godine su: $T_{min} = -18,8$ °C i $T_{max} = 36,9$ °C;
- gustina vazduha na visini od 135 m je: $\rho = 1,19$ kg/m³;
- vrijednost intenziteta turbulentnosti na visini od 135 m je: $I = 12$ %;

- srednja desetominutna vrijednost ekstremne brzine vjetra koja se javlja, u prosjeku, jednom u 50 godina je: $v_{50god} = 33,1$ m/s;
- srednja trosekundna vrijednost brzine vjetra koja se pojavljuje, u prosjeku, jednom u 50 godina je: $v_{max50god} = 46,34$ m/s.

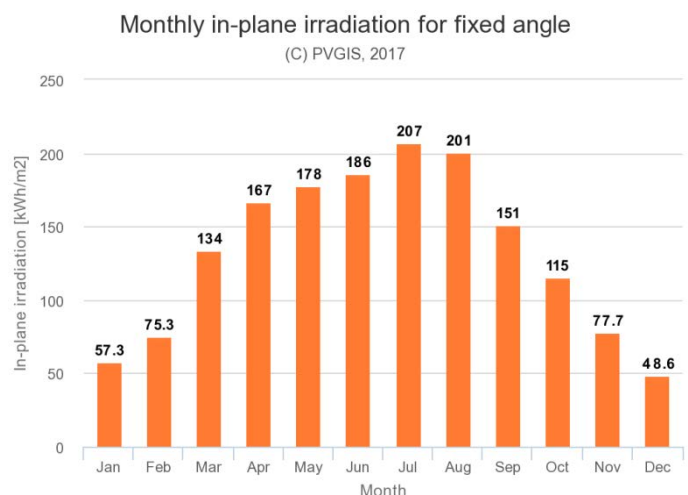
Izabrani vjetroagregat: General Electric GE 6.0 – 164 [9] zadovoljava po svakom parametru lokacije na kojoj je planirana izgradnja vjetroelektrane.

Za napajanje DC-a potrebna je konstantna snaga od 80 MW. Na nivou godine to je električna energija od 701,280 GWh. Predviđeno je da vjetroelektrana proizvede upravo toliko električne energije na nivou godine. Za ostvarivanje navedene proizvodnje potrebno je izgraditi vjetroelektranu koja bi se sastojala od 40 vjetroagregata naznačenog tipa, čija je ukupna instalisana snaga 240 MW, što je utvrđeno na osnovu proračuna, korišćenjem softvera WAsP 11.

B. Solarna elektrana

Kapacitet solarne elektrane se računa na osnovu dostupne površine za izgradnju od 473.108 m². Podaci o insolaciji i temperaturi su dobijeni na osnovu Photo Voltaic Geographical Information System (PVGIS) Satellite Application Facility (SAF) Climate online baze podataka [10].

Izračunati optimalni nagibni ugao pod kojim treba postaviti solarni panel u odnosu na tlo je: $\Sigma = 34^\circ$. Za ovaj ugao, insolacija na jednom kvadratnom metru solarnog panela po mjesecima u toku godine predstavljena je grafikom na slici 5.



Slika 5. Insolacija po kvadratnom metru solarnog panela postavljenog pod nagibnim uglom od 34°

Na osnovu proračuna dobijeni su sledeći podaci:

- optimalni nagibni ugao panela je: $\Sigma = 34^\circ$;
- optimalni azimutni ugao je: $\phi = 0^\circ$;
- godišnja insolacija na površinu solarnog panela je: 1.600 kWh/m².

Izabrani solarni moduli Jinkosolar Eagle JKM340PP-72 [11] je sledećih karakteristika:

- maksimalna izlazna DC snaga pri Standard Test Conditions (STC) je: $P_{max} = 340 \text{ Wp}$;
- izlazni DC napon pri maksimalnoj snazi za STC je: $V_{mp} = 38,2 \text{ V}$;
- izlazna DC struja pri maksimalnoj snazi za STC je: $I_{mp} = 8,91 \text{ A}$;
- temperaturni opseg modula (ćelija) je: od $T_{min} = -40^\circ\text{C}$ do $T_{max} = +85^\circ\text{C}$;
- Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) je: $45 \pm 2^\circ\text{C}$;
- koeficijent vazdušne mase za STC i NOCT je: $m=1,5$.

Solarni paneli se grupišu na koncentratorskim poljima. Izabrano koncentratorsko polje je: *Electric 1000V Array box AB16-300* [12].

Koncentratorska polja se povezuju sa ulazima invertorskog postrojenja. Izabrano invertorsko postrojenje je: *Schneider Electric PV Box ST 2720* [13].

Proizvodnja električne energije jednog solarnog panela zavisi, prije svega, od insolacije na njemu i temperature okoline. Nazivna snaga izabranog panela je: $P_{DC,STC} = 340 \text{ Wp}$. U realnim eksploatacionim uslovima, snaga kojom solarni panel generiše električnu energiju na pragu invertora (P_{AC}) je manja od snage na DC priključcima panela pri standardnim uslovima tj. nazivne snage panela $P_{DC,STC}$ zbog gubitaka, odnosno efikasnosti konverzije η na koju utiču: temperaturne razlike u ambijentalnim uslovima u odnosu na standardne, zaprljanost modula (panela), neuparenost karakteristika modula u okviru panela i stepen efikasnosti invertora [14]. Usvaja se da su gubici usled zaprljanja 4% ($\eta_Z=0,96$), a gubici usled neuparenosti modula 3% ($\eta_N=0,97$), dok je, od strane proizvođača invertora, naveden stepen efikasnosti $\eta_{inv} = 0,986$ [14]. Efikasnost solarnog panela usled povećanja temperature okoline izračunava se prema relaciji datoj u [14]:

$$\eta_T = [1 - TC_P \cdot (T_{cell} - 25^\circ\text{C})] \quad (7)$$

gdje su:

TC_P – temperaturni koeficijent smanjenja snage solarnog panela usled povećanja temperature modula iznad NOCT ($TC_P = -0.40\%/^\circ\text{C}$ [11]),

$T_{cell} [^\circ\text{C}]$ – srednja dnevna temperatura modula koja se izračunava upotrebom relacije date u [14]:

$$T_{cell} = T_{amb} + \left(\frac{NOCT - 20}{0,8} \right) \cdot I \quad (8)$$

gdje su:

$T_{amb} [^\circ\text{C}]$ – temperatura okoline panela ($T_{amb} = 20^\circ\text{C}$),

$I [\text{Wh}/\text{m}^2]$ – insolacija na panelu ($I=1$).

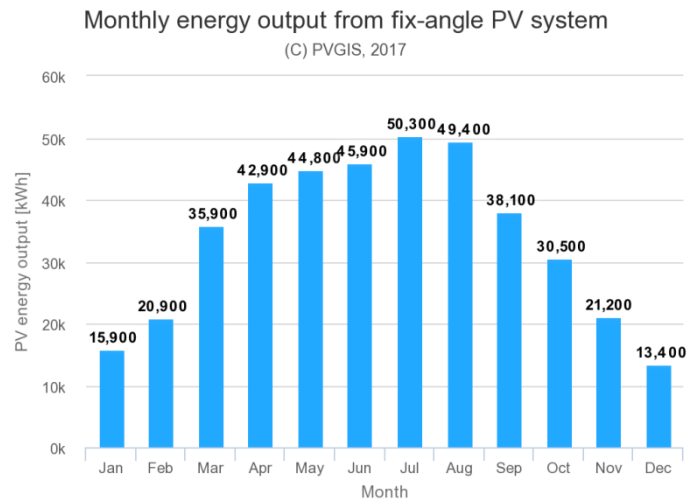
Iz (8) $T_{cell} = 51,25^\circ\text{C}$. Zatim je, iz (7) $\eta_T = 0,895$.

Realna snaga jednog solarnog panela na pragu invertora dobija se upotrebom relacije date u [14]:

$$P_{AC} = P_{DC,STC} \cdot \eta_Z \cdot \eta_N \cdot \eta_T \cdot \eta_{inv} \quad (9)$$

Zamjenom brojnih vrijednosti, dobija se: $P_{AC} = 279,4 \text{ W}$, što znači da su gubici u odnosu na instalisanu snagu panela: $P_{DC,STC} = 340 \text{ W}$ ukupno: 17,8%.

Iz *PVGIS SAF Climate online* baze podataka dobija se procjena vrijednosti proizvodnje električne energije na nivou invertora za godinu dana: $E_{AC} = 409 \text{ kWh}$. Procijenjena proizvodnja solarnog panela po mjesecima u godini dana je na slici 6.



Slika 6. Procijenjena proizvodnja električne energije jednog solarnog panela po mjesecima u toku godine

Izbjegavanje sijenke sa jednog na drugi red solarnih panela postiže se postavljanjem redova panela na horizontalnom rastojanju od 4,5 m. Širina solarnog panela je: 0,992 m (zbog nesavršenosti izrade i pripajanja panela biće uzeto 1 m), a visina je: 1,956 m. Horizontalna površina koja je opredijeljena za smještanje jednog solarnog panela, uzimajući u obzir potrebno rastojanje između redova panela, je: 4,5 m². Odbijajući od dostupne površine za solarnu elektranu (473.108 m²) površinu potrebnu za smještanje invertorskih postrojenja, koncentratorskih polja i prilazne puteve od 23.108 m², za smještanje panela ostaje površina od: 450.000 m² na kojoj se postavlja 100.000 panela.

Instalisana DC snaga solarne elektrane je:

$$P_{DCE} = P_{DC,STC} \cdot n = 340 \text{ W} \cdot 100.000 = 34 \text{ MW}.$$

Instalisana AC snaga na nivou invertora je:

$$P_{ACE} = P_{AC} \cdot n = 279,4 \text{ W} \cdot 100.000 = 27,94 \text{ MW}.$$

Procijenjena proizvodnja solarne elektrane za godinu dana je:

$$E_{ACE} = E_{AC} \cdot n = 409 \text{ kWh} \cdot 100.000 = 40,9 \text{ GWh}.$$

V TEHNIČKO REŠENJE ELEKTRANE NA DEPONIJSKI GAS

Proizvodnja električne energije u ovom tipu elektrane se vrši preko gasnog motora koji pogoni električni generator. Uobičajeni sastav deponijskog gasa koji se dobija truljenjem otpada je: 50-55% metan, 40-45% ugljen dioksid, i u mnogo manjem procentu nemetanska jedinjenja [15]. Primarna funkcija ove elektrane je da obezbijedi napajanje prioritetnih rekova u slučaju ispada svih OIE, EES-a i potpuno ispražnjenih baterijskih kapaciteta. Na osnovu definisanih uslova izgradnje kogeneracijskog postrojenja za generisanje električne i toplotne energije iz otpada na lokaciji „Vinča“ navedenih u [16], očekivana godišnja proizvodna električne energije je 192 GWh. Pretpostavljajući da je na raspolaganju uvijek dovoljna količina otpada tj. deponijskog gasa, odnosno da je proizvodnja električne energije

konstantna, izuzimajući vrijeme remonta, prekida rada zbog mogućih kvarova, opravki i drugih intervencija, elektrana će raditi sa snagom: $P=192 \text{ GWh}/8766 \text{ h} = 21,9 \text{ MW}$. Ova snaga je dovoljna za redundantno napajanje 1.368 rekova koji se mogu smatrati prioritarnim. U normalnom režimu rada OIE i EES-a, ova elektrana će proizvesti električnu energiju plasirati direktno u mrežu.

VI ELEKTRIČNO I KOMUNIKACIONO POVEZIVANJE

A. Povezivanje Data Centra na EES

Postrojenje DC-a, na slici 1 označeno sa: „Razvodno postrojenje 1“, povezuje se sa EES-om preko RP-a „Beograd 20“ sa 2 nadzemna 110 kV voda. Kako je za rad DC-a potrebna snaga od 80 MW, to se RP 1 napaja sa tri 31,5 MVA transformatora 110 kV/10 kV ukupne snage 94,5 MVA, dok je jedan 31,5 MVA transformator u rezervi.

B. Povezivanje vjetroelektrane na EES

Postrojenje vjetroelektrane, na slici 1 označeno sa: „Razvodno postrojenje 2“, povezuje se na EES preko dva nadzemna 400 kV voda „Pančevo 2“ - „Beograd 20“. Kako je instalirana snaga vjetroelektrane 240 MW to se električna energija isporučuje EES-u preko dva 120 MVA transformatora 33 kV/400 kV.

C. Povezivanje solarne elektrane na EES

Postrojenje solarne elektrane i elektrane na deponijski gas, na slici 1 označeno sa: „Razvodno postrojenje 3“, povezuje se na EES preko RP-a „Beograd 20“ sa dva nadzemna 110 kV voda. Kako je instalirana snaga solarne elektrane 27,94 MW to se električna energija koju generiše isporučuje EES-u preko dva 20 MVA transformatora 35 kV/110 kV ukupne snage 40 MVA.

D. Povezivanje elektrane na deponijski gas na EES

Kako je instalirana snaga elektrane na deponijski gas 21,9 MW, to se električna energija koju ova elektrana generiše isporučuje EES-u preko dva 31,5 MVA transformatora 35 kV/110 kV, ukupne snage 63 MVA.

E. Komunikaciono povezivanje

Postavljanje optičkih kablova vrši se uz elektroenergetske vodove (Optical Ground Wire - OPGW) ili kablove (podzemni optički kabal), a u slučajevima gdje se optičko povezivanje implementira nezavisno od elektroenergetskog postavljanja se samo podzemni optički kablovi. Objekat DC-a treba biti povezan preko 2 x 144 singlmodna optička vlakna i RP-a „Beograd 20“ u 400 kV prsten: „Beograd 20“, „Pančevo“, „Kostolac“, „Požarevac“, „Beograd 20“. Preko ovog prstena ostvaruje se optička povezanost i sa većim gradovima u Srbiji i sa susjednim zemljama. Unutar objekta DC-a, terminacija optičkih vlakana vrši se u zasebnim rekovima.

Primarno, DC treba biti povezan u optičke prstenove provajdera telekomunikacionih usluga. Kod svih većih provajdera u Srbiji su izgrađena tri redundantna prstena: Novi Sad – Beograd, Beograd – Kragujevac i Kragujevac – Niš. Mreže provajdera su optički povezane i sa optičkim mrežama provajdera u susjednim zemljama. Kapacitet optičkih konekcija procjenjuje se prema potrebama provajdera. Terminacija optičkih vlakana se vrši u zasebnim rekovima koji trebaju biti redundantno napajani zbog

mogućnosti instaliranja aktivne ICT opreme provajdera.

VII PROCJENA VRIJEDNOSTI INVESTICIJE I EKONOMSKE ISPLATIVOSTI PROJEKTA

Realizacija objekta DC-a podrazumijeva završetak svih faza izgradnje, kao i implementaciju prethodno navednih uređaja i opreme. Na osnovu cijene izgradnje pomenutog DC-a u Kragujevcu [1] nivoa 4 sa 1.080 rekova i instalisanom snagom: 14 MW od 30 miliona €, skaliranjem se dobija da je cijena izgradnje DC-a kod Beograda nivoa 4 (u nekim segmentima i nivoa 5) sa 5.000 rekova, instalisane snage: 80 MW, oko 170 miliona €.

Cijene izgradnje OIE, na osnovu [17] su sledeće:

- Vjetroelektrana: 1.661 \$/kW, što je oko 400 miliona \$ tj. 342 miliona € za 240 MW instalisane snage;
- Solarna elektrana: 2.291 \$/kW, što je oko 78 miliona \$ tj. 67 miliona € za 34 MW instalisane snage.

Cijena elektrane na deponijski gas instalisane snage 21,9 MW, na osnovu [18] i poslije skaliranja je oko 16,5 miliona €.

Na osnovu uporedne analize i skaliranja podataka iz [19], ukupni procijenjeni troškovi izgradnje svih RP-a sa definisanim vodovima i kablovima su oko 60 miliona €.

Cijena realizacije telekomunikacionog povezivanja DC-a sa mrežom EES-a i drugim telekomunikacionim centrima je značajno manja (minimalno za red veličine) od navednih procijenjenih troškova izgradnje elektroenergetskih postrojenja tako da će biti zanemarena.

Dakle, ukupni procijenjeni troškovi realizacije DC-a u širem smislu (sa OIE i RP-a) su: 655,5 miliona €. Cijena izrade idejnog i glavnog projekta sa razradom rešenja za sve sisteme DC-a je 10% investicije izgradnje tj. 65,55 miliona € tako da je ukupan trošak od ideje do realizacije: 721,05 miliona €. Izvršeni proračun je vrlo uopšten i realna cijena investicije može značajno varirati u zavisnosti od mnogih faktora.

Pod pretpostavkom da će cijena električne energije u narednom periodu biti stabilizovana na 60 €/MWh [20], solarna elektrana bi od prodaje generisane električne energije godišnje prihodovala približno: 2,5 miliona €, a elektrana na deponijski gas: 11,5 miliona €. Ukupan prihod na nivou godine iz ovih izvora je: 14 miliona €.

Servisi koje može pružiti DC su veoma različiti. Radi mjerljivosti profita, svi servisi su svedeni na iznajmljivanje jednog reka po cijeni od minimalno 500 € mjesečno što je, za 5.000 rekova, 30 miliona € godišnje, ako su svi rekovi upotrijebljeni. Imajući u vidu da će u prvih nekoliko godina rada DC-a broj rekova koji su iznajmljeni, a što predstavlja realizovane servise za klijente, biti značajno manji od maksimalnog broja i da u toku dalje eksploatacije DC-a broj iznajmljenih rekova neće dostići maksimalni broj (5.000), u najgorem slučaju, tokom radnog vijeka DC-a biće prosječno realizovano iznajmljivanje makar 50% kapaciteta što donosi prihod od 15 miliona € godišnje. Operativni troškovi održavanja objekta DC-a i plate zaposlenih na nivou godine procijenjeni su na 3 miliona €.

Vjetroelektrana je projektovana tako da obezbijedi približno

nultu cijenu potrošnje električne energije iz EES-a na nivou godine. Ukupan prihod DC-a na nivou godine je 14 miliona € za prodatu električnu energiju i 15 miliona € za realizovane servise iznajmljene klijentima tj., ukupno: 29 miliona €. Od toga se oduzimaju operativni troškovi od 3 miliona € i dobija: 26 miliona €. Ukupno vrijeme za ROI je: $721/26 \approx 28$ godina.

U prethodnoj analizi je pretpostavljeno da država omogućava zemljište za sve objekte i da su svi administrativni troškovi izuzeti. Takođe je uvedena pretpostavka da svi OIE, odnosno elektrana na deponijski gas neprekidno funkcionišu, što nije realno, ali je vrijeme nefunkcionalnosti ovih objekata svakako veoma kratko u odnosu na period funkcionalnosti. Takođe su uzeti najlošiji slučajevi ostvarivanja profita, što omogućava značajnu marginu u procjeni zarade. Interes za izgradnju ovakvih DC-a sa OIE ima, prije svega, država, a potom i velike kompanije u oblastima servisa i komunikacija. U svijetu je već izgrađen značajan broj sličnih objekata različitog broja rekov a i različitih nivoa. U [21] je data mapa sertifikovanih DC-a nivoa 3 i 4 u svijetu.

VIII ZAKLJUČAK

Odabrana lokacija za izgradnju DC-a je optimalna sa više aspekata. Prije svega, nalazi se blizu glavnog grada koji je najveće elektroenergetsko i komunikaciono čvorište Srbije. U isto vrijeme, područje je ruralno, što omogućava nesmetanu izgradnju objekta DC-a i svih ostalih planiranih objekata. Šire područje oko lokacije je pogodno za izgradnju sopstvenih OIE zbog resursa vjetra i sunca, odnosno izgradnje elektrane na deponijski gas zbog blizine glavne gradske deponije. Blizu lokacije DC-a i predviđenih za izgradnju OIE i elektrane na deponijski gas, odnosno pripadajućih RP-a, nalaze se postojeća RP-a koja funkcionišu na 110 kV i 400 kV naponskim nivoima.

Vjetroelektrana omogućava snabdijevanje EES-a električnom energijom tako da je preuzeta električna energija iz EES-a od strane objekta DC-a, na nivou godine, jednaka predatoj od strane vjetroelektrane. Solarna elektrana omogućava plasiranje električne energije u EES u periodima kada vjetroelektrana proizvodi manju količinu električne energije (ljetnji mjeseci). Elektrana na deponijski gas u normalnom režimu rada proizvodi električnu energiju koja se predaje EES-u, a u slučaju potpune nefunkcionalnosti vjetroelektrane, solarne elektrane, EES-a i ispražnjenog kapaciteta baterija, ostrvski napaja prioritarnih 1.368 rack-ova.

Predstavljeni DC se optički povezuje sa provajderima telekomunikacionih usluga, odnosno prenosnom mrežom Elektroprivrede Srbije (EPS). Infrastruktura DC-a omogućava veliki stepen pouzdanosti i sigurnosti napajanja opreme u rekovima, održavanje optimalne temperature i vlažnosti unutar objekta, kao i komunikaciono povezivanje na bazi potpune redundanse sa kraja na kraj. Troškovi investicije za sve objekte tj. za DC u širem smislu pretpostavljaju učešće države i velikih telekomunikacionih, odnosno provajderskih kompanija. U najgorem slučaju, prema uopštenom proračunu, ROI period ne bi trebalo da bude duži od približno 28 godina.

LITERATURA

- [1] DATA Centar, <https://www.ite.gov.rs/vest/sr/5448/otvoren-drzavni-data-centar-u-kragujevcu.php> [pristupljeno 15.03.2021]
- [2] Alevar, V. Guidelines for Specifying Data Center Criticality/Tier Levels, Revision 2, ABB White Paper 122, 2007. https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=SPD_VAVR-6PHPBU_EN [pristupljeno 15.03.2021]
- [3] <https://www.switch.com/tier-5/> [pristupljeno 15.03.2020]
- [4] Sawyer, R.L. Calculating Total Power Requirements for Data Centers, Revision 1, Schneider electric white paper 3, 2011. https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=SPD_VAVR-5TDTEF_EN [pristupljeno 15.03.2021]
- [5] Brown, K., Torell, W., Avelar, V. Choosing the Optimal Data Center Power Density, Revision 0, Schneider electric White Paper 156, 2014. https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=SPD_VAVR-8B3VJQ_EN [pristupljeno 15.03.2020]
- [6] Rasmussen, N. Calculating Total Cooling Requirements for Data Centers, Revision 3, Schneider electric White Paper 25, 2011. <https://www.apcdistributors.com/white-papers/Cooling/WP-25%20Calculating%20Total%20Cooling%20Requirements%20for%20Data%20Centers.pdf> [pristupljeno 15.03.2020]
- [7] Niemann, J., Brown, K., Avelar, V. Impact of Hot and Cold Aisle Containment on Data Center Temperature and Efficiency, Revision 5, Schneider electric White Paper 135, 2017. http://www.facilitiesnet.com/whitepapers/pdfs/APC_011112.pdf [pristupljeno 15.03.2020]
- [8] Đurišić, Ž.R. Vjetroelektrane, Akademski misao, Beograd, 2019.
- [9] General Electric, GE 6.0 – 164 Cypress wind turbine platform, General Electric Renewable Energy, 2020.
- [10] Climate online baze podataka, http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP [pristupljeno 15.03.2021]
- [11] Jinkosolar, Eagle 72P 320-240 Watt Poly Crystalline Module specifications, Document: EN-JKM-340PP-72_rev2017, Jinkosolar, 2017.
- [12] Schneider Electric, 1000V Array box AB24-300, Document: DC20161115_1000VArrayBox, Schneider Electric, 2016.
- [13] Schneider Electric, PV Box ST 2720, Document: DS20160202_PVBoxST+2720, Schneider Electric, 2016.
- [14] Mikulović, J., Đurišić, Ž. Solarna energetika, Akademski misao, Beograd, 2019.
- [15] Lalović, Č. Mogućnosti iskorišćenja deponijskog gasa za proizvodnju električne energije sa deponija u opštinama centralne Srbije, in Proc. 7 Međunarodna konferencija o obnovljivim izvorima električne energije, MKOIEE, Beograd, Vol. 7, Br. 1, pp. 193-203, 2019.
- [16] Procena uticaja na životnu sredinu i socijalna pitanja: Postrojenje Vinča za proizvodnju energije iz otpada, izgradnja nove deponije i remedijacija postojeće deponije. Netechnički rezime, verzija 6, Beo čista energija D.O.O, Beograd 2018.
- [17] Power Plant Construction: How Much Does it Cost? <https://proest.com/construction/cost-estimates/power-plants/> [pristupljeno 15.03.2021]
- [18] Istanbul Completes First Phase of World's Biggest Landfill Gas Power Plant, <https://balkangreenenergynews.com/istanbul-completes-first-phase-of-worlds-biggest-landfill-gas-power-plant/> [pristupljeno 15.03.2020]
- [19] M.B, Elektromreža Srbije, "EMS – list Elektromreže Srbije", godina 10, broj 77, januar 2016.
- [20] Cena struje na berzama za dan povećana 80 odsto, sa 180 skočila na 320 evra za MWh, <https://balkangreenenergynews.com/rs/cena-struje-na-berzama-za-dan-povecana-80-odsto-sa-180-skocila-na-320-evra-za-mwh/> [pristupljeno 15.03.2020]
- [21] Uptime Institute Issued Awards, <https://uptimeinstitute.com/uptime-institute-awards> [pristupljeno 15.03.2021]

AUTORI

Ivan Vujović, MScEE, Ericsson AB Štokholm, dio stranog društva Podgorica, ivanvu@t-com.me
dr Željko Đurišić - vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, djurisic@etf.rs

Integrirani sistem za monitoring i upravljanje Data Centra napajanog iz obnovljivih izvora energije

Integrated System for Monitoring and Management of the Data Centre Powered by Renewable Energy Sources

Ivan Vujović*, Darko Šošić**, Željko Đurišić**

* Ericsson AB Štokholm, dio stranog društva Podgorica

** Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet

Rezime - Izgradnjom sve većih Data Centara (DC-a) povećava se i kompleksnost sistema koji ih sačinjavaju, što dovodi do zahtjeva da se nadgledanje rada i upravljanje funkcionalnostima pojedinačnih sistema vrši upotrebom jednog, zajedničkog sistema za monitoring i upravljanje. U radu je dat pregled i opisane uloge sistema koji se implementiraju u DC-ima nivoa 5. Poseban naglasak je na sopstvenim obnovljivim izvorima energije (OIE) i postrojenjima koja ih povezuju sa Elektroenergetskim sistemom (EES-om), odnosno objektom DC-a. Za kvalitetno praćenje vrijednosti parametara pojedinačnih elemenata sistema i sistema uopšte, kao i cijelog DC-a, potrebno je dizajnirati jedinstvenu centralizovanu bazu podataka koja će se popunjavati podacima o mjerenjima definisanih parametara. Da bi takva baza vršila svoju funkciju neophodna je implementacija hardvera sa serverskim elementima i sistemima za skladištenje podataka kao osnove na kojoj se instalira virtuelna platforma. Podaci se, iz svih bitnih elemenata sistema, šalju do centralizovane baze podataka upotrebom računarske mreže. Sami elementi sistema treba da sadrže mrežne kartice, odnosno kontrolere čija je uloga prosljeđivanje rezultata mjerenja vrijednosti definisanih veličina u Internet Protokol (IP) paketskom formatu do centralne lokacije. Podaci se, u pogodnom obliku, prikazuju na sistemu za monitoring rada sistema. Isti podaci se šalju i sistemu za upravljanje koji, na osnovu vrijednosti pojedinih parametara, vrši upravljanje elementima sistema. Rad sadrži predlog proširenja funkcionalnosti postojećih sistema za monitoring i upravljanje na elemente OIE, kao i elemente elektroenergetskih razvodnih postrojenja (RP-a). U radu su dati primjeri upotrebe jednog nekomercijalnog sistema za monitoring i upravljanje.

Ključne reči - Data Centar, baza podataka, monitoring, upravljanje, obnovljivi izvori energije

Abstract - By constructing bigger and bigger Data Centres (DCs), systems that make them become more complex. That leads to the requirement for the one common monitoring and management system that will monitor and manage functionalities for every individual element of the systems. In this paper, an overview of the systems that are implemented in tier 5 DC-s is given. Also, the roles of the systems are described. Special emphasis is on their own renewable energy sources (RES) and

distribution switchgears that connect sources with Power System (PS) and DC. For quality monitoring of individual system elements parameter values and system in general, as well as the whole DC, it's necessary to design a unique database that contains information about defined parameter measurements. To make such database works, it is necessary to implement hardware that contains servers and data storage systems as the foundation on which a virtual platform is built. From all important elements of the systems, information is sent to centralized data base using a computer network. The system elements should contain network cards or controllers which role is to send measured values of the defined parameters to the main building in the format of Internet Protocol (IP) packets. In a suitable format, the data is displayed on the monitoring system. The same data are sent to the management system that manages the elements based on measured parameter values. This paper contains a proposition for the extension of existing monitoring and management system functionalities to the RES and distribution switchgear elements (DSE). Examples of practical usage of one non-commercial monitoring and management system are also given in the paper.

Index Terms - Data Center, data base, monitoring, management, renewable energy sources

1 UVOD

U velikim DC-ima, osim smještanja i povezivanja: Information and Communications Technology (ICT) opreme, što je primarna uloga ovakvih objekta, između ostalih, vrši se i implementacija naprednih sistema za napajanje i klimatizaciju koji omogućavaju neprekidan i stabilan rad ICT uređaja. Kao primarni izvor napajanja ovakvih DC-a predloženo je korišćenje sopstvenih OIE. Redundantni izvor napajanja je EES, odnosno gasna elektrana ili sistem dizel električnih agregata (DEA-a), a krajnji izvor napajanja ICT uređaja, ograničenog trajanja, je baterijski sistem. Međusobno povezivanje DC-a, OIE i EES-a vrši se preko RP-a.

Nadgledanje rada i mogućnost upravljanja sistemima realizovanim u okviru DC-a omogućava stalno praćenje stanja sistema, vitalnih parametara elemenata sistema, parametara na ulazima i izlazima sistema i pravovremeno automatsko, poluautomatsko ili manuelno reagovanje na nagovještaj ili

pojavu nepravilnih radnih stanja pojedinačnih elemenata ili sistema u cjelini. Ako se DC posmatra u širem smislu, kada ga čine ne samo objekat u kom je smještena oprema već i izvori napajanja, odnosno RP-a, onda se monitoring može proširiti i na te sisteme, odnosno sastavne elemente tih sistema. Međutim, svaki od pomenutih sistema, bilo unutar objekta DC-a, bilo van njega, obično biva zasebno realizovan pa se tako i nadgleda njegov rad, odnosno vrši upravljanje nad njim. Realizacija različitih načina monitoringa i upravljanja nad različitim sistemima unosi veliku kompleksnost, ako se svi sistemi posmatraju odjednom. Nameće se potreba za sveobuhvatnim rešenjem koje će uključivati najbitnije elemente i parametre svih sistema u DC-u kako bi se u realnom vremenu mogao nadgledati rad i vršiti upravljanje, pri čemu se pojedinačni monitoring i upravljanje nad sistemima ne isključuju. Integrirani monitoring svih sistema se može realizovati direktnim povezivanjem pojedinačnih elemenata sistema na računarsku mrežu ili preuzimanjem podataka o vrijednostima parametara elemenata sistema preko realizovanog rešenja nadzora svakog pojedinačnog sistema. Upravljanje elementima sistema se može ostvariti softverskom integracijom pojedinačnih sistema za upravljanje ili realizacijom centralizovanog rešenja. Upravljanje elektranama i RP-ma visokog i srednjeg napona vrši se upotrebom: Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) sistema EES-a.

Centralizovano i integrisano rešenje monitoringa i upravljanja zahtijeva hardverske i softverske resurse koji omogućavaju prikupljanje, skladištenje i obradu podataka.

II FUNKCIONALNI SISTEMI DATA CENTRA

Korišćenje sopstvenih OIE za napajanje objekta DC-a je opravdano samo ako se radi o velikim objektima tj. objektima u kojima će biti smješten veliki broj rekov i opreme u njima. Tada, u užem smislu, DC predstavlja sami objekat, dok su u širem smislu, osim objekta, u DC uključeni OIE i pripadajuća RP-a tj. sve ono što je na bilo koji način direktno vezano za napajanje DC-a.

Ne uzimajući u obzir građevinski dio, objekat DC-a čine sledeći sistemi [1]:

- informaciono komunikacioni sistem;
- energetsko napajanje;
- klimatizacija;
- sigurnosni sistemi;
- monitoring i upravljanje.

Pasivni dio ICT sistema čine rekovi, kablovski razvodi, paneli, optički i bakarni kablovi, dok se aktivni dio odnosi na računarsku mrežnu, serversku i drugu opremu koja se smješta u rekovima. Sistem napajanja objekta DC-a uključuje: Uninterruptible Power Supply (UPS) i ispravljačke uređaje sa baterijskim podsistemima, kablovski razvod i sisteme automatike. Klimatizacija sa ventilacijom (Heating Ventilation and Air Conditioning - HVAC) obuhvata unutrašnje rashladne jedinice, havarijsku ventilaciju, sistem za ovlaživanje, sistem besplatnog hlađenja (free cooling), hladnjake (chiller-e) i spoljašnje jedinice sa ventilatorima. U sigurnosne sisteme se ubrajaju: sistem za dojavu i gašenje požara, sistem kontrole pristupa, protiv provalni sistem, sistem video nadzora i sistem perimetarske zaštite. Monitoring i upravljanje svim navedenim sistemima obuhvata kako

pojedinačne sisteme prilagođene svakom od nabrojanih sistema ponaosob tako i integrisani sistem.

Osim sistema u objektu i neposredno oko njega, DC čine i:

- sopstveni OIE;
- gasna elektrana;
- DEA-ski sistemi;
- RP-a visokog i srednjeg napona;
- RP-a niskog napona.

Pod OIE se podrazumijevaju vjetro i solarne elektrane. Zavisno od lokacije objekta DC-a, uslova u njegovoj okolini i dostupne površine, izgrađuju se pojedinačno jedna ili druga, odnosno obje navedene elektrane. Radi osiguranja stabilnosti napajanja DC-a u slučaju ispada svih drugih izvora električne energije kao i EES-a, ako je moguće, izgrađuje se gasna elektrana. Kod manjih i DC-a srednje veličine, ulogu gasne elektrane vrše DEA-ski sistemi. Povezivanje objekta DC-a i izvora električne energije sa EES-om vrši se preko RP-a srednjeg i visokog napona, dok se napajanje opreme unutar DC-a obezbjeđuje preko RP-a niskog napona.

III KOMUNIKACIONA I SERVISNA INFRASTRUKTURA

Osnovni preduslov realizacije integrisanog sistema za monitoring i upravljanje DC-a je implementacija hardverske i softverske infrastrukture virtuelne platforme sa centralizovanom bazom podataka i računarske mreže koja će, sa tom infrastrukturom, povezati sve sisteme, odnosno elemente sistema čiji se monitoring i upravljanje zahtijeva. Na slici 1 je data principijelna šema hardverske realizacije integrisanog sistema za monitoring i upravljanje.

Podaci o mjerenjima parametara bitnih za funkcionisanje pojedinačnih elemenata i sistema iz uređaja čiji se nadzor i upravljanje nad njima vrši (uređaji tipa 1 i 2) šalju se, poželjno preko optičke konekcije, do najbližeg uređaja računarske mreže. Uređaji tipa 1 se smještaju unutar objekta DC-a, pa je povezivanje na računarsku mrežu relativno jednostavno, dok se uređaji tipa 2 implementiraju van objekta DC-a što iziskuje dodatne telekomunikacione uređaje, prije svega zbog zaštite podataka.

Podaci se, dalje, preko jezgra (core) mreže prenose do centralne baze podataka gdje se obrađuju i, sa jedne strane smještaju na diskove storidž sistema, a sa druge strane šalju monitorima i računarima koji prikazuju stanje parametara elemenata i sistema DC-a.

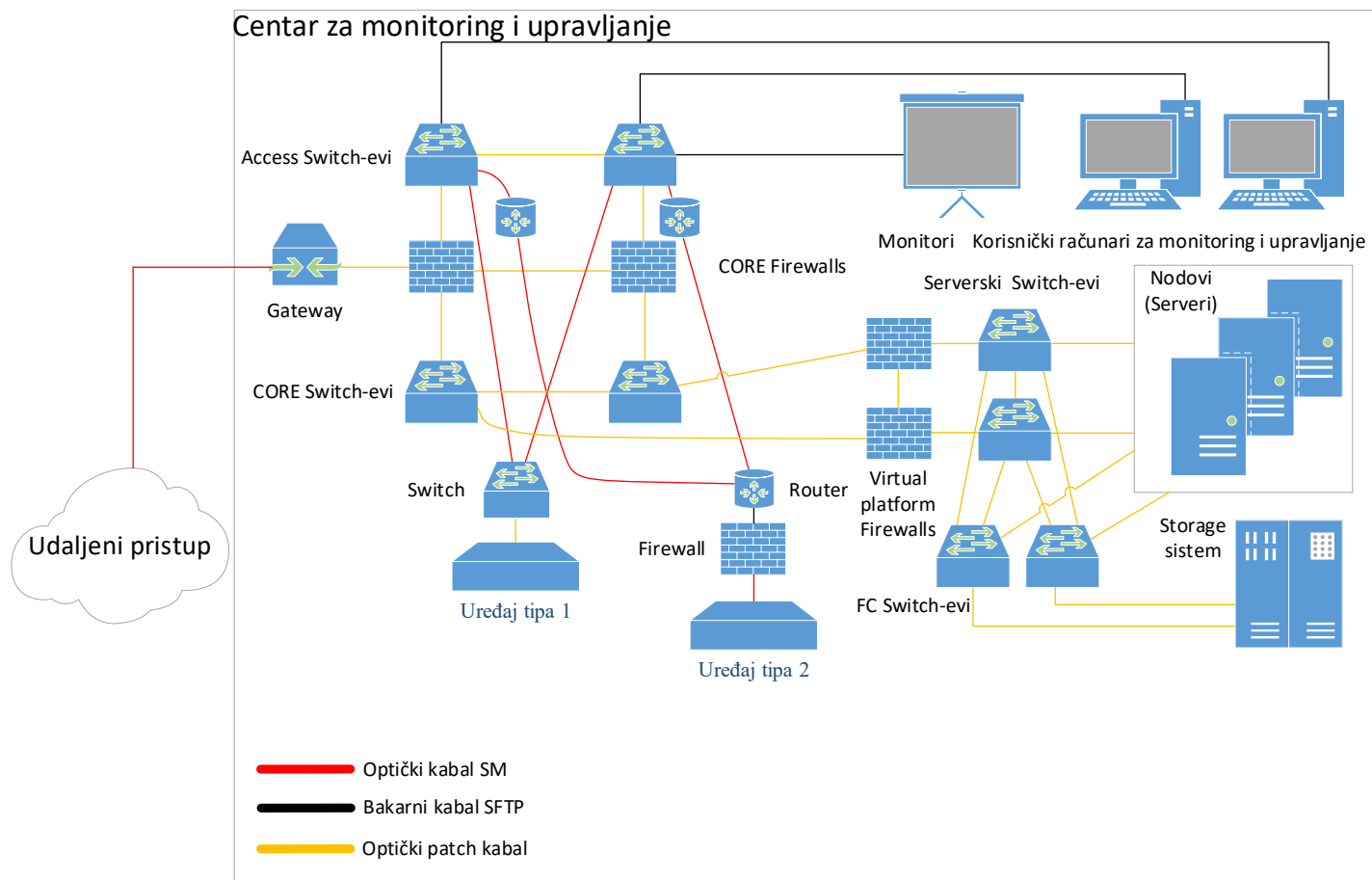
Upravljanje se vrši:

- lokalno – manuelno ili konektovanjem preko servisnog interfejsa uređaja;
- centralizovano – sa korisničkih računara unutar centra za monitoring i upravljanje ili udaljenim pristupom, preko računara ovlašćenih službenika;
- automatski – izvršavanjem komandi od strane kontrolera pojedinačnog uređaja ili sistema unutar kog uređaj funkcioniše na osnovu ulaznih podataka i predefinisanih naredbi ili izvršavanjem naredbi zadatih od strane integrisanog sistema za upravljanje;
- iz SCADA sistema EES-a.

Proces monitoringa podrazumijeva da svaki zaseban uređaj ili

uređaj na koji se konektuje više drugih uređaja, čiji se rad nadgleda, ima mrežnu karticu (Network Interface Card – NIC). Osnovna provjera je dostupnost IP adrese [2], odnosno NIC kartice uređaja, a ostvaruje se upotrebom: Packet InterNet Groper (PING) servisa preko: Internet Control Message Protocol (ICMP) [3] korišćenjem eho i povratnih eho poruka. Podaci o

mjerenjima parametara i stanju uređaja dobijaju se upotrebom: Simple Network Management Protocol (SNMP) [4] preko SNMP i SNMP “trap” poruka čiji se sadržaj tumači primjenom prethodno implementirane: Management Information Base (MIB) [5] u okviru baze podataka za svaki uređaj tj. element čiji se monitoring zahtijeva.



Slika 1. Principijelna šema integrisanog sistema za monitoring i upravljanje Data Centrom

U primjeni su rešenja tzv. “otvorenog koda” (“open source”) i komercijalna rešenja za integrisani monitoring različitih sistema i uređaja koji, u najvećem broju, objedinjavaju ICT, sigurnosne, energetske, termotehničke i sve druge sisteme. Međutim, zbog velike različitosti vrste podataka, njihove sadržine, značenja i prikazivanja, praktično je opravdano razdvojiti sisteme monitoringa na ICT, sigurnosne i ostale. Ovaj rad se odnosi na ICT i ostale sisteme, odnosno, prije svega, na elektroenergetske i termotehničke sisteme.

Proces upravljanja je kompleksniji nego proces monitoringa. Još uvijek nije dostupno funkcionalno rešenje koje omogućava upravljanje svim uređajima tj. elementima u okviru DC-a upotrebom jedinstvenog sistema. Jedan od načina realizacije ovakvog upravljanja podrazumijeva integraciju SCADA sistema prilagođenih različitim sistemima i uređajima u jedinstveni sistem za upravljanje, uz korišćenje podataka dobijenih iz sistema za monitoring. Drugi način je osmišljavanje potpuno novog rešenja koje će biti integrisano sa postojećim rešenjem otvorenog koda ili komercijalnim sistemom za monitoring, a u

isto vrijeme imati interfejs prema svim uređajima i sistemima čiji je rad potrebno kontrolisati. Moguće je realizovati integraciju sistema za upravljanje obnovljivim i drugim izvorima napajanja, odnosno postrojenjima visokog i srednjeg nivoa napona u centralizovani sistem upravljanja DC-a. Međutim, kako se ovi izvori, odnosno RP-a direktno povezuju na EES, a snage generatora i transformatora u njima i tek kako mogu uticati na stabilnost sistema, to se upravljanje vrši isključivo preko SCADA sistema elektroenergetske mreže.

IV ELEMENTI SISTEMA NAD KOJIMA SE VRŠI MONITORING I UPRAVLJANJE

Svaki od sistema navedenih u poglavlju II sastavljen je od elemenata čija funkcionalnost direktno utiče na vrijednosti parametara tih sistema.

A. Elementi sistema objekta Data Centra

Elementi ICT sistema su svi uređaji koji se smještaju u rekovima, a zbog kojih se i izgrađuje DC. Nadgledanje rada ovih uređaja u

integriranom sistemu za monitoring odnosi se, prije svega, na brzine prenosa podataka po pojedinim linkovima mrežnih uređaja, opterećenje procesora, procenat iskorišćenja: Random Access Memory (RAM), zauzetost diskova kod serverskih i storidž sistema i funkcionalnost servisa kod virtuelnih platformi. Osim toga, važni parametri su i: snaga koju koristi napajajući blok uređaja, temperature procesora (Central Processing Unit - CPU) i drugih djelova uređaja, kao i funkcionalnost ventilatora.

Vrijednosti napona i struja na ulazima ispravljačkih modula UPS-a [6] i ulazima ispravljačkih postrojenja su osnovni pokazatelji prisutnosti i kvaliteta električne energije koju ovi sistemi dobijaju iz RP-a niskog napona. Kako obje vrste sistema koriste baterijski bekap to je potrebno imati informacije o trenutnom kapacitetu baterija koji se obično izražava u vremenskom periodu tokom kog baterijski sistem omogućava napajanje potrošača pri trenutnoj potrošnji, bez dopune kapaciteta. Ovaj parametar se ažurira u kratkim vremenskim intervalima. Pri dopuni kapaciteta baterija, važan parametar je struja punjenja koja se podešava prema preporukama proizvođača, a obično je takve vrijednosti da potpuno ispražnjene baterije dostignu puni kapacitet poslije 10 sati punjenja. Vremenom kapacitet baterija slabi, a pri istoj struji punjenja kao na početku upotrebe povećava se temperatura što može dovesti do oštećenja pojedinačnih ćelija. Zato je mjerenje temperature baterija takođe važan parametar. Kod invertorskih modula koji su posljednji elementi UPS-a prema potrošačima važni parametri su: ulazni DC napon i izlazni AC napon čije vrijednosti i oblik definišu kvalitet potrošačkog napona. Osim navedenih, primarnih, parametara elemenata UPS i ispravljačkih sistema, bitni su i: temperatura ispravljačkih i invertorskih modula i stanja ulaznih, izlaznih (potrošačkih) i bajpas prekidača.

Od UPS i ispravljačkih sistema do rekova u kojima se smješta ICT oprema, nadgledanje i upravljanje se vrši nad: prekidačima razvodnih tabli UPS i ispravljačkih sistema, kontrolerima snage koja se isporučuje potrošačima i distribuiranim napojnim jedinicama (Power Distribution Unit - PDU) u rekovima kao krajnjih tačaka sistema napajanja opreme. Osnovna funkcija HVAC sistema i sistema besplatnog hlađenja je održavanje vrijednosti najbitnijih parametara: temperature i vlažnosti vazduha unutar objekta DC-a u preciziranim granicama. Za obezbjeđivanje adekvatnih uslova po pitanju vrijednosti ovih parametara direktnu ulogu imaju: Computer Room Air Conditioning/Handling (CRAC/CRAH) tj. unutrašnje rashladne jedinice [7]. Ispravan rad ovih elemenata uslovljen je sledećim parametrima: napon i struja na ulazu kompresora/pumpe, izlazna rashladna snaga uređaja, temperatura vazduha iz "tople zone" koji biva usisan, pritisak i temperatura vazduha koji se uduvava u "hladnu zonu" [8] i brzina ventilatora od koje zavisi brzina uduvavanja rashlađenog vazduha. Osim temperature i vlažnosti vazduha unutar objekta, za sistem besplatnog hlađenja su važni i temperatura i vlažnost vazduha van objekta. Zavisno od načina realizacije ovog sistema [9] posmatraju se i drugi parametri. Svakako je bitna brzina okretanja ventilatora koji ubacuje vazduh iz spoljašnje sredine.

Za praćenje vrijednosti temperature i vlažnosti vazduha u rekovima zaduženi su senzori koji se postavljaju sa strane gdje se uduvava rashlađeni vazduh (prednja strana) i gdje izlazi zagrijani

vazduh (zadnja strana).

Djelovi HVAC i sistema besplatnog hlađenja koji se smještaju neposredno pored objekta su hladnjaci i spoljašnje rashladne jedinice. Parametri koji određuju funkcionalnosti hladnjaka su: pritisak i temperatura u svim djelovima sistema, stanje ventila i snaga kompresora, dok su za spoljašnje rashladne jedinice od važnosti: snaga rashladne pumpe, nivo kondenzovane vode i brzina ventilatora.

Upravljanje uređajima vrši se, zbog osjetljivosti na promjene koje mogu izazvati greške u konfiguraciji, manuelno ili, posredno, poluautomatski.

Sigurnosni sistemi se obično posmatraju odvojeno od svih drugih sistema u DC-u. Moguća je njihova integracija u jedinstveni sistem za monitoring i upravljanje, ali standardi sigurnosti za DC-e koji su sve restriktivniji takvu integraciju ne propisuju [10].

B. Elementi sistema van objekta Data Centra

Od OIE, sa stanovišta snabdijevanja električnom energijom DC-a interesantni su vjetro i solarne elektrane.

Vjetroelektranu čini više vjetrogeneratora raspoređenih u prostoru tako da iz dostupne snage vjetra generišu što više električne energije. Sam vjetrogenerator je mehanički i električno složen element. Osnovni parametri na osnovu kojih se predviđa koliko će električne energije biti isporučeno u mrežu su: brzina vjetra na visini osovine vjetroturbine koja se praktično kontinualno mijenja i gustina vazduha koja se mijenja u zavisnosti od promjene atmosferskog pritiska i temperature. S tim u vezi, za estimaciju proizvodnje električne energije vjetrogeneratora je bitno pratiti vrijednosti brzine, temperature okoline i atmosferskog pritiska na visini osovine vjetroturbine.

Sa stanovišta funkcionisanja vjetrogeneratorskog sistema, posmatraju se mehanički i električni parametri pojedinih elemenata sistema.

Za monitoring mehaničkih elemenata vjetrogeneratorskog sistema koristi se više različitih tehnika, odnosno metoda [11]. Izdvojene su dvije. Upotrebom odgovarajućih senzora: davača položaja, senzora brzine, akcelometara, spektralnih senzora energije za različite frekvencije i primjenom tehnike mjerenja vibracija vrši se nadgledanje rada rotacione opreme vjetrogeneratorskog sistema u koju spadaju: osovine, ležajevi, zupčanici prenosnici snage i lopatice vjetroturbine. Monitoring lopatica, upotrebom fiber-optičke metode, vrši se na način što se optički senzori ugrađuju u strukturu lopatica čime se omogućava praćenje pet parametara i to: mehaničkog naprezanja, temperature, ubrzanja, otkrivanje pukotina, strmina i amplituda udarne struje groma, odnosno specifične energije pražnjenja.

Monitoring električnih elemenata vjetroatagregata tj. njihovih parametara podrazumijeva, prije svega, praćenje vrijednosti izlaznog napona i struje: generatora, AC-DC i DC-AC konvertora i transformatora.

Solarna elektrana je sastavljena od solarnih panela, koncentratorkih polja i invertorskih postrojenja. Paneli su tako raspoređeni i postavljeni pod određenim uglom da insolacija na njima bude što veća. Parametri potrebni za predviđanje proizvodnje električne energije iz solarnog panela su: insolacija na lokaciji panela i temperatura okoline panela. Vrijednosti oba

parametra se kontinualno mijenjaju.

Praćenje položaja solarnih panela i zaprljanosti površine su osnovni mehanički parametri čije vrijednosti se dobijaju od senzora položaja i propustljivosti sunčevog zračenja [12].

Kod solarnih panela i koncentratorskih polja nadgledaju se sledeći električni parametri: izlazna DC struja i napon, odnosno ulazna DC struja, dok je kod invertorskog postrojenja potrebno pratiti vrijednosti izlaznih AC struja i napona.

Upravljanje vjetroelektranama i solarnim elektranama vrši se preko SCADA sistema.

Kako je snaga potrebna za napajanje velikih DC-a reda veličine nekoliko desetina MW, to je pored osnovnih izvora električne energije koje predstavljaju OIE i EES, potrebno obezbijediti i redundantno napajanje u slučaju ispada svih primarnih izvora. U tu svrhu se obično koriste gasne elektrane ili više DEA-a.

Nadgledanje rada i upravljanje gasnom elektranom je previše komplikovano da bi se moglo ostvariti sa jedinstvenim sistemom za monitoring i upravljanje DC-a. S obzirom da su ove elektrane praktično uvijek u funkciji, pod pretpostavkom da je uvijek dostupna dovoljna količina gasa i da se ne vrše popravke ili remont, monitoring i upravljanje se realizuje preko SCADA sistema. Ako je potrebna snaga DC-a do 20 MW, kao redundantno napajanje je opravdano koristiti DEA-e koji se izrađuju do snaga od 5 MVA po jedinici [13]. Najvažniji parametri čije vrijednosti je potrebno pratiti kod ovih uređaja su: broj radnih sati, količina dostupnog goriva u rezervoarima, kapacitet akumulatorskih baterija, napon na izlaznim priključcima i generisana električna energija. Upravljanje DEA-ima vrši se lokalno tako da se mogu integrisati u jedinstveni sistem za monitoring i upravljanje.

Navedena RP-a svih naponskih nivoa sastavljena su od mnoštva elemenata. Centralni elementi su energetske i mjerni transformatori. Monitoring energetskih transformatora visokog i srednjeg napona odnosi se na veliki broj mehaničkih, hemijskih i električnih parametara [14]. Praćenje regulacione sklopke podrazumijeva mjerenje momenta i snage pogonskog motora, kao i mjerenje temperature ulja u kotlu regulacione sklopke. Stanje uključenosti pumpi i ventilatora rashladnog sistema je bitno zbog praćenja zagrijavanja transformatora. U tu svrhu, često, se prati i temperatura ulja na ulazima i izlazima iz hladnjaka. Praćenje temperature namotaja vrši se ugradnjom posebnog termometra u jednoj tački ili duž čitavog namotaja tokom izrade transformatora. Monitoring rastvorenih gasova u sudu za ulje i vlažnosti ulja je metoda pomoću koje se preventivno otkriva mogućnost kvara transformatora. Veća količina vodonika u smješi ili vode u ulju je signal za mogućnost pojave parcijalnih pražnjenja. Parcijalna pražnjenja mogu dovesti do proboja izolacije, a efikasno se detektuju razmještanjem akustičnih senzora na zidovima suda u kojem je smješteno ulje, a posredstvom kojih se detektuje izvor zvuka nastalog prilikom pražnjenja. Time se određuje tačna lokacija nastanka pražnjenja. Mjerenje napona se vrši na izlazu naponskog transformatora, a mjerenje struje na izlazu strujnog transformatora. Za ostale elemente visokonaponskih i srednjenaponskih RP-a, osnovni parametri se odnose na: stanje uključenosti prekidača i rastavljača, temperaturu i strujnu opterećenost vodova i

sabirnica, kapacitet provodnih i potpornih izolatora i broj pražnjenja preko odvodnika prenapona.

Kod transformatora niskog napona (10 kV/0,4 kV) koji ne koriste ulje kao izolaciono i rashladno sredstvo (suvi transformatori), vrši se nadgledanje temperature namotaja i mjerenje napona, odnosno struja na primarnoj strani, preko naponskog, odnosno strujnog transformatora, a na sekundarnoj strani direktno na provodnicima. Na niskonaponskoj strani 10 kV/0,4 kV RP-a prati se stanje uključenosti sklopki i prekidača preko kojih su direktno povezani potrošači, stanje uključenosti prekidača za povezivanje potrošača na DEA-ski sistem napajanja i stanje prekidača spojnog polja mreža-agregat. Upravljanje visokonaponskim i srednjenaponskim RP-a vrši se preko SCADA sistema EES-a, dok se upravljanje niskonaponskim dijelom RP-a 10 kV/0,4 kV može integrisati u centralizovani sistem za monitoring i upravljanje DC-a.

V PRIMJER UPOTREBE INTEGRISANOG SISTEMA ZA MONITORING DATA CENTRA

Proširenjem sistema za monitoring ICT uređaja na uređaje za napajanje i klimatizaciju, odnosno OIE, nekoliko rešenja otvorenog koda i komercijalnih rešenja postaje široko primijenjeni softver za monitoring DC-a. Nadogradnjom ovih rešenja na već opisan način mogu se realizovati i funkcije upravljanja navedenim sistemima. Jedan od integrisanih sistema za monitoring je: "Zabbix" [15]. Prikazivanje vrijednosti parametara je najefikasnije u formi grafika. Na slici 2 dat je primjer upotrebe pomenutog rešenja za UPS.

Na jednom grafiku se prikazuju promjene vrijednosti svih važnih parametara UPS-a i to na dnevnom nivou.

Slika 3 predstavlja polumjesečni grafik promjene ambijentalne temperature, pritiska i vlažnosti.

Na grafiku je prikazan i prag vlažnosti vazduha čijim dostizanjem se generiše alarm.

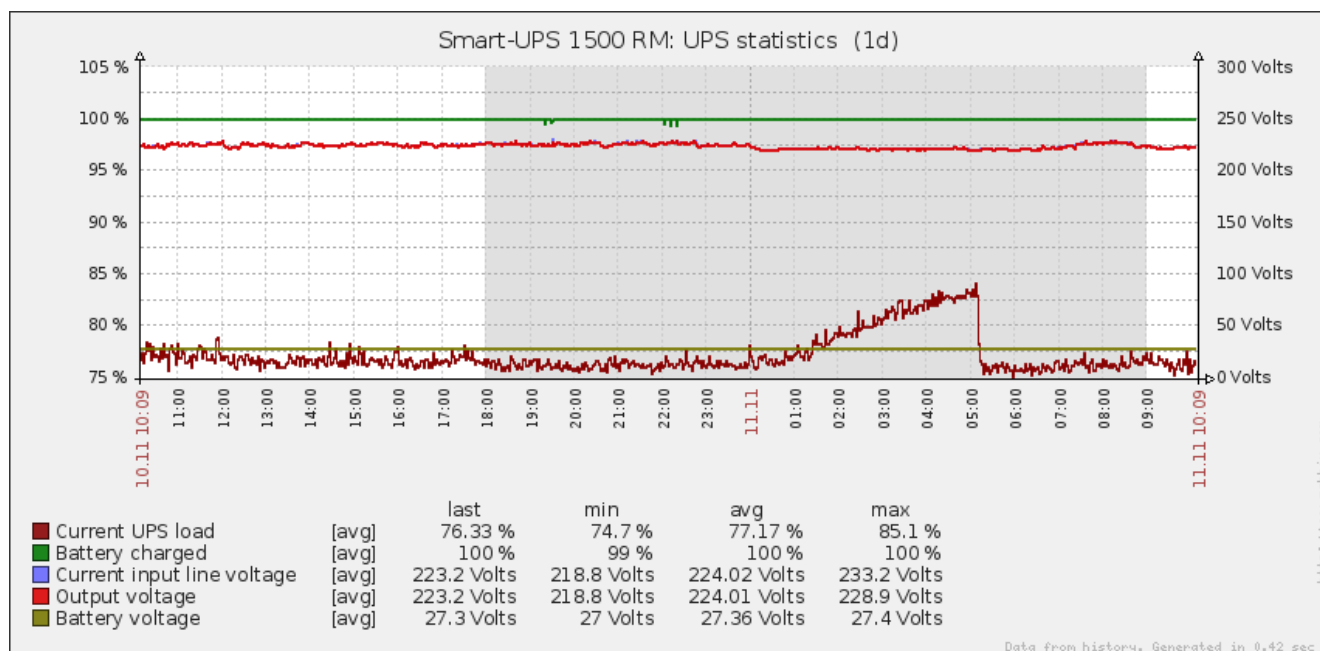
Mrežu ICT uređaja je pogodno predstaviti mapom tako da je vidljiva funkcionalnost svakog elementa. Primjer takve mape je dat na slici 4.

Signalizacija postojanja problema vrši se na svakom uređaju ponaosob. Odabiranjem uređaja ulazi se u meni koji prikazuje stanje parametara samo tog uređaja.

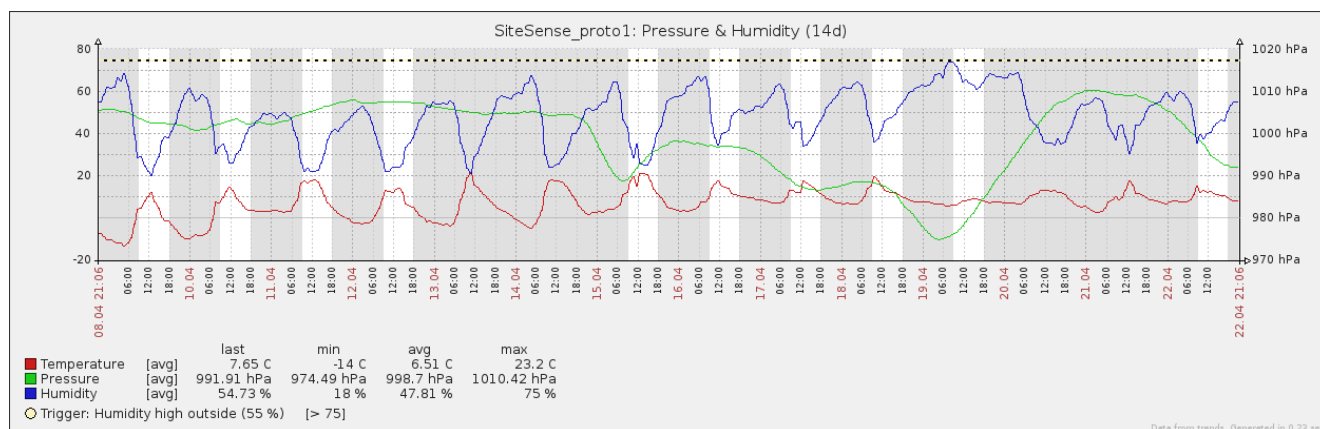
Kako je "Zabbix" u osnovi softver otvorenog koda moguće je izvršiti integraciju sa drugim rešenjima za monitoring i upravljanje. Na slici 5 je prikazano Z-SCADA rešenje za monitoring vjetrogeneratora [16].

Ovaj sistem za monitoring je nastao prilagođenjem Zabbix-a SCADA sistemu razvijenom za vjetrogeneratore. U datom primjeru nadzire se rad vjetroelektrane koju čine 9 vjetrogeneratora, pri čemu se prikazuju i brzina vjetra, temperatura okoline i ukupna generisana električna snaga tokom jednog dana.

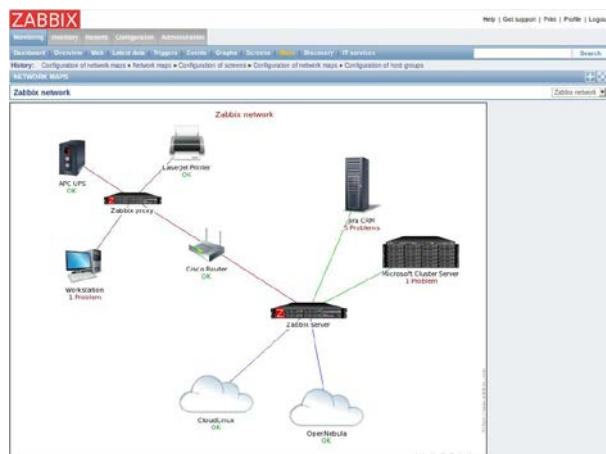
Grafik dnevne proizvodnje električne energije jednog solarnog panela predstavljen je na slici 6. Sa stanovišta preglednosti dešavanja na svim sistemima DC-a, čija se funkcionalnost nadgleda upotrebom sistema za monitoring najjednostavnije je posmatrati listu događaja (slika 7).



Slika 2. Monitoring parametara UPS-a



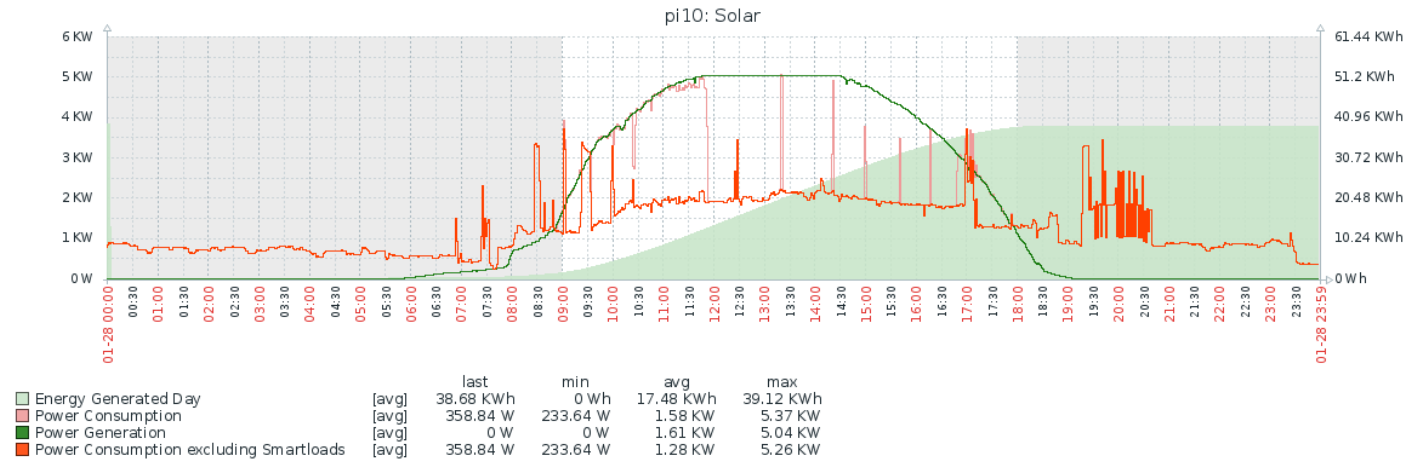
Slika 3. Promjena ambijentalnih uslova



Slika 4. Mapa mreže ICT uređaja



Slika 5. Z-SCADA monitoring sistem za vjetrogeneratore



Slika 6. Dnevna proizvodnja električne energije jednog solarnog panela

Events

GroupallHostallSourceTrigger

Displaying 1 to 32 of 88 found

Filter

1 | 2 | 3 | Next >

Time	Host	Description	Status	Severity	Duration	Ack	Actions
11 Jun 2012 15:43:30	Zabbix server	Zabbix agent on Zabbix server is unreachable for 5 minutes	PROBLEM	Average	12s	No	In progress
11 Jun 2012 15:40:52	New host	Processor load is too high on New host	PROBLEM	Warning	2m 50s	No	Ok
11 Jun 2012 15:18:33	Zabbix server	Zabbix server has just been restarted	OK	Information	25m 9s	No	-
11 Jun 2012 15:16:32	ProCurve J4900B Switch 2626	ifOperStatus.16 on ProCurve J4900B Switch 2626 has changed	OK	Not classified	27m 10s	No	-
11 Jun 2012 15:15:32	ProCurve J4900B Switch 2626	ifOperStatus.16 on ProCurve J4900B Switch 2626 has changed	PROBLEM	Not classified	1m	No	-
11 Jun 2012 15:08:33	Zabbix server	Zabbix server has just been restarted	PROBLEM	Information	10m	No	-
11 Jun 2012 15:02:07	Zabbix server	Zabbix agent on Zabbix server is unreachable for 5 minutes	OK	Average	41m 23s	No	-
11 Jun 2012 14:40:56	ProCurve J4900B Switch 2626	ifOperStatus.10 on ProCurve J4900B Switch 2626 has changed	OK	Not classified	1h 2m 46s	No	-
11 Jun 2012 14:39:26	ProCurve J4900B Switch 2626	ifOperStatus.10 on ProCurve J4900B Switch 2626 has changed	PROBLEM	Not classified	1m 30s	No	Failed

Slika 7. Lista događaja na sistemima DC-a

VI ZAKLJUČAK

Opisani DC-i su opremljeni velikim brojem sistema. Osnovna funkcija svih sistema je da obezbijede neprekidan i stabilan rad implementirane ICT opreme u rekovima. Nadzor vrijednosti parametara elemenata ovih sistema omogućava generisanje podataka u realnom vremenu koji služe sistemima za monitoring i upravljanje u svrhu prikazivanja stanja, odnosno preduzimanja određenih akcija. Sistemi objekta DC-a i izvori električne energije, odnosno RP-a preko kojih se ti izvori i DC povezuju na EES su, obično, nezavisno realizovani pa su i prateći monitoring, odnosno upravljanje tim sistemima, realizovani na bazi SCADA-e, nezavisni za svaki sistem. Zbog pojednostavljena funkcionalnosti i smanjenja kompleksnosti, pogodno je najbitnije parametre elemenata svih sistema, za koje je to moguće, nadgledati i kontrolisati preko integrisanog sistema za monitoring i upravljanje. Već su u upotrebi sistemi otvorenog koda i komercijalna rešenja za integrisani monitoring, dok su rešenja za funkcionalno upravljanje još uvijek u fazi razvoja. Upravljanje OIE i RP-a visokog i srednjeg napona je u

nadležnosti EES-a, prije svega zbog održavanja stabilnosti cijelog sistema. Niskonaponskim postrojenjima i sistemima DC-a može se upravljati integracijom lokalnih SCADA ili drugih rešenja sa centralizovanim sistemom za upravljanje. Razvoj softvera i sve veća upotreba vještačke inteligencije rezultiraju mogućnošću integracije bilo kog sistema u postojeći sistem za monitoring i upravljanje samo na osnovu MIB fajla vezanog za taj sistem ili elemente tog sistema. Osim podataka bitnih za monitoring, taj fajl treba da sadrži i podatke o naredbama i funkcijama koje se mogu obavljati nad elementom, a komunikacija mora postati dvosmjerna tj. od elementa do integrisanog sistema za monitoring i upravljanje, kao i u obratnom smjeru.

LITERATURA

- [1] Geng, H. *Data Center Handbook*, Amica Association, Palo Alto, CA, USA, John Wiley & Sons, New Jersey, 2015.
- [2] Postel, J. *Request for Comments: 791 - Internet Protocol*, Network Working Group, IETF, 1981.

- [3] Postel, J. *Request for Comments: 792 - Internet Control Message Protocol*, Network Working Group, IETF, 1981.
- [4] Case, J., Fedor, M., Schoffstall, M., Davin, J. *Request for Comments: 1157 - A Simple Network Management Protocol (SNMP)*, Network Working Group, IETF, 1990.
- [5] Presuhn, R., McCloghrie, K., Rose, M., Waldbusser, S. *Request for Comments: 3418 - Management Information Base (MIB) for the Simple Network Management Protocol (SNMP)*, Network Working Group, IETF, 2002.
- [6] Beaudet, et al., *Uninterruptible Power Supplies – European Guide*, European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics (CEMEP), 2008.
- [7] Dai, J., Ohadi, M., Das, D., Pecht, M. *Optimum Cooling of Data Centers - Application of risk assessment and mitigation techniques*, Springer, New York, 2014.
- [8] Niemann, J., Brown, K., Avelar, V. *Impact of Hot and Cold Aisle Containment on Data Center Temperature and Efficiency*, Revision 2, Schneider Electric Data Center Science Center, White Paper, 135, pp 1-14, 2011. http://www.facilitiesnet.com/whitepapers/pdfs/APC_011112.pdf [pristupljeno 15.03.2020]
- [9] Zhang, H., Shao S., Xu, H., Zou, H., Tian, C. Free cooling of data centers: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 35, pp. 171-182, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.017> [pristupljeno 18.03.2020]
- [10] Switch Offers the World's Only Tier 5® Platinum Data Centers, <https://www.switch.com/tier-5/> [pristupljeno 18.03.2020]
- [11] Đurišić, Ž. *Vjetroelektrane*, Akademsko misao, Beograd, 2019.
- [12] Mikulović, J., Đurišić, Ž. *Solarna energetika*, Akademsko misao, Beograd, 2019.
- [13] Stankov, S., Arsić, S. Karakteristike dizel električnih agregata, primena, izbor, održavanje, in Proc. 25. *Međunarodni kongres o procesnoj industriji - Procesing '12*, SMEITS 2012, Beograd, Vol. 25, No. 1, 2012.
- [14] Stojković, Z. *Monitoring i dijagnostika visokonaponskih postrojenja - Predavanja*, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2019.
- [15] Zabbix Manual, <https://www.zabbix.com/documentation/current/manual> [pristupljeno 18.03.2020]
- [16] GRVEP wind turbine monitoring, <http://www.grvcp.lv/en/wind-turbine-monitoring-z-scada/> [pristupljeno 18.03.2020]

AUTORI

Ivan Vujović, MScEE, Ericsson AB Štokholm, dio stranog društva Podgorica, ivanvu@t-com.me

dr Darko Šošić - docent, Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, sosic@etf.rs

dr Željko Đurišić - vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, djurisic@etf.rs

Multisektorski pristup u tranziciji prema niskougljičnom razvoju i ciljevima Zelenog akcionog plana EU – iskustva Republike Hrvatske

Multisectoral Approach in Transition to Low - Carbon Development and Goals of the EU Green Action Plan - Experiences in the Republic of Croatia

Vladimir Jelavić, Valentina Delija-Ružić

EKONERG - institut za energetiku i zaštitu okoliša, Zagreb

Rezime - U radu će se opisati multisektorski pristup u izradi dugoročnih planskih dokumenata kroz primjer izrade podloga za Strategiju niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. godine s pogledom do 2050. godine. Republika Hrvatska je u sklopu obveza Uredbe o upravljanju energetskom unijom i djelovanjem u području klime (EU 2018/1999) obvezna izraditi integrirani nacionalni energetske i klimatski plan i dugoročnu strategiju dekarbonizacije.

Novim strateškim ciljevima Zelenog plana za Europu, u namjeri da se ispune ciljevi Pariškog sporazuma i podigne globalna konkurentnost europskog gospodarstva, postavlja se ambiciozan cilj neto nulte emisije stakleničkih plinova do 2050. godine. Ispunjenje te vizije zahtjeva multidisciplinarni pristup jer nije samo dovoljno smanjiti emisije energetike, industrije, opće potrošnje i prometa, već povećati ponore u sektorima poljoprivrede i LULUCF (Korišćenje zemljišta, promena u korišćenju zemljišta i šumarstva). U radu će se opisati proces izrade, uključivanje mnogobrojnih dionika, metodološki pristup i glavni rezultati. Analize uključuju detaljna modeliranja u energetici, po sektorima gospodarstva i prirodnih pohraništa ugljika LULUCF sektora. Komentiraju se sinergijski izazovi energetike, očuvanja sigurne opskrbe hranom, održivog gospodarenja šumama, postizanje čistog zraka, korištenja prostora i ostalo.

Ključne reči - strategija niskougljičnog, multisektorski pristup energetike, klimatsko energetske politike

Abstract - The paper will describe a multisectoral approach in development of long-term planning documents based on the example of developing background papers for low-carbon development strategy in the Republic of Croatia until 2030, with a view to the year 2050. As part of its obligations under the Regulation on the Governance of the Energy Union and Climate Action (EU 2018/1999), the Republic of Croatia is obliged to develop an Integrated National Energy and Climate Plan and a Long-Term Decarbonisation Strategy. New strategic goals of the Green Plan for Europe, intended to meet the goals of the Paris Agreement and raise global competitiveness of the European economy, set an ambitious goal of net zero greenhouse gas emissions by 2050.

Fulfilling that vision requires a multidisciplinary approach as it does not suffice to reduce emissions from energy, industry, general consumption and transport, but it is necessary to increase removals in agricultural and LULUCF sectors. The paper will describe the development process, the engagement of numerous stakeholders, the methodological approach and the main outcomes. The analyses include detailed modelling in energetics, by economic sectors and natural carbon storage of the LULUCF sector. There are comments on synergistic energy challenges and on maintaining a secure food supply, as well as on sustainable forest management, achieving clean air, use of space and more.

Index Terms - low - carbon strategies, multisectoral approach of energetics, climate energy policies

I UVOD

Globalna promjena klime danas je jedan od najvećih izazova čovječanstva. Znanstveno je utvrđeno da je vodeći uzrok promjene klime povećana emisija stakleničkih plinova, najviše kao posljedica izgaranja fosilnih goriva i intenzivne poljoprivrede te prekomjerna sječa šuma.

Cilj Pariškog sporazuma je zadržavanje porasta temperature unutar 2 °C, a ukoliko je moguće unutar 1,5 °C. Europska unija koja nastoji biti predvodnik u borbi protiv klimatskih promjena, postavila je svoj cilj prema Pariškom sporazumu na -40% emisije u odnosu na 1990. godinu. Pojačanom ambicijom u okviru Zelenog plana taj cilj se podiže na -55%, te postavlja viziju klimatske neutralnosti do 2050. godine. Članice EU ostvaruju ciljeve kolektivno u okviru politike Europske unije. Uredbe o upravljanju energetskom unijom i djelovanjem u području klime (EU 2018/1999) [1] propisuje državama članicama izradu integriranog nacionalnog energetskog i klimatskog plana za razdoblje do 2030. godine i izradu dugoročnih strategija do 2050. godine. Za razliku od pristupa koji je bio u razdoblju obveze prema Kyotskom protokolu, sada se više ne propisuju nacionalni ciljevi udjela obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti po državama članicama. U skladu s Pariškim sporazumom Europska unija 'dopušta' državama članicama da same predlože svoje ciljeve, no pri tome mora se održavati kontinuitet u odnosu na prijašnje akcijske planove za obnovljive

izvore energije i energetske učinkovitost. Europska komisija pregovora bilateralno sa svakom državom članicom i utvrđuje konačne obavezujuće ciljeve.

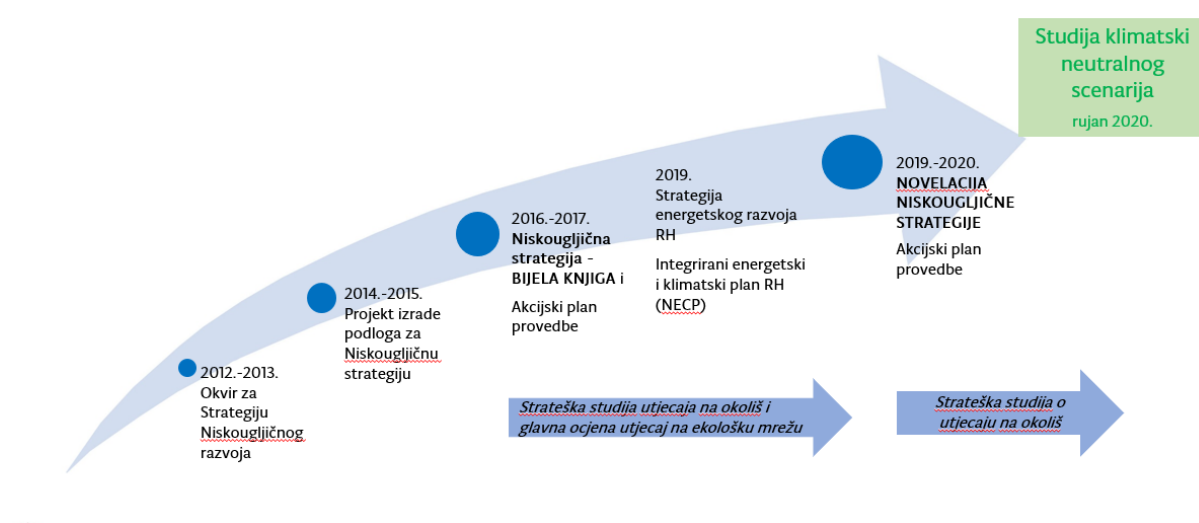
U ovom radu želi se ukazati na nužnost multidisciplinarnog pristupa, koja se ne zadržava samo na energetskom sektoru i klimi, već ostalim sektorima gospodarstva. Ovdje se pod sektorima podrazumijeva nomenklatura Međuvladinog panela o klimatskim promjenama (IPCC): energetska postrojenja, industrija, promet, opća potrošnja, poljoprivreda, gospodarenje otpadom i korištenje zemljišta, prenamjena zemljišta i šumarstvo (LULUCF). Opisuje se postupak izrade strategije niskougljičnog razvoja, s naglaskom na kontekst multidisciplinarnosti [2]. Tema interdisciplinarnosti se komentira kroz razne dimenzije.

Ovaj rad se ne odnosi na pitanja prilagodbe klimatskim promjenama, no u nekim sektorima kao što je poljoprivreda i korištenje zemljišta vrlo su povezane mjere za smanjenje emisija stakleničkih plinova s mjerama koje povećavaju otpornost na klimatske promjene.

II DIMENZIJA – AGILNOST SUSTAVA (VRIJEME POTREBNO ZA USKLADIVANJE)

Izrada strateškog dokumenta započinje s prikupljanjem podataka, njihovom sistematizacijom, postavljanjem u pravilan geopolitički, makroekonomski i društveni kontekst, zatim se rade različiti scenariji i modeliranje pojedinih sektora i u cjelini. Najveći je izazov usklađivanje interesnih pogleda pojedinih sektora, sektori po prirodi imaju manju potrebu za raspoznavanje multidisciplinarnog pristupa.

Na slici 1 je dan prikaz procesa izrade strategije niskougljičnog razvoja i studije klimatski neutralnog scenarija. Započelo je 2012. godine, u vrijeme početka drugog razdoblja obveze Kyotskog protokola (2013.-2020.). U tom razdoblju Republika Hrvatska nosi svoje ciljeve samostalno u Kyotskom protokolu, da bi 2013. godine ušla u Europski 'balon' obveze. Proces izrade se sastoji od koraka koji se nisu mogli preskočiti. Prvo je samo izrada okvira i osnovnih smjernica, potom izrada detaljnih stručnih podloga- Zelena knjiga, pa izrada sažetog dokumenta Nacrta strategije - Bijele knjiga (lit.2). Međutim, dolazi prvi poremećaj, novi politički izbori, novi ministri resora, ponegdje i novi stručni savjetnici, mogli bi reći i novo učenje, upoznavanje s novom paradigmom integralnosti i multisektorskog pristupa. Ovo nije ništa specifično, jer u svakoj državi za tri do četiri godine dođe do promjene političke vlasti. Kada se u takvoj prilici pojavi novi dokument, dokument koji gleda u budućnost trideset i više godina, koji definira neke druge vizije, bitno drugačije od sadašnjosti, počnu se javljati reakcije sektorskih 'establishmenta'. Dolazi do 'buđenja' sektora, i to je dobro, ali to odgađa konvergenciju prema cilju koji je sam po sebi prirodan i neizbježan. Kroz proces konzultacija, u kojem generalno dolazi do razdvajanja, javnost je obično na strani snažne ambicije i ukazuje na sporost promjena te druga strana tzv. 'tradicionalisti' koji po dužnosti svojih struka i savjesti moraju braniti postojeću praksu. Energetičari žele 'svoju' energetske strategiju, njoj vjeruju, žele da se kroz taj dokument testira vizija strategije niskougljičnog razvoja, te da se rasprave o vrlo ozbiljnim temama ponove, kroz sektorske 'alate', sa drugim stručnim timovima. Energetske su strategije uvijek bile kičma gospodarskog razvoja, no njihov je horizont bio pet do deset godina, nikad više.



Slika 1. Proces izrade strateško planskih dokumenata za tranziciju društva prema klimatski neutralnom scenariju, primjer Republike Hrvatske

Nakon treće točke na slici 1 izrađena je Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske [3]. Uz nju se radio Integrirani nacionalni energetski i klimatski plan (NECP). Države članice komuniciraju sa Europskom komisijom o svojim politikama putem NECP-a, države su bile obvezne dostaviti prvi plan do 31. prosinca 2019. godine. U isto vrijeme, obavezne su dostaviti svoje dugoročne planove do 2050. godine (u Republici Hrvatskoj

je to strategija niskougljičnog razvoja). Strategija energetskog razvoja mora biti usklađena sa strategijom niskougljičnog razvoja koja predstavlja krovni dokument, zbog toga se u razdoblju 2019. – 2020. godine radila novelacija strategije niskougljičnog razvoja. Krajem 2019. godine Europska unija je objavila Zeleni plan za Europu, novu viziju razvoja s ciljem postizanja klimatski neutralne Europe do 2050. godine. Za

postizanje klimatske neutralnosti potrebno je analizirati ambicioznije scenarije te se izrađuje Studije klimatski neutralnog scenarija, koja je trenutno na sektorskim konzultacijama. Cjelokupni proces trajao je osam godina i nije dovršen, trebat će još dvije, tri godine da se razviju i usvoje klimatski neutralni scenariji. Proces planiranja postaje kontinuiran, države moraju brzo reagirati, infrastruktura za multidisciplinarni pristup mora biti osigurana, kako bi se brzo moglo doći do usuglašenog državnog stava.

Uredba o upravljanju energetskom unijom i djelovanjem u području klime [1], u svom Članku 11. govori o višerazinskom dijalogu o klimi i energiji: *Svaka država članica u skladu s nacionalnim pravilima uspostavljaju višerazinski dijalog u području klime i energije u kojemu lokalne vlasti, organizacije civilnog društva, poslovna zajednica, ulagatelji i drugi relevantni dionici te šira javnost mogu aktivno sudjelovati i raspravljati o različitim scenarijima predviđenima za energetske i klimatske politiku, uključujući i dugoročnu perspektivu, te preispitati napredak, osim ako države članice već ne raspolažu strukturom koja služi istoj svrsi.*

III DIMENZIJA - METODOLOGIJA

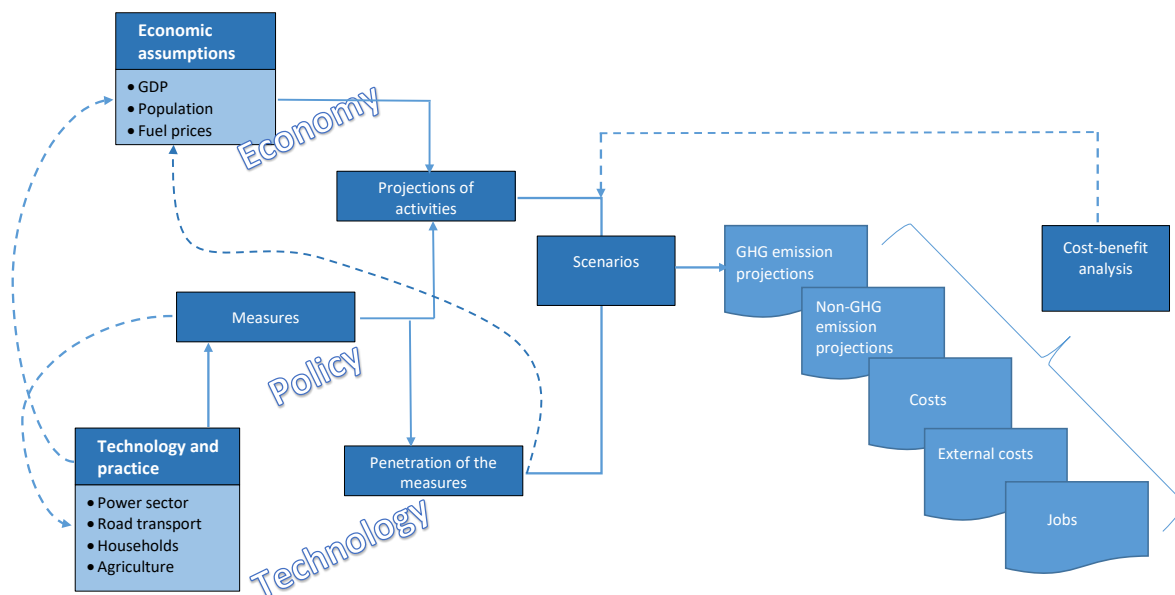
Uredba o upravljanju energetskom unijom i djelovanjem u području klime daje metodološki okvir, propisuje ulazne podatke, sadržaj analiza, način izvještavanja i verifikacije. Uredba promatra slijedeće stupove: dekarbonizacija, doprinos u području OIE, doprinos u području energetske učinkovitosti, energetska sigurnost, unutarnje energetske tržište te istraživanje, inovativnost i konkurentnost.

Potrebno je utvrditi mjere i scenarije kojima se postižu postavljeni nacionalno utvrđeni ciljevi. Pristup država je različit,

neki su detaljni, s puno scenarija, orijentiranih tehnološkim rješenjima, neki imaju samo tri scenarija, scenarij uobičajene prakse, scenarij s mjerama i scenarij s dodatnim mjerama. Pretpostavke i ulazni podaci temelje se na slijedećim grupama podataka: makroekonomski podaci, tehnološki podaci, podaci o očekivanim cijenama goriva, emisijskim jedinicama CO₂.

Projekcije se trebaju temeljiti na IPCC metodologiji proračuna emisija, kako bi se očuvala potpuna sljedivost s povijesnim podacima inventara emisija te osigurala adekvatna točnost i usporedivost podataka. Nesigurnosti proračuna emisija pojedinih sektora su različite. Energetika ima manje nesigurnosti, poljoprivreda veće, sektor gospodarenja otpadom i LULUCF najveće.

U izradi Strategije niskougljičnog razvoja analizirano je niz scenarija, primijenjeni su mnogobrojni modeli za simulacije i optimiranje, a razvijen je i integralni model za nacionalne projekcije stakleničkih plinova **NUSPCRO** (Niskougljično strateško planiranje Republike Hrvatske) (slika 2). Dodatna vrijednost je što NUSPCRO omogućava i planiranje scenarija za onečišćujuće tvari (SO₂, NO_x, PM₁₀/PM_{2.5}, NMVOC, NH₃), tako da se usklađivanje ciljeva po obvezama UNFCCC konvencije i Konvencije o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zraka (LRTAP) može provoditi istovremeno. Za planiranje elektroenergetskog sustava i analize uključivanja obnovljivih izvora energije, korišten je model satne simulacije sve do 2050. godine, a proveden je i paralelan kontrolni proračun elektroenergetskog sustava sekvencijalnim vremenskim modelom. Rezultati su integrirani u cjelovit višesektorski model s mogućnošću izračuna integriranih klimatsko-energetskih projekcija te implikacija na emisije onečišćujućih tvari i zapošljavanje.



Slika 2. Proces izrade strateško planskih dokumenata za tranziciju društva prema klimatski neutralnom scenariju, primjer Republike Hrvatske

Izazov je kako modelirati razvoj kružne ekonomije i područje gospodarenja otpadom, kako modelirati poljoprivredu, sektor LULUCF. Modeliranje scenarija mora ići iterativno, jer neke mjere imaju široku horizontalnost, recimo pitanje korištenja biomase ili korištenja goriva iz otpada. Ako komentiramo pitanje korištenja krute biomase, cilj je sve manje koristiti krutu biomasu, pa čak i u visokoučinkovitim kogeneracijskim postrojenjima, osim ako se radi o uzgojenoj biomasi ili otpadnom drvu. Treba utvrditi koja je održiva količina biomase za energetske potrebe, kako bi se sačuvao ponor stakleničkih plinova sekvencijom ugljika u živu biomasu i povećalo sekundarno pohranište ugljika u drvnim proizvodima. Pitanje biološke raznolikosti i očuvanje područja Natura2000 postaje imperativ kojeg prije nije bilo u takvoj dimenziji. U svemu ovom trebaju biti razne struke, energetičari, šumari, biolozi.

Cilj smanjenja emisija stakleničkih plinova doprinosi smanjenju onečišćenja zraka, jer se smanjuje potrošnja fosilnog goriva. Osim Pariškog sporazuma države su u obvezi prema LRTAP Konvenciji smanjivati emisije SO₂, NO_x, NMHOS, NH₃ i PM_{2,5}. Veliki je problem ako se scenariji niskougljičnog razvoja istovremeno ne provjeravaju s gledišta emisija onečišćujućih tvari.

Kada se dolazi u područje utvrđivanja potrebnih investicija mjera i analize troškova i koristi, tada su izazovi na usklađivanju sektora energetike i ne-energetike. Primjerice pitanje makroekonomskih učinaka scenarija, u poljoprivredi i šumarstvu postoje indirektno koristi koje nije moguće ili nije jednostavno iskazivati numerički, kao recimo općekorisne vrijednosti šuma, vrijednost ekoservisa. Ovo su teme koje nije moguće savladati u okviru izrade jednog dokumenta, o tim temama moraju raspravljati različite struke godinama.

Ono što je važno, timovi po sektorima ne mogu raditi u svojim 'kutijama', moraju se mijenjati, dogovarati s drugim sektorima, prihvatiti nove paradigme.

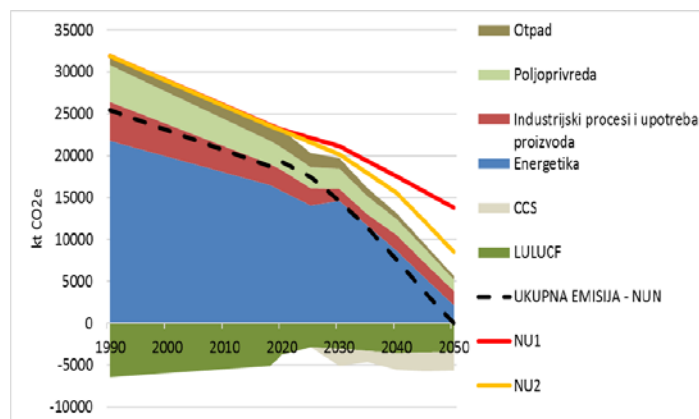
IV DIMENZIJA - CILJEVI I MJERE

Pariški sporazum je utvrdio globalni cilj zadržavanja porasta temperature unutar 2 °C, ili ukoliko će biti moguće unutar 1,5 °C. Države sam određuju svoje nacionalno utvrđene ciljeve, no ti ciljevi za sada nisu ni približno dovoljni za ostvarenje cilja. Europska unija je do 2030. godine iskazala da će smanjiti emisije za 40%, ali sada povećava svoj cilj na 55% smanjenja emisije u odnosu na 1990. godinu. Konačni cilj Europe u sklopu novog Zelenog plana je postizanje neto nulte emisije u 2050. godini.

Neto nulta emisija znači da se emisije moraju drastično smanjiti, gotovo na nulu. Nije moguće postići nulu u emisiji, ostat će nešto emisije u energetici, prometu i općoj potrošnji, industriji i poljoprivredi. Tu emisiju koja ostane treba anulirati ponorima. Glavni ponor je sektor LULUCF. To sekvencijom ugljika u nadzemnu i podzemnu biomasu, ali mogućnosti postoje da se u tlu poveća sadržaj ugljika mjerama održive zajedničke poljoprivredne prakse. Na slici 3 je dan prikaz klimatski neutralnog scenarija RH.

Preostala emisija u 2050. godini pokriva se sektorom LULUCF i primjenom tehnologije hvatanja i geološkog skladištenja CO₂ u geološke formacije. Republika Hrvatska ima sada značajan ponor

stakleničkih plinova u LULUCF sektoru, 47% Hrvatske pokriveno je šumom, ukupan ponor je oko 5,0 ktCO₂-eq/god, u odnosu na emisiju koja 23,8 ktCO₂-eq/god. Ponor će biti potrebno zadržati ili povećati, što je izazov, s obzirom na starosnu strukturu šuma. Ovdje se napominje da se u sklopu obveza država članica prema EU, način obračuna ponora u LULUCF sektoru, za šume kojima se gospodari, temelji na usporedbi u odnosu na tzv. Referentnu razinu za šume (FRL) [4].



Slika 3. Scenariji strategije niskougljičnog razvoja (NU1 i NU2) i klimatski neutralni scenarij (NUN)

Tranzicija prema niskougljičnom konkurentom gospodarstvu, potpomognuta financijskim sredstvima iz fondova Zelenog plana velika je šansa za ubrzan razvoj. Potrebne su promijene. Dolaze nove energetske paradigme, glavni energent postat će zelena električna energija, svaki potrošač postat će i proizvođač, decentralizirana proizvodnja traži napredne mreže, poticanje obnovljivih izvora energije više neće biti potrebno, velik izazov će biti spremnici energije i zaokret prema održivom transportu malih emisija korištenjem zelene električne energije, vodika, sintetskog goriva. Ključna je energetska učinkovitost i obnovljivi izvori energije. U ambicioznom cilju prema klimatski neutralnom društvu do 2050. godine neće biti dovoljno 'preobraziti' energetiku, rješenje se mora tražiti i u ne-energetskim sektorima, smanjiti emisije poljoprivrede, razvijati kružnu ekonomiju, povećati ponore CO₂ u sektoru LULUCF, kako bi do druge polovice stoljeća imali neto nulte emisije.

U Strategiji niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske utvrđeno je 120 mjera, od toga najviše su međusektorske mjere. Dio tih međusektorskih mjera u početnom razdoblju treba 'uhodati', sektori se usklađuju, snažnija primjena počinje kasnije. U Akcijskom planu provedbe strategije koji se radi za razdoblje od pet godina definira se konkretna provedba. Republika Hrvatska je nedavno usvojila Nacionalnu razvojnu strategiju, to je krovni planski dokument [5]. U razvojnoj strategiji jedan od četiri razvoja smjera je 'Zelena i digitalna tranzicija' koja će pridonositi ostvarivanju sljedećih strateških ciljeva: 1) Ekološka i energetska tranzicija za klimatsku neutralnost, 2) Samodostatnost u hrani i razvoj biogospodarstva, 3) Održiva mobilnost, 4) Digitalna tranzicija društva i gospodarstva. Prema razvojnoj strategiji Republika Hrvatska će do 2030. godine smanjiti emisije stakleničkih plinova na 65% emisija u 1990. godini, a udio OIE će biti 30,4% u bruto neposrednoj potrošnji.

V DIMENZIJA - FINANSIRANJE

Vezano za financiranje ovdje ćemo ukazati samo na jednu prepreku, a pojavljuje se u svim državama koje su nedavno prošle tranziciju na tržišno gospodarstvo. Financijski instrumenti su tradicionalno orijentirani sektorski, pa odlični integralni projekti ne mogu naći izvore financiranja. Fondovi za energetske učinkovitost otvoreni su zgradarstvu, vrlo rijetko za promet, poljoprivredu je potpuno odvojena od energetike, isto tako i šumarstvo. Europska unija je u okviru Europskih investicijskih fondova (ESI) otvorila liniju ITI (Integrated Territorial Investment) mehanizma financiranja za poticanje integralnih strategija na regionalnoj osnovi. Ovo je model o kojem bi trebala razmisliti svaka država u izgradnji svojih fondova. Izazov je u tome što integralni projekti traže više resursa u razvoju projektnog zadatka, i ako nema sufinanciranja razvoja projekta, takvih projekata će biti malo.

VI ZAKLJUČAK

U ovom radu želja je bila ostaviti poruku da put prema klimatski neutralnom društvu nameće potrebu sve snažnijeg multisektorskog pristupa, resursno učinkovito i kružno gospodarstvo ne poznaje sektorske granice, sinergija je imanentna novom sustavu. U tranziciji prema niskougljičnom društvu svi moraju biti uključeni, svatko će pokušati biti ugljični neutralan, a to znači promišljati o rješenjima temeljenima na tehnici i prirodi. Izazovi su zbog toga veliki jer međusektorsko usklađivanje traži vrijeme, to su procesi u kojima se svi mijenjamo. Još nedavno se smatralo da zaštita okoliša i prirode ne bi smjela biti u istom sektoru sa gospodarstvom, danas je to poželjno. Izazov je u obrazovanju i odgajanju mladih stručnjaka, da budu inovativni i multisektorski surađuju. O promjeni sudimo

na vlastitom iskustvu, tvrtka EKONERG je izgradila ekspertni sustav koji omogućuje planiranje po principu multisektorskog pristupa, sa interdisciplinarnim timovima, a radi se prema međunarodno priznatim pristupom Međuvladinog panela o klimatskim promjenama.

LITERATURA

- [1] Uredba (EU) 2018/1999 Europskog parlamenta i Vijeća od 11. prosinca 2018. o upravljanju energetskom unijom i djelovanjem u području klime, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=celex%3A32018R1999> [pristupljeno 01.04.2021]
- [2] Strategija niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu, <https://mingor.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug-4925/klima/strategije-planovi-i-programi-1915/strategija-niskougljicnog-razvoja-hrvatske/1930> [pristupljeno 01.04.2021]
- [3] Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu, (NN 25/2020), https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_03_25_602.html [pristupljeno 01.04.2021]
- [4] Draft of National Forestry Accounting Plan of Republic Croatia, December 2019, EKONERG, https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/KLIMA/SZKAIZOS/december_nf_ap_2019.pdf [pristupljeno 01.04.2021]
- [5] Nacionalna razvojna strategija Republike Hrvatske do 2030. godine, (NN 13/2021), https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_02_13_230.html [pristupljeno 01.04.2021]

AUTORI

dr Vladimir Jelavić, EKONERG - institut za energetiku i zaštitu okoliša, Zagreb, Hrvatska, vladimir.jelavic@ekonerg.hr
Valentina Delija-Ružić, dipl. maš. inž., EKONERG institut za energetiku i zaštitu okoliša, Zagreb, Hrvatska, valentina.delija@ekonerg.hr

Uticaj pojedinih konstruktivnih parametara radijalnih lopatica sprovednog aparata na hidrauličke karakteristike Fransisovih turbina sa promenljivom brzinom

Influence of Particular Design Parameters of Radial Guide Vane Cascades on Their Hydraulic Performance at Variable Speed Operated Francis Turbines

Filip Stojkovski, Zoran Markov

“Ss. Cyril and Methodius” University in Skopje, Faculty of Mechanical Engineering Skopje

Rezime - Projektovanje radijalnih lopatica sprovednog aparata turbina treba da zadovolji potrebe radnog kola turbine da dostigne određene projektne parametre. Za režime rada konvencionalnih turbina, hidrodinamički parametri u prostoru predkola mogu se relativno lako proceniti. Za rad turbine sa promenljivom brzinom pri konstantnom naporu, ovi parametri se menjaju na način da se ne mogu lako predvideti korišćenjem konvencionalnih tehnika. U ovom radu, sprovedni aparat, kao ključni turbinski podsistem koji treba da izvrši efikasan dovod vode radnom kolu u ovim radnim režimima, numerički je testiran u različitim geometrijskim oblicima i konfiguracijama, da bi se posmatralo ponašanje kaskade, na način da se proceni koja konfiguracija zadovoljava određena hidrodinamičke zahteve i zahteve efikasnosti radnih tačaka od interesa. Kriterijumi koje sprovedni aparat treba da zadovolje zasnivaju se na hidrodinamičkim parametrima i proširenju radnog opsega turbine.

Ključne reči - sprovedni aparat, CFD, Fransisove turbine, rad sa promenljivom brzinom (VSO)

Abstract - The design of radial blade cascades, with the intent to become turbine guide vanes, lies in the basis of satisfying turbine runner needs for a particular turbine design point of interest. For conventional turbine operation, the hydrodynamic parameters in the pre-runner space can be relatively easily estimated. For variable speed turbine operation at the constant head, these parameters change in a way that cannot be easily predicted using conventional techniques. In this paper, the guide vanes, as crucial turbine sub-system which needs to perform efficient runner flow feeding for these operating ranges, are numerically tested in various geometrical shapes and configurations, to observe the cascades behaviour, in a way of estimating which cascade configuration satisfies certain hydrodynamic and efficiency

considerations of the operating points of interest. The criteria which the guide vanes need to meet are based on hydrodynamic parameters and expansion of the turbine operating range.

Index Terms - Guide Vanes, CFD, Francis Turbines, Variable Speed Operation (VSO)

I INTRODUCTION

The design of guide vanes, more or less, so far has been developed for constant synchronous turbine runners, to meet some hydraulic criteria considering the turbine power output at given head/discharge conditions [1-3]. For variable speed operating conditions, things changes drastically when the guide vanes design is considered, where multiple points of interest shall be met [4, 5]. The variable speed operating physics has been previously explained [6, 7] and this research represents a statistical upgrade towards definition of the influential geometrical constraints that the guide vane cascade has to the hydrodynamic and efficiency characteristics of the turbine.

The variable speed operated (VSO) Francis turbine is developed under the circumstances of constant head. Several methods of operation can be examined, and by those, the developing procedure of designs can be established and further optimized. First method is that the VSO of a turbine is strictly depending from the turbine universal characteristic chart (hill chart), by tracking local most efficient zones in a certain range of rotational speed. In that way, variable-speed operation gives the opportunity to adjust and optimize the rotational speed of the runner according to the available head for each guide vane opening.

Second observed method, which is, is focused on the result obtained from VS operation, i.e. expanding the operating range

of the turbine, overall, and what hydrodynamic conditions has to be present in the pre-runner space to obtain operating range expansion. The definition of the hydrodynamic conditions for different rotational speed of the turbine runner directly influences the design of the guide vane cascade and the blades in the cascade.

The VS operation, the hydrodynamic conditions and the blades design are interacting between each other, so strict correlation from one to another cannot be made easily, and that is why, several partial analysis have been made: how the geometry influences the hydrodynamic conditions and how the changes of hydrodynamic conditions, due to VS operation, influences the geometry. In this paper, the first approach has been analysed, defining which cascade configuration gives shrinkage or expanding of the turbine operating range.

II VARIABLE SPEED OPERATION INTERPRETATION

The VSO turbine, as it was mentioned, can be examined in two ways. First, according to the universal hill chart of turbine, where tracking of the local most efficient zones is done.

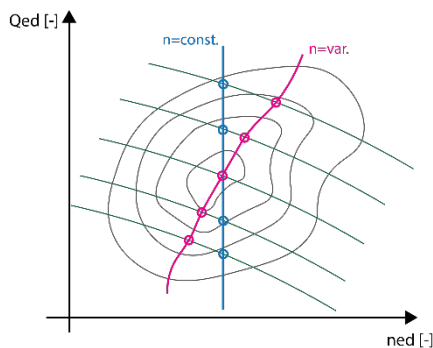


Figure 1. Variable speed operated turbine – example [5]

From fig.1, it can be seen that the guide vanes design is not influencing the turbine operation, as the variable speed method taken here can be achieved with ordinary guide vane cascade. Thus, the hill chart shape also is obtained for a selected guide vanes configuration, and the situation looks like this.

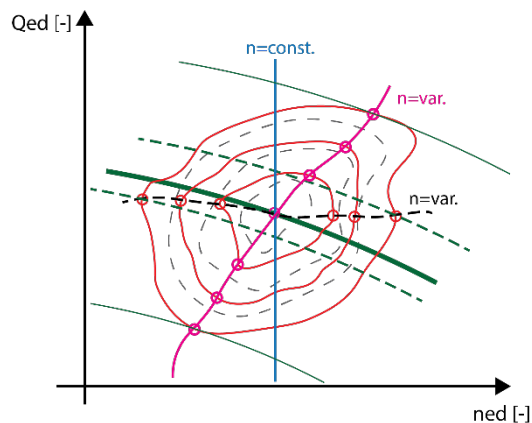


Figure 2. Guide vane reconfiguration and VSO

If we observe the guide vanes, how they influence on the general shape of the hill chart, the main goal is to expand the turbine operating region, i.e. how the guide vanes configurations and influence on the hill chart shape. The following scheme is expected (fig.2).

From the chart on fig.2 it can be seen that the guide vane curve characteristics are wider and it is expected to expand the operating region of the turbine (red iso-lines). Obtaining a guide vane configuration which will expand the operating region, than, by variable speed operation as in fig.1, the benefits are evident and the VSO effect is more dominant (magenta curve or black dashed curve).

This interpretation of the VSO turbine by operating schemes and regions is only sufficient for observing the expected overall turbine behaviour. The hydrodynamic parameters which leads to obtaining such expansions, are mainly defined from the turbine runner inlet flow conditions when VSO is present, and how they can be achieved with the guide vanes, which means that they influence the guide vanes design and vice versa. The velocity parallelograms in front of the turbine runner for VSO are presented on fig.3.

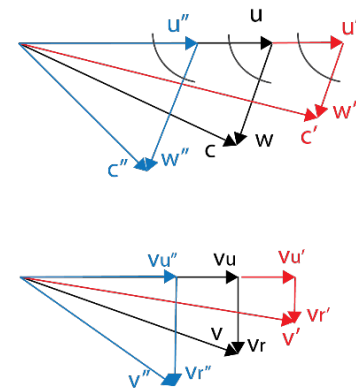


Figure 3. Runner inlet velocity triangles and guide vanes outlet velocity parallelograms

From the schematic charts from fig.1 and 2, it is evident that for constant head and change of rotational speed, the discharge of the turbine changes, either it increases or decreases. On basis of that, the velocity triangles were developed (fig.3) and the velocity parallelograms at the guide vanes outlet. The following velocity vector configurations show that the guide vanes shall meet these velocity ratios for VSO turbine. It can be noticed that the runner inflow angle is kept constant, as the inflow conditions is desired to remain as more efficient as possible, by providing a shock-free (zero incidence) inflow conditions to the runner [1].

III GUIDE VANES CASCADES NUMERICAL TESTS

As the last statement was to ensure shock-free inflow conditions to the runner, taking into account this criteria, several geometries were developed and tested through CFD analysis, to obtain how particular geometrical parameters influence on the overall turbine characteristics, when operation region expansion is demanded by VSO. The tested geometrical parameters of the cascades are the

density L/t [-], the relative opening of the guide vanes a/L [-], the inlet cascade radius relative to the outlet C_{RI} [-] and the relative angular positioning of the blade chord length regarding the turbine centre of rotation φ_N [-]. These geometry parameters are general for description a various types of radial cascades, where some detailed parameters such as blade thickness distribution or maximal thickness location etc. are neglected for further analysis.

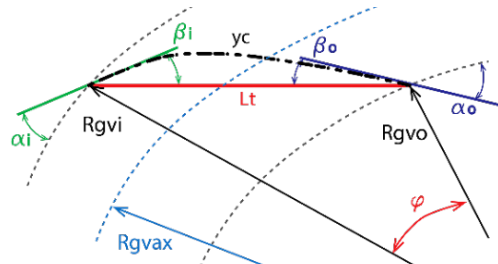


Figure 4 Blade in the cascade description

All the configurations are developed for shock-free inflow conditions to the cascade and the trailing edge bending angles are developed for shock-free flow entrance into the runner, for the given turbine inputs (tab.1).

Table 1. Turbine input parameters

Net head	Hn [m]	11,2
Design flow rate	Qd [m3/s]	0,2
Design rotational speed	nd [rpm]	333,33
Runner inlet diameter	Dr1 [m]	0,62
Runner outlet diameter	Dr2 [m]	0,349
Guide vanes height	Bgv [m]	0,06
Speed Factor (IEC60193)	ned [-]	0,185
Discharge factor (IEC60193)	Qed [-]	0,1567

The configurations geometries were developed in MATLAB and transferred to ANSYS Workbench, where the flow domains were created. The mesh was built in ANSYS TurboGRID and assembled with previously meshed runner of the Francis 99 turbine. The numerical model is reduced, consisted only from the guide vanes, the runner and the draft tube cone. The numerical mesh is consisted of approx. 1.5 million cells, where approximately 550 to 650k cells were used in the guide vanes, the runner is consisted of 810k cells and the draft tube cone from 150k cells.

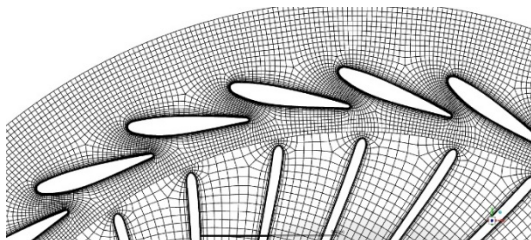


Figure 5. Mesh preview – example of the simulated models

The boundary conditions of the model are inlet and outlet total pressures, to obtain the value of the turbine design head, where at the inlet, a cylindrical components of the vector were adjusted. The turbulence model used is standard $k-\epsilon$. The runner of the Francis 99 turbine is consisted of 15 full blades and 15 splitter blades, which are assumed as “moving walls” along with the runner hub and shroud surfaces, with no slip conditions. The runner domain frame is given motion around the vertical ‘z’ axis. The guide vanes models are consisted from 24 up to 32 blades. The frames are connected between each other via interfaces, which allows further easiness of transient simulations using the sliding-mesh technique. The simulations were guided as steady, changing the runner rotational speed in the range of $\pm 15\%$ of the nominal speed.

IV RESULTS

The guide vanes configurations are developed in one position, according to the turbine design point i.e. the best efficiency point. The same configurations are tested for off-design point of $\pm 15\%$ of the nominal speed.

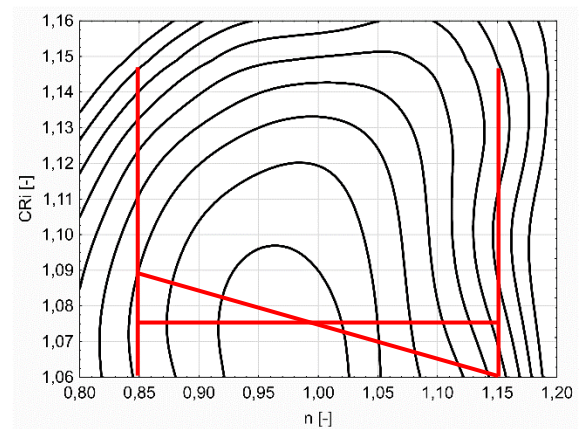


Figure 6. Influence of cascade inlet radius on operating range expansion at different rotational speeds

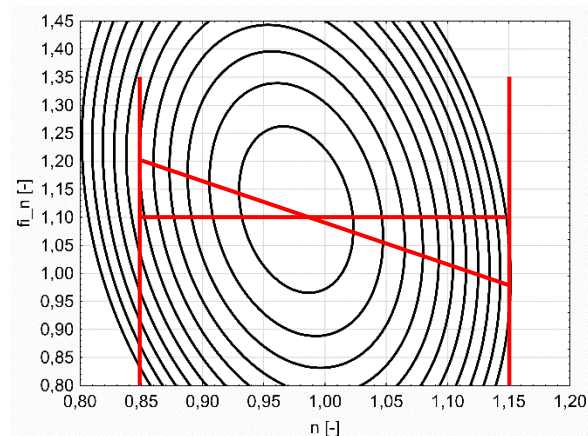


Figure 7. Influence of cascade blades chord line angular position on operating range expansion at different rotational speeds

It can be concluded from fig.6. that the zone of optimal operation lies at the turbine design rotational speed $n=1$ [-], and with a

cascade inlet radius from 5% to 10% larger than the outlet radius. Regarding the expansion of the operating range, it can be concluded that the iso-lines are most stretched at 7.5% of inlet radius ratio, which can be the guidance for further development of the “optimal” cascade.

From fig.7, it can be seen that the biggest extension of the range is when a variable angular position of the chord is given. As this, technically is plausible if the blades are “profiled” and have a changeable angular shape, will be analyzed further. For standard radial cascades of fixed blade geometry, the weighted angular position of the chord shall be around 1.11 [-].

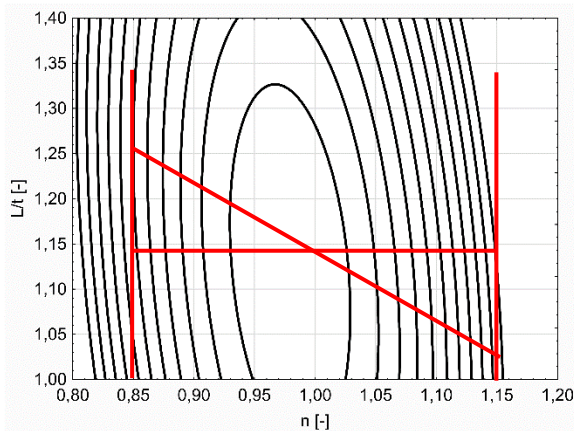


Figure 8. Influence of cascade density on operating range expansion at different rotational speeds

On the chart at fig.8, it can be easily concluded that the cascade density i.e. the overlap between the blades influences on the expansion of the operating range. Most expand region is obtained between 10%-25% of blades overlap, i.e. cascade density of $L/t = 1.1 - 1.25$ [-].

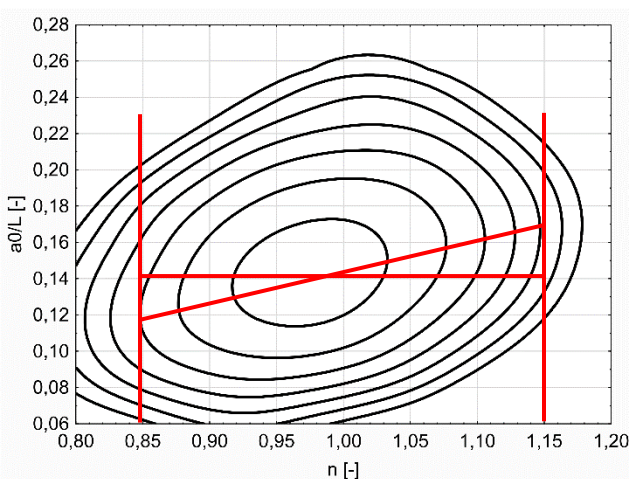


Figure 9. Influence of blades relative opening to their length on operating range expansion at different rotational speeds

The blades relative opening shows that maximal operating range expansion is obtained when there is a change of the opening from 12% to 17% (fig.9). If the cascade is built from constant blade

configurations, the weighted value of the relative opening shall be in the range around 14%-16% of the blade length.

V MODELS COMPARISON

By taking the previous assumptions and calculations, how the cascade types behaves when variable speed is needed, for obtaining an expanded hill chart, previous analysis were guided to test and prove this approach for further development.

A strict comparison was made with the existing guide vanes on the observed turbine model Francis 99 which is in the Waterpower Laboratory at NTNU. The guide vanes are consisted of 28 blades, and the cascade has the following geometry parameters (tab.2). The developed model is geometrically very close to the existing guide vanes, as the turbine model has very tight geometrical constraints where the guide vanes can be positioned and examined. The following analysis was carried out for further development of this cascade and to further perform model tests.

Table 2. Model configurations compared

	CRI [-]	L/t [-]	a0/L [-]	fi_n [-]
FR99	1,126	1,324	0,166	1,23
MODEL1	1,127	1,3	0,148	1,25

The main difference between the cascades is the relative angular position of the chord lines of the blades and the relative opening of the blades. The developed Model 1 has slightly smaller opening, related with the conclusions from fig.10. The other geometry parameters are selected to ensure that the developed cascade can be fitted in the turbine model test rig.

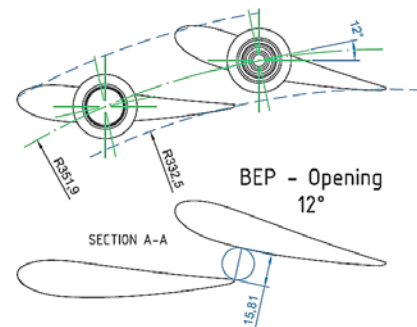


Figure10. Developed guide vanes model

For several guide vanes openings and rotational speeds of the runner, for equal operating conditions, the turbine hill charts were obtained and plotted on relative efficiency scale from 0.9-1 [-].

From the results obtained in the hill charts, it can be easily concluded that, by respecting only one of the previous derived criteria (in this example the relative guide vane opening), an expansion of the turbine operating range is obtained, especially in the range of reduced rotational speed and reduced flow rates. This is significant increase of the operating range which intuitively shows that this turbine can operate with good efficiency out of the previous described operating limits.

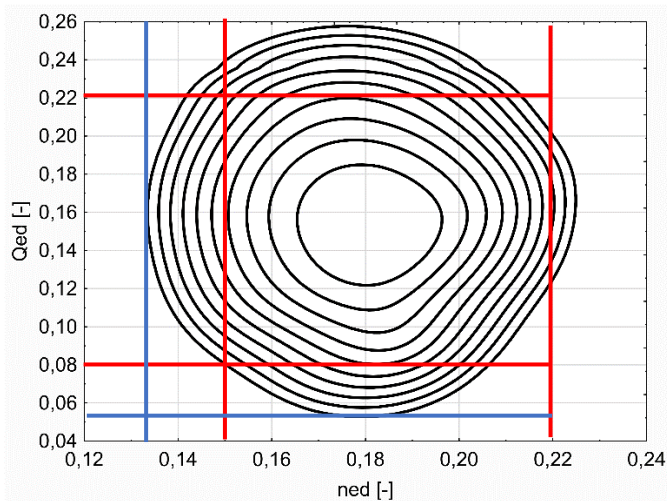


Figure 11. Developed guide vanes (Model 1) – turbine hill chart (pre-described operating limits and extensions)

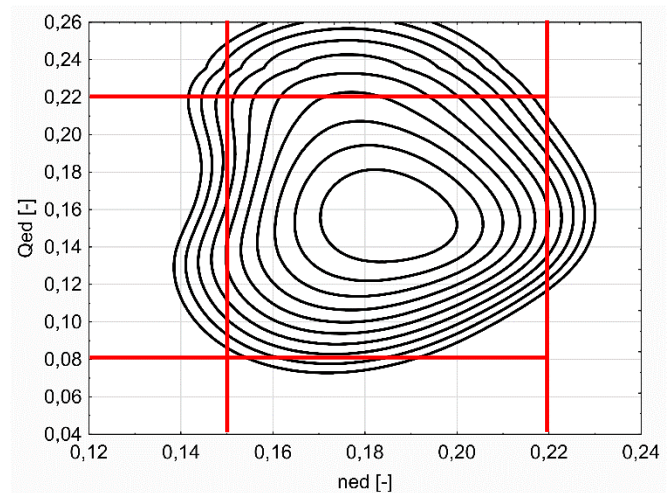


Figure 12. Francis 99 guide vanes model – turbine hill chart (pre-described operating limits)

According to fig.11 and 12 it can be concluded that the turbine characteristics compared for the 2 models, extends. Model 1 gives better performance compared to FR99 guide vanes. Extended characteristics is obtained for reduced rotational speed, compared as the ratio between the limitations:

$$\frac{n_{edFR99}}{n_{edM1}} = \frac{0.15}{0.132} = 1.364 [-]$$

For reduced flow rates, the characteristics extends compared with the previous limitation:

$$\frac{Q_{edFR99}}{Q_{edM1}} = \frac{0.076}{0.052} = 1.462 [-]$$

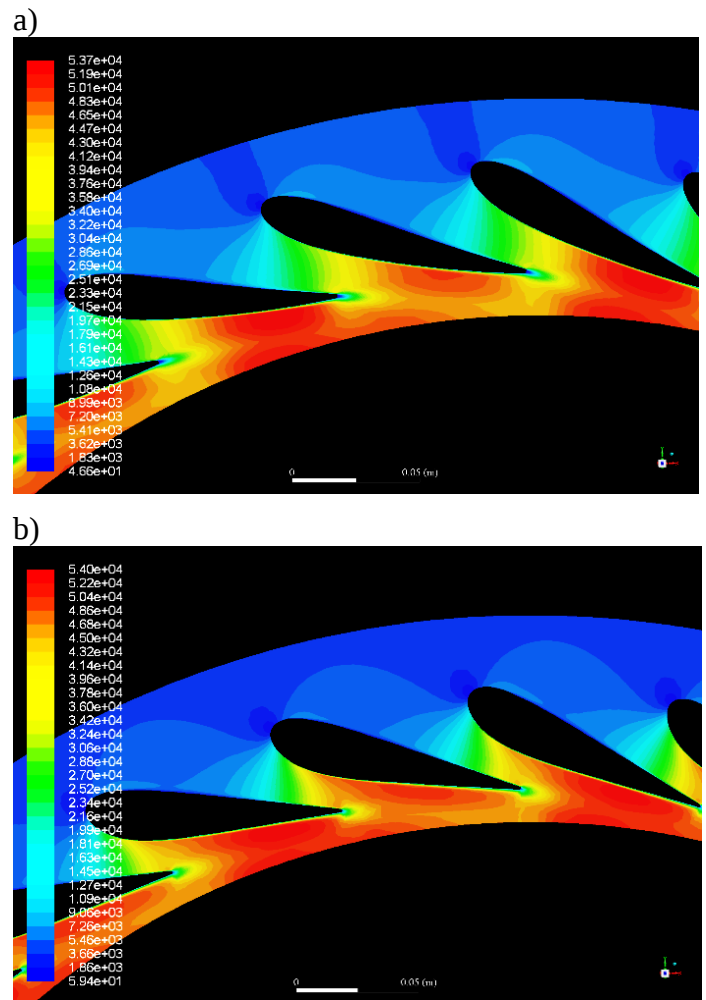


Figure 13. Dynamic pressure contours
a) (Developed Model 1), b) (Francis 99 Guide vanes)

The velocity profiles at the outlet pitch of the blades is compared to show the plausible hydrodynamic reason for extension of the operating range. The velocity profiles are analyzed also in relative manner, to obtain not the intensity, but the uniformity (asymmetry) of the profile, given on equal blade pitch.

From the chart on fig.14 it can be concluded that the velocity profile obtained for the developed model 1 remains almost equal for off-design rotational speeds, compared to the existing guide vanes, which for increases rotational speed of the runner, the velocity profile deforms and losses its symmetry.

According to these results, a decision was made to further develop a model of the guide vanes, to perform further measurements and mode tests, to prove these characteristics of operating range expansion and how does the guide vanes, overall, can re-shape the operating hill chart of the turbine.

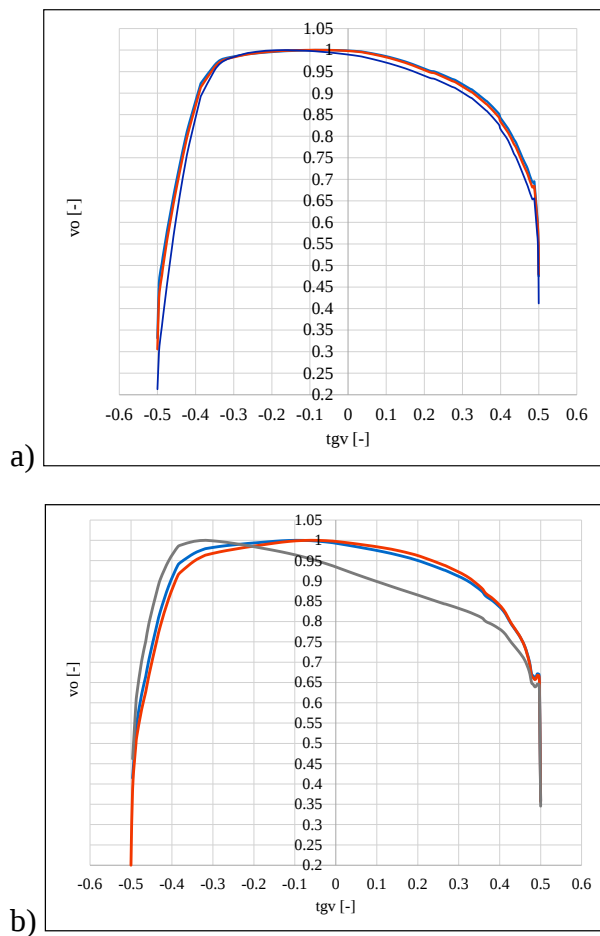


Figure 14. Velocity profile
a) Model 1, b) Francis 99 Guide Vanes

VI CONCLUSION

In this paper, a brief analysis was carried out for determining some of the influential geometry parameters of guide vanes, when variable speed operation is expected of the turbine runner, to cover more operating zones. Primarily, the guide vanes cascade is multiple times described and geometrically parameterised in the previous researches done, so a continuing to those researches was made here to the next step.

Several cascade configurations (particularly 21 configurations) were examined, with various geometry parameters differences, from different cascade inlet radius, different angular position of the blades chord line, different cascade density, opening etc. All these geometry parameters were tested with CFD simulations on a reduced numerical model of the Francis 99 turbine model from the NTNU Waterpower laboratory. All the cascades were developed for the best efficiency operating point of the turbine. The tests were carried out at constant head and opening, for variable rotational speeds of the runner. The results were plotted as contours (iso-lines) of 3 variables, the geometry parameter observed, the rotational speed and the turbine efficiency, to observe how the operating range extends and the optimal zone

shifts with the change of rotational speed or with the change of the particular geometry parameter.

According to the primary results, it was obtained how certain geometry parameters influence the extension of operating range of the turbine. A comparison was made for a developed guide vane cascade (Model 1) with the existing guide vane cascade of the Francis 99 turbine model, to observe how the blades opening change influence the range extension. The results showed extension of the range, so a decision was made to further build a model of the guide vanes to prove these operational extensions, by performing model test at the laboratory.

From this analysis, generally, it can be concluded simply that the design of the guide vanes cascade is not unambiguous, but quite opposite. They represent a matter which needs to be evolved iteratively by certain combinations, which can give reasonable and favourable hydrodynamic conditions in the pre-runner space, and on the overall turbine efficiency.

ZAHVALNICA/ACKNOWLEDGMENT

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 "Secure, Clean and Efficient Energy" programme, H2020-LCE-07-2016-2017, under grant agreement no 764011. Project: Increasing the value of hydropower through increased flexibility - HydroFlex (www.h2020hydroflex.eu).

LITERATURA/ REFERENCES

- [1] Krivchenko, G.I. *Hydraulic Machines - Turbines and Pumps*, Mir publishers, Moscow, 1986.
- [2] Barlit V.V. *Gidravlichesky turbini*, Kiev, 1977.
- [3] Lewis, R.I. *Vortex element methods for fluid dynamic analysis of engineering systems*, Cambridge University Press, 1991.
- [4] Nordvik, A., Iliev, I., Trivedi, C., Dahlhaug, O.G. Numerical prediction of hill charts of Francis turbines, *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1266, No. 1, pp. 012011, 2019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1266/1/012011>
- [5] Iliev, I., Trivedi, C., Dahlhaug, O.G. Variable-speed operation of Francis turbines: A review of the perspectives and challenges, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Vol. 103, pp. 109-121, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.033>
- [6] Stojkovski F., Markov, Z., Kostikj, Z. Design of radial blade cascades using parametrization and correlation of geometry and flow parameters, in Proc. 5th International Scientific Conference COMETA 2020, Jahorina, pp. 274-284, 26-28. November 2020.
- [7] Stojkovski, F., Markov, Z., Stojkovski, V. CFD study of radial guide vane cascade with convex and concave blade sets for variable speed Francis turbines, in Proc. 5th International Conference Mechanical Engineering in XXI century MASING 2020, Niš, pp. 109-114, 2020.
- [8] IEC 60193 - Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Model acceptance tests

AUTORI/AUTHORS

Filip Stojkovski, M.Sc., "Ss. Cyril and Methodius" University in Skopje, Faculty of Mechanical Engineering Skopje, filip_stojkovski@outlook.com

Zoran Markov, Ph.D., "Ss. Cyril and Methodius" University in Skopje, Faculty of Mechanical Engineering Skopje, zoran.markov@mf.edu.mk

Analiza ekonomske opravdanosti investiranja u solarnu elektranu sa vertikalno postavljenim bifacijalnim fotonaponskim modulima u perspektivnim uslovima slobodnog tržišta

Analysis of Economic Justification of Investing in a Solar Power Plant with Vertically Placed Bifacial Photovoltaic Modules in Perspective of Free Market Conditions

Đorđe Lazović*, Kristina Džodić*, Željko Đurišić*

* Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet

Rezime - Po isteku državnih podsticajnih mera za integraciju obnovljivih izvora energije, isplativost investiranja u solarne elektrane će zavisići dominantno od usklađenosti dijagrama proizvodnje i promenljivih cena energije na slobodnom tržištu električne energije. Da bi se ostvario maksimalni profit solarne elektrane u uslovima slobodnog tržišta, treba razmotriti mogućnost investiranja u rešenja koja su danas manje zastupljena, ali sa perspektivom da u budućnosti budu profitabilnija. Takvo rešenje je solarna elektrana koju čine vertikalno postavljeni bifacijalni moduli čije su aktivne površine orijentisane u pravcu istok-zapad. Ovakvom konfiguracijom elektrane se može postići veća proizvodnja u periodima visokih cena, i samim tim veći prihod od prodaje električne energije. Sa druge strane, cena bifacijalnih fotonaponskih modula je veća od cene standardnih monofacijalnih, pa je zahtevana investicija veća. U ovom radu je izvršeno poređenje isplativosti ulaganja u elektranu sa bifacijalnim i elektranu sa monofacijalnim modulima u postojećim i perspektivnim tržišnim uslovima. Uticaj proizvodnje solarnih elektrana na cenu električne energije je istražen na primeru Nemačke. Na osnovu ovih istraživanja, formiran je prognostički model profila dnevnog dijagrama cena na objedinjenom evropskom tržištu, koji je poslužio za analizu isplativosti ulaganja u dve razmatrane varijante realizacije solarne elektrane.

Ključne reči - bifacijalni fotonaponski moduli, ekonomska analiza, solarna elektrana, tržište električne energije

Abstract - After the expiration of governmental incentive measures for renewable energy sources integration, economic feasibility of investing into solar power plants will highly depend on compatibility between production and variable prices. In order to achieve the maximum possible profit of the power plant in liberalized electricity market, it is necessary to consider the possibility of investing in solutions that are not common today, but with the potential of being more profitable in the future. Such a solution is a solar power plant consisting of vertically placed bifacial modules whose active surfaces are

oriented in the east-west direction. This configuration of the power plant can achieve higher production in periods of high prices, and thus higher profits from the sale of electricity. On the other hand, such a solution is more expensive than a standard solar power plant with monofacial modules. In this paper, a comparison of return on investment in a bifacial power plant and a monofacial power plant with existing and prospective market conditions is performed. The influence of solar power plant production on the price of electricity was investigated on the example of Germany. Based on this research, a prognostic model of the daily price diagram on the unified European market until 2040 was formed. It served for the analysis of the profitability of investments in the two considered variants of the solar power plant realization.

Index Terms - bifacial photovoltaic modules, economic analysis, solar power plant, electricity market

I UVOD

Moderna energetika je danas okrenuta procesu dekarbonizacije proizvodnje električne energije i dobijanja čiste energije u skladu sa principima održivog razvoja. U skladu sa ovim principom se razvija energetika u svim delovima sveta, pri čemu su u Evropi postignuti već značajni rezultati u pogledu dekarbonizacije proizvodnje električne kroz integraciju obnovljivih izvora, u čemu je presudnu ulogu odigrala podsticajna državna politika zemalja zapadne Evrope. Po isteku državnih mera podrške za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora, njihova budućnost je izlazak na slobodno tržište. U takvim uslovima, prihod koji ostvaruju elektrane koje se zasnivaju na obnovljivim energentima, zavisice ne samo od ukupne proizvedene energije, već i od vremenskog dijagrama proizvodnje. Zbog relativno velike dnevne i sezoneke varijacije cena električne energije na tržištu, efekat usklađenosti dijagrama proizvodnje elektrane sa dijagramom cena bitno će uticati na profit koji elektrana ostvaruje [1]. Elektrane koje budu dominantno energiju proizvodile u satima sa niskom cenom će ostvarivati značajno manji prihod od elektrana koje proizvedu istu

količinu energije ali u satima sa visokom cenom. Neusklađenost između proizvodnje i cena će sve više dolaziti do izražaja, jer će i sve veće učešće obnovljivih izvora imati uticaj na tržište električne energije. Tako će na primer, u periodima velike insolacije, proizvodnja svih solarnih elektrana sa istog geografskog područja biti visoka, pa se može očekivati da će i cena električne energije opasti [2].

Prema izveštaju [3], procenjuje se da će do 2050. ukupna instalisana snaga fotonaponskih elektrana u Evropi biti oko 962 GW_p, što je dvostruko više od srednje snage potrošnje u svim evropskim zemljama. Zbog jednovremenosti proizvodnje ovih izvora, efekat ponude i potražnje će dovesti do značajnog pada cene električne energije u podnevnim satima. Sa druge strane, na tržištu su sve prisutniji fotonaponski moduli sa dvostranim aktivnim površinama (*bifacial PV module*) [4] koji omogućavaju bolje iskorišćenje sunčevog zračenja. Orijentacijom bifacijalnih modula se može značajno uticati na dijagram proizvodnje, te se tako, za orijentaciju modula u pravcu istok-zapad, tokom dana imaju dva perioda sa maksimalnom proizvodnjom, jedan u prepodnevnom, a drugi u poslepodnevnom časovima [5].

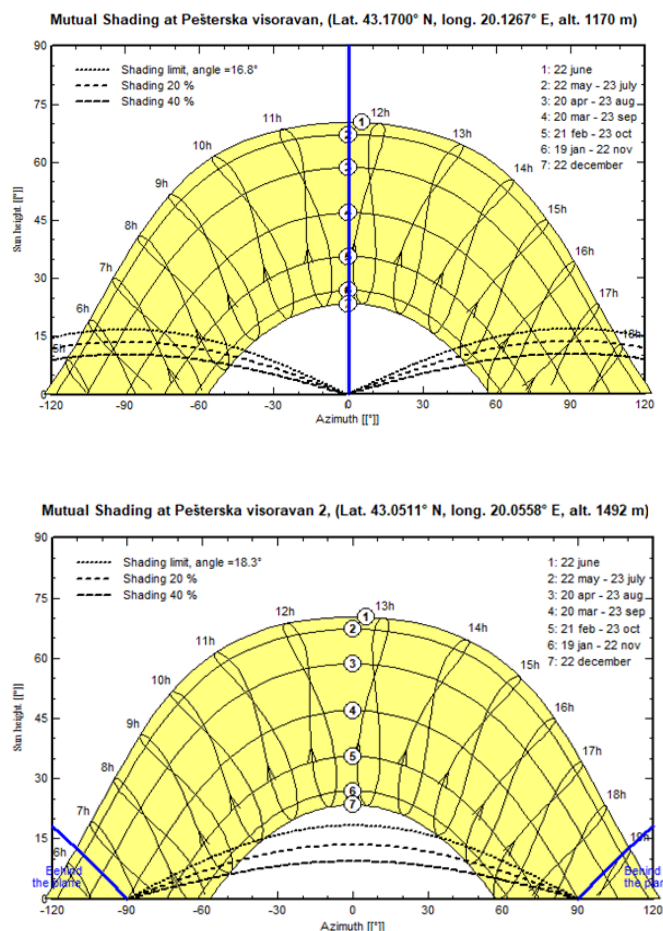
U ovom radu se analizira solarna elektrana sa vertikalno postavljenim bifacijalnim fotonaponskim modulima na test lokaciji Pešterske visoravni. Cilj sprovedene analize je poređenje isplativosti investiranja u solarnu elektranu sa monofacijalnim i solarnu elektranu sa bifacijalnim modulima u uslovima slobodnog tržišta. Ekonomske analize solarnih elektrana sa bifacijalnim modulima su bile predmet različitih istraživanja [6-8], a osnovni doprinos ovog rada u odnosu na postojeću literaturu je uvažavanje uticaja proizvodnje fotonaponskih elektrana na cenu električne energije.

II POREĐENJE TEHNIČKIH I EKONOMSKIH POKAZATELJA MONOFACIJALNIH I BIFACIJALNIH FOTONAPONSKIH SISTEMA

U ovom poglavlju izvršeno je poređenje tehničkih i ekonomskih pokazatelja koji su od interesa prilikom izgradnje solarne elektrane velike snage. Razmatrana su dva rešenja: elektrana sa južno orijentisanim monofacijalnim modulima postavljenim pod optimalnim nagibnim uglom i elektrana sa vertikalno postavljenim bifacijalnim modulima orijentisanim u pravcu istok-zapad. Instalirana snaga solarne elektrane je ograničena raspoloživim prostorom i kapacitetom priključne mreže, zbog čega je korisno pokazatelje proizvodnje električne energije i ekonomske parametre predstaviti svedene u odnosu na jediničnu instalisanu snagu.

Fotonaponski moduli se postavljaju u paralelne redove, zbog čega se javlja efekat međusobnog zasenčenja modula u susednim redovima. Optimizacijom rastojanja između redova mogu se smanjiti gubici izazvani pomenutim efektom. Za procenu uticaja međusobnog zasenčenja koristi se pokazatelj stepen iskorišćenja terena koji predstavlja odnos dužine fotonaponskih modula i rastojanja između redova. Za lokacije na teritoriji Srbije se preporučuje da vrednost stepena iskorišćenja terena za monofacijalne module ne bude veća od 0,46 [9], dok je za bifacijalne module potrebno usvojiti nižu vrednost, kako bi se izbegli preveliki gubici usled zasenčenja. U ovom radu analiza je sprovedena za stepen iskorišćenja terena od 0,4 za monofacijalne, i 0,3 za bifacijalne module.

Za oba varijantna rešenja formirani su dijagrami godišnje putanje sunca na lokaciji od interesa (Sl. 1). Zasenčenje redova je, u slučaju primene monofacijalnih modula, najizraženije u zimskim mesecima, dok je krajem jeseni i početkom proleća zastupljeno samo u jutarnjim i večernjim satima. Sa druge strane, u slučaju upotrebe bifacijalnih modula, zasenčenje susednih redova je zastupljenije, javlja se tokom cele godine, i to u periodima nakon izlaska i neposredno pre zalaska sunca ispod ravni horizonta. Povećanjem rastojanja između redova ne može se u potpunosti izbeći međusobno zasenčenje modula, ali bi se zato moglo smanjiti njegovo trajanje.



Slika 1. Godišnja putanja sunca kod južno orijentisanih (slika gore) i vertikalnih fotonaponskih sistema (slika dole)

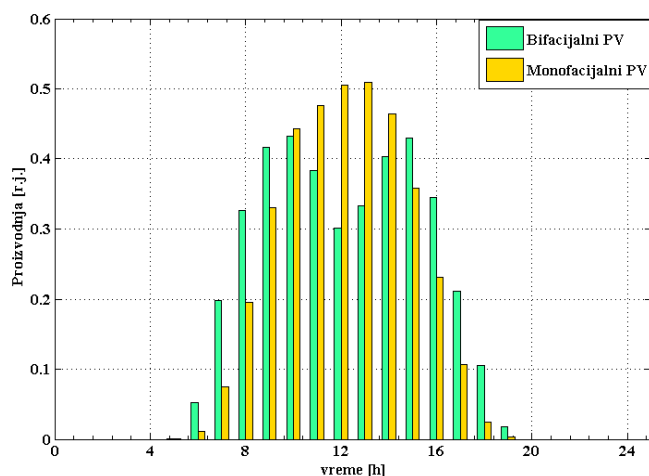
U ciljnom regionu Pešterske visoravni značajan je broj dana sa snežnim padavinama, te je izražen i efekat prekrivanja fotonaponskih modula snegom tokom zimskih meseci, što bitno utiče na smanjenja proizvodnje fotonaponske elektrane. Za razliku od južno orijentisanih modula, vertikalno postavljeni moduli praktično nemaju gubitke usled snežnih padavina zbog efekta samočišćenja. Veliki broj dana sa snežnim pokrivačem će doprineti i boljem iskorišćenju reflektovane komponente zračenja u slučaju bifacijalnih modula. Pored toga, vertikalne fotonaponske elektrane mogu biti posebno pogodne za izgradnju na pašnjacima, kao što je slučaj Pešterske visoravni, jer neće bitnije uticati na korišćenje zemljišta za ispašu niske stoke. Negativne strane

vertikalnih panela se ogledaju u većim mehaničkim naprezanjima zbog jačeg pritiska vetra, kao i činjenici da je dozračenost insulacija ipak nešto manja nego kod južno orijentisanih fotonaponskih modula za isti stepen iskorišćenja terena.

Uvažavajući prethodno opisane parametre i efikasnost konverzije energije fotonaponskih modula od 19%, na ciljnoj lokaciji je sprovedena analiza očekivane godišnje proizvodnje fotonaponske elektrane za oba varijantna rešenja.

U analizama je korišćen softverski alat PVsyst [10], koji proračune solarnog potencijala zasniva na podacima Meteorologičke baze. Ova baza sadrži merne podatke od 1960. godine, i može se smatrati veoma pouzdanim izvorom za generisanje meteoroloških fajlova za lokacije koje se nalaze na evropskom kontinentu.

Normalizovane srednje satne snage proizvodnje fotonaponske elektrane za prosečan dan za oba analizirana varijantna rešenja su prikazane na Sl. 2. Može se uočiti da se maksimalna proizvodnja južno orijentisanog fotonaponskog sistema javlja u podnevnim satima, dok se kod vertikalnih sistema javlja tokom dana u periodu oko 8 h - 10 h, odnosno 14 h - 16 h. Godišnja proizvedena energija u slučaju bifacijalnih modula je za oko 6% veća. Treba napomenuti da je ovo procena proizvodnje za nove module, te je potrebno uvažiti pad njihove efikasnosti tokom eksploatacije. Obično je pad efikasnosti u prvoj godini eksploatacije najveći, oko 2 do 3%, a zatim se degradacija stabilizuje i obično iznosi oko 0.6% - 0.7% godišnje. Takođe, treba istaći da je vršna DC snaga vertikalnih panela manja za oko 10% od vršne snage južno orijentisanih panela za istu instalisanu snagu, što dozvoljava upotrebu invertora manje naznačene snage, samim tim i cene.



Slika 2. Karakteristični dnevni dijagrami proizvodnje fotonaponske elektrane na Pešteri dobijeni u PVsist-u

Pored dijagrama proizvodnje, bitan faktor u proceni isplativosti upotrebe fotonaponskih sistema su i investicioni i eksploatacioni troškovi. Investicioni troškovi podrazumevaju troškove: nabavke fotonaponskih modula, invertora, transformatora, kablova, projektovanja elektrane, instalacije

opreme, pripreme tehničke dokumentacije, itd. S druge strane, eksploatacioni troškovi se prvenstveno odnose na troškove održavanja i rentiranja zemljišta. Usled sve masovnije i tehnološki naprednije proizvodnje, razvoja globalnog tržišta, pada cene poluprovodničkih materijala, investicioni troškovi su se u poslednjoj deceniji višestruko smanjili. Prema istraživanju [11], za monofacijalne fotonaponske sisteme instalisane snage veće od 1 MWp, vrednost investicionih troškova se trenutno procenjuje na oko 780 €/kWp, a eksploatacionih na oko 13 €/kWp godišnje. Istim istraživanjem obuhvaćena je i prognoza ovih troškova za budući period do 2040. godine, što je grafički ilustrovano na Sl. 3. Investicioni troškovi bifacijalnih modula trenutno su za oko 20% veći od monofacijalnih [12], što je posledica postojanja dvostranih aktivnih provršina, i može se smatrati da će ovaj odnos važiti i u budućnosti. S druge strane, ukoliko se bifacijalni moduli postave vertikalno, troškovi održavanja usled efekta samočišćenja su manji, a ovaj efekat se može kvantifikovati smanjenjem ove komponente troškova za oko 10%.

III UTICAJ OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE NA CENU ELEKTRIČNE ENERGIJE

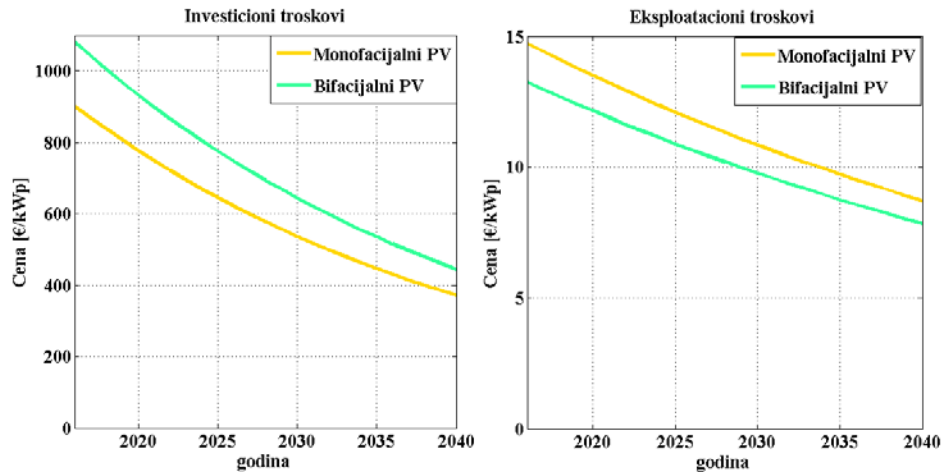
Na slobodnom tržištu, cena električne energije za svaki sat se dobija u preseku dijagrama ponude i potražnje. Svakog dana u podne se pravi aukcija za naredni dan na kojoj proizvođači daju svoje ponude: raspoloživu snagu i cenu proizvodnje (uglavnom se zasniva na troškovima goriva i CO₂ taksi), nakon čega se sve ponude rangiraju prema cenama, od najnižih ka najvišim i tako uređen dijagram čini dijagram ponude. U preseku tog dijagrama i snage potražnje dobija se ravnotežna tržišna cena za svaki sat narednog dana, i prihvataju se sve dostavljene ponude proizvođača čija je cena proizvodnje manja od ravnotežne. Na Sl. 4 je ilustrovan dijagram ponuda-potražnja na nemačkom tržištu. Kako obnovljivi izvori energije imaju troškove proizvodnje koji su skoro nula, oni su prvi na dijagramu ponude i što je veća njihova snaga koja je na raspolaganju, dijagram ponude se pomera sve više u desnu stranu, što za posledicu ima niže cene električne energije na tržištu za dan-unapred.

Potražnju za električnom energijom na tržištu ne čini samo potrošnja u jednoj zemlji, već treba uvažiti i uvoz/izvoz energije od i prema susednim zemljama. Međutim sa spajanjem tržišta u zemljama centralne Evrope, dolazi do konvergencije cena električne energije, zbog čega je pri analizi nemačkog tržišta u ovom radu zanemaren efekat uvoza i izvoza [13].

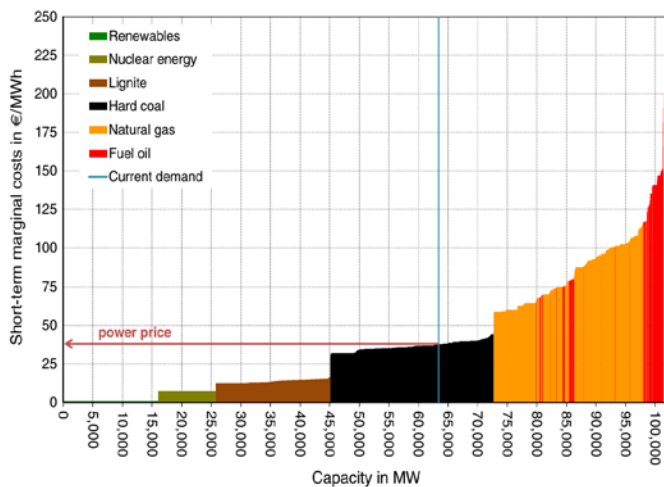
Među evropskim zemljama, Nemačka je preuzela vodeću ulogu u prelasku sa konvencionalnih na obnovljive izvore energije. Vođeni državnim podsticajnim merama, instalisani kapaciteti proizvodnih jedinica u Nemačkoj koje se zasnivaju na energiji vetra i sunca su sve veći. Na Sl. 5 su prikazane snage proizvodnje solarnih i vetro elektrana, cena električne energije na tržištu za dan unapred i rezidualna potrošnja, tj. razlika između snage potrošnje i proizvodnje iz obnovljivih izvora 25. maja 2019 (izvor: [14]). Očigledno je postoji jaka veza između cene električne energije i dijagrama rezidualne potrošnje. Zato je, za prognozu cene električne energije

neophodno uvažiti i uticaj proizvodnje obnovljivih izvora energije. S obzirom na to da je ovaj efekat već dosta izražen na tržištu električne energije u Nemačkoj, ono je poslužilo

kao merodavno za ispitivanje uticaja proizvodnje fotonaponskih sistema na dnevni dijagram cena električne energije.



Slika 3. Proгноza investicionih i eksploatacionih troškova fotonaponskih modula do 2040. godine

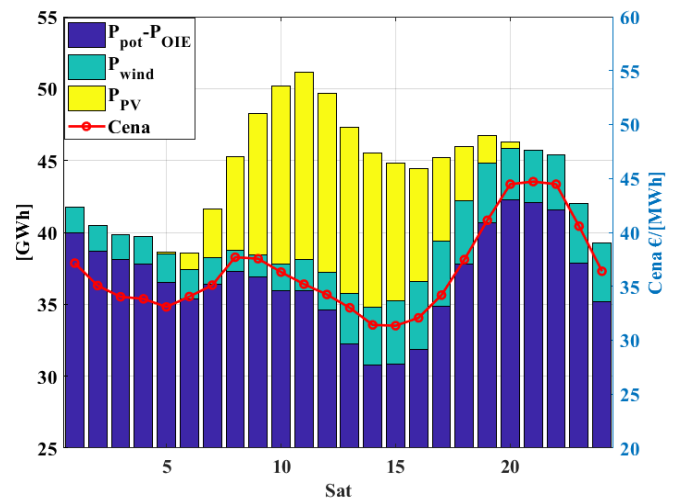


Slika 4. Dijagram ponude i potražnje u Nemačkoj, izvor: [13]

Među evropskim zemljama, Nemačka je preuzela vodeću ulogu u prelasku sa konvencionalnih na obnovljive izvore energije. Vođeni državnim podsticajnim merama, instalisani kapaciteti proizvodnih jedinica u Nemačkoj koje se zasnivaju na energiji vetra i sunca su sve veći. Na Sl. 5. su prikazane snage proizvodnje solarnih i vetro elektrana, cena električne energije na tržištu za dan unapred i rezidualna potrošnja, tj. razlika između snage potrošnje i proizvodnje iz obnovljivih izvora 25. maja 2019 (izvor: [14]). Očigledno je postoji jaka veza između cene električne energije i dijagrama rezidualne potrošnje. Za prognozu cene električne energije zato je neophodno uvažiti i uticaj proizvodnje obnovljivih izvora energije. S obzirom na to da je ovaj efekat već dosta izražen na tržištu električne energije u Nemačkoj, ono je poslužilo kao merodavno za ispitivanje uticaja proizvodnje fotonaponskih sistema na dnevni dijagram cena električne energije.

Uticaj proizvodnje iz vetroelektrana na dnevni dijagram cena

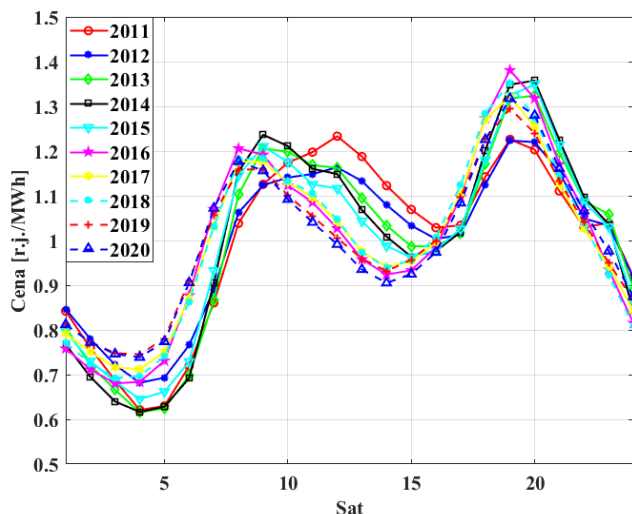
je zanemaren jer dnevne varijacije energije vetra nisu izražene, i dijagram proizvodnje svih vetroelektrana u jednom sistemu bi tokom prosečnog dana bio dosta izravnat.



Slika 5. Proizvodnja solarnih i vetroelektrana, rezidualne potrošnje i cene električne energije u Nemačkoj 25.05.2019.

Sa druge strane, proizvodnja solarnih elektrana je najveća u podne (kod standardno južno orijentisanih panela), a tokom noći je nema uopšte, tako da se smatra da se sve promene u dijagramu cena tokom dana mogu pripisati uticaju solarnih elektrana. Kako bi se zanemario uticaj inflacije i rasta potrošnje, posmatraće se srednji dnevni dijagrami cena i snage potrošnje koji su normalizovani prema srednjim vrednostima za svaku godinu ponaosob i omogućavaju da se prate samo njihovi oblici. Evolucija srednjeg dnevnog dijagrama cena električne energije u Nemačkoj u periodu 2011.-2020. je prikazana na Sl. 6. Na ovoj slici se može uočiti da se u posmatranom periodu dijagram cena najviše promenio između 9 h i 16 h, kada cene imaju trend

smnjenja, što je posledica proizvodnje iz solarnih elektrana tokom ovih sati. Ovo je dovelo i do pomeranja sati sa maksimalnim cenama, te se prvi dnevni lokalni maksimum cene pomerio sa 12 h na 8 h ujutru. Takođe, 2011. godine su oba dnevna pika u ceni bila izjednačena, dok sa sve većom integracijom solarnih panela, večernji maksimum postaje izraženiji.



Slika 6. Normalizovan dijamgram cena električne energije u Nemačkoj u periodu 2011-2020.

Karakteristični dnevni dijamgram proizvodnje električne energije iz solarnih elektrana u Nemačkoj dobijen je u softverskom alatu PVsyst, a ukupna proizvodnja se dobija u skladu sa instalisanim kapacitetima fotonaponskih elektrana tokom poslednje decenije u toj zemlji [15]. Dijagram proizvodnje je takođe normalizovan prema srednjoj snazi potrošnje u Nemačkoj za tu godinu.

IV PROGNOСТИČKI MODEL DIJAGRAMA CENA NA OBJEDINJENOM EVROPSKOM TRŽIŠTU DO 2040. GODINE

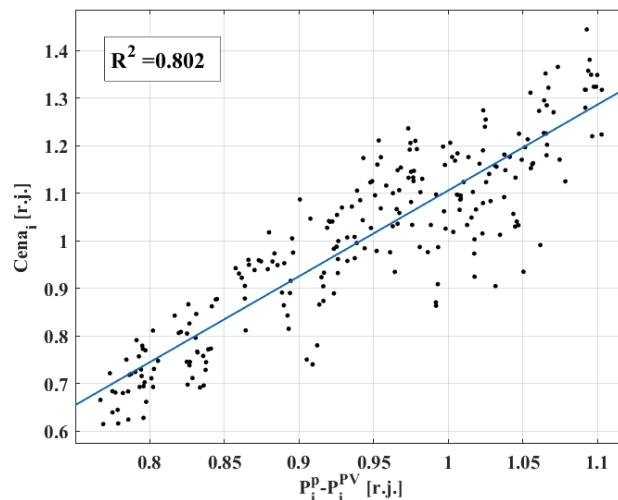
Za matematički model kojim se opisuje zavisnost normalizovane cene električne energije na tržištu za dan unapred i snaga potrošnje i proizvodnje za sat i usvojen je linearni model definisan sledećim izrazom:

$$c_i = \alpha(P_i^p - P_i^{PV}) + \beta \quad (1)$$

Ovim izrazom se normalizovana cena električne energije na tržištu za dan unapred predstavlja preko linearne zavisnosti od razlike snage potrošnje i snage proizvodnje solarnih elektrana. Linernom regresijom se dobijaju vrednosti koeficijenata: $\alpha=1.835$ i $\beta=-0.717$. Grafički prikaz ovog modela prikazan je na Sl. 7. Koeficijent determinacije ovakvog regresionog modela iznosi 0,802 što ukazuju na postojanje čvrste veze između posmatranih veličina.

Za modelovanje efekta solarne proizvodnje na dijamgram cena električne energije na objedinjenom evropskom tržištu, potrebno je naći karakteristični dijamgram proizvodnje solarnih elektrana na nivou cele Evrope. Trenutna raspodela instalisane snage fotonaponskih sistema u evropskim zemljama je takva da najviše instalisanih kapaciteta ima

Nemačka, sa udelom od oko 38% u ukupnoj instalisanoj snazi. Pored Nemačke, lideri u proizvodnji električne energije iz sunca su: Italija, Velika Britanija, Francuska, Španija, Holandija i Belgija, sa zajedničkim učešćem od oko 50%.

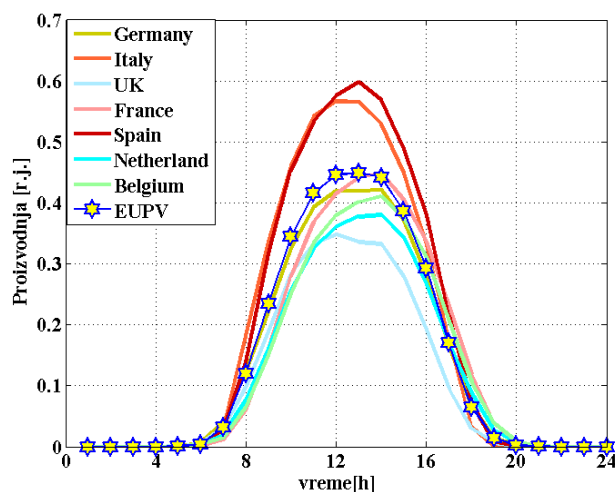


Slika 7. Regresioni model između cena električne energije i rezidualne potrošnje

Karakteristični dnevni dijamgrami proizvodnje električne energije fotonaponskih sistema za pomenute zemlje dobijeni su upotrebom softverskog alata PVsyst, na osnovu kojih je shodno učešću ovih zemalja u ukupnoj instalisanoj snazi formiran karakteristični dijamgram za celu Evropu (Sl.8).

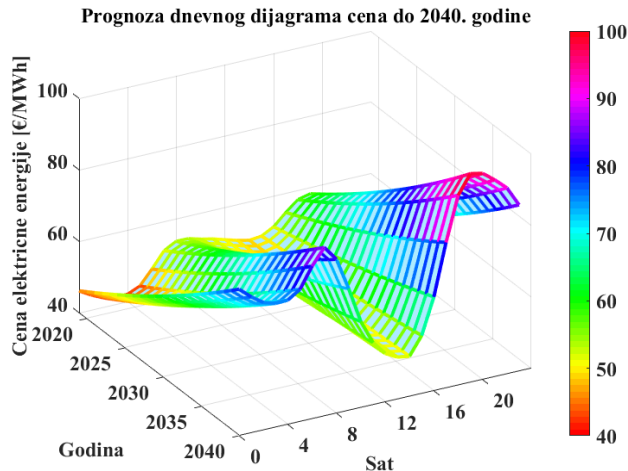
Za prognozu razvoja cena na integrisanom evropskom tržištu, uvažene su sledeće pretpostavke:

1. Dijagram potrošnje čine zbirne snage potrošnje svih evropskih zemalja (izvor: [16]), uz uvažavanje stope rasta potrošnje od 1,1% godišnje [17].
2. U budućnosti se očekuje rast prosečne cene električne energije, tako da će ona 2050. godine biti u opsegu od 65 do 110 €/MWh [18], odnosno srednja stopa rasta cena je oko 2%/god.



Slika 8. Karakteristični dnevni dijamgrami proizvodnje fotonaponskih sistema

Na osnovu prethodno opisane analize i ekstrapolacijom dobijenog matematičkog modela, izvršena je prognoza srednjeg dnevnog dijagrama cena električne energije za objedinjeno evropsko tržište električne energije. Dijagram prognoziranih cena prikazan je na Sl. 9. Sa ovakvim podacima je u nastavku izvršena analiza isplativosti dva varijantna rešenja izgradnje solarne elektrane.

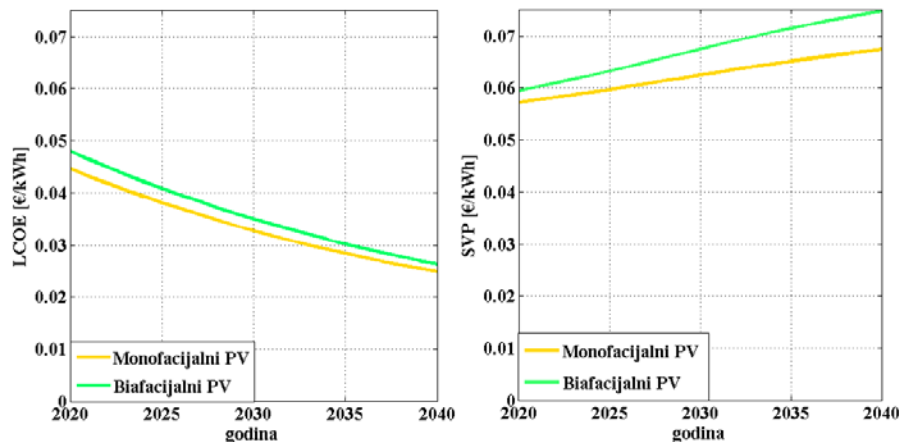


Slika 9. Prognoza dnevnog dijagrama cena do 2040. godine u Evropi

V KOMPARATIVNA ANALIZA ISPLATIVOSTI IZGRADNJE VERTIKALNE I JUŽNO-ORJENTISANE SOLARNE ELEKTRANE NA PEŠTERSKOJ VISORAVNI

Za poređenje isplativosti oba varijantna rešenja uvedeni su sledeći ekonomski pokazatelji. Prvi je *LCOE* (eng. *Levelized Cost of Electricity*) koji ima značenje aktuelizovanog troška proizvodnje jedinične energije iz fotonaponskih sistema:

$$LCOE = \frac{C_I + \sum_{n=1}^N \frac{C_{O\&M}}{(1+i)^n}}{\sum_{n=1}^N \frac{W_n}{(1+i)^n}} \quad [\text{€} / \text{kWh}] \quad (2)$$



Slika 10. Grafički prikaz *LCOE* i *SVP* pokazatelja u zavisnosti od početka eksploatacije elektrane

gde su: C_I ukupna vrednost investicije, $C_{O\&M}$ godišnji troškovi održavanja, W_n proizvedena godišnja energija u n -toj godini eksploatacije, N životni vek elektrane, a i stopa diskontovanja.

Drugi ekonomski pokazatelj je sadašnja vrednost bruto prihoda po jedinici proizvedene energije, *SVP*:

$$SVP = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^{8760} \frac{c_{h,n} P_{PVh,n}}{(1+i)^n}}{\sum_{n=1}^N \frac{W_n}{(1+i)^n}} \quad [\text{€} / \text{kWh}] \quad (3)$$

U prethodnom izrazu, $c_{h,n}$ i $P_{PVh,n}$ su respektivno cena električne energije i proizvodnja fotonaponske elektrane u h -tom satu n -te godine. Na kraju, razlika ova dva pokazatelja predstavlja prosečnu sadašnju vrednost zarade, *SVZ* po proizvedenom kWh.

$$SVZ = SVP - LCOE \quad [\text{€} / \text{kWh}] \quad (4)$$

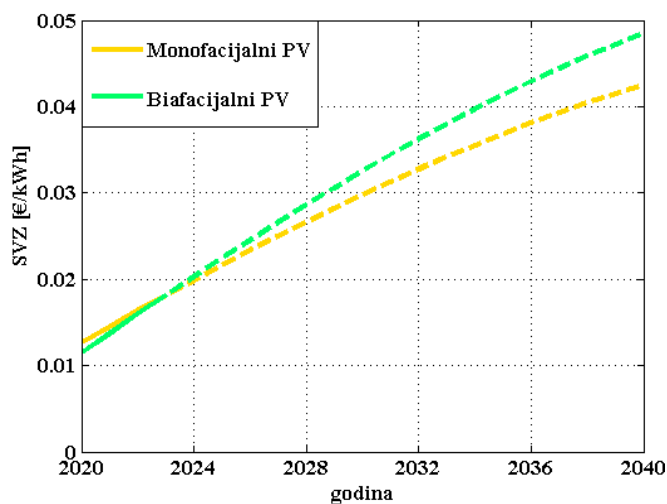
U Tabeli 1. su date vrednosti koje su usvojene za analizu isplativosti izgradnje solarne elektrane na Pešterskoj visoravni. Parametri se odnose na: životni vek (N), stopu diskontovanja (i), cenu zemljišta (c_{zem}), stepen iskorišćenja terena u slučaju elektrane sa monofacijalnim ($u_{monofacijalni}$) i bifacijalnim ($u_{bifacijalni}$) modulima i stopu rasta cene električne energije (p_{cene}). Vrednosti stepena iskorišćenja terena usvojene u analizi su odabrane tako da se optimizuju gubici usled efekta zasenčenja susednih redova.

Tabela 1. Vrednost ulaznih parametara, [10, 18]

Parametar	Vrednost	Parametar	Vrednost
N (god)	22	$u_{monofacijalni}$	0,4
i (%/god)	3	$u_{bifacijalni}$	0,3
c_{zem} (€/ar)	250	p_{cene} (%/god)	2

Opisani ekonomski pokazatelji su proračunati uz uvažavanje prognoziranih dnevnih dijagrama cena električne energije i na osnovu solarnog potencijala na lokaciji Pešterske visoravni, za oba varijantna rešenja. Na Sl. 10 su prikazani rezultati u zavisnosti od godine početka eksploatacije elektrane. Parametar LCOE će nastaviti da se smanjuje, i uvek će biti manji za monofacijalne module. Pokazatelj SVP je veći za bifacijalne module, što je posledica bolje korelisanosti proizvodnje sa dijagramom cena. Za oba rešenja se očekuje rast SVP pokazatelja u budućnosti, pri čemu je za monofacijalne module predviđeni rast manji. Ovo je posledica sve intenzivnijeg smanjenja cena električne energije u periodu najveće proizvodnje monofacijalnih južno orijentisanih modula, za koje se očekuje da će i dalje biti najzastupljenija tehnologija fotonaponskih sistema.

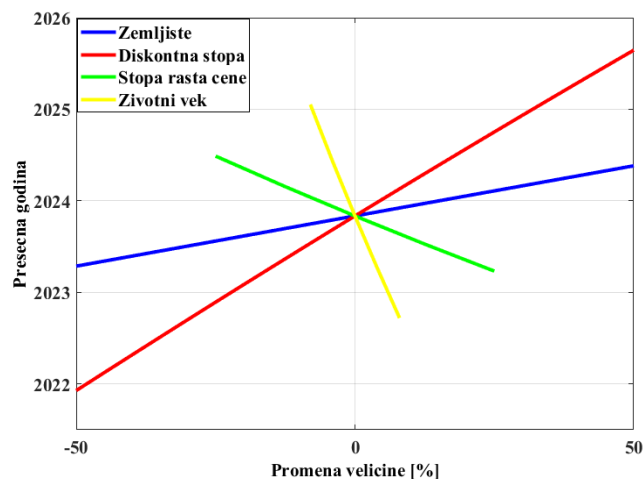
Na Sl. 11. je prikazana vrednost pokazatelja SVZ u zavisnosti od trenutka puštanja elektrane u rad. Rezultati pokazuju da je za oba rešenja ekvivalentna zarada pozitivna, tj. da je investiranje u oba tipa solarne elektrane profitabilno i bez podsticajnih mera. Profitna kriva beleži rast u oba slučaja i trenutno monofacijalni sistemi donose nešto veći profit po jedinici proizvedene energije. Presek dva dijagrama se dobija krajem 2023. godine, što je trenutak kada se isplativost oba predložena varijantna rešenja izjednačava. Od tada je ulaganje u solarnu elektranu sa bifacijalnim modulima profitabilnije. Na Sl. 11. isprekidanim linijama su prikazane krive profita nakon presečne tačke, jer su dobijene pod pretpostavkom da se nastavlja sa integracijom samo monofacijalnih fotonaponskih sistema. Za očekivati je da se u realnosti ove dve isprekidane krive približe, ukoliko bude izražena masovnost izgradnje i vertikalnih bifacijalnih solarnih elektrana.



Slika 11. Sadašnja vrednost dobiti po proizvedenom kWh

Zbog velike neizvesnosti ulaznih veličina kada se radi o dugoročnom planiranju, izvršena je analiza osetljivosti na parametre čije vrednosti se mogu proceniti sa najmanjom pouzdanosću. Cena zemljišta, diskontna stopa, stopa rasta cene električne energije i životni vek projekta su varirani u odnosu na vrednosti iz baznog scenarija.

Na Sl. 12 je prikazana varijacija presečne godine, odnosno trenutak u budućnosti od kog će se više isplatiti investiranje u vertikalne fotonaponske elektrane sa bifacijalnim modulima.



Slika 12. Uticaj promene parametara na vreme preseka

Parametri koji najviše utiču na godinu preseka dve krive profita su životni vek projekta i stopa rasta cene električne energije. Uvažavajući moguće varijacije ovih veličina, trenutak izjednačavanja profita monofacijalne i bifacijalne elektrane se može sa sigurnošću očekivati u periodu od 2022.-2026. godine.

VI ZAKLJUČAK

Sprovedena analiza ukazuje da se kod procene isplativosti investiranja u solarne elektrane mora uvažiti i perspektivni razvoj cena na slobodnom tržištu električne energije. U bliskoj budućnosti može očekivati da vertikalno postavljeni bifacijalni moduli orijentisani u pravcu istok-zapad postanu konkurentni monofacijalnim južno orijentisanim. U uslovima objedinjenog evropskog tržišta, očekuje se da fotonaponske elektrane sa vertikalno postavljenim bifacijalnim modulima postanu isplativije od standardnih solarnih elektrana već u narednih 5 godina. Uticaj kombinacije obeju tehnologija na cenu električne energije biće predmet daljih analiza.

LITERATURA

- [1] Babić, I.M., Đurišić, Ž.R. Impact of daily variation of solar radiation on photovoltaic plants economy at the open market: A case study "Bavanište"(Serbia). *Thermal Science*, Vol 19, Issue 3, pp. 837-844. 2015. <https://doi.org/10.2298/TSCI141025009B>
- [2] Haas, R., Lettner, G., Auer, H., Duic, N. The looming revolution: How photovoltaics will change electricity markets in Europe fundamentally. *Energy*, Vol. 57, pp. 38-43, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.04.034>
- [3] Zervos, A.L.C.M.J., Lins, C., Muth, J. A 100% Renewable Energy Vision for the European Union—Re-thinking 2050. 2010. https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/0005/registered/916500_13720-46_european_renewable_energy_council_en.pdf [pristupljeno 08.02.2020]
- [4] Guerrero-Lemus, R., Vega, R., Kim, T., Kimm, A., Shephard, L.E. Bifacial solar photovoltaics—A technology review. *Renewable and sustainable energy reviews*, Vol. 60, pp. 1533-1549, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.041>

- [5] Khan, M.R., Hanna, A., Sun, X., Alam, M.A. Vertical bifacial solar farms: Physics, design, and global optimization. *Applied energy*, Vol. 206, pp. 240-248, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.042>
- [6] Rodríguez-Gallegos, C.D., Liu, H., Gandhi, O., Singh, J.P., Krishnamurthy, V., Kumar, A., Stein, J.S., Wang, S., Li, L., Reindl, T., Peters, I.M. Global techno-economic performance of bifacial and tracking photovoltaic systems. *Joule*, Vol. 4, Issue 7, pp. 1514-1541, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.05.005>
- [7] Chudinzow, D., Nagel, S., Güsewell, J., Eltrop, L. Vertical bifacial photovoltaics—a complementary technology for the European electricity supply?. *Applied Energy*, Vol. 264, pp.114782, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114782>
- [8] Riedel-Lyngskær, N., Poulsen, P.B., Jakobsen, M.L., Nørgaard, P., Vedde, J. Value of bifacial photovoltaics used with highly reflective ground materials on single-axis trackers and fixed-tilt systems: a Danish case study. *IET Renewable Power Generation*, Vol. 14, Issue 19, pp. 3946-3953, 2021. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2020.0580>
- [9] Mikulović, J., Đurišić, Ž. *Solarna energetika*, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, 2019.
- [10] PVsyst, <https://www.pvsyst.com/> [pristupljeno 18.01.2021]
- [11] Vartiainen, E., Masson, G., Breyer, C. The true competitiveness of solar PV - A European case study, European Technology & Innovation Platform, <https://resources.solarbusinesshub.com/solar-industry-reports/item/the-true-competitiveness-of-solar-pv-a-european-case-study> [pristupljeno 18.01.2020]
- [12] Renewable Power Generation Costs in 2019, International Renewable Energy Agency, IRENA (2020), https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf [pristupljeno 18.01.2021]
- [13] Cludius, J., Hermann, H., Matthes, F.C., Graichen, V. The merit order effect of wind and photovoltaic electricity generation in Germany 2008-2016: Estimation and distributional implications, *Energy economics*, Vol. 44, pp. 302-313, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.04.020>
- [14] SMARD, <https://www.smard.de/home> [pristupljeno 18.01.2020]
- [15] Energy-Charts, <https://energy-charts.info> [pristupljeno 19.01.2020]
- [16] ENTSOE, <https://www.entsoe.eu/> [pristupljeno 19.01.2020]
- [17] Feldhaus, P., Vahlenkamp, T. Transformation of Europe's Power System until 2050 Including Specific Considerations for Germany Electric Power and Natural Gas Practice, 2010. https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/dotcom/client_service/epng/pdfs/transformation_of_europes_power_system.ashx [pristupljeno 19.01.2020]
- [18] World Energy Outlook 2018, IEA, Paris, <https://doi.org/10.1787/weo-2018-en> [pristupljeno 19.01.2020]

AUTORI

Đorđe Lazović, master inž. el., Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, lazovic@gmail.com

Kristina Džodić, master inž. el., Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, kristinadz@gmail.com

dr Željko Đurišić - vanredni profesor, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, djurisic@etf.rs

Određivanje optimalnih nagibnih uglova fotonaponskih panela uz uvažavanje smanjenja direktne komponente iradijacije usled efekata senki u fotonaponskim sistemima

Determining the Optimal Tilt Angles of Photovoltaic Panels Considering the Reduction of Direct Component of Irradiation Due to Shading Effect in Photovoltaic Systems

Nikola Krstić*, Dardan Klimenta**, Dragan Tasić*, Dragana Radosavljević**

* Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet u Nišu

** Univerzitet u Prištini, Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici

Rezime - U ovom radu se razmatra uticaj nagibnog ugla fotonaponskih (PV) panela na ukupnu količinu insolacije na površini panela na mesečnom i godišnjem nivou, sa i bez uticaja senki. Na osnovu dobijenih rezultata određeni su optimalni nagibni uglovi PV panela u cilju ostvarivanja maksimalne insolacije, kao i optimalni nagibni uglovi za generisanje maksimalne električne energije, uzimajući u obzir temperaturu panela. Posebna pažnja u radu je posvećena efektu senki koje stvaraju redovi panela unutar PV sistema i njegovo odražavanje na smanjenje direktne komponente iradijacije i optimalne nagibne uglove PV panela, za različita rastojanja između redova panela. U radu su razmatrana i detaljno opisana dva modela za izračunavanje insolacije PV panela, model vedrog dana i model realnih uslova oblačnosti. Za dobijanje srednje dnevne sunčeve iradijacije na površinu pod nekim nagibnim uglom, pored odgovarajućih ekstrasolarnih iradijacija korišćena su i raspoloživa merenja iradijacije na horizontalnu površinu u toku jedne godine.

Ključne reči - fotonaponski panel (PV panel), nagibni ugao, efekat senki, insolacija, iradijacija

Abstract – This paper considers the influence of the tilt angle of photovoltaic (PV) panels on the total amount of insolation on the surface of these panels on a monthly and annual basis, with and without consideration of shading effect. Based on the obtained results, optimal tilt angles of the PV panels in order to achieve maximum insolation, are determined, as well as the optimal tilt angles for achieving maximum generated electrical energy, taking into account the temperature of the panel. Special attention in the paper is paid to the shading effect created by the panel rows within the PV system and its influence on the reduction of direct component of irradiation and optimal tilt angles for different distances between PV panel rows. In the paper two different models for solar insolation calculation were considered and described in detail, clear day model and real cloud condition model. In order to obtain the average daily solar irradiation on the inclined surface, in addition to appropriate

extraterrestrial irradiances, available measurements of the irradiation on the horizontal surface during one year period were used.

Index terms - photovoltaic panel (PV panel), tilt angle, shading effect, insolation, irradiation

I UVOD

³ Najveća prednost obnovljivih izvora energije, pored toga što su praktično neiscrpni, je u tome što emituju znatno manju količinu štetnih gasova, čime značajno manje ugrožavaju životnu sredinu u odnosu na konvencionalne izvore energije. Energija Sunca predstavlja najveći i najznačajniji obnovljivi izvor energije na zemlji i u osnovi je mnogih drugih obnovljivih izvora (hidroenergija, energija vetra, biomasa) [1]. Upravo iz ovog razloga solarna energetika dobija sve veću pažnju, što rezultira vidnim razvojem i povećanom upotrebom fotonaponskih (PV) sistema poslednjih godina. Količina električne energije koju jedan PV sistem proizvede, srazmerna je količini solarne insolacije koju je primio, što govori o važnosti pravilnog postavljanja PV panela.

Konkretno, u ovom radu je razmatrana količina insolacije koju PV panel primi na mesečnom i godišnjem nivou u zavisnosti od njegovog nagibnog ugla u slučaju vedrog dana [2] i u realnim uslovima oblačnosti. Određivanje optimalnog azimutnog ugla panela u ovom radu nije razmatrano jer se njegove vrednosti obično kreću u uskim granicama oko nule [2]-[3], u skladu sa čime je usvojena orijentacija PV panela prema jugu, odnosno sa nultim azimutnim uglom. Kao i u radovima [4]-[7] i ovde je za određivanje ukupne insolacije PV panela, u realnim uslovima oblačnosti, korišćena srednja dnevna insolacija dobijena na osnovu raspoloživih merenja iradijacije na horizontalnu površinu i odgovarajućih ekstrasolarnih iradijacija. U cilju nalaženja optimalnog nagibnog ugla za generisanje električne energije od strane PV panela uvažavajući temperaturu ćelije, određena je i efektivna insolacija PV panela [2]. Posebna pažnja u radu je posvećena razmatranju efekta senki između redova PV panela na

smanjenje direktne komponente iradijacije, a time i količinu insolacije koju prime PV paneli [8]-[9]. U radu nije obuhvaćen uticaj blizine redova PV panela na difuznu i reflektovanu komponentu iradijacije, čije vrednosti su određene kao za slučaj usamljenog panela. Osenčana površina PV panela je određena na osnovu vrednosti altitudnog i azimutnog ugla sunca u toku dana i geometrije PV sistema. Takođe, i kod uvažavanja efekta senki posebno su analizirani slučajevi ostvarene insolacije pri vedrom danu i u uslovima realne oblačnosti. Na osnovu dobijenih rezultata za solarnu insolaciju određeni su optimalni nagibni uglovi PV panela na mesečnom i godišnjem nivou [10]-[11], za usamljeni panel i pri uvažavanju efekta senki za različita rastojanja između redova PV panela u PV sistemu.

II ODREĐIVANJE DNEVNE INSOLACIJE PV PANELA POSTAVLJENOG POD ODREĐENIM NAGIBNIM UGLOM

Dnevna insolacija PV panela predstavlja energiju koju po jedinici površine panel primi u toku dana od strane sunčevog zračenja. Analitički se određuje kao integral površinske gustine snage sunčevog zračenja (solarne iradijacije) od trenutka izlaska do trenutka zalaska sunca na površinu PV panela. Ukupna solarna iradijacija koja pada na površinu PV panela se sastoji od tri komponente, a to su direktna, difuzna i reflektovana komponenta iradijacije:

$$I_C = I_{BC} + I_{DC} + I_{RC} \quad (1)$$

gde su:

I_C – ukupna iradijacija na površinu PV panela,

I_{BC} – direktna komponenta iradijacije na PV panel,

I_{DC} – difuzna komponenta iradijacije na PV panel,

I_{RC} – reflektovana komponenta iradijacije na PV panel.

Svaka od ove tri komponente iradijacije se može odrediti na osnovu odgovarajućih komponenti iradijacije na horizontalnu površinu na zemlji, pomoću relacija (2), (3) i (4):

$$I_{BC} = \frac{I_{BH}}{\sin\beta} \cos\theta \quad (2)$$

$$I_{DC} = I_{DH} \frac{1+\cos\Sigma}{2} \quad (3)$$

$$I_{RC} = \rho(I_{DH} + I_{BH}) \frac{1-\cos\Sigma}{2} \quad (4)$$

gde su:

I_{BH} – direktna komponenta iradijacije na horizontalnu površinu,

I_{DH} – difuzna komponenta iradijacije na horizontalnu površinu,

Σ – nagibni ugao PV panela,

θ – incidentni (upadni) ugao sunčevog zračenja na površinu PV panela,

β – altitudni ugao sunca,

ρ – koeficijent refleksije tla, za koji će u radu biti uzeta vrednost 0,25.

Iz relacije (4) lako se pokazuje da reflektovana komponenta zračenja ne postoji za horizontalno postavljeni PV panel ($\Sigma = 0$) i da se u tom slučaju ukupna iradijacija sastoji iz direktne i difuzne komponente. Za razliku od reflektovane komponente koja se povećava sa povećanjem vrednosti nagibnog ugla, difuzna komponenta se smanjuje (3). Ovo često dovodi do smanjenja optimalnog nagibnog ugla PV panela u odnosu na

ugao koji bi se dobio uvažavanjem samo direktne komponente iradijacije, odnosno geografske širine na kojoj se panel nalazi.

U cilju određivanja iradijacije na površinu zemlje, bilo da se radi o vedrom danu ili se uvažava prisutnost oblačnosti, potrebno je odrediti ekstraterestričku, odnosno iradijaciju na ulazu u Zemljinu atmosferu. Kako se udaljenost Zemlje od Sunca tokom godine blago menja, jer se Zemlja kreće po eliptičnoj putanji, tako se menja i ekstraterestrička iradijacija, prema formuli:

$$I_0 = G_{SC}(1 + 0,034 \cdot \cos(\frac{360^\circ \cdot n}{365})) \quad (5)$$

gde su:

I_0 – ekstraterestrička iradijacija na površinu normalnu na pravac zračenja,

G_{SC} – solarna konstanta koja iznosi 1367 W/m²,

n – redni broj dana u godini.

A Model vedrog dana

Za slučaj da se radi o vedrom danu, direktna i difuzna komponenta iradijacije na horizontalnu površinu se mogu odrediti samo na osnovu ekstraterestričke iradijacije. Naime, tada nije potreban podatak o ukupnoj iradijaciji na horizontalnu površinu zemlje kojim se obuhvata stepen oblačnosti, koji u vedrom danu nije prisutan. Direktna komponenta iradijacije koja dospe na zemljinu površinu je manja od ekstraterestričke iradijacije date relacijom (5) usled refleksije, rasejanja i apsorpcije dela zračenja u zemljinoj atmosferi i može se odrediti prema Bouguer-Lambertovom zakonu kao:

$$I_B = A e^{-km} \quad (6)$$

gde su:

I_B – direktna komponenta iradijacije na površini zemlje normalnoj na pravac zračenja,

A – fluks ekstraterestričkog zračenja koji uđe u atmosferu,

k – koeficijent atenuacije zračenja u Zemljinoj atmosferi (optička dubina),

m – optička vazдушna masa.

Fluks ekstraterestričkog zračenja i koeficijent atenuacije zavise od rednog broja dana u godini prema sledećim formulama:

$$A = 1160 + 75 \cdot \sin(\frac{360^\circ}{365} \cdot (n - 275)) \quad (7)$$

$$k = 0,174 + 0,035 \cdot \sin(\frac{360^\circ}{365} \cdot (n - 100)) \quad (8)$$

pri čemu optička vazдушna masa menja svoju vrednost u zavisnosti od visine sunca na horizontu, odnosno od altitudnog ugla sunca, prema formuli:

$$m = \frac{1}{\sin\beta} \quad (9)$$

Kada je poznata direktna komponenta iradijacije na površini zemlje normalnoj na pravac zračenja (I_B), moguće je odrediti direktnu i difuznu komponentu iradijacije na horizontalnu površinu zemlje na osnovu izraza (10) i (11):

$$I_{BH} = I_B \cdot \sin\beta \quad (10)$$

$$I_{DH} = I_B \cdot C \quad (11)$$

gde je C difuzna konstanta koja se na osnovu rednog broja dana u godini određuje kao:

$$C = 0,095 + 0,04 \cdot \sin\left(\frac{360^\circ}{365} \cdot (n - 100)\right) \quad (12)$$

Kada su određene direktna i difuzna komponenta iradijacije na horizontalnu površinu zemlje, primenom izraza (1)-(4) se može odrediti ukupna iradijacija PV panela postavljenog pod nekim nagibnim uglom. Integracijom ukupne iradijacije na nivou jednog dana dobija se dnevna insolacija PV panela:

$$I = \frac{24h}{360^\circ} \int_{-\omega_c}^{+\omega_c} I_C(\omega) d\omega \quad (13)$$

gde su:

I – dnevna insolacija PV panela,

ω – časovni ugao sunca u stepenima,

ω_c – časovni ugao zalaska sunca na površinu PV panela.

B Realni uslovi oblačnosti

U realnim uslovima oblačnosti difuzna komponenta iradijacije na horizontalnu površinu zavisi od koeficijenta vedrosti, kojim se uvažava stepen oblačnosti, odnosno propustljivosti atmosfere za sunčevo zračenje. Ovaj koeficijent se određuje kao odnos srednje dnevne iradijacije na horizontalnu površinu zemlje i srednje dnevne ekstraterestričke iradijacije na horizontalnu površinu.

$$K_T = \frac{\bar{I}_H}{\bar{I}_{0H}} \quad (14)$$

gde su:

K_T – koeficijent vedrosti,

$\bar{I}_H$ – srednja dnevna iradijacija na horizontalnu površinu zemlje,

$\bar{I}_{0H}$ – srednja dnevna ekstraterestrička iradijacija na horizontalnu površinu.

Na osnovu koeficijenta vedrosti, difuzna komponenta na horizontalnu površinu, za geografsku širinu na kojoj se postavljaju paneli u ovom radu, može se odrediti kao [4]:

$$\bar{I}_{DH} = \bar{I}_H [0,95 - 0,16K_T + 4,3K_T^2 - 16,6K_T^3 + 12,3K_T^4] \quad (15)$$

Pri čemu se mora napomenuti da u literaturi postoje i drugi oblici formule date izrazom (15), čijim korišćenjem se dobijaju nešto drugačije vrednosti za optimalni nagibni ugao PV panela. Koristeći difuznu komponentu iradijacije, može se odrediti i srednja dnevna direktna komponenta iradijacije na horizontalnu površinu, kao:

$$\bar{I}_{BH} = \bar{I}_H - \bar{I}_{DH} \quad (16)$$

Kao što se može videti iz relacija (14), (15) i (16) za određivanje difuzne i direktne komponente iradijacije na horizontalnu površinu u uslovima oblačnosti potrebno je poznavati ukupnu iradijaciju na horizontalnu površinu. Ovaj podatak često je dostupan u obliku srednje dnevne iradijacije na horizontalnu površinu za reprezentativni dan u mesecu. U skladu sa time u izrazima (14)-(16), kao i u izrazima (1)-(4) je potrebno koristiti srednje dnevne iradijacije. Takođe, usrednjenje altitudnog i incidentnog ugla u relaciji (2) u toku dana, izvršeno je na takav način da odnos srednje dnevne direktne komponente iradijacije na površinu pod nekim nagibnim uglom i horizontalnoj površini

bude jednak odnosu ekvivalentnih srednjih dnevnih ekstraterestričkih iradijacija [4],[5]. Ovaj odnos je poznat kao faktor kosine:

$$\bar{R}_b = \frac{\bar{I}_{0C}}{\bar{I}_{0H}} = \frac{\frac{1}{2\pi} \int_{-\omega_c}^{+\omega_c} I_0 \cos\theta d\omega}{\frac{1}{2\pi} \int_{-\omega_0}^{+\omega_0} I_0 \sin\beta d\omega} \quad (17)$$

gde je:

$\bar{R}_b$ – srednji dnevni faktor kosine,

$\bar{I}_{0C}$ – srednja dnevna ekstraterestrička iradijacija na površinu pod nagibnim uglom,

$\bar{I}_{0H}$ – srednja dnevna ekstraterestrička iradijacija na horizontalnu površinu.

Časovni uglovi zalaska sunca na horizontalnu površinu (ω_0) i površinu pod nagibnim uglom Σ (ω_c), se određuju kao:

$$\omega_0 = \cos^{-1}(-\tan\varphi \cdot \tan\delta) \quad (18)$$

$$\omega_c = \cos^{-1}(-\tan(\varphi - \Sigma) \cdot \tan\delta) \quad (19)$$

Zamenom incidentnog i altitudnog ugla u funkciji časovnog ugla sunca ω i rešavanjem integrala iz relacije (17), za srednji dnevni faktor kosine se dobija:

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\varphi - \Sigma) \cos\delta \sin\omega_c + \omega_c \sin(\varphi - \Sigma) \sin\delta}{\cos\varphi \cos\delta \sin\omega_0 + \omega_0 \sin\varphi \sin\delta} \quad (20)$$

Ugao deklinacije sunca se menja u toku godine i za njegovo izračunavanje u zavisnosti od rednog broja dana u godini n , je korišćen izraz:

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin\left[\frac{360^\circ}{365} (n - 81)\right] \quad (21)$$

Uvažavanjem do sada navedenog i koristeći relacije (1)-(4) za srednju dnevnu iradijaciju PV panela postavljenog pod nagibnim uglom Σ , se dobija:

$$\bar{I}_C = (\bar{I}_H - \bar{I}_{DH}) \bar{R}_b + \bar{I}_{DH} \frac{1 + \cos\Sigma}{2} + \rho \bar{I}_H \frac{1 - \cos\Sigma}{2} \quad (22)$$

Korišćenjem srednje dnevne iradijacije, dnevna insolacija PV panela se jednostavno određuje na osnovu izraza:

$$I = \bar{I}_C \cdot 24h \quad (23)$$

III UTICAJ TEMPERATURE I EFEKTIVNA IRADIJACIJA

U ovom radu je pored određivanja optimalnog nagibnog ugla za dobijanje maksimalne dnevne insolacije, određen i optimalni nagibni ugao za generisanje maksimalne električne energije od strane PV panela u toku dana, uvažavajući temperaturu ćelije panela. Ovo je urađeno iz razloga što postoji mogućnost da ova dva ugla ne budu ista, s obzirom na to da se povećanjem insolacije PV panela povećava i njegova temperatura koja negativno utiče na izlaznu snagu panela. Temperatura ćelije panela se može odrediti na osnovu temperature panela pri normalnim radnim uslovima (temperatura ambijenta 20 °C, brzina vetra 1 m/s i ukupna iradijacija 800 W/m²), ukupne iradijacije PV panela i temperature ambijenta, na osnovu sledeće relacije:

$$T_{PV} = T_{amb} + \left(\frac{T_{NOCT} - 20}{800}\right) \cdot I_C \quad (24)$$

gde su:

T_{PV} – temperatura PV panela,

T_{amb} – temperatura ambijenta,

I_C – ukupna iradijacija PV panela,

T_{NOCT} – temperatura panela pri normalni radnim uslovima (ovu temperaturu definiše proizvođač PV panela i u radu biće korišćena vrednost od 48 °C).

Povećanje temperature PV panela iznad temperature od 25 °C dovodi do linearnog smanjenja snage PV panela, na osnovu relacije:

$$P_{PV} = P_{PV,25^{\circ}\text{C}} \cdot (1 - \alpha_P(T_{PV} - 25^{\circ}\text{C})) \quad (25)$$

gde su:

P_{PV} – snaga PV panela na temperaturi T_{PV} ,

$P_{PV,25^{\circ}\text{C}}$ – snaga PV panela na temperaturi od 25°C,

α_P – koeficijent promene izlazne snage panela sa temperaturom, za koji je u radu usvojena vrednost $\alpha_P = 0,004$.

Kao što je snaga PV panela na 25°C proporcionalna ukupnoj iradijaciji, tako je snaga PV panela na nekoj temperaturi T_{PV} proporcionalna efektivnoj iradijaciji. Shodno tome, relacija (25) se može zapisati preko odgovarajućih iradijacija:

$$I_{Cef} = I_C \cdot (1 - 0,004 \cdot (T_{PV} - 25^{\circ}\text{C})) \quad (26)$$

gde je:

I_{Cef} – efektivna iradijacija PV panela,

I_C – ukupna stvarna iradijacija PV panela.

Uvažavajući korelaciju između snage PV panela i iradijacije na njegovoj površini, može se zaključiti da je problem nalaženja optimalnog ugla za proizvodnju maksimalne električne energije od strane PV panela, identičan problemu nalaženja optimalnog ugla za dobijanje maksimalne efektivne insolacije.

Efektivna insolacija PV panela se dobija vremenskim integraljenjem efektivne iradijacije date izrazom (26).

IV ODREĐIVANJE UTICAJA SENKI NA DNEVNU INSOLACIJU PV PANELA

Dosadašnje razmatranje se odnosilo na usamljeni PV panel na čiju površinu sunčevi zraci nesmetano padaju. Kod fotonaponskih sistema koji sadrže veći broj redova PV panela neizostavno će doći do zasenčavanja jednog dela površine PV panela od strane drugih PV panela u redu ispred. Uticaj tog zasenčavanja, odnosno efekta senki između redova PV panela, na smanjenje direktne komponente iradijacije, a time i insolacije PV panela je razmatran u ovom radu. Ovo je urađeno na način da zasenčana površina PV panela ne dobija direktnu komponentu iradijacije. Uticaj blizine redova PV panela u PV sistemu na njihovu difuznu i reflektovanu komponentu iradijacije u ovom radu nije obuhvaćen, već su one određene kao za slučaj usamljenog panela. Što znači da se u ovom radu izgubljena iradijacija PV panela usled senki može odrediti kao proizvod direktne komponente iradijacije i relativnog udela zasenčane površine u ukupnoj površini PV panela:

$$\Delta I_C = \Delta I_{BC} = I_{BC} \cdot \frac{S_s}{S_0} \quad (27)$$

gde je:

ΔI_C – izgubljena iradijacija PV panela usled senke,

ΔI_{BC} – izgubljena direktna komponenta iradijacije PV panela usled senke,

I_{BC} – direktna komponenta iradijacije PV panela,

S_s – površina PV panela pokrivena senkom,

S_0 – ukupna površina PV panela.

Na osnovu relacije (27), a u skladu sa relacijom (13), moguće je odrediti izgubljenu dnevnu insolaciju pomoću izraza:

$$\Delta I = \frac{24h}{360^{\circ}} \int_{-\omega_c}^{+\omega_c} \Delta I_{BC}(\omega) d\omega \quad (28)$$

U slučaju vedrog dana moguće je izraziti direktnu komponentu iradijacije za bilo koji vremenski trenutak, odnosno časovni ugao sunca u toku dana, pri čemu relacija (28) postaje:

$$\Delta I = \frac{24h}{360^{\circ}} \int_{-\omega_c}^{+\omega_c} I_{BC}(\omega) \frac{S_s(\omega)}{S_0} d\omega \quad (29)$$

Za razliku od modela vedrog dana, kod modela realnih uslova oblačnosti potrebno je poznavati ukupnu iradijaciju na horizontalnu površinu u čiju određivanja direktne komponente iradijacije PV panela. Kako je najčešće poznata samo srednja dnevna iradijacija na horizontalnu površinu, moguće je odrediti samo srednju dnevnu direktnu komponentu iradijacije, pa izraz (28) postaje:

$$\Delta I = \frac{24h}{2\omega_c} \bar{I}_{BC} \int_{-\omega_c}^{+\omega_c} \frac{S_s(\omega)}{S_0} d\omega \quad (30)$$

U cilju određivanja funkcionalne zavisnosti direktne komponente iradijacije od časovnog ugla sunca potrebno je izraziti altitudni i incidentni ugao Sunca u funkciji časovnog ugla sunca. Ove zavisnosti su date sledećim relacijama:

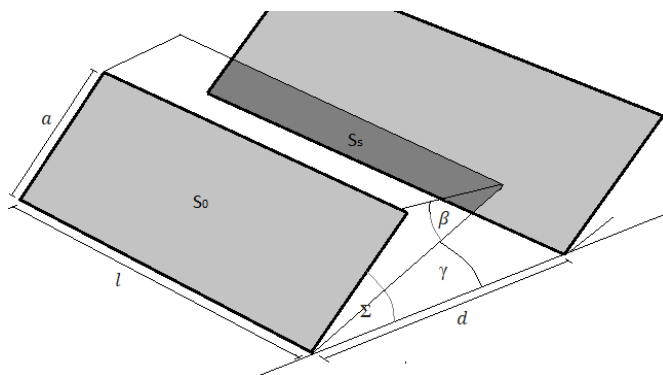
$$\sin\beta = \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin\varphi \cdot \sin\delta \quad (31)$$

$$\cos\theta = \cos(\varphi - \Sigma) \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin(\varphi - \Sigma) \sin\delta \quad (32)$$

Za određivanje površine PV panela pod senkom, pored altitudnog, potrebno je poznavati i zavisnost azimutnog ugla sunca (γ) u funkciji časovnog ugla sunca, koja je data relacijom:

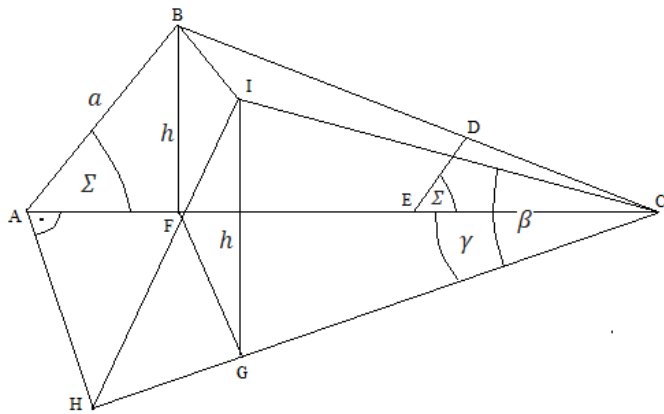
$$\cos\gamma = \frac{\sin\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega - \cos\varphi \cdot \sin\delta}{\cos\beta} \quad (33)$$

Na slici 1 je dat šematski prikaz dela PV sistema sa označenim svim potrebnim veličinama (rastojanjima i uglovima) za određivanje površine PV panela pod senkom.



Slika 1. Šematski prikaz dela PV sistema za određivanje površine PV panela pod senkom

Na slici 1 se mogu uočiti četiri karakteristična trougla na osnovu kojih se određuju rastojanja potrebna za izračunavanje površine PV panela pod senkom, a koji su jasnije prikazani na slici 2 (trouglovi ABC, EDC, GIC i FGC).



Slika 2. Geometrijska reprezentacija dela PV sistema korišćena za izračunavanje površine PV panela pod senkom

Dužina ED predstavlja širinu osenčane površine panela i određuje se na osnovu sličnosti trougla ABC i trougla EDC, uzimajući u obzir da je rastojanje AE jednako rastojanju između dva susedna reda PV panela (d). Rastojanje AC, koje je potrebno da se odredi dužina ED, se na osnovu slike 2, korišćenjem trigonometrijskih funkcija dobija kao:

$$AC = a \cdot \cos \Sigma + a \cdot \frac{\sin \Sigma \cdot \cos \gamma}{\tan \beta} \quad (34)$$

na osnovu čega se dužina ED određuje kao:

$$ED = a \cdot \frac{AC-d}{AC} \quad (35)$$

Potrebno je naglasiti da dužine u izrazima (34) i (35) moraju biti pozitivne veličine.

Sada se površina PV panela pod senkom može odrediti kao:

$$S_s = ED \cdot (l - \frac{AC+d}{2} \cdot |\tan\gamma|) \quad (36)$$

Izraz (36) uzima u obzir da senka, za azimutni ugao Sunca različit od nule, ne kreće od početka PV panela, kao i da njena površina ima oblik trapeza. U slučaju da osenčana površina PV panela ima oblik trougla, a to će se desiti u slučaju da je $AC \cdot |tany| > l$, osenčana površina se računa kao:

$$S_s = \frac{1}{2} \cdot ED \cdot \frac{l}{AC \cdot |\tan \gamma|} \cdot (l - d \cdot |\tan \gamma|) \quad (37)$$

Naravno, izraz (37) ima smisla samo kada je $l > d \cdot |\tan\gamma|$. Takođe, u izrazu (34) funkcije $\cos\gamma$ i $\tan\beta$ imaju pozitivnu vrednosti jer zasenčenu površinu ima smisla računati samo u slučaju kada je azimutni ugao između -90° i 90° , dok je altitudni ugao uvek u prvom kvadrantu.

V PRIKAZ I ANALIZA REZULTATA

Na osnovu postupka i formula iznetih u prethodnim poglavljima, napravljene su funkcije u programskom paketu

Matlab za izračunavanje srednje dnevne insolacije PV panela na mesečnom i godišnjem nivou, kao i funkcije za određivanje optimalnog nagibnog ugla. Optimalni nagibni ugao PV panela za bilo koji razmatrani slučaj je određen kao nagibni ugao za koji se dobija najveća vrednost insolacije PV panela, pri čemu je posmatran opseg nagibnih uglova od 0 do 90° sa korakom od 0,1°. Potrebno je naglasiti da su svi rezultati dobijeni za geografsku širinu grada Niša, odnosno 43.32° severno, a da je kod razmatranja efekta senki za dužinu reda PV panela uzeta vrednost od 10m, a za širinu 1m. Kako bi dobijeni rezultati imali veću praktičnu vrednost i značaj razmatrana su različita rastojanja između redova PV panela prilikom određivanja optimalnih nagibnih uglova uz uvažavanje efekta senki.

U tabeli 1 su date prosečne temperature vazduha za sve mesece u godini na teritoriji grada Niša. Ove temperature su iskorišćene kao ambijentalne temperature prilikom određivanja efektivne insolacije i optimalnog nagibnog ugla PV panela uz uvažavanje temperature panela, za oba modela.

Tabela 1. Prosečna mesečna temperatura vazduha za grad Niš

mesec	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Srednja temper. (°C)	-0,2	2,5	6,7	11,9	16,6	19,5
mesec	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Srednja temper. (°C)	21,3	21,1	17,2	11,9	6,4	1,7

Tabela 2 sadrži merne podatke o srednjoj dnevnoj iradijaciji na horizontalnu površinu na mesečnom nivou, za grad Niš.

Tabela 2. Srednja dnevna iradijacija na horizontalnu površinu za područje grada Niša

mesec	1.	2.	3.	4.	5.	6.
$I_{Hsr}(\frac{W}{m^2})$	72,9	108,3	143,7	208,3	254,1	264,6
mesec	7.	8.	9.	10.	11.	12.
$I_{Hsr}(\frac{W}{m^2})$	279,2	256,3	222,9	143,7	77,1	62,5

Tabele 3 i 4, sadrže optimalne nagibne uglove PV panela na mesečnom i godišnjem nivou i odgovarajuće maksimalne srednje dnevne insolacije, za model vedrog dana i model realnih uslova oblačnosti, respektivno. Ovo je urađeno uz uvažavanje temperature PV panela (5 i 6 kolona) i bez uvažavanja temperature PV panela (3 i 4 kolona). U drugoj koloni ove tabele, u cilju upoređivanja rezultata, data je srednja dnevna insolacija horizontalno postavljenog PV panela.

Tabela 3. Optimalni nagibni uglovi i odgovarajuće maksimalne srednje dnevne insolacije za model vedrog dana

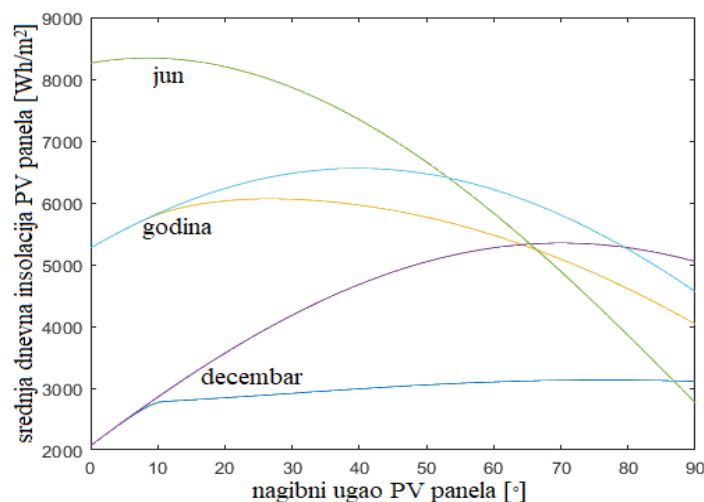
mesec u god.	$I_{sr} \left(\frac{Wh}{m^2} \right),$ $\Sigma=0^\circ$	Optimal. ugao ($^\circ$)	$I_{sr} \left(\frac{Wh}{m^2} \right),$ $\Sigma = \Sigma_{op}$	Optimal. ugao ($^\circ$)	$I_{sre} \left(\frac{Wh}{m^2} \right),$ $\Sigma = \Sigma_{op}$
1.	2404	68,1	5745	68,1	6131
2.	3515	60,5	6536	60,5	6875
3.	5122	47,5	7168	47,5	7393
4	6743	30 4	7638	30 4	7697

5.	7846	15,4	8093	15,4	7983
6.	8262	8,6	8343	8,6	8120
7.	7988	11,7	8133	11,7	7867
8.	7049	24,2	7608	24,2	7389
9.	5585	41,0	7071	41,0	6999
10.	3932	56,0	6461	56,0	6555
11.	2625	65,9	5737	65,9	5971
12.	2071	70,0	5348	70,0	5680
$\bar{\Sigma}$	5270	39,7	6557	40,5	6632

Tabela 4. Optimalni nagibni uglovi i odgovarajuće srednje dnevne insolacije u realnim uslovima oblačnosti

Mesec u god.	$I_{sr} \left(\frac{Wh}{m^2} \right), \Sigma = 0^\circ$	Optimal. ugao ($^\circ$)	$I_{sr} \left(\frac{Wh}{m^2} \right), \Sigma = \Sigma_{op}$	Optimal. ugao ($^\circ$)	$I_{sre} \left(\frac{Wh}{m^2} \right), \Sigma = \Sigma_{op}$
1.	1750	57,4	2591	57,4	2813
2.	2600	51,8	3562	51,8	3806
3.	3450	33,8	3846	33,8	4041
4.	5000	21,6	5226	21,6	5340
5.	6100	8,7	6137	8,7	6123
6.	6350	0,7	6351	0,7	6255
7.	6700	5,3	6716	5,3	6552
8.	6150	20,0	6414	20,0	6274
9.	5350	40,3	6628	40,2	6576
10.	3450	54,6	5208	54,5	5317
11.	1850	53,9	2561	53,9	2713
12.	1500	57,6	2203	57,6	2380
$\bar{\Sigma}$	4195	30,8	4602	31,2	4665

Na slikama 3 i 4 su prikazane srednje dnevne insolacije PV panela sa i bez uvažavanja efekta senki, za period visoke iradijacije (jun), niske iradijacije (decembar) i na nivou godine, u zavisnosti od nagibnog ugla PV panela, za model vedrog dana i u realnim uslovima oblačnosti, respektivno. Pri čemu je ovom prilikom kod uvažavanja senki za rastojanje između redova PV panela korišćena vrednost od 1,4 m.

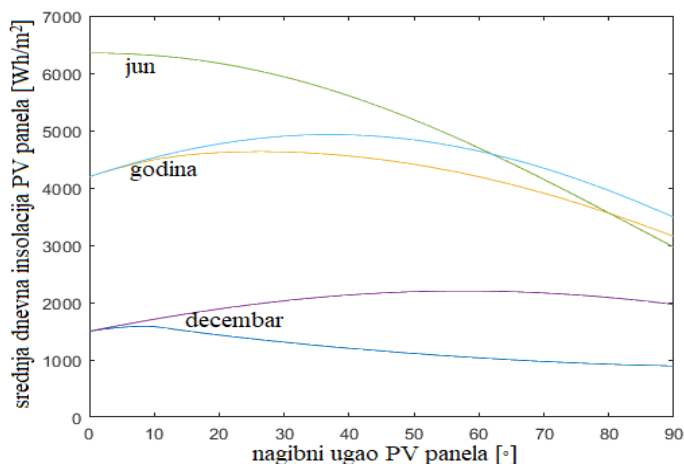


Slika 3. Srednje dnevne insolacije PV panela sa i bez uvažavanja efekta senki, za različite nagibne uglove - model vedrog dana

Na osnovu slika 3 i 4 se može zaključiti da je efekat senki

izraženiji u zimskom periodu, kada je sunce niže na nebu, a senka koju bacaju PV paneli veća, nego leti kada je sunce više.

Za uzeto rastojanje između redova panela od 1,4 m efekat senki praktično ne postoji za mesec jun, nezavisno od korišćenog modela.



Slika 4. Srednje dnevne insolacije PV panela sa i bez uvažavanja efekta senki, za različite nagibne uglove - realni uslovi oblačnosti

Tabela 5 sadrži vrednosti srednjih dnevnih insolacija uz uvažavanje efekta senki za model vedrog dana i za realne uslove oblačnosti, pri rastojanju između redova panela od 1,4 m.

Tabela 5. Srednje dnevne insolacije PV panela uz uvažavanje efekta senki za model vedrog dana i (realne uslove oblačnosti), d=1,4 m

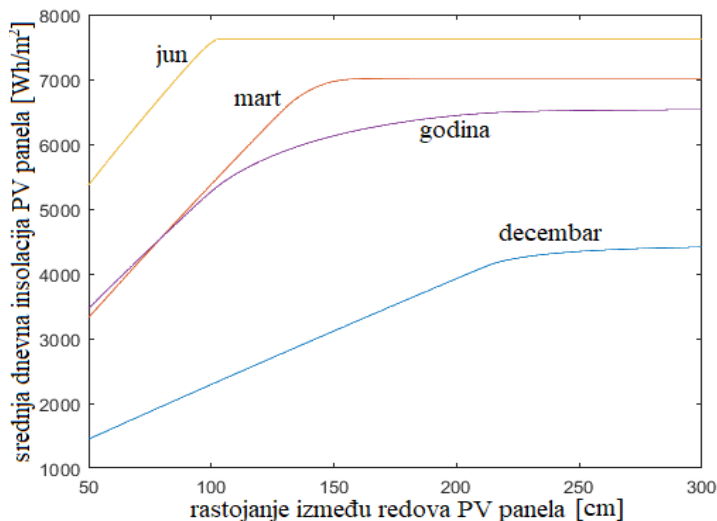
mesec u god.	$I_{sr} \left(\frac{Wh}{m^2} \right), \Sigma = 15^\circ$	$I_{sr} \left(\frac{Wh}{m^2} \right), \Sigma = 30^\circ$	$I_{sr} \left(\frac{Wh}{m^2} \right), \Sigma = 45^\circ$
1.	3278 (1833)	3389 (1661)	3502 (1526)
2.	4672 (2917)	4881 (2823)	4991 (2723)
3.	6180 (3712)	6761 (3756)	6882 (3634)
4.	7405 (5205)	7637 (5191)	7428 (4958)
5.	8093 (6116)	7876 (5896)	7229 (5444)
6.	8298 (6255)	7865 (5937)	7021 (5407)
7.	8122 (6662)	7794 (6362)	7050 (5807)
8.	7527 (6397)	7576 (6347)	7197 (6000)
9.	6457 (6111)	6953 (6528)	7011 (6555)
10.	5025 (4137)	5344 (4275)	5425 (4294)
11.	4498 (1946)	4641 (1768)	4776 (1626)
12.	2811 (1505)	2918 (1309)	3023 (1156)
$\bar{\Sigma}$	5955 (4407)	6056 (4328)	5878 (4099)

Slike 5 i 6 prikazuju srednje dnevne insolacije PV panela u funkciji rastojanja između njihovih redova, za reprezentativne mesece u godini (jun, mart i decembar) i na godišnjem nivou, kod modela vedrog dana i realnim uslovima oblačnosti, respektivno.

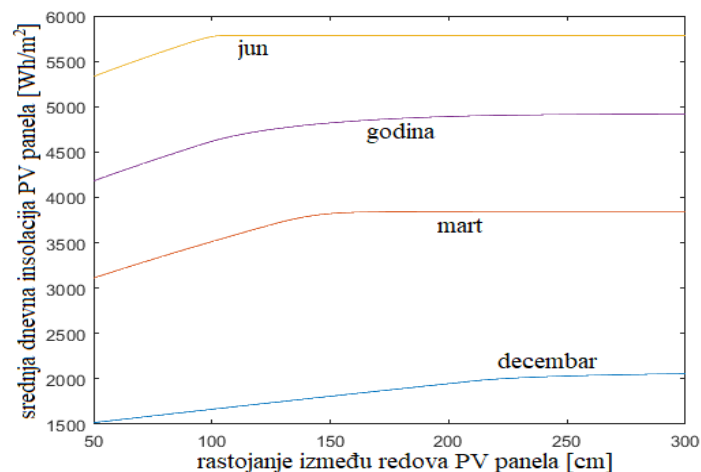
Na osnovu slika 5 i 6 može se zaključiti da se efekat senki između redova PV panela, odnosno da se smanjenje direktne komponente iradijacije usled senki može zanemariti ukoliko rastojanje između redova panela bude veće od 2,5m. Ovo

minimalno potrebno rastojanje je manje u letnjim, a veće u zimskim mesecima. Kako bi rezultati prilikom uvažavanja senki imali praktični značaj uzeta su rastojanja koja odgovaraju kolenu godišnje karakteristike (od 1,2m do 2,3m), i koja se mogu pojaviti u realnim fotonaponskim sistemima.

Tabele 6 i 7 sadrže maksimalne srednje dnevne insolacije PV panela uz uvažavanje efekta senki, pri različitim rastojanjima između redova panela, za model vedrog dana i u realnim uslovima oblačnosti, respektivno. Ove insolacije su dobijene za optimalne vrednosti nagibnog ugla.



Slika 5. Srednje dnevne insolacije PV panela uz uvažavanje efekta senki, za različita rastojanja između redova panela pri vedrom danu



Slika 6. Srednje dnevne insolacije PV panela uz uvažavanje efekta senki, za različita rastojanja između redova panela – realni uslovi oblačnosti

Na osnovu slika 5 i 6 može se zaključiti da se efekat senki između redova PV panela, odnosno da se smanjenje direktne komponente iradijacije usled senki može zanemariti ukoliko rastojanje između redova panela bude veće od 2,5 m. Ovo minimalno potrebno rastojanje je manje u letnjim, a veće u zimskim mesecima. Kako bi rezultati prilikom uvažavanja senki

imali praktični značaj uzeta su rastojanja koja odgovaraju kolenu godišnje karakteristike (od 1,2 m do 2,3 m), i koja se mogu pojaviti u realnim fotonaponskim sistemima.

Tabele 6 i 7 sadrže maksimalne srednje dnevne insolacije PV panela uz uvažavanje efekta senki, pri različitim rastojanjima između redova panela, za model vedrog dana i u realnim uslovima oblačnosti, respektivno. Ove insolacije su dobijene za optimalne vrednosti nagibnog ugla.

Tabela 6. Maksimalne srednje dnevne insolacije PV panela za različita rastojanja između njihovih redova za model vedrog dana

mesec u god.	$I_{sr} \left(\frac{Wh}{m^2} \right)$ d=1,2m	$I_{sr} \left(\frac{Wh}{m^2} \right)$ d=1,4m	$I_{sr} \left(\frac{Wh}{m^2} \right)$ d=1,6m	$I_{sr} \left(\frac{Wh}{m^2} \right)$ d=1,9m	$I_{sr} \left(\frac{Wh}{m^2} \right)$ d=2,3m
1.	3227	3615	4000	4569	5252
2.	4513	5074	5625	6235	6469
3.	6226	6882	7136	7166	7168
4.	7584	7638	7638	7638	7638
5.	8093	8093	8093	8093	8093
6.	8343	8343	8343	8343	8343
7.	8133	8133	8133	8133	8133
8.	7608	7608	7608	7608	7608
9.	6576	7032	7070	7071	7071
10.	4867	5463	5990	6367	6442
11.	3420	3830	4235	4835	5435
12.	2804	3133	3460	3945	4581
$\bar{\Sigma}$	5805	6064	6236	6404	6513

Tabela 7. Maksimalne srednje dnevne insolacije PV panela za različita rastojanja između njihovih redova – realni uslovi oblačnosti

mesec u god.	$I_{sr} \left(\frac{Wh}{m^2} \right)$ d=1,2m	$I_{sr} \left(\frac{Wh}{m^2} \right)$ d=1,4m	$I_{sr} \left(\frac{Wh}{m^2} \right)$ d=1,6m	$I_{sr} \left(\frac{Wh}{m^2} \right)$ d=1,9m	$I_{sr} \left(\frac{Wh}{m^2} \right)$ d=2,3m
1.	1800	1885	1978	2120	2293
2.	2739	2917	3095	3321	3460
3.	3633	3772	3827	3843	3846
4.	5223	5226	5226	5226	5226
5.	6137	6137	6137	6137	6137
6.	6351	6351	6351	6351	6351
7.	6716	6716	6716	6716	6716
8.	6414	6414	6414	6414	6414
9.	6226	6583	6627	6628	6628
10.	3882	4294	4678	5016	5139
11.	1901	1984	2073	2204	2350
12.	1528	1587	1652	1754	1885
$\bar{\Sigma}$	4315	4408	4472	4532	4566

Tabele 8 i 9 sadrže vrednosti optimalnih nagibnih uglova PV panela uz uvažavanje efekta senki, pri različitim rastojanjima između PV panela, za model vedrog dana i u realnim uslovima oblačnosti, respektivno.

Tabela 8. Optimalni nagibni uglovi PV panela, za različita rastojanja između njihovih redova za model vedrog dana

mesec u god.	Optimal. ugao(°) d=1,2m	Optimal. ugao(°) d=1,4m	Optimal. ugao(°) d=1,6m	Optimal. ugao(°) d=1,9m	Optimal. ugao(°) d=2,3m
1.	76,1	76,1	76,1	76,1	68,4
2.	71,1	71,1	67,4	59,4	59,9
3.	55,0	45,5	46,7	47,4	47,5
4.	27,8	30,4	30,4	30,4	30,4
5.	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4
6.	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
7.	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7
8.	24,1	24,2	24,2	24,2	24,2
9.	39,5	39,6	41,0	41,0	41,0
10.	63,0	63,0	54,7	54,8	55,7
11.	72,6	72,6	72,6	71,4	64,8
12.	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4
$\bar{x}$	22,4	26,8	29,9	33,3	37,6

Tabela 9. Optimalni nagibni uglovi PV panela, za različita rastojanja između njihovih redova – realni uslovi oblačnosti

mesec u god.	Optimal. ugao(°) d=1,2m	Optimal. ugao(°) d=1,4m	Optimal. ugao(°) d=1,6m	Optimal. ugao(°) d=1,9m	Optimal. ugao(°) d=2,3m
1.	4,6	10,1	15,9	25,6	40,2
2.	7,1	15,6	25,4	40,5	48,6
3.	12,1	24,3	31,8	33,4	33,8
4.	20,0	21,6	21,6	21,6	21,6
5.	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7
6.	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
7.	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3
8.	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
9.	36,4	38,5	40,2	40,3	40,3
10.	45,1	45,1	47,2	51,9	53,6
11.	4,9	10,7	17,0	27,3	41,1
12.	3,7	8,5	13,6	21,8	33,8
$\bar{x}$	10,7	16,5	20,4	25,2	28,5

Na osnovu dobijenih rezultata se može zaključiti da se optimalni nagibni ugao PV panela smanjuje kako se povećava ugao sunca nad horizontom u solarno podne, odnosno najveći je zimi, a najmanji leti. Ovo važi i za model vedrog dana i za realne uslove oblačnosti, pri čemu se kod uvažavanja oblačnosti povećava difuzna komponenta iradijacije, pa je u tim slučajevima optimalni nagibni ugao panela kako na mesečnom tako i na godišnjem nivou manji, nezavisno od toga da li je efekat senki uvažen ili ne. Takođe, prilikom smanjenja rastojanja između redova PV panela vrednost optimalnog nagibnog ugla za period niske iradijacije raste kod modela vedrog dana, dok u slučaju realnih uslova oblačnosti ona opada.

Tabele 3 i 4 pokazuju da se optimalni nagibni ugao PV panela zanemarljivo menja i u većini slučajeva ostaje isti pri uvažavanju temperature panela, kako za slučaj vedrog dana tako i u realnim uslovima oblačnosti.

Upoređivanjem rezultata dobijenih sa i bez uvažavanja efekta senki može se konstatovati, da je uticaj senki na smanjenje ukupne insolacije PV panela značajniji za slučaj vedrog dana,

nego u realnim uslovima oblačnosti, što je i očekivano s obzirom na značajno veću direktnu komponentu iradijacije u tom slučaju. Konkretno, za korišćene dimenzije PV panela i razmak između njihovih redova od 1,2 m (najmanje razmatrano rastojanje), usled zasenčenja delova površine PV panela dolazi do smanjenja maksimalne srednje dnevne insolacije na godišnjem nivou od 11,47% za slučaj vedrog dana i 6,24% za realne uslove oblačnosti. Efekat senki takođe ima uticaj i na smanjenje optimalnog nagibnog ugla PV panela na godišnjem nivou, pa tako za rastojanje od 1,2 m između redova panela, on sa 39,7° pada na 22,4° za slučaj vedrog dana, i sa 30,8° na 10,7° za realne uslove oblačnosti. Naravno, potrebno je naglasiti da efekat senki u velikoj meri zavisi od odnosa rastojanja između redova PV panela i njihovih dimenzija, kao i od posmatrane geografske širine.

VI ZAKLJUČAK

U ovom radu je predstavljen metod za određivanje srednje dnevne insolacije PV panela, u slučaju usamljenog panela i uz uvažavanje efekta senki u fotonaponskim sistemima, korišćenjem modela vedrog dana i modela realnih uslova oblačnosti. Dobijene vrednosti srednjih dnevnih insolacija PV panela su iskorišćene za određivanje optimalnih nagibnih uglova PV panela na mesečnom i godišnjem nivou, za slučaj vedrog dana i u realnim uslovima oblačnosti, sa i bez uvažavanja efekta senki. Analizom dobijenih rezultata zaključilo se da uticaj senki između redova PV panela ima veći značaj pri vedrom danu, kada za rastojanje između panela od 1,4m smanjuje ukupnu godišnju insolaciju PV panela za približno 11,5%, skoro duplo više nego u realnim uslovima oblačnosti. Pored smanjenja ukupne insolacije, efekat senki smanjuje i optimalni nagibni ugao PV panela na nivou godine. Ovo smanjenje optimalnog nagibnog ugla na godišnjem nivou iznosi 17,3°, za veđar dan i 20,1°, za realne uslove oblačnosti. Takođe, ustanovljeno je da se efekat senki, za korišćenu konfiguraciju PV sistema i zadatu geografsku širinu može zanemariti ukoliko je rastojanje između redova PV panela veće od 2,5 m.

LITERATURA

- [1] Mikulović, J., Đurišić, Ž. *Solarna energetika*, Beograd, Akademska misao, 2019.
- [2] Mikulaović, J., Đurišić, Ž., Kostić, R. Određivanje optimalnih nagibnih uglova fotonaponskih panela, in Proc. *INFOTEH-JAHORINA*, Vol 12, 2013. <https://infoteh.etf.ues.rs.ba/zbornik/2013/radovi/ENS-3/ENS-3-7.pdf>
- [3] Stanić, M., Vasilić, Ž., Prodanović, D. Uticaj nagiba i orijentacije površine na proračun referentne evapotranspiracije primenom Penman-Monteith metode, *Vodoprivreda*, Vol. 43, No. 4-6, pp. 165-173, 2011.
- [4] Berisha, X., Zeqiri, A., Meha, D. Solar Radiation-the Estimation of the Optimum Tilt Angles for South-facing Surfaces in Pristina, 2017. <https://pdfs.semanticscholar.org/9914/3ef4c4d857de5b822092bbb965213fd47469.pdf>, DOI: 10.20944/preprints201708.0010v1
- [5] Rehman, N. Ur., Siddiqui, M. A. Development of simulation tool for finding optimum tilt angles for solar collectors, in Proc. *45th IEP Convention*, 2012. <http://iepkarachi.org.pk/pdf/Development%20of%20Simulation%20Tool%20for%20Finding%20Optimum%20Tilt%20Angles%20for%20Solar%20Collectors.pdf>
- [6] Handoyo, E., Ichani, D., Probovo. The Optimal Tilt Angle of a Sollar Collector, *Energy procedia*, Vol. 32, pp. 166-175, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.022>
- [7] Saffarian, F., Nazari, M.E. Optimal Tilt Angle and Orientation for Solar Collectors in Iran, in Proc. *IEEE 10th International Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives (SDEMPED)*, 2015. <https://doi.org/10.1109/demped.2015.7303735>

- [8] Malara, A., Marino, C., Nucara, A., Pietrafesa, M., Scopelliti, F., Strega, G. Energetic and Economic Analysis of Shading Effects on PV Panels Energy Production, *International Journal of Heat and Technology*, pp. 465-472, 2016. <https://doi.org/10.18280/ijht.340316>
- [9] Dorobantu, L., Popescu, M.O., Popescu, Cl., Craciunescu, A. Simulating shadow effect on PV panels, *Renewable Energy and Power Quality Journal*, pp. 1064-1068, 2012. <https://doi.org/10.24084/repqj10.588>
- [10] Pavlović, T., Milosavljević, D., Radivojević, A., Pavlović, M. Comparison and assessment of electricity generation capacity for different types of PV solar plants of 1MW in Soko Banja, Serbia, *Thermal Science*, Vol. 15, Issue 3, pp. 605-618, 2011. <https://doi.org/10.2298/TSCI110322065P>
- [11] Matić-Kekić, S. Optimalan ugao nagiba solarnog kolektora u odnosu na vertikalu, *Letopis naučnih radova*, Vol, 30, pp. 161-167, 2006.

AUTORI

Nikola Krstić - asistent, Elektronski fakultet u Nišu,
nikola.krstic@elfak.ni.ac.rs

dr Dardan Klimenta - redovni profesor, Fakultet tehničkih
nauka u Kosovskoj Mitrovici, dardan.klimenta@pr.ac.rs

dr Dragan Tasić – redovni profesor, Elektronski Fakultet u
Nišu, dragan.tasic@elfak.ni.ac.rs

dr Dragana Radosavljević - docent, Fakultet tehničkih nauka u
Kosovskoj Mitrovici, dragana.radosavljevic@pr.ac.rs

Poboljšanje predikcije proizvodnje vetroelektrana u Južnom Banatu kombinovanjem pojedinačnih prognoza pomoću modela veštačke inteligencije

Improving the Prediction of Wind Farm Production in South Banat by Combining Individual Forecasts Using an Artificial Intelligence Model

Milica Koprivica*, Željko Đurišić**

* Elektromreža Srbije, Beograd, Srbija

** Elektrotehnički fakultet, Beograd, Srbija

Rezime - Predikcija proizvodnje vetroelektrana za dan unapred je od ključnog značaja za optimalno angažovanje agregata i minimizaciju troškova balansiranja snaga u elektroenergetskom sistemu. U regionu Južnog Banata je izgrađeno nekoliko vetroelektrana koje koriste različite modele za predikciju proizvodnje. Osnovna ideja u ovom radu je da se, primenom modela veštačke inteligencije, kombinuju predikcije proizvodnje svake od vetroelektrana sa predikcijama proizvodnje ostalih vetroelektrana u regionu. Ovakav pristup ima fizičko opravdanje s obzirom da se sve vetroelektrane nalaze u regionu sa istom klimatologijom vetra.

S obzirom da je za planiranje balansnih kapaciteta od interesa ukupna greška u proceni proizvodnje za dan unapred, u ovom radu je analizirana mogućnost minimizacije kumulativne greške kroz primenu algoritama veštačke inteligencije koji kombinuju prognoze pojedinačnih modela vetroelektrana i na taj način vrše korekciju u proceni zbirne proizvodnje svih vetroelektrana u ovom regionu. Obuka modela neuralne mreže je vršena na osnovu prognoza pojedinačnih vetroelektrana za dan unapred i ostvarenja. Za obuku mreža su korišćeni jednogodišnji setovi prognoziranih i ostvarenih proizvodnja vetroelektrana koje su bile u pogonu u 2020. godini. Razvijeni model predikcije kumulativne proizvodnje vetroelektrana u Južnom Banatu omogućava operatoru prenosnog sistema da vrši naknadnu obradu pojedinačnih predikcija proizvodnje vetroelektrana u cilju smanjenja ukupne greške u proceni kumulativne proizvodnje.

Ključne reči - vetroelektrane, predikcija proizvodnje, veštačka inteligencija

Abstract - The prediction of day-ahead wind farm production is crucial for optimal unit engagement and minimizing power balancing costs in the power system. Several wind farms which use different models to predict the production have been built in the South Banat region. The basic idea in this paper is to combine the production predictions of each of the wind farms with the production predictions of other wind farms in the region using the artificial intelligence model. This approach has a

physical justification given that all wind farms are located in a region with the same wind climatology.

Since the total error in estimating production for the day ahead is of interest for planning balancing capacities, this paper analyses the possibility of minimizing cumulative error through the application of artificial intelligence algorithms. The algorithms combine forecasts of individual wind farm models and thus make corrections in estimating the total production of wind farms in this region. The training of the neural network model was performed on the basis of forecasts of individual wind farms for the day ahead and performance. One-year sets of forecasted and realized wind farm productions that were in operation in 2020 were used to train the networks. The developed model of prediction of cumulative wind farm production in South Banat enables the transmission system operator to perform subsequent processing of individual predictions of wind farm production in order to reduce the total error in the assessment of cumulative production.

Index Terms - wind farms, production prediction, artificial intelligence

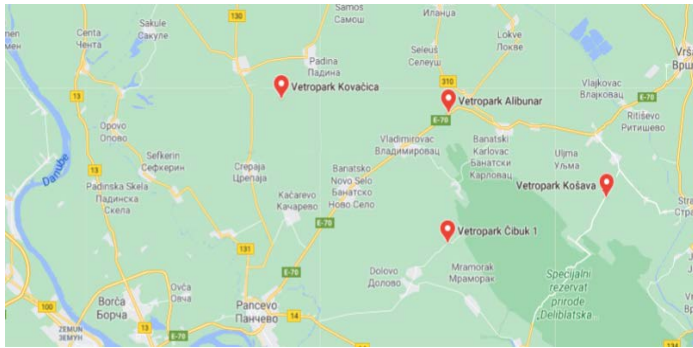
I UVOD

Stalan i rapidan razvoj vetroenergetike uočen je poslednjih decenija. Energija vetra, kao čist i obnovljiv oblik energije, igra bitnu ulogu u ublažavanju klimatskih promena. Prema direktivi Evropske asocijacije operatora prenosnih sistema (eng. *ENTSO-e – European Network of Transmission System Operators for electricity*) cilj za 2020. godinu je bio 20% učešća obnovljivih izvora energije u ukupnoj proizvodnji. Ciljevi će se iz godine u godinu povećavati, kako bi se smanjio negativan uticaj efekta staklene bašte na okolinu. Uskoro se očekuje i naplata i ograničavanje proizvodnje ugljen-dioksida - CO₂, a samim tim će se javiti potreba za prelaskom sa fosilnih goriva na čistu energiju.

Pored prednosti koje vetar ima kao čist i besplatan energent, snaga vetra ima i mane - nekontrolabilnost i intermitentnost. Sa

velikim izazovima se suočavaju operatori prenosnih sistema. Jedan od njih je predikcija proizvodnje iz varijabilnih obnovljivih izvora energije.

Na prenosnu mrežu Republike Srbije, do danas, su priključene četiri vetroelektrane instalisane snage oko 374 MW Osnovni podaci o vetroelektranama nalaze se u Tabeli 1.



Slika 1. Raspored vetroelektrana u Južnom Banatu

Tabela 1. Osnovni podaci o vetroelektranama

Vetroelektrana	Pi [MW]	Broj VT	Model	Visina stuba [m]
VE Čibuk 1	158,46	57	GE2.75-120	110
VE Kovačica	104,5	38	GE2.75-120	110
VE Alibunar	42	21	Senvion MM100	100
VE Košava	69	20	Vestas V126 – 3.45	117

Elektromreža Srbije, koja je operator prenosnog sistema, zahteva od proizvođača da dostavljaju prognoziranu proizvodnju za dan unapred sa satnom rezolucijom, kao i replan prognoze proizvodnje tri puta dnevno (unutardnevna prognoza).

Pored prognoza proizvodnje vetroelektrana, Elektromreža Srbije je nabavila i uslugu prognoze proizvodnje od danske kompanije ENFOR.

ENFOR dostavlja prognozu proizvodnje za svaku vetroelektranu pojedinačno. Uočena je veća korelacija među prognozama ENFOR-a, nego u slučaju prognoza koje su dostavljene od strane vetroelektrana. Razlog je algoritam koji se koristi pri prognožiranju. Dok ENFOR koristi isti algoritam, vetroelektrane koriste četiri različita algoritma.

U ovom radu će se iskoristiti upravo različitost algoritama koje koriste vetroelektrane kako bi se, primenom neuralnih mreža, izvršila njihova optimalna kombinacija, čime bi za procenu proizvodnje svake od vetroelektrana koristile i prognoze svih okolnih vetroelektrana. Na ovaj način bi se smanjile greške u proceni proizvodnje svake od vetroelektrana, kao i greška u proceni kumulativne proizvodnje.

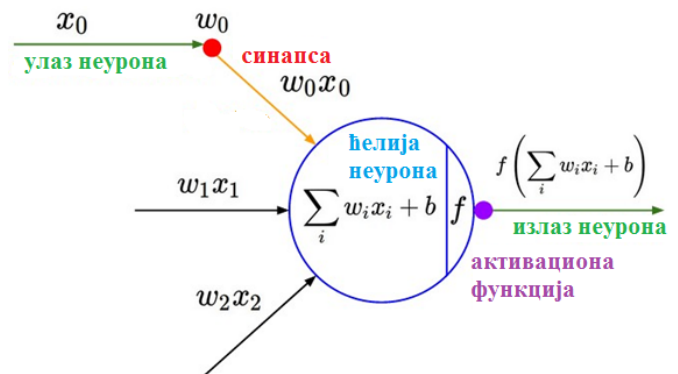
II METODOLOGIJA RADA NEURALNE MREŽE

Neuralne mreže su bazirane na veštačkoj inteligenciji i imaju za cilj da odrede izlaz sistema na osnovu ulaza. Koriste se kod stohastičkih sistema, gde je nemoguće odrediti tačnu zavisnost između ulaznih i izlaznih veličina. Dakle, pomoću neuralnih

mreža može da se predviđa izlaz bez poznavanja tačne funkcije prenosa.

Princip rada se zasniva na radu čovekovog nervnog sistema, koji je sposoban da uči i da prethodno iskustvo primenjuje u novim situacijama. Nervni sistem čoveka se sastoji od velikog broja neurona koji vrše obradu i prenos informacija putem hemijskih i električnih signala. Neuroni su povezani sinapsama. Svaki neuron dobija informacije od drugih neurona i bira da li informacije redom prosleđuje sledećim neuronima.

Neuralna mreža je matematički model nervnog sistema koji je u stanju da od ulaznih informacija odredi izlaz koji predstavlja rešenje. Na slici 2 je prikazan matematički model neurona neuralne mreže.



Slika 2. Matematički model neurona neuralne mreže

Na slici 2 se najpre nad ulazom vrši primena linearne transfer funkcije:

$$net = \sum_{i=0}^{n-1} w_i x_i + b \quad (1)$$

gde su:

- w_i - težinski koeficijenti, promenljivi parametri koji su vezani za ulaznu komponentu,
- b - promenljivi parametri (slobodni članovi),
- x_i - ulazi neurona.

Pored linearne, transfer funkcija može biti i kvadratna, polinomijalna i sferična. Rezultat transfer funkcije se koristi kao ulaz u aktivacionu funkciju kako bi se dobio izlaz iz neurona. Neke od najčešće korišćenih aktivacionih funkcija su (slika 3):

- Linearna aktivaciona funkcija

$$f(net) = net \quad (2)$$

- Sigmoid aktivaciona funkcija

$$f(net) = \frac{1}{1 + e^{-net}} \quad (3)$$

- Tangens hiperbolički aktivaciona funkcija

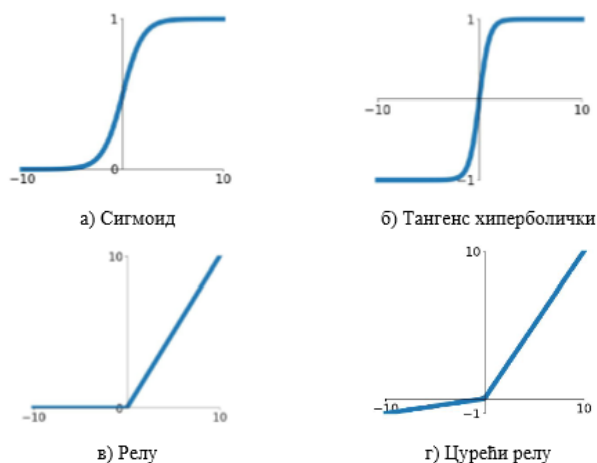
$$f(net) = \tanh(net) \quad (4)$$

- Relu aktivaciona funkcija

$$f(net) = \max(0, net) \quad (5)$$

- Cureća relu aktivaciona funkcija

$$f(net) = \max(0.01net, net) \quad (6)$$

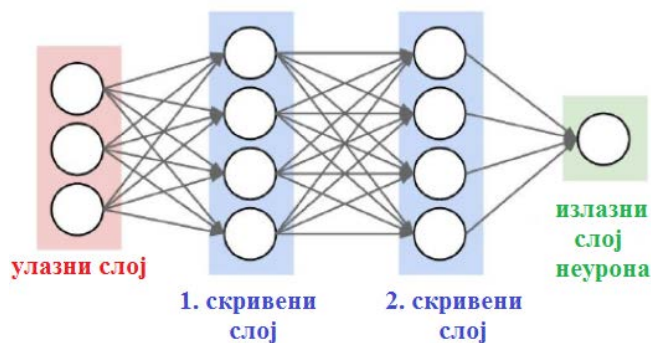


Slika 3. Aktivacione funkcije

Od neurona se formira neuralna mreža, tačnije *feedforward* neuralna mreža. Jedan sloj neurona je skup više neurona sa istim ulazima, ali svaki neuron ima svoje težinske koeficijente. Svaka *feedforward* neuralna mreža se sastoji od ulaznog sloja, skrivenih slojeva i izlaznog sloja.

Izlaz jednog sloja, predstavlja ulaz za naredni sloj neuralne mreže. Ulazni sloj prima podatke koje se dovode na neuralnu mrežu, dok je izlazni sloj poslednji sloj koji formira predikciju na osnovu podataka u ulaznom sloju.

Na slici 4 je primer neuralne mreže sa dva skrivena sloja.



Slika 4. Feedforward neuralna mreža sa dva skrivena sloja

III PRIPREMA ULAZNIH PODATAKA

Ulazni podaci koji su korišćeni pri analizama su sledeći:

- prognoza proizvodnje svake vetroelektrane pojedinačno,
- ostvarena aktivna snaga svake vetroelektrane pojedinačno,
- suma prognoza proizvodnje pojedinačnih vetroelektrana,
- suma ostvarenih aktivnih snaga pojedinačnih vetroelektrana.

Pre formiranja neuralne mreže izvršena je normalizacija ulaznih podataka.

Normalizacija prognoza proizvodnje i ostvarenih aktivnih snaga pojedinačnih vetroelektrana je izvršena sa instalisanim snagama

vetroelektrana koje su umanjene za snagu vetrogeneratora koji su bili van pogona:

$$P_{\text{rasp}} = P_{\text{inst}} - n_{\text{out}} \cdot P_{\text{jed}} \quad (7)$$

gde su:

P_{rasp} - raspoloživa instalisana snaga kojom se vrši normalizacija prognoze proizvodnje i ostvarene aktivne snage,
 P_{inst} - instalisana snaga pojedinačnih vetroelektrana,
 P_{jed} - instalisana snaga pojedinačnih vetrogeneratora u posmatranoj vetroelektrani,
 n_{out} - broj vetrogeneratora koji su van pogona u posmatranoj vetroelektrani.

Normalizacija suma prognoza proizvodnje i suma ostvarenih aktivnih snaga pojedinačnih vetroelektrana je izvršena sa sumama instalisanih snaga vetroelektrana koje su umanjene za snagu vetrogeneratora koji su bili van pogona:

$$P_{\text{rasp}} = \sum_{i=1}^4 (P_{\text{inst},i} - n_{\text{out},i} \cdot P_{\text{jed},i}) \quad (8)$$

gde su:

P_{rasp} - raspoloživa instalisana snaga kojom se vrši normalizacija suma prognoze proizvodnje i suma ostvarenih aktivnih snaga pojedinačnih vetroelektrana,
 P_{inst} - instalisana snaga pojedinačnih vetroelektrana,
 P_{jed} - instalisana snaga pojedinačnih vetrogeneratora u posmatranoj vetroelektrani,
 n_{out} - broj vetrogeneratora koji su van pogona u posmatranoj vetroelektrani.

Pored smanjenja greške u predikciji proizvodnje svake od vetroelektrana, predloženi model obezbeđuje unapređenje raspoloživosti podataka o prognozi. Ukoliko neka od vetroelektrana, iz nekih razloga, ne ostvari prognozu za neki dan, onda se ta prognoza dobija na osnovu prognoze okolnih vetroelektrana. Dakle za prognozu svake od četiri analizirane vetroelektrane minimalno je potreban set podataka prognoze za jednu vetroelektranu. Naravno kvalitet prognoze će biti veći ako su na raspolaganju svi setovi podataka.

IV MODEL NEURALNIH MREŽA ZA KOMBINOVANU PREDIKCIJU PROIZVODNJE VETROELEKTRANA U JUŽNOM BANATU

U ovom radu su izvršene tri analize u cilju popravke prognoze.

Prva analiza ima za cilj da poboljša prognozu proizvodnje svake vetroelektrane pojedinačno pomoću prognoza ostalih vetroelektrana. Ulazi za neuralnu mrežu su sledeći:

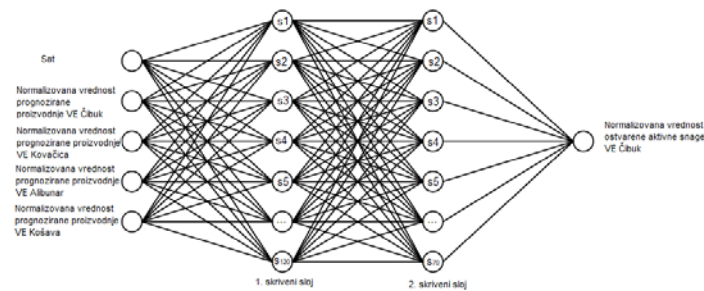
- sat,
- normalizovana vrednost prognoze proizvodnje vetroelektrane čija se prognoza treba poboljšati,
- normalizovane vrednosti prognoze proizvodnje ostalih vetroelektrana u regionu.

Izlaz je normalizovana vrednost ostvarene aktivne snage vetroelektrane čija se prognoza treba poboljšati.

Ova analiza je sprovedena za svaku od četiri vetroelektrane koje su obuhvaćene analizom.

Na slici 5 je dat primer izgleda neuralne mreže za VE Čibuk 1.

Za ostale vetroelektrane se menja redosled ulaza i izlaz – normalizovana vrednost ostvarene aktivne snage, u zavisnosti od vetroelektrane čija se prognoza poboljšava.



Slika 5. Model neuralne mreže na kojoj je rađena analiza za VE Čibuk 1

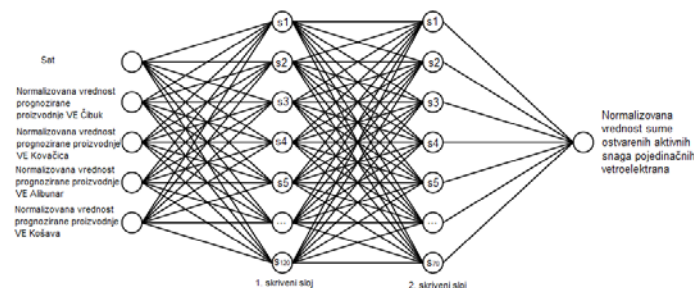
Druga analiza ima za cilj da poboljša kumulativnu prognozu proizvodnje sve četiri vetroelektrane.

Ulazi za neuralnu mrežu su sledeći:

- sat,
- normalizovane vrednosti prognoze proizvodnje svih vetroelektrana u regionu.

Izlaz je normalizovana vrednost sume ostvarenih aktivnih snaga pojedinačnih vetroelektrana.

Na slici 6 je dat primer izgleda neuralne mreže za drugu analizu.



Slika 6. Model neuralne mreže na kojoj je rađena druga analiza

Treća analiza koristi izlaz iz prve analize, kombinuje ih i upoređuje sa normalizovanom vrednošću ostvarene aktivne snage svih vetroelektrana.

Za razliku od druge analize koja na osnovu prognoziranih vrednosti predviđa kumulativnu snagu proizvodnje svih vetroelektrana, ova analiza koristi rezultate prve analize (aktivna snaga proizvodnje svake vetroelektrane pojedinačno). Rezultati prve analize se kombinuju tako što se sabiraju aktivne snage proizvodnje da bi se dobila kumulativna snaga proizvodnje.

Neuralna mreža koristi arhivu podataka od septembra 2019. godine. Baza se deli na deo za obučavanje (treniranje) neuralne mreže – 70% podataka i deo za testiranje dobijenih rezultata – 30% podataka. Kako su se pri treniranju koristile prognoze proizvodnje, razvijena metodologija, odnosno neuralna mreža

može biti direktno korišćena za unapređenje prognoze proizvodnje vetroelektrana u Južnom Banatu.

V REZULTATI ANALIZA

U ovom poglavlju su prikazani rezultati svake analize pojedinačno, data je struktura neuralne mreže, relativna poboljšanja prognoze proizvodnje i primer poboljšanja prognoze za 20. decembar 2020.

Prva analiza - Poboljšanje prognoze proizvodnje vetroelektrane pomoću prognoza ostalih vetroelektrana

Kao što je opisano u četvrtom poglavlju, prva analiza se sastoji od četiri pojedinačne analize (za svaku vetroelektranu posebno), koje koriste sledeće ulaze:

- sat,
- normalizovana vrednost prognoze proizvodnje vetroelektrane čija se prognoza treba poboljšati,
- normalizovane vrednosti prognoze proizvodnje ostalih vetroelektrana u regionu.

Izlaz je normalizovana vrednost ostvarene aktivne snage vetroelektrane čija prognoza treba da se poboljša. Neuralna mreža ima i dva skrivena sloja sa 120 i 70 neurona (Slika 5).

U Tabeli 1 su prikazane greške u prognozi koje prave vetroelektrane pri prognoziranju i greške koje su rezultat neuralne mreže.

Prosečna greška u postojećoj predikciji proizvodnje vetroelektrana je računata prema sledećoj relaciji:

$$\sigma_{prog_VE} = \frac{\sum_{n=1}^n |P_{prog_VE} - P_{ostv}|}{n} \cdot 100\% \quad (9)$$

gde su:

P_{prog_VE} - normalizovana vrednost prognoze proizvodnje vetroelektrane čija se prognoza poboljšava, a koju dostavljaju vetroelektrane,

P_{ostv} - normalizovana vrednost ostvarene aktivne snage vetroelektrane čija se prognoza poboljšava,

n - broj sati (odbiraka) nad kojima se vrši analiza.

Prosečna greška se računa za čitavu bazu podataka.

Prosečna greška u poboljšanoj predikciji proizvodnje vetroelektrana, korišćenjem razvijene neuralne mreže, je računata prema sledećoj relaciji:

$$\sigma_{ANN} = \frac{\sum_{n=1}^n |P_{ANN} - P_{ostv}|}{n} \cdot 100\% \quad (10)$$

gde su:

P_{ANN} - normalizovana vrednost prognoze proizvodnje vetroelektrane čija se prognoza poboljšava koja je rezultat neuralne mreže,

P_{ostv} - normalizovana vrednost ostvarene aktivne snage vetroelektrane čija se prognoza poboljšava,

n - broj sati (odbiraka) nad kojima se vrši analiza.

Relativno poboljšanje prognoze se računa prema formuli:

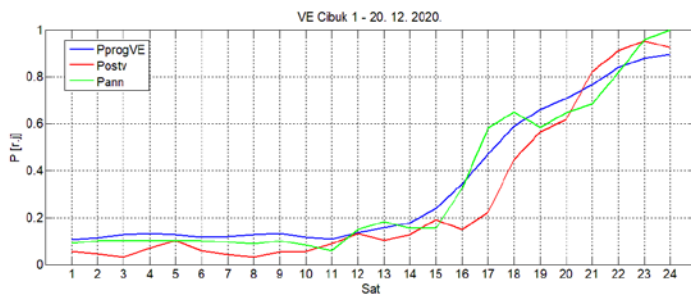
$$\Delta\sigma = \frac{|\sigma_{ANN} - \sigma_{prog_VE}|}{\sigma_{prog_VE}} \cdot 100\% \quad (11)$$

Tabela 2. Rezultati prve analize - Poboljšanje prognoze proizvodnje vetroelektrane pomoću prognoza ostalih vetroelektrana

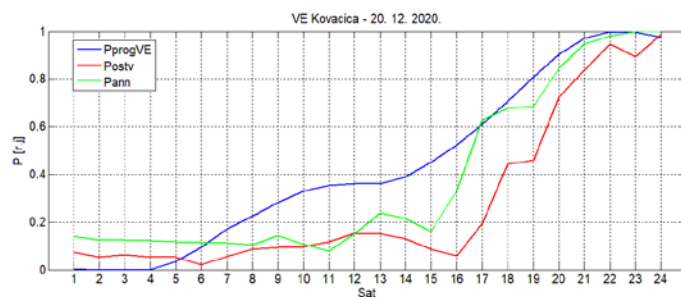
Vetroelektrana	σ_{prog_VE} [%]	σ_{ANN} [%]	$\Delta\sigma$ [%]
Čibuk 1	8,97	7,96	11,22
Kovačica	12,50	8,73	30,21
Alibunar	17,31	8,13	53,05
Košava	10,27	7,88	23,32

Neuralna mreža je spustila greške svih vetroelektrana ispod niova greške najbolje prognoze, što je u ovom slučaju prognoza vetroelektrane Čibuk 1. Poboljšanje prognoze se kreće od 11,22% za VE Čibuk, pa do čak 53,05% za VE Alibunar.

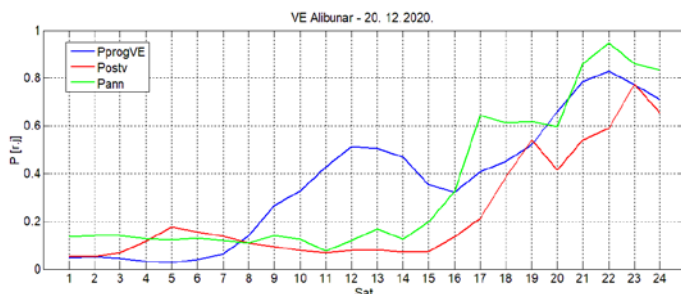
Na slikama 7, 8, 9 i 10 dati su grafici ostvarene aktivne snage proizvodnje, prognozirane aktivne snage od strane vetroelektrana i prognozirane aktivne snage koja je rezultat neuralne mreže, za svaku vetroelektranu (primer za dan 20. decembar 2020.).



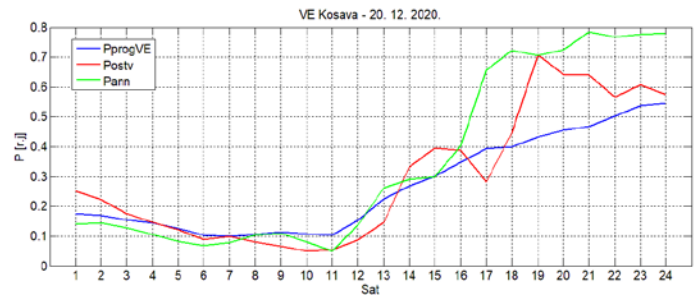
Slika 7. VE Čibuk 1 – 20. 12. 2020.



Slika 8. VE Kovačica – 20. 12. 2020.



Slika 9. VE Alibunar – 20. 12. 2020.



Slika 10. VE Košava – 20. 12. 2020.

U primeru za 20. 12. 2020. neuralna mreža je izvršila popravku prognoza za VE Čibuk 1, VE Kovačica i VE Alibunar, dok se prosečna dnevna greška za VE Košava povećala. Tabelarni prikaz grešaka je dat u Tabeli 3.

Tabela 3. Rezultati prve analize – Prosečne greške za 20.12.2020.

Vetroelektrana	σ_{prog_VE} [%]	σ_{ANN} [%]	$\Delta\sigma$ [%]
Čibuk 1	7,70	7,10	7,79
Kovačica	17,73	10,03	43,43
Alibunar	16,91	11,71	30,75
Košava	6,90	9,34	-35,36

Druga analiza - Poboljšanje kumulativne prognoze proizvodnje sve četiri vetroelektrane

Druga analiza se sastoji od jedne analize koja koristi sledeće ulaze:

- sat,
- normalizovane vrednosti prognoza proizvodnje sve četiri vetroelektrane.

Izlaz je normalizovana vrednost ostvarene aktivne snage sve četiri vetroelektrane. Neuralna mreža ima i dva skrivena sloja sa 120 i 70 neurona (Slika 6).

U Tabeli 4 su prikazane kumulativne greške u prognozi koje prave vetroelektrane pri prognoziranju postojećim modelima i greške koje su rezultat neuralne mreže.

Tabela 4. Rezultati druge analize - Poboljšanje kumulativne prognoze proizvodnje vetroelektrana

Vetroelektrana	σ_{prog_VE} [%]	σ_{ANN} [%]	$\Delta\sigma$ [%]
Sve vetroelektrane	8,67	7,62	12,10

Greške su računane prema formuli:

$$\sigma_{prog_VE} = \frac{\sum_n |P_{\Sigma prog_VE} - P_{\Sigma ostv}|}{n} \cdot 100\% \quad (12)$$

gde su:

$P_{\Sigma prog_VE}$ - normalizovana vrednost kumulativne prognoze proizvodnje sve četiri vetroelektrane, a koju dostavljaju vetroelektrane,

$P_{\Sigma_{ostv}}$ - normalizovana vrednost kumulativne ostvarene aktivne snage sve četiri vetroelektrane,
 n - broj sati (odbiraka) nad kojima se vrši analiza,

odnosno prema:

$$\sigma_{ANN} = \frac{\sum |P_{ANN} - P_{ostv}|}{n} \cdot 100\% \quad (13)$$

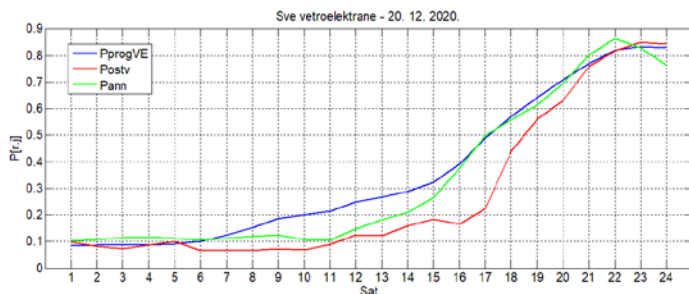
gde su:

$P_{\Sigma_{ANN}}$ - normalizovana vrednost kumulativne prognoze proizvodnje sve četiri vetroelektrane, a koja je rezultat neuralne mreže,

$P_{\Sigma_{ostv}}$ - normalizovana vrednost kumulativne ostvarene aktivne snage sve četiri vetroelektrane,
 n - broj sati (odbiraka) nad kojima se vrši analiza.

Relativno poboljšanje prognoze se računa prema formuli (11).

Na slici 11 dati su grafici suma ostvarenih aktivnih snaga proizvodnje, suma prognoziranih aktivnih snaga od strane vetroelektrana i prognozirana aktivna snaga koja je rezultat neuralne mreže za sve vetroelektrane sumarno (primer za dan 20. decembar 2020.).



Slika 11. Sve vetroelektrane – 20. 12. 2020.

U primeru za 20. 12. 2020. neuralna mreža je izvršila popravku prognoze. Tabelarni prikaz grešaka je dat u Tabeli 5.

Tabela 5. Rezultati druge analize – Prosečne greške za 20.12.2020.

Vetroelektrana	$\sigma_{\text{prog_VE}}$ [%]	σ_{ANN} [%]	$\Delta\sigma$ [%]
Sve VE	8,14	6,20	23,83

Treća analiza - Poboljšanje kumulativne prognoze proizvodnje pomoću rezultata iz prve analize

Treća analiza koristi rezultate pojedinačnih analiza iz prve analize, kombinuje rezultate u cilju poboljšanja kumulativne prognoze proizvodnje. Rezultati prve analize se kombinuju, tako što se sabiraju aktivne snage proizvodnje da bi se dobila kumulativna snaga proizvodnje. Tako dobijena kumulativna snaga proizvodnje se upoređuje sa kumulativnom ostvarenom snagom proizvodnje.

U Tabeli 6 su prikazane kumulativne greške u prognozi koje prave vetroelektrane pri prognoziranju i greške koje su rezultat kombinovanja rezultata prve analize.

Greške su računate prema formuli:

$$\sigma_{\text{prog_VE}} = \frac{\sum |P_{\text{prog_VE}} - P_{\Sigma_{ostv}}|}{n} \cdot 100\% \quad (14)$$

gde su:

$P_{\Sigma_{\text{prog_VE}}}$ - normalizovana vrednost kumulativne prognoze proizvodnje sve četiri vetroelektrane, a koju dostavljaju vetroelektrane,

$P_{\Sigma_{ostv}}$ - normalizovana vrednost kumulativne ostvarene aktivne snage sve četiri vetroelektrane,
 n - broj sati (odbiraka) nad kojima se vrši analiza,

odnosno prema:

$$\sigma_{ANN} = \frac{\sum \left| \left(\sum_{i=1}^4 P_{ANN_{n,i}} \right) - P_{ostv} \right|}{n} \cdot 100\% \quad (15)$$

gde su:

$P_{ANN_{n,i}}$ - normalizovana vrednost prognoze proizvodnje i-te vetroelektrane, a koja je rezultat neuralne mreže,

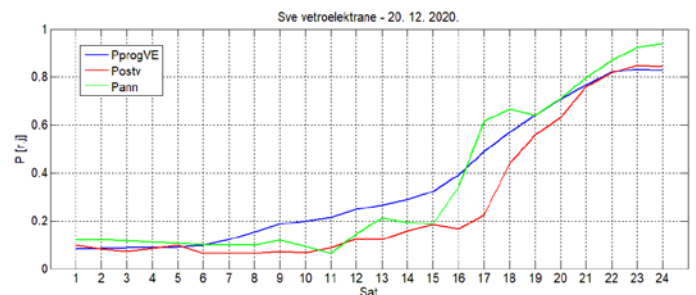
P_{ostv} - normalizovana vrednost kumulativne ostvarene aktivne snage sve četiri vetroelektrane,
 n - broj sati (odbiraka) nad kojima se vrši analiza.

Tabela 6. Rezultati treće analize - Poboljšanje kumulativne prognoze proizvodnje vetroelektrana kombinovanjem rezultata iz prve analize

Vetroelektrana	$\sigma_{\text{prog_VE}}$ [%]	σ_{ANN} [%]	$\Delta\sigma$ [%]
Sve vetroelektrane	8,67	6,63	23,53

Relativno poboljšanje prognoze se računa prema formuli (11).

Na slici 12 dati su grafici suma ostvarenih aktivnih snaga proizvodnje, suma prognoziranih aktivnih snaga od strane vetroelektrana i suma prognoziranih aktivnih snaga koje su rezultat neuralne mreže iz prve analize (primer za dan 20. decembar 2020.).



Slika 12. Sve vetroelektrane – 20. 12. 2020.

Tabela 7. Rezultati treće analize – Prosečne greške za 20.12.2020.

Vetroelektrana	$\sigma_{\text{prog. VE}} [\%]$	$\sigma_{\text{ANN}} [\%]$	$\Delta\sigma [\%]$
Sve VE	8,14	7,08	13,02

U primeru za 20. 12. 2020. neuralna mreža je izvršila popravku prognoze. Tabelarni prikaz grešaka je dat u Tabeli 7.

VI ZAKLJUČAK

U regionu Južnog Banata do sada izgrađeno oko 400 MW vetroelektrana, dok je prijavljeno operatoru prenosnog sistema još oko 3000 MW novih projekata vetroelektrana. Region je sa istom klimatologijom vetra pa se mogu očekivati slični rezultati u pogledu vremenskog profila proizvodnje ovih vetroelektrana.

Elektromreža Srbije koja je operator prenosnog sistema Republike Srbije, ugovorom o eksploataciji, traži od klijenata, tj. vlasnika vetroelektrana plan rada za dan unapred. Iste planove, proizvođač je dužan da šalje i svojoj balansno odgovornoj strani.

Kako balansno odgovorna strana plaća naknade u slučaju odstupanja plana i proizvodnje, u interesu je da prognoza bude što tačnija.

Pored toga, Elektromreža Srbije ima zadatak da održava siguran i pouzdan rad prenosnog sistema. Zbog toga je nabavljena i usluga prognoze proizvodnje.

Rezultati ovog rada najviše koriste operatoru prenosnog sistema jer oni imaju sve pojedinačne prognoze, i poboljšanjem prognoza mogu da doprinesu boljem planiranju rada sistema za dan unapred. Pored toga, rezultati su korisni i za balansno odgovornu stranu, u ovom slučaju JP Elektroprivreda Srbije, koja razvijenom neuralnom mrežom može ostvariti kombinovanje prognoza i time bitno smanjiti grešku balansiranja.

Najbolji rezultati se dobijaju u slučaju pojedinačnih prognoza. Kada bi vetroelektrane imale penale usled odstupanja prognoze od ostvarenja, ova analiza bi im donosila značajne finansijske uštede. Najmanju grešku u prognozi ima vetroelektrana Čibuk 1, a njeno relativno poboljšanje, primenom predložene

metodologije, je oko 11%, dok je srednje apsolutno odstupanje smanjeno sa 8,97% na 7,96%. Vetroelektrana Kovačica je imala nešto slabiju prognozu, pa je relativno poboljšanje veće – oko 30%. Vetroelektrana Alibunar ima najveće greške pri prognozi. Relativno poboljšanje je u njenom slučaju najveće i iznosi oko 53%. Relativno poboljšanje prognoze vetroelektrane Košava je oko 23%.

Sve greške su svedene na nivo greške najbolje prognoze - prognoze VE Čibuk 1. Za očekivati je da, u budućnosti, pojavom velikog broja vetroelektrana u istom regionu greška bude na nivou greške najbolje prognoze.

Rezultati neuralne mreže koja je za cilj imala poboljšanje kumulativne prognoze proizvodnje pokazuju relativno poboljšanje prognoze proizvodnje od oko 12% 23,5%, dok je srednje apsolutno odstupanje smanjeno sa 8,67% na 7,62%.

Treća analiza je dala dalje poboljšanje prognoze kumulativne proizvodnje. Postignuto je relativno poboljšanje prognoze proizvodnje od oko 23,5%, dok je srednje apsolutno odstupanje smanjeno sa 8,67% na 6,63%.

LITERATURA

- [1] Kotur, D., Žarković, M. Neural Network Models for Electricity Prices and Loads Short and Long-Term Prediction, in Proc. 4th. *IEEE International Symposium on Environment Friendly Energies and Applications (EFEA)* Belgrade, 2016. <https://doi.org/10.1109/efea.2016.7748787>
- [2] Directive 2009/28/EC of the European parliament and of the council, ENTSO-e, 2009. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:211:0055:0093:EN:PDF> [pristupljeno 28.03.2021]
- [3] Wasilewski, J., Baczynski, D. Short-term electric energy production forecasting at wind power plants pareto-optimality context, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 69, pp 177-187, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.026>

AUTORI

Milica Koprivica - master inženjer elektrotehnike i računarstva, Elektromreža Srbije, milica.koprivica@ems.rs
dr Željko Đurišić – vanredni profesor, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, djurisic@etf.rs

Analiza potencijala za uvođenje sistema pametnih mreža u Bosni i Hercegovini

Analysis of the Potential for the Introduction of Smart Grid Systems in Bosnia and Herzegovina

Jasmina Imamović*, Sanda Midžić Kurtagić**, Esma Manić***

*Enova, Ltd.

** University of Sarajevo, Faculty of Mechanical Engineering

*** Center for Energy, Environment and Resources, Cener 21

Rezime - U radu je prikazana analiza postojećeg stanja u pogledu razvoja elektrodistributivne mreže i potencijala za razvoj pametne mreže u odabranoj pilot regiji Bosne i Hercegovine. Osim procjene okvira politike, u opseg analize uključeno je nekoliko kriterija zasnovanih na indikatorima: udio obnovljive energije i obnovljive energije kao distribuiranog energijskog resursa, ukupan udio distribuiranih energijskih resursa, broj instaliranih pametnih brojala za mjerenje potrošnje električne energije, broj stanica za punjenje električnih vozila, kapaciteti za skladištenje energije i tehnološki razvoj. Ukupna analiza procjene urađena je normalizacijom izračunatih vrijednosti indikatora na skali od 1-5. Indikatori su pokazali da je sektor pametnih mreža u Regiji trenutno nedovoljno razvijen.

Ključne riječi - pametna mreža, energijska sigurnost, obnovljivi izvori energije, pametna brojala, distribuirani energijski resursi.

Abstract - The paper presents an analysis of the current situation regarding the development of an electricity distribution network and potential for a smart grid development in the selected pilot region of Bosnia and Herzegovina. Apart from the policy framework assessment, several indicator based criteria were included in the scope of analysis: share of renewable energy and renewable energy as distributed energy resource, total share of distributed energy resources, a number of installed smart meters for measuring electricity consumption, a number of charging stations for electric vehicles, energy storage capacities and technological development. The overall analysis of the assessment has been done by normalization of the calculated values of the indicators on a scale of 1-5. The indicators have showed that the smart grid sector in the Region is currently underdeveloped.

Index Terms - smart grid, energy security, renewable energy source, smart meters, distributed energy resources.

I INTRODUCTION

The concept of smart grids has been developed in order to ensure efficient distribution of electricity, security of electricity supply, and also to maintain low losses and high level

of quality. The concept enables a small, individual scale to generate electricity and sell it to the grid [1]. Smart grids are considered to present the modern, innovative electric power grid infrastructure for the enhancement of the energy efficiency, security and reliability through automated and smart control, modern communications infrastructure, smart metering technologies, renewable energy systems (RES) integration, and modern energy management techniques, enabling of the electricity customers to become active participants [2]. Smart grids promote the greater use of renewable and unused energy and contribute to the improvement of energy self-sufficiency rates and reduction of CO₂ emissions [3]. Since the integration of RES to conventional electricity grid is very difficult to manage, smart grid technologies will significantly reduce barriers to the integration of renewable resources and allow power grids to support a greater percentage of variable and intermittent renewable resources [4]. Integration of distributed energy resources (DERs) into conventional grid at distribution level poses a number of technical challenges such as reverse power flow, grid stability, frequency variation, power quality issues. However, these challenges can be adequately taken care of in the smart grid system, as it can effectively sustain and absorb great percentage of locally available DERs especially renewable energy sources for stable, reliable and affordable electricity [5]. Smart grids will allow networks to adapt to meet higher levels of demand at lower total costs in comparison to the traditional networks, and some of the resulting financial benefits should be passed on to the consumer through incentives and lower prices [6].

One of the most important benefits of smart grids is the improvement of the consumer capacity to use more, but cheaper electricity to enhance the standard-of-living [7]. Also, with the integration of the devices which provide electricity consumption data, utility providers can benefit from balanced utilization of energy by achieving a higher level of efficiency in provision of electricity [8].

Around the world, smart grid technology is growing steadily; between 2017 and 2023, the global market is expected to triple in size reaching some 61 billion U.S. dollars. The key regions incorporating smart grid technology includes North America,

Europe and Asia Pacific [9]. Smart grid development is currently still tied closely to the economic development of countries. Most smart grid development so far has been focused in countries with high renewable energy targets, as they are starting to face problems with the stability of their power supply due to more intermittent generation. However, the potential for applying smart grid technology in developing countries is increasingly being explored [10].

Bosnia and Herzegovina (BiH) adopted the Energy Framework Strategy 2018-2035, which defines a direction of the country's energy development. A long-term energy-related vision of Bosnia and Herzegovina is to create a competitive and long-term sustainable energy system including security of supply. The Framework Energy Strategy aims to balance the following aspects: a) security of supply, b) price competitiveness and c) decarbonized energy supply [11].

The paper presents an analysis of the current situation regarding the development of the electricity distribution network in the region of Central Bosnia and Herzegovina and the level of efforts for the introduction of smart grid systems in the Region. The Region covers the geographical area of two cantons in BiH: Zenica-Doboj and Central Bosnia Canton with population of 619,119 inhabitants. Both Cantons are very industrialized but at the same time have potential for tourism development. The electricity consumption in Central Bosnia Canton in 2019 amounted to 538.71 MWh, while for Canton Zenica-Doboj the consumption amounted to 724,889 MWh.

II METHOD

We have applied an electricity market analysis that provides an overview of energy production by conventional and renewable energy capacities and distributed energy resources (DER). The analysis of the existing electricity market and electricity network includes the integration of new technologies, opportunities and resources.

As policy support is key for the adoption of smart grid technologies, we conducted a gap analyses of existing policy framework in BiH focusing on smart grid related objectives and measures. Apart from the policy framework assessment, several indicators were included in the scope of the analysis: share of renewable energy and renewable energy as distributed energy resource, total share of distributed energy resources. A share of installed smart meters for measuring electricity consumption, number of charging stations for electric vehicles and energy storage capacities are presented and analysed under the new technologies.

Qualitative and quantitative research methods were used during data collection and market analysis. An aggregated evaluation has been done by normalization of the calculated values of the indicators on a scale of 1-5. The scale refers to a level of implementation of the criterion:

- “1” correspond to “no measures set/ potential unused” ,
- “2” correspond to “measures unclear or unrelated to the objectives / underutilized potential”,
- “3” correspond to “fewer measures contribute to the objectives / potential partially used”,

- “4” correspond to “significant number of measures contribute to the objectives / potential significantly used”,
- “5” which correspond to “fully developed/ potential fully used” (this is defined as a target value).

III POLICY FRAMEWORK

Bosnia and Herzegovina has two policy documents setting a basis for the smart grid development:

- BiH Energy Framework Strategy for 2018- 2035,
- National energy efficiency action plan 2016-2018

Besides national policy documents, public institutions in energy sector prepare their own development plans, such as Long-term development plan of the Public Enterprise “Elektroprivreda” BiH until 2030 with the Strategic Plan.

The Energy Framework Strategy sets the midterm objectives to modernize and develop infrastructure and introduce new technologies with the distribution system operators (DSO). Focus should be put on the infrastructure digitalisation, smart meter/grid roll out, technical and IT integration activities, and adjustment of fieldwork processes, predominantly in the operations (dispatching) and maintenance segments. The Strategy calls for intensified integration of sources of distributed energy [11].

National energy efficiency action plan identifies two main challenges in terms of integration of distributed power generation which is mostly of variable character (wind power, photovoltaic solar):

- Their integration into the electricity network infrastructure, because integration of a large number of distributed producers increases the technical requirements for ancillary services; and
- Their integration into the electricity market, because with large volumes of variable production capacities it is much more difficult to balance supply and demand.

The necessary technical condition for implementation of this requirement is therefore the introduction of smart grids, whose development should enable the electricity distribution sector to address all challenges presented by the liberalised electricity market [14].

The long-term development plan confirms the strategic commitment to ensure technical preconditions for smart metering, introduction of information and communication technologies and smart grids. It has been planned to: install the modern metering devices with a possibility of two-way communication at the billing metering points of the distribution network users; make structural changes in the network for increased acceptance of distributed generation and invest in new technological solutions of network elements and plants (smart grid) [15].

IV CONVENTIONAL SYSTEMS FOR ELECTRICITY GENERATION

In the Region, electricity production is dominant from the Kakanj thermal power plant, Jajce I and Jajce II hydropower plants. Thermal power plant (TPP) "Kakanj" with an installed capacity of 450 MW, produces electricity from brown coal and is currently the second largest producer of electricity in all of BiH.

The realized production in TPP Kakanj for 2019 amounted to 1,768.42 GWh.

A significant producer of electricity in the Region is HPP Jajce I, which has an installed capacity of 60 MW. HPP Jajce II has a total installed capacity of 30 MW. Electricity production from large hydropower plants, i.e. from Jajce I and Jajce II, amounted to 390 GWh in 2019. The ratio of electricity production from a thermal power plant is significantly higher compared to the production from two hydropower plants (Figure 1).

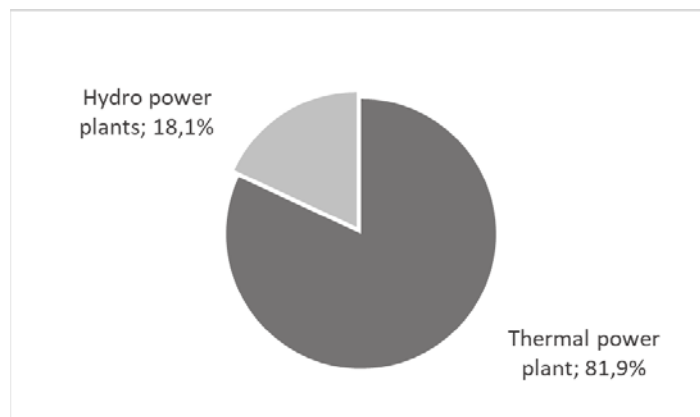


Figure 1. Primary electricity production from conventional systems

V NEW TECHNOLOGIES THAT INCLUDE RES AND DER

A significant number of small hydropower plants have been installed in the Region, of which a total of 42, as well as small solar photovoltaic power plants, of which there are 49. Also, one wind power plant (one 250kW wind turbine) has been registered in the Region, but the value of electricity produced from this system is slightly small. The company Natron-Hayat produces the electricity from biomass and the company has the status of an independent producer.

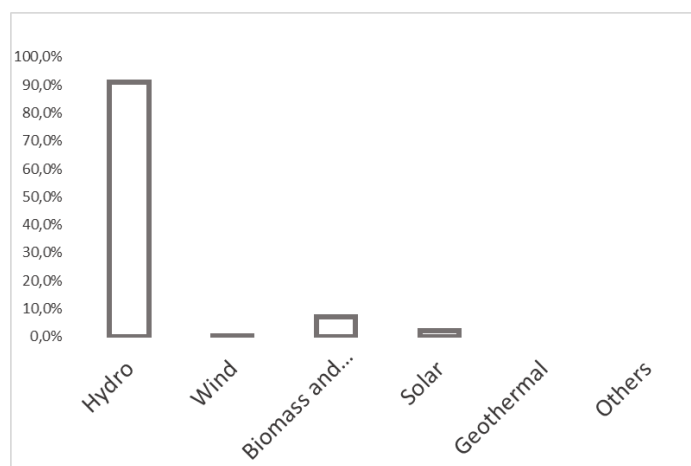


Figure 2. Share of renewable electricity generation by type of technology in 2019 (%)

Electricity production from small-hydropower plants in 2019 amounted to 95 GWh. The electricity produced from solar power

plants and wind power plants is small and amounted to 2.1 GWh for solar power plants and 0.011 GWh for wind power plants (Figure 3). The Natron-Hayat company produces 7.3 GWh.

The consumption of electricity from RES in the industry and service sector accounted for 80.3% and in the household 19.69%, of the total consumption, while the consumption in the transport sector was negligible (0.01 %).

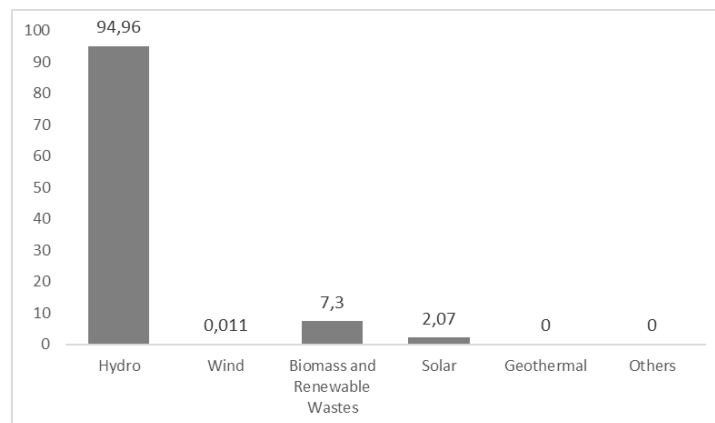


Figure 3. Electricity production from renewable energy systems in 2019 (GWh)

The share of renewable energy sources in the total regional gross final electricity consumption amounted to 22.6% in 2019. Based on Long-term development plan, Public Enterprise Elektroprivreda BiH is planning the development of 12 RES projects until 2030 (Table 1). This will increase the share of renewable energy sources to 60.2%.

Table 1. Installed capacity of planned RES projects

Type of project	HPP	WPP	SPP	TPP-biomass cogeneration	Total
GWh	218	480	116	179.4	814
Number of projects	3	4	4	1	12

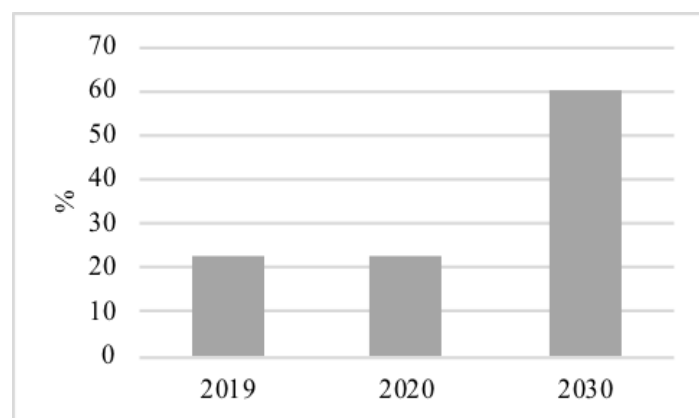


Figure 4. The target to increase the share of RES for 2030

The share of DER in the production of electricity from renewable sources is 21.09%, mainly from small HPPs and solar. The

Region has significant potential for distributed electricity generation especially in small HPPs, wind power plants and biomass cogeneration systems [13].

The share of DER in the total regional gross final electricity consumption in 2019 and 2020 was 4.78% (Figure 5). Based on Long-term development plan, Public Enterprise Elektroprivreda BiH is planning the installation of new distributed energy systems, which will increase the share of distributed sources in the total regional gross final electricity consumption to 6.88%.

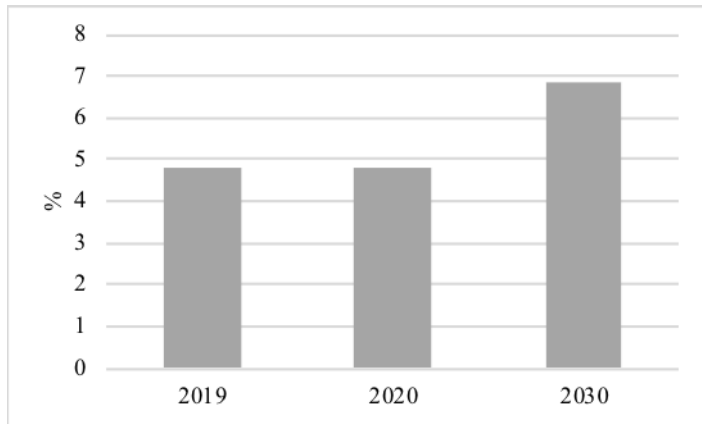


Figure 5. The target to increase the share of DER in 2030

The current share of DER in the gross final electricity consumption is unsatisfactory due to its low value, and also the value of the targeted share of DER for 2030 is not very ambitious.

The increase in the share of DER in the total electricity production causes a number of technical consequences that depend on the size and number of DERs as well as their distribution on the one hand, and on the other hand on the structure of the power system.

Initial experiences in the implementation of distributed electricity generation also raise some issues regarding the constraints to be addressed by market participants, regulators and energy policy makers in the Region with the maximum involvement of research activity according to the following aspects [13]:

- Regulation of the power system with regard to the integration of distributed generation;
- The impact of distributed electricity sources on the planning of distribution and transmission networks;
- Integration of distributed electricity sources in the distribution and transmission network management system;
- Distributed sources of electricity and their impact on the quality of electricity supplied to customers.

The development of the use of DER will require additional automation and construction of advanced networks in the distribution system.

VI RESEARCH RESULTS

According to data from the Public enterprise Elektroprivreda BiH, a total of 26,024 smart meters have been installed in the

Region. Considering the fact that there are 199,469 households and 20,057 industrial consumers, this number is rather small. The potential of e-mobility in the Region has only just begun to develop, with the electromobility sector recognized as one of the strategic development directions. It is planned to continue with the construction of charging stations for electric vehicles and procurement of these vehicles. So far, a total of 4 charging stations for electric vehicles have been installed in the Region and only 3 electric vehicles are currently in use. However, the use of electric vehicles in BiH has not been legally regulated, yet. The Association for Electromobility advocates for adoption of a regulatory framework and policy framework for electromobility, with special attention to defining conditions for providing charging services for electric vehicles, technical requirements for charging stations, technical conditions for connecting charging stations to the electricity grid.

Currently, there are no capacities for electricity storage in the Region.

VII DISCUSSION

According to the assessments of the possibilities and conditions for the development of the electricity network, it is evident that the smart grid sector in the Region, as well as in the entire BiH, is currently underdeveloped, and certain shortcomings have been identified. Existing national policy strategically supports the development of smart grids, but there is no support on the level of operative planning and implementation. Policy documents lacks specific, measurable, relevant and time- orientated goals and set of concrete action to support the goals achievement. With the current level of investments in innovative technologies the strategic goals and ambitions cannot be reached. In comparison to 2019, no progress has been made in the share of RES and the share of DER. Out of 4.78% of the share of DER, only 1% is from RES. Therefore, both DER and RES criteria have the same scoring. Only smart meter deployment is better scored since 11.8% of the total meters are smart meters. The values of the criteria, which are shown in Figure 6, refer to the current situation regarding the development of the smart grid sector, where the values of 5 represent the target value for the full implementation of the smart grid sector.

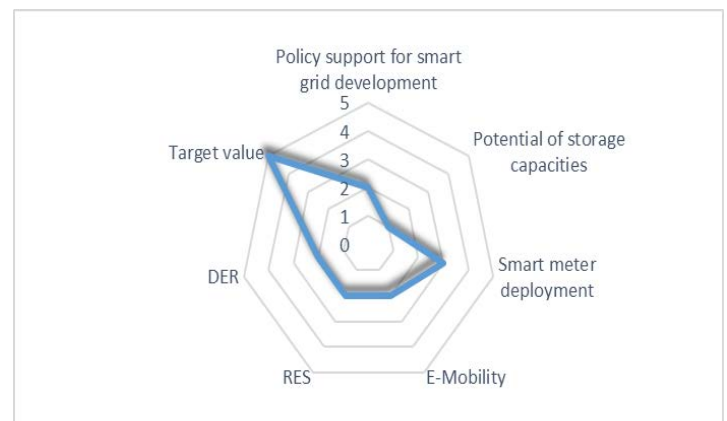


Figure 6. Aggregated evaluation of analysed criteria

VIII CONCLUSION

The market analysis has been performed using indicator-based criteria. We have included a policy framework assessment, share of renewable energy and renewable energy as distributed energy resource, total share of distributed energy resources and new technologies. The selected set of criteria and indicators proved to be a good initial framework for analysis but should be expanded in the future research. Aggregated evaluation, based on normalized values, helps decision makers to better understand the result of the analysis. The selected five-point scale, in course of further research, can be improved and adapted to the level of knowledge and way of thinking of the decision makers. In this research, the opinion of decision makers was not taken into account.

ZAHVALNICA/ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by the Danube Interreg Programme within the project “Improved energy planning through the Integration of Smart Grid concepts in the Danube Region-STRIDE”

LITERATURA/ REFERENCES

- [1] Agung A.A.G., Handayani R. Blockchain for smart grid, *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, (In Press) <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.01.002>
- [2] Sun Q., Ge X., Liu L., Xu X., Zhang Y., Niu R., Zeng Y. Review of Smart Grid Comprehensive Assessment Systems, *Energy Procedia*, Vol. 12, pp. 219–229, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.10.031>
- [3] Elzinga D. Electricity system development: a Focus on Smart Grids, UNECE, 2015. https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/geee/News/Smart_Grids_Overview_05-19-15.pdf [pristupljeno 20.01.2021]
- [4] Jain A., Mandloi T. Integration of Renewable Energy Sources in Smart Grid Systems and their Constraints, *International Journal of Modern Trends in Engineering and Research*, Vol. 2, Issue. 03, 2015.
- [5] Johnson D.O., Petinrin J.O., Oyelekan S.F. Integration of Distributed Energy Resources in Smart Grid System, in Proc. *International Conference of Science, Engineering & Environmental Technology (ICONSEET)*, Vol. 2, Issue 6, pp. 38–47, 2017.
- [6] McNamara R., Marshall A. *Smart grid: A great consumer opportunity*, 2013. <https://d346xxcyottdqx.cloudfront.net/wp-content/uploads/2013/10/Smartgrid-consumer-opportunity.pdf>
- [7] Anderson R.N., Ghafurian R., Gharavi H. *Smart Grid: The Future of the Electric Energy System*, 2018.
- [8] Dimitriou T., Awad M. K. Secure and Scalable Aggregation in the Smart Grid Resilient against Malicious Entities. *Ad Hoc Networks*, Vol 50, pp. 58–67, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2016.06.014>
- [9] Jaganmohan M. Global smart grid market size by region 2017-2023, 2021. <https://www.statista.com/statistics/246154/global-smart-grid-market-size-by-region/> [pristupljeno 20.01.2021]
- [10] Álvarez, Ó., Ghanbari, A., Marken, J. A Comparative Study of Smart Grid Development, in Proc. *7th CMI Conference 2014: Mobile Communications in Developing Countries*, 17 - 18 November 2014, Copenhagen, Denmark, 2014.
- [11] Framework Energy Strategy of Bosnia and Herzegovina until 2035, http://www.myteo.gov.ba/data/Home/Dokumenti/Energetika/Framework_Energy_Strategy_of_Bosnia_and_Herzegovina_until_2035_ENG_FINAL....pdf [pristupljeno 20.01.2021]
- [12] Energy needs balance of Central Bosnia Canton for 2020
- [13] Strategic Plan and Program for the Development of the Energy Sector of the Federation of BiH, Sarajevo, September 2008
- [14] National energy efficiency action plan 2016-2018, <https://www.iea.org/policies/2365-national-energy-efficiency-action-plan-2016-2018> [pristupljeno 20.01.2021]
- [15] Long-term development plan of public enterprise “Elektroprivreda” BiH until 2030 with the Strategic Plan, Sarajevo, 2014

AUTORI/AUTHORS

Jasmina Imamović, M.Sc., Mech.Eng., Enova, l.t.d,
 jasmina.imamovic@enova.ba
Sanda Midžić Kurtagić, Ph.D., Professor, University of Sarajevo, Faculty of Mechanical Engineering, midzic@mef.unsa.ba
Esma Manić, M.Sc, El. Eng. CENER21, esma.manic@cener21ba

Energetska politika kao faktor održivog razvoja

Energy Policy as a Factor of Sustainable Development

Gojko Rikalović*, Bojan Vračarević**, Dejan Molnar*

* Univerzitet u Beogradu – Ekonomski fakultet

** Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet

Rezime - Tržište energije karakterišu značajne nesavršenosti. Negativni eksterni efekti, i ostale nesavršenosti tržišta imaju, između ostalog, ozbiljnu posledicu - šalju pogrešne cenovne signale i maskiraju prave troškove koji nastaju u procesu proizvodnje i potrošnje energije. Kao rezultat toga dolazi do ozbiljne degradacije životne sredine na lokalnom i globalnom nivou. Negativni efekti na globalnom nivou, poput iscrpljivanja neobnovljivih resursa i promene globalne klime, predstavljaju najozbiljnije izazove s kojima se suočava čovečanstvo danas. Odgovori javnog sektora na tržišne nesavršenosti, u vidu različitih mera i instrumenata, su dobro poznati u ekonomskoj teoriji i u mnogim okolnostima su se pokazali efektivnim u praksi. Ipak, u stručnoj literaturi se, čak i danas, uglavnom prenebregava činjenica da davanje prednosti ekonomskim i socijalnim ciljevima u javnim politikama može imati i često ima za posledicu pogoršanje kvaliteta životne sredine. Pored toga, neuspeh regulative u oblasti energetike vodi ka ekološkoj degradaciji. Posebno je kritična situacija u mnogim zemljama u razvoju jer se u trci za ostvarenjem ciljeva iz oblasti industrije, poljoprivrede ili energetike, kao kolateralna šteta, javljaju veliki problemi u oblasti životne sredine koji vode ekološkoj neodrživosti. Sa ekonomskog aspekta važni su kako efektivnost, tako i efikasnost energetske politike, u smislu njenog potencijala da doprinosi poboljšanju u domenu zaštite životne sredine i energetske efikasnosti. Jednu od najboljih strategija predstavlja uvođenje važnih aspekata životne sredine u tržišnu sferu. Na taj način, limitiranost prirodnih resursa bi se odražavala na njihove cene. Ukidanje prakse velikih subvencija i potcenjenosti cena fosilnih goriva je, sigurno, korak u pravom smeru.

Ključne reči - energetska politika, potrošnja energije, energetska efikasnost, klimatske promene, održivi razvoj

Abstract - The energy market is characterized by significant imperfections. Negative external effects and other market imperfections have, among other things, a serious consequence - they send the wrong price signals and mask the real costs that arise in the process of energy production and consumption. As a result, there is a serious degradation of the environment at the local and global level. Negative effects at the global level, such as the depletion of non-renewable resources and changes in the global climate, represent the most serious challenges facing humanity today. Public sector responses to market imperfections, in the form of various measures and instruments, are well known in economic theory and have proved effective in practice in many

circumstances. However, the fact that giving priority to economic and social goals in public policies can have and often results in deterioration of the quality of the environment is mainly ignored in the professional literature even today. In addition, the failure of energy regulations leads to environmental degradation. The situation is especially critical in many developing countries. In the race to achieve goals in the field of industry, agriculture or energy, there are major environmental problems that lead to environmental unsustainability as collateral damage. From an economic point of view, both the effectiveness and efficiency of energy policy are important, in terms of its potential to contribute to improvements in the field of environmental protection and energy efficiency. One of the best strategies is to introduce important aspects of the environment into the market sphere. In this way, the limitations of natural resources would be reflected in their prices. Abolishing the practice of large subsidies and underestimation of fossil fuel prices is certainly a step in the right direction.

Index terms - energy policy, energy consumption, energy efficiency, climate change, sustainable development

I UVOD

Problem iscrpljivanja energetske potencijala na globalnom nivou postaje značajniji predmet interesovanja tek 70-ih godina prošlog veka nakon velikih naftnih šokova.

Tokom XX veka dolazi do naglog porasta broja stanovnika u svetu [1], što je uz ubrzani ekonomski razvoj velikog broja zemalja dovelo do drastičnih promena u sferi potrošnje energije. Evidentno je da ova dva faktora - porast životnog standarda i porast svetske populacije - predstavljaju glavne „krivce“ izrazito uzlaznog trenda energetske potrošnje. Samo u protekle četiri decenije ukupna potrošnja energije na svetskom nivou se više nego udvostručila [2].

Naša zavisnost od energije se može sagledati kroz vezu između potrošnje energije i prosečnog životnog veka. Siromašne zemlje Afrike i Azije troše i do sto puta manje energije godišnje per capita u odnosu na razvijene zemlje, dok istovremeno imaju duplo kraći prosečni životni vek. Ova razlika nam pokazuje, zapravo, koliko je energije potrebno da bi sve zemlje dosegle životni standard onih najrazvijenijih. Evidentno je da se ciljevi ekonomskog razvoja direktno sukobljavaju sa ciljevima očuvanja neobnovljivih energetske potencijala za buduće generacije.

Dodatnu otežavajuću okolnost predstavlja činjenica da su zemlje razvijenog sveta veliki potrošači energije, a da raspolažu sa znatno manje rezervi fosilnih goriva. Približno 61% svetske nafte se nalazi na Srednjem Istoku, dok je oko 67% prirodnog gasa locirano u Rusiji i Srednjem Istoku [3]. Pravi problem će, ipak, nastati tek kada siromašni svet, koji za sada ima zanemarljivu potrošnju energije, ali i eksplozivno narastajući broj stanovnika [1], ostvari znatno bržu stopu ekonomskog rasta. Više je nego jasno da će u procesu iscrpljivanja neobnovljivih energetske resursa nerazvijene zemlje uskoro imati neuporedivo značajniju ulogu od razvijenih zemalja.

Iako su, do nedavno, tržištem energije dominirale najrazvijenije zemlje, krajem prve decenije XXI veka dolazi do promene u trendovima pa danas zemlje van OECD-a troše znatno više energije nego zemlje OECD-a (približno 20 procentnih poena). Od 1973. godine do danas, najbrži rast beleže prvenstveno Kina (čije je učešće u ukupnoj svetskoj potrošnji povećano za čak 13 procentnih poena), zatim Bliski Istok, kao i Azija uopšte [4]. Nastavak takvog trenda očekuje se i u narednim decenijama.

Danas, najveći značaj među energetske izvorima imaju nafta, uglj i prirodni gas, s obzirom da podmiruju preko 70% svetskih potreba. Iako postoje različite procene oko broja godina za koji će doći do njihovog potpunog iscrpljivanja, većina stručnjaka se slaže da će se to desiti u veoma bliskoj budućnosti. Raspoloživost se procenjuje na oko 42 godine za naftu, 65 za gas i 217 godina za uglj [5].

Pored ograničene raspoloživosti fosilnih goriva očigledan je i njihov negativni uticaj na životnu sredinu, kako na lokalnom tako i na globalnom nivou. Sagorevanje fosilnih goriva je glavni uzrok povećanja emisije ugljen dioksida (CO₂), koja dovodi do izmene globalne klime. Ako se nastavi dosadašnji tempo rasta to će, evidentno, dovesti do promene klime koja će imati dugoročan negativan uticaj na zdravlje ljudi i životnu sredinu. Najveći emiteri CO₂ danas su Kina sa 9.056 Mt, SAD sa 4.833 Mt i Indija sa 2.076 Mt - samo ove tri zemlje su odgovorne za gotovo polovinu ukupne svetske emisije CO₂ [6].

U ovakvim okolnostima postavlja se pitanje da li uopšte postoje izvori energije koji imaju potencijal da zamene fosilna goriva u bliskoj budućnosti. Naime, jedan od najvažnijih razloga zašto je nafta dominantna među izvorima energije je i njen koeficijent neto energije¹. U početnim fazama eksploatacije nafte ovaj koeficijent je bio vrlo visok što je uticalo na to da cena nafte bude relativno niska u dugom vremenskom periodu. Svi alternativni i obnovljivi izvori energije (poput solarne energije, hidroenergije i energije vetra) se, nažalost, i dalje ne mogu takmičiti sa naftom u pogledu isplativosti.

Negde na granici između obnovljivih i neobnovljivih resursa je opcija nuklearne energije. Zagovornici njene upotrebe često je svrstavaju u obnovljive resurse želeći tako da je distanciraju od fosilnih goriva i zagađenja koje ona proizvode. Jedan od njihovih argumenata je da nuklearna energija ne doprinosi emisiji ugljen dioksida i globalnom zagrevanju. Drugi je da će uranijum (kao glavno gorivo u procesu proizvodnje nuklearne energije), iako

nije obnovljiv, biti raspoloživ još veoma dugo kao energetske resurs. Time, oni žele da iskoriste subvencije i beneficije koje su rezervisane za obnovljive izvore. S druge strane, mnoge organizacije za zaštitu životne sredine se protive upotrebi nuklearne energije i njenom svrstavanju rame uz rame s ostalim alternativnim i čistim izvorima energije.

Vrlo bitan aspekt, koji može umnogome odrediti sudbinu pojedinih izvora energije u globalnim okvirima, predstavljaju troškovi vezani za njihovu upotrebu. Obnovljivi izvori energije se često smatraju skupim jer, iako u izobilju, postoje velike teškoće u procesu njihovog prikupljanja. Ipak, u praksi je veoma teško odrediti njihove troškove jer se uglavnom zasnivaju na procenama. Na primer, ukupni troškovi nuklearne energije su kroz istoriju bili u velikoj meri potcenjeni. O tome govori i poznata krilatica nakon Drugog svetskog rata da će nuklearna energija biti „toliko jeftina da nema potrebe meriti njenu potrošnju” [7]. Međutim, i dalje postoji nepouzdanost oko stvarnih troškova u dugom periodu rada nuklearne elektrane i odlaganja radioaktivnog otpada.

Prognoze pokazuju da će fosilna goriva i dalje biti izvor najvećeg dela svetske potrošnje ukoliko ne dođe do promene propisa i regulative kojima bi se ograničila njihova upotreba. Procenjuje se da će udeo tečnih goriva (uglavnom nafte) blago opasti u narednom periodu jer će projektovane visoke cene nafte uticati na ponašanje krajnjih korisnika da pribegnu drugim izvorima kada god je to moguće. Uprkos tome, nafta će ostati najznačajniji pojedinačni izvor na svetskom nivou.

S druge strane, obnovljivi izvori energije će beležiti najveću stopu rasta na godišnjem nivou. Ipak, zbog svog veoma malog učešća u svetskoj potrošnji energije danas, ne očekuje se da će uskoro dostići značajniji udeo. Ove prognoze evidentno ukazuju da, uprkos svim nastojanjima, obnovljivi izvori energije neće imati bitniju ulogu u energetske sektoru, barem u bliskoj budućnosti.

II OPRAVDANOST DRŽAVNE INTERVENCIJE

Tržište energije karakterišu značajne tržišne nesavršenosti. Negativni eksterni efekti, i ostale tržišne nesavršenosti imaju, između ostalog, ozbiljnu posledicu - šalju pogrešne cenovne signale i maskiraju prave troškove koji nastaju u procesu proizvodnje i potrošnje. Kao rezultat ovih nesavršenosti dolazi do ozbiljne degradacije životne sredine na lokalnom i globalnom planu. Negativni efekti na globalnom nivou, poput iscrpljivanja neobnovljivih resursa i izmene globalne klime, predstavljaju najozbiljnije izazove s kojima se suočava čovečanstvo danas.

S obzirom da će se u prisustvu eksternih efekata ostvariti suboptimalna alokacija resursa [8], u velikom broju slučajeva neophodna je državna intervencija kako bi se korigovala određena tržišna nesavršenost. S te strane, ekonomistima su u fokusu kako efektivnost, tako i efikasnost određene politike, u smislu njenog potencijala da donese određeno poboljšanje u domenu zaštite životne sredine i energetske efikasnosti.

Vrlo složena priroda problema iscrpljivanja energetske potencijala i izmene globalne klime predstavlja legitimno opravdanje za državnu intervenciju. Između ostalog, promocija obnovljivih izvora energije koja se oslanja samo na tržište

¹ Koeficijent neto energije – odnos (količnik) između dobijene energije i energije potrošene u procesu proizvodnje.

unapred je osuđena na neuspeh. Neophodna je javna politika koja će smanjiti tržišne rizike, obezbediti potpunije informacije i ubrzati implementaciju novih tehnologija. U tom smislu, državi stoji na raspolaganju širok spektar mera, od uvođenja raznih standarda pa sve do podsticanja šire primene čistih tehnologija.

Bolje razumevanje javne politike u ovoj oblasti, podrazumeva razlikovanje dve postojeće paradigme. U pitanju su „paradigma rizika” i princip opreznosti [9].

„Paradigma rizika” predstavlja konvencionalni pristup javnoj politici. Dobar primer su zakoni kojima se regulišu zagađenja određenim supstancama tako što se postavlja njihov „prihvatljivi nivo”, a zatim se vodi računa da se taj prag zagađenja ne pređe. U osnovi ovakvog razmišljanja stoji, naravno, pretpostavka o određenom asimilativnom kapacitetu ekosistema. U praksi se ovakva kontrola zagađenja obično sprovodi smanjenjem količine zagađenja po jedinici proizvoda. Međutim, vrlo često se prenebregava činjenica da povećanje proizvodnje određenog proizvoda dovodi i do povećanja ukupne količine zagađenja. Stoga se ova paradigma, sasvim razumljivo, smatra nepogodnom za rešavanje problema globalnog karaktera.

S druge strane, princip opreznosti se bazira na anticipaciji štete i zagađenja tj. proaktivnom pristupu, i u svojoj osnovi je izrazito interdisciplinaran. Ova potreba da se predupredi, ili bar minimizira šteta kada postoji rizik od nje, predstavlja prilično radikalna zaokret u odnosu na uobičajen način identifikacije problema i kalkulacije rizika.

III POLITIKE I INSTRUMENTI ZA SMANJENJE ZAGAĐENJA

Ekonomika teorija je razvila niz instrumenata za zaštitu životne sredine koji se mogu svrstati u dve velike grupe: regulatorni instrumenti koji se zasnivaju na naredbama i kontroli, i instrumenti zasnovani na ekonomskim podsticajima (tzv. ekonomski instrumenti). U okviru pristupa zasnovanog na podsticajima u praksi su najzastupljeniji porezi, subvencije i sistem transferabilnih dozvola. Mnoge mere iz obe grupe su već dugo deo prakse mnogih zemalja EU i OECD-a, i imale su za efekat podizanje energetske efikasnosti u sektorima saobraćaja, industrije i energetike.

U stručnoj ekonomskoj literaturi prevladava mišljenje da su u borbi protiv degradacije životne sredine ekonomski instrumenti, ipak, efektivniji i troškovno efikasniji u odnosu na regulatorne instrumente [10]–[12]. Glavni razlog je taj što ekonomski instrumenti pružaju zagađivačima određene podsticaje, uglavnom finansijske prirode, da smanje zagađenje. Time, utiču na njihove odluke o proizvodnji ili potrošnji (u zavisnosti gde se eksterni efekti stvaraju), jer ih primoravaju na ukalkulisavanje marginalnog eksternog troška. Ovim propisima se, zapravo, povećavaju oportunitetni troškovi zagađivanja. Zbog toga ih možemo posmatrati kao ključne instrumente koji izazivaju promene u ponašanju aktera [13]. Usled toga što imaju ugrađenu veliku fleksibilnost, propisi zasnovani na podsticajima motivišu zagađivače da kontinuirano tragaju za najjeftinijim načinima za redukciju zagađenja, koji se mogu kretati od jednostavnog smanjenja proizvodnje do primene novih tehnoloških rešenja.

Subvencije kao vrsta ekonomskih podsticaja su do sada veoma često korišćene. Države mogu subvencionisati razvoj novih

tehnologija usmerenih na smanjenje upotrebe fosilnih goriva, izgradnju energetske efikasne zgrade i postrojenja za proizvodnju biogoriva, električnih, hibridnih i vozila na vodonik, elektrana na biomasu, vetroelektrana i solarnih fotonaponskih panela. Preduzeća, često i javnost, preferiraju subvencije u poređenju sa porezima i trgovinom dozvolama za emisiju [14].

Porezi usmereni ka ispravljanju tržišnih nesavršenosti ne samo da generišu poreske prihode već i poboljšavaju efikasnost alokacije resursa i dovode do smanjenja zagađenja životne sredine. Porez na emisiju CO₂ bi sigurno obeshrabrio upotrebu fosilnih goriva i, shodno tome, smanjio emisiju CO₂ [8]. S obzirom da se sama emisija ne može direktno oporezivati, jer usled prisustva negativnih eksternih efekata nema svoju cenu, porez na ugljenik (*carbon tax*, eng.) se često pominje kao posredna mera koja bi dovela do smanjenja emisije. Ovakvim porezom bi se opteretila prvenstveno fosilna goriva u zavisnosti od njihovog sadržaja ugljenika od koga i zavisi emisija CO₂. Naravno, uvođenju ove mere se, po pravilu, oštro protive predstavnici industrije fosilnih goriva.

Ova problematika postaje jedno od žarišta u stručnoj literaturi usmerenoj ka rešavanju problema izmene globalne klime, a svoj epilog ima u pokušaju određivanja cene za emisiju CO₂. Navedeni cilj može biti ostvaren na različite načine: direktno - uvođenjem poreza na ugljenik ili putem sistema transferabilnih dozvola² i indirektno - preko regulatornih instrumenata. Na taj način bi, zapravo, sami zagađivači bili opterećeni troškovima smanjenja emisije CO₂ (princip zagađivač plaća).

S druge strane, u sistemu transferabilnih dozvola, time što raspodeljuje dozvole (što zapravo predstavlja pravo vlasništva) i omogućava njihovu transferabilnost, država praktično pokušava da stvori *kvazi-tržište* i uvede životnu sredinu u tržišnu sferu. Možda i najambiciozniju primenu sistema transferabilnih dozvola u ovoj oblasti predstavlja Evropski sistem trgovanja emisijama (EU ETS - *EU Emissions Trading Scheme*) za CO₂ koja je otpočela 2005. godine. Ovaj sistem pokriva blizu polovine emisija gasova sa efektom staklene bašte u EU i obuhvata oko 11.000 proizvodnih elektroenergetskih i industrijskih postrojenja. Prema projekcijama Evropske komisije, u sektorima obuhvaćenim EU ETS sistemom će doći do smanjenja emisija od 2005. do 2020. godine za 21%, odnosno za 43% do 2030. godine [14]. Ipak, ova šema se, barem dosad, pokazala samo relativno uspešnom. Jedan od razloga je taj što su firme dobijale velikodušne dozvole za zagađenje i nisu bile motivisane za smanjenje emisije CO₂ [15].

Sam odabir adekvatne ekonomske politike se često posmatra u kontekstu da li meta treba da budu cene ili količine [10], [16]. Relativna prednost instrumenta zasnovanog na ceni (porez na emisiju) nad instrumentom baziranim na količini (dozvole za emisiju) zavisi od dva faktora, a to su nesigurnost informacija i efekat zakrivljenosti. Efekat zakrivljenosti zavisi od nagiba krive graničnih troškova smanjenja emisije zagađivača i krive graničnih društvenih troškova [14], [16], [17].

² Argumenti za i protiv primene ove dve vrste instrumenata detaljno su izloženi u: Rikalović & Molnar, 2017.

IV DRŽAVNI NEUSPEH – NEEFIKASNOST POLITIKE ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE

Prisustvo tržišnih nesavršenosti u sferi potrošnje energije izazvalo je značajno prisustvo državne regulacije. Međutim, nije redak slučaj da odabrana mera dovede do neefikasnog ishoda (iako su često u pitanju nepredviđene posledice dobronamerne politike) [18]. Državni neuspeh se može javiti iz brojnih razloga. Političari ili regulatorna tela, s jedne strane, nisu uvek motivisani u procesu traženja efikasne politike, dok, s druge strane, nedostatak adekvatnih informacija može dovesti do pomenutog neuspeha [11].

Jasno je da državni neuspesi kao i tržišne nesavršenosti mogu biti u jednakoj meri uzrok neefikasne upotrebe resursa i degradacije životne sredine ukoliko se ne koriguju.

Državni neuspesi u oblasti zaštite životne sredine često se javljaju kao posledica pogrešnog izbora odgovarajućeg instrumenta usmerenog da koriguje određenu tržišnu nesavršenost. Uprkos svojim mnogobrojnim prednostima, poput troškovne efikasnosti ili sposobnosti da kreiraju tehnološke inovacije koje će dovesti do smanjenja zagađenja [12], ekonomski instrumenti i dalje imaju veoma ograničenu ulogu u javnim politikama. Političari i donosioci odluka pokazuju izrazitu nespremnost da se odreknu tradicionalnog pristupa i regulatornih instrumenata u oblasti zaštite životne sredine. Razlozi ove nedoslednosti po kojoj ekonomski instrumenti predstavljaju pre izuzetak nego pravilo imaju svoje polit-ekonomsko objašnjenje. Ukratko, razne interesne grupe imaju značajan uticaj kako na sam izbor instrumenata, tako i na njihov dizajn [19].

Sama poreska politika neretko može bitno da utiče na uslove pod kojima se različiti vidovi energije mogu javiti kao konkurentni jedni drugima. Najčešće su u pitanju porezi koji favorizuju fosilne izvore energije i visoku energetske potrošnje, i oni koji poskupljuju kapitalna ulaganja otežavajući na taj način primenu novih čistijih tehnologija [9], [17].

Subvencije u oblasti energetike su veoma prisutne u zemljama van OECD-a, ponajviše u Kini, Rusiji i Iranu, a posebno mesto zauzima nafta kao najviše subvencionisani izvor energije. Na taj način, njena potrošnja je značajno stimulisana, što ima velike negativne efekte po životnu sredinu. Sa druge strane, ove subvencije otežavaju ozbiljnije uvođenje obnovljivih i alternativnih izvora energije na tržište.

U mnogim zemljama u razvoju najmanje jedan izvor energije je snažno subvencionisan, uglavnom preko kontrole cena koje se drže ispod tržišnog nivoa. Ostale direktne mere javne politike su razne poreske olakšice, povoljni krediti i sl. Nisu retke ni indirektno mere poput obezbeđivanja besplatne infrastrukture ili određenih usluga.

Prepreke koje stoje na putu većoj implementaciji čistih tehnologija uglavnom proističu iz institucionalnih normi, propisa i proizvodnih obrazaca [9]. Bez podsticaja, stanovništvo i preduzeća se neće tako lako odlučiti za čistije vrste energije i tehnologije s obzirom da one, po pravilu, nisu cenovno konkurentne. Razlog je, naravno, što zbog negativnih eksternih efekata, puni troškovi upotrebe fosilnih goriva nisu „vidljivi“ na tržištu.

V ENERGETSKA POLITIKA I CENE

Politika cena, posebno dominantnih oblika energije, je često bila izvor državnih neuspeha sa pogubnim posledicama po održivi razvoj. U mnogim zemljama u razvoju, a posebno u onim koje su bogate naftom, energija je bila suviše jeftina radi stimulanja industrijalizacije i diversifikacije privrede. Ovo je imalo po više osnova veoma štetan uticaj na životnu sredinu i nacionalnu ekonomiju. Prvo, subvencionisanjem se stimulisala neracionalna potrošnja energije čime su se smanjivale rezerve nafte i gasa, kao i njeni potencijalni prihodi od izvoza. Drugo, niskim cenama energije promovisala se upotreba automobila što je u urbanim sredinama dovodilo i do lokalnih negativnih efekata, poput aerozagađenja i saobraćajnih zagušenja [20]. I treće, neekonomske (niske) cene su činile čistiju i energetski manje intenzivnu tehnologiju neprivlačnom, kako privredi, tako i stanovništvu. Negativne ekološke posledice niskih cena energije su bile posebno izražene u zemljama Istočne Evrope u kojima, do početka tranzicije, tržište nije imalo nikakvu ulogu. Stoga je zagađenje vode i vazduha bilo među najvećima u svetu [21].

Od ključnog značaja je to što je, u dugom roku, realna cena nafte na svetskom nivou praktično stagnirala umesto da raste, imajući u vidu zakonitosti ponude i tražnje. Mnogi potrošači, posebno oni u razvijenim zemljama, su usled kontinuiranog povećanja svog životnog standarda i niskih cena nafte povećavali potrošnju energije sledeći ekonomsko racionalno ponašanje. U sferi saobraćaja, na primer, to je za efekat imalo zamenjivanje manjih automobila većim, komfornijim, i istovremeno po životnu sredinu štetnijim. Pritom, njima se prelazio sve veći obim kilometara [22]. Jednostavno, tržišni signali su nedvosmisleno uticali na veću potrošnju.

Međutim, ni usmerenost ka jednostavnom povećanju efikasnosti korišćenja energije ne rešava problem njihovog iscrpljivanja. Dejli [23] ističe da bi, zapravo, politika *umerenosti* imala za rezultat efikasnost, dok aktuelna politika *efikasnosti* ne samo da ne vodi umerenosti, već je čini manje neophodnom. Razlog je tzv. Dževonsov paradoks - efikasnija upotreba resursa ga čini jeftinijim, i time izaziva porast njegove potrošnje. Slikovito rečeno: „...efikasnost znači više pređenih kilometara po litru goriva. Umerenost se ogleda u korišćenju manje litara goriva.” [23]. Ovo nas opet vraća na pitanje cena. Jeftini resursi ne mogu nikako dovesti do smanjenja potrošnje energije per capita, a bez toga nema ni govora o usporavanju iscrpljivanja energetskih potencijala i smanjenju degradacije životne sredine.

Na visoko konkurentnom tržištu cena će se formirati u zavisnosti od ponude i tražnje, na bazi marginalnog troška. Na ovaj način, kupci će biti informisani o troškovima povećanja ili smanjenja svoje potrošnje. Ne može se govoriti o energetskoj efikasnosti ukoliko se cene ne formiraju po tržišnom principu.

Jasno je da bi više (zapravo realne, i približno tržišne) cene energije pomogle u postizanju, ako ne svih ono većine, dugoročnih ciljeva iz oblasti energetike i zaštite životne sredine – smanjenja emisije CO₂, povećanja energetske sigurnosti zemlje i većih podsticaja za korišćenje čistijih tehnologija i alternativnih izvora energije. Globalno posmatrano, tempo eksploatacije prirodnih resursa i iscrpljivanja energetskih potencijala bi bio usporen. Ipak, takva, dugoročno mudra, politika je vrlo retko nailazila na razumevanje kod političara i državnih tela.

Politika koja za efekat ima više cene energije se često u javnosti pojednostavljeno shvata kao povećanje poreza, i samim tim, gubi podršku glasača i javnog mnjenja. Glasajući žele niske cene što, naravno, rezultira povećanjem potrošnje fosilnih goriva i smanjenjem podsticaja za alternativnim izvorima energije [3]. Ipak, u nekim slučajevima, uvođenje ili povećanje poreza koje dovodi do porasta cena energije može naići na veću podršku javnosti. Na primer, ako se ovakav porez uvede kao deo paketa fiskalnih mera kojima se takođe smanjuje porez na prihod ili imovinu [17].

S obzirom da je danas retko koji obnovljivi izvor energije stvarno konkurentan na tržištu, jasno je da im je u tom pogledu potrebna određena javna podrška. Među mnogim instrumentima koji državi stoje na raspolaganju, u praksi su se najbolje pokazale „fid-in“³ tarife [24]. Ovim instrumentom se obezbeđuje potrebna stabilnost i predvidivost, kako za investitore u čiste tehnologije, tako i za proizvođače. Jedan od najboljih primera primene ovog instrumenta je Nemačka koja je pomoću njega veoma uspešno promovisala proizvodnju i potrošnju električne energije iz obnovljivih izvora.

VI POZITIVNA I NEGATIVNA ISKUSTVA ENERGETSKE POLITIKE – NA PRIMERU KINE I DANSKE

Mnoge zemlje u razvoju u procesu postizanja željenog ubrzanog ekonomskog rasta ne obraćaju previše pažnje na efekte na životnu sredinu. Ozbiljna ekološka degradacija kao posledica ekonomskog rasta (Tabela 1) možda je najuočljivija u slučaju Kine.

Tabela 1. Rast realnog BDP-a Kine i u svetu (procentualna godišnja promena), 1980-2018. godina

	1980.	1985.	1990.	1995.	2000.	2005.	2010.	2018.
Kina	7,9	13,5	3,9	11	8,4	11,3	10,6	6,6
Svet	2,1	3,6	3,4	3,4	4,8	4,9	5,4	3,7

Izvor: [25]

Samo između 2000. i 2005. godine ukupna potrošnja energije u Kini se povećala za neverovatnih 70%, a potrošnja uglja za 75%. Takođe, u poslednje tri decenije njena energetska intenzivnost⁴ dramatično je porasla [3].

Za razliku od drugih velikih potrošača, ubedljivo najznačajniji kineski energetski izvor je ugalj (sa učešćem od oko 80%), koji je, samim time, i glavni uzrok emisije CO₂. Mada je, sa ekonomskog stanovništa, vrlo isplativo što Kina raspolaže velikim zalihama jeftinog i kvalitetnog uglja, upravo zbog izražene zavisnosti od ovog, po životnu sredinu vrlo pogubnog energetskog izvora, kao i ubrzanog procesa industrijalizacije i ekonomskog rasta, emisija CO₂ ima značajan rastući trend. Već danas Kina je ubedljivo najveći emiter CO₂ sa učešćem od oko 30% u ukupnoj svetskoj emisiji [6]. Osim ovoga, sagorevanjem uglja i drugih fosilnih goriva, dolazi do emisije sumpor-dioksida, azotnih oksida i ugljen-monoksida koji prouzrokuju veliko

lokalno zagađenje vazduha i pojavu kiselih kiša. U potrošnji uglja kao energetskog izvora u Kini prednjačili su industrija i rezidencijalni sektor.

Dugi niz godina cene energije u Kini su bile isuviše niske, često i znatno ispod marginalnih troškova proizvodnje. Istorijski gledano, cene energije nisu imale značajnu ulogu u prilagođavanju ponude i tražnje kao u drugim zemljama. Sa druge strane, bitno su uticale na eksploataciju energije, njenu konzervaciju, racionalnost u potrošnji kao i emisiju CO₂ [26]. Usled ogromnih subvencija, prisutnih i na strani proizvođača i potrošača, cene energije su bile vrlo niske što je dovelo do korišćenja neefikasnih tehnologija i u fazi proizvodnje i u fazi potrošnje. Zbog toga je dolazilo do poremećenih cenovnih odnosa između različitih izvora energije koji su onemogućavali veći udeo obnovljivih izvora u potrošnji, s obzirom da su ih činili znatno skupljim [27], [28].

Energetski sistem Kine je krajem 90-ih godina prošlog veka počeo polako da izlazi iz dugog perioda u kojem je bio pod državnim kontrolom. Tek početkom ovog veka se uvode ekonomske reforme koje su, bar donekle, uticale na prisustvo tržišta u nekim delovima energetskog sistema i dovele do formiranja cena na tržišnim principima. Ostali deo energetskog sistema se i dalje zasnivao na administrativno određenim cenama i kvotama [28]. Liberalizacija energetskog sektora je započeta mnogo kasnije i opreznije nego u drugim delatnostima, između ostalog, zbog straha od potencijalnih inflatornih pritisaka.

Ovakav, dualni sistem cena, nije važio samo za energetski sektor, već za sva preduzeća u državnom vlasništvu. Utvrđivana je kvota proizvodnje na godišnjem nivou, i sve količine do te kvote kupovala je država po unapred određenim administrativnim cenama. Sa druge strane, deo proizvodnje iznad kvote je mogao biti prodat na slobodnom tržištu. Naravno, za različite izvore energije državne i tržišne cene su se razlikovale u većoj ili manjoj meri. Ta razlika je, očekivano, bila najizraženija za ugalj i naftu, s obzirom da su u nekim regionima zemlje tržišne cene bile i do četiri puta veće od administrativnih [27], [28].

Dugogodišnje prisustvo subvencija za određene izvore energije izazvalo je brojne poremećaje u privredi Kine. Niske proizvođačke cene su, praktično, značile da nema sredstava za nove investicije za ekspanziju i/ili modernizaciju rudnika uglja i za istraživanje nafte i prirodnog gasa. Energija je rasipana, a oprema je, po zapadnim standardima, bila zastarela i neefikasna.

Naravno, u situacijama u kojima se vrši subvencionisanje energije njena cena biće, često, ispod marginalnog troška a potrošnja veća od optimalne, što utiče na povećanje društvenih troškova i smanjenje društvenog blagostanja. Uvođenje instrumenta kojim bi se oporezivala emisija CO₂ bi u ovom slučaju podiglo cene, smanjilo potrošnju energije i, samim tim, uticalo na smanjenje GHG emisije. Sem toga, imajući u vidu zavisnost privrede Kine od uglja, mere kojima bi se podigla efikasnost u sagorevanju uglja bi imale sličan pozitivan efekat. Međutim, mala je verovatnoća da će, u skorije vreme, doći do smanjenja emisije CO₂ s obzirom na fazu industrijalizacije u kojoj se Kina nalazi a koja se, prvenstveno, oslanja na fosilna goriva, tj. ugalj. Svaka novoizgrađena elektrana na ugalj, praktično, predstavlja višedecenijski izvor emisije.

³ „Fid-in“ tarife (*Feed-in tariffs*, eng.) predstavljaju podsticajne mere kojima se stimulišu investicije u obnovljive izvore energije.

⁴ Količina energije upotrebljena u svrhu stvaranja ekonomske aktivnosti. Iskazuje se kao odnos ukupne potrošnje energije i BDP-a.

Pojedina istraživanja ipak ukazuju da povećanje cena energije u Kini može izazvati smanjenje potrošnje energije u njenom industrijskom sektoru dok neće uticati na usporavanje ekonomske aktivnosti u dugom roku [29].

Danska je, sa druge strane, u protekle četiri decenije prešla dug put od potpune zavisnosti od uvoza nafte i uglja za svoje elektrane do situacije u kojoj je postala izvoznik električne energije i vodeći svetski izvoznik tehnologije namenjene prikupljanju vetroenergije.

U tom višedecenijskom procesu Danska je primenjivala čitav spektar mera i instrumenata iz domena energetske politike. U pitanju su porezi na energiju, subvencije za istraživanje, kao i „fid-in“ tarife za promociju energetske efikasnosti. Ono što je bilo ključno za uspeh njene energetske politike jeste dugoročno planiranje i sistematičnost u njenom sprovođenju. Iako je ekonomija Danske u periodu od 1980. do 2004. godine doživela rast od 64% izražen u fiksnim cenama, potrošnja primarne energije na nacionalnom nivou je porasla za samo 4% [9]. Više je nego jasno da je došlo do značajnog smanjenja energetske intenzivnosti.

Ekološki efekti ovih mera javnog sektora su bili, bezmalo, impresivni. Obnovljivi izvori energije su, usled državnih podsticaja, sve više zamenjivali fosilna goriva opterećena porezom, što je rezultiralo u značajnom smanjenju emisije CO₂.

Porezi na energetske izvore, električnu energiju i na emisiju CO₂ su, s jedne strane, stvorili podsticaje za povećanje energetske efikasnosti i, s druge strane, doneli značajan prihod državi koji je upotrebljen za istraživanje obnovljivih izvora energije. Još 70-ih godina XX veka, odmah nakon svetske naftne krize, otpočelo se sa sprovođenjem politike visokih poreza na benzin, dizel gorivo i naftu. Kao komplementarna mera ovim porezima koja je imala, između ostalog, za cilj smanjenje potrošnje energije u saobraćaju, javlja se izrazito visoka poreska stopa na kupovinu novih automobila.

Iako je cena fosilnih goriva pala tokom 80-ih i 90-ih godina prošlog veka porezi na energiju su i dalje bili visoki kako bi industrijski proizvođači bili u stanju da se oslone na stabilne cene električne energije i goriva. Takvi porezi su slali cenovne signale koji su stimulisali mere usmerene ka podizanju energetske efikasnosti, dok su istovremeno, punili državne fondove za istraživanje energije vetra, biomase i sl. Iako se energetski sektor Danske, i dalje, u velikoj meri oslanja na fosilna goriva, njena vlada je javno iznela plan i obavezala se na potpunu nezavisnost od nafte, uglja i prirodnog gasa u bliskoj budućnosti.

Pozitivno iskustvo Danske je od velikog značaja za druge zemlje, a posebno za one u razvoju. Ono pokazuje da porezi na energiju sa svrhom smanjenja emisije CO₂ ne moraju imati negativne efekte na nacionalnu privredu ukoliko su uspešno implementirani. Vrlo lako mogu poslužiti kao pogodno sredstvo za promociju obnovljivih izvora energije i energetske efikasnosti. Mere danske vlade u domenu energetike, poput paralelne primene „fid-in“ tarifa i visokih poreza, se mogu primeniti u drugim zemljama, sa sličnim pozitivnim efektima u oblasti obnovljivih izvora energije [9].

VII ZAKLJUČAK

Ekonomske rast i razvoj, kao i eksplozivni rast svetske populacije, u poslednjih pola veka je doveo do, ranije nezabeleženih, posledica po životnu sredinu i ključno uticao na ekološku održivost. Globalni problemi poput iscrpljivanja energetske potencijala i izmene globalne klime trenutno predstavljaju, i po svemu sudeći još dugo će predstavljati, goruće probleme današnjice.

Ekonomska nauka ima sve veći uticaj na politiku zaštite životne sredine i energetske politiku. Taj uticaj se najviše ogleda u kreiranju i primeni ekonomskih instrumenata usmerenih na smanjenje degradacije životne sredine. U tom kontekstu, aktuelna javna politika, preduzeta sa ciljem ispravljanja tržišnih nesavršenosti, može biti od ključnog značaja.

Evidentno je, iz dosadašnje prakse, da se određenim merama i instrumentima javnog sektora može znatno poboljšati stanje životne sredine, a da se istovremeno ne ugrozi ekonomski rast i razvoj. U pitanju je uklanjanje subvencija koje su štetne po životnu sredinu, uvođenje korektivnih poreza, kao i na razne načine promocija čistih tehnologija i alternativnih izvora energije. Jedan od najboljih primera za to je, sigurno, energetska politika Danske.

Visoke cene energije dobijene iz fosilnih izvora će destimulisati njihovu potrošnju i, istovremeno, dovesti do većih investicija u čiste tehnologije. Ipak, ovakva, iz ugla održivog razvoja razumna politika, često nailazi na nerazumevanje političara i donosilaca odluka. Državni neuspeh je jedan od ključnih razloga zbog čega, i dalje, uporno opstaju pojedini neefikasni elementi politike zaštite životne sredine. Aktuelna politika Kine, pa i SAD-a, po pitanju globalnih klimatskih promena je u velikom raskoraku sa ciljevima održivog razvoja.

Imajući u vidu prisustvo značajnih tržišnih nesavršenosti kao i državnih neuspeha, jasno je da ostvarivanje ekološke održivosti predstavlja veoma ozbiljan izazov. Jednu od najboljih strategija predstavlja uvođenje važnih aspekata životne sredine u tržišnu sferu. Na taj način, limitiranost prirodnih resursa bi se odražavala na njihove cene. Ukidanje prakse velikih subvencija i potcenjenosti cena fosilnih goriva je, sigurno, korak u pravom smeru.

ZAHVALNICA

Ovaj rad predstavlja deo rezultata istraživanja na projektima broj 176017, broj 179065 i broj 179038 koje finansira Ministarstvo nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] United Nations Department of Economic and Social Affairs Population Division, *World Urbanization Prospects: The 2015 Revision*. New York: United Nations, 2015. <https://www.un.org/en/development/desa/publications/world-population-prospects-2015-revision.html> [pristupljeno 01.03.2021]
- [2] International Energy Agency, *World Energy Balances 2018*. Paris: OECD/IEA, 2018. https://doi.org/10.1787/world_energy_bal-2018-en
- [3] Gallagher, K.S. *Acting in Time on Energy Policy*. Washington, D. C.: Brookings Institution Press, 2009.
- [4] International Energy Agency, *Key world energy statistics*. Paris: OECD/IEA, 2019. <https://doi.org/10.1787/71b3ce84-en>

- [5] Hodgson, P.E. *Energy, the Environment and Climate Change*. London: Imperial College Press, 2010.
- [6] International Energy Agency, *CO2 emissions from fuel combustion*. Paris: OECD/IEA, 2018. https://doi.org/10.1787/co2_fuel-2018-en
- [7] Bayliss, C.R., Langley, K. *Nuclear decommissioning, waste management and environmental site remediation*. Butterworth-Heinemann, 2003.
- [8] Stiglitz, J.E. *Economics of the Public Sector*, 3rd ed. New York: W.W. Norton & Company, 2000.
- [9] Brown, M.A., Sovacool, B.K. *Climate Change and Global Energy Security - Technology and Policy Options*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2011.
- [10] Hepburn, C. Regulation by prices, quantities or both: a review of instrument choice, *Oxford Rev. Econ. policy*, Vol. 22, No. 2, pp. 226–247, 2006. <https://doi.org/10.1093/oxrep/grj014>
- [11] Anthoff, D., Hahn, R. Government failure and market failure: on the inefficiency of environmental and energy policy, *Oxford Rev. Econ. Policy*, vol. 26, no. 2, pp. 197–224, 2010. <https://doi.org/10.1093/oxrep/grq004>
- [12] Panayotou, T. *Economic Instruments For Environmental Management And Sustainable Development*, 1994. https://www.cbd.int/doc/nbsap/finance/Panayotou1994EconInstEnvMgSusDev_1994EconInstEnvMgSusDev.pdf [pristupljeno 01.03.2021]
- [13] Santos, G., Behrendt, H., Maconic, L., Shirvanic, T., Teytelboym, A. Part I: Externalities and economic policies in road transport, *Res. Transp. Econ.*, Vol. 28, pp. 2–45, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2009.11.002>
- [14] Rikalović, G., Molnar, D. Ključni ekonomski instrumenti redukcije štetnih gasova i klimatske promene: teorijsko-metodološki pristup, in *Svet i srbija – vreme promena*, S. Grk and Molnar D, Eds. Beograd: CID, Ekonomski fakultet u Beogradu, 2017.
- [15] Jovanović, M., Vračarević, B. The challenges of the tradable permits use in transport sector, in *Zb. Rad. Fak. Univ. u Beogradu*, Vol. 61, pp. 59–72, 2013. <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/1450-7552/2013/1450-75521361059J.pdf> [pristupljeno 03.03.2021]
- [16] Weitzman, M.L. Prices vs. quantities, *Rev. Econ. Stud.*, Vol. 41, pp. 477–91, 1974. https://scholar.harvard.edu/files/weitzman/files/prices_vs_quantities.pdf [pristupljeno 03.03.2021]
- [17] Harris, J.M., Roach, B. *Environmental and Natural Resource Economics: A Contemporary Approach*, 4th ed. Routledge, 2017.
- [18] Winston, C. *Government Failure vs. Market Failure: Microeconomics Policy Research and Government Performance*. Washington, D. C.: AEI-Brookings Joint Center for Regulatory Studies, 2006. <https://lyd.org/wp-content/uploads/2012/04/government-failure-versus-market-failure.pdf> [pristupljeno 01.03.2021]
- [19] Vračarević, B. Economic instruments in environmental policy, *Environment*, Vol. 2, no. 2, pp. 79–83, 2014. https://www.researchgate.net/publication/324165196_Economic_instrument_s_in_environmental_policy [pristupljeno 01.03.2021]
- [20] Jovanović, M. *Gradski saobraćaj i životna sredina*. Beograd: Geografski fakultet, 2014.
- [21] Asefa, S. *The Economics Of Sustainable Development*. Michigan: W.E. Upjohn Institute for Employment Research Kalamazoo, 2005. <https://doi.org/10.17848/9781417596324>
- [22] Jovanović, M. Critical sustainability and energy consumption in urban transport, *Bull. Serbian Geogr. Soc.*, Vol. 3, pp. 153–170, 2010, <https://doi.org/10.2298/GSGD1003153J>
- [23] Daly, H.E. *Ecological economics and sustainable development, Selected Essays of Herman Daly*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2007.
- [24] World Energy Council, *Roadmap towards a Competitive European Energy Market*. London: World Energy Council, 2010. https://www.worldenergy.org/assets/downloads/PUB_Roadmap_Towards_A_Competitive_European_Energy_Market_2010_WEC.pdf [pristupljeno 20.02.2021]
- [25] International Monetary Fund, *World Economic Outlook*. Washington, DC: IMF, 2018. <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2019/08/30/World-Economic-Outlook-October-2018-Challenges-to-Steady-Growth-46081> [pristupljeno 20.02.2021]
- [26] Li, K., Fang, L., He, L. The impact of energy price on CO2 emissions in China: A spatial econometric analysis, *Sci. Total Environ.*, Vol. 706, No. 2, p. 135942, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135942>
- [27] C. M. Siddayao, *Criteria for Energy Pricing Policy*. London: Graham & Trotman Ltd, 1985.
- [28] Clarke, A.L., Winters, R. Energy pricing for sustainable development in China, in *The Economics of Sustainable Development*, A. L. Goldin, I. and Winters, Ed. Cambridge: Columbia University Press, 1995.
- [29] Yuan, C., Liu, S., Wu, J. The relationship among energy prices and energy consumption in China, *Energy Policy*, Vol. 38, No. 1, pp. 197–207, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.006>

AUTORI

dr Gojko Rikalović - redovni profesor, Univerzitet u Beogradu - Ekonomski fakultet, gojko.rikalovic@ekof.bg.ac.rs

dr Bojan Vračarević - docent, Univerzitet u Beogradu - Geografski fakultet, bojanvracarevic@gmail.com

dr Dejan Molnar - vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu - Ekonomski fakultet, dejan.molnar@ekof.bg.ac.rs (Autor za korespondenciju)

Pametna i socijalno odgovorna energetska tranzicija u regionima sa intenzivnom eksploatacijom uglja

Smart and Socially Responsible Energy Transition in Coal Intensive Regions

Jasmina Mandić Lukić, Đorđina Milovanović, Maja Stipić, Sanja Petrović Bećirović, Radoslav Raković, Brankica Popović Zdravković, Miodrag Životić

Energoprojekt Entel, Belgrade

Rezime - Suočena sa preuzetim međunarodnim obavezama koje se odnose na aktivnosti usmerenim ka ublažavanju posledica klimatskih promena, a koje će se i zvanično reflektovati kroz regulatorna dokumenta koja su u procesu definisanja i usvajanja (Strategija i Akcioni plan niskougljeničnog razvoja i Zakon o klimatskim promenama), u Srbiji se sve jasnije sagledava neophodnost da se eksploatacija i korišćenje domaćeg uglja zameni ekološki prihvatljivijim gorivima ranije nego što je to inicijalno planirano. Poznata činjenica da sektor energetike u Srbiji generiše 80% ukupnih GHG emisija na nacionalnom nivou, a da su pomenute emisije dominantnim delom posledica sagorevanja domaćeg lignita, jasno ukazuje na zaključak da se najveći uticaj na usporavanje daljih klimatskih promena na lokalnom nivou prvenstveno može ostvariti kroz korišćenje alternativnih izvora energije.

Ipak, imajući u vidu da pomenuti proces energetske tranzicije sa sobom nosi niz značajnih tehnoloških, ekoloških, ekonomskih, socijalnih i drugih poteškoća, EU je kroz program Horizont 2020 pokrenula više projekata, a jedan od njih je TRACER koji ima za cilj da prikaže primere najboljih istraživačko-inovacionih strategija usmerenih ka lakšem prelasku na niskougljeničnu, održivu energetska praksu. Projekat analizira devet evropskih regiona sa intenzivnom eksploatacijom uglja, među kojima je i Kolubarski region u Srbiji. U radu su prikazani tehnološki, ekološki i socijalni izazovi u procesu tranzicije, sa akcentom na Kolubarski region, i predlogom za energetska tranziciju u Srbiji, uvažavajući Istraživačko-inovacione strategije i Pametnu specijalizaciju.

Glavne reči - Energetska tranzicija, Istraživačko-inovacione strategije (I&I), Zelena energija, Pametna specijalizacija

Abstract - Faced with forthcoming international obligations related to climate change mitigation measures, primarily planned to be reflected through the Law and Action Plan on Low Carbon Development Strategy, as well as the Law on Climate Change, all of which are currently being defined and adopted, Serbia is increasingly facing a need to switch its coal-fired facilities to alternative, environmentally more acceptable options. The related measures will have to be implemented much sooner than initially planned. Knowing that 80% of national GHG emissions originate

from the energy sector, as well as that the dominant portion of those emissions results from the use of locally available coal, it is clear that the most efficient climate change mitigation measure would be a switch to alternative fuel options.

However, having in mind that such an energy transition process is coupled with significant technological, environmental, economic, social, and other difficulties, the EU has initiated several projects, and one of them is TRACER, launched under the Horizon 2020 program, that strives to shed light on the best research and innovation strategies facilitating easier transition to the sustainable, low carbon energy system. The project addresses actions across nine coal-intensive European regions, including Kolubara Region in Serbia. The paper presents technological, environmental, and social challenges in the transition process, with an emphasis on the Kolubara region, and a proposal for the energy transition in Serbia respecting R&I strategies and Smart Specialization.

Index Terms - Energy transition, Research and Innovation (R&I) strategies, Green Energy, Smart Specialization

1 INTRODUCTION

Energy is the driver and key factor of economic change; in some way, it is the backbone of the country's economic development. Having in mind the importance of energy for one country, each country sets its long-term goals in this regard. Today the biggest challenge is the fight against climate change and related to that the EU has set long-term reduction greenhouse gas emissions by 80-95% compared to 1990 levels by 2050 [1]. There are specific targets for 2030:

- a 40% cut in greenhouse gas emissions,
- at least a 27% share of renewable energy consumption,
- at least 27% energy savings compared to the business-as-usual scenario.

As the main source of greenhouse emission represents fossil fuel combustion, the main goal of a sustainable energy future is seen in the fuel switch to renewables. Such energy transition is very complex and financially demanding, and also time-consuming.

Energy transition must be supported by the entire global community. Although Europe represents only a small portion of

the worldwide energy society, it plays an important role in this transition, having in mind that it is in many respects at the forefront of this change: it has a very high energy consumption per capita, and hence GHG emissions per capita. Also, there is a fact that global resources are limited and that environment needs to be protected. Although energy transition is seen as a necessity in the modern world, one should also keep in mind that each European country has access to different energy resources and thus different approaches to the energy transition. In order to achieve the goal set, many projects have been launched in the EU to support and facilitate energy transition especially those based on the utilization of the so-called smart strategies aimed at specific, measurable, achievable, realistic, and timely (SMART) actions towards successful implementation of sustainable energy policy.

One such project is the EU-funded TRACER (HORIZON 2020 - 836819) project which aims to support the energy transition of a number of coal-intensive regions around Europe by shaping their R&I strategies so as to define roadmaps for their transition into sustainable energy systems. These roadmaps will lead to the diversification of local economies in order to take care of social challenges and reskilling needs of the local workforce currently engaged in coal-related activities.

In the TRACER project, nine European coal intensive regions are considered, where six of them belong to EU Member States (Bulgaria, Czech Republic, Germany, Greece, Poland, Romania) and three of them are in countries outside the EU (UK, Serbia, Ukraine). In the next section, these regions are presented briefly.

In the third section Serbian coal intensive region Kolubara is presented and the factors influencing its transition; then in section four the path of EU countries towards energy transition is described, noting that each country has its own specific path. Serbian transition path is considered, having in mind targets and objectives.

II TRACER PROJECT

TRACER project [7] supports the transition of coal-intensive regions around Europe towards a low carbon economy. The focus is on some of the most coal-dependent regions (Figure 1):

1. Bulgaria, Yugoiztochen Region
2. Czech Republic, North-West Bohemia
3. Germany, Lusatian Lignite District/Economic Region Lusatia
4. Greece, Western Macedonia Region
5. Poland, Upper Silesia Region
6. Romania, West Region / Jiu Valley
7. Serbia, Kolubara region
8. Ukraine, Donetsk region
9. United Kingdom, Wales

Coal mining and utilization in heat and electricity production in target regions are characterized by different intensities. Table 1 presents coal production, installed power generation capacities, and production of electricity according to the latest available data.



Figure 1. TRACER target regions

Table 1. Coal production, installed electrical capacity & electricity generation across regions [7]

Region	Coal production (Mt/ year)	Coal based TPPs	
		Installed capacity (MW)	Electricity generation (TWh/year)
BG: Yugoiztochen	28	3,214	14
CZ: North-West Bohemia	38	> 2,850	36
DE: Lusatian Lignite District	171	6,717	49
GR: Western Macedonia	29	4,438 (3,755 since 2011)	25 (in 2014)
PL: Upper Silesia	53	31,300	79
RO: West Region / Jiu Valley	2	1,225	1
RS: Kolubara	29	3,411	18
UA: Donetsk	11	6,875	55
UK: Wales	1	2	No data

Through different reports, the current role of coal and related policy in the target region were analysed. Additionally, were considered technological challenges and the opportunities for the transition of the energy system into a smart, sustainable, and renewable energy system, the necessary social transition, not forgetting opportunities for environmental protection and post-mining land reclamation. It is planned to meet possibilities and engage forces for financing transitions in the region through one work package. Different activities are planned to develop smart strategies for the transition in coal intensive regions. The best practice examples of successful and ambitious transition processes in coal-intensive regions were analysed, and they can serve as guidelines for TRACER target regions. It is planned that regional actors assist in developing R&I strategies for an easier transition to sustainable energy systems. As a key task, roadmaps from coal towards transition strategies and new technologies will be developed.

III KOLUBARA TARGET REGION

Kolubara target region or Kolubara open-pit coal mine spreads across two NUTS2 regions – Belgrade City region (3,234 m² of surface area and a population of 1,687,132) and Sumadija and Western Serbia region (26,493 km² of surface area and a population of 1,941,130). The mine is mostly located inside the boundaries of the City of Belgrade, the capital of Serbia, and with one minor portion located in Kolubara District (2,474 km² of surface area and a population of 165,273) which belongs to Sumadija and Western Serbia region. The coal excavation area covers about 130 km² and is organized in the municipalities Lazarevac, Ub, Lajkovac, Obrenovac, and Arandjelovac. Kolubara River divides the open mine area into two parts – larger western and smaller eastern parts.

A Social Situation

More than half of the population of the Kolubara region are economically inactive (children under the age of 15, students, retired, unemployed persons, etc.). For the employed population, average net salaries in Lazarevac and Lajkovac are above both national and capital city averages, while in Obrenovac net salaries are above national levels. The unemployment rate in the region is lower than the state's average.

Activities in the field of culture take place mainly in municipal areas. Most rural settlements have Homes of Culture, which are mostly multifunctional purpose buildings, so they are used to accommodate diverse sports activities, trade, health services, as well as administrative work. At the same time, these facilities (buildings) are mostly unconditional, inadequately equipped, and of poor quality.

Educational structure is disadvantageous, due to the predominantly rural population, having a low formal education level. The majority share of the population has completed secondary education (39.5÷56.1%). The population with higher education levels is concentrated in towns (Lazarevac, Obrenovac) and economic centres (Kolubara mine, power plants, associated companies).

B Economic Development

The Kolubara region is more developed than other regions of similar size in Serbia, due to two main reasons: it is located within the boundaries of the Belgrade city region (which itself has above-average economic development), and it represents a highly important area for the mining sector.

The infrastructure is very well developed in this region, quite a lot of kilometres of public roads in the Belgrade City region, as well as in Sumadija and Western Serbia region. Belgrade (Serbia) – Bar (Montenegro) railway runs through the region and comprises several rail stations. In addition, the international airport “Nikola Tesla” is also not far from the Kolubara target region.

There is a gas network in the region, as well as several long-distance power lines.

C Energy Generation Using Coal

Coal-driven power plants and CHP (Combined Heat&Power

energy production) plants in the Kolubara basin use conventional pulverized coal firing technology with subcritical steam parameters. Out of the existing 14 units at four sites, 9 use river water for the once-through condenser cooling, while 5 small units sited at the mine mouth (TPP Kolubara A) use the forced draft cooling towers for recirculation cooling. Originally, all 14 units were of the condensing type, but two of them at the Obrenovac site are converted to CHP and generate heat for the local district heating system.

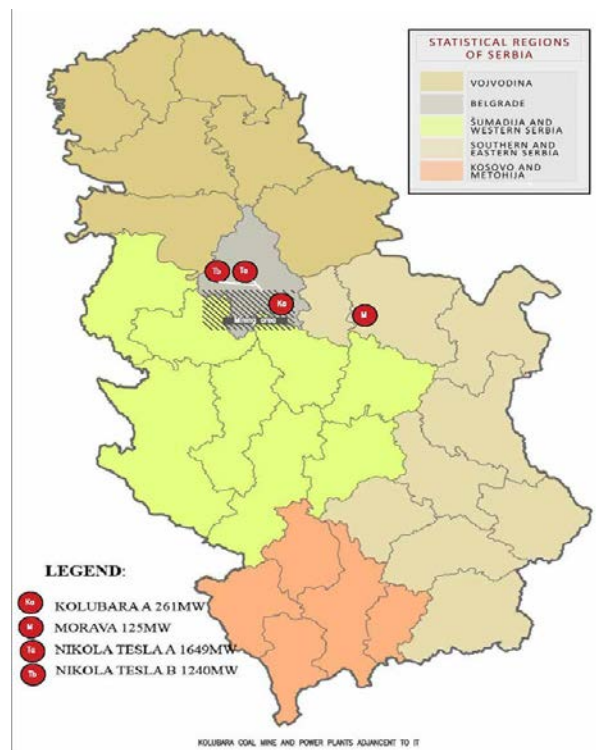


Figure 2. Location of Kolubara target region

Table 2. Age of the existing units fired by coal from Kolubara mines

Plant name and site	“Nikola Tesla” A Obrenovac	“Nikola Tesla” B Vorbis	Kolubara A Vreoci	Morava Svilajnac
Start-up year of particular units	A1: 1970 A2: 1970 A3: 1976 A4: 1978 A5: 1979 A6: 1979	B1: 1983 B2: 1985	A1: 1956 A2: 1957 A3: 1961 A4: 1961 A5: 1979	1969.

• Source: Annual Technical Report, Electric Power Utility of Serbia, 2006

At the time when these power plants have been built, the existing environmental legislation was applied to limit the emissions of particulate matter from the flue gasses. For the purpose of additional air quality protection, the plants have been equipped with high chimneys in aim to dissipate flue gasses away from the

site. Currently, the EU standards on emission control have been implemented into the Serbian legislation, and the modern electrostatic precipitators, flue gas desulphurization and denitrification facilities are being introduced into the power plants that are planned to operate beyond the year 2023.

By then, 6 smaller old units (Kolubara A and Morava) will be shut down as their modernization to satisfy new environmental standards is not considered feasible.

In the past decade, nominal capacities of major power plants fired by lignite from the Kolubara coal basin (TPP's Nikola Tesla A&B) have been changed following an effort of Electric Power Industry of Serbia to extend the life and increase their rated power, Table 3.

Table 3. Nominal capacities of thermal power plants fired by lignite from Kolubara basin [15].

Power plant	"Nikola Tesla" A	"Nikola Tesla" B	Kolubara A	Morava
Nominal installed capacity of units before/after their modernization, MW	Unit A1: 210/225 Unit A2: 210/225 Unit A3: 305.5/329 Unit A4: 308.5/345 Unit A5: 308.5/340 Unit A6: 308.5/347	Unit B1: 618/670 Unit B2: 618/670	Unit A1: 32 Unit A2: 32 Unit A3: 65 Unit A4: 32 Unit A5: 110	Unit 1: 125

D Environmental Situation

Environmental impact issues recorded in the region are mainly related to the operation of mining and energy sectors, and associated industries and industrial activities. The main air, soil, and water polluters are open-pit mine Kolubara, coal dumps, power plants, and ash and slag dumps (Spatial plan of Kolubara, 2016). The mining process affects soil degradation, while emissions of particulate matter Sox, Nox, and volatile organic compounds negatively affect ambient air quality. Wastewaters from coal in some cases, run to the Kolubara River without sedimentation and filtration. All activities carried out during coal excavations also emit noise.

Table 4. Dust emission factors depending on the type of activity and equipment, according National Pollutant Inventory (Study on the Long Term, 2015)

Activity/equipment	Unit	Dust emission factor	
		Total suspended particles	Particular matter
Dragline excavator	kg/m ³	0.06	0.026
Excavator on overburden	kg/t	0.025	0.012
Excavator on coal	kg/t	0.029	0.014
Belt conveyors	kg/t	0.005	0.002
Loading from the pile	kg/t	0.004	0.0017
Movement of the vehicle	kg/km	4.08	1.24
Unloading from the truck	kg/t	0.012	0.0043
Bulldozer	kg/t	17.0	4.1
Erosion by the wind	kg/ha/h	0.4	0.2

Table 4 shows data on the intensity of segregation (emissions) of dust under the influence of primary and secondary sources in mining facilities according to the natural and technological conditions on surface mines in the area of the Kolubara region.

Thermal power plants in the Kolubara region represent sources of SO_x, NO_x and particulate matter emissions which negatively affect air quality (presented in table 3). As equipment for flue gas desulphurization is not yet installed in all power generation units, pollution levels with respect to SO_x multiple times exceed the limit values.

Table 5. Emissions of pollutants to the air from thermal power units burning lignite from Kolubara coal basin (2016 data)*

Power unit	Unit	Emissions to the atmosphere, t/a			
		SO _x , t/a	NO _x , t/a	PM, t/a	CO ₂ , t/a
"Nikola Tesla" A	A1	11,708	1,892	957	1,236,416
	A2	14,358	2,320	1,600	1,514,068
	A3	22,115	3,574	306	2,332,565
	A4	21,233	3,028	546	2,311,568
	A5	22,282	3,178	435	2,422,878
	A6	22,020	3,140	282	2,394,161
"Nikola Tesla" B	B1	39,900	7,990	612	4,734,075
	B2	19,563	3,918	447	2,318,490
Kolubara A	A1-A3	4,159	839	2,981	629,310
	A5	762	227	198	384,048

Source: Annual Technical Report, Electric Power Utility of Serbia / Thermal Power Plants Branch,

IV SMART ENERGY TRANSITION

The starting point for the energy transition consideration is the greenhouse emissions. It is envisaged that the origin of the man-made recent climate change is manifested through the greenhouse effect. In order to mitigate the impact of climate change, greenhouse gas emissions have hence to be reduced.

In November 2010 the European Commission announced the first major EU energy strategy, the so-called "2020 Energy Strategy". In practice, each EU Member State was obliged to draft an integrated National Energy and Climate Plan (NECP) by 1 January 2019 covering the period 2021 – 2030 [14]. From 2021, each country has to produce a progress report every two years (first due by end of 2022), which will complement the Commission's evaluation of the implementation of the national plans.

In addition to this, it should keep in mind that the main problem is European diversity, i.e., the present energy mix in the member states is extremely different, and then also objectives and instruments of energy transitions. EU countries started with their own energy transition, so the speed and success on that path will be different.

A Targets and Objectives for Serbian Energy Transition

Bearing in mind that the Republic of Serbia is a candidate country for EU membership so that the Serbian energy transition is strongly influenced by obligations set by the EU Accession process and related agreements signed by Serbia. This particularly refers to the Stabilization and Association Agreement and the Energy Community Treaty. Serbian authorities have aligned national legislation with the EU Acquis, while the Energy Community Treaty obligations enforce the implementation of the EU legislation in the fields of energy, environment, and market competition. In addition, Serbia has also climate change-related obligations resulting from the Paris agreement, which the country has signed.

It can be stated that the Serbian energy transition has started and is mainly driven by the Energy law (2014, 2018, 2021) and Energy Strategy to 2030 (2015). Also, the Government of Serbia has passed the updated National Plan for the reduction of main air pollutants from old combustion plants. The adopted document is Serbia's NERP (National Emission Reduction Plan) [13]. As per this document, all units at sites of TPP Kolubara A and TPP Morava are scheduled to be closed by the year 2023. The rest of the large coal combustion plants is planned to continue operation after being thoroughly refurbished (with both the life extension and capacity increase measures) and equipped with modern facilities for environmental protection equipment. NERP is prepared fully in accordance with European Energy Community guidelines and considers the contribution of these plants to maximal pollutant emissions and defines mechanisms for monitoring and reporting implementation of the Plan in force.

B Energy Transition Concept

In order to define the technical transitional concept, both documents:

- a) The Energy development strategy of the Republic of Serbia;
- b) The Low Carbon Development Strategy, with Action plan,

must be respected. In addition, the positions of various stakeholders must equally be taken into account. The stakeholders have been consulted on different occasions, and their positions carefully studied. It appears that their positions may roughly be grouped in two groups, one, larger, in favour of coal use in the target region by the end of the exploitation (about 2050) and/or by the end of the operational lifetime of the power generating equipment, and another supporting the EU climate policy calling for an urgent transition away from coal towards natural gas and renewables.

Energy transition towards the non-carbon energy technologies is not an easy endeavour for Serbia due to the fact that its major primary energy source is the indigenous coal-lignite, which is used to generate three-quarters of the country's electricity. With an aim to ensure the security of energy supply, especially of electricity and heat, the transition away from coal will mean the closure of the coal-fired thermal power plants before the expiration of their (and of coal mines) lifetime. For an expected country's economic growth and continuous raise of power demand, adequate measures and activities should be undertaken

to ensure that a substitute with the low-carbon generation could be realized in the meantime.

Replacement of coal fired power and heat generation capacities in the Kolubara region with gas and/or using RES (Renewable Energy Sources) in a relatively short time (to reach net zero emissions by 2050) seems unrealistic for Serbia. Also, it should bear in mind both availability of the alternative resources and low economic strength, which would be endangered by the increase of import dependency. On the other side, the new power plant (Kolubara B) under consideration for decades now, but such investment would require longer time to pay off. The same applies to the investment in new environmental protection currently under construction, as well as in the conversion of the condensing to the cogeneration units at „Nikola Tesla“ A power plant and in the huge about 30 km long double pipeline to transport hot water to the district heating system in the city of Belgrade.

Strategy proposes gradual replacement of coal in energy generation by natural gas and renewable energy sources. The expected adoption and implementation of the Low carbon strategy could strongly hit the energy sector and the future use of coal in Serbia, which would strongly affect the Kolubara target regions in many aspects.

As part of the energy transition strategy, the construction of gas plants (emitting 3-4 times less CO₂ than coal fired plant) at locations owned by EPS is considered, such as TPP Morava, TPP Kolubara A and TPP Kostolac A.

The national energy policy is also putting an emphasis on transition towards an increased use of the renewable energy sources and provides subsidies to attract the investment in their development to gradually replace lignite-based generation.

The bulk of new renewable electricity will come from wind (planned capacity is 500MW by 2020, realized 374 MW). Current solar potential remains under-utilized (10 MW only), but new Law on the Use of Renewable Energy Sources will contribute to the change and is expected to draw investments in solar power. Construction of new large hydro capacities is behind schedule: no new large hydropower plants have been built, although the plans exist. There are large number of small hydro power plants (SHPP) in operation: 15 owned by Electric Power Industry of Serbia (20 MW in total), 154 built by private investors (107.61 MW in total). New Law on the Use of RES has prohibited further construction of SHPP. The construction of first waste-to-energy cogeneration facility near Belgrade has started and is expected that new waste project will be developed as well. Biomass facilities have not yet gained broader attention, although some biomass heating plants have been constructed.

As it is evident that electricity consumption is constantly growing, Serbia cannot conduct energy transition without introduction of new power plant. So far, Serbian energy strategy development for the period up to 2050 is not yet defined, but some projects will be launched to examine possible paths. One possibility is to introduce power plants based on fuels with lower carbon footprint, such as gas, as well as biomass and waste. The other possibility is implementation of new technologies, when commercially available (such as hydrogen), as well as

participation in the investment for construction of a nuclear power plant in one of the neighbouring countries (like Hungary or Bulgaria) is increasingly mentioned.

The Kolubara target region has strong and well-developed energy networks, the largest in Serbia. Also, well-developed infrastructures present at sites of TPP Nikola Tesla A and TPP Nikola Tesla B are of value for possible industrial utilization after the closure of coal-fired units, particularly so as the once-through cooling solutions have been implemented. This makes it a valuable potential site(s) for eventual later construction of nuclear power plant(s) to ensure base-load power supply to the national power system. In the case of utility-scale gas-fired power generation using a combined (gas and steam) cycle, adequate capacities for heat consumption are limited to a small number of cases, ones where the district heating systems may be found to exist.

Besides these arguments, Serbia is struggling to improve its low energy efficiency, both in generation and consumption. To promote the use of efficient cogeneration of heat and electricity, subsidies were provided. With the newly adopted law on RES, auctions are introduced instead of feed in tariffs and bylaws are currently being prepared. Also, a particular objective is to reduce the consumption of electricity for space heating.

C Smart Specialization Strategy

The Republic of Serbia has joined the EU Platform of the regions and countries that have entered into the development of the Smart Specialization Strategy. By targeting resources in areas that have the most competitive and innovative potential, the Smart Specialization Strategy of the Republic of Serbia (4S) for the period 2020-2027 helps its domestic economy to more effectively utilize its potential and better position itself in global markets. Developing innovation in identified priority areas (4S) creates the preconditions for sustainable development in different areas. Many of these areas of priority are found to be present in the Kolubara, therefore introducing excellent opportunities for regional development in the post-mining period. To support such a development, continued energy production and supply is considered to be crucial, which is presently based on the indigenous coal resources.

When considering the economic potential of importance for further activities in the Kolubara region, statistical data from two statistical regions in Serbia are of importance to be considered. In Belgrade statistical region [RS11] a strong development potential is identified in the areas of information and communication technology (ICT), scientific research and innovation (R&I), education, as well as in some areas of the manufacturing industry. The Sumadija and Western Serbia statistical region [RS21] is characterized by agricultural activities (including food production), the automotive industry, a strong science base in the fields of mechanical engineering and pharmacy, as well as the production of general-purpose machinery. Based on the EC methodology for developing national smart specialization strategy and the entrepreneurial discovery process (EDP), the Smart Specialization Strategy of the Republic of Serbia has identified national priority areas for Serbia, for which a strong development potential is available in the Kolubara target region.

These priority areas include the following key development technologies:

- Food for the future,
- Information and communication technology,
- Machines and manufacturing processes of the future (manufacture of machinery and electronic devices),
- The creative industries, as well as
- Environmental protection and energy efficiency.

V CONCLUSION

The inevitable transitional process of the energy sector in Serbia would result in a significant shift of the current energy development strategy of Serbia towards the low-carbon development strategy. This would imply a shift towards climate adaptable economy in the Kolubara target region. However, the required dynamics of the transition, needed to accomplish much talked about net-zero GHG, emission reduction by 2050 - could hardly be achieved. Rather a slower, stepwise energy transition towards an efficient carbon-free energy sector should be provided in the Kolubara target region. According to the current position of the stakeholders in the region, this may be the only way to meet the required goal, while maintaining the security of energy supply and social welfare.

The Low Carbon Development Strategy of Serbia defines several scenarios to achieve a carbon-neutral economy and society, including gradual replacement of coal in energy generation by natural gas and renewable energy sources. The expected adoption and implementation of the Low carbon strategy could strongly hit the energy sector and the future use of coal in Serbia, which would strongly affect the Kolubara target region in many aspects.

ZAHVALNICA/ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank the TRACER partners for their contributions, cooperation and exchange of experience in the project. The authors would like to thank the European Commission and the INEA for the support of the TRACER project. TRACER has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No. 836819.

The authors thank Dr Miodrag Mesarović, the member of the World Energy Council and Serbian Academy of Engineering Science, for all suggestions and advices in preparing the paper.

Disclaimer: The sole responsibility for the content of this paper lies with the authors. It does not necessarily reflect the opinion of the European Union. Neither the INEA nor the European Commission are responsible for any use that may be made of the information contained therein.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Energy transitions in Europe: Common Goals but Different Paths, Euro-CASE Energy Platform, 2017. https://www.euro-case.org/wp-content/uploads/2019/10/Eurocase/Publications/PDF/platform_energie2019.pdf [pristupljeno 30.03.2021]
- [2] Spatial plan of Kolubara Mining Region – 2016.
- [3] SORS (Statistical Office of the Republic of Serbia), 2018a. Statistical Yearbook 2018.
- [4] SORS (Statistical Office of the Republic of Serbia), 2018b. Statistical Yearbook 2018. Municipalities and Regions in the Republic of Serbia, 2018.

- [5] Electric Power Industry of Serbia 2018, 2019. Environmental Report. <http://www.eps.rs/eng/Documents/energyEfficiency/The%20PE%20EPS%20Environmental%20Report%202018.pdf> [pristupljeno 30.03.2021]
- [6] Study on the Long Term Exploitation of Coal in Kolubara Mining Region, 2015.
- [7] TRACER project, <https://tracer-h2020.eu> [pristupljeno 30.03.2021]
- [8] Mergner, R., et al., Smart strategies for the transition in coal intensive regions, in Proc. 28th European Biomass Conference & Exhibition (EUBCE 2020), Marseille, France, 6-9 July 2020. <https://eurec.be/smart-strategies-for-the-transition-in-coal-intensive-regions/> [pristupljeno 30.03.2021]
- [9] Radulov, L., Nikolaev, A., Genadieva V. (Eds.) Report on the current role of coal mining and related policies in the TRACER target regions, D3.1, September 2019, Project No: 836819, Smart strategies for the transition in coal intensive regions.
- [10] Doczekal, C., et al., Technical concepts for the transition of the energy system into a smart, sustainable and renewable energy system in the TRACER target regions, D3.2, page 101-114, July 2020, Project No: 836819, Smart strategies for the transition in coal intensive regions.
- [11] Strategy on development of Energy Industry in Serbia up to 2025, with projection up to 2030 (Official Gazette of Republic of Serbia 101/2015).
- [12] Program of implementation of Strategy on Development of Energy Industry in Serbia up to 2025, with projections up to 2030 (Official Gazette of Republic of Serbia 104/2017)
- [13] National Plan for Reduction of Main pollutants from old large combustion Plants (Official Gazette of Republic of Serbia 10/2020).
- [14] National energy and climate plans (NECPs), https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/national-energy-climate-plans_en [pristupljeno 30.03.2021]
- [15] Annual Technical Report, Electric Power Utility of Serbia/ Thermal Power Plants Branch, 2016.

AUTORI/AUTHORS

Dr Jasmina Mandić-Lukić, Energoprojekt Entel p.l.c.,
jmlukic@ep-entel.com
MSc Đordina Milovanović, Energoprojekt Entel p.l.c.,
djmilovanovic@ep-entel.com
Maja Stipić, Energoprojekt Entel p.l.c., mstipic@ep-entel.com
Dr Sanja Petrović Bećirović, Energoprojekt Entel p.l.c.,
spetrovic@ep-entel.com
Dr Radoslav Raković, Energoprojekt Entel p.l.c., rrakovic@ep-entel.com
Brankica Popović Zdravković, Energoprojekt Entel p.l.c.,
bpopovic@ep-entel.com
Dr Miodrag Životić, Energoprojekt Entel p.l.c., mzivotic@ep-entel.com

Analiza zahteva za korišćenje otpadne drvene i biljne biomase u Srbiji u energetske svrhe

Analysis of Requirements for the Use of Waste Wood and Plant Biomass in Serbia for Energy Purposes

Srećko Ćurčić, Milan Vesković, Momčilo Vujičić

Fakultet tehničkih nauka u Čačku

Rezime - Korišćenje otpadne drvene i poljoprivredne biomase 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 izvora otpadne drvene i biljne biomase kako za energetske svrhe, tako i za druge moguće potrebe. Dobro isplaniran lanac snabdevanja otpadnom drvnom i biljnim biomasom u Srbiji, sa odgovarajućim pripremnim tehnologijama može značajno da utiče racionalno korišćenje raspoloživih resursa. U ovom radu data je analiza zahteva za korišćenje raspoloživih resursa otpadne drvene i poljoprivredne biomase u Srbiji za odgovarajuće svrhe.

KLjučne reči - analiza zahteva, otpadna drvena i biljna biomasa, racionalno korišćenje, regionalna teritorija

Abstract - The use of waste wood and agricultural biomass as renewable energy sources has in recent years been a practical and reliable way to obtain energy in most EU countries. Numerous scientific and practical researches are focused on the possibilities of using different sources of waste wood and plant biomass for energy purposes, as well as for other possible needs. A well-planned supply chain of waste wood and plant biomass in Serbia, with appropriate preparatory technologies, can significantly influence the rational use of available resources. This paper presents an analysis of the requirements for the use of available resources of waste wood and agricultural biomass in Serbia for appropriate purposes.

Index Terms - requirements analysis, waste wood and plant biomass, rational use, regional territory

1 UVODNA RAZMATRANJA

Prema podacima Republičkog zavoda za statistiku, od posećene zapremine drveta, pored glavnih vrsta proizvoda, evidentan je i drveni ostatak koji ostaje u šumi, i obično iznosi oko 10%. Pored ovoga, kao što je već naglašeno, u šumama ostaju panjevi i tanje grane. Zapremina uobičajeno neiskorišćenih delova drveta, koji sadrže koru, tanke grane i panjeve, iznose oko 42% od ukupne zapremine drvene mase drveta. To znači da prema sadašnjoj seči drveta u šumama Srbije ostaje velika količina drvnih ostataka, tj. drvnog otpada. Ovi ostaci su različiti po veličini i obliku, i rasuti su po šumi. Koji deo ostataka će biti iskorišćen uglavnom zavisi

od vrste terena, šumske infrastrukture i razdaljine do mesta za iskorišćenje ostataka. U nepristupačnim šumama, sa vrlo strmim nagibima, sa šumskom infrastrukturom koja je u lošem stanju, i gde je neophodno zaštititi zemljište od erozije, procenat šumskih ostataka koji se mogu izvući iz šume je manji. Sa boljom šumskom infrastrukturom, i sa odgovarajućom cenom, mnogo veća količina šumskih ostataka bi mogla da se iskoristi u energetske svrhe nego što je to sada slučaj.

Treba istaći da je stepen iskorišćenja šuma (odnos seče i prirasta) u Srbiji manji od 50%, dok je u razvijenim zemljama ovaj koeficijent znatno viši i kreće se oko 75% [4]. Dakle, treba istaći da postoji mogućnost da se u pojedinim šumama Srbije poveća obim seče drveta u odnosu na današnji nivo, a samim tim i energetski potencijal ogrevnog drveta. Kao što je već naglašeno, veoma važan uslov za bolje iskorišćenje šuma je poboljšanje šumskih puteva.

Značajne količine otpadnog drveta za energiju se dobijaju na pilanama i drugim pogonima za preradu drveta - drvo od tehničkih trupaca sa greškama ili od trupaca koji su napadnuti gljivama, okorci, piljevina i slično. Proizvodi koji se mogu koristiti od ostataka pri preradi drveta su briketi i peleti.

Svi drveni ostaci koji nastaju u šumama i zasadima oko puteva i proseka, granjevina, panjevi i slično ostaju obično oko puteva, gde se vrši prirodna razgradnja ove drvene mase. Prirodna razgradnja - humifikacija ovih drvnih ostataka odvija se spontano i traje više godina. Nažalost, često se ova drvena masa spaljuje u šumi, što donosi rizike od požara i šteta na šumskom zemljištu.

Kada se govori o biomasi u poljoprivredi onda se, pre svega, misli na biljne ostatke iz biljne, voćarske i vinogradarske proizvodnje. Procenjeno je da se svake godine u Srbiji proizvede ukupna količina od oko 12,5 miliona tona biomase, od toga u Vojvodini oko 9 miliona tona (72%) [1,4]. Postoje velike mogućnosti za korišćenje biomase u poljoprivredi: za proizvodnju humusa (zaoravanjem), stajnjaka (prostiranjem), stočne hrane (bez tretiranja, sa tretiranjem hemijskim sredstvima, mešanjem sa proteinskim hranivima i dr.), 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), pudera i

drugih kozmetičkih sredstava, ukrasnih predmeta (tapiserija, slamnatih šešira, i dr.) i za druge svrhe.

Između ratara, stočara, tehnologa, mašinaca, ekonomista i ostalih potencijalnih korisnika biomase postoje oprečna mišljenja u koje svrhe bi se mogla najkorisnije upotrebiti biomasa [5,7]. Ratari smatraju da najveći deo biomase treba zaorati i na taj način povećati plodnost zemljišta, stočari smatraju da treba biomasu koristiti za prostirku i proizvodnju stočne hrane, i sa stajnjakom povećati plodnost zemljišta, tehnolozi smatraju da od biomase treba proizvoditi alkohol, termičari smatraju da biomasu treba koristiti za proizvodnju toplotne energije, itd [1, 3].

Pojedini ostaci biljne biomase mogu se koristiti u procesima kompostiranja za dobijanje komposta. Kompostirani se mogu gotovo svi biljni ostaci sa vlagom većom od 40% (trava, lišće, granje, ostaci voća i povrća i sl.). Kao proizvod kompostiranja dobija se koristan materijal (kompost), sličan humusu, koji nema neprijatan miris i koji se može koristiti kao sredstvo za kondicioniranje zemljišta ili kao đubrivo.

Kompost u zemljištu povoljno utiče na poboljšanje vodnog, vazdušnog i toplotnog režima zemljišta. Takođe, kompost se može koristiti za poboljšanje kvaliteta degradiranih zemljišta i kao supstrat u proizvodnji različitih biljnih vrsta. Treba imati u vidu da se velike količine čvrstog komunalnog otpada odlažu na deponijama i utiču na zdravlje ljudi ali i na kvalitet životne sredine. Deponovanjem ostataka biomase na deponije nastaju gasovi CO₂, CH₄ i dr., koji se emituju u atmosferu i doprinose efektu staklene bašte.



Slika 1. Kompostna gomila **Slika 2.** Formiran kompost

U zavisnosti od mesta nastanka, stepena vlažnosti i količina drvene i biljne biomase potrebno je izvršiti odgovarajuću pripremu za racionalno njihovo korišćenje. Pripremne tehnologije za racionalno korišćenje drvna i biljne biomase treba da obuhvate odgovarajuću pripremu na izvoru nastanka sa odgovarajućom mobilnom mehanizacijom.

Dakle, pri proizvodnji poljoprivrednih proizvoda nastaju razni ostaci koji mogu da se koriste kao energenti ili u druge svrhe. Prema dostupnim saznanjima, valorizacija reznica od: malina, kupina, vinograda, voćnjaka i nekih drugih poljoprivrednih proizvoda je veoma retka, odnosno ova valorizacija najčešće se vrši spaljivanjem na izvornim lokacijama [9].

II STRATEŠKI CILJEVI ZA KORIŠĆENJE DRVNE I BILJNE BIOMASE KAO ENERGENATA

Obnovljivi izvori energije od drvene i biljne biomase, značajno mogu doprineti manjem korišćenju fosilnih goriva i ostvarivanju definisanih ciljeva o udelu obnovljivih izvora u finalnoj potrošnji energije, kao i unapređenju životne sredine. Ciljevi energetske politike Republike Srbije koji se odnose na veće korišćenje OIE

(obnovljivih izvora energije) od biomase moguće je postići realizacijom sledećih aktivnosti:

- izgradnjom novih objekata koji zadovoljavaju zahteve u pogledu energetske efikasnosti i iskorišćenja biomase kao energenta,
- energetskom sanacijom zgrada i uvođenjem grejanja na energente od biomase u sektoru zgradarstva (uglavnom u javnom sektoru),
- zamenom biomasom ulja za loženje, uglja i prirodnog gasa koji se koriste za grejanje,
- uvođenjem daljinskih sistema grejanja baziranih na korišćenju biomase i kombinovanoj proizvodnji električne i toplotne energije,
- korišćenjem i proizvodnjom opreme i tehnologija koje će omogućiti efikasnije korišćenje energije iz biomase.

Ključne aktivnosti koje treba preduzeti da bise navedeni ciljevi ostvarili obuhvataju:

- obezbeđivanje vodeće uloge javnog sektora u sprovođenju efikasne upotrebe energije iz biomase,
- postavljanje efikasne upotrebe energije iz biomase na način da se podstakne ekonomski razvoj zemlje (proizvodnja opreme i tehnologije za zelenu energiju),
- razvoj održive proizvodnje biomase i obezbeđivanje finansijske podrške za razvoj,
- formiranje tržišta energije od biomase.

Za postizanje navedenih ciljeva u oblasti korišćenja energije iz biomase neophodno je primeniti sledeće mere podrške:

- donošenje i unapređenje pravnog okvira koji će podstaći energetske efikasnije korišćenje energije i veće korišćenje biomase kao energenta,
- donošenje i unapređenje pravnog okvira koji će podstaći energetske efikasnije korišćenje energije i veće korišćenje biomase kao energenta,
- mere ekonomskih podsticaja (kroz nastavljane već uspostavljene šeme podrške za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora i kogeneracije toplotne i električne energije sa visokom efikasnošću procesa, kao i pripremom smernica za podršku proizvodnje toplotne energije iz biomase na lokalnom nivou),
- direktne finansijske stimulacije i odgovarajuće poreske politike,
- mere koje će podstaći održivo tržište biomase,
- sistematsko promovisanje najboljih praksi primenjenih u zemljama EU (efikasno korišćenje energije od biomase),
- sistematsko planiranje projekata u oblasti energetskog korišćenja biomase i dr.

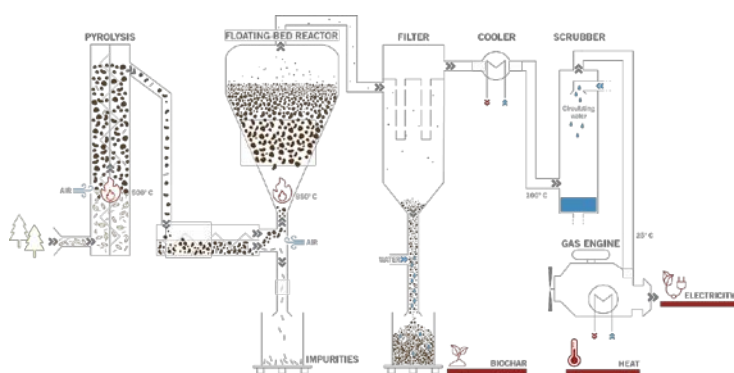
III TEHNOLOGIJE ZA KORIŠĆENJE RASPOLOŽIVOG ENERGETSKOG POTENCIJALA OD DRVNE I BILJNE BIOMASE

Može se očekivati da će racionalno korišćenje energetskog potencijala od drvene i biljne biomase imati veoma važnu ulogu u proizvodnji energije u Srbiji u narednim godinama, imajući u vidu i da je neophodno da se smanji količina CO₂ koji se emituje u atmosferu. U sve to trebalo bi da se uključi i država koja bi određenim podsticajnim sredstvima pomagati razvoj tržišta obnovljivih energenata.

Za racionalno korišćenje raspoložive otpadne drvene i biljne biomase u energetske svrhe, raspoloživi potencijali mogu se koristiti za proizvodnju toplotne i/ili električne energije. Kogeneracija (CHP - često se koristi i izraz kombinovana proizvodnja toplotne i električne energije) je istovremeno generisanje korisne toplote i električne energije u jednom procesu. Kod kombinovane proizvodnje toplote i električne energije potrošnja goriva može se smanjiti približno 25–35 % u poređenju sa proizvodnjom električne i toplotne energije u odvojenim procesima. Na taj način emisija CO₂ po proizvedenoj toploti i električnoj energiji je smanjena, a ukupan stepen iskorišćenja je veći.

Termohemijski procesi se primenjuju za konverziju biomase, tako da se kao primarni proizvod dobija toplota (kod sagorevanja), gas (kod gasifikacije) i tečno gorivo (kod pirolize). Način na koji će dobijeni gas ili tečno gorivo biti dalje korišćeni, zavisi od odabrane tehnologije.

Tehnološki postupak gasifikacije temelji se na termohemijskom pretvaranju/ rasplinjavanju sirovine i kasnijem korišćenju proizvedenog gasa u gasnom motoru. Gasifikacija ima sledeće faze: zagrevanje i sušenje, piroliza, redukcija i oksidacija. Proizvedeni gas se može nakon hlađenja i prečišćavanja koristiti u kogeneracionim jedinicama zasnovanim na motorima SUS (slika 3).



Slika 3. Šema integrisanog procesa gasifikacije i kogeneracije

IV ANALIZA ZAHTEVA ZA KORIŠĆENJE OTPADNE DRVNE I BILJNE BIOMASE U SRBIJI U ENERGETSKE SVRHE

Za dalji razvoj energetskog korišćenja čvrstih otpadnih biogoriva biće bitno da se obezbedi povećanje održivosti korišćenja biomase i očuva stepen prihvaćenosti bioenergije, tako da obećavajući projekti mogu uspešno da se realizuju. Pri tome između ostalog, u obzir treba uzeti sledeće aspekte:

- Mora se osigurati ekonomska isplativost ložišnih postrojenja na čvrstu biomasu. Veći broj projekata, dovodi do smanjenja investicionih troškova, ali se to smanjenje usled porasta troškova pripreme goriva ponovo nadoknađuje. Realizacija ekonomski isplative proizvodnje toplote, odnosno električne i toplotne energije iz otpadnih čvrstih goriva stoga uprkos mnoštvu mogućih podsticaja i dalje ostaje veliki izazov. Ona u velikoj meri zavisi od efikasnog korišćenja ukupne energije i pre svega od dobrog iskorišćenja toplotne energije i integracije u

lokalni energetske sistem.

- Mora se obezbediti dovoljna količina pogodnih i povoljnih gorivnih sirovina. To je odlučujuće za svaki projekat energetskog korišćenja biogenih čvrstih goriva. Ranije sklapani dugoročno pouzdani ugovorni sporazumi sa dobavljačima goriva u velikoj meri više ne mogu da se realizuju. Za biogoriva i postrojenja, odnosno tehnologije, razvilo se tržište na kome operator postrojenja svoju potrebu za gorivom i kratkoročno može da pokrije pod odgovarajućim uslovima. Uslovi tržišta, kao i ekonomska isplativost postrojenja mogu, međutim, kratkoročno da se promene.
- I u oblasti tehničkih uređaja se u prošlosti već razvilo tržište za tražene proizvode iz serijske proizvodnje. Taj razvoj će verovatno da se nastavi i dalje i da omogući da i veći projekti koriste standardizovanu tehniku i tako kontrolišu razvoj troškova.
- Za manja postrojenja, od značaja može biti lokalno snabdevanje raspoloživom sirovinom za grejanje. U tu svrhu treba obezbediti dobro i efikasno organizovanu logistiku pripreme goriva. To uključuje sve procesne korake povezane sa osiguravanjem raspoloživosti biogenih čvrstih goriva kao što su uzgoj, žetva ili prikupljanje, skladištenje, transport i dopremanje do postrojenja za konverziju.
- Potrebno je da postoji potreba za pouzdanim i dobrim informacijama i savetodavnim uslugama. Nedostatak informacija može pre svega da se otkloni pomoću preliminarne ocene projekta koja uzima u obzir postojeće potrebe. Neophodno je poznavanje često promenljivih okvirnih uslova u poljoprivredi, šumarstvu i energetskoj privredi da bi se uspešno sproveo projekat energetskog korišćenja biogenih čvrstih goriva.

Korišćenjem raspoloživih resursa otpadne drvene i biljne biomase u odgovarajućim postrojenjima mogu se očekivati višestruko pozitivni efekti. Da bi se ostvarili ti efekti, potrebno je uraditi sledeće:

- uspostaviti saradnju između stanovnika i budućih korisnika raspoloživih resursa,
- uspostaviti saradnju sa organima lokalne samouprave,
- obezbediti edukaciju lokalnog stanovništva i zainteresovanih strana o konceptima obnovljivih i neobnovljivih izvora energije,
- analizirati realne energetske potrebe (kratkoročne i dugoročne) domaćinstava na definisanoj teritoriji,
- analizirati i izvršiti selekciju budžetskih i nebudžetskih izvora finansiranja razvoja održivog energetskog modela za definisanu teritoriju,
- obaviti transfer znanja i tehnologija između domaćinstava kao uspešnog razvojnog modela.

Korišćenjem otpadne drvene i poljoprivredne biomase u energetske svrhe imaće i dodatne pozitivne efekte, a oni su:

- zaštita i unapređenje životne sredine,
- kreiranje pejzaža
- upravljanje neobnovljivim prirodnim resursima,
- borbe protiv erozije,
- održavanje kvaliteta zemljišta,

- rešavanje problema zagađenosti voda i smanjenja emisije štetnih gasova,
- povećanje nivoa energetske efikasnosti,
- održivo korišćenje raspoloživih prirodnih resursa,
- otvaranje novih radnih mesta i
- razvoj i primenu “zelenih tehnologija”.

V PROBLEMI U KORIŠĆENJU BIOMASE

Problemi u korišćenju biomase su:

- biomasa je kabasta, voluminozna, vlažna, neujednačene strukture i sastava, niže toplotne moći, pepeo se topi na povišenim temperaturama, teško se usitnjava, skupa je za transport na veće destinacije,
- još uvek ne postoji razvijeno tržište biomase, (niko ga ne zastupa),
- biomasa se vrlo teško presuje (sabija), elastična je ako se dobro ne usitni,
- problem transporta usled velikih zapremina pa se zato presuju u manje zapremine,
- problem skladištenja biomase ogleda se u potrebnim prostorima za uskladištenje (suvi tereni, nadstrešnice, šupe i sl.),
- problem usitnjavanja biomase zahteva dosta energije što poskupljuje biomasnu sirovinu za energetske korišćenje,
- problem sagorevanja biomase ogleda se u potrebama specijalnih ložišta za pojedine biomasne energente,
- problem pakovanja biomase usled velikih zapremina zahteva prostor i specijalnu opremu,
- problem nabavke vezivnih sredstava poskupljuje proizvodnju sirovina za upotrebu,
- problem uspostavljanja kvaliteta biomase i proizvoda od biomase itd.

Za navedene probleme korišćenja biomase u energetske svrhe predlozi nekih rešenja su:

- potrebno je definisati kvalitet biomase prema evropskim standardima i standardima zemalja u koje, privredni subjekti iz Srbije, plasiraju proizvode od biomase. U Srbiji nema domaćeg standarda (raditi na donošenju domaćeg standarda kvaliteta),
- formirati fond za korišćenje biomase,
- banke da daju kredite sa nižim kamatnim stopama za projekte korišćenja biomase,
- podići kvalitet izrade domaće opreme za korišćenje biomase,
- akreditovati laboratorije za ispitivanje kvaliteta biomase i proizvoda od biomase,
- usmeriti investicije u pogone za preradu biomase u cilju proizvodnje energije, zaposlenja mladih i zaštite životne sredine.
- obrazovati kadrove na svim nivoima u cilju efikasnog korišćenja biomase,
- formirati javna skladišta biomase po mestima i gradovima, izgraditi nadstrešnice, šupe, ocedne terene, skladištiti u kamare,
- koristiti biomasu na mestu sakupljanja jer su tada najmanji troškovi.

VI ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Sve veći rast svetske populacije, industrijalizacija i progresivno-tehnološki napredak i veći obim transporta, uzrokovao je da su u današnje vreme potrebe za energijom sve veće. Svetsko energetske tržište ne može više da se zasniva na fosilno izvedenim gorivima čije su rezerve ograničene. Deficit rezervi konvencionalne fosilne energije stvorio je veliki interes za korišćenjem alternativnih izvora energije, od kojih je jedan biomasa. U poređenju sa korišćenjem drugih obnovljivih izvora energije, upotreba biomase se povećava iz dana u dan.

S obzirom na činjenicu da su klimatske promene blisko povezane sa obrascima korišćenja energije i da se na njih može uticati smanjenom upotrebom fosilnih goriva koja se svakodnevno koriste, uz prelazak na obnovljive izvore, posebno na energiju biomase kao izvor koji je potpuno CO₂ neutralan, široka je primena mogućih rešenja za njenu konverziju i upotrebu na teritoriji Republike Srbije.

Energiju je moguće proizvoditi primenom različitih tehničko-tehnoloških rešenja, pri čemu postoje značajne razlike ulaganja i troškova proizvodnje u zavisnosti od vrste i snage postrojenja. Uvek je neophodno uraditi opsežne analize koje bi dovele do izbora optimalne tehnologije kako sa ekonomskog tako i sa aspekta zaštite okoline, bezbednosti i zdravlja.

U radu su dati strateški ciljevi za korišćenje biomase kao energenta, tehnologije, zahtevi i problemi za njihovo racionalno korišćenje.

ZAHVALNICA

This paper is supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia, and these results are part of the Grant No. 451-03-68/2020-14/200132 with University of Kragujevac, Faculty of Technical Sciences Čačak.

LITERATURA

- [1] Ćurčić S., Dragičević S., Đurić M., Milunović S.: *Mogućnosti korišćenja biomasa i otpadnog drveta od komunalnih sistema za dobijanje različitih oblika energije*, Tehnički fakultet Čačak, 2010.
- [2] Tica, N., Zekić, V., Milić, D., Žuža D. Ekonomska efikasnost proizvodnje električne energije u biogasnim postrojenjima. *Agroekonomika*. Vol. 68, 2015.
- [3] Studija *Energetski potencijal i karakteristike ostataka biomase, tehnologije za njihovu pripremu i energetske iskorišćenje u Srbiji*, Ministarstva nauke, tehnologije i razvoja (NP EE611-113A), 2002.
- [4] Stanković B., Vignjević-Đorđević N. Javno-privatno partnerstvo i koncesije kao posebni oblici stranih ulaganja u Srbiji. *Economy and market communication review*. Vol. 3, Issue 2, pp 285-298, 2013.
- [5] Singh, J. Overview of electric power potential of surplus agricultural biomass from economic, social, environmental and technical perspective –A case study of Punjab, *Renewable and sustainable energy reviews*. Vol. 42, pp. 286-297, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.015>
- [6] Syncraft, www.syncraft.at/holzwerkstoffe/cw1800-500 [pristupljeno 06.02.2021].
- [7] Roberts, J.J., Cassula, A.M., Prado, P.O., Dias, R.A., Balestieri, J.A.P. Assessment of dry residual biomass potential for use as alternative energy source in the party of General Pueyrredón, Argentina, *Renewable and sustainable energy reviews*. Vol. 41, pp. 568-583, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.066>
- [8] Pejanović, R., Jelić, V., Zekić, V., Brkić, M. Ekonomski pokazatelji sagorevanja peletirane biomase. *Savremena poljoprivredna tehnika*. 2010, Vol. 36, Issue 4, 2010.
- [9] Ćurčić, S., Vučićević S. Raspoloživi energetske potencijali od drvne i biljne biomase sa omeđenog dela planine Rudnik, *Energija, ekologija, ekonomija*, Vol. XVI, br. 3-4., str. 35-42, 2014.

- [10]Hendricks, A.M., Wagner, J.E., Volk, T.A., Newman D.H. Regional economic impacts of biomass district heating in rural New York, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 88., pp. 1-9, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.03.008>

AUTORI

dr Srećko Ćurčić - redovni profesor, Fakultet tehničkih nauka u Čačku, srecko.curcic@ftn.kg.ac.rs

dr Milan Vesković - docent, Fakultet tehničkih nauka u Čačku, milan.veskovic@ftn.kg.ac.rs

dr Momčilo Vujičić - vanredni prof., Fakultet tehničkih nauka u Čačku, momcilo.vujicic@ftn.kg.ac.rs

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

621.3

ENERGIJA, ekonomija, ekologija : list Saveza
energetičara / glavni i odgovorni urednik Dušan Gordić
. - God. 1, br. 1 (1996)- . - Beograd : Savez energetičara,
1996- (Kragujevac : Mašinac). - 29 cm

Tromesečno. - Drugo izdanje na drugom medijumu:
Energija, ekonomija, ekologija (Online) = ISSN 2812-7528
ISSN 0354-8651 = Energija (Beograd)
COBISS.SR-ID 108696839



www.savezenergeticara.org