

ZBORNIK RADOVA

PROCEEDINGS

20. SKUP O PRIRODNOM PLINU, TOPLINI I VODI
20th NATURAL GAS, HEAT AND WATER CONFERENCE

13. MEĐUNARODNI SKUP O PRIRODNOM PLINU, TOPLINI I VODI
13th INTERNATIONAL NATURAL GAS, HEAT AND WATER CONFERENCE

University of Slavonski Brod
Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod
HR-35000 Slavonski Brod, Trg I. B. Mažuranić 2

HEP-Group
HEP-Plin Ltd.
HR-31000 Osijek, Cara Hadrijana 7

University of Pécs
Faculty of Engineering and Information Technology
H-7624 Pécs, Boszorkány u. 2



Suorganizator
Co-organizer



Uz potporu
Supported by

Ministarstvo znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske
Ministry of Science and Education of the Republic of Croatia

Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja
Ministry of Economy and Sustainable Development

Osijek, 28.09.- 01.10.2022.



PLIN 2022

ZBORNIK RADOVA 13. MEĐUNARODNOG SKUPA O PRIRODНОM PLINU, TOPLINI I VODI

PROCEEDINGS OF 13th INTERNATIONAL NATURAL GAS, HEAT AND WATER CONFERENCE

Izdavač / Publisher: Sveučilište u Slavonskom Brodu

Email: plin@unisb.hr

URL: <https://konferencija-plin.unisb.hr/>

All papers are reviewed.

The authors are only responsible for the contents and accuracy of all published material. The Editors do not accept any liability for the contents and accuracy of articles, or responsibility for any mistakes (editorial or typographical), nor for any consequences that may arise from them.

Urednici / Editors:

Pero RAOS, glavni urednik

Dražan KOZAK

Marija RAOS

Josip STOJŠIĆ

Igor SUTLOVIĆ

Zlatko TONKOVIĆ

PLIN 2022 Organizacijski odbor / PLIN 2022 Organization committee:

Marija RAOS, Hrvatska, predsjednica organizacijskog odbora

Josip STOJŠIĆ, Hrvatska, zamjenik predsjednice organizacijskog odbora

Josip CUMIN, Hrvatska

Miroslav DUSPARA, Hrvatska

Renata ĐEKIĆ, Hrvatska

Nada FLANJAK ROŠOCI, Hrvatska

Ismeta HASANBEGOVIĆ, BiH

Zvonimir KLAIĆ, Hrvatska

Miroslav MAZUREK, Hrvatska

Mirjana Mia PODGAJAC, Hrvatska

Pero RAOS, Hrvatska

Igor SUTLOVIĆ, Hrvatska

Zlatko TONKOVIĆ, Hrvatska

Nikola VIŠTICA, Hrvatska

Organizacija konferencije sufinancirana je sredstvima Europskog socijalnog fonda u sklopu projekta Regionalni centar kompetentnosti "Slavonika 5,1" - UP.03.03.1.04.0018.



www.esf.hr



Projekt je sufinancirala Evropska unija iz Europskog socijalnog fonda.

Sponzori / Sponsors



Izlagači / Exhibitors



PLIN 2022 Počasni odbor / PLIN 2022 Honor committee:

Ivan SAMARDŽIĆ, predsjednik, Hrvatska
Frane BARBARIĆ, Hrvatska
Vlado GUBERAC, Hrvatska
Gabriella MEDVEGY, Mađarska
Damir PEĆUŠAK, Hrvatska
Tomislav ŠAMBIĆ, Hrvatska

PLIN 2022 Programski odbor / PLIN 2022 Program committee:

Dražan KOZAK, predsjednik, Hrvatska
Antun STOIĆ zamjenik pred., Hrvatska
Bálint BACHMANN, Mađarska
Darko BAJIĆ, Crna Gora
Eraldo BANOVAC, Hrvatska
Károly BELINA, Mađarska
Ivan BOŠNJAK, Hrvatska
Aida BUČO-SMAJIĆ, BiH
Zlatan CAR, Hrvatska
Robert ČEP, Češka
Majda ČOHODAR, BiH
Darko DAMJANOVIĆ, Hrvatska
Ejub DŽAFEROVIĆ, BiH
Antun GALOVIĆ, Hrvatska
Hrvoje GLAVAŠ, Hrvatska
Nenad GUBELJAK, Slovenija
Sergej HLOCH, Slovačka
Nedim HODŽIĆ, BiH
Željko IVANDIĆ, Hrvatska
Željka JURKOVIĆ, Hrvatska
Ivica KLADARIĆ, Hrvatska
Milan KLJAJIN, Hrvatska
Janez KOPAČ, Slovenija
Grzegorz KROL CZYK, Poljska
Stanislaw LEGUTKO, Poljska
Leon MAGLIĆ, Hrvatska
Siniša MARIĆIĆ, Hrvatska
Andrijana MILINOVIĆ, Hrvatska
Damir MILJAČKI, Hrvatska
Mladomir MILUTINOVIĆ, Srbija
Ferenc ORBÁN, Mađarska
Branimir PAVKOVIĆ, Hrvatska
Denis PELIN, Hrvatska
Miroslav PLANČAK, Srbija
Dalibor PUDIĆ, Hrvatska
Marijan RAJSMAN, Hrvatska
Marko RAKIN, Srbija
Miomir RAOS, Srbija
Pero RAOS, Hrvatska
Alessandro RUGGIERO, Italija

Aleksandar SEDMAK, Srbija
Marinko STOJKOV, Hrvatska
Josip STOJŠIĆ, Hrvatska
Igor SUTLOVIĆ, Hrvatska
Tomislav ŠARIĆ, Hrvatska
Mladen ŠERCER, Hrvatska
Damir ŠLJIVAC, Hrvatska
Zlatko TONKOVIĆ, Hrvatska
Zdravko VIRAG, Hrvatska
Nikola VIŠTICA, Hrvatska
Jurica VRDOLJAK, Hrvatska
Marija ŽIVIĆ, Hrvatska

Sadržaj / Contents

POZVANO PREDAVANJE / INVITED LECTURE

REGULATORY FRAMEWORK FOR METHANE EMISSIONS REDUCTION.....	1
N. Vištica, K. Čegir, I. Sutlović	

PLIN I PLINSKA TEHNIKA / GAS AND GAS TECHNIQUE

OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE I PLIN	16
S. Franjić	

ISPLAĆENI POTICAJI ZA PROIZVODNju ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ OBNOVLJIVIH IZVORA U REPUBLICI HRVATSKOJ	24
M. Ivanović, Z. Tonković, H. Glavaš	

INŽENJERSKO – GEOLOŠKA I GEOTEHNIČKA ISTRAŽIVANJA ZA TRASU PLINOVODA „JUŽNA INTERKONEKCIJA BIH I HRVATSKE“	33
Dž. Cerić, Z. Talić	

ENERGETIKA I TOPLINSKA TEHNIKA / ENERGETICS AND HEATING TECHNIQUE

KRATKI SPOJEVI U ELEKTROENERGETSKIM MREŽAMA.....	42
L.Jozsa, K. Fekete, H. Glavaš	

POSSIBILITIES OF ENERGY STORAGE SYSTEMS BASED ON THE PRINCIPLE OF GRAVITY	52
Gy. Vasvári, F. Orbán, D. Csonka, T. Zsebe, B. Kurilla, F. Dako, I. Samardžić	

UTJECAJ AKUMULACIJSKOG SPREMNIKA NA ENERGETSKU UČINKOVITOST SUSTAVA GRIJANJA S DIZALICOM TOPLINE.....	61
M. Đuranović, M. Živić, M. Stojkov, I. Grozdanić, A. Barac	

CO ₂ EMISSIONS TRADING – EFFICIENT WAY TO EMISSIONS MITIGATION OR NEW COST?	70
V. Božić, I. Sutlović, P. Raos, L. Keran	

GAS POWER PLANTS AS BACK UP FACILITIES FOR COVERING WIND POWER PLANT PRODUCTION VARIABILITY	78
F. Mesar, I. Sutlović, V. Filipan, V. Dananić	

VODA / WATER

SPECIFICS OF TEXTILE DYE-HOUSE WASTEWATER	84
I. Divjak, A. Sutlović, B. Vojnović	

VODOSPREMNICI U SUSTAVU VODOOPSKRBE	91
T.Mijušković - Svetinović, M. Kelava, S. Maričić	

RAINWATER IRRIGATION SYSTEMS FOR GREEN FACADES	101
D. Koški, L. Lončarić, Ž. Jurković	

URBANIZAM I GRADITELJSTVO / URBAN PLANNING AND CONSTRUCTION

CJELOVITA OBNOVA ZGRADA - SMANJENJE TROŠKOVA KOD OBJEDINJAVANJA ENERGETSKE OBNOVE S DRUGIM RADOVIMA.....	109
D. Vidaković, D. Hećimović	
UGOVARANJE, NAPLATA I ROK RADOVA NA GRAĐEVINAMA PREMA HRVATSKIM ZAKONIMA I NOVIM UZANCAMA O GRAĐENJU.....	117
D. Vidaković	
PLANIRANJE I UPRAVLJANJE URBANIM ZELENIM POVRŠINAMA.....	128
V. Pleša, S. Vrbanac, D. Obradović	
ISTRAŽIVANJE PROBLEMA KOJI OTEŽAVAJU ENERGETSKO CERTIFICIRANJE ZGRADA U HRVATSKOJ	138
P. Završki, D. Hećimović, D. Vidaković, H. Glavaš	
PROBLEMATIKA STANOGRADNJE I NEDOSTATKA STANOVA	147
M. Ivanić, A. Ivanković, D. Obradović, K. Veselovac	

KONSTRUIRANJE I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE / DESIGN AND PRODUCTION TECHNOLOGIES

REKONSTRUKCIJA ZAVARENE IZVEDBE ROTORA, PRORAČUN I IZRADA 3D MODELA ROTORA CENTRIFUGALNE PUMPE U LIJEVANOJ IZVEDBI	157
B.Hršak, A. Čikić, I. Kozić, Z. Busija, S. Švoger	
KORIŠTENJE VIZUALIZACIJE KAO DODATNE DIMENZIJE U 3D MCAD PROGRAMSKIM ALATIMA	167
S. Švoger, A. Čikić, B. Hršak, Z. Busija, K. Klobučarić	
3D OBLIKOVANJE KALUPA ZA NISKOTLAČNO LIJEVANJE HOT-MELT TEHNOLOGIJOM ...	177
S. Švoger, A. Čikić, M. Filipović, B. Hršak, Z. Busija	
PRORAČUN I USPOREDBA POZICIJE KRITIČNO OPTEREĆENIH VIJAKA PREMA STANDARDU EN 1993-1-8 I CBFEM METODI NAZIVNO ZGLOBOGNOG PRIKLJUČKA	187
M.Vilić, J.Marijić, I.Grgić, M.Karakašić, I.Opačak	
INFLUENCE OF LUMINAR ENERGY EMISSION IN THE VISIBLE WAVEBAND ON HUMAN COLOR PERCEPTION	196
A. Sutlović, M. I. Glogar, I. Divjak	
KONTROLA KVALITETE ZASUNA.....	204
L. Maglić, J. Lipovac, O. Maglić, T. Šolić	
POVEZIVANJE RAČUNALA SIGURNOM KRIPTIRANOM VEZOM POMOĆU SSH PROTOKOLA	211
K. Pavelić, K. Kurilj, A. Jurić	
TOPLINSKO NAŠTRCAVANJE LEGURA NA BAZI Ni, CrC I WC U SVRHU POBOLJŠANJA SVOJSTAVA POVRŠINE	217
I. Vidaković, G. Heffer, K. Šimunović, I. Samardžić, G. Pačarek, D. Petrović	

ANALIZA UTJECAJA PARAMETARA OBRADE MLAZOM ABRAZIVA NA HRAPAVOST

I IZGLED OBRAĐENE POVRŠINE..... 227

T. Šolić, D. Marić, I. Peko, A. Bašić, B. Kovačević, I. Kovačević, I. Samardžić

TECHNOLOGY OF MANUFACTURING CLAMPING JAWS..... 237

M. Oršulić, M. Duspara, M. Stoić, J. Cumin, A. Stoić

Regulatory framework for methane emissions reduction

N. Vištica^{1,*}, K. Čegir², I. Sutlović³

¹ Croatian Energy Regulatory Agency, Zagreb, Croatia

² Energy Community Secretariat, Am Hof 4, Level 5-6, 1010 Vienna, Austria

³ Faculty of Chemical Engineering and Technology, University of Zagreb, Zagreb, Croatia

* Corresponding Author. E-mail: nvistica@hera.hr

Abstract

The Green Plan has proclaimed a climate-neutral European Union by 2050 as a goal, and the path to this goal has a number of components. Methane (CH₄), which makes up the dominant part (over 85%) in the natural gas mixture, is an important energy source today. At the same time, methane is also a significant greenhouse gas, just behind carbon dioxide when considering the negative impact on climate change. Although its retention time in the atmosphere is shorter than that of carbon dioxide, its global warming potential is as much as 86 times higher than that of CO₂ over a period of 20 years. As much as 60% of methane sources are of anthropogenic origin, where half of the share refers to methane emissions from agriculture, while waste and energy processes contribute by quarter each. Despite the relatively smaller share of energy processes in methane emissions into the environment, it is considered that these methane emissions are the easiest to reduce, so most regulatory and technical measures are aimed at that area. Therefore, at the end of 2021, at the instigation of the EU and the USA, and within the framework of the UN Conference on Climate Change (COP 26), a political initiative, the Global Methane Pledge, was announced to reduce global methane emissions in all sectors that emit methane by 30% by 2030 (compared to 2020), which was supported by over 100 countries. This initiative complements the EU policy, concretized through a series of documents, first of all the Strategy for the reduction of methane emissions from 2020 and the proposal for the Regulation of the European Parliament and the Council on the reduction of methane emissions in the energy sector from 2021. The paper analyzes the issue of reducing methane emissions and the existing documents intended to regulate this area, presents ways of reporting, measuring and verifying methane emissions, measures to reduce emissions, and assumes the impact of the aforementioned provisions on the area of Southeast Europe.

Keywords: reduction of methane emissions, climate-neutral Europe, anthropogenic methane emissions, reporting, measurement and verification

1. Introduction

There are a number of greenhouse gases, of which carbon dioxide, methane, nitrogen oxides and chlorofluorocarbons (freons) are mostly of anthropogenic origin, i.e. they are the result of human activity. The concentration of greenhouse gases was mostly constant until approximately 1750, when the industrial revolution and the sudden increase of anthropogenic greenhouse gases began (Figure 1).

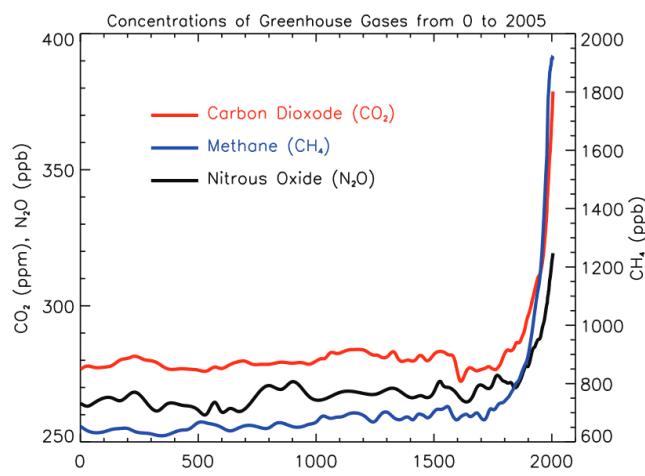


Figure 1. The concentration of the most important greenhouse gases over the last 2000 years [1]

Greenhouse gas emissions vary over the years, with a noticeable trend of maintaining or even reducing greenhouse gases in most areas except for China, where greenhouse gas emissions have been growing significantly over the last 20 years, reflecting China's economic growth over the same period (Figure 2).

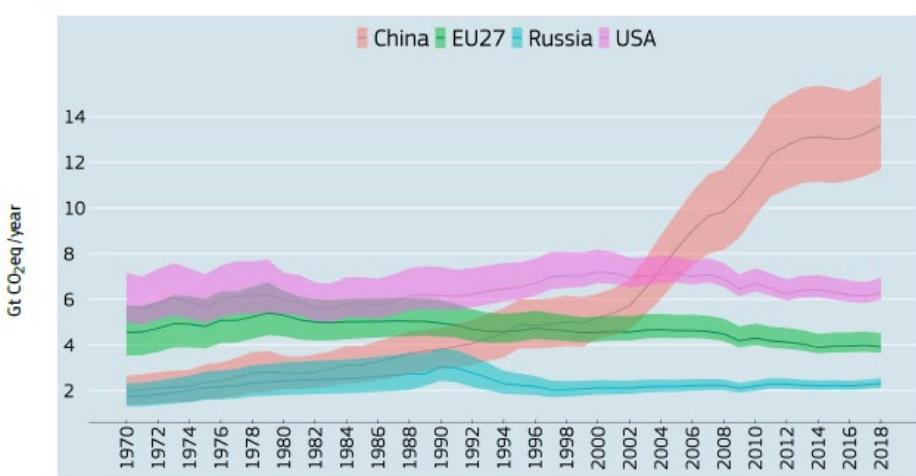
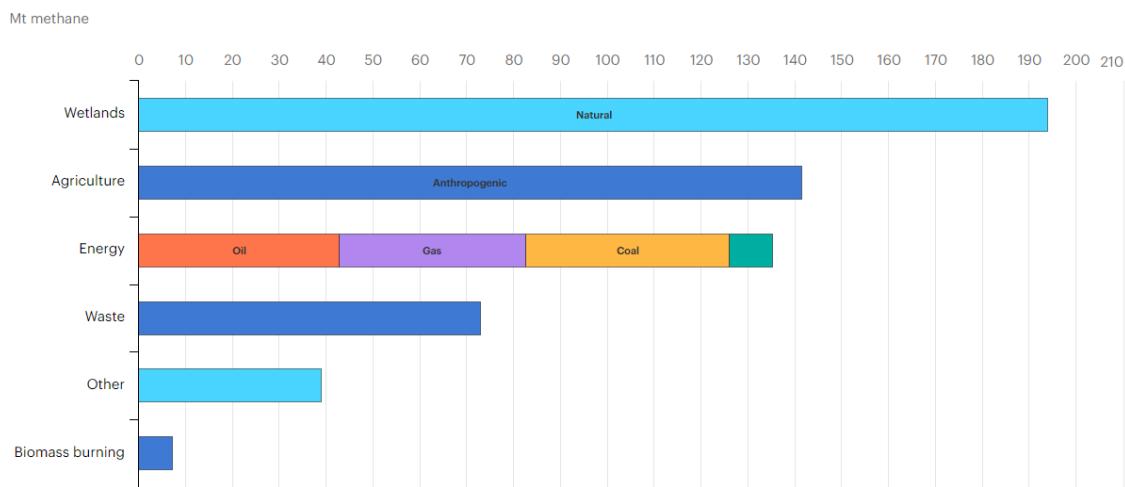


Figure 2. Annual emissions of the most important greenhouse gases according to the most important emitting regions - the colored band represents the expected uncertainty [2]

Methane is a greenhouse gas whose retention time in the atmosphere is shorter than that of carbon dioxide, but its global warming potential is 28 (in 100 years) or even 86 (in 20 years) times higher than CO₂ [3]. In addition, methane in the atmosphere reacts to form additional amounts of CO₂ and water vapor, which further contributes to the greenhouse effect. In the lower layers of the atmosphere, methane forms ozone, which negatively affects air quality and the health of people and animals. As much as 60% of methane sources are of anthropogenic origin, with 40% related to methane emissions from agriculture, 36% from energy processes (oil, gas and coal), and 19% referring to methane emissions from waste (Figure 3).



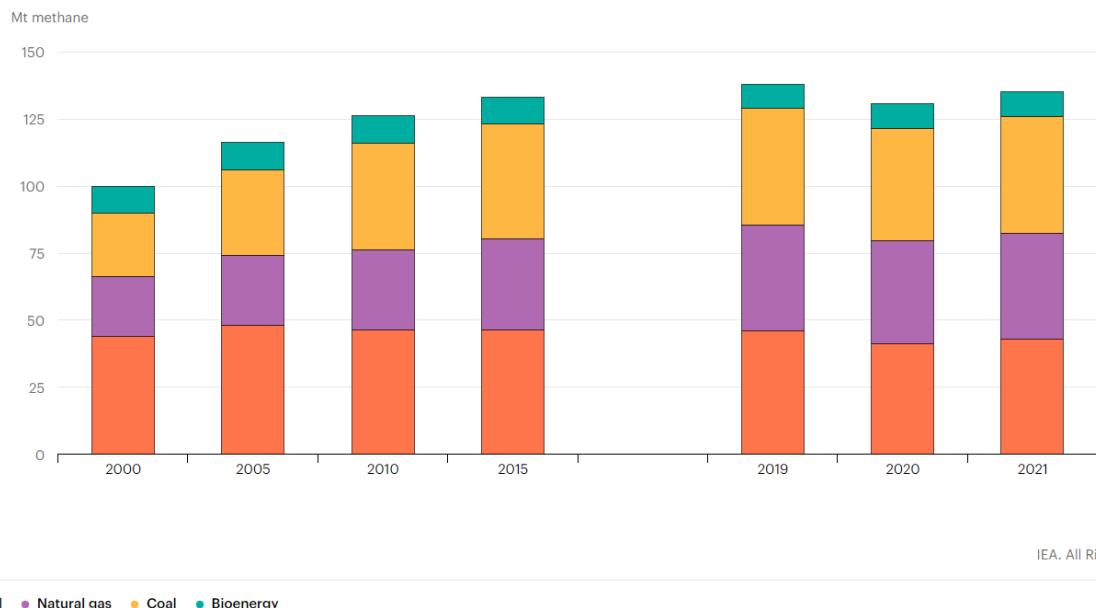
IEA. All Rights Reserved

● Natural ● Anthropogenic ● Oil ● Gas ● Coal ● Bioenergy

Figure 3. Natural and anthropogenic methane emissions by sector [4]

2. Methane emissions in the energy sector

Methane emissions are responsible for approximately 30% of the temperature increase since the pre-industrial period [4]. Methane emissions in the energy sector in the last two decades have been shown by Figure 4. We can note that at the beginning of the observed period, half of the emissions were from the oil sector, and the remaining part of the emissions was from other sectors (coal, gas, bioenergy). Methane emissions from the oil sector have a downward trend throughout the observed period, while total emissions increased as a result of the increase in emissions from coal and gas.



IEA. All Rights Reserved

● Oil ● Natural gas ● Coal ● Bioenergy

Figure 4. Methane emissions in the energy sector in the last 20 years [4]

Methane emissions and measures to reduce them are not new topics for the oil and gas industry, on the contrary, they have been present since the very beginning of the industry, but from safety and commercial reasons. The aspect of environmental protection, i.e. the contribution of methane emissions to climate change and, accordingly, the importance of reducing methane emissions, has intensified in recent years. The majority of methane emissions in the oil and gas sector on a global scale occur during production. Emissions can be divided into fugitive emissions, venting emissions, i.e. from the discharge of gas system elements, and emissions from incomplete combustion (Figure 5). Fugitive emissions are considered to be the uncontrolled leakage of gas at connections or when certain elements of the gas system are damaged. These emissions are the most difficult to quantify, monitor and remediate. Venting emissions represent controlled emissions that are the consequences of the operation of safety equipment, construction and rehabilitation of individual parts of the gas system, and their reduction can be carried out most easily. In the case of incomplete combustion of methane in gas plants and engines, small emissions of methane occur, which can be reduced by properly adjusting the operation of these devices. The method of calculating each of the mentioned types of emissions is explained in chapter 3.

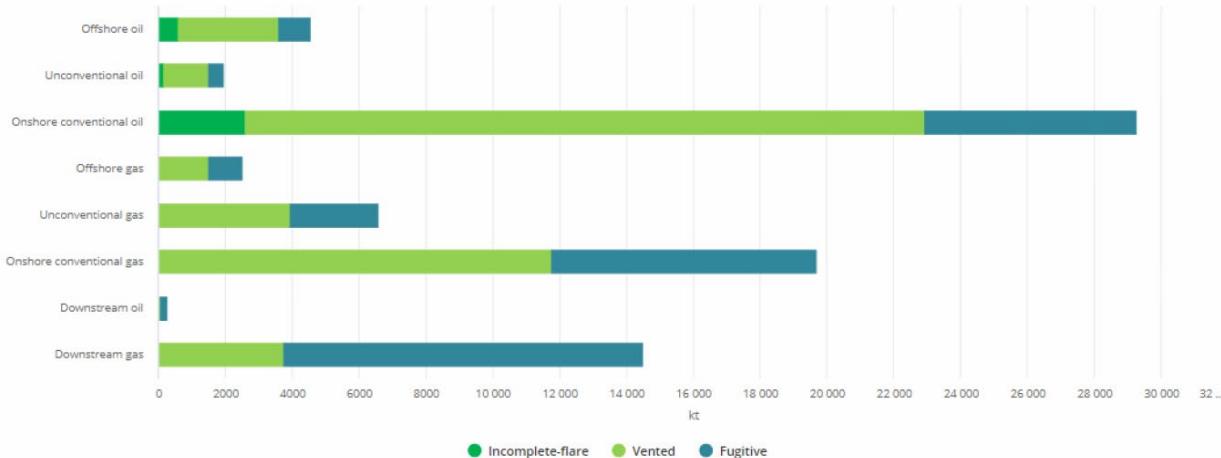


Figure 5. Global methane emissions in the oil and gas sector [5]

In contrast to the global distribution of methane emissions emitters, in which gas production plays a leading role, in the territory of EU member states, and considering that most natural gas is imported, production facilities contribute a smaller part to total emissions, while transport and distribution networks, due to their spread and the length of the gas pipeline, cause as much as 59% of methane emissions from the gas system (Figure 6). It should be taken into account that total methane emissions from the gas system account for 6% of total methane emissions at the EU level, which is equivalent to 0.6% of total European greenhouse gas emissions [6].

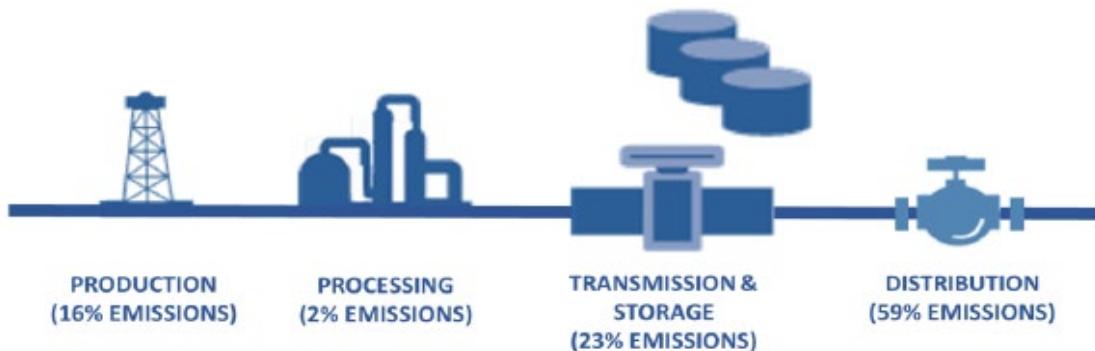


Figure 6. Methane emissions in the EU gas industry [6]

3. Assessment, measurement, verification

An adequate method of monitoring and reporting emissions is the basis for any measure to reduce emissions, and it is extremely important that it is harmonized at the international level. The general framework for monitoring and reporting on greenhouse gas emissions, as well as the goals for their reduction, are defined at the level of the United Nations.

Countries that are signatories to the Paris Agreement on climate change (as part of the United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) have an obligation to report on greenhouse gas emissions in two-year periods. The method, methodologies and reporting guidelines are defined by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). It is a body of the United Nations, founded in 1988, which, based on scientific research and knowledge about various aspects of climate change, creates reports, which serve as the basis on which responsible national and international bodies adopt policies to mitigate climate change. The structure of the IPCC report tracks emissions of greenhouse gases, including methane, according to emission sources: (1) energy, (2) industrial processes and product use, (3) agriculture, forestry and other ways of land use, (4) waste and (5) other. Of the above, agriculture and waste are the two most significant sources of anthropogenic methane emissions, but in this article only energy will be considered. Greenhouse gas emissions in the energy sector, according to the IPCC report, are divided into: emissions resulting from fuel combustion activities (1A) and fugitive emissions from fuels (1B). The third category monitored in the energy sector report is the amount of carbon dioxide captured and stored (1C), which actually reduces total emissions. The main greenhouse gas produced by burning fossil fuels is carbon dioxide CO₂, and it makes up most of Category 1A. The majority of methane emissions in the energy sector occur, and are reported accordingly, under category 1B – fugitive emissions from the production, transport and use of fossil fuels. Here we distinguish between two large groups - solid fossil fuels (that is, coal) and hydrocarbons (oil and natural gas). Emissions are divided into detailed subgroups, following all steps of the coal mining process, as well as extraction, transportation, processing and distribution of oil and natural gas (Figure 7).

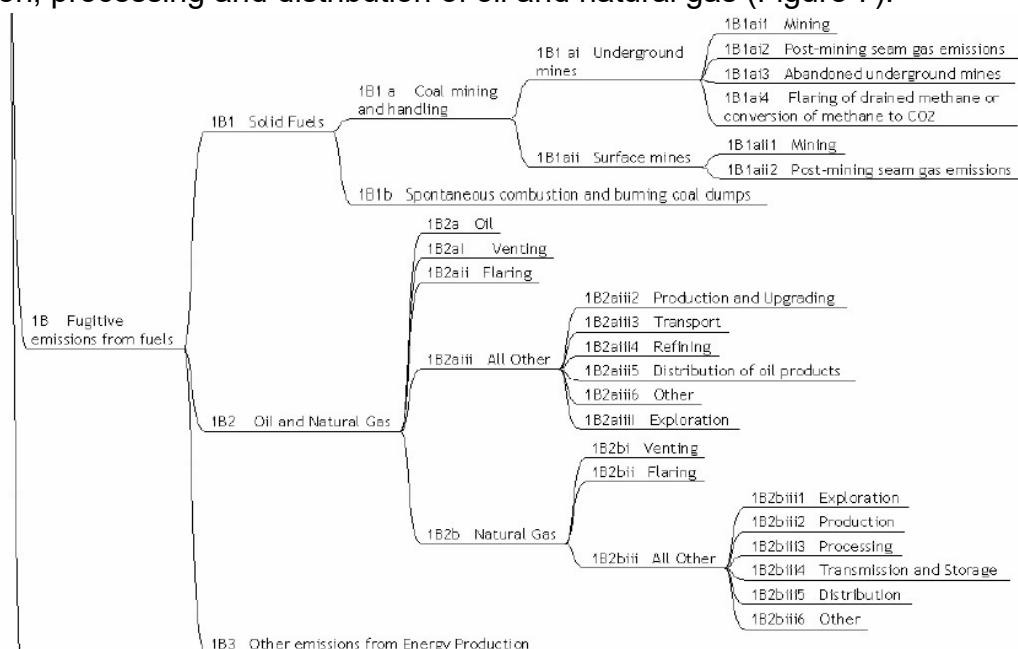


Figure 7. IPCC reporting structure - Fugitive emissions in the energy sector [7]

The quality of reporting and the reported granularity of emissions depends on national capacities and emission monitoring systems and varies widely. If we analyze the methane emissions of the gas industry, the IPCC report can mostly be considered as an indicative value, a general estimate, perhaps significantly lower than the actual emissions. In addition to mandatory reporting at the national level on methane emissions, as one of the greenhouse gases, there is also a voluntary framework for the oil and gas industry within the United Nations. The Oil and Gas Methane Partnership (OGMP) was launched in 2014 at the United Nations Climate Summit. The goal of OGMP is to support oil and gas companies in reducing methane emissions, based on an adequate and correct way of monitoring and reporting emissions. The reporting method was improved in 2020, by extending the reporting framework to the entire oil and gas processes, from extraction to use, and all potential sources of methane emissions, including facilities that are not in operation. The OGMP concept is based on five levels, the first of which means the reporting of the cumulative value of methane emissions, based on an assessment, while the fifth level means the measurement of actual emissions at an individual facility or typical emission source (Figure 8).

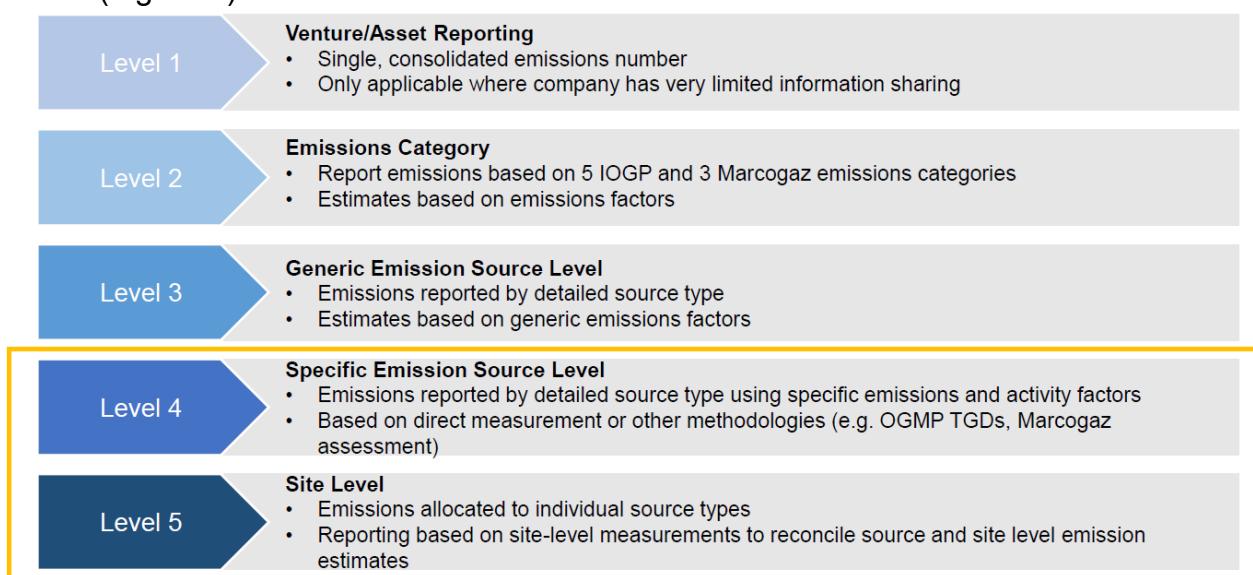


Figure 8. OGMP reporting levels [8]

Levels 4 and 5 represent the "gold standard" that all companies should strive for. The more precisely the actual emissions and their sources are known, the more effective the measures to reduce them can be. So far, 67 companies have joined the OGMP, which committed to reaching the "gold standard" in three years for operational facilities, respectively in five years for non-operational facilities. One of the components of the OGMP is the definition of individual targets for the reduction of methane emissions and periodic reporting on the achievement of these targets.

The European Commission, as one of the partners in OGMP, considers reporting level 3 achievable for all oil and gas companies of the European Union. Therefore, level 3 is the intended reporting standard, defined by the Methane Emissions Reduction Strategy and proposed by the Regulation that is being considered this year for adoption this year, and will be mandatory for energy companies. For the time being, the methane emissions of gas companies at the level of the European Union are included in the report that two associations - GIE (Gas Infrastructure Europe, association of gas infrastructure operators) and Marcogaz (European technical association of the gas industry) - published for the first time in 2019. The report includes transportation and distribution gas networks, liquefied natural gas terminals and underground storage facilities. The report is based on the Marcogaz methodology, where methane emissions are estimated according to the type of emission (fugitive emissions, venting emissions and emissions from incomplete combustion). Fugitive emissions are calculated based on activity and emission factors. All objects are presented through activity factors (length and material of gas pipelines; a number of pressure regulations, measuring, compressor stations; types of compressors, heaters, valves, etc.), and emission factors are given for different materials and types of equipment, from study works, laboratory tests and based on actual measurements. The methodology also provides guidelines on the selection of emission factors, depending on the age of the equipment, diameter and pressure, quality of maintenance, frequency of checks, time and type of repairs, etc. The calculation includes the measured or estimated amounts of natural gas released into the atmosphere due to process or safety reasons and an estimation of methane released during incomplete combustion (depending on the type and efficiency of the equipment). In addition to all of the above, based on the actual flow and composition of natural gas, the total methane emission for a particular company is calculated.

After the publication of the improved OGMP framework (OGMP 2.0) and the announcement of the European Commission on the mandatory regulation that will be based on the same principle, Marcogaz harmonized its reporting forms, detailing the activity factors (i.e. classifying equipment and facilities in more detail) and introducing a level designation for each individual calculated value (the source of each emission factor).

When reporting methane emissions, oil and gas producers use their own forms or use methodologies developed by other relevant associations, such as MGP (Methane Guiding Principles), OGCI (Oil and Gas Climate Initiative) and IOGP (International Oil and Gas Producers).

All these reports that oil and gas companies do are either part of the company's individual rules, or defined by national regulations, or based on voluntary accession to one of the existing international initiatives. In the European Union, reporting, as well as the reduction of methane emissions, will become mandatory as soon as the proposed Regulation is adopted, in late 2022 or early 2023. In addition to emissions estimates using different methodologies, emissions are also measured using different techniques (Figure 10).

Types of emissions		EF	AF
Fugitive emissions	Pipeline permeation	Q_m in [kg/km*yr]	$N = \text{length of pipelines, in [km]}$ $t = \text{duration of the leak expressed in [year]}$ (for new pipeline, t can be < 1)
	Leaks due to connexions (flanges, pipe equipment, valves, joints, seals)	Q_m in [kg/leak*yr]	$N = \text{number of assets of each group}$ $t = \text{duration of the leakage expressed in [year]}$
Vented	Operational emissions	Q_m in [kg/event]	$N = \text{number of vents or purges}$ t is not relevant ($t=1$)
	Regular emissions of technical devices (e.g. pneumatic)	Q_m in [kg/h*device]	$N = \text{number of devices of each type}$ $t = \text{duration in [hour]}$
	Start & Stop	Q_m in [kg/(start/stop)]	$N = \text{number of starts & stops}$ t is not relevant ($t=1$)
	Incident emissions	Q_m in [kg/incident] or [kg/km]	$N = \text{number of incidents or km of pipeline}$ t is not relevant ($t=1$)
	Distribution grid	Q_m in [kg/incident]	$N = \text{number of incidents}$ t is not relevant ($t=1$)
Incomplete combustion		Q_m in [kg/h]	$N = \text{number of combustion installations in service}$ $t = \text{duration in running [hour]}$

Figure 9. Marcogaz's method of calculating methane emissions [9]

Emissions are measured by ground equipment, drones, airplanes and satellites. Each of the methods has different accuracy and sensitivity, and it is used for different purposes and in different areas. Also, it should be taken into account that agriculture and waste contribute to the total methane emissions registered from the air, so the readings should be combined with the exact locations of oil and gas facilities, and of urban and rural areas.

It is important to keep in mind that data obtained by different methods are not always unambiguously comparable.

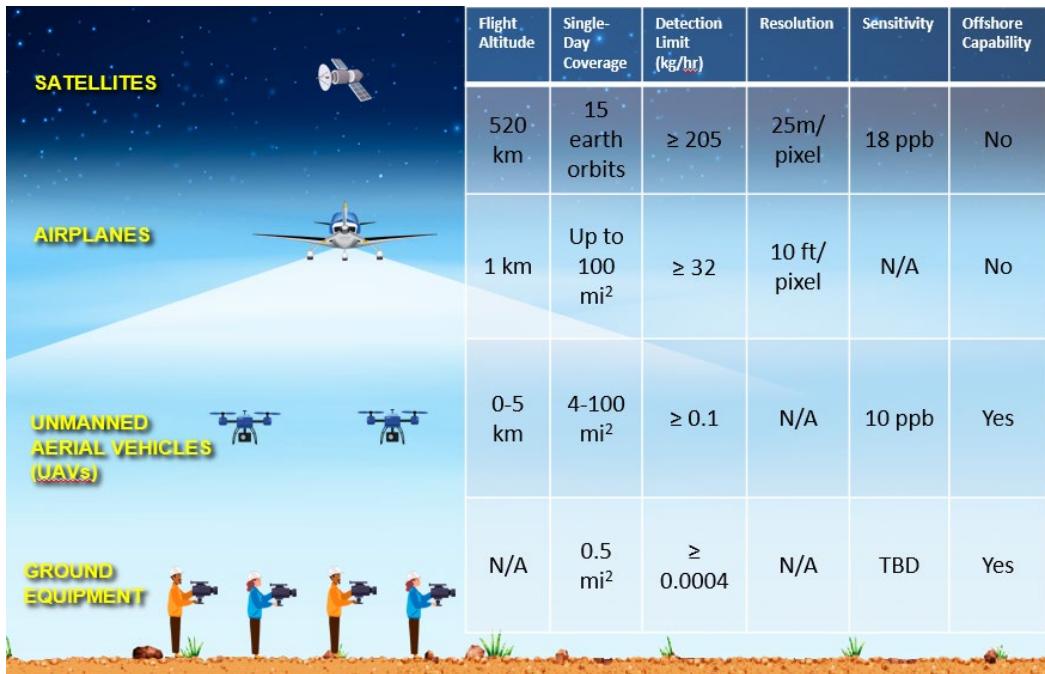


Figure 10. Overview of different measurement techniques [10]

Using satellites, it is possible to observe more significant methane emissions from the coal, oil and gas sectors (Figure 11).

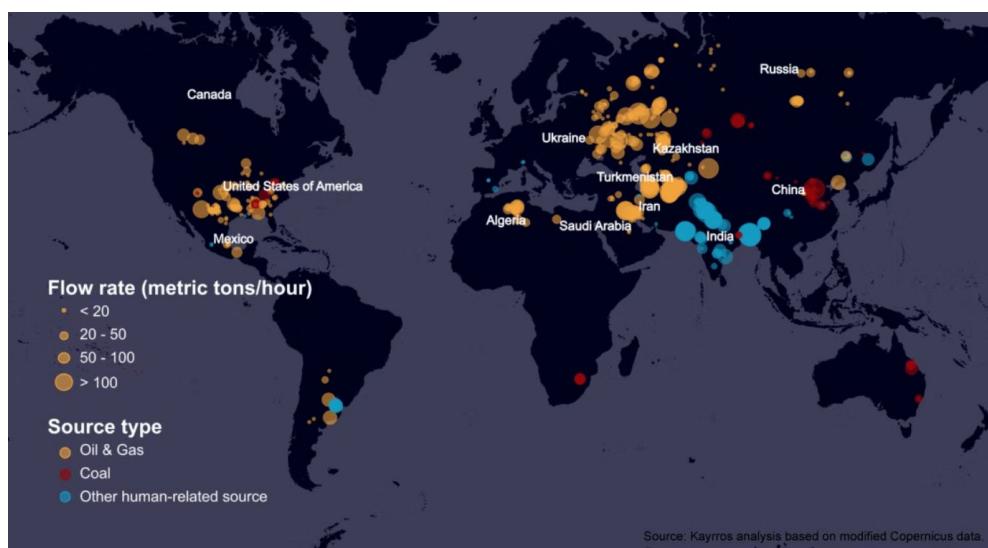


Figure 11. Methane emissions detected by satellite [11]

Numerous satellites are in orbit, having different functions, covering different zones or with different sensitivities. Some of them (global mappers) cover larger areas, but that's why they

can only register larger emissions. Others (point-source detectors) have a fine-grained spatial resolution, and target pre-defined places, but do not have sufficient sensitivity to detect a huge number of smaller emissions that contribute significantly to the total emissions. Furthermore, some satellites have a broader purpose, and one of the outputs is to read greenhouse gas emissions, while others have been launched solely for greenhouse gases or even just methane emissions.

For example, Copernicus is a joint project of the European Commission, the European Space Agency (ESA) and EUMETSAT, and provides data on greenhouse gas emissions, in addition to those on air pollution, solar energy and meteorological forecasts. Tropomi satellite is a global mapper, launched by ESA. The Carbon mapper monitors large emitters in specific locations. GHGSAT, as its name suggests, only monitors greenhouse gas emissions, and is oriented toward commercial satellites, introducing additional satellites for better coverage. MethaneSAT is in the pipeline and will be the only satellite to provide high-precision global coverage on an almost weekly basis, measuring not only methane concentrations but also the rate of emissions and who is producing them. It will also quantify emissions from sources too small for other satellites.

Global mapping	Area mapping	Location mapping
TROPOMI* SCIAMACHY GOSAT <ul style="list-style-type: none"> ✓ Global and large-scale regions ✓ Large point sources 	MethaneSAT* <ul style="list-style-type: none"> ✓ Area sources ✓ Point sources ✓ Sector-wide qualification 	GHGSat* Carbon Mapper Satlantis <ul style="list-style-type: none"> ✓ Point sources
<small>*7,000m x 5,500m pixels across 2,600km swath</small>	<small>*100m x 400m pixels across 260km swath</small>	<small>*50m x 50m pixels across 12km swath</small>

Figure 12. Overview of the characteristics of different satellites [12]

To analyze the data obtained by satellite readings, different programs and centers are needed, such as Kayros, IMEO, Satlantis or Satelitycs. For the efficient reduction of methane emissions, it is important to determine the actual state of emissions, and this is where the OGMP framework is extremely important. All assessments should go in the direction of verification by actual measurement, i.e. from reporting level 1 to levels 4 and 5, i.e. the "gold standard".

4. Accuracy of determination and the possibility of reducing methane emissions

With the development of systems and techniques for the actual measurement of methane emissions, an increasing difference is becoming visible in relation to the estimates that countries report within the framework of UNFCCC obligations. The IEA estimates that the reported values are particularly lower in the oil and gas sector (Figure 13).

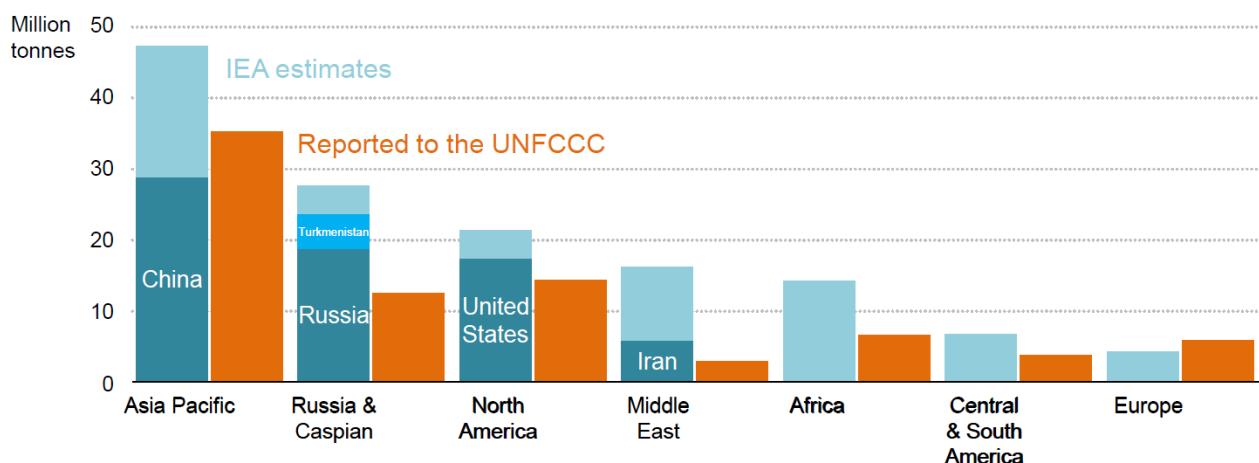


Figure 13. The difference in estimates of methane emissions [11]

In addition to methodologies and templates on monitoring and reporting of methane emissions, guidelines on defining reduction targets for the industry, recommendations on the frequency of checks, as well as ways to reduce gas emissions during repairs have been developed by relevant associations. All of this is becoming more and more important in the overall fight against climate change and reducing emissions, where both - methane as a greenhouse gas and the oil and gas industry - as participants in the problem and in its solution have an emphasized contribution. This will be soon prescribed as an obligation in the European Union.

It is estimated that of the total methane emissions into the environment, methane emissions from energy processes can be reduced most effectively (Figure 14). In the gas sector, starting from production to use, measures aimed at reducing emissions coming from venting activities are considered the most effective. For example, instead of releasing gas into the atmosphere during production or during significant operations on gas pipelines and other parts of the gas system, the use of gas for electricity production and the use of portable devices for gas capture and compression are being considered.

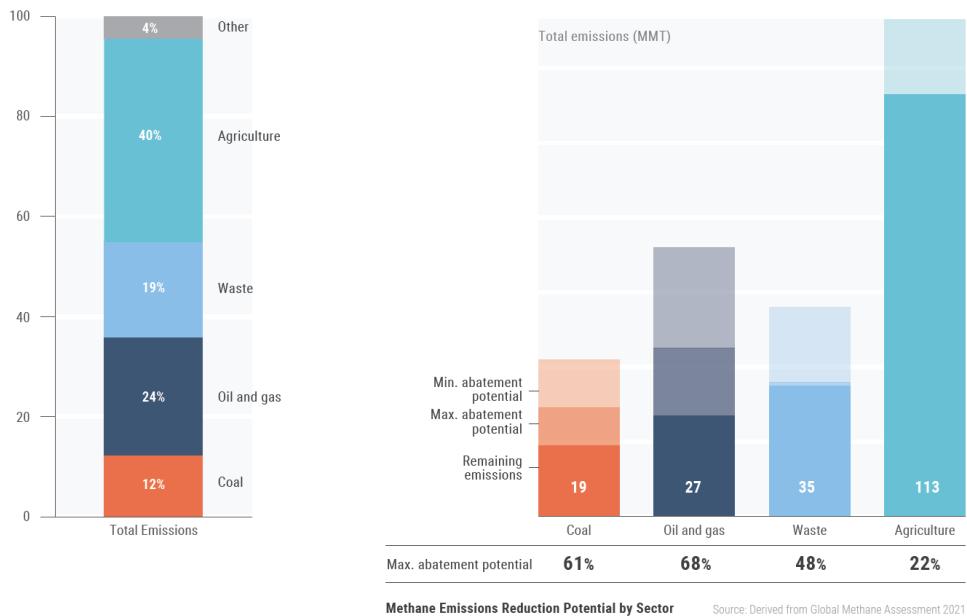


Figure 14. Anthropogenic methane emissions by sector with an assessment of the potential for reducing total methane emissions [13]

5. Conclusions

At the international level, the 2016 Paris Agreement, which is the first legally binding global climate agreement, sets the goal of keeping global warming well below 2 °C while striving to limit warming to 1.5 °C above pre-industrial levels.

In order to achieve these goals, all parties to the agreement must implement measures to reduce greenhouse gas emissions, one of which is methane. Reporting on emissions and their reduction is defined by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

During the last climate conference in November 2022 in Glasgow (COP26), more than 100 countries signed the Global Methane Pledge by which the signatories committed to jointly reduce global anthropogenic methane emissions by at least 30 percent below 2020 levels by 2030.

Croatia is a signatory to both initiatives and has accordingly undertaken obligations to reduce greenhouse gas emissions, including methane.

At the level of the European Union, the European Commission recognized the problem of methane emissions in the energy sector with the publication of the European Commission Strategy on Methane in 2020 and the subsequent publication of the Draft Regulation on Methane in 2021. Also, the reduction of methane emissions in the energy sector has become an important part of the Fit-for-55 program of the European Commission, as an integral part of the goals set by the European Climate Law and the Green Plan.

Although total methane emissions from the gas system account for only 6% of total methane emissions at the EU level, which is equivalent to 0.6% of total European emissions of all

greenhouse gases, the gas industry, starting from gas production to its use, has always paid attention monitoring of methane emissions due to safety requirements, and recently more and more attention is being paid to the additional reduction of methane emissions due to environmental requirements. Moreover, by monitoring and reducing methane emissions, the gas infrastructure proves its reliability, i.e. readiness for the future uptake of gases from renewable sources.

Environmental requirements, more specific obligations related to assessments, measurement, verification, reporting and reduction of methane emissions, are not yet legally binding at the EU level. It will become legally binding after the adoption of the Regulation of the European Parliament and the Council on the reduction of methane emissions in the energy sector, which is expected in late 2022 or early 2023.

In order to be able to fulfill these mandatory provisions, the participation of the gas industry in voluntary partnerships and associations such as the Oil and Gas Methane Partnership (OGMP), the Association of Gas Infrastructure Operators (GIE) and the European Technical Association of the Gas Industry (Marcogaz) is extremely important.

Timely monitoring of the work of the aforementioned bodies and active participation of the gas industry from the area of Southeast Europe is extremely important in order to adopt good existing practices and solutions, and prepare in time for the future obligations that the industry will have by adopting the new legal framework. All these obligations can have significant financial effects.

6. References

- [1] Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz and R. Van Dorland, 2007: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [2] Crippa, M., Guizzardi, D., Solazzo, E., Muntean, M., Schaaf, E., Monforti-Ferrario, F., Banja, M., Olivier, J.G.J., Grassi, G., Rossi, S., Vignati, E., GHG emissions of all world countries - 2021 Report, EUR 30831 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2021, ISBN 978-92-76-41547-3, doi:10.2760/173513, JRC126363.
- [3] Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on methane emissions reduction in the energy sector and amending Regulation (EU) 2019/942, COM/2021/805 final
- [4] International Energy Agency IEA, Global Methane Tracker 2022, <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2022>

- [5] International Energy Agency IEA, Global Methane Tracker 2020, <https://www.iea.org/weo/methane/database>
- [6] Report for the Madrid Forum June 2019 „Potential ways the gas industry can contribute to the reduction of methane emissions“, <https://www.gie.eu/publications/methane-emissions/>
- [7] IPCC Categorisation of methane emissions, Chapter 1 (1B categories), 2019, <https://unfccc.int>
- [8] Oil and Gas Methane Partnership, OGMP 2.0 <https://www.ogmpartnership.com>
- [9] Marcogaz' methodology, WG-MET-485, <https://www.marcogaz.org/technical-work/sustainability/methane-emissions>
- [10] John Crane presentation MM, John Crane presentation at 6th 2021 Methane Monday, https://www.energy-community.org/events/2021/10/WSGAS_MET.html
- [11] IEA, the Global Methane Tracker 2022, presentation at 3rd 2022 Methane Monday, <https://www.energy-community.org/events/2022/04/3MMM.html>
- [12] EDF/MethaneSAT presentation at 5th 2022 Methane Monday, <https://www.energy-community.org/events/2022/06/5MMM.html>
- [13] An Eye on Methane United Nations Environment Programme (2021), ISBN: 978-92-807-3893-3



Obnovljivi izvori energije i plin ***Renewable energy sources and gas***

S. Franjić

*Autor za korespondenciju. E-mail: sinisa.franjic@gmail.com

Sažetak

Izvori energije dijele se na neobnovljive i obnovljive. Neobnovljivi izvori su fosilna (ugljen, nafta i prirodni plin) i nuklearna goriva (uran, plutonij). Njihova nalazišta i zalihe su ograničene te su zbog toga podložna konačnom iscrpljivanju. Za razliku od njih, karakteristika obnovljivih izvora energije jest da su neiscrpni što znači da se neprestano obnavljaju u prirodi. U obnovljive izvore energije ubrajaju se sunčeva energija, energija vjetra, energija vode, geotermalna energija i energija iz biomase.

Ključne riječi: obnovljivi izvori energije, energetska učinkovitost, rasvjeta, plin, okoliš

Abstract

Energy sources are divided into non-renewable and renewable. Non-renewable sources are fossil fuels (coal, oil and natural gas) and nuclear fuels (uranium, plutonium). Their deposits and reserves are limited and therefore subject to final depletion. In contrast, the characteristic of renewable energy sources is that they are inexhaustible, which means that they are constantly renewable in nature. Renewable energy sources include solar energy, wind energy, water energy, geothermal energy and biomass energy.

Keywords: renewable energy sources, energy efficiency, lighting, gas, environment

1. Uvod

U obnovljive izvore energije ubrajaju se vodena snaga, energija biomase i bioplina, sunčeva energija i energija vjetra [1]. Radi se o prirodnim resursima koji su, kao takvi, regenerativno neiscrpni i znatno povoljnijeg utjecaja na okoliš. S obzirom da njihova primjena ima pozitivni ekonomski utjecaj na razvoj nerazvijenih područja, kao i zbog činjenice da njihova značajnija upotreba predstavlja ekološki prihvatljivije rješenje, obnovljive izvore energije možemo definirati i kao osnovne energente budućnosti.

U 21. stoljeću obnovljivi izvori energije predstavljaju značajan izvor energije na Zemlji. Njihova je uloga iznimno bitna u energetskim sustavima, a korištenje obnovljivih izvora energije predstavlja strateške ciljeve nacionalnih energetskih politika utemeljenih na strategijama energetskoga razvoja. Njima se utvrđuju nacionalni energetski programi,

potrebna ulaganja u energetiku, poticaji za ulaganja u obnovljive izvore i kogeneraciju te unapređenje mjera zaštite okoliša u svim područjima energetske djelatnosti. Svaka zemlja članica Europske unije proizvodnju i korištenje obnovljivih izvora energije implementira u vlastitu strategiju energetskog razvoja, utvrđivajući ciljeve i mjere korištenja tih prirodnih resursa, ali i izvršavajući preuzete međunarodne obveze u području zaštite okoliša, sve u cilju postizanja europske energetske neovisnosti.

2. Energetska učinkovitost

Unatoč povećanju energetske učinkovitosti, budući razvoj gospodarstva u Republici Hrvatskoj iziskivat će povećanu potrošnju energije što znači da će se time ostvariti i jedan od osnovnih preduvjeta gospodarskog rasta i razvoja [2]. Ovdje svakako posebno treba istaknuti da je, u tom smislu, osnovna uloga države donošenje, provedba i nadzor energetske politike. Glavni instrumenti provedbe energetske politike su reguliranje energetskog sektora, donošenje mjera za poticanje energetske učinkovitosti, zaštita potrošača, uključivanje troškova eksternih učinaka u cijenu energije itd.

Republika Hrvatska ima povoljne uvjete za izgradnju podzemnih skladišta plina, podzemnih skladišta CO₂, hidroelektrana, vjetroelektrana i drugih obnovljivih izvora energije, terminala za naftu i ukapljeni prirodni plin, termoelektrana na uvozni kameni ugljen, nuklearnih elektrana, odlagališta nisko i srednje radioaktivnog otpada i druge energetske objekte.

Glavni izvor opskrbe Republike Hrvatske naftom i prirodnim plinom bit će domaća proizvodnja iz preostalih rezervi, Sjeverna Afrika i Srednji istok te Ruska Federacija i Kaspijska regija. Energetski će se razvoj na ovom području temeljiti na razvoju tržišta energije, ali i na geopolitičkom planiranju i pregovaranju o sudjelovanju u strateškim projektima koji Republici Hrvatskoj mogu donijeti povećanu sigurnost opskrbe i gospodarske koristi.

Učinkovita uporaba energije u proizvodnji, prijenosu i neposrednoj potrošnji temelj je razvojnih smjernica svih sektora energetskog sustava [3]. U sektoru proizvodnje nafte, naftnih derivata i prirodnog plina energetska učinkovitost se očituje u modernizaciji rafinerija i korištenju poboljšanim tehnologijama za iskoriščavanje naftnih polja i plinskih nalazišta. U elektroenergetici energetska učinkovitost podrazumijeva primjenu učinkovitijih tehnologija energijskih pretvorbi, kao što su: napredne tehnologije izgaranja ugljena, plinske elektrane visokog stupnja djelovanja i kogeneracija toplinske i električne energije te smanjenje gubitaka u prijenosnoj i distribucijskoj mreži, lokacijski povoljna izgradnja i poticanje distribuirane proizvodnje električne energije. Glede proizvodnje toplinske energije, razvoj centraliziranih toplinskih sustava usmjerava se prema povećanju učinkovitosti pretvorbe energije, primjeni kogeneracijskih jedinica i smanjenju gubitaka distribucije toplinske energije, distribuiranoj proizvodnji energije i uporabi obnovljivih izvora energije.

3. Europska energetska politika

Europska energetska politika jedan je od najvažnijih imperativa međunarodnog projekta danas poznatog kao Europska unija [4]. Europska energetska politika ima za cilj ostvarivanje tri cilja: veća sigurnost opskrbe, osiguranje konkurentnosti europskih gospodarstava i

dostupnost energije te promicanje održivosti okoliša i borbe protiv klimatskih promjena. Europska energetska politika je dobro osmišljena jer se njome učinkovito omogućava opskrba energijom, integracija energetskih tržišta u Europsku uniju, osiguranje usklađenosti energetske politike s ciljevima održivog razvoja racionalnim korištenjem energije i razvojem obnovljivih izvora te promicanje istraživanja i tehnoškog razvoja u energetici u svim državama članicama. Europska energetska politika obuhvaća korištenje ugljena, nafte, plina, električne energije, novih i obnovljivih izvora energije i nuklearne energije te upravljanje potražnjom za različitim oblicima energije.

Rasvjeta, grijanje, prijevoz i industrijska proizvodnja nužne su svakodnevne usluge za koje je potrebna energija, a bez kojih mi i naša poduzeća ne možemo opstati [5]. Zalihe fosilnih goriva (nafte, plin i ugljen) nisu nepresušne. Njima treba pažljivo upravljati, a istovremeno treba istraživati nove izvore energije. Europa troši i uvozi sve veću količinu energije. Europske zemlje svjesne su prednosti usklađenog djelovanja u tako strateškom području. Slijedom toga, utvrđena su zajednička pravila u cijeloj Europi i poduzeti zajednički napor u cilju osiguravanja energije potrebne Europi po pristupačnim cijenama i uz što je moguće manje onečišćenje okoliša.

Iako su paljenje računala ili automobila radnje koje uzimamo zdravo za gotovo, one su ipak završna faza složenog procesa. Energetske resurse poput plina, nafte i ugljena najprije treba izvaditi iz zemlje. Postoji i mogućnost dobivanja toplinske energije izgaranjem drva, a električne energije korištenjem snage vjetra u vjetroturbinama, vode u hidroelektranama i Sunčeve svjetlosti u solarnim panelima. Dobivenu je energiju zatim potrebno prenijeti do mjesta uporabe, ponekad preko cijelih kontinenata ili ispod mora. Za to su potrebna postrojenja kojima se desetljećima može jamčiti neprekidna opskrba energijom. Stoga su nam potrebni ogromni tehnički, logistički i finansijski resursi.

Energetski sektor ima stratešku važnost jer nam je energija nužna. Prijeko je potrebna za rasvjetu, zaštitu od hladnoće i prijevoz ljudi i dobara, a služi i kao potpora svim ostalim gospodarskim sektorima — poljoprivredi, industriji i uslugama te znanstvenom napretku. Naš životni standard zahtijeva ogromne količine energije. To, naravno, dovodi do onečišćenja (zraka, vode, tla i klime) čiji se utjecaj mora što je više moguće smanjiti.

4. Obnovljivi izvori energije

Prirodni oblici energije koji se obnavljaju ne mogu se s vremenom istrošiti jer se neprestano obnavljaju (isparavanjem vode stvaraju se oblaci, a iz njih oborine koje se slijevaju u vodotoke i mora itd.) iako je moguće potpuno iskoristiti potencijale nekih prirodnih obnovljivih oblika energije [6]. To bi značilo da je u određenom vremenskom periodu ograničena samo količina energije, a njezino korištenje nije uz pretpostavku da se obnavljaju postrojenja za energetsko iskorištavanje.

Svjedoci smo globalnog trenda u povećanju korištenja obnovljivih izvora energije. Potreba za tim povećanjem se javila iz različitih ekonomskih, ekoloških, geopolitičkih i drugih razloga. Resursi energije iz prirodnih izvora zahtijevaju dublje razumijevanje različitih prirodnih fenomena kao npr. Sunčevog zračenja, strujanja zračnih struja, gibanje vodenih masa, itd. U kontekstu razmatranja obnovljivih izvora energije, Perčić [7] daje zanimljiv prikaz mogućih

obnovljivih izvora energije koji proizlaze iz konteksta energije mora. Energija mora uz solarnu energiju, hidroenergiju, geotermalnu energiju i energiju vjetra predstavlja veliki neiskorišteni potencijal. Slabija iskorištenost energije mora u odnosu na druge, možda konvencionalnije obnovljive izvore energije, ima razlog u tome što je tehnologija potrebna da bi se energija mora iskoristila kompleksna u svakom svom aspektu; od planiranja, prikupljanja podataka o morskim strujama, valovima, izrade u nekim slučajevima kolosalnih uređaja, te njihova eksploatacija u najtežim uvjetima na pučini mora, itd. Zbog tih poteškoća ovaj obnovljivi izvor nije imao toliko nagli razvoj kao npr. sunčeva i energija vjetra u zadnjih nekoliko desetljeća. Upravo zbog toga energija mora u zadnje vrijeme uživa sve veći interes znanstvene zajednice i inženjerske struke, što je dokaz kako multidisciplinarnost drži ključ rješenju ovakvih tehničkih problema.

Općenito gledano, nekonvencionalni izvori imaju ogroman potencijal – što je poželjno svojstvo. Ipak, male hidroelektrane predstavljaju ograničeni potencijal, koga naprsto nema na znatnom dijelu ogromnih prostranstava globusa [8]. Biomase predstavljaju veliki ali ipak znatno manji potencijal od energije Sunčevog zračenja. Geotermalna energija ima pri današnjem načinu korištenja ograničeni potencijal, ali prikriveni potencijal je ogroman ako dođe do prihvatljivog korištenja topline Zemljine unutrašnjosti s velikih dubina.

Republika Hrvatska ima dobre prirodne mogućnosti za iskorištavanje obnovljivih izvora energije. Obnovljivi izvori energije su domaći izvor energije i njihova je uporaba sredstvo poboljšanja sigurnosti opskrbe energijom, poticaj razvoju domaće proizvodnje energetske opreme i usluga, te način ostvarenja ciljeva zaštite okoliša.

Republika Hrvatska će maksimalno poticati obnovljive izvore energije, ali uz prihvatljive društvene troškove njihove uporabe. Stoga se postavljaju ovi strateški ciljevi:

1. Republika Hrvatska će ispuniti obveze prema prijedlogu Direktive Europske unije o poticanju obnovljivih izvora energije o udjelu obnovljivih izvora energije, uključujući i velike hidroelektrane, u bruto neposrednoj potrošnji energije u iznosu od 20 %;
2. Republika Hrvatska će ispuniti obveze prema Direktivi Europske unije o udjelu obnovljivih izvora energije u neposrednoj potrošnji energije u prijevozu u 2020. godine u iznosu od 10 %;
3. Republika Hrvatska postavlja cilj da se udio proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije, uključujući velike hidroelektrane, u ukupnoj potrošnji električne energije u razdoblju do 2020. godine održava na razini 35 %.

Energija biomase ima značajan potencijal u pograničnom području. Biomasa je jedan od obnovljivih izvora energije kod kojega se mora voditi računa o održivom korištenju [9]. Kako bi se mogla smatrati obnovljivim izvorom energije, mora se voditi računa da se osigura prirast nove biomase u većem ili jednakom iznosu u odnosu na onog koji je potrošen. Biomasa se u primarnom obliku može prikupljati u tekućem ili u krutom stanju. Zatim se procesom anaerobne digestije (tekuća biomasa) ili procesom rasplinjavanja (kruta biomasa) dobiva biopljin koji se dalje može koristi u plinskim turbinama ili plinskim motorima za pogon generatora te proizvodnju električne energije. Nadalje, kruta biomasa se također može koristi i u parno-turbinskim postrojenjima za proizvodnju električne energije, ali i za kogeneraciju. Kao što je u uvodnom poglavljju navedeno u pograničnom području u udjelu

obnovljivih izvora energije veliki udio zauzima tradicionalna biomasa koja se koristi za dobivanje toplinske energije. Ta biomasa se iskorištava najčešće u tradicionalnim pećima na drva. No,drvnu biomasu je moguće iskorištavati puno učinkovitije. Tako se može iskorištavati za centralizirane sustave grijanja na drvnu sjećku koji se mogu koristiti za opskrbu toplinskog energijom u ruralnim područjima ili u kogeneracijskim postrojenjima čime bi se povećala ukupna učinkovitost. Za dobivanje toplinske energije (grijanje prostora ili priprema PTV) u ruralnim područjima vrlo prikladni su solarni toplinski kolektori koji iskorištavaju energiju sunčevog zračenja te toplinske crpke koje koriste toplinu zemlje, zraka ili vode kao primarni izvor topline.

5. Gospodarenje plinom

Energetsko tržište, više od bilo kojega drugoga, ima utjecaj na globalnom planu. Danas se može govoriti o trećem dijelu razdoblja fosilnih goriva u kojem istaknuto ulogu ima plin kao sve češći emergent [10]. U suvremenoj globaliziranoj proizvodnji prirodni plin dobiva sve izraženiju geopolitičku ulogu. Na početku 21. stoljeća prirodni plin u Hrvatskoj zauzima oko 25 % ukupne energetske bilance. Potrošnja u proteklih 20 godina bilježi neprekidan rast, s iznimkom ratnih, 1990-ih godina. Plinifikacija, gradnja novih plinskih dobavnih pravaca te liberalizacija plinskog tržišta, uz transparentnu energetsku politiku, trenutačno su iznimno važni elementi za strategiju energetskog razvoja. Razvoj plinskih tržišta utjecat će na globalna kretanja i učešće nafte na tržištu. Međunarodna plinska trgovina stvorit će nove ovisnosti potrošača i proizvođača, uz intenziviranje međunarodne trgovine energijom. Republika Hrvatska mora osigurati dodatne količine i pravce uvoza prirodnog plina, te uključivanje u međunarodnu trgovinu prirodnim plinom.

Prirodni plin dugo je vremena bio element razmjene na lokalnom ili nacionalnom tržištu, no promjene potkraj 20. i početkom 21. stoljeća dovele su ga na međunarodno tržište pa se može govoriti o globalizaciji plinskih tržišta. Ona je započela izgradnjom međunarodnih i transkontinentalnih plinovoda poput onih od Kanade do SAD-a, od Rusije i Norveške do Njemačke i Francuske, od Alžira do Italije i Španjolske, od Argentine do Čilea, od Bolivije do Brazila, pa sve od Turkmenistana do Irana. Planiranje razvoja prirodnog plina, osobito magistralnih pravaca za opskrbu plinom, postaje sve više stvar političkih odnosa, a ne samo gospodarskog razvoja, investicija i tehničkih mogućnosti za transport i održavanje.

6. Rasvjeta

U početku razvoja čovjeka sve do otkrića vatre, sve su ljudske aktivnosti bile vezane uz prirodnu svjetlost, bila ona od sunca, mjeseca ili zvijezda [11]. Vatra je omogućila zagrijavanje prostora, obradu namirnica i dala prvu rasvjetu čovjekovog prebivališta. Uslijedio je razvoj umjetnih izvora svjetlosti bez kojih bi čovjekove mogućnosti i aktivnosti bile bitno smanjene. Za kvalitetnu rasvjetu prostora važno je ostvariti kvalitativne i kvantitativne pokazatelje rasvjete i zahtjeve na sustav rasvjete. Zahtjevi rasvjete, koji se trebaju zadovoljiti, temelje se na tri osnovne ljudske potrebe, a to su: vizualni komfor,

vizualne parametri i sigurnost. Vizualni komfor podrazumijeva da se osoba, koja boravi u tome prostoru, osjeća ugodno. Vizualni parametri prepostavljaju mogućnost obavljanja vizualnih zadataka, čak i pri teškim uvjetima i tijekom dužih perioda. Vizualni parametri ovise o razini rasvjetljenosti na način da su parametri tim bolji što je veća razina rasvjetljenosti. Ova je ovisnost jako izražena do razine rasvjetljenosti od 1.000 lx, dok je za razine iznad 1.000 lx ta ovisnost gotovo zanemariva. Ipak, i kod ekstremno visokih razina rasvjetljenosti vizualna svojstva se rapidno smanjuju. Tako je za kontinuirano obavljanje poslovnih aktivnosti potrebna rasvjetljenost od najmanje 200 lx dok je za raspoznavanje osnovnih crta lica potrebna rasvjetljenost od samo 20 lx. Za posebno složene i zahtjevne vizualne zadatke potrebna je rasvjetljenost i do 2.000 lx, a u posebnim slučajevima, kao što su operacijske dvorane, potrebna je razina rasvjetljenosti čak i do 20.000 lx. Može se reći da je potrebna razina rasvjetljenosti nekog prostora najviše ovisna o namjeni prostora, odnosno o očekivanim aktivnostima koje će se u tom prostoru obavljati. Osnovni parametri vezani uz određivanje rasvjete u nekom prostoru su:

- razdioba rasvjetljenosti
- rasvjetljenost
- bliještavost
- usmjerenost svjetla
- uzvrat boje
- treperenje
- dnevna svjetlost

7. Fluorescentne cijevi

Najveća primjena fluorescentne rasvjete je u javnim zgradama gdje postoje velike mogućnosti uštede, dok je u kućanstvima prikladnija uporaba fluokompaktnih žarulja [11]. Fluorescentne cijevi danas čine oko 70 % ukupnih rasvjetnih tijela u zgradarstvu te su time i najzastupljeniji izvor svjetla. Prije svega odlikuje ih ekonomičnost, relativno dugi vijek trajanja i visoka učinkovitost. Troše oko pet puta manje energije od standardnih žarulja sa žarnim nitima. Primarna učinkovitost im iznosi oko 25%, a svjetlosna iskoristivost im je iznimno visoka i kreće se između 70 lm/W i 100 lm/W. Stoga je fluorescentna rasvjeta jedan od najučinkovitijih tipova rasvjete za unutarnje prostore. Vijek trajanja im iznosi oko 12.000 sati, odnosno 12 puta duže nego vijek standardnih žarulja sa žarnom niti. Fluorescentne cijevi ubrajaju se u grupu svjetlosnih izvora koji rade na principu izboja u plinu. Osnovni element im je staklena ili kvarcna cijev čiji je unutrašnji sloj presvučen fluorescentnim materijalom (npr. fosforom) na čijim krajevima se nalazi elektroda, a prostor između njih ispunjen je mješavinom živinih para i plemenitih plinova pod niskim tlakom. Fluorescentne cijevi mogu se koristiti za primarnu rasvjetu unutrašnjih prostora, ali i kao dekorativna rasvjeta za svjetleće reklame i natpise. Cijevi za rasvjetu unutrašnjih prostora najčešće su štapnog oblika, a duljina i debljina cijevi mogu varirati, kao i broj cijevi u armaturi. Također, za unutrašnju rasvjetu najčešće se koriste još i okrugli oblik i "U"-oblik cijevi. Kod dekorativne rasvjete postoje razni oblici koji su prilagođeni potrebama aplikacije.

Vijek trajanja fluorescentnih cijevi ponajviše ovisi o načinu korištenja te o kvaliteti upravljačkog uređaja. Najčešći znakovi kraja životnog vijeka svjetiljki su treperenje, ružičasta svjetlost i pojava zatamnjjenja na krajevima cijevi. Uzroci prestanka rada fluorescentnih cijevi mogu biti:

- raspršenje smjese na katodi koja omogućuje emitiranje elektrona,
- kvar na elektroničkoj prigušnici,
- opadanje učinkovitosti fluorescentnog sloja,
- gubitak žive,
- pregaranje žarne niti.

Smjesa koja omogućuje emitiranje elektrona u plin putem termoionske emisije nalazi se na katodi. Katodu pogađaju elektroni i ioni žive te tako uzrokuju postupno raspršenje smjese, a pojačano raspršenje događa se prilikom paljenja cijevi. Ovaj kvar se najčešće pojavljuje kod svjetiljki koje prosječno rade manje od tri sata u kontinuitetu, tj. kod kojih je uobičajeno paljenje i gašenje. Kvar se manifestira zatamnjjenjima na krajevima cijevi koja nastaju upravo zbog raspršenja smjese na katodi. Kad se smjesa prekomjerno istroši, ne može više emitirati dovoljan broj elektrona koji bi trebali izazvati izboj u plinu.

8. Zaštita okoliša

Zaštita okoliša predstavlja područje s kojim se uporaba obnovljivih izvora energije najčešće dovodi u vezu [12]. Naime, nagli gospodarski i, prije svega, industrijski razvoj zabilježen u posljednja dva stoljeća oslanjao se prvenstveno na rastuću uporabu fosilnih goriva: najprije ugljena, zatim nafte, koja još uvijek predstavlja dominantan izvor energije, a odnedavna raste i uloga plina. Međutim, njihova uporaba ima negativne posljedice po okoliš.

Cijeli proizvodni lanac fosilnih goriva, od bušenja ili iskopavanja, transporta, prerade, izgaranja do konačnog odlaganja nastalog otpada, uzrokuje oslobođanje tvari koje narušavaju prirodnu ravnotežu, kroz onečišćenje zraka, vode i tla.

U današnjem svijetu potrošnja energije neprestano raste, čak i u najrazvijenijim zemljama. Opće je poznata činjenica da su zalihe energetika koje danas koristimo konačne i iscrpive, zbog čega će u budućnosti trebati pronaći i koristiti druge izvore energije koji će nadomjestiti danas dominantna fosilna goriva – naftu, plin i ugljen. Međutim, problem koji je aktualan već danas je ograničenje dobavnih pravaca energije i energetika.

Naime, navedene je energente potrebno dopremiti do centara potrošnje, za što su potrebni naftovodi, plinovodi, prijenosna električna mreža, terminali i ostala infrastruktura, čija je izgradnja dugotrajna i skupa, a predstavlja i rizik po okoliš. Uz to, najveći centri potrošnje energije (SAD i Europska unija) udaljeni su od centara u kojima se energenti pridobivaju (zemlje Bliskog istoka, Rusija, latinskoameričke države), što u svijetu izaziva političke napetosti i ratove.

Krizne situacije s opskrbom energentima počele su se događati sedamdesetih godina prošlog stoljeća, s prvom naftnom krizom, i pojavljuju se otada, uzrokovane u pravilu političkim odnosima.



9. Zaključak

Obnovljivi izvori energije su izvori materijala ili energije koji se stalno ili određenim postupcima obnavljaju pa se tako mogu iskorištavati bez iscrpljivanja. To su biomasa, posebno drvo, te biljne kulture. Obnovljivi su (neiscrpivi) izvori energije i Sunce, vjetar, morske mijene, hidroenergija i hidrotermalna voda. Korištenjem obnovljivih izvora čuva se okoliš, jer su to izvori čiste energije koja ga ne zagađuje.

10. Literatura

- [1] Amižić Jelovčić, P.; Primorac, Ž.; Škurla, I.: „Energetska perspektiva Republike Hrvatske s posebnim osvrtom na zaštitu Jadranskoga mora”, Zbornik radova Pravnog fakulteta u Splitu, god. 50, 4/2013., str. 823-853
- [2] Franjić, Siniša: „Gospodarenje plinom i zaštita potrošača u Republici Hrvatskoj” // PLIN2014, 24-26 rujna 2014., Osijek, Hrvatska, str. 231-235, ISSN 1849-0638
- [3] Franjić, Siniša: "Učinkovita uporaba energije", PLIN2017, str. 139. – 145., 27-29 rujna 2017, Osijek, Croatia, ISSN 1849-0638
- [4] Franjić, Siniša: "European energy policy in Croatia", *New Ideas and New Generations of Regional Policy in Eastern Europe* (International conference), Institute for regional studies – Centre for economic and regional studies – Hungarian academy of sciences, 7th and 8th April 2016., Pécs, Hungary
- [5] Politike EU-a: Energetika, Europska unija, Bruxelles, Belgija, 2013., str. 3
- [6] Udovičić, Božo: «Energetika», Školska knjiga, Zagreb, 1993., str. 67
- [7] Perčić, Marko: "Obnovljivi izvori energije u kontekstu morske tehnologije – sadašnjost i budući trendovi", Pomorski zbornik, Posebno izdanje, No. 1., Travanj 2016., str. 213-221
- [8] Marković, Dragan: "Procesna i energetska efikasnost", Univerzitet Singidunum, Beograd, 2010., str. 166.
- [9] Topić, D.; Knežević, G.; Šljivac, D.; Fekete, K.; Žnidarec, M.; Pelin, D.; Klaić, Z.; Primorac, M.; Došen, D.: „Obnovljivi izvori energije u funkciji ruralnog razvoja”, PLIN2018, str. 72-73, 26-28 rujna 2018, Osijek, Hrvatska, ISSN 1849-0638
- [10] Dekanić, Igor; Kolundžić, Stevo; Slipac, Goran: Energetska budućnost Hrvatske i opskrba plinom // *Energija*, 55 (2006), br. 4., str. 382-415
- [11] Stojkov, Marinko; Šljivac, Damir; Topić, Danijel; Trupinić, Kruno; Alinjak, Tomislav; Arsoški, Stevče; Klaić, Zvonimir; Kozak, Dražen: „Energetski učinkovita rasvjeta” // Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Elektrotehnički fakultet Osijek, 2016, Osijek, Hrvatska, pp. 6; str. 47-58
- [12] „Obnovljivi izvori energije u mojoj zajednici”, Društvo za oblikovanje održivog razvoja , Zagreb, Hrvatska, 2009., str. 10-35

Isplaćeni poticaji za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora u Republici Hrvatskoj

Paid incentives for electricity production from renewable sources in the Republic of Croatia

M. Ivanović ^{1,*}, Z. Tonković ², H. Glavaš ³

¹ Panon – institut za strateške studije, Osijek, Hrvatska

² Strojarski fakultet, Sveučilište u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, Hrvatska

³ Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera U Osijeku, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: milanivanovi4@gmail.com

Sažetak

U našim ranijim radovima ukazali smo na: energetske i ekonomski prednosti elektrana na biopljin i bio-masu u odnosu na ostale obnovljive izvore energije, trendove rasta proizvodnje i potrošnje bioplina u članicama EU i Republici Hrvatskoj te na dinamiku u izgradnji kapaciteta za rafiniranje bioplina. U ovom radu se ukazuje se na visine tarifnih stavki i isplaćene poticaje u Republici Hrvatskoj za proizvodna postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije za proizvodnju električne energije - po pojedinim tehnologijama. U zaključku se predlaže korekcija dosadašnje politike isplate poticaja.

Ključne riječi: biopljin, električna energija, isplaćeni poticaji, obnovljivi izvori energije, solarne elektrane, vjetroelektrane

Abstract

In our previous papers, we pointed out: energy and economic advantages of biogas and biomass power plants in relation to other renewable energy sources, growth trends of biogas production and consumption in EU member states and the Republic of Croatia and the dynamics in capacity building for biogas refining. This paper points out the levels of tariff items and paid incentives in the Republic of Croatia for production plants that use renewable energy sources for electricity production - by technologies. In conclusion, a correction of the current policy of paying incentives is proposed.

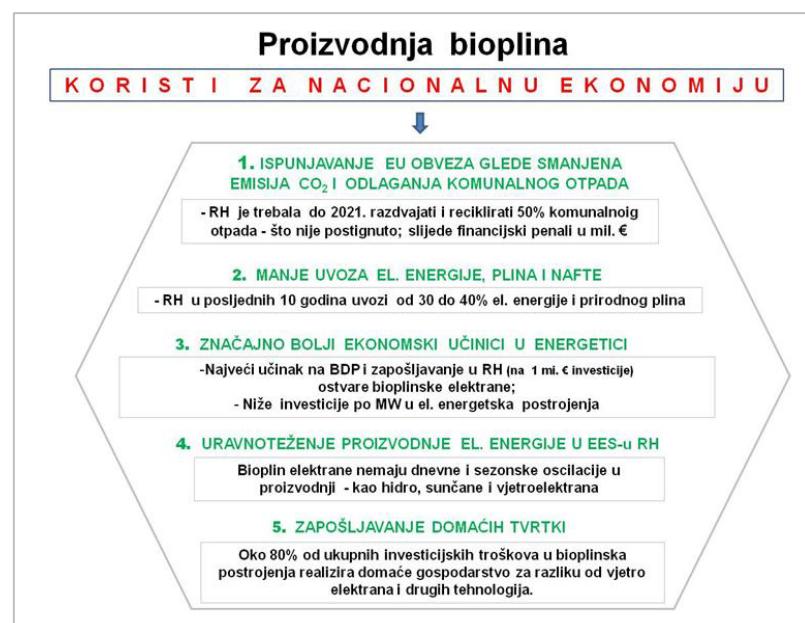
Key words: Biogas, Electricity, Paid incentives, Renewable energy sources, Solar power plants, Wind farms

1. Uvodne napomene

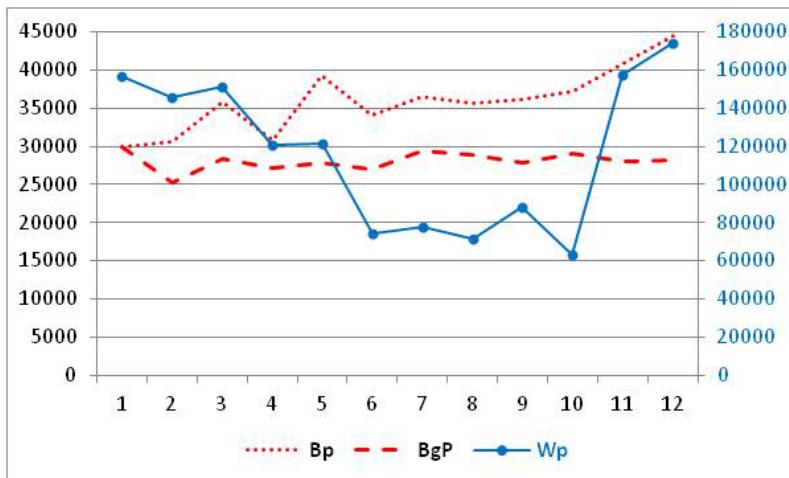
U našim ranijim radovima ukazali smo na: energetske i ekonomske prednosti elektrana na biopljin i bio-masu u odnosu na ostale obnovljive izvore energije - posebno u lokalnoj zajednici te na razini nacionalne ekonomije, kao i trendove rasta proizvodnje i potrošnje bioplina u članicama EU i Republici Hrvatskoj te na dinamiku u izgradnji kapaciteta za rafiniranje bioplina [1] - [9] što ilustriraju slike 1, 2 i 3;



Slika 1. Koristi za lokalnu zajednicu od izgradnje bioplinskih elektrana koje ne postoje kod vjetro i solarnih elektrana [8]



Slika 2. Koristi za nacionalnu ekonomiju od izgradnje bioplinskih elektrana, a koje ne postoje ili su znatno manje kod vjetro i solarnih elektrana [9]



Slika 3. Proizvodnja električne energije iz OIE u RH 2019. godine (GWh) - po mjesecima [5] [10]

Legenda: BP = elektrane na biomasu; BgP elektrane na biopljin; Wp = vjetroelektrane

U rečenim radovima, između ostalog, predloženo je da se - u cilju realizacije EU postavki za klimatske promjene te radi smanjivanja uvoza električne energije u Hrvatsku - ubrza izgradnja novih elektrana na biomasu i biopljin te pokrenu projekti „Pedeset elektrana na biomasu u Slavoniji i Baranji do 2027.“ i „Sto elektrana na biopljin u Slavoniji i Baranji do 2027.“ – čijom bi se realizacijom, uz doprinos klimatskim ciljevima i smanjivanju uvoza električne energije, simultano pridonijelo gospodarskom razvoju slavonske regije (i RH) te usporavanju (zaustavljanju) procesa depopulacije u ruralnim područjima. [2][5]

2. Proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora energije

U ovom se radu ukazuje na iznose isplaćenih poticaja tzv. povlaštenim proizvođačima električne energije u Republici Hrvatskoj za proizvodna postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije. U tab. 1 i sl. 4 prikazani su: broj elektrana, instalirana snaga i proizvodnja električne energije iz OIE u Hrvatskoj u 2021. godini.

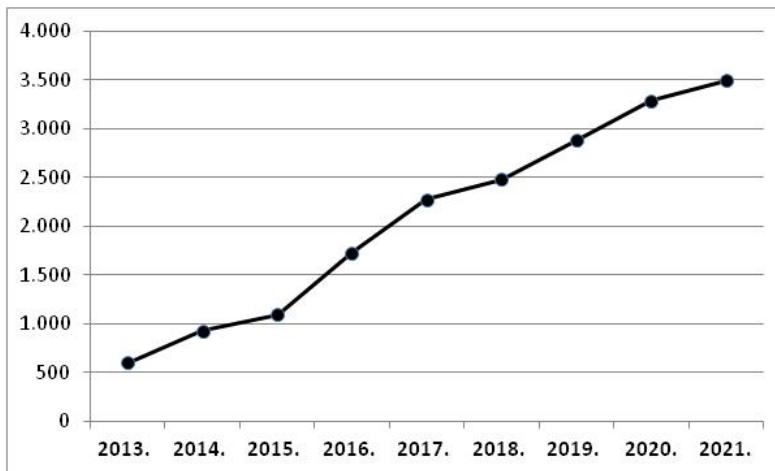
Tablica 1. Elektrane na OIE s kojima je HROTE sklopio ugovor o otkupu električne energije po Tarifnom sustavu; elektrane na mreži - stanje 31. prosinca 2021.

	Broj postrojenja	Instalirana Snaga (kW)	Udio u snazi	Proizvodnja el. energije (GWh)	Udio u proizvodnji
VE	26	716.800	68,41%	1.819,50	52,07%
KG	5	113.260	10,81%	540,90	15,48%
BM	47	96.069	9,17%	592,4	16,95%
BP	42	46.922	4,48%	363,00	10,39%
SE	1.234	55.901	5,33%	74,70	2,14%
GT	1	10.000	0,95%	74,60	2,13%
HE	15	6.365	0,61%	28,90	0,83%
Eov/DP	1	2.500	0,24%	0,16	0,00%
Ukupno	1.369	1.047.817	100%	3.494,16	100%

Izvor: [10]

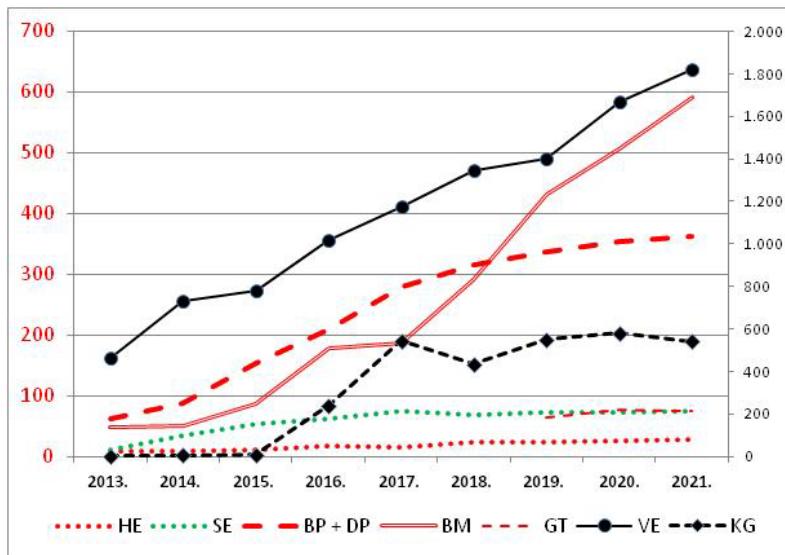
Legenda

VE – vjetroelektrane **KG** – kogeneracijske elektrane **EBm** – elektrane na biomasu **BpE** – bioplinske elektrane
SE – sunčane elektrane **GT** – geotermalne elektrane **HE** – male hidroelektrane **Eov** – el.el. plina otpad.voda
DP – deponijski plin



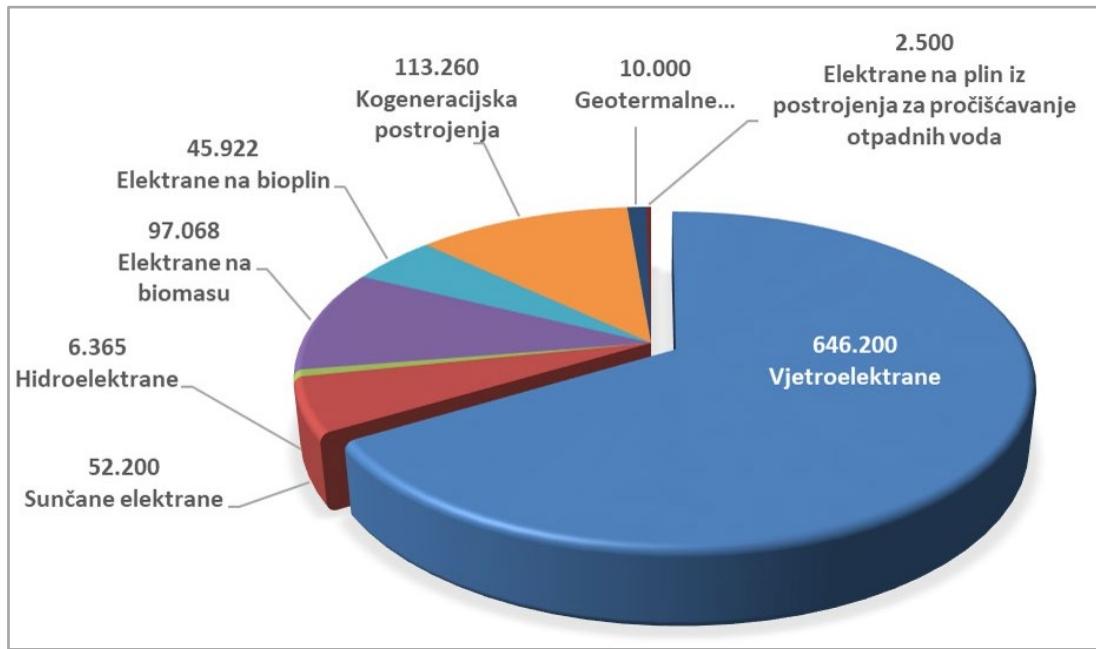
Slika 4. Proizvodnja električne energije iz OIE u RH u razdoblju 2013.-2021.(GWh) [10]

Ukupna proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora u 2021. godini iznosila je 3.494 GWh i porasla je za 7,5% u odnosu na prethodnu godinu. U ukupnoj proizvodnji električne energije - vjetroelektrane imaju najveći udio (52,1% udjela u ukupnoj proizvodnji), a slijede: elektrane na biomasu (16,9%), kogeneracije (15,5%) te bioplinske elektrane (10,4%); sl. 5.

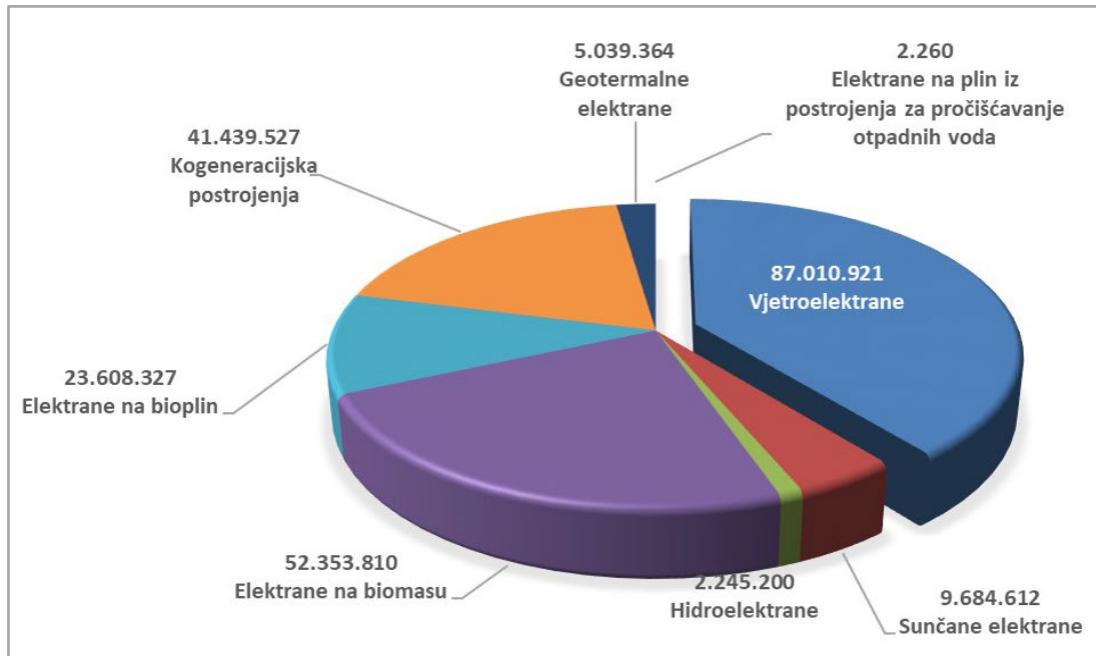


Slika 5. Proizvodnja električne energije iz OIE u RH u 2021. godini – po tehnologijama (GWh) [10]

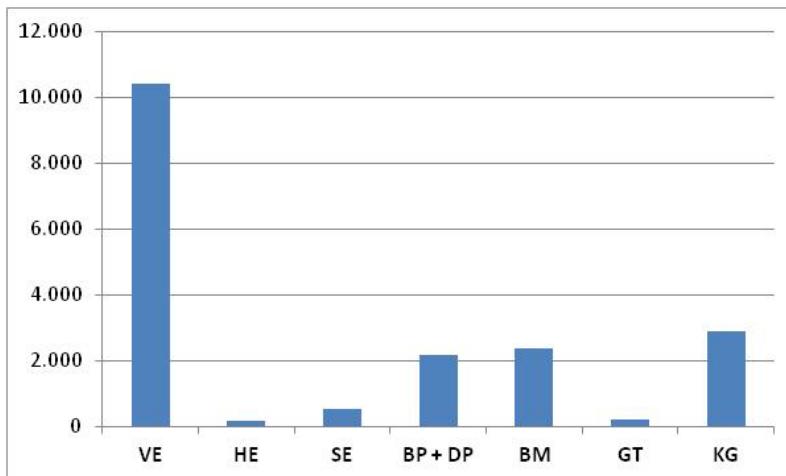
Ovdje treba posebno naglasiti da vjetroelektrane i solarne elektrane imaju veći udio u instaliranoj snazi od udjela u proizvodnji (2021. g. - VE = 68,41% - 52,1% i SE = 5,33% - 2,14%); a sl. 6 i 7 pokazuju stanje u lipnju 2022. Isto tako - vjetro i solarne elektrane imaju velike satne, dnevne i mjesecne oscilacije u proizvodnji što ih uveliko označava kao nesigurne (alternativne) izvore na kojima se ne može temeljiti stabilna i kontinuirana opskrba energijom kao kod konvencionalnih izvora ili elektrana na biomasu i biopljin. Npr. vjetroelektrane umjesto 8000 sati prosječnog rada godišnje, u funkciji su samo oko trećinu toga vremena, ovisno o stanju strujanja zraka. Prema podatku za njemačku saveznu državu Bremen (2013.) vjetroelektrane u toku dana cca 180 puta ulaze i izlaze iz EES-a – što vrlo nepovoljno utječe na stabilnost i ravnotežu EES-a. [11]



Slika 6. Instalirana snaga povlaštenih proizvođača električne energije u RH - lipanj 2022.
 (kW) [10]



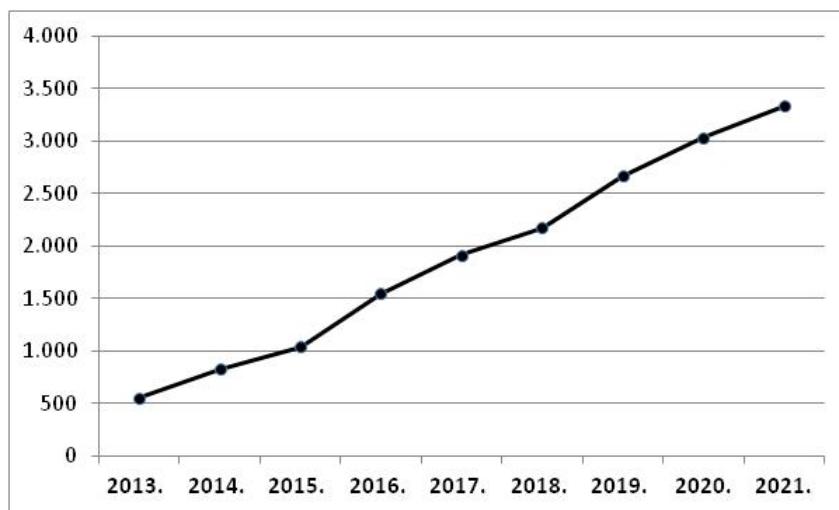
Slika 7. Proizvodnja električne energije povlaštenih proizvođača u RH - lipanj 2022.
 (kWh) [10]



*Slika 8. Ukupna proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora u RH u razdoblju 2013.- 2021.
 – po tehnologijama (GWh) [10]*

3. Isplaćeni poticaji za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora

Ukupno isplaćeni poticaji (bez PDV-a) za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora u RH u 2021. godini iznosili su preko tri milijarde kuna (3.334.241.330,00 kn), a u cijelom razdoblju 2013.-2021. iznose 17 mlrd kuna (17.092.507.609,00 kn); sl. 9

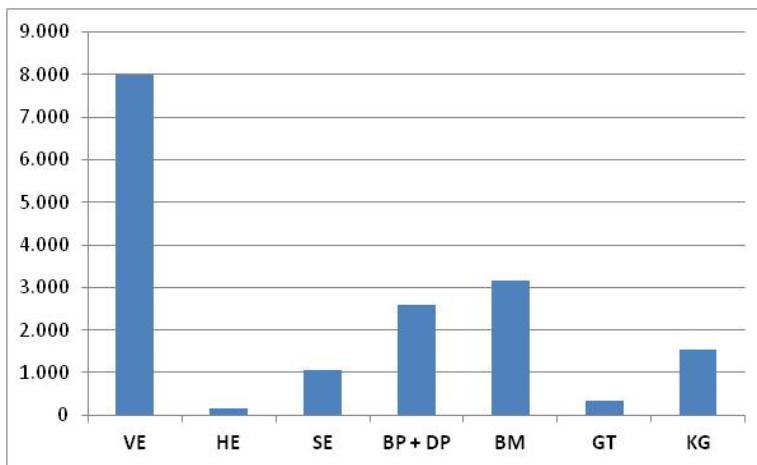


*Slika 9. Isplaćeni poticaji (bez PDV-a) za proizvodnju električne energije iz OIE u Hrvatskoj
 za razdoblje 2013.-2021 (mil. kn) [10]*

U ukupno isplaćenim poticajima za proizvodnju električne energije (bez PDV-a) iz OIE - vjetroelektrane imaju najveći postotni udio (46,8%), a slijede: elektrane na biomasu (18,47%), bioplinske elektrane (15,11 %); kogeneracije (9,07%), solarne elektrane (9,07%), geotermalne (1,99%), male hidroelektrane (0,92%) i elektrane na deponijski plin (0,08%); sl. 10.

Najveću prosječnu godišnju stopu rasta isplaćenih poticaja za proizvodnju električne energije iz OIE i razdoblju 2013.-2021. ostvarile su kogeneracijske elektrane 78,45% (zbog kasnijeg uključivanja i niske vrijednosti prvih godina), a slijede: elektrane na biomasu

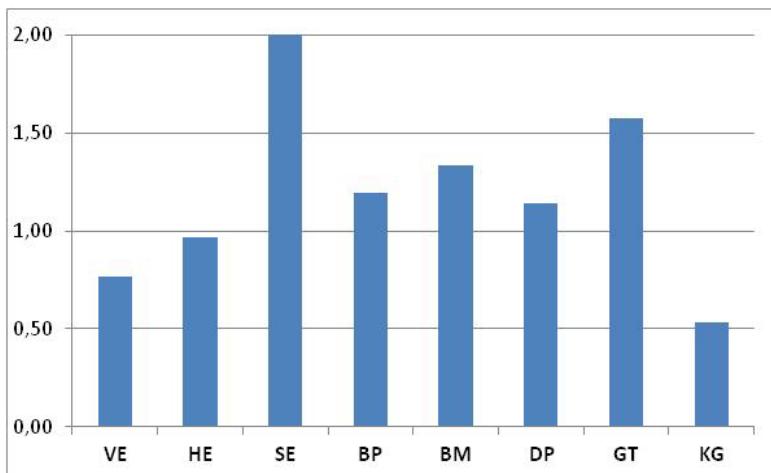
(38,97%), bioplinske elektrane (23,85%), solarne elektrane (21,42%), vjetroelektrane (18,72%), geotermalne (1,99%) i male hidroelektrane (17,23%).



Slika 10. Ukupno isplaćeni poticaji (bez PDV-a) za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora u RH u razdoblju 2013.-2021. – po tehnologijama (mil. kn) [10]

Ovdje se mora ukazati da su iznosi isplaćenih poticaja za vjetroelektrane i solarne elektrane prenaglašeni u odnosu na njihov energetski, ekološki, demografski i razvojno-gospodarski značaj za Hrvatsku; Kompletnu argumentaciju o tome detaljnije vidi u lit, [5][8][9]□

Prosječno isplaćeni poticaji (bez PDV-a) po kWh za ukupnu proizvodnju električne energije iz OIE u Hrvatskoj za cijelo razdoblje 2013.- 2021. iznosi 0,91 kn po kWh, a po tehnologijama najveći je iznos kod solarnih elektrana (2,0 kn/kWh), a slijede: geotermalne (1,58), elektrane na biomasu (1,33), bioplinske elektrane (1,19), elektrane na deponijski plin (1,14), male hidroelektrane (0,97), vjetroelektrane (0,77) i kogeneracijske elektrane (0,77 kn/kWh); sl. 11.



Slika 11. Prosječno isplaćeni poticaji (bez PDV-a) po kWh za ukupnu proizvodnju električne energije iz OIE u Hrvatskoj u razdoblju 2013.- 2021. – po tehnologijama (kn/kWh) [10]

4. Zaključne napomene

- U ovom je radu na temelju naših ranije objavljenih istraživanja IZNOVA ukazano na prednosti korištenja bioplina i biomase koji u usporedbi s drugim obnovljivim izvorima energije (posebno vjetro i solarne elektrane) imaju niz prednosti glede ekološki održivog razvoja, energetske učinkovitosti, lokalnog demografskog i gospodarskog razvoja.
- Posebno je analizirana isplata javnih poticaja tzv. povlaštenim proizvođačima električne energije iz OIE u razdoblju 2013.-2021. Tako je utvrđeno da su iznosi isplaćenih poticaja za vjetroelektrane i solarne elektrane prenaglašeno visoki u odnosu na njihov energetski, ekološki, demografski i razvojno-gospodarski značaj za Hrvatsku tj. ovi poticaji za vjetro i solarne elektrane nisu u skladu s njihovim doprinosima nacionalnom energetskom, demografskom i gospodarskom razvoju.
- Ovdje se javno postavlja pitanje – koliko je elektrana na biomasu i bioplinskih elektrana moglo biti izgrađeno u ruralnim područjima Republike Hrvatske za 17 mlrd kuna (a uz to i milijarde kuna bankarskih kredita) u proteklih devet godina, odnosno - koliko bi te izgrađene BM i BP elektrane pridonijele:
 - a) stabilnosti EES-a u Hrvatskoj,
 - b) smanjenu uvozu u Hrvatsku,
 - c) većem korištenju metalne industrije, industrije građevinskog materijala, građevinske operative i projektantskih kapaciteta Hrvatskoj,,
 - d) većem zapošljavanju radnika i stručnjaka Hrvatskoj,
 - e) boljem iskoritavanju poljoprivrednih površina i ruralne radne snage Hrvatskoj,,
 - g) razvoju novih proizvodnji u ruralnim područjima Hrvatskoj,
 - f) manjem iseljavanju mlađih obitelji iz Hrvatske u inozemstvo.
- Sadašnji sustav isplate poticaja donosi koristi samo (inozemnim) investitorima u vjetroelektrane, a na štetu nacionalne ekonomije i energetskog sustava. S tog naslova slijedi i preporuka da se buduća izgradnja vjetroelektrana temelji na čistom tržišnom principu – bez poticaja i javnog razvojnog kreditiranja (samo komercijalni krediti);
- S tog naslova predlaže se hitno pokretanje javne stručne rasprave radi izmjene svih dokumenata glede isplate poticaja tzv. povlaštenim proizvođačima za proizvodnju električne energije.
- Budući sustav isplate poticaja treba polaziti prvebestveno od nacionalnih interesa – energetskih, demografskih i razvojno-gospodarski uključujući i domaću industriju i radnu snagu.

Izvori i literatura

- [1] Ivanović, Milan - Bioplín u kružnoj ekonomiji Europske Unije. Zbornik radova 35. međunarodnog susreta stručnjaka za plin. Hrvatska stručna udruga za plin. Opatija, 21-23.10.2020. str. 225 - 236
- [2] Ivanović, Milan - Kružna ekonomija i bioplinske elektrane u Slavoniji i Baranji. Zbornik radova 35. međunarodnog susreta stručnjaka za plin. Hrvatska stručna udruga za plin. Opatija, 21-23.10. 2020. str. 237 - 247

- [3] Ivanović, Milan - Bioplín u ekonomiji Europske unije
<https://www.youtube.com/watch?v=tXFCZe6-zM> (pristup - 7.7.2022.)
- [4] Ivanović, Milan - Bioplinske elektrane u Slavoniji i Baranji
https://www.youtube.com/watch?v=Q7gA_FP-n_8 (pristup - 7.7.2022.)
- [5] Ivanović, Milan - Elektrane na biomasu u Hrvatskoj, 18. skup o prirodnom plinu, toplini i vodi, Osijek, 23. do 25. rujna 2020.; Strojarski fakultet Slavonsko Brod, Proceedings, pp 131-139; ISSN 1849-0638
- [6] Glavaš, Hrvoje, Ivanović, Milan - Obnovljivi izvori energije - primarni mehanizam energetske politike Europske unije; XXXV. Međunarodno savetovanje Energetika 2020: 24-27. jun 2020. Zlatibor; Savez energetičara Srbije, ISBN 978-86-86199-02-7; str. 576-581;
- [7] Ivanović, Milan.; Tonković, Zlatko - Kapaciteti za rafinaciju bioplina i korištenje biometana u EU, Zbornik radova , 19. skup o prirodnom plinu, toplini i vodi, Osijek, 22. - 25. rujna 2021; ISSN 1849-0638
- [8] Ivanović, Milan; Glavaš, Hrvoje - Advantages of Biogas Power Plants in Energy Transition of Pannonian Countries (1) - Benefits for the local community; XI. International Conference Industrial Engineering and Environmental Protection 2021 (IIZS 2021), October 7- 8, 2021, Zrenjanin, Serbia, Proceedings, pp. 138-143; ISBN 978-86-7672-348-5
- [9] Ivanović, Milan; Glavaš, Hrvoje - Advantages of Biogas Power Plants in Energy Transition of Pannonian Countries (2) - Benefits for the national economy; XI. International Conference Industrial Engineering and Environmental Protection 2021 (IIZS 2021), October 7- 8, 2021, Zrenjanin, Serbia, Proceedings, pp. 144-149; ISBN 978-86-7672-348-5
- [10] HROTE - Godišnji izvještaji (po godinama) 2013 - 2021. (<http://www.hrote.hr/>) pristup - 2.8.2022.
- [11] Mandić, Niko - Tamna strana zelene energije, EGE 4/2021, str. 132-136; ISSN 1330-0628



Inženjersko – geološka i geotehnička istraživanja za trasu plinovoda

,, Južna interkonekcija BiH i Hrvatske“

***Engineering geological and geotechnical research
for the gas pipeline route „Southern interconnection
of Bosnia and Herzegovina and Croatia“***

Dž. Cerić¹, Z. Talić²

¹Tehnički fakultet u Bihaću, Univerzitet u Bihaću, Bihać, Bosna i Hercegovina

² InfraPlan d.o.o., Sarajevo, Bosna i Hercegovina

*Autor za korespondenciju. E-mail: dzenita.gradevina@gmail.com

Sažetak

Potreba za optimiziranjem energetske efikasnosti je argument koji investiciona ulaganja za prelazak sa postojećih goriva, kao što su ugalj i tečna goriva, na prirodni plin čine isplativim. Južna interkonekcija povezujeplinske sistema Bosne i Hercegovine i Republike Hrvatske transportnim plinovodom Zagvozd (R. Hrvatska) – Posušje – Tomislavgrad – Šuica – Kupres – Bugojno – Novi Travnik sa odvojkom za Mostar, a s ciljem obezbjeđenja novog transportnog pravca i eventualno novog izvora snabdijevanja prirodnim plinom. Poznata je činjenica da prirodni plin ima važnu ulogu u razvojnim projektima BiH. Dužina ovog plinovoda je 161,96 km. U ovom radu će se prikazati kratki osvrt na izvedene inženjersko-geološke i geotehničke istražne radove, te dati inženjersko-geološke i geotehničke karakteristike terena duž trase plinovoda.

Ključne riječi: Plinovod, inženjersko-geološki i geotehnički istražni radovi, inženjersko-geološke i geotehničke karakteristike terena

Abstract

The need to optimize energy efficiency is an argument that make investments profitable for switching from existing fuels, such as coal and liquid fuels, to natural gas. Southern interconnection which connects the gas systems of Bosnia and Herzegovina and the Republic of Croatia with the transport gas pipeline Zagvozd (R. Croatia) - Posušje - Tomislavgrad - Šuica - Kupres - Bugojno - Novi Travnik with a branch for Mostar, has the aim of providing a new transport route and possibly a new source of natural gas. It is a known fact that natural gas plays an important role in the development projects of Bosnia and Herzegovina. The length of the gas pipeline is 161,96 km. This paper will present a brief overview of the engineering-geological and geotechnical investigations, and give the engineering-geological and geotechnical characteristics of the terrain along the gas pipeline route.

Keywords:gas pipeline, engineering-geological and geotechnical investigation works, engineering-geological and geotechnical characteristics of the terrain

1. Uvod

Projekt „Južna interkonekcija Bosne i Hercegovine i Hrvatske“ je projekt povezivanja sistema prirodnog plina u Bosni i Hercegovini i Hrvatske. Cilj projekta je uspostavljanje nove opskrbne trase za Bosnu i Hercegovinu kroz osiguravanje diverzifikovanje i pouzdane opskrbe prirodnim plinom. Projekt uključuje izgradnju glavnog magistralnog plinovoda i odvojka za Mostar, ukupne dužine 161,96. km. Južna interkonekcija Bosne i Hercegovine i Hrvatske predstavlja povezivanje sistema sa plinovodom Zagvozd (Hrvatska) – Pusušje – Tomislavgrad – Šuica – Kupres – Bugojno – Novi Travnik sa odvojkom za Mostar. Bosna i Hercegovina je članica Energetske zajednice od 2006. godine i kao takva dužna je transportirati Treći energetki paket u svoje državno zakonodavstvo. Osnovni ciljevi Energetske zajednice su kreiranje stabilnog i jedinstvenog regulatornog okvira i tržišnog prostora koji osigurava pouzdano snabdijevanje energentima i može privući investicije u sektore električne energije i prirodnog plina. Pored toga, to je razvoj alternativnih pravaca snabdijevanja plinom i poboljšanje stanja u okolišu, uz primjenu energetske efikasnosti i korištenje obnovljivih izvora. Treći energetski paket teži uspostaviti jedinstvena tržišta električne energije i prirodnog plina u EU, na kojima će cijene biti što niže, a standardi usluga i sigurnosti opskrbe energijom visoki.

Kako Bosna i Hercegovina ima složen zakonodavni i regulatorni okvir, još uvijek nije donesen zakon o plinu na državnom nivou niti je uspostavljeno državno regulatorno tijelo za sektor prirodnog plina. Pregled izvedenih istražni radova realizovan je kroz tri faze izvođenja: terenski radovi, laboratorijska ispitivanja, kabinetska obrada rezultata i izrada tehničke dokumentacije [1].

U okviru terenskih radova urađene su sljedeće aktivnosti:

- istražno geomehaničko bušenje,
- izvođenje standardnih penetracionih testova u buštinama,
- iskop istražnih raskopa,
- geološko kartiranje materijala iz bušotina i raskopa,
- fotografisanje uzoraka, uzimanje uzoraka za laboratorijska ispitivanja,
- inženjersko-geološko kartiranje terena.

U okviru laboratorijskih ispitivanja urađene su sljedeće aktivnosti:

- ispitivanje fizičkih karakteristika materijala,
- ispitivanje mehaničkih karakteristika materijala,
- izrad grafičkih i tabelarnih priloga.

U okviru kabinetских radova urađene su sljedeće aktivnosti:

- izrada dokumentacije istražnih radova,
- izrada inženjersko-geološkog i geotehničkog elabora,
- izrada Geotehničkog projekta za nivo idejnog projekta.

2. Pregled trenutnog stanja

Realizacija Projekta Južna interkonekcija Bosne i Hercegovine i Hrvatske omogućava diverzifikaciju trasa kao i izvora opskrbe. Sabdijevanje plinom u Bosni i Hercegovini zasniva se na uvozu iz samo jednog izvora od strane Ruske Federacije.

Trenutno u Bosni i Hercegovini transportni sistem plina sastoji se od visokotlačnog glavnog plinovoda koji ide od granice Bosne i Hercegovine sa Srbijom do Sarajeva, ukupne dužine 131 km i visokotlačnog odvojka koji ide od Semizovca do Zenice, u dužini od 54 km. Također je izgrađen produžetak postojećeg plinovoda u smjeru Zenica- Travnik koji će uskoro biti pušten u pogon. Bosna i Hercegovina se nalazi na samom kraju plinovoda kojim se transportuje prirodni plin iz Rusije preko Mađarske i Srbije do Bosne i Hercegovine. Kako Bosna i Hercegovina ima samo jedan izvor sabdijevanja, Južna interkonekcija ima važnu ulogu u razvojnim projekatima Bosne i Hercegovine te su iz tog razloga Hrvatska i Bosna i Hercegovina dogovorile razvojne projekte i definisale potencijalne tačke povezivanja [1].

3. Metodologija izvođenja radova

Geotehničko ispitivanje terena „in situ“ se vrši iskopavanjem i/ili bušenjem prema odredbama standarda BAS EN 1997-1:2008 i BAS EN 1997-2:2008 ili standardima na koje upućuju ovi standardi. Teren se iskopavanjem ispituje u istražnim jamama, istražnim okнима, istražnim rovovima i istražnim zasjecima. „In situ“ istraživanjebušenjem primjenjuje se za teže građevinske objekte, za duboko fundiranje ili ukopavanje objekata. „In situ“ istraživanjem se dobije presjek terena gdje je jasan prostorni položaj geoloških slojeva, način zalijeganja slojeva i sl. Za linijske objekte kao što je tematski magistralni plinovod predviđeno je jedno „in situ“ istraživanje na svakih 500 m. U ovom projektu osnovni istražni radovi su bili raskopi, dok su bušotine izvedene kao svaki 10-ti rad ili na mjestima gdje su se očekivale deblje kvartalne naslage u kojima je veća mogućnost izmjene slojeva u dubljim horizontima [1,4,5,6,7].

3.1. Istražno bušenje i standardni penetracioni test

Istražno bušenje je izvođeno po programskoj metodologiji. Bušotine su pozicionirane u blizini pristupnih puteva i u neposrednoj blizini projektovane trase, a ukupan broj istražnih bušotina je 23 u 11 različitih geotehničkih zona.

Standardni penetracioni test (SPT) izvođen je u bušotinama, u materijalima pokrivača, koherentnim i nekoherentnim materijalima. Broj udaraca za svakih 15 cm je snimljenim posebno za svaku od tri serije. Broj udaraca potreban za dostizanje 30 cm je standardni penetracioni broj (N30). Opit je rađen na svaka 2,00 m što je u skladu sa BAS EN 1997:2008 Eurokod 7 standardima. Standardni penetracioni test se izvodi samo u koherentnim i nekoherentnim materijalima tla, dok se isti u stijenskom materijalu ne izvodi. Prema tome opit je vršen samo u 9 bušotina (B-1, B-2, B-3, B-5, B-7, B-11, B-16, B.17, B-23) dok u ostalim bušotinama zbog dubine zalijeganja stijenskog materijala (< 2,00 m) nije [2,4,5].

3.2. Istražni raskopi i mjerna mjesta

U fazi istraživanja za idejni projekat osnovni istražni rad je bio raskop, a istražnim raskopima se uglavnom istražuju tereni kada je u pitanju plitko temeljenje lakših objekata kao što je slučaj kod plinovoda. U 11 različitih geotehničkih zona imamo 219 raskopa, bilo ručnih ili mašinskih, 71 uzorak i 23 bušotine. Na lokacijama gdje je bio planiran raskop prema Pravilnicima (svakih cca 500 m), a nije bio moguć iskop jer se stijena nalazi na površini, takve pozicije su označene kao mjerna mjesta. Mjerna mjesta su istražni radovi gdje je sa sigurnošću utvrđena stijena na površini terena, a ne samo incidentni slučaj pojave stijene na površini [1].

3.3. Inženjersko- geološko kartiranje terena

Inženjersko-geološko kartiranje je urađeno prema preporukama Međunarodnog društva za mehaniku stijena i tla- inženjersko- geološka (IG) karta metedološki je saglasna „Upustvu IAEG (Internacionalne asocijacije za inženjersku geologiju i životnu sredinu UNESCO/IAEG) i „Upustva za izradu inženjersko- geološke karte SFRJ“. Inženjersko- geološko kartiranje terena uključuje terensko inženjersko-geološko snimanje i kartiranje stjenovite mase i tla duž predmetne dionice trase [3,4].

Raskopi su kartirani tokom iskopa i nakon završetka, vršeno je mjerjenje i rekogniziranje geoloških slojeva. Kartiranjem istražnih radova je utvrđen:

- Litološki sastav,
- stepen i karakter raspadnosti,
- terenska identifikacija i klasifikacija vezanih i nevezanih materijala,
- pojave i nivo podzemne vode
- mjesta uzimanja uzorka za laboratorijska ispitivanja.

3.4. Inženjersko- geološke karakteristike

Obzirom da se radi o velikom istražnom prostoru gdje se smjenjuju različite tektonsko-strukturne i geološke jedinice, klimatski uslovi, morfološki oblici, cijelokupan teren se ne može posmatrati kao jedinstvena inženjersko- geološka sredina. Uzimajući u obzir geološke jedinice, njihovu starost i porijeklo, teren sa geološko-geotehničkog aspekta je podjeljen na 11 inženjersko- geoloških i/ili geotehničkih zona, te je svaka od zona posmatrana kao posebna geološka jedinica i za svaku je izvršena posebna inženjersko- geološka podjela [3].

Tablica 1. Pregled geotehničkih zona

GEOTEHNIČKA ZONA	REGIONALNO-GEOLOŠKA ODREDNICA
I Geotehnička zona	Riječni sedimenti Novog Travnika i Bugojna
II Geotehnička zona	Permo-trijska zona Novog Travnika
III Geotehnička zona	Magmatsko- sedimentna trijska zona Bugojna
IV Geotehnička zona	Bugojanski Miocen
V Geotehnička zona	Bugojansko- Kupreški Trijas

VI Geotehnička zona	Limnoglacijalni sedimenti Kupresa
VII Geotehnička zona	Trijas i jura Kupreškog polja
VIII Geotehnička zona	Jura, Kreda, Oligomiocen Šulice i Tomislavgrada
IX Geotehnička zona	Mlocen i Pilocen Duvanjskog polja
X Geotehnička zona	Kreda, Eocen, Oligocen Tomislavgrada i Posušja
XI Geotehnička zona	Milocen Posušja

Na osnovu rezultata terenskih i laboratorijskih istraživanja i ispitivanja, na cjelokupnom istražnom području izvšrena je osnovna inženjersko-geološka podjela:[1]

- Pokrivač – površinske naslage tla (nevezano tlo)
- Geološki supstrat (stijena)

Pokrivač je podijeljen na osnovu genetskog prijekla i prema sastavu materijala:[1]

- Vještačke tvorevine (nasip)
- Eluvijalne naslage
- Aluvijalne
- Terasne i
- Fluvio – glacijalne naslage

U okviru XI inženjerskogeološko- geotehničkih zona izdvaja se po nekoliko horizonta.[1]

U okviru inženjerskogeološko- geotehničke zone I, izdvaja se 4 horizonta:

- Horizont 1a: Humus, humusne prašine i gline, zabilježeno na debljini 0,00- 1,60 m
- Horizont 2a: Prašina pjeskovita, zabilježeno na debljini 0,00 – 4,40 m
- Horizont 3a: Pjeskovite gline, zabilježeno na debljini 0,00 – 1,90 m
- Horizont 4a: Šljunkovi, zabilježeno na debljini 0,30 m – dosta debele naslage.

U okviru inženjerskogeološko- geotehničke zone II, izdvaja se 3 horizonta:

- Horizont 1b: Prašina sa drobinom, zabilježeno na debljini 0,00 – 3,00 m
- Horizont 2b: Raslabljeni supstrat, zabilježeno na debljini 0,15 – 4,50 m
- Horizont 3b: Supstrat, listati do tankoslojevit alverolit, zabilježeno na debljini od nekoliko stotina metara.

U okviru inženjerskogeološko- geotehničke zone III, izdvaja se 6 horizonta:

- Horizont 1c: Glinene pjeskovite, zabilježeno na debljini od 0,00 – 2,90 m
- Horizont 2c: Pjeskovit prašina, zabilježeno na debljini od 0,00 . 1,20 m
- Horizont 3c: Pijesak i drobina, zabilježeno na debljini od 0,00 – 5,00 m
- Horizont 4c: Raslabljeni supstrat, zabilježeno na debljini od oko 0,60 m
- Horizont 5c: Supstrat, zabilježeno na debljini od 1,30 m
- Horizont 6c: Supstrat krečnjak, zabilježeno na debljini od 0,30 m



U okviru inženjerskogeološko- geotehničke zone IV, izdvaja se 5 horizonta:

- Horizont 1d: Humus sa drobinom, zabilježeno na debljini od 0,00 – 1,10 m
- Horizont 2d: Pjeskovita glina, zabilježeno na debljini od 0,00 - 3,40 m
- Horizont 3d:Drobina, zabilježeno na debljini od 0,00 – 2,00 m
- Horizont 4d:Raslabljeni supstrat, zabilježeno na debljini od 0,80 – 3,00 m
- Horizont 5d: Supstrat krečnjak, dolomit, konglomerat, zabilježeno na debljini od 0,3m

U okviru inženjerskogeološko- geotehničke zone V, izdvaja se 4 horizonta:

- Horizont 1e: Humus sa drobinom, zabilježeno na debljini od 0,00 – 0,50 m
- Horizont 2e: Pjeskovita masna glina sa drobinom, zabilježeno na debljini od 0,00 – 1,10 m
- Horizont 3e: Supstrat- krečnjak, zabilježeno na debljini od 0,50 m
- Horizont 4e: Supstrat, tankoslojevitilaporci

U okviru inženjerskogeološko- geotehničke zone VI, izdvaja se 3 horizonta:

- Horizont 1f: Humus, zabilježeno na debljini od 0,00 – 0,90 m
- Horizont 2f:Pjeskovita glina sa blokovima stijene, zabilježeno na debljini od 0,40 – 3,60
- Horizont 3f: Poluvezani pješčari i konglobreče, zabilježeno na debljini od 1,40 m

U okviru inženjerskogeološko- geotehničke zone VII, izdvaja se 4 horizonta:

- Horizont 1g: Humus, zabilježeno na debljini od 0,00 – 1,00 m
- Horizont 2g: Glina sa drobinom, zabilježeno na debljini od 0,6 - 3,0 m
- Horizont 3g:Raslabljeni supstrat, zabilježeno na debljini od 0,20 – 2,0 m
- Horizont 4g: Supstrat krečnjaka, zabilježeno na debljini od 0,2 m

U okviru inženjerskogeološko- geotehničke zone VIII, izdvaja se 3 horizonta:

- Horizont 1h: Humus i prašina, zabilježeno na debljini od 0,00 –0,90 m
- Horizont 2h: Raslabljeni supstrat, zabilježeno na debljini od 0,00 – 4,00 m
- Horizont 3h: Supstrat krečnjaka i konglomerat, zabilježeno na debljini od 0,00 m

U okviru inženjerskogeološko- geotehničke zone IX, izdvaja se 7 horizonta:

- Horizont 1i: Humus, humiziane gline, zabilježeno na debljini od 0,00 – 1,10 m
- Horizont 2i: Šljunak zaglinjen, zabilježeno na debljini od 0,20 – 3,0 m
- Horizont 3i: Pjeskovita glina – glinoviti pjesak, zabilježeno na debljini od 0,5 – 3,5 m
- Horizont 4i: Laporovita glina, lapor rasplavljen, zabilježeno na debljini od 1,6 – 4,5 m
- Horizont 5i:Raslabljeni supstrat, krečnjak, zabilježeno na debljini od 0,2 – 2,2 m
- Horizont 6i: Supstrat krečnjak, zabilježeno na debljini od 0,50
- Horizont 7i: Supstrat laporac, zabilježeno na debljini od 3,20 m

U okviru inženjerskogeološko- geotehničke zone X, izdvaja se 5 horizonta:



- Horizont 1j: Humus, zabilježeno na debljini od 0,00 . 0,80 m
- Horizont 2j: Gline prašinasto pjeskovite, zabilježeno na debljini od 0,0 – 1,8 m
- Horizont 3j: Drobina glinovita, zabilježeno na debljini od 0,00 – 2,5 m
- Horizont 4j: Raslabljeni supstrat, zabilježeno na debljini od 0,00 – 2,00 m
- Horizont 5j: Supstrat, laporac, krečnjak, konglomerat, zabilježeno na debljini od 0,0 m

U okviru inženjerskogeološko- geotehničke zone XI, izdvaja se 5 horizonta:

- Horizont 1k: Humus, zabilježeno na debljini od 0,00- 1,50 m
- Horizont 2k: Pjeskovito drobinski materijali, zabilježeno na debljini od 0,0 – 2,1 m
- Horizont 3k: Raslabljeni supstrat, zabilježeno na debljini od 0,80 -3,0 m
- Horizont 4k: Supstrat, krečnjak laporoviti, zabilježeno na debljini od 0,20 m

4. Geomehaničke karakteristike

Geomehaničke karakteristike horizontata su određene na osnovu izvedenih istraživanja, bušenja, SPT-a, kartiranja terena, laboratorijskih ispitivanja. U skladu sa nivoom istraživanja i obimom provedenih istraživanja u ovoj fazi je usvojen preliminarni geotehnički model terena. Geomehanički parametri za materijale supstrata dobijeni su pomoću programskog paketa Rock Lab, koji se smatra primjenjivim za konkretan problem obzirom da se radi o stijenskoj masi [1].

U sljedećim tabelama su prikazani parametri Geotehničke zone 1, ponaosob za svaki horizont.

Tablica 2 – Parametri Geotehničke zone 1

Horizont 1a – Humus, humusne prašine i gline		Horizont 2a – Prašina pjeskovita	
Zapreminska težina	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$	Zapreminska težina	$\gamma = 19,5 \text{ kN/m}^3$
Modul stišljivosti	$E_{\text{oed}} = 4 \text{ Mpa}$	Modul stišljivosti	$E_{\text{oed}} = 6 \text{ Mpa}$
Ugao unutrašnjeg trenja	$\varphi = 18^\circ$	Ugao unutrašnjeg trenja	$\varphi = 20^\circ$
Kohezija	$c = 5 \text{ kPa}$	Kohezija	$c = 15 \text{ kPa}$
Horizont 3a – Pjeskovite gline		Horizont 4a – Šljunkovi	
Zapreminska težina	$\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$	Zapreminska težina	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
Modul stišljivosti	$E_{\text{oed}} = 6 \text{ Mpa}$	Modul stišljivosti	$E_{\text{oed}} = 20 \text{ Mpa}$
Ugao unutrašnjeg trenja	$\varphi = 21^\circ$	Ugao unutrašnjeg trenja	$\varphi = 30^\circ$
Kohezija	$c = 10 \text{ kPa}$	Kohezija	$c = 0 \text{ kPa}$

Za svaku geotehničku zonu, za svaki horizont date su vrijednosti parametara. Na osnovu iznijetih inženjersko-geoloških karakteristika terena, na lokaciji je izvršena kategorizacija terena prema stepenu stabilnosti. Osnovni kriterijumi za izdvajanje pojedinih kategorija stabilnosti bili su: [1]

- Materijalni sastav površinskih pokrivača i njihova debljina,
- Učestalost pojavljivanja i zakonomjernosti razvoja savremenih geoloških procesa,
- Uticaj površinskih i podzemnih voda,
- Nagib prirodnih padina
- Tehnogena aktivnost – vrsta i dužina trajanja antropogenih zahvata

U pogledu stabilnosti terena, izdvojene su dvije kategorije:

- Stabilni tereni i
- Uslovno stabilni tereni

5. Identifikacija geotehničkih rizika

Prilikom trasiranja cjevovoda se vodilo računa o postojećim objektima, odnosno da usvojena trasa plinovoda ne ugrozi njihovu stabilnost i fukcionalnost. Gotovo cijela trasa plinovoda je udaljena preko 30,0 m od postojećih objekata. Izuzetak je da je na nekim dionicama udaljenost plinovoda od postojećih objekata manja od 30,0 m, ali ne i manja od 15,0 m. Obzirom na minimalnu dubinu ukopavanja mjerenu do gornje ivice cijevi (od 0,7m na kamenom tlu do 1,6 m u zaštitnom pojusu) i poštujući preporuke za formiranje iskopa u pojedinim materijalima, posebne zaštite za postojeće objekte nisu potrebne [1].

Na prolazima plinovoda ispod vodenih prepreka, kao i kod saobraćajnica cijev plinovoda može se položiti prekopavanjem korita vodotoka ili bušenjem ispod korita vodotoka. Na prolazima ispod puteva, postavlja se pojačana izolacija oko cijevi. Cijev se polaže na sloj pjeska debljine 15 cm, obložena pjeskom i slojem pjeska iznad ivice cijevi debljine 20 cm.

Izgradnja nadzemnih objekata, mjerno-regulacionih i blok stanica prema trenutnim pozicijama koje su na stabilnim terenima su zadovoljavajuće, zasjecanje terena neće biti potrebno, temeljenje objekata će se vršiti plitko na temeljnim stopama, eventualno na trakama. U geotehničkom projektu će se dati dopušteni naponi za temeljenje istih, a detaljan proračun nosivosti i slijeganja u glavnom projektu [1].

6. Zaključak

U skladu sa zahtjevima i preporukama Pravilnika, za predmetni plinovod i nadzemne objekte izvedeni su istražni radovi na udaljenosti od 500 m. Ukupno je izvedeno 219 raskopa, 23 bušotine i ispitana je 71 uzorak. Laboratorijska istraživanja su izvršena u ovlaštenoj laboratoriji prema BAS EN 1997:2008 Eurokod 7 i ISRM standardima. Kompletna trasa je podijeljena na 11 geotehničkih zona na osnovu zajedničkog geološko-morfološkog genetskog porijekla. U okviru svake geotehničke zone



inženjersko – geološke karakteristike terena su određene na osnovu uslova i načina sedimentacije kvartalnih naslaga. Inženjersko – geološka građa je podijeljena na osnovu jedinice supstrata i kvartnog pokrivača. Geomehaničke karakteristike su određene za svaku zonu na osnovu terenske identifikacije i laboratorijskih ispitivanja i definisan je preliminarni geotehnički model terena za svaku zonu.

7. Literatura

- [1] Elaborat o izvršenim inženjersko – geološkim, hidrološkim i geotehničkim istraživanjima – Misija G1, GeoAVAS d.o.o. Sarajevo , 2020. godine za BH-Gas
- [2] Talić, Z., Odabrana poglavlja mehanike tla, Politehnički fakultet, Univerzitet u Zenici, Zenica 2014.
- [3] Međunarodno društvo za mehaniku stijena i tla
- [4] IAEG (Internacionalna asocijacija za inženjersku geologiju i životnu sredinu UNESCO/IAEG)
- [5] BAS EN 1997-1: Eurokod 7 – Geotehničko projektovanje – Dio 1: Opća pravila.
- [6] BAS EN 1997-1: Eurokod 7 – Geotehničko projektovanje – Dio 2: Ispitivanja tla.
- [7] ISRM Suggested Method for laboratory testing– International Society for Rock Mechanics – Međunarodno društvo za mehaniku stijena, isrm.net, 2016

Kratki spojevi u elektroenergetskim mrežama *Short circuits in power grids*

L. Jozsa, K. Fekete, H. Glavaš*

Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek,
Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: hrvoje.glavas@ferit.hr

Sažetak

Kratki spoj u elektroenergetskoj mreži predstavlja nepoželjno pogonsko stanje koje može dovesti do preopterećenja elemenata sustava te mehaničkih deformacija njihovih dijelova kao i do termičkoga oštećenja izolacije. Struje su kratkoga spoja u pravilu znatno veće od struja opterećenja, tako da termička i dinamička naprezanja mogu uništiti pogonska sredstva te ugroziti ljude. Rad daje uvid u područje analize Kratki spoj u elektroenergetskoj mreži kroz osvrt na sadržaj novog udžbenika Sveučilišta u Osijeku "Kratki spojevi u elektroenergetskim mrežama". Cilj rada je približiti čitatelju izazove objave tiskanog izdanja u digitalnom dobu. Definicija knjige sukladno poimanju UNESCO, je objavljeno književno ili znanstveno djelo kao neperiodična tiskana publikacija od najmanje 49 stranica bez naslovnika. Rad prezentira knjigu od 420 stranica, sastavljenu od 10 poglavlja sa 130 ilustracija i nebrojeno matematičkih izraza koji detaljno opisuju fizikalne osnove kratkih spojeva koristeći norme, računske postupke i matematičke modele.

Ključne riječi: kratki spoj, elektroenergetska mreža, udžbenik

Abstract

Short circuits in the power grids are an undesirable operating condition that can lead to overloading of network elements and mechanical deformation of their parts, as well as thermal damage to insulation. Short-circuit currents are usually much higher than load currents, so thermal and dynamic stresses can destroy equipment and endanger people. The paper provides an insight into the field of short-circuit analysis in the power system through an overview of the contents of the new textbook published by the University of Osijek. The goal of the paper is to help the reader understand the challenges of publishing a printed book in the digital age. According to the definition of UNESCO, a book is a literary or scientific work published as a non-periodical print of at least 49 pages without a cover. The paper presents a book of 420-pages, scientific work consisting of 10 chapters with 130 figures and countless mathematical expressions detailing the physical principles of short circuits using standards, calculation methods and mathematical models.

Key words: short circuit, power grid, textbook

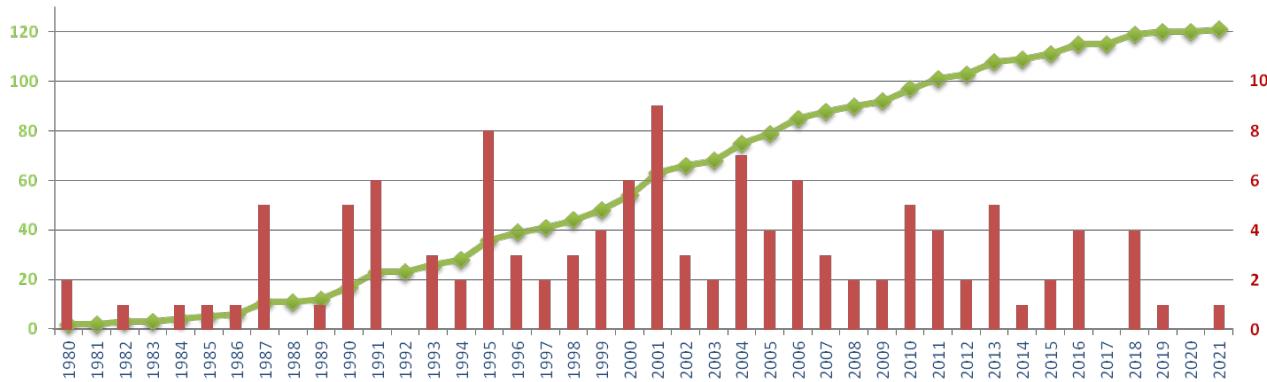
1. Uvod

Znanje je moć, te se kroz povijest najčešće prenosilo usmenim putem. Zanatlije bi tajne zanata prenosili sa koljena na koljeno, a kada bi soubina prekinula navedeni slijed znanje bi se nepovratno izgubilo. Učeni pojedinci, posebno svećenstvo predstavljali su sponu većine nepismene populacije sa znanjem i spoznajama. Pojavom knjige i školskog sustava znanja su postala dostupnija širim masama. Možemo reći da je knjiga ubrzala razvoj društva koje poznajemo. Pisanje knjige predstavlja dugotrajan proces koji može potrajati godinama, a motiv za pisanje je oduživanje akademskoj zajednici kroz dijeljenje vlastitih spoznaja iz područja kao nadogradnje na postojeća znanja. Definirati knjigu nije jednostavno; "*Knjiga je neodređeni termin. Što se tiče sadržaja, o knjizi se može govoriti kao znanstvenom, praktičnom ili literarnom (književnom ili umjetničkom) djelu. Ako se pak gleda samo oblik, onda se svaka tiskana ili napisana reprodukcija teksta ili grafičkih znakova može smatrati knjigom*" [1]. UNESCO 1964. godine definira knjigu kao neperiodičnu ukoričenu tiskanu publikaciju koja sadrži najmanje 49 stranica ne brojeći korice, [2]. Zbog toga danas knjigu smatramo djelom koje posjeduje Međunarodni standardni knjižni broj International Standard Book Number (ISBN) uvedenog 1967. godine.

ISBN sadrži trinaest znamenaka raspoređenih u pet skupina. Knjizi "Kratki spojevi u elektroenergetskim mrežama" pridijeljen je ISBN broj 978-953-279-040-5.

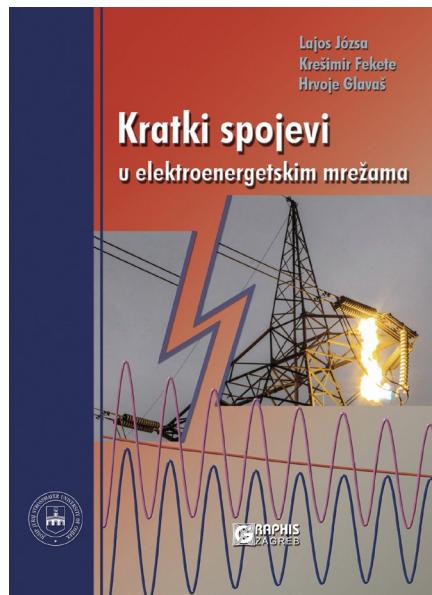
- 978 prefiks sustava ISBN-a
- 953 međunarodna oznaka za Republiku Hrvatsku
- 278 oznaka nakladnika Graphis d.o.o. (Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, 6032)
- 040 oznaka publikacije
- 5 kontrolni broj

Praćenje ISBN brojeva u RH sukladno zakonu obavlja *Nacionalna i sveučilišna knjižnica (NSK) u Zagrebu* kao javna ustanova od nacionalnog značenja koja obavlja knjižničnu i informacijsku djelatnost nacionalne knjižnice Republike Hrvatske i središnje knjižnice Sveučilišta u Zagrebu kao i znanstveno-istraživačku i razvojnu djelatnost radi unapređivanja hrvatskog knjižničarstva te izgradnje i razvoja hrvatskoga knjižničnog sustava. ("Zakon o knjižnicama i knjižničnoj djelatnosti NN 17/2019, 98/2019, čl. 23.), [3]. ISBN broj obvezuje nakladnika poslati određeni broj primjeraka u NSK. Sukladno dostupnim informacijama NSK za 2017. godinu u nakladništvu knjige sudjeluju sa 63%. Nakladnik je pravna ili fizička osoba koja pokreće objavljivanje knjige, snosi troškove njezina izdavanja i tiskanja te je odgovorna za proizvodnju i distribuciju knjige. Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija (FERIT) Osijek poticao je izdavačku djelatnost kao jedan od način prenošenja specifičnih stručnih znanja nastavnog sadržaja iz područja elektrotehnike. Od 80-tih godina prošlog stoljeća nastali su brojni priručnici, pripreme za laboratorijske vježbe i udžbenici. Na slici 1 prikazana je kronologija izdavačke djelatnosti FERIT-a, [4], [5].



Slika 1. Izdavačka djelatnost FERIT-a, broj izdanja po godinama

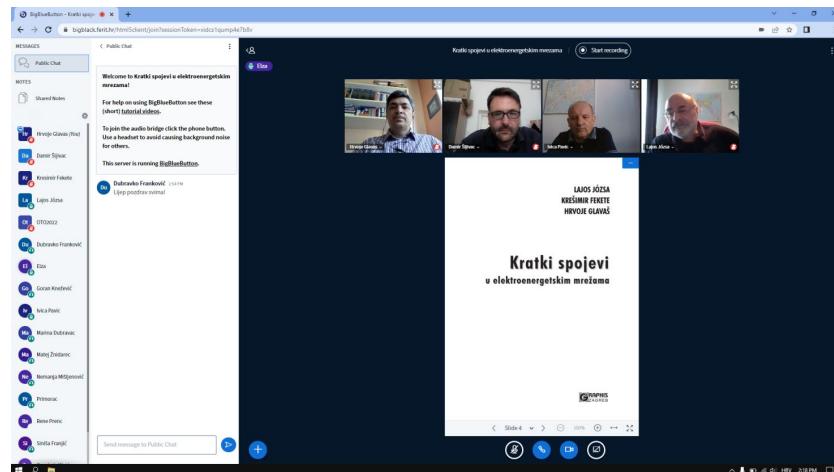
Cilj ovog rada je predstaviti knjigu „Kratki spojevi u elektroenergetskim mrežama“ i postupak koji je doveo do njenog tiskanog izdanja uz pomoć izdavačke kuće Graphis Zagreb sredinom ožujka 2022. Autorski tim prof.dr.sc. Lajos Jozsa, izv.prof.dr.sc. Krešimir Fekete i izv.prof.dr.sc. Hrvoje Glavaš prema mišljenju recenzentata pružio je jedinstveno djelo na hrvatskom jeziku koje sadrži kompletну analizu kratkog spoja na način da povezuje teoriju i numeričke primjere. Knjiga na 420 stranica, kroz 10 poglavlja, 130 ilustracija i još vise matematičkih izraza detaljno opisuje fizikalne osnove kratkih spojeva koristeći norme, računske postupke i matematičke modele. Slika 2 prikazuje naslovnicu knjige, idejno rješenje Graphisa.



Slika 2. Sveučilišni udžbenik "Kratki spojevi u elektroenergetskim mrežama"

Složenost djela ilustrira i vremenski okvir njegovog nastanaka. Knjiga je pisana više od jednog desetljeća. Suglasnost za izdavanje udžbenika datira od 20. srpnja 2020. godine te je bio potreban značajan vremenski period za pripremu tiska, prvenstveno zbog složenosti matematičkih i grafičkih elemenata kojima obiluje. Relativno uzak krug čitatelja tehničkih

fakulteta (hrvatskog govornog područja) okupio se na promociji 4. svibnja 2022. u 14 h na virtualnoj platformi FERIT-a kako bi se upoznali sa djelom, kroz razmjenu mišljenja recenzentata, autora i izdavača, slika 3.



Slika 3. Promocija udžbenika 4. svibnja 2022.

Predstavnik zavoda za Elektroenergetiku FERIT-a prof.dr.sc. Damir Šljivac pružio je uvid u povijesni okvir nastanka knjige i značaj djela za studij elektrotehnike i struku općenito. Prof. dr.sc Lajos Jozsa u ime autorskog tima dao je uvid u sam postupak pisanja. Autori su zahvalili svima koji su volonterski svojim nesebičnim zalaganjem doprinijeli izdavanju udžbenika. Mišljenje recenzentata je potvrđilo objektivnost autorskih stavova o doprinosu knjige. Recenziju udžbenika potpisuju: prof.dr.sc. Ivica Pavić sa FER-a, prof.dr.sc. Marinko Stojkov sa SFSB i izv. prof.dr.sc. Predrag Marić sa FERIT-a. Na promociji moglo se čuti i mišljenje izdavača. Direktorica Graphis-a kolegica Elizabeta Šunde, dipl. ing. upoznala je nazočne sa izazovima izdavanja tiskane knjige u digitalnom dobu. Uvid u sadržaj knjige moguće je na stranicama Hrvatske znanstvene bibliografije pregledom bibliografske jedinice broj: 1182922 (www.bib.irb.hr/1182922), [6]. Objava sveučilišnog udžbenika predstavlja od 2017. godine svojevrsnu obavezu svim sveučilišnim profesorima kao jedan od uvjeta za napredovanje, [7]. Kriterij nastavnog doprinosa; kroz članak 6 propisuje: Uvjet objavljivanja znanstvene knjige, sveučilišnog udžbenika ili sveučilišnog priručnika u autorstvu ili koautorstvu. Recenziranje znanstvene knjige, sveučilišnog udžbenika ili sveučilišnog priručnika također predstavlja jedan od uvjeta za napredovanje.

2. Postupak objave sveučilišnog udžbenika

Svako sveučilište i svaki fakultet posjeduje pravilnik o izdavačkoj djelatnosti kojim se regulira postupak objave udžbenika. FERIT kao institucija mora udovoljiti pravilniku sveučilišta koji definira udžbenik kao tiskano ili elektroničko recenzirano izdanje koje obrađuje nastavno gradivo većeg dijela jednog predmeta ili skupine srodnih predmeta, utvrđeno nastavnim planom i programom za određeni studij, [8]. FERIT-ov pravilnik definira udžbenik (sa malo više detalja) kao rukopis koji obrađuje nastavno gradivo većeg dijela predmeta ili skupine srodnih predmeta, utvrđeno nastavnim planom i programom za

određeni studij. Pod udžbenikom se podrazumijeva: knjiga, priručnik, grafička mapa i druga literatura uz uvjet da obuhvaća između 50% do 100% nastavnog gradiva jednog ili više predmeta. Udžbenik može biti tiskan ili u digitalnom obliku, [9]. Da bi se sveučilišni udžbenik objavio uz potporu, isti mora ući u plan izdavače djelatnosti za iduću godinu što je preduvjet za pokretanje postupaka na matičnoj instituciji. Uz uvjet da je udžbenik ušao u plan izdavačke djelatnosti sveučilišta, autori pokreću zahtjev na matičnoj ustanovi koji analizira odbor za izdavačku djelatnost fakulteta. Uprava može od autora, reczenzenta, lektora tražiti potvrde o volontiranju, te pismo namjere nakladnika da je spremna preuzeti obaveze tiska i distribucije kada trošak izdanja premašuje vrijednost veću od 10.000,00 €. Na sjednici Fakultetskog vijeća određuje se urednik (najčešće jedan od autora) i potvrđuju predloženi recenzenti. Po završetku postupka recenzije autori provode korekcije i lekturu te potpisuju izjavu da prihvaćaju sve primjedbe reczenzenta i lektora te da su prema tim primjedbama napravili izmjene u završnoj verziji udžbenika. Fakultet upućuje prijedlog Senatu Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku koje daje Suglasnost za izdavanje sveučilišnog udžbenika. U našem slučaju na sjednici održanoj u Osijeku 20. srpnja 2020. godine knjiga "Kratki spojevi u elektroenergetskim mrežama" dobila je odobrenje sveučilišnog udžbenika pod brojem 13/20. Sam postupak uobičajeno iziskuje godinu dana, ali ponekad od iskazane želje tj. početka postupka može proći i više godina.

3. Definicija kratkog spoja

Kratki spoj predstavlja nepoželjno pogonsko stanje u elektroenergetskoj mreži koje može dovesti do preopterećenja elemenata sustava te mehaničkih deformacija njihovih dijelova kao i do termičkoga oštećenja izolacije. Struje su kratkoga spoja u pravilu znatno veće od struja opterećenja, tako da termička i dinamička naprezanja zbog tih struja mogu uništiti pogonska sredstva te ugroziti ljude. Do kratkih spojeva može doći kako na vodovima tako i u električnim postrojenjima i aparatima. Uzroci zbog kojih nastaju kratki spojevi mogu biti:

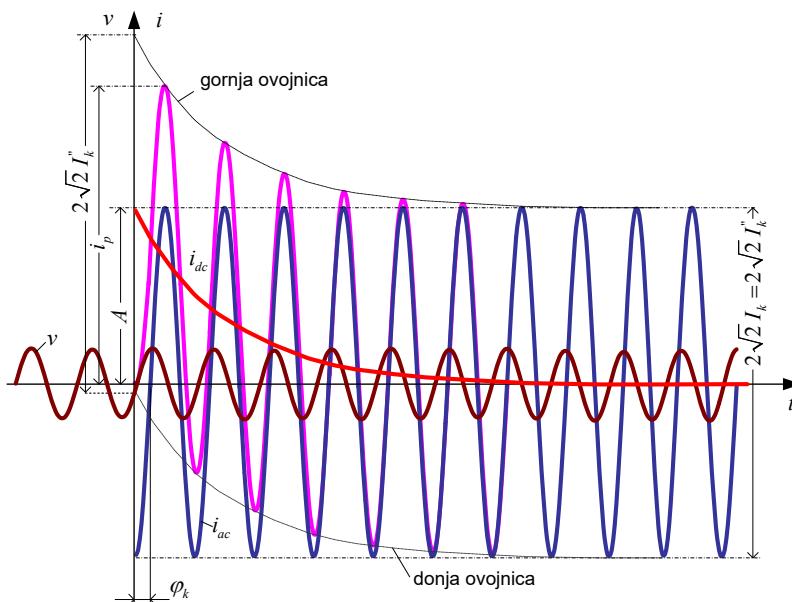
- orošenje, onečišćenje, oštećenje ili lom izolacije voda;
- oštećenje ili lom izolacije električnoga aparata;
- prekid vodiča; dodir uslijed njihanja vodiča;
- pogrešno sklapanje uslijed vanjske ljudske intervencije;
- proboj izolacije voda ili električnoga aparata uslijed atmosferskoga ili sklopogoga prenapona;
- premoštenje vodiča koji se nalaze na različitim potencijalima stranih tijela.

Od navedenih uzroka neki mogu biti trajne naravi, a neki prolazne naravi.

Posljedice kratkih spojeva mogu se sažeti u sljedećem:

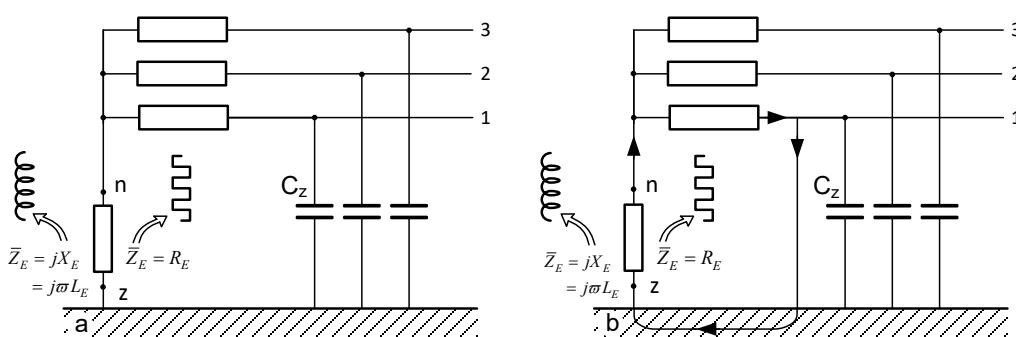
- u cijelokupnoj mreži dolazi do smanjenja napona, što je nepovoljno za potrošače;
- dinamičko i/ili termičko djelovanje velikih struja kratkoga spoja može uništiti ili deformirati neke od elemenata mreže.
- električni luk stvoren na mjestu kvara može prouzrokovati požar;
- izravno mehaničko djelovanje električnoga luka izazvano eksplozivnim povećanjem tlaka uslijed ugrijanja plina luka;
- povećanje potencijala na mjestu kratkoga spoja može također biti opasno po život;

- zbog kratkoga spoja, dolazi do povećanja transferne impedancije između dviju krajnjih točaka prijenosa, što dovodi do poremećaja ili, u najgoremu slučaju, čak i do gubitka stabilnosti sustava;
 - smetnje u strujnim krugovima mjerena, regulacije i upravljanja.
- Navedene posljedice zahtijevaju brzo isklapanje kratkih spojeva koje vrše prekidači, a njima upravlja mrežna zaštita. Grafičku ilustraciju struje kratkoga spoja u slučaju kratkoga spoja daleko od generatora prikazana je slikom 4.



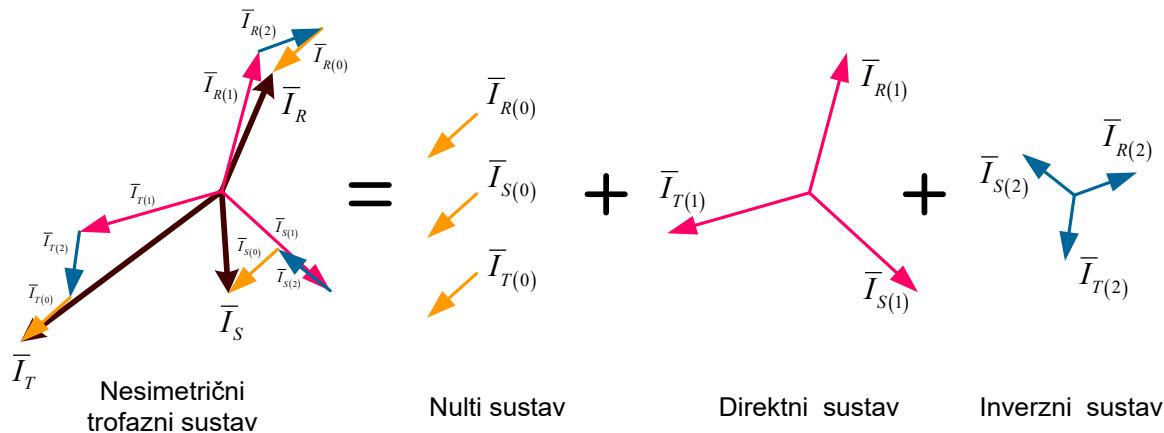
Slika 4. Vremenski tijek struje kratkoga spoja u slučaju kratkoga spoja daleko od generatora

Opis ponašanje struje kratkog spoja zahtjeva i analizu tretmana zvjezdišta pojedinih mrežnih područja tj. dijelova mreže, čiji su vodljivi dijelovi galvanski spojeni, a od ostalih dijelova mreže posredstvom transformatora te otvorenih prekidača i rastavljača odijeljeni. Na slici 5 prikazana je mreža sa posredno i niskoomski uzemljenim zvjezdištem preko induktiviteta ili djelatnog otpora, u normalnom pogonu i tijekom KS na jednoj fazi.



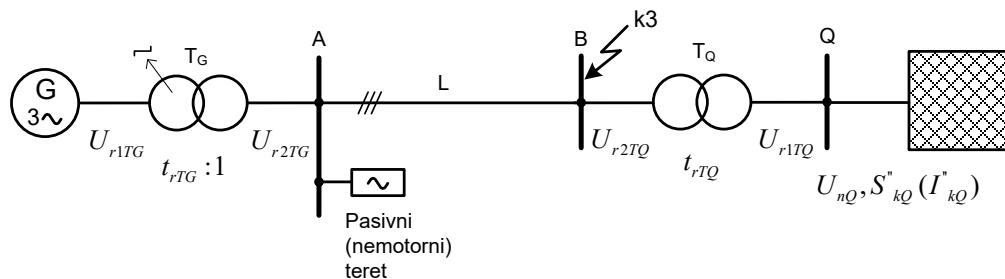
Slika 5. Mreža s posredno i niskoomski uzemljenim zvjezdištem preko induktiviteta ili djelatnog otpora, u normalnom pogonu i tijekom KS na jednoj fazi

Osnovni elementi proračuna struje kratkoga spoja često se obuhvaćaju metodom simetričnih komponenata koja je prikazan na slici 6.



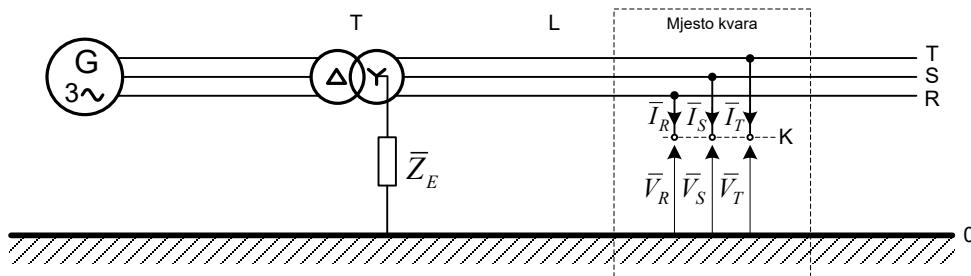
Slika 6. Nesimetrični sustav struja prikazan kao zbroj struja triju simetričnih sustava

Proračun te struje, uz primjenu smjernica prema međunarodnom standardu IEC 60909-0, moguć je u principu na dva načina - zanemarenjem opterećenja i pasivnih poprečnih grana u mreži ili njihovim uzimanjem u obzir. Prva, normom IEC 60909-0 definirana metoda, koja se može nazvati klasičnim proračunom struje kratkog spoja, i u kojoj se primjenjuje nadomjesni Théveninov izvor na mjestu kvara kao jedini izvor u mreži, daje prihvatljivo točne rezultate za manje mreže i za mreže u fazi planiranja izgradnje, a osim toga, oni su na sigurnoj strani. Primjenom druge metode, temeljene na teoremu superpozicije, dobiju se, naravno, točniji rezultati, ali uz veći računski napor. Za ilustraciju tih metoda može poslužiti shema jednostavne mreže prema slici 7.



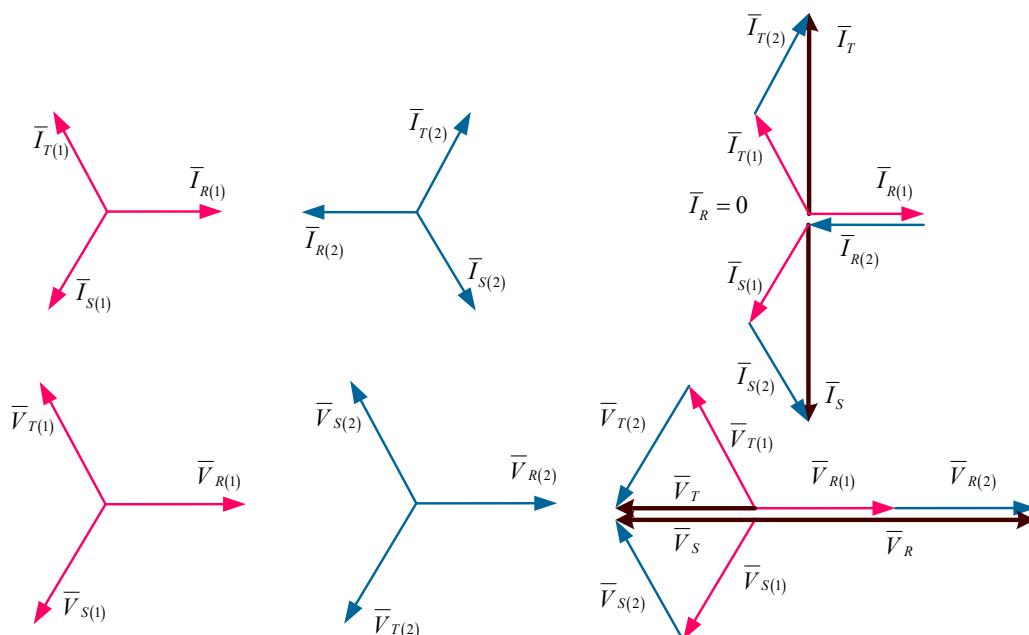
Slika 7. Jednofazna shema mreže za prikaz metoda za određivanje početne struje kratkoga spoja

Matematički modeli su neophodni prilikom složenije analize KS, stoga za matematičko modeliranje različitih vrsta kratkih spojeva koristimo jednostavnu mrežu prikazanu na slici 8.



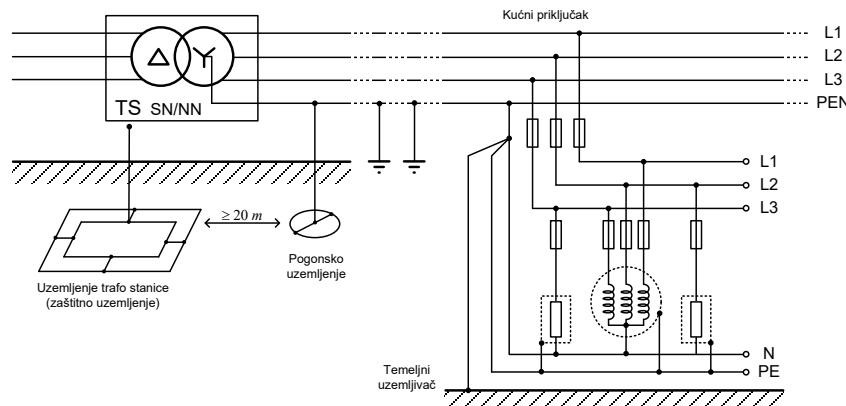
Slika 8. Modelna mreža za matematičko modeliranje kratkih spojeva

Vizualizaciju dvofaznog KS zorno prikazuje fazorski dijagram direktnoga i inverznoga sustava struje i napona skupa s rezultantnim strujama i naponima.



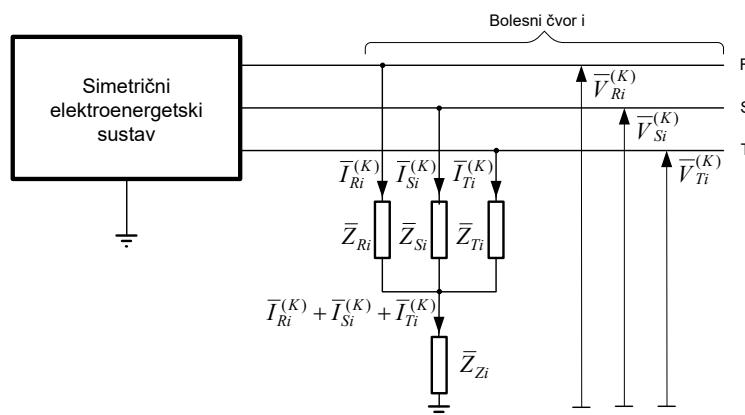
Slika 9. Simetrične komponente struje i napona pri dvofaznom kratkom spoju

Proračun kratkoga spoja s nadomjesnim izvorom na mjestu kvara prema normi IEC 60909-0 ilustrira slika 10, slika niskonaponske TN-mreže (mreže izvedene s nulovanjem kao zaštitnom mjerom protiv previsokoga napona dodira) u javnoj su opskrbi električnom energijom najraširenije pri čemu prvo slovo T (Terra) opisuje niskoomsko uzemljenje zvjezdišta napojnoga transformatora, a drugo slovo N ukazuje na način uzemljenja pasivnih dijelova potrošača posredstvom neutralnoga ili zaštitnoga vodiča. Dakle, kod njih se kao posebna problematika pojavljuje, pored triju faznih vodiča L1, L2 i L3, i četvrti vodič PEN koji se unutar kućnih i industrijskih instalacija razdvaja u neutralni vodič N i peti, zaštitni vodič PE. Slika 10 prikazuje principijelu shemu TN mreže s dvama jednofaznim trošilima i s jednim trofaznim.



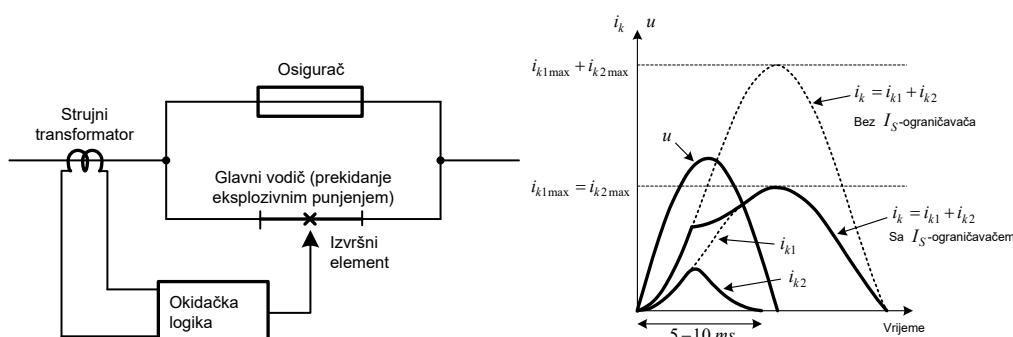
Slika 10. Principijelna shema NT mreže

Proračun kratkoga spoja prema metodi superpozicije opisane detaljnom analizom u osmom poglavlju knjige [6] ilustrirano je slikom 11. koja prikazuje modeliranje mjesta nesimetričnog kvara



Slika 11. Modeliranje mjesta nesimetričnog kvara

Negativne utjecaje struje KS može se smanjiti različitim mjerama. Slika 12 prikazuje principijelna shemu ograničavača i vremenski dijagram trenutačnih vrijednosti struja kratkoga spoja u granama mreže bez i s ograničavačem



Slika 12. Principijelna shema ograničavača i vremenski dijagram trenutačnih vrijednosti struja kratkoga spoja u granama mreže bez i s ograničavačem

4. Zaključak

Knjiga kao djelo u obliku sveučilišnog udžbenika predstavlja sukus znanja koje je provjereno i recenzirano od strane stručnjaka iz područja. Sud o kvaliteti knjige prvenstveno donose recenzenti, ali i čitatelji neposredno po njenom izlasku iz tiska. Stvarni doprinos predstavlja njena primjenjivost kao pomagala studentima i inženjerima u svakodnevnoj praksi. Autori knjige "Kratki spojevi u elektroenergetskim mrežama" definiraju kratki spoj kao nepoželjno pogonsko stanje u elektroenergetskoj mreži koje može dovesti do preopterećenja elemenata sustava te mehaničkih deformacija njihovih dijelova kao i do termičkoga oštećenja izolacije. Potrebno je zaključiti da su struje kratkoga spoja u pravilu znatno veće od struja opterećenja, tako da termička i dinamička naprezanja zbog tih struja mogu uništiti pogonska sredstva te ugroziti ljudi. Namjera autora knjige bila je da obuhvate što veći dio tematike kratkih spojeva s posebnim naglaskom na približnoj metodi analize pomoću nadomjesnoga izvora na mjestu kvara prema normi IEC 60909, ali i da prikažu točniju računalnu metodu proračuna posredstvom superpozicije. Pri tome se nastojalo da se na temelju detaljnoga uvida u fizikalnu pozadinu odvijanja prijelaznih procesa kratkih spojeva što više rasvjetli teoretska osnova za izraze i metode proračuna korištene u normi.

5. Literatura

- [1] Zelenika, Ratko; Metodologija i tehnologija izrade znanstvenog i stručnog djela,3. izmijenjeno i dopunjeno izdanje, Rijeka 1996. ISBN 953-614-810-2
- [2] Kovač, Miha; Phillips, Angus; Weel, Adriaan; Wischenbart, Rüdiger: What is a Book?. Publishing Research Quarterly. 35. 2019., DOI: 10.1007/s12109-019-09665-5.
- [3] Nacionalna i sveučilišna knjižnica u Zagrebu, <https://www.nsk.hr/obvezni-primerak-2/#3>, pristup ostvaren 30. travnja 2022.
- [4] Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, podaci o izdavačkoj djelatnosti 2000. -2019., <https://www.ferit.unios.hr/> 2021/ fakultet/ knjiznica-i-izdavacka-djelatnost, pristup ostvaren 30. travnja 2022.
- [5] Elektrotehnički fakultet u Osijeku, 30 godina Elektrotehničkog fakulteta u Osijeku, urednici Galić, Radoslav ; Ivanović, Milan, Osijek, 2007.
- [6] Jozsa, Lajos; Fekete, Krešimir; Glavaš, Hrvoje: Kratki spojevi u elektroenergetskim mrežama, Graphis d.o.o., Zagreb, 2022., ISBN 978-953-279-040-5 https://www.bib.irb.hr/1182922/download/1182922.220302_KS_u_EE_mrezama_FERI_T_udzbenik_SJJS.pdf
- [7] Narodna Novine: Odluka o nužnim uvjetima za ocjenu nastavne i znanstveno-stručne djelatnosti u postupku izbora u znanstveno-nastavna zvanja, NN 122/2017
- [8] Sveučilišta u Osijeku, Pravilnik o izdavačkoj djelatnosti Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek 2019.
- [9] Elektrotehnički fakultet u Osijeku, Pravilnik o izdavačkoj djelatnosti, Osijek 2014.

Possibilities of energy storage systems based on the principle of gravity

Gy. Vasvári^{1*}, F. Orbán¹, D. Csonka¹, T. Zsebe¹, B. Kurilla¹, F. Dako², I. Samardžić²

¹Mechanical Engineering Department, University of Pécs, Hungary

²University of Slavonski Brod, Croatia

* Corresponding Author: Gyula Ferenc Vasvári E-mail: vasvari.gyula@mik.pte.hu

Abstract

To achieve the required target of reducing CO₂ emissions, it is vital that the use of renewable energy sources is increased. However, relying on renewables to provide a reliable and consistent source of energy is impossible without a means to store this energy.

Wind and solar power are intermittent. One solution to this problem is lithium-ion batteries, but these have the disadvantage of being a limited resource and their extraction can harm the environment.

Over the last few years many publications and studies have investigated the potential of using gravity for energy storage and this paper aims to show different systems that have been proposed.

There is the potential to use new technology for gravity energy storage using suspended weights in abandoned deep mine shafts.

Around the city of Pécs, in Southern Hungary we have 34 abandoned mine shafts, varying in depth from 500-1000 m, which could be adapted to storage of energy.

Gravity Power Module (GPM) uses a very large piston suspended in a deep, water-filled shaft with sliding seals to prevent leakage around the piston and return pipe connected to a pump-turbine at ground level. Another storage concept Mountain Gravity Energy Storage (MGES) systems moves sand or gravel from a lower storage site to an upper elevation.

The principle of Energy Vault system relies on a multi-armed crane that lifts two 35-ton concrete blocks to place on the purpose built 75 m tower around the cranes.

ARES company has developed promising new technology which works by using train transport to hoist large rocks uphill, which consumes energy, then travelling downhill to generate electricity when required.

A commonly used gravitational energy storage system is Pumped Hydropower Energy Storage (PHES), which uses two reservoirs on different altitudes to store potential energy. The total output of solar power is approximately 499 kW in Hungary. This paper aims to give possible economical solutions which could work in combination with this type of intermittent energy to provide a constant source of renewable energy.

Keywords: Energy storage, gravity, GPM, MGES, Energy Vault, rail-based gravity storage

1. Introduction

An important element of decarbonisation of energy systems is grid-scale energy storage. To keep supply and demand in balance, the system needs to be flexible because renewable energies are variable in intensity.[1]

Energy storage systems have three technical characteristics:

- energy storage capacity
- power capacity
- ramp rate

These characteristics can be used to compare different energy storage technologies. [2]

There are several possibilities to store energy [3][4]. In this paper we deal with gravity energy storage. What is common in these systems is the storage of energy in potential energy form. The energy storage capacity of the systems is given by the formula

$$E = \eta \cdot m \cdot g \cdot h$$

where η is the round-trip efficiency, m is the mass, g is the acceleration due to gravity and h is the height.

The idea was developed to use the abandoned mine shafts to store energy.

2. Suspended weight energy storage (Gravitricity)

Fig.1 shows a schematic diagram of a suspended weight energy storage system.

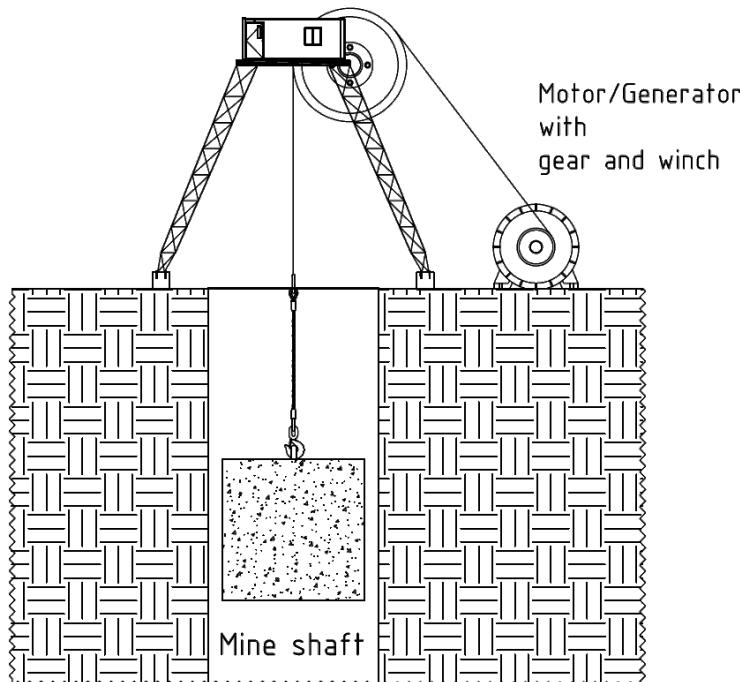


Figure 1. Model of mine shaft energy storage system

The main components include a mine shaft, a suspended weight, an induction motor connected to the weight by wire ropes and an inverter providing a bidirectional interface between the motor and the electrical network [4] [5].

The key requirement is a deep hole in the ground. Shaft depths can be between 300 m and 1500 m. The suspended weight is between 1000 and 3000 tonnes. A 3000 tonne weight suspended above a 1250 m shaft stores ~10 MWh of energy. Its main shortcoming is its limited individual system capacity. There are many abandoned mine shafts in worldwide. The UK Midland region has 340 mine shafts that could be converted into energy storage providing 0,804 GWh [6].

3. Gravity Power Module (GPM)

Gravity Power: a sealed water-filled underground shaft is divided by a heavy piston [6]. The chamber above the piston and the one below it are connected by a smaller return pipe with a pump-turbine connected to the main grid. To store energy, water is pumped from the upper chamber to the lower chamber, lifting the piston. To generate power, water is allowed to flow back through the return pipe and the turbine so that the piston descends.

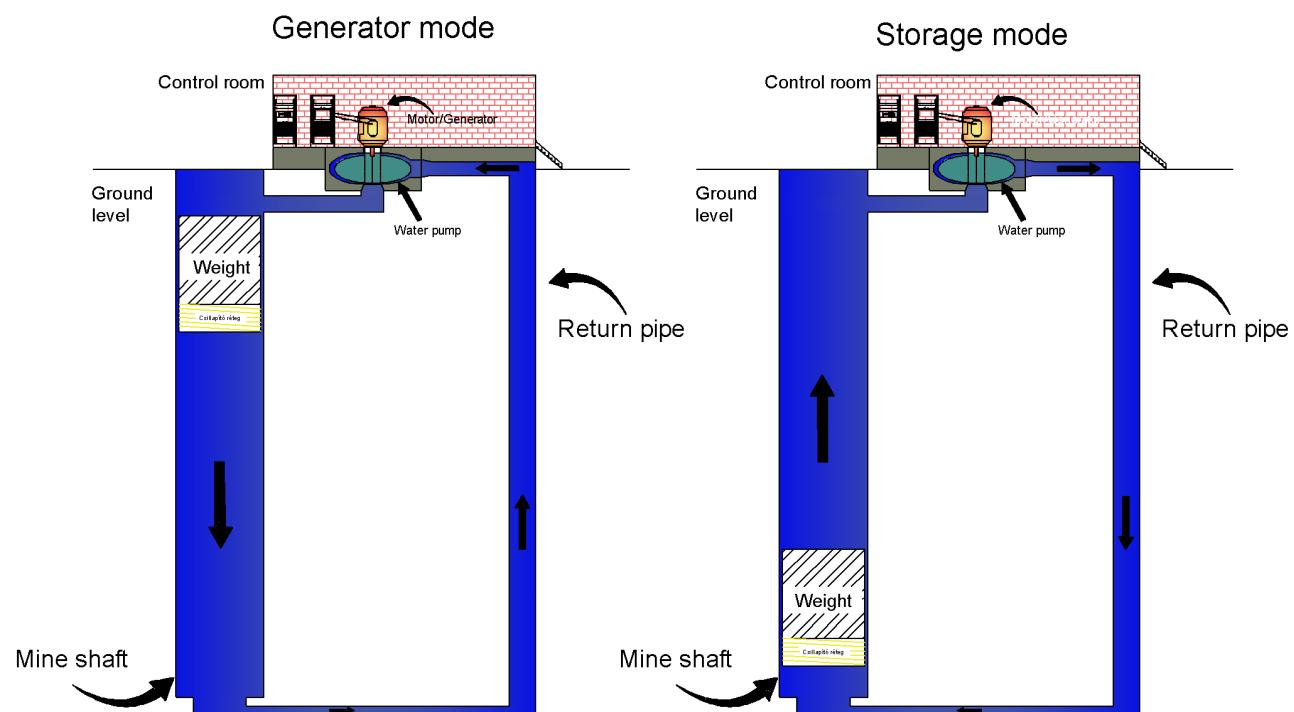


Figure 2. Schematic diagram of GPM

4. Mountain Gravity Energy Storage (MGES)

MGES consists of two cranes on the edge of a steep canyon or mountain with enough reach to transport sand or gravel from a storage site located at the bottom of the mountain (lower storage site) to a storage site on the top (upper storage site) [7]. One example of the proposed arrangement is presented in Figure 3.

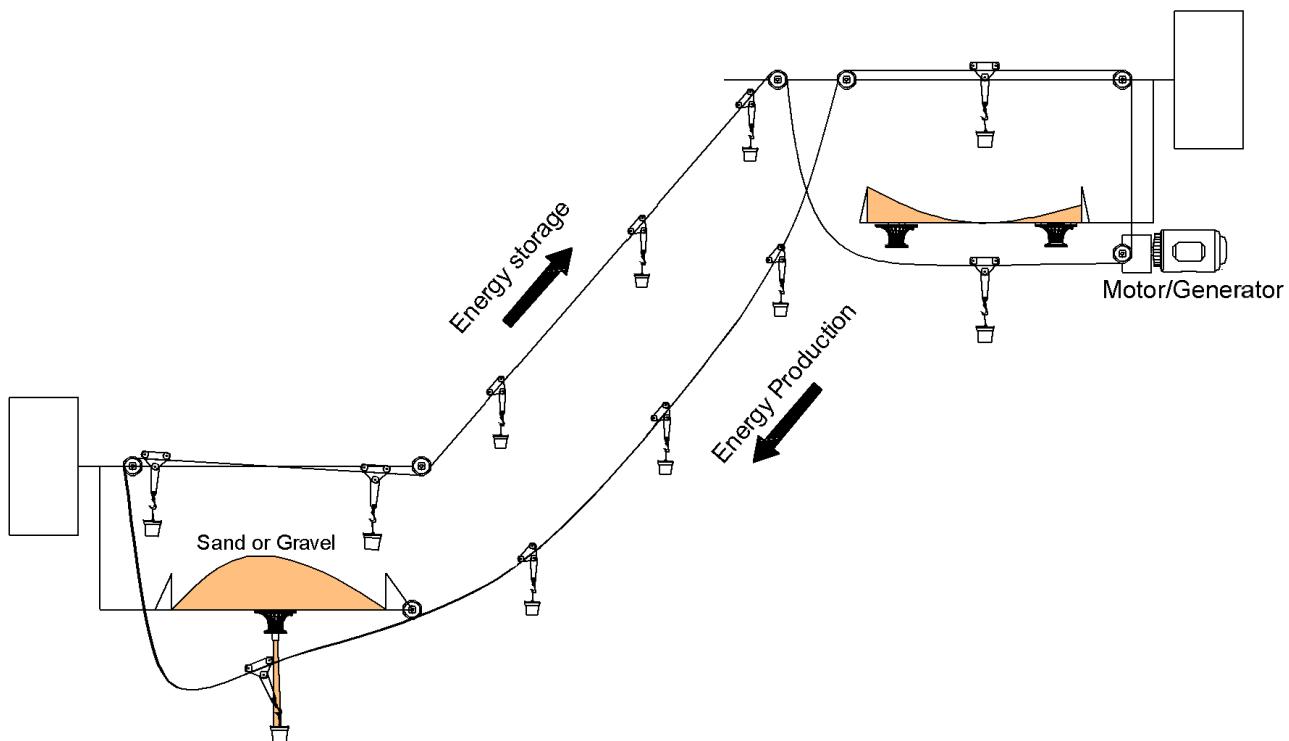


Figure 3. Outline of the MGES system.

The MGES plant assumes a system with 20-50 storage vessels with sand or gravel storage capacity of 2 tonnes each. When generating or storing energy, only half of the vessels will be filled, and the other vessels will be empty.

5. Energy Vault System

The Energy Vault store excess electrical energy by efficiently transforming it into gravitational potential energy using 35-tonne bricks that can be raised and lowered at will, and that can sit still storing the energy form any amount of time, before transforming the energy back to electrical energy when needed [6].

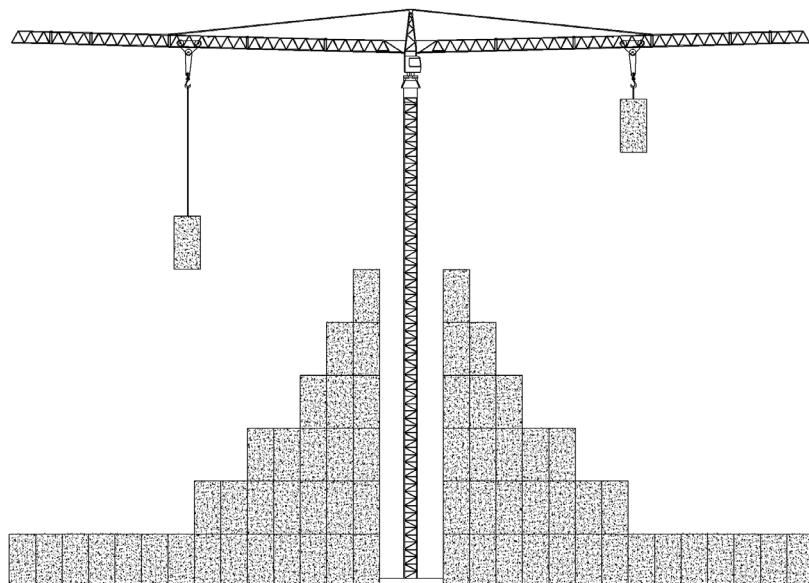


Figure 4. Schematic of the Energy Vault system

6. Advanced Rail Energy Storage (ARES)

The rail-based gravity storage works as described below [6][8]. Electricity is pulled from the grid to turn an electric motor lifting a heavy mass car uphill. The mass car at maximum elevation will result in maximum potential energy. Electricity is re-produced as the mass car is lowered turning the reversible motor backwards and acting as a generator of power.

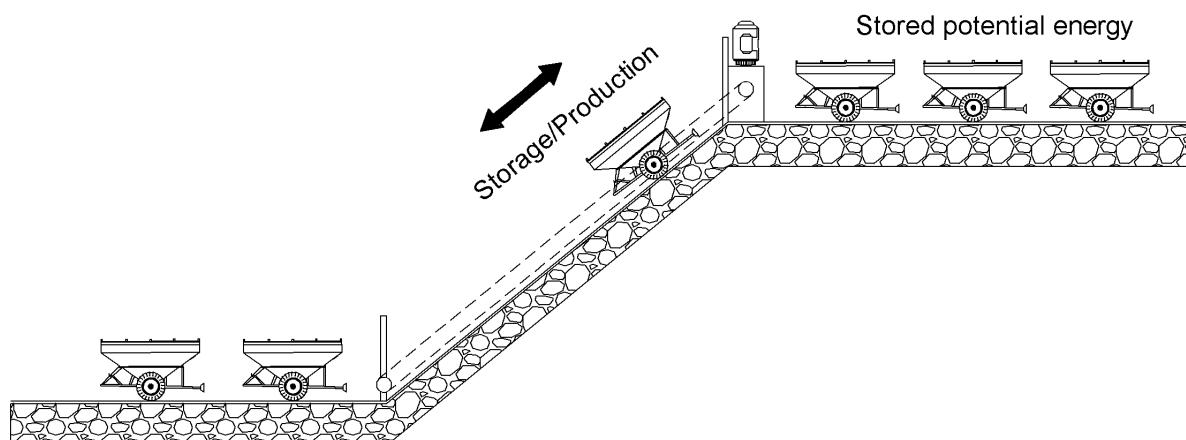


Figure 5. Schematic of ARES

Maximum elevation grade is 8,5%

7. Pumped Hydropower Energy Storage (PHES)

Also called Pumped Storage (PS) hydropower plants store both energy and water. This is the most common and widely used type of potential energy storage system. [9] The working principle of PHES plants is very similar to the other gravity-based systems.[10] In case of lower energy demand, excess energy is used to pump water to a higher reservoir from a lower point. When the energy demand is higher, the water in the higher reservoir is released back to the lower point while generating electricity.

The efficiency is about 70-85%, but the energy saving provides a higher benefit altogether by storing excess generation that would be otherwise wasted, and the responsive energy generation capacity is more economic, as it would be produced by fossil or less efficient sources otherwise.

There are multiple types of PHES systems based on the low-high energy demand cycle length; daily pumped-storage (DPS), weekly pumped-storage (WPS), seasonal pumped-storage (SPS) and pluri-annual pumped-storage (PAPS).

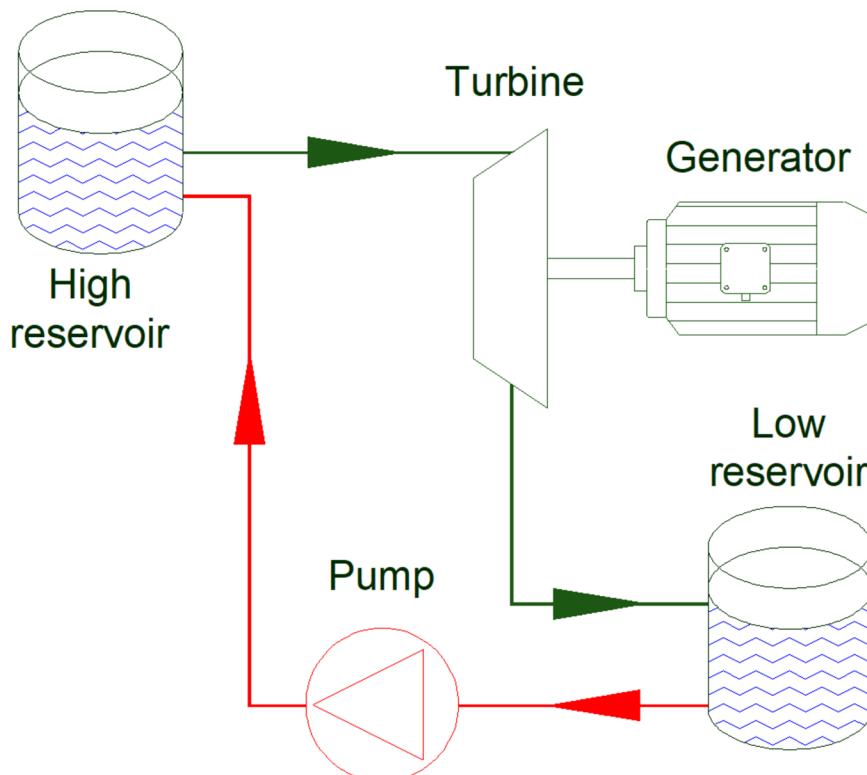


Figure 6. Schematic of PHES

8. Possibilities of energy storage around the city of Pécs

Around the city of Pécs there are 34 abandoned mine shafts, with an average depth of 500 m and an average diameter of about 6 m. According to the Gravitricity Team [6], the energy storage system is economical if the shafts are greater than 300 m in depth and wider than 3 m in diameter.

If all the shafts could be converted into gravity storage units, the system could provide 46 MWh energy storage.

In Hungary the performance of the solar power is 499 kW, which means that for about half a year solar energy could be stored in the shafts around Pécs.

The advantages of this type of power station include quick energy feed, short response time, high rates (about 80%) of efficiency, 50-year design life, and clean technology with no pollution resulting from the process [11].

Among the hindrances are the facts that most of the shafts are full of waste, and the existing mine tower is not strong enough to lift 1000-3000-tonne weights.

One possibility is to use multiple weights. If smaller weights are lifted, a crane has to be used to store the weights.

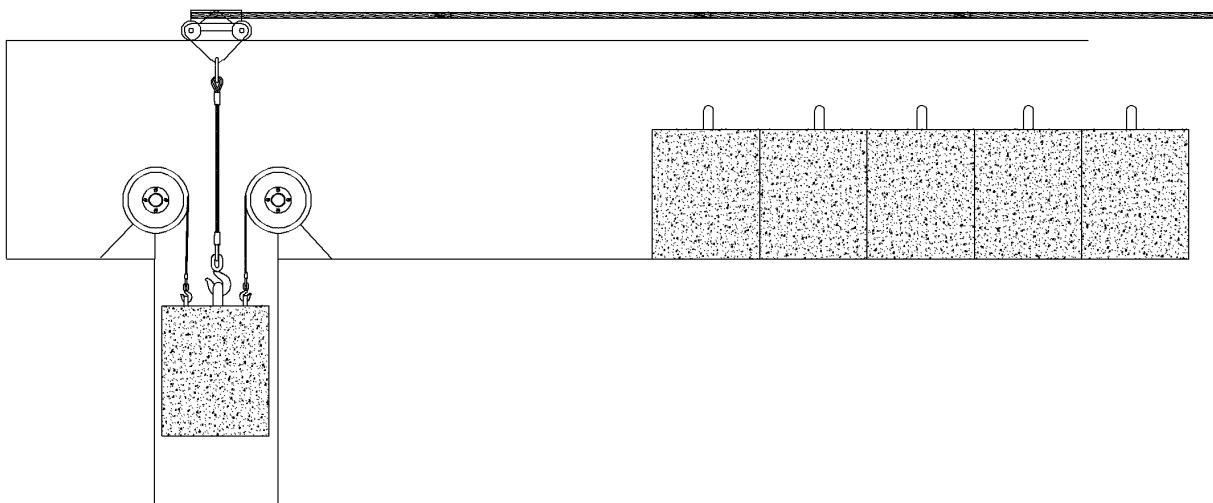


Figure 7. Use of lighter weights for energy storage in mines

The Gravity Power system uses water pressure as the lifting mechanism. This system also removes mechanical components associated with a wire rope hoisting mechanism and enables standard pump-turbines from hydropower systems to be used, necessitating the use of a thick concrete lining, which is estimated to make up 25% of the total investment cost. In addition, the piston requires a seal which needs to be carefully designed to minimise friction and wear.

MGES systems can store smaller amounts of energy. The amount of stored energy is proportional to the stored mass and the height difference between the lower and higher storage sites and overall efficiency of the system [11]. In the Mecsek hills we have some

sites where the height difference is 200 m. If we calculate with 5,000 tonnes of sand or gravel and the height is 200 m, the storage energy will be about 17,6 MWh.

The Energy Vault system consists of cranes mounted on a central tower. They are used to lift and lower an array of 35-tonne weights. Energy Vault is a Swiss-based energy storage company [6]. The tower which is built of 35-tonne bricks gives a relatively high surface pressure.

The ARES systems are built on an incline grade of 8,5%, which means that a large area of land is required to achieve a significant energy storage capacity. In this region we have no proper site for this system.

In case of using a PHES system, the mine shafts and drifts would be damaged by the stored water, therefore a network of water tanks should be used. The main reason this system is not compatible with the mine shafts in the Mecsek region is that it is not possible to place the turbines and pumps in the bottom of the mines, as they are too large and do not fit in the shafts. This the idea of the usage of the PHES system in the shafts is discarded.

9. Conclusions

Five weight-based energy storage systems have been discussed. In the Pécs region Gravitricity, GPM and ARES systems seem to be viable. Earlier it was mentioned around the city of Pécs there are 34 abandoned mine shafts, that could be converted into gravity storage units providing 1,3MWh of energy storage.

The Gravity Power systems uses water pressure as the lifting mechanism. The walls of the shaft are under considerable pressure. Only about 60% of the shafts near Pécs made of reinforced concrete which could stand against the higher pressure. The ARES systems built existing land features. The international literature has been discussing this possibility since 2018. Unfortunately, in this region a full-scale project is yet to be implemented. In 2022 a project started in Czechia.

To implement the energy storage ideas, it would be necessary to build a real power storage facility.

10. References

- [1] Pickard, W.F. Massive Electricity Storage for a Developed Economy of Ten Billion People. *IEEE Access* 2015, 3, doi:10.1109/ACCESS.2015.2469255.
- [2] Ribeiro, P.F.; Johnson, B.K.; Crow, M.L.; Arsoy, A.; Liu, Y. Energy Storage Systems for Advances Power Applications. *Proceedings of the IEEE* 2001, 89, doi:10.1109/5.975900. (**book/chapter in book**)
- [3] Ould Amrouche S.; Rekioua D.; Rekioua T.; Bacha S.: Overview of energy storage in renewable energy systems //*International Journal of Hydrogen Energy*// Volume 41, Issue 45, 7 December 2016, Pages 20914-20927
- [4] Javier, M.; Falko, S.; Jorge, L.: comparing Subsurface energy Storage Systems: Underground Pumped Storage Hydropower, Compressed Air Energy Storage and

Suspended Weight Gravity energy Storage// E3S Web of Conferences 162, 01001 (2020)

- [5] Thomas, M.; Martin, C.; Malcolm, D.: Gravity energy storage with suspended weight for abandoned mine shafts // Applied Energy April 2019. (**book/chapter in book**)
- [6] Thomas, M.; Christoff, D.: Gravitational Energy Storage with weights // Encyclopaedia of Energy Storage (**book/chapter in book**)
- [7] Julian, H.; Behnam, Z.; Giacomo Falchetta, Andreas, N.; Yoshihide W.; Keywan R: Mountain Gravity Energy Storage: A new solution for closing the gap between existing short- and long-term storage technologies// Energy, volume 190, 1 January 2020, 116419
- [8] Cava, F.; Kelly J.; Peitzke, W.; Brown, M; Sullivan, S.: Advanced Rail Energy Storage: Green Energy Storage for Green Energy // Storing Energy 2016, Pages 69-86 (**book/chapter in book**)
- [9] Menéndez, J., Schmidt, F. & Loredo, J. Comparing Subsurface Energy Storage Systems: Underground Pumped Storage Hydropower, Compressed Air Energy Storage and Suspended Weight Gravity Energy Storage. in E3S Web of Conferences 162, (EDP Sciences, 2020).
- [10] Shafiqur Rehman, Luai M. Al-Hadhrami, Md. Mahbub Alam, Pumped hydro energy storage system: A technological review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 44, 2015, Pages 586-598, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.040>.
- [11] Jaroslaw, K.; pawel, K.; Kinga, S.; Dariusz, P.; Piotr, M.; Daniel, K.; Michal, K.; Piotr, O.: Technical and Economic Aspects of Electric energy Storage in a Mine Shaft-Budryk Case Study// Energies 2021, 14, 7337

Utjecaj akumulacijskog spremnika na energetsku učinkovitost sustava grijanja s dizalicom topline

The influence of storage tank on energy efficiency of the heating system with heat pump

M. Đuranović^{1*}, M. Živić¹, M. Stojkov¹, I. Grozdanić², A. Barac¹

¹Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod,
Hrvatska

²Turbomehanika d. o. o., Zagreb, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: mduranovic@unisb.hr

Sažetak

U radu se razmatra utjecaj akumulacijskog spremnika na energetsку učinkovitost termotehničkog sustava s dizalicom topline koji grije jednu obiteljsku kuću. Za stvarne meteorološke podatke u periodu od tri godine izračunata je količina toplinske energije za zagrijavanje obiteljske kuće za svaki sat sezone grijanja. Također je određena potrošnja električne energije u dva slučaja, kada je u termotehnički sustav integriran spremnik za vodu i bez njega. Potrošnja električne energije je izračunata pomoću COP dizalice topline koji je određen za svaki sat sezone grijanja prema vanjskoj temperaturi zraka i temperaturi polaza. Utvrđeni su najpovoljniji uvjeti rada dizalice topline za cijelu sezonu grijanja. Termotehnički sustav s integriranim spremnikom ostvaruje manju potrošnju električne energije u usporedbi sa sustavom bez spremnika što ima za posljedicu viši sezonski faktor grijanja (SCOP). S akumulacijskim spremnikom integriranim u termotehnički sustav s dizalicom topline postiže se veća energetska učinkovitost jer dizalica topline radi u povoljnijim uvjetima. Sezonski faktor grijanja (SCOP) prosječno se poveća za 9% u promatranom periodu.

Ključne riječi: dizalica topline, akumulacijski spremnik, energetska učinkovitost

Abstract

In this paper the influence of the storage tank on the energy efficiency of the thermotechnical system with a heat pump that heats a family house is examined. For real meteorological data over a period of three years, the thermal energy for heating the family house was calculated for each hour of the heating season. Electricity consumption was also determined in two cases, when a water tank was integrated into the thermotechnical system and without it. Electricity consumption is calculated using the COP of the heat pump, which is determined for each hour of the heating season according to the outside air temperature and the initial flow temperature. The most favorable operating conditions of the heat pump for the entire heating season have been identified. A thermotechnical system with an integrated tank

achieves lower electricity consumption compared to a system without a tank, which results in a higher seasonal heating factor (SCOP). With a storage tank integrated into a thermotechnical system with a heat pump, greater energy efficiency is achieved because the heat pump works in more favorable conditions. Seasonal heating factor (SCOP) is averaged increased by 9% in the observed period.

Key words: heat pump, storage tank, energy efficiency

1. Uvod

Globalni izazov 21. stoljeća, a naročito danas, je osiguranje pouzdane, ekonomične i održive opskrbe energijom vodeći brigu o zaštiti okoliša. Cilj energetske politike Europske unije je postići status klimatski neutralne zemlje, što uključuje preuzimanje obveze, prema međunarodnim ugovorima, smanjenja emisije stakleničkih plinova od 80 do 90% prije 2050. Koraci koji vode do tog cilja su povećanje energetske učinkovitosti i korištenje obnovljivih izvora energije.

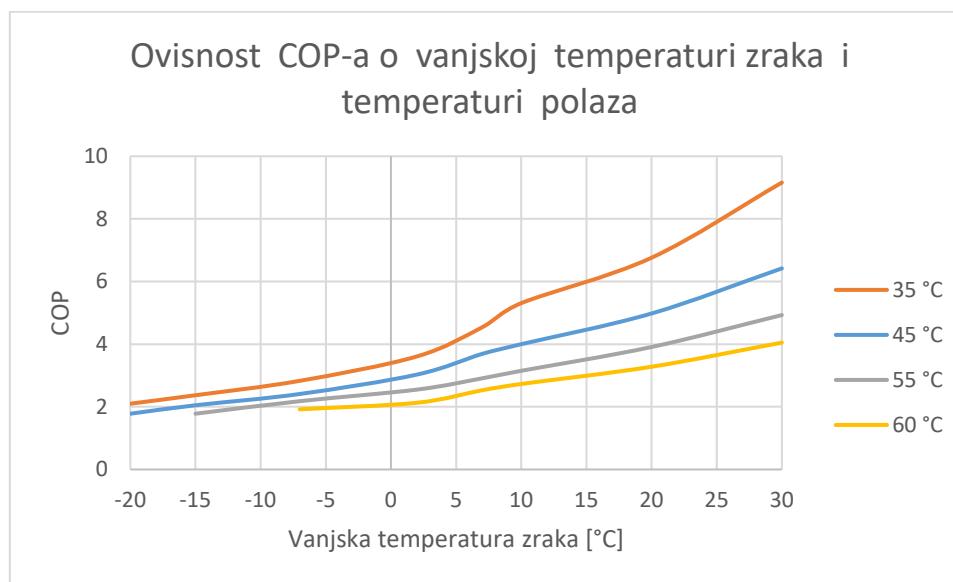
Sektor zgradarstva ima veliki potencijal za uštedu energije jer sustavi grijanja, hlađenja i ventilacije sudjeluju s 40-60% u potrošnji energije u zgradama [1]. Zamjena kotlova na fosilna goriva može se vrlo učinkovito ostvariti dizalicama topline i postići dekarbonizaciju postojećih zgrada, odnosno postići status ugljično neutralne zgrade i/ili zgrade s nultom emisijom. Poboljšanje učinkovitosti dizalica topline zrak-voda može se postići kombinirajući ih s obnovljivim izvorima energije, kao npr. sa solarnim zračnim kolektorima [2,3] ili spremnicima toplinske energije (spremnicima za vodu ili spremnici s materijalima za promjenu faze) [4,5]. Jednostavno i jeftino rješenje je integriranje spremnika za vodu u sustav dizalice topline. U sustavu grijanja u koji je s dizalicom topline zrak-voda integriran spremnik za vodu izbjegava se često uključenje i isključenje dizalice topline te oscilacije unutarnje temperature za vrijeme odmrzavanja. Također, poboljšana je fleksibilnost toplinskog opterećenja. Korištenjem toplinskog kapaciteta spremnika za vodu, dizalica topline se može isključiti za vrijeme vršnih opterećenja, bez utjecaja na toplinsku udobnost stanara. Prednost rada u električnoj tarifi izvan vršnih opterećenja je smanjenje operativnih troškova. U radu [5] autori su imali cilj smanjiti troškove električne energije. U režimu rada sustava za grijanje u kojem se dizalica topline isključuje za vrijeme vršnih opterećenja i puni noću dolazi do smanjenja energetske učinkovitosti [6]. U radu [7] autori predlažu režim u kojem će dizalica topline raditi samo u razdoblju najviših dnevnih temperatura, dok bi se tijekom ostalog vremena koristila toplina iz toplinskog spremnika. Na nižim temperaturama okoline, dizalica topline bi bila isključena. Prema teorijskim proračunima u ovom radu, sezonski COP bi se povećao do 23%.

U ovom radu izvršen je proračun energetske učinkovitosti sustava grijanja s dizalicom topline u dva slučaja; kada je u termotehnički sustav integriran spremnik za vodu i bez njega. Da bi se analizirao potencijal uštede energije, određena je količina toplinske energije za zagrijavanje jedne obiteljske kuće, a zatim je izračunat COP dizalice topline u spomenuta dva slučaja.

2. Opis termotehničkog sustava

Za potrebe grijanja obiteljske kuće, prizemnice u Slavonskom Brodu, korisne površine 130 m² odabran je termotehnički sustav koji kao izvor ogrjevne energije koristi kompresijsku dizalicu topline zrak - voda pogonjenu električnom energijom. Maksimalni toplinski učin pri vanjskoj temperaturi - 20 °C i temperaturi polaza 45 °C iznosi 8,02 kW što zadovoljava projektne toplinske gubitke. Za grijanje prostorija obiteljske kuće predviđeno je podno grijanje s temperaturom polaza 45 °C i temperaturom povrata 35 °C. U ovom radu pretpostavljeno je da sezona grijanja traje od 15. listopada do 15. travnja. Predviđena unutarnja temperatura unutar obiteljske kuće koju je potrebno održavati s termotehničkim sustavom je 20 °C, a u radu sustava nema prekida.

Na slici 1. dan je prikaz ovisnosti COP-a o vanjskoj temperaturi zraka za različite temperature polaza za odabranu dizalicu topline zrak-voda. Vidljivo je kako COP raste s povećanjem vanjske temperature i smanjenjem temperature polaza što je i očekivano. S višom vanjskom temperaturom raste tlak u isparivaču što ima za posljedicu smanjenje kompresijskog omjera i smanjenje potrošnje električne energije odnosno povećanje proizvedene toplinske energije. Sa snižavanjem temperature polaza smanjuje se tlak u kondenzatoru čime se smanjuje kompresijski omjer što dovodi do istog efekta kao i kod porasta vanjske temperature. Najpovoljniji uvjeti rada dizalice topline su pri višim vanjskim temperaturama zraka i pri nižim temperaturama polaza. Iz prikaza je vidljivo kako temperature polaza 55 °C i 60 °C nije moguće postići na temperaturama vanjskog zraka nižim od -15 °C odnosno -7°C.



Slika 1. Prikaz ovisnosti COP-a o vanjskoj temperaturi zraka za različite temperature polaza

Za određivanje utjecaja na energetsku učinkovitost unutar gore opisanog sustava integrirat će se akumulacijski spremnik vode iz kojeg će se akumulirana toplinska energija koristiti u uvjetima koji su nepovoljniji za rad dizalice topline (niže vanjske temperature),

a akumulirat će se toplinska energija u uvjetima koji su povoljniji za rad dizalice topline (više vanjske temperature). Akumulacijski spremnik je izoliran te u sebi sadrži jedan izmjenjivač.

3. Matematički model

Toplinska energija koju je termotehničkim sustavom potrebno dovesti u nekom vremenskom periodu za zagrijavanje obiteljske kuće, odnosno za održavanje unutarnje temperature 20 °C, računa se prema dolje navedenoj formuli (1). S obzirom da su meteorološki podaci koji su korišteni u ovom radu satni tako će i vremenski period za koji će se računati toplinska energija biti jedan sat.

$$Q = Q_{Tr} + Q_{Ve} - \eta_{gn}(Q_{int} + Q_{sol}) \quad (1)$$

Toplinska energija potrebna za zagrijavanje obiteljske kuće se sastoji od izmijenjene toplinske energije transmisijom Q_{Tr} i toplinske energije za ventilaciju Q_{Ve} umanjene za toplinske dobitke zgrade. Izmijenjena toplinska energija transmisijom ovisi o koeficijentu prolaza topline pojedinog građevnog elementa, površini istog te razlici unutarnje i vanjske temperature zraka. Toplinska energija za ventilaciju ovisi o broju izmjena zraka, volumenu zraka u kući i razlici unutarnje i vanjske temperature zraka. Toplinski dobici zgrade sastoje se od unutarnjih toplinskih dobitaka Q_{int} i toplinskih dobitaka od Sunčevog zračenja Q_{sol} te su korigirani faktorom iskorištenja toplinskih dobitaka η_{gn} . Unutarnji toplinski dobici odnose se na dobitke od ljudi, rasvjete i uređaja. Solarni toplinski dobici odnosno toplinski dobici od Sunčevog zračenja ponajviše ovise o srednjoj dozračenoj energiji sunčevog zračenja na površinu nekog vanjskog građevnog elementa (zid, prozor) te o površini istog.

Kako se termotehnički sustav sastoji od podnog grijanja te je cijela obiteljska kuća grijana, gubici podsustava razvoda i podsustava predaje se mogu zanemariti pa je toplinska energija potrebna za zagrijavanje obiteljske kuće Q toplina na izlazu iz dizalice topline odnosno toplina koju proizvode dizalice topline. Odnos proizvedene toplinske energije Q i potrošene električne energije W je faktor grijanja :

$$COP = \frac{Q}{W} \quad (2)$$

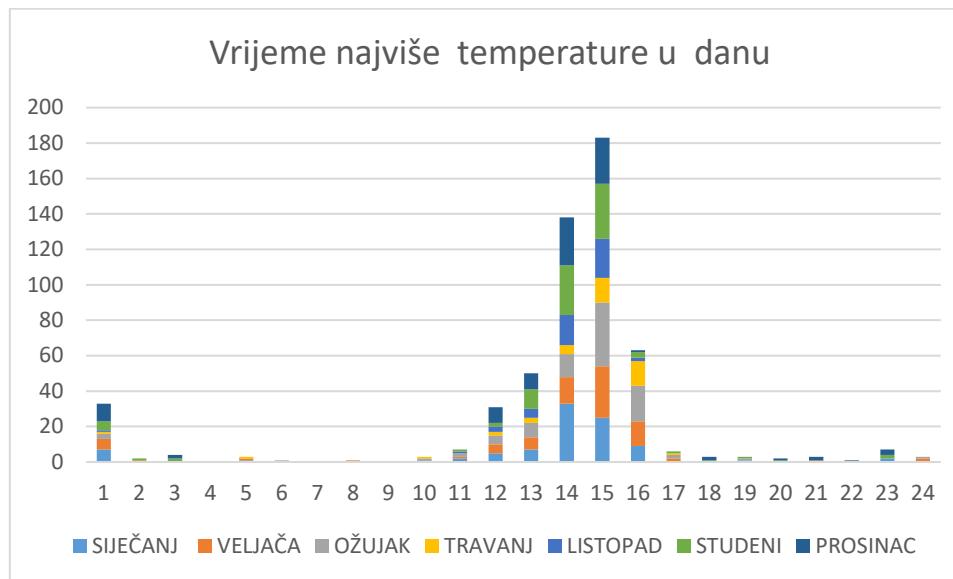
COP ovisi o vanjskoj temperaturi i temperaturi polaza što je pokazano na slici 1.

Kada se u sustav integrira akumulacijski spremnik, toplinska energija potrebna za zagrijavanje obiteljske kuće ostaje ista, a izvor topline može biti akumulacijski spremnik, dizalice topline ili akumulacijski spremnik i dizalica topline ako u spremniku nema dovoljno toplinske energije na potrebnoj temperaturnoj razini. U periodu kada je izvor toplinske energije akumulacijski spremnik, onda je potrošnja električne energije nula, dok u periodu kada se puni akumulacijski spremnik dizalica topline proizvodi i toplinsku energiju potrebnu za zagrijavanje obiteljske kuće i toplinsku energiju potrebnu za punjenje akumulacijskog spremnika. Gubici akumulacijskog spremnika su promatrani kao iskoristivi u potpunosti jer se spremnik nalazi u grijanom prostoru.

4. Analiza utjecaja akumulacijskog spremnika na energetska učinkovitost

Povoljniji uvjeti za rad dizalice topline, odnosno vrijeme kada je energetska učinkovitost viša, više vrijednosti COP-a, je pri višim vanjskim temperaturama zraka, a nepovoljniji su pri nižim temperaturama zraka odnosno kada je niža energetska učinkovitost dizalice topline, niže vrijednosti COP-a, to jest čitavog termotehničkog sustava. Kako bi se postigla veća energetska učinkovitost termotehničkog sustava, integriran je akumulacijski spremnik u isti te je omogućeno da dizalica topline radi u povoljnijim uvjetima to jest pri višim temperaturama tijekom dana, dok se pri nižim temperaturama toplinska energija potrebna za zagrijavanje obiteljske kuće dobiva iz akumulacijskog spremnika.

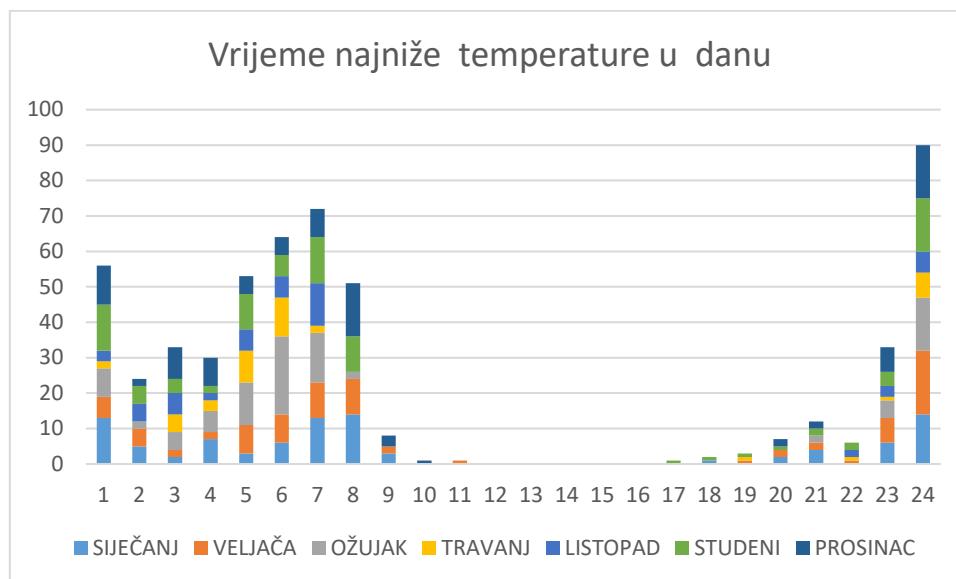
Analiza je provedena pomoću stvarnih meteoroloških podataka za Slavonski Brod kroz tri godine (2018., 2019. i 2020.). Kako bi se odredio najpovoljniji vremenski period unutar dana za rad dizalice topline analizirane su temperature kroz tri godine. Na slici 2. dan je prikaz vremenskog trenutka unutar dana odnosno sat u kojem je bila najviša temperatura zraka tijekom dana u promatranom periodu od tri godine u sezoni grijanja. Vidljivo je kako je najviše puta najviša temperatura zraka bila u 15 sati, a u 14 sati je drugi termin po vrijednosti. Vrijeme kada će se započeti puniti akumulacijski spremnik toplinom je 14 sati jer su za rad dizalice topline najpovoljniji uvjeti u 14 i 15 sati. Ovim pristupom određeni su najpovoljniji uvjeti rada u cijeloj sezoni grijanja što pojednostavljuje sustav regulacije, premda ima dana kada 14 i 15 sati nisu najpovoljniji odnosno kada u to vrijeme nije najviša temperatura zraka.



Slika 2. Prikaz vremenskog trenutka unutar dana (sat) u kojem je bila najviša temperatura zraka u periodu od tri godine u sezoni grijanja

Kako su određeni najpovoljniji uvjeti za rad dizalice topline tako su i određeni najnepovoljniji uvjeti rada. Na slici 3. dan je prikaz vremenskog trenutka unutar dana odnosno sat u kojem je bila najniža temperatura zraka tijekom dana u promatranom

periodu od tri godine u sezoni grijanja. Vidljivo je kako je najviše puta najniža temperatura zraka bila u 24 sata. Zato je odabранo vrijeme kada će se početi koristiti toplina iz akumulacijskog spremnika u 24 sata.

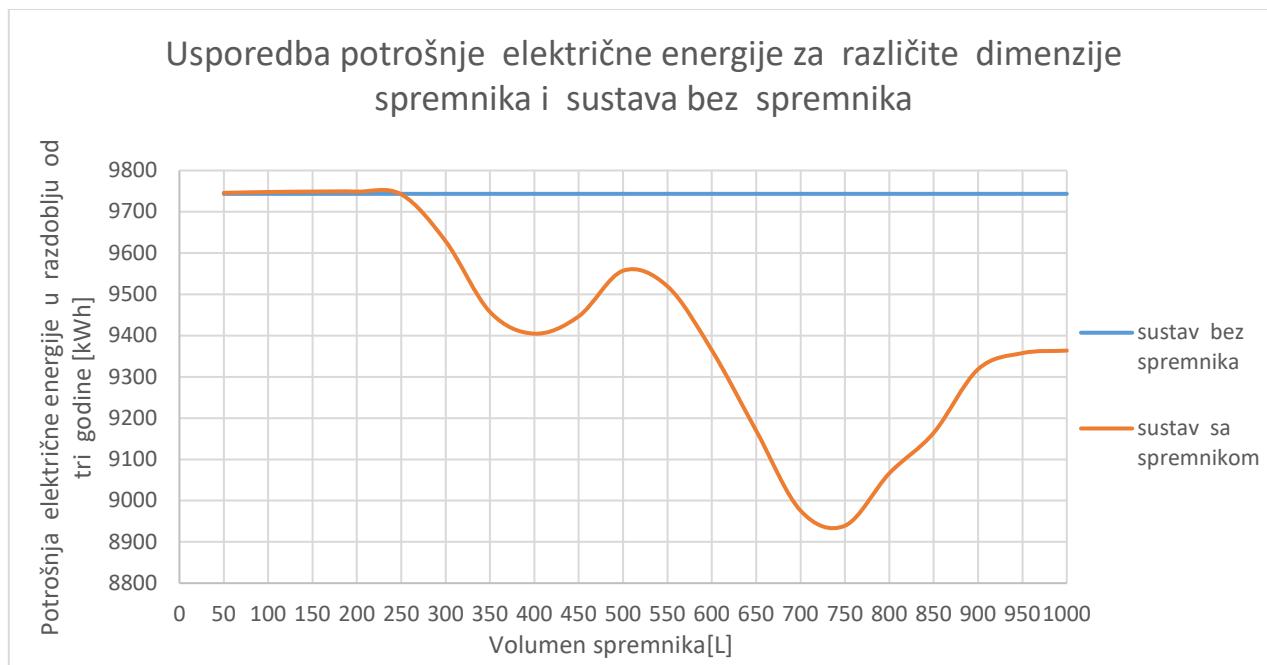


Slika 3. Prikaz vremenskog trenutka unutar dana (sat) u kojem je bila najniža temperatura zraka u periodu od tri godine u sezoni grijanja

Za stvarne meteorološke podatke prema gore navedenom matematičkom modelu određena je toplinska energija potrebna za zagrijavanje obiteljske kuće za svaki sat sezone grijanja u periodu od tri godine. Iz podataka o ovisnosti COP-a o vanjskoj temperaturi zraka za temperaturu polaza 45°C određen je za svaki sat sezone grijanja COP te je pomoću COP-a i toplinske energije potrebne za zagrijavanje obiteljske kuće određena potrošnja električne energije za termotehnički sustav bez akumulacijskog spremnika. Ukupna potrošnja električne energije u promatranom periodu iznosi 9743 kWh što je prikazano na slici 4 (plava linija).

Za slučaj kada je integriran akumulacijski spremnik, toplinska energija potrebna za zagrijavanje obiteljske kuće dobiva se iz spremnika u vremenskom periodu od 24. sata u danu do trenutka dok ima dovoljno toplinske energije na potrebnoj temperaturnoj razini u spremniku te je tada potrošnja električne energije nula. U periodu od 14. sata pa sve do trenutka dok se akumulacijski spremnik napuni do maksimalne razine koju je moguće postići dizalicom topline, dizalica topline zagrijava spremnik i isporučuje toplinsku energiju potrebnu za zagrijavanje obiteljske kuće. U tom periodu dizalica topline ima maksimalnu temperaturu polaza do 60°C , a radi pri maksimalnoj snazi koju može postići pri vanjskoj temperaturi zraka koja je u tom trenutku odnosno satu i temperaturi polaza. Iz podataka o ovisnosti COP-a o vanjskoj temperaturi zraka i temperaturi polaza određen je COP. Pomoću COP-a i toplinske energije koju je proizvela dizalica topline (zbroj toplinske energije potrebne za zagrijavanje obiteljske kuće i topline predane spremniku) određena je potrošnja električne energije za termotehnički sustav s

akumulacijskim spremnikom u tom periodu. U periodu kada dizalica topline ne isporučuje toplinu akumulacijskom spremniku i kada se ne dobiva toplinska energija potrebna za zagrijavanje obiteljske kuće iz akumulacijskog spremnika, dizalica topline proizvodi samo toplinu potrebnu za zagrijavanje obiteljske kuće te se u tom periodu potrošnja električne energije određuje kao za sustav bez akumulacijskog spremnika. Ukupna potrošnja električne energije u promatranom periodu za različite volumene spremnika, od 50 L do 1000 L, prikazana je na slici 4 (narančasta linija).



Slika 4. Prikaz usporedbe potrošnje električne energije za različite dimenzije spremnika i termotehničkog sustava bez spremnika u razdoblju od tri godine (2018., 2019., 2020.) u sezoni grijanja

Iz prikaza usporedbe potrošnje električne energije za različite dimenzije spremnika, slika 4., vidljivo je kako za dimenzije spremnika od 50-1000 L postoji minimum u potrošnji, a taj minimum se ostvaruje za spremnik od 750 L te potrošnja iznosi 8939 kWh. Uspoređujući potrošnju električne energije za promatrani trogodišnji period sustav s integriranim spremnikom i sustava bez spremnika, sustav sa spremnikom ostvario je 804 kWh manju potrošnju to jest potrošnja je smanjena za 8,2 %.

Osim potrošnje električne energije parametar koji je bitan za energetsku učinkovitost nekog sustava je sezonski faktor grijanja. Sezonski faktor grijanja je odnos ukupne proizvedene toplinske energije u jednoj sezoni grijanja i potrošene električne energije u istoj. U tablici 1. dan je prikaz sezonskih faktora grijanja za svaku godinu u promatranom periodu te je vidljivo kako je, za sve tri godine, sezonski faktor grijanja sustava s integriranim spremnikom veći od sezonskog faktora grijanja sustava bez spremnika. Integracijom akumulacijskog spremnika u sustav ostvaruje se povećanje sezonskog faktora grijanja od 6,27 % do 10,86 % ovisno o godini.

Tablica 1. Sezonski faktor grijanja za termotehnički sustav bez spremnika i termotehnički sustav s integriranim akumulacijskim spremnikom za svaku od tri promatrane godine

	SEZONSKI FAKTOR GRIJANJA SCOP	
	SUSTAV BEZ SPREMNIKA	SUSTAV SA SPREMNIKOM
2018.	3,03	3,22
2019.	3,13	3,46
2020.	3,13	3,47

5. Zaključak

U radu je prikazano kako se jednostavnom regulacijom s integracijom akumulacijskog spremnika postiže veća energetska učinkovitost sustava. Termotehnički sustav s integriranim spremnikom ostvaruje manju potrošnju električne energije u usporedbi sa sustavom bez spremnika za 8,2% za promatrani period za odabranu obiteljsku kuću i lokaciju. Smanjenje potrošnje električne energije ima za posljedicu viši sezonski faktor grijanja (SCOP) koji se poveća od 6,27% do 10,86% ovisno o godini odnosno prosječno u promatranom periodu poveća se za 9%. Akumulacijski spremnik integriran u termotehnički sustav s dizalicom topline postiže veću energetska učinkovitost jer dizalica topline radi u povoljnijim uvjetima. Iz provedene analize može se zaključiti kako za svaku pojedinu lokaciju i građevinu postoji optimalna veličina spremnika kojim se postižu maksimalne uštede. U analizi su primijenjeni vrlo jednostavni parametri rada sustava u vidu upravljanja odnosno u praksi ovaj tip regulacije bi se vrlo lako ostvario.

6. Priznanje

Ovo istraživanje je nastalo i podržano od strane Europske unije iz Europskog fonda za regionalni razvoj uz Operativni program Konkurentnost i kohezija unutar projekta KK.01.1.1.04.0116: Pametna naljepnica za mjerjenje i praćenje uvjeta skladištenja i transporta proizvoda kojeg je voditelj Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, a partner je Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu.

7. Literatura

- [1] Allouhi, A.; El Fouih, Y.; Kousksou, T.; Jamil, A.; Zeraouli, Y.; Mourad, Y. Energy consumption and efficiency in buildings: current status and future trends// *J.Clean Prod.*, 109 (2015), 118–130. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.139>
- [2] Zheng, Zhihang; Zhou, Jin; Xu, Feng; Deng, Guang. Solar assisted air source heat pump systems for campus water heating in China: Economic optimization of solar fraction design// *Applied Thermal Engineering*, 213(2022), 118767. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118767>
- [3] Yang, Li Wei; Hua, Nan; Pu, Jin Huan; Xia, Yu; Zhou, Wen Bin; Xu, Rong Ji; Yang, Tong; Belyayev, Yerzhan; Wang, Hua Sheng. Analysis of operation performance of three

indirect expansion solar assisted air source heat pumps for domestic heating// *Energy Conversion and Management*, 252(2022), 115061.

<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.115061>

- [4] Wang, Z.; Wang, F.; Li, G.; Song, M.; Ma, Z.; Ren, H.; Li, K. Experimental Investigation on Thermal Characteristics of Transcritical CO₂ Heat Pump Unit Combined with Thermal Energy Storage for Residential Heating// *Applied Thermal Engineering*, 165(2020), 114505. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114505>
- [5] D'Ettorre, F.; Conti, P.; Schito, E.; Testi, D. Model predictive control of a hybrid heat pump system and impact of the prediction horizon on cost-saving potential and optimal storage capacity// *Appl. Therm. Eng.*, 148 (2019), 524–535.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.11.063>
- [6] Shah, N.N.; Wilson C.; Huang, M.J.; Hewitt, N.J. Analysis on field trial of high temperature heat pump integrated with thermal energy storage in domestic retrofit installation // *Appl. Therm. Eng.*, 143(2018), 650–659.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.07.135>
- [7] Pospíšil, J.; Spilacek, M.; Kudela, L. Potential of predictive control for improvement of seasonal coefficient of performance of air source heat pump in Central European climate zone// *Energy*, 154(2018), 415–423, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.131>

CO₂ emissions trading – efficient way to emissions mitigation or new cost?

V. Božić^{1,*}, I. Sutlović¹, P. Raos², L. Keran³

¹ Faculty of Chemical Engineering and Technology, University of Zagreb, Zagreb, Croatia

²Mechanical Engineering Faculty, University of Slavonski Brod, Slavonski Brod, Croatia

³Eko Ltd.- Center for Waste Management Biljane Donje, Zadar, Croatia

* Corresponding author. E-mail: vbozic@fkit.hr

Abstract

In 1997, the Kyoto Protocol, a global agreement on climate change, was adopted and signed by almost all members of the United Nations. Within this protocol a "cap and trade mechanism" for CO₂ emission trading has been adopted. In that time it seemed to be good way along with other two mechanisms for taming growing greenhouse gases emissions especially that of CO₂.

The government sets the limit i.e. "cap" on carbon dioxide emissions permitted across a given period and are subject of trade whether to be sold or bought. Permits are issued once a year, according to predefined criteria. After pandemic 2020 and related 5.2% emissions reduction rapid economic and economic recovery followed in 2021. During long period increase of emissions is followed by strong rise of permits price on market.

As example of a company involved in the cap and trade system Croatia Airlines is chosen and basic facts considering this issue are analysed.

Key words: greenhouse gases, cap and trade, Kyoto protocol, emission allowances

1. Introduction

From time immemorial, man has tried to adapt the environment to himself and his needs. The significant impact of man on the environment came to the fore after the first industrial revolution until nowadays. Men's impact on environment is manifold but following analysis is concentrated on energy use and various energy transformations from primary energy sources especially fossil fuels. This trend was enhanced by emerging economies especially those of China and India in last few decades and their steep increase of energy needs provided mostly by coal. Also, to be mentioned, they follow their legal right to develop and they are no solely responsible for environmental impact to Earth. That leads us to mainstream thesis of global warming and climate changes caused by human activities connected with fuel combustion and energy transformation, industrial production, agricultural activities etc. Results are additional emissions of greenhouse being accumulated in the atmosphere enhancing existing i.e. natural "greenhouse effect" and consequently overheating the Earth's surface and lower atmosphere. Trying to affect

consciousness and responsibility of people for that what happens many climatic and energy policies are set. Let us go few decades in past for short review of activities to meet climate changes.

2. Climate change conferences

Problem of climate changes is a global problem and transcend national borders. For this reason, the First and Second World Climate Conference were held in Geneva in 1979 and 1990. Both conferences made pathway for further activities. In 1992 the United Nations Framework Convention on Climate Change was signed in Rio de Janeiro. Since then, the progress of each country in meeting the agreed provisions has been monitored every year, and new ones have been negotiated [1]. In 1997 the Kyoto Protocol, a global agreement on climate change, was adopted and signed by almost all members of the United Nations. Countries are divided in few groups according to their development status such Annex I and Annex II for developed countries and Non-Annex I and LDC (Least Developed Countries) for poor economies of Third World. There are also Annex B countries for countries from Annex I but with some peculiarities respecting terms of achieving their targets. Croatia is Annex I country [2]. Kyoto Protocol has been ratified by 55 countries which account for about 55% of total emissions but without United States among them and Canada that withdrew from it in 2012, all leaving bitter taste after all efforts.

The main goal of the Kyoto Protocol is to oblige countries to reduce greenhouse gas emissions to an appropriate level by a pre-determined time and that is year 1990. This Protocol entered into force in February 2005 and consists of 28 articles, provisions and procedures aimed at reducing emissions, monitoring methods and the ultimate achievement of certain objectives. The first round of compliance with the prescribed measures lasted from 2008 to 2012. Subsequently, in 2012, the signatories of the Kyoto Protocol ratified the Doha Amendment, which entered the second round of eligibility for the Kyoto Protocol. The second round lasted from 2013 to 2020. This new agreement finally entered into force in 2015 at the Conference of the Parties in Paris.

3. Cap and trade

The EU has implemented the European Emissions Trading System (EU ETS). The ETS is based on a cap and trade system. This system regulates the emission of greenhouse gases (GHG) into the atmosphere. Cap and trade implies that the government limits the number of gases emitted into the environment by allocating a certain amount of permits to each industry which is part of the system. In doing so, direct or indirect trading in licenses is allowed. Permits are issued once a year, according to predefined criteria. Each allowance permits a company to emit one ton of emissions. The total amount of the cap is split into allowances. If industry emits less CO₂ per year, it can sell the remaining emission permits to industry that emits more than the permitted limit. If the company emits more CO₂ per year than allowed value, there are two options, either purchase additional permits from another

company that emits less CO₂ emissions for that year or pay a fine depending on the amount of CO₂ emissions exceeded.

The ultimate goal of the cap and trade mechanism is to reduce greenhouse gas emissions by forcing some companies to reduce CO₂ emissions or pay a fine if they fail to do so. In this way, each company is allowed to choose the most cost-effective and efficient combination of buying and selling to ultimately contribute reducing CO₂ emissions [3, 4].

4. CO₂ emissions trends

Growing trend of CO₂ emissions is result of economy growth all over the World which couldn't be possible without available energy sources especially fossil fuels. Trend of emissions from beginning of 20th century until nowadays can be seen in figure 1 [5]. Increasing trend with some exceptions is constant through whole period including that from beginning of Kyoto protocol. Due to Covid-19 pandemic circumstance in 2020 emissions were reduced by 5.2% mainly because completely slowed economy. As activities accelerated in 2021 more energy was needed and global emissions were increased, including that from fossil fuels with 40% share of coal. Emissions increased by 2.1 Gt compared to 2020. By 2021, the largest annual increase in CO₂ emissions was recorded in 2010. However, the jump in 2021 surpassed that of 2010. CO₂ emissions in 2021 rose to about 180 megatons (Mt) above pre-pandemic levels in 2019. Without increasing output from renewables and nuclear power, the rise in global CO₂ emissions in 2021 would have been 220 Mt higher.

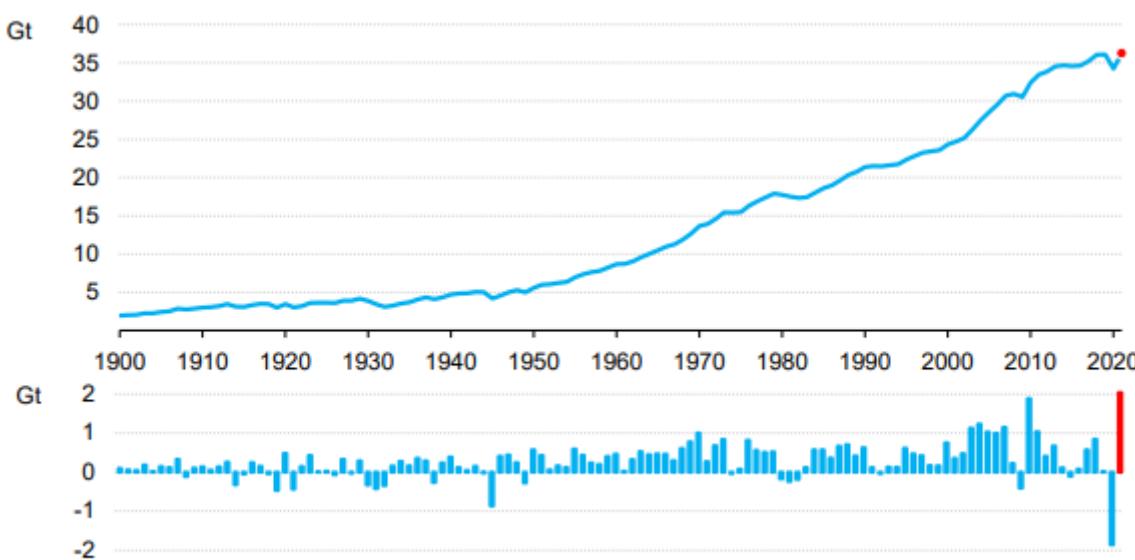


Figure 1. CO₂ emissions from energy combustion and industrial processes, 1900-2021 [5]

During 2021, the largest increase in CO₂ emissions was related to the heat and electricity production sector compared to 2020 overall decrease (Figure 2.). CO₂ emissions in this

sector amounted to about 14.6 Gt, which is 46% of the total global increase in emissions. At the same time, almost all global growth in this sector was related to the China. The only sector in which global CO₂ emissions have remained below 2019 levels is transport.

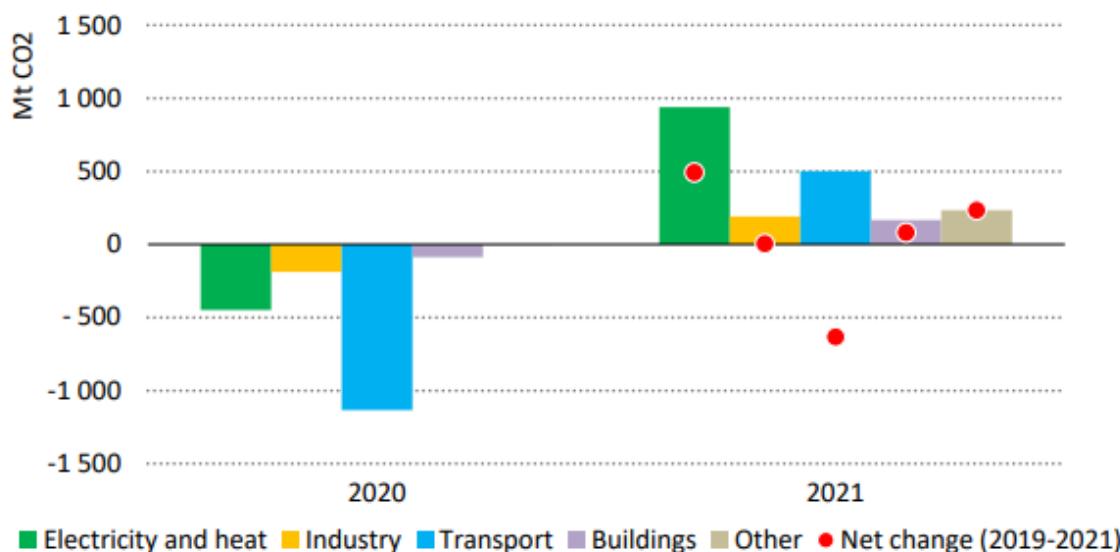


Figure 2. Annual change in CO₂ emissions by sector, 2020 and 2021 [5]

While emissions in emerging economies raised constant, CO₂ emissions in the European Union for 2021 are less than 2.4% compared to 2019 emissions. In the United States, emissions were 4% lower. In Japan, emissions fell by 3.7% in 2020. As result of increased use of renewable energy sources, electrification and energy efficiency improvements have reduced emissions by approximately 100 Mt (Figure 3.) [5].

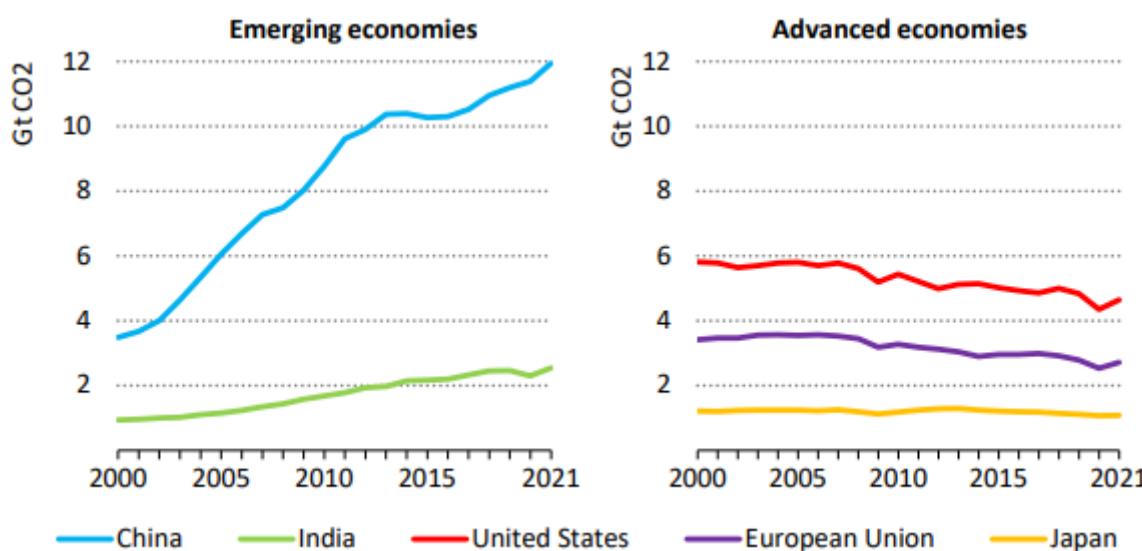


Figure 3. CO₂ emissions in selected emerging and advanced economies, 2000-2021 [5]

5. The cost of EU carbon permits

During 2019, governments collected about \$ 45 billion in CO₂ emissions trading. Half of the revenue was allocated to development projects, while about 40% of the revenue was invested in the general budget. CO₂ prices have been rising in recent years, and mostly vary in some countries from 1 USD/t CO_{2e} to 119 USD/t CO_{2e}. The biggest price jump has occurred in Asia over the past few years. For instance, prices in Switzerland tripled, moving up to EU allowance prices, and Portugal's carbon tax rate almost doubled to €24/tCO_{2e} (US\$26/tCO_{2e} [6]).

Emission market is obviously very lucrative. How was in the past can be seen in figure 4. Historic data for over fifteen year period shows that EU carbon permits were very cheap, in period after 2007 almost or even below zero. Then rose to almost 30 euro per tonne and for long period were round 5 euro per tonne. In 2018 they started to increase and after already mentioned pandemic sink, on 15th November 2021 reached a value of 66 euros per tonne and then exploded in 2021 and 2022 to over 90 euro per tonne maximum level. This is explained as result of rising fuel prices due to fear of natural gas supply to be disrupted [7].



Figure 4. Historic data of EU carbon permits price [6]

Presented CO₂ emissions prices make good opportunity to increase incomes for companies with allowances excess, or high cost for those with lack of allowances. Therefore, for each company is vital to know or at least to estimate its own emission. Following equation is basis

for calculating emissions from various sources and is expressed in metric tonnes of GHG [8]

$$\text{Greenhouse gas emissions} = \text{activity} \cdot \text{emission factor} \cdot \text{conversion factor} \quad (1)$$

Equation looks very simple but really it is far from this. The activity depends on the process from which GHG is released. The emission factor depends on the type of GHG and the type of activity. It is defined by the mass balance and empirical observations. The conversion factor represents part of the activity that leads to the production of GHG. How to use equation (1) and how to get values of these coefficients and emission levels is described in the guidelines issued by Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC [8]. This basic equation evolved to more sophisticated expressions but they all have in common very demanding methodology and using vast quantity of various data.

4. Example of company in emissions trading - Croatia Airlines

For end of this analysis Croatia Airlines (CA) as Croatian national air carrier is chosen. Their core business is air transport of passenger and this activity result in direct GHG emission dominantly CO₂. For that reason CA is member of the EU ETS process, Swiss emissions trading system and part of the CORSIA system, three platforms for managing CO₂ emission trading. The EU ETS system has allowed it to expand to a significantly larger number of flights. In recent years, the company has sought way to reduce fuel consumption in order to get environmental and economic benefits. Also, the relationship between passenger growth and CO₂ emissions should be emphasized. The increase in the number of passengers is not proportional to the increase in CO₂ emissions, but has positive effect on emissions. Passenger transportation by planes emits significantly less CO₂ compared to car transport. In 2019, two additional leased aircraft were introduced, resulting in an increase in CO₂ emissions in the final annual amount. The standard EU ETS MRV method, using an emission factor of 3.15 meaning one ton of fuel produces 3.15 tons of CO₂, was used for the calculation.

Based on official statistics of Croatia Airlines and relevant method total direct emission was calculated.

In 2019, the company's direct emission performance based on energy consumption is 184,638 kg of CO₂, which is 3.5% less than the year before when it amounted to 191,334 kg of CO₂. For servicing purposes on land company uses HEP ZelEn certified electricity implying there are no GHG emissions.

For 2019, the cumulative CO₂ emission of Croatia Airlines was 206,516,792 kgCO_{2e}, which is an increase of 0.7% compared to 2018 as new aircraft was introduced to fleet in 2019 [9]. In 2019 this company exceeded the permitted CO₂ emission permits for that year and had to meet its obligation by April 2020. That was achieved by improving the use of free emissions for 2020 to avoid a fine of HRK 15.5 million for exceeding it.

6. Conclusion

Strong economic growth of Western countries in last two centuries is followed by strong expansion of emerging economies such as China and India. This resulted in growing demand for raw materials and especially energy causing strong impact to environment. One of most exploited environmental issues is global warming as consequence of increased GHG emission in last two hundred years. In last few decades of last century under auspices of United Nations and World Meteorological Organization crucial steps were made to define energy and climate agenda for future and ongoing 21st century. Kyoto protocol was first and basic document with obligatory framework for GHG mitigation in order to keep warming of Earth's surface under control. Three mechanisms to achieve this goal were proposed, one of them is trading with CO₂ emissions. Expectations of all three mechanisms were great. That was time of huge energy consumption coinciding with accelerated development of China and other emerging economies demanding more and more energy mostly from fossil fuels. As shown before results were disappointing, CO₂ emissions kept growing very steeply in China and India while in developed countries they decreases slowly, despite all measures undertaken in past. Major impact to emission fall was in 2020 due to Covid-19 pandemic when all activities all over the World were stopped.

As one mechanism EU has implemented the cap and trade principle, which has succeeded in motivating polluters to reduce CO₂ emissions into the environment. But, trading with allowances is good opportunity for extra profit or inevitable extra cost. From previous analysis can be seen that CO₂ emissions prices raised from few euros ten years ago to over 90 euro per tonne these days, but emissions in EU falls not nearly at the same rate. It seems there is no connection between emission prices and quantity of CO₂ emitted to atmosphere. Also, high share of renewables realised in last two decades including energy efficiency improvement in all sectors gave modest result. In time when this paper is written war in Ukraine is still on without end to be seen, sanctions implemented by EU to Russia and great uncertainty about European energy security of supply with possible disruption of natural gas pushes Europe back to coal. This is sobering for Europe, because now becomes obvious that all green policies set by EU didn't solve neither GHG emission problem nor strong dependence on natural gas and oil import.

7. Literature

- [1] Trako, Tijana. Editor's foreword // *Socijalna ekologija*, 25(2016.) 1-2, 3-9. (ISSN 1330-0113)
- [2] Kosor, Maja. Kyotski protokol s posebnim osvrtom na pregovore Republike Hrvatske o „baznoj“ godini // *Pravnik*, 46(2012) 92, 81-103. (ISSN 0352-342X)
- [3] Grgić, Ivan; Hrnčević, Lidia. European Union emissions trading system // *Nafta i plin*, 40(2020) 163– 164, 70-82. (ISSN 2718-3114) (in Croatian)
- [4] <https://climatechange.novascotia.ca/nova-scotias-cap-trade-program>, accessed 7.5.2022.
- [5] International Energy Agency. Global Energy Review:CO2 Emissions in 2021

- [6] World Bank Group. State and trends of carbon pricing 2020. (ISBN 978-1-4648-1586-7)
- [7] <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>, accessed 18.6.2022.
- [8] Tumara, Dražen. Methodology of carbon dioxide emission calculation (master's degree thesis). University of Zagreb Faculty of Chemical Engineering and Technology, 2015.
- [9] Croatia Airlines. Nonfinancial report 2019. (in Croatian)
- [10]Croatia Airlines. Nonfinancial report 2020. (in Croatian)

Gas Power Plants as Back Up Facilities for Covering Wind Power Plant Production Variability

F. Mesar¹, * I. Sutlović¹, V. Filipan¹, V. Dananić¹

¹Faculty of Chemical Engineering and Technology, University of Zagreb, Zagreb, Croatia

*Corresponding author. E-mail: fmesar@fkit.hr

Abstract

Variability of wind power plant generation (WPP) is the result of wind intermittence and has to be compensated in order to keep the stability of the power grid. For this purpose, gas turbine power plants can be used. As some of the previous research presented at this conference has shown, using these facilities causes additional CO₂ emissions. In addition to that, the question is how to choose ones i.e., which criteria have to be taken into consideration. In this paper, based on Croatian WPP production annual reports issued by Croatian Transmission System Operator Ltd. (HOPS d.o.o.), the necessary power output of the gas power plant is analysed. Data has shown that the power generation of Croatian WPPs varies significantly through the analysed period and an appropriate solution is suggested. Also, economic evaluation of using these plants is made especially from high investment cost, a small number of working hours, and poor part load efficiency point of view.

Key words: variability of wind power plant generation, gas turbines power plant

1. Introduction

Along with solar energy and hydropower, wind energy is one of the three main representatives of renewable energy sources (RES), which is widely represented as a source of electricity at the global level. Wind as a natural resource is available in a large part of the World. When blowing at a sufficient speed, it provides the necessary power to produce electricity. However, the main feature of wind-related production of wind power plants (WPP) is unpredictability and variability of production. In order to assure the stability of the power system, it is necessary to balance this variability by compensating for deficits or disposing of excess electricity in the system. One of the possibilities for covering the deficiency is the use of gas turbine power plants [1]. The analysis is based on available data for the Croatian power system delivered by Croatian Transmission System Operator Ltd. (HOPS d.o.o.) for the period from 2016 to 2021.

2. Installed power and production of WPP in Croatia

The first wind power plant in Croatia was put into operation in 2004. Figure 1. shows the graph of the growing trend of the installed power of WPPs until 2021 [2].

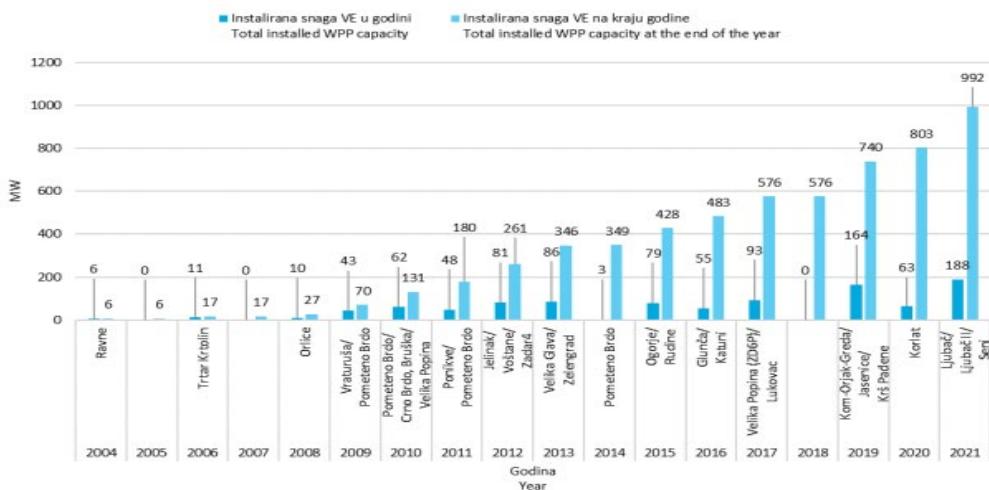


Figure 1. Installed power of WPPs through the years [2]

Considering the rise in installed power through the years, corrected production has been introduced using the reference value k . Coefficient k represents the ratio between maximum installed power (in 2021) and actual installed power in a specific year and can be calculated

$$k = \frac{P_{max}[\text{MW}]}{P_{year}[\text{MW}]} \quad (1)$$

where:

P_{max} is the maximum installed power of 990,15 MW in 2021 and P_{year} is the actual installed power in a year (2016 to 2021).

Corrected production represents the approximate value of production that could be achieved if installed capacities in 2021 were available through the previous period starting from the year 2016. Corrected production is calculated by multiplying the coefficient k by the actual annual production of WPPs. Values of coefficient k for each year and those of corrected production are given in Table 1.

Table 1. Installed power, actual, and corrected production in Croatia

Year	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Installed power, MW	483,05	576	576,00	646,25	801,25	990,15
Coefficient k	2,05	1,72	1,72	1,53	1,24	1,00
Production, GWh	1012,51	1203,81	1334,44	1455,91	1720,47	2071,41
Corrected production, GWh	2075,43	2069,36	2293,92	2230,67	2126,08	2071,41

Notice, data in Figure 1. differ slightly from those in Table 1. because there has been a calculation error in the original paper.

3. Variability of production

From available data for annual production of WPP, average monthly production can be calculated

$$WPP_{avgmonthly} = \frac{WPP_{year}}{12} \quad (2)$$

where:

WPP_{year} represents annual WPP production and 12 is the number of months in a year. The differences (Δ_{month}) between average and actual monthly production can be calculated

$$\Delta_{month} = WPP_{avgmonthly} - WPP_{actmonthly} \quad (3)$$

where: $WPP_{avgmonthly}$ represents average monthly production for the current year (2016 to 2021) and $WPP_{actmonthly}$ is an actual monthly production of all WPP in operation in a particular month. Value from equation (3) can be less, equal, or greater than zero [3]. When greater than zero WPP production in a current month is lower than average monthly production and needs to be covered by alternative energy sources, like GPP. When the value is less than zero WPP production in a current month is higher than average, so there is no need for covering variability, yet excess energy must be properly disposed, for example in pumped-storage hydropower plant or batteries. The main reason is power grid stability. Calculated differences (Δ_{month}) between average and actual monthly production from the year 2016 to 2021 are presented in Table 2 [2].

Table 2. Values of Δ_{month} from 2016 to 2021

	Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Year	Δ_{month} , GWh											
2016	-2,76	-30,47	-18,56	-2,09	3,04	32,72	30,68	-2,09	18,57	-9,92	-23,60	4,50
2017	-20,43	-1,83	-11,80	-10,28	21,39	39,17	32,87	14,42	6,86	27,14	-30,68	-66,82
2018	-20,98	-47,10	-30,28	15,94	36,94	-1,87	30,26	22,92	28,89	-20,48	-7,81	-6,44
2019	-39,20	-28,20	-33,53	-3,02	-6,29	44,89	40,68	47,41	29,55	57,48	-51,05	-58,73
2020	21,81	10,57	-57,90	7,65	-38,55	45,07	19,56	12,66	5,20	15,71	-0,13	-41,65
2021	-58,41	8,71	-24,69	-5,60	26,21	86,43	51,95	35,01	48,76	-55,24	-33,19	-79,96

Summing only positive values of Δ_{month} , the total annual difference between average and actual WPP production Δ_{year} can be calculated

$$\Delta_{year} = \sum \Delta_{month} \text{ if } \Delta_{month} > 0 \quad (4)$$

Values calculated from the equation for the given criteria are presented in Table 3.

Table 3. Values of Δ_{year} from 2016 to 2021

Year	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Δ_{year}	89,51	141,85	134,95	220,02	138,23	257,08

Negative values are not taken into consideration since share of electricity generated in WPP still does not exceed 30% during minimal consumption. Therefore, there is no need for storage. Excess energy production can be used in pumped storage power plant Velebit.

4. Required GPP power

Knowing the amount of energy that must be covered by GPP and its operation time, the required monthly power [MW] of GPP can be calculated

$$P_{month} = \frac{E}{t} = \frac{\Delta_{month} [\text{MWh}]}{t [\text{h}]} [\text{MW}] \quad (5)$$

where: E represents values of Δ_{month} [MWh] and t is time in hours [h]. Only positive values of Δ_{month} were considered for calculating the power of GPPs while negative values were disregarded. Required monthly power and average monthly power of GPP are presented in Table 4. as well as the value defined by equation (5).

Table 4. Values of P_{month} from 2016 to 2021

	Month												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Year	P_{month} , MW												Average
2016					4,1	45,4	41,2		25,8			4,5	24,5
2017					28,7	54,4	44,2	19,4	9,5	36,5			32,1
2018				22,1	49,7		40,7	30,8	40,1				36,7
2019						62,4	54,7	63,7	41,1	77,3			62,4
2020	29,3	15,2		10,6		62,6	26,3	17,0	7,2	21,1			23,7
2021		13,0			35,2	120,0	69,8	47,1	67,7				58,8

The average annual power of GPP is represented in Figure 2. Notice the wide range of necessary average power to support the lack of electric energy. This range is much wider on month level varying from 4,1 MW to a huge 120 MW. This makes choosing the appropriate power of GPP very demanding having in mind the technical characteristics of gas turbine especially its low efficiency during part load operation which is discussed later.

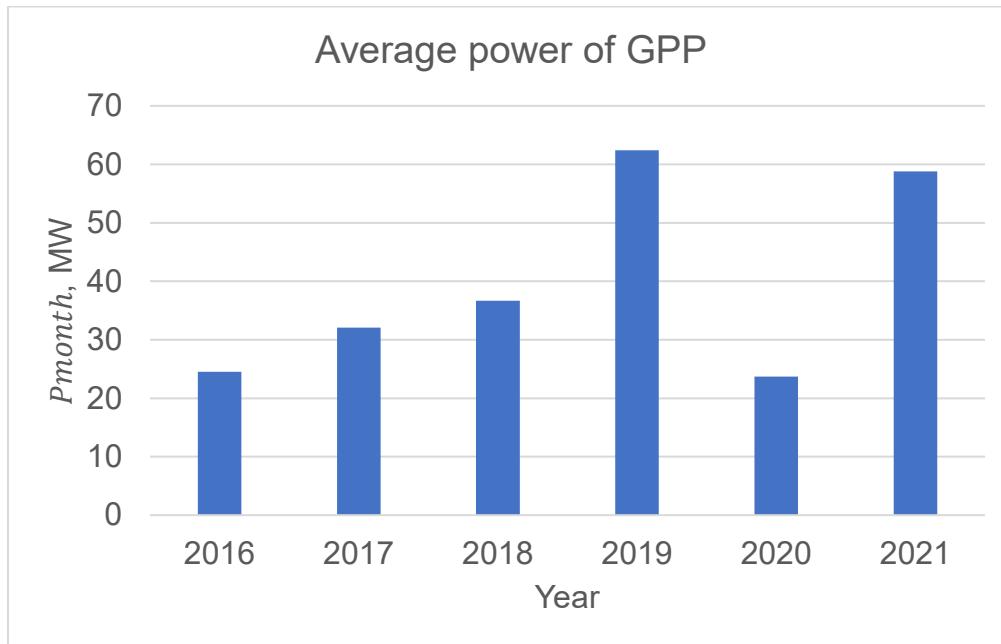


Figure 2. Average monthly power of GPP from 2016 to 2021

5. Economic evaluation

Knowing the annual amount of electricity to be generated from GPP (Δ_{year}) and its thermodynamic efficiency which is around 40% for GPP simple cycle, required thermal energy from GPP in form of natural gas combustion for generating sufficient amount of electrical energy can be calculated

$$E_{thermal} = \frac{\Delta_{year}}{\eta} \quad (6)$$

where: Δ_{year} represents the amount of electricity to be generated from GPP and η represents thermodynamic efficiency. According to collected data of electricity price of 67 €/MWh [4] and gas price of 46,65 €/MWh [5] a financial analysis was made and represented in Table 5.

Table 5. Financial analysis of generating electricity from natural gas using GPP

	Δ_{year} , GWh	$E_{thermal}$, GWh	Electricity price [€]	Gas price [€]	Balance [€]
2016	89,51	223,78	5.997.170	10.439.104	-4.441.934
2017	141,85	354,63	9.503.950	16.543.256	-7.039.306
2018	134,95	337,38	9.041.650	15.738.544	-6.696.894
2019	220,02	550,05	14.741.340	25.659.833	-10.918.493
2020	138,23	345,58	9.261.410	16.121.074	-6.859.664
2021	257,08	642,70	17.224.360	29.981.955	-12.757.595

Like shown in Table 5. there is negative balance after the process of converting natural gas into electricity. In order for grid balancing supplier to make profit from the process the electricity selling prices should be much higher.

6. Conclusions

Due to wind fluctuations, WPP generation significantly varies through the years. Installed capacity of WPPs in Croatia grew rapidly over the past few years so the same months of different years can't be compared. Calculating the approximate value of corrected production as explained before shows that meteorological circumstances in 2018 were the most favourable for electricity production by WPPs. Calculated amounts of energy indicate that summer months mostly suffer from lack of wind and, consequently, power must be covered to balance the grid. The required power output of GPP varies from a minimal 4 MW to a maximum of 120 MW, which is a very wide range of values. The average monthly power output minimum is 23,7 MW in 2020. while the average maximum power was achieved in 2019 and equals 62,4 MW. Very high gas price and its potential growth over the next few years, presumed electricity selling price, as well as a rather low efficiency of gas turbines, especially during part load, makes the production of electricity by GPP for grid balancing generally unprofitable. To improve the feasibility of GPP for that purpose higher selling prices of electricity are required, or an alternative solution has to be found.

7. References

- [1] Sutlović, Igor; Benić, Mateja; Raos, Pero; Vištica, Nikola. Estimation of CO₂ Emission From Back Up Facilities for Covering Wind Power Plant Production Variability, //Proceedings 11th International Natural Gas, Heat and Water Conference/, Raos, Pero et al. (ed.). (ISSN 1849-0638). Slavonski Brod: Sveučilište u Slavonskom Brodu, 23.-26.9.2020. p. 85-89
- [2] <https://www.hops.hr/izvjestaji-o-proizvodnji-ve-u-rh>, Annual report on wind power plant generation in Croatia, (access June 22nd, 2022.)
- [3] Sutlović, Igor; Filipan, Veljko; Raos, Pero; Vištica, Nikola. CO₂ Emissions From Back Up Facilities for Covering Wind Power Plant Production Variability vs. Installed Capacity and Output, //Proceedings 12th International Natural Gas, Heat and Water Conference/, Raos, Pero et al. (ed.). (ISSN 1849-0638). Slavonski Brod: Sveučilište u Slavonskom Brodu, 22.-25.9.2021. p. 1-6
- [4] Croatian Energy Regulatory Agency, Annual Report 2020, 2020.
- [5] https://www.gpz-opskrba.hr/pregled-cijena-po-distribucijskim-područjima-gpz-opskrbe/1735?energetski_subjekt_id=1, Pregled cijena po distribucijskim područjima GPZ – Opškrbe (access July 13th, 2022.)

Specifics of textile dye-house wastewater

I. Divjak, A. Sutlović*, B. Vojnović

University of Zagreb, Faculty of Textile Technology, Department for Textile Technology and ecology, Prilaz baruna Filipovića 28a, Zagreb, Croatia

*Corresponding author. Email: ana.sutlovic@ttf.unizg.hr

Abstract

The textile industry is one of major industries that consume large amounts of water. Water is used for textile washing and the process of textile finishing. In addition, it is also one of the largest polluters of the environment, resulting in a high volume of wastewater. The main pollutants in textile wastewater are dyes, organic compounds that form physical or chemical bonds with textiles. Dye-house wastewater purification methods can be physical, chemical, physico-chemical, and/or biological treatment methods. The paper presents a review of the above problems of wastewater from the textile industry and the results achieved in their solution. This includes the analysis of textile dyes, the optimization of the dyeing process, the analysis of water and the selection of effective purification methods.

Keywords: wastewater, dyes, purifying methods, water management

1. Introduction

About 71% of Earth's surface is covered with water ecosystems which contribute to human and animal life. Every ecosystem presents an interaction between an organism and nature. Temperature, humidity and water, light, inorganic salts and atmosphere gasses are some of the parameters that are important for the ecosystem to function properly. The growing world population and the increasing production of various products that enable a more modern lifestyle are causing an increasing amount of waste in many countries, which puts a strain on natural purification mechanisms. Industrial and waste waters pose a significant environmental problem due to their content of degradable and toxic compounds, and therefore cannot be discharged into natural waters without prior appropriate treatment. If such wastewater is discharged into natural receiving waters (streams, rivers, lakes, seas, and oceans) without prior appropriate treatment, it can seriously disturb the balance of flora and fauna and have negative consequences for human health. In addition, the discharge of industrial effluents in the developed countries of the world is restricted by increasingly stringent legislation. Therefore, it is very important to find a suitable method for treating a certain type of industrial wastewater, which is given great importance. Textile industry is one of the industries with the highest water consumption. The largest amount of water is consumed in washing and textile finishing. Large amounts of wastewater left over after

washing or pretreatment of materials contain impurities and dyes that are harmful to the environment. Wastewater may also contain suspended solids, dissolved substances and dissolved gasses. Such organic compounds can cause cancer because hazardous compounds react with chlorine. Dyes in wastewater can endanger flora and prevent the process of photosynthesis, and colored water is usually produced after the dyeing or printing process. In addition, they are considered to be major polluters as they lead to the generation of wastewater. Therefore, wastewater must be treated by chemical, physical, physico-chemical, and biological processes in order to be reused [1].

2. Labeling of chemicals and dyes

Dyes are organic compounds that form physical or chemical bonds with textiles. They have a specific chemical structure that gives them the ability to absorb and reflect the visible part of the spectrum, and this ability is experienced by humans as a subjective experience under the influence of light or perception as color. By the early 20th century there was a need for classifying dyes and pigments [2]. In 1925. Society of Dyers and Colourists (SDC) and American Association of Textile Chemists and Colorists (AATCC) were the first ones to have published databases about dyes and pigments (Colour Index International) where Colour Index (C.I.) identification number consisting of two marks was assigned. The first designation C.I. denotes a generic name related to the field of application and methods of dyeing. The second designation is a construction number which denotes dye structure, solubility and synthesis data. Before establishing databases about dyes and pigments, in 1907. the American Chemical Society (ACS) founded a unit Chemical Abstracts Service (CAS). CAS is a system in which every chemical has its own registration number so it can be easily found in the biggest chemical substances database. Classification of chemical substances preceded registration of chemicals placed on the market, all for the purpose of protecting human health and the environment from their harmful properties and possible risks due to their exposure from production to use [2].

2.1. European regulations for chemicals

REACH (Registration, Evaluation, Authorization and restriction of CHemicals) is a regulation which is applied not only with the industrial chemicals, but with the chemicals from everyday life (e.g. cleaning products, clothes, furniture, etc.). REACH was integrated with a regulation CLP (Classification, Labeling and Packaging). This regulation is derived from the global system of labeling chemicals GHS (Globally Harmonized System). The goals of these regulations are to protect human health and the environment, encouraging and advancing the ability of European chemical industries to compete on the market, to prevent fragmentation of the European market, to find alternative methods of testing dangerous chemicals and to align with the international obligations. Some types of chemical hazards are shown in figure 1 [3].



Figure 1. GHS Pictograms [3]

3. Specifics of textile dye-house wastewater

Textile industry produces about $7 \cdot 10^5$ tons of dyestuff annually worldwide. Textile wastewater contains dyes and chemicals such as acids, waxes, fats, salts, binders, thickeners, urea, surfactants, and reducing agents. It is often being discharged into natural receiving waters (oceans, rivers, streams, etc.) and it can be toxic, mutagenic and carcinogenic [4]. Because of the nature of natural modern dyes, a few of them can be decolourised or degraded even if they are discharged into the conventional biological treatment plant. The biggest concern in the textile industry is the amount of water that is being used and discharged into the environment. Wastewater of the textile industry can also contain formaldehyde, chlorides and heavy metals. Wastewater quality can be defined by physical, chemical and biological characteristics. Physical characteristics are colour, temperature, taste, essence, turbidity and insoluble components (oils and fats, solids). Chemical characteristics are COD-chemical oxygen demand, BOD-biochemical oxygen demand, TOC-total organic carbon, TOD-total oxygen demand, salinity, hardness, acidity, alkalinity, hydrogen ion concentration (pH), etc. Biological characteristics are coliform bacteria, fecal coliform, some types of pathogens and viruses [5,6].

4. Wastewater purification methods

As stated above, wastewater needs to be appropriately treated so it can be discharged into the natural receiving waters or directly into the ground. Methods of purification depend on the quality of water determined by law and its further purpose [7]. According to the mechanism of wastewater purification treatment, methods of purification can be physical, chemical, physico-chemical and biological, and some are shown in table 1.

Table 1. Methods of wastewater purification

Physical	Chemical	Physico-chemical	Biological
subsidence	neutralization	coagulation	aerobic degradation
filtration	ion exchange	flocculation	degradation with active sludge
thermal treatment	oxidation	aeration	anaerobic degradation
adsorption	reduction	filtration with active carbon	degradation with fungus
freezing	catalytic degradation	extraction	use of wetlands

4.1. Wastewater purifying method using cationized cotton filter

The main idea for this method is based on the examination of the possibility of application of waste cellulosic material from the textile industry for wastewater purification with a goal that they become a new raw material [8]. This filter has two main functions; it can retain waste fibers that are clogging pumps and membranes and it can adsorb anionic agents that are burdening textile wastewaters. Mercerization is a treatment with alkaline which makes the surface of a fiber smooth, making it shiny. It also increases breaking force and adsorptivity. Cationization is a modification of cellulosic materials with amines and quaternary ammonium salts. Cationized and mercerized fiber retains those properties and with its positive electric charge it gets a high affinity towards anionic agents. In this method authors Tarbuk et. al. [8] have used a substantive dye Direct Red 3. Figure 2. shows the exhaustion for bleached (the lowest percentage), mercerized (middle percentage) and cationized cotton (highest percentage).

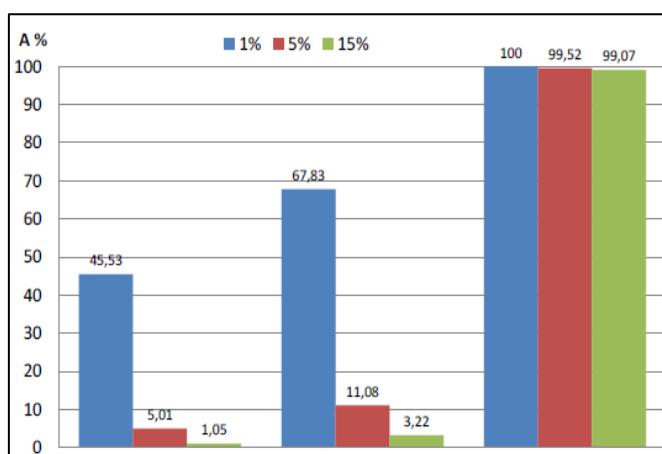


Figure 2. Exhaustion on bleached, mercerised and cationized cotton

In conclusion, cationized cotton fiber, because of its positive electrical charge, has the highest percentage of adsorbed dye [8].

4.2. Oxidation using Fenton reagent

Process of oxidation is based on iron ions (Fe^{2+}) accelerating decomposition of hydrogen peroxide and creating high reactive hydroxyl radicals ($\text{HO}\cdot$). This reaction can be conducted with the presence of light or without light, but for it to happen there must be an oxidation agent (oxygen or hydrogen peroxide) and catalyst (e.g., a metal salt such as iron (III) oxide) [6]. Reactive dye Everzol Black B was used in this method. Light is an important parameter because it speeds up the reduction of iron (III) oxide into iron (II) oxide, which increases degradation of pollutants. Some advantages of this process are that iron isn't toxic for the environment, hydrogen peroxide can be easily transported and in its diluted form isn't toxic. Fenton's process can lead to complete mineralization of some organic compounds, converting them into carbon dioxide, water and inorganic ions. Cetina's team research showed that the decolourization was successful and faster with the presence of sunlight [6].

4.3. Coagulation and flocculation

Coloured wastewaters are colloidal suspensions of negatively charged particles (diameter of 5 to 200 nm) which can be successfully purified with the processes of coagulation and flocculation. Coagulation is a process of converting colloidal suspensions into soluble or poorly soluble products that can be divided by filtration. The most effective method of coagulation is increasing the quantity of electrolytes in the solution. That way concentration of ions with the opposite charge is increasing, zeta potential is decreasing, particles are closer together, it comes to aggregation, coagulation and subsidence [7]. Flocculants are used as a coagulation catalyst to accelerate the process of coagulation. For the coagulation to be effective, the charge of coagulants and flocculants must be higher. Coagulants that can be used are inorganic (e.g. Fe salts) coagulants or organic polyelectrolytes [9]. Agents that are commonly used are combinations of anionic polyelectrolyte as a coagulant and cationic as a flocculant. Anionic coagulant decreases zeta potential of dye particles and assures the creation of flocs. Cationic flocculant as a coagulation catalyst enables flocs to bond and make a solid knob. Decolourisation will be successful if the coagulant is overdosed, which leads to a dangerous problem of residue polyelectrolytes that can be found in the water that will be recycled. This problem is solvable with the process of filtration with powdered activated carbon. Authors Parac-Osterman et. al. showed that the degree of decolourization depends on the concentration of dyestuff, coagulant/flocculant, fastness and time of mixing [9].

4.4. Use of wetlands and column techniques

Constructed wetland (CW) or man-made wetland is a nonconventional biological purifying system which imitates water purifying processes that occur in nature. CW has many advantages such as low construction and price, simple installation and maintenance[10]. It is known to be the most efficient purifying method because it combines several various processes such as filtration, adsorption, chemical and biological purifying methods. Elements that define wetland systems are type of soil, plant life and hydrology [11]. Authors

Đurašević et. al. optimized a constructed wetland system in laboratory conditions by combining different materials that are used as adsorbents; gravel, sawdust and shredded tree bark [12]. Purification efficiency depends on the wastewater constitution. Conclusion of this method is that the gravel doesn't give the best results because of its small specific surface area. Sawdust and tree bark give the best results even though there is a defect which is unwanted colouration of purified water [7]. Column technique is a cheap method of biosorption in which layers of adsorbents are arranged on top of each other forming a vertical treatment medium. Adsorbents that were used are fine sand, sand, gravel and coarse gravel. In conclusion, this method showed great results that were obtained by assembling treatment media adsorbents according to real geological profiles [12].

Figure 3 shows efficiency of the methods presented in this paper.

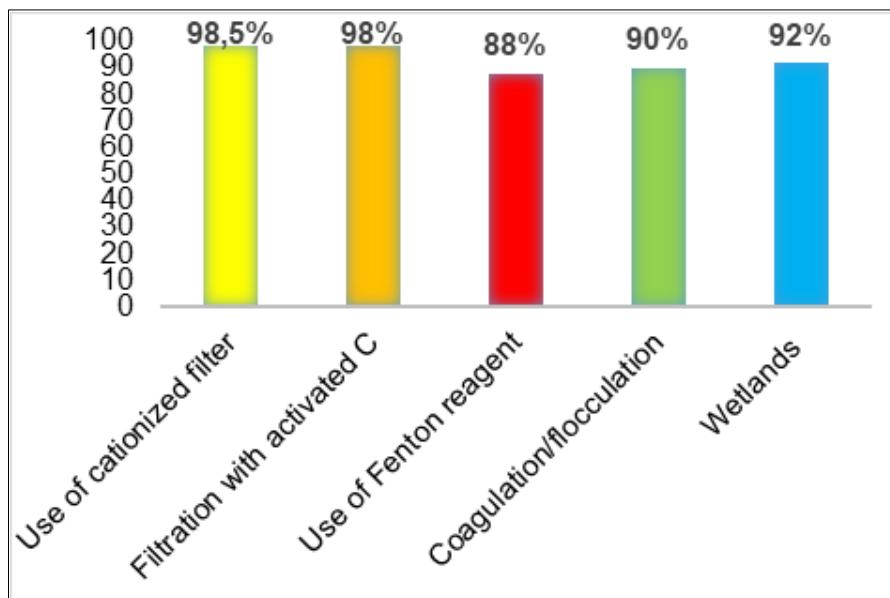


Figure 3. Efficiency of purifying methods

Figure shows that the percentage of efficiency is very high for majority of methods (over 90%) and the best result is with the use of cationized filter.

5. Conclusion

The biggest concern in the textile industry is the amount of water that is being used. For it to be discharged into the natural receiving waters or directly into the ground it needs to be appropriately treated with specific purification methods. Some of the methods give great results but there are some side effects like residues, unwanted colouration of purified water, etc. From all research in this paper we can conclude that the best results are given if the methods are combined. That conclusion is based on the composition of the wastewater. They are heterogeneous and if the methods of purification aren't combined it can damage for example membrane systems.

6. References

- [1] Barišić Vinko. Wastewater treatment in the textile industry on the example of JADRAN socks factory dd Zagreb // *Tekstil* 54(2005.), 7; 332-336. (ISSN 0492-5882)
- [2] Grgić, Katia; Sutlović, Ana; Brkić, Branka. Labeling of chemicals - dyes according to REACH // *Tekstil* 66(2017.) 11-12; 317-325. (ISSN 0492-5882)
- [3] https://www.chemsafetypro.com/Topics/GHS/GHS_pictogram.html (visited 06/15/2022)
- [4] Sutlović Ana; Vojnović Branka; Sutlović Igor. Textile dye-house wastewater // *Proceedings of the 11th International Natural Gas, Heat and Water Conference*, Osijek, 2020., 9-15 (ISSN 1849-0638)
- [5] Parac-Osterman Đurđica; Sutlović Ana; Đurašević Vedran. Textile dye-house wastewater purification using physico-chemical method and biosorption-possibility of water recycling // *Tekstil* 59(2010.), 7, 307-316. (ISSN 0492-5882)
- [6] Divjak Iva. Influence of concentration of hydrogen peroxide and iron on Reactive Black 5 dye discolouration kinetics using Fentons oxidation process, Master's thesis, University of Zagreb, Faculty of Textile Technology, mentor prof. Mario Cetina, Ph. D. (2022.)
- [7] Sutlović Ana; Vitez Matea; Prosenica P. Wastewater purifying method selection // *Proceedings of the 5th International Natural Gas, Heat and Water Conference*, Osijek, 2014., 189-195 (ISSN 1849-0638) Osijek: 24.09.-26.09.2014.
- [8] Tarbuk Anita; Vojnović Branka; Sutlović Ana. Textile wastewater purifying using a cationized cotton filter // *Proceedings of the 7th International Natural Gas, Heat and Water Conference*, Osijek, 2016., 121-126 (ISSN 1849-0638) Osijek: 28.09.-30.09.2016.
- [9] Parac-Osterman Đurđica; Sutlović Ana. Optimization of conditions for effective coagulation/flocculation decolorization of textile wastewater // *Proceedings of the 3rd Autex Conference*, Poland, 2003., 7-10 Gdańsk: 25.06.-27.06.2003.
- [10] Parac-Osterman Đurđica; Đurašević Vedran; Sutlović Ana. Wastewater purifying using wetland system // *Proceedings of 12th International Conference on Printing, Design and Graphic Communications*, Split, 2008., 177-180 (ISBN 987-95396020-9-1) Split: 21.09.-24.09.2008.
- [11] Parac-Osterman Đurđica; Đurašević Vedran; Sutlović Ana; Griessler-Bulc Tjaša. Use of wetland for dye-house wastewaters purifying purposes // *Asian journal of Water, Environment and pollution*, Vol. 4, 2006., 101-106
- [12] Đurašević Vedran; Parac-Osterman Đurđica; Sutlović Ana. Column techniques for treatment of textile SME's effluents // *Proceedings of 3rd Wetland pollutant dynamics and control-WETPOL*, Barcelona, 2009., 426-427 (ISBN-10: 978-84-692-5587-2) Barcelona: 20.09.-24.09.2006.

Vodospremniци u sustavu vodoopskrbe ***Reservoirs in Water Supply System***

T. Mijušković - Svetinović^{1,*}, M. Kelava¹, S. Maričić¹

¹Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Osijek,
Hrvatska

* E-mail: tatjanam@gfos.hr

Sažetak

Vodoopskrbni sustav je skup građevina i mjera povezanih u funkcionalnu cjelinu s osnovnim ciljem osiguranja potreba za vodom svih njenih korisnika. Jedna od značajnih građevina je vodospremnik, objekt s višenamjenskom zadaćom u vodoopskrbnom sustavu. Kako u fazi korištenja vodospremnika vremenom dolazi do oštećivanja i propadanja konstrukcije uslijed mehaničkih oštećenja, utjecaja vlage te dotrajalosti ugrađenih materijala i dijelova, potrebno je iste na adekvatan način održavati. Naime, poznato je da su curenja iz vodospremnika, prema IWA (International Water Association) metodologiji analize i kontrole gubitaka vode, prepoznata kao stvarni gubitak vode, ali i gubitak koji se relativno lako može detektirati i ukloniti. U radu su analizirani radovi vezani za održavanje vodospremnika te postupci sanacije vodnih komora za osiguranje vodonepropusnosti i zaštite konstrukcije od propadanja pod stalnim utjecajem vlage i vode.

Ključne riječi: vodoopskrbni sustav, vodospremnik, uloga, održavanje, vodonepropusnost

Abstract

A water supply system is a set of facilities and measures connected into a functional unit with the basic goal of ensuring the water needs for all its users. One of the significant element of a water supply system is a reservoir, a facility with a multi-purpose role in the system. During the using the water reservoirs, the structure of a water tanks are damaged and deteriorated as result of mechanical damage, the influence of moisture and dilapidation of the installed materials and parts. Because of it is necessary to maintain reservoirs in an adequate manner. Namely, it is known that leaks from reservoirs, according to the IWA (International Water Association) methodology for analysis and control of water losses, are recognized as actual water loss, but water loss that can be relatively easily detected and eliminated. The paper describes the activities related to the maintenance of these facilities and the procedures for rehabilitating water chambers to ensure water proof and protect structures from deterioration under the constant influence of moisture and water.

Key words: water supply system, reservoir, role, maintenance, waterproofing

1. Uvod

Vodospremni su građevine koje treba imati svaki vodoopskrbni sustav radi bolje i sigurnije opskrbe vodom nekog naselja. Svaki vodospremnik mora imati dovoljan volumen, osigurati neprekidnost opskrbe vodom, biti vodonepropustan, mora sačuvati dostignutu propisanu kakvoću vode te mora biti ekonomski prihvatljiv za gradnju i održavanje. Ipak, može se reći da je osnovna uloga vodosprema u vodoopskrbnom sustavu spremanje vode te osiguranje potrebnog pogonskog tlaka u vodoopskrboj mreži. Spremanje vode podrazumijeva:

- a) Spremanje vode zbog ujednačavanja količine vode koja dotječe u vodospremnik i količine koja se troši u naselju. Svi trenutni viškovi vode akumuliraju se u vodospremniku, a troše kada se jave negativne razlike između dotjecanja i potrošnje.
- b) Spremanje vode koja je nužna za gašenje požara u skladu s važećim pravilnikom o protupožarnoj zaštiti.
- c) Spremanje sigurnosne rezerve vode za slučaj poremećaja dotoka/opskrbe, odnosno pojave akcidentnih situacija koje ugrožavaju normalnu opskrbu naselja vodom.

Kod dimenzioniranja volumena treba uzeti u obzir i gubitke koji se javljaju u vodoopskrbnom sustavu te volumen potreban za održanje tlaka te pogonski volumen. Volumen za održavanje tlaka nazivamo još i „mrtvi volumen vode“ a odnosi se na minimalnu količinu i razinu vode koja mora biti u spremniku kako bi se osigurao pogonski tlak u vodoopskrbnom sustavu. Pogonski volumen je nužan zbog tromosti sustava dotoka vode što znači da osigurava opskrbu dok se ne uspostavi dotok u punom kapacitetu, ovaj volumen osigurava da se crpke ne uključuju prečesto. [1]

2. Vodospremni

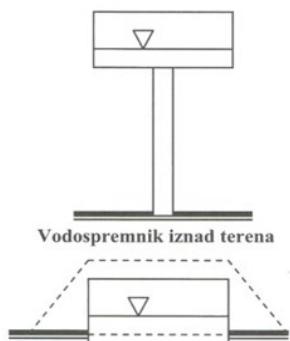
2.1. Podjela i osnovni elementi

Vodospreme možemo podijeliti na (Slika 1) [1]:

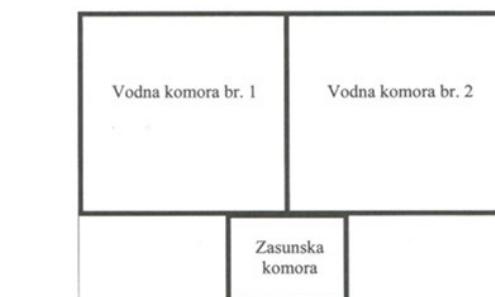
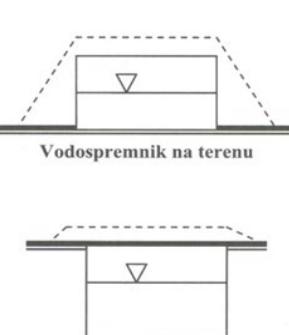
- a) Visinske vodospreme koje imaju razinu vode iznad potrošača tako da voda prema potrošačima odlazi gravitacijski i dijelimo ih na:
 - *Ukopane vodospreme* koje su pretežito ukopane u teren i izvode se na mjestima s najpovoljnijim visinskim i horizontalnim odnosima u odnosu na potrošače;
 - *Vodotornjeve* koji se nalaze u potpunosti iznad terena radi postizanja potrebnog tlaka u vodoopskrboj mreži. Primjenjuju se na lokacijama gdje nema topografskih uvjeta za izvedbu ukopanih vodosprema. S obzirom na visoke troškove izgradnje oni se uglavnom koriste samo za djelomično izjednačavanje dotoka i potrošnje, a potrošnja se većim dijelom regulira upotrebljom promjenjivog rada crpki.
 - *Tunelske vodospreme* se izvode u brdskim masivima (čvrstoj stijeni);
 - *Hidrofori* ili vodospreme pod tlakom koje se koriste za lokalno povećanje tlaka kod individualnih potrošača ili manje grupe potrošača;
 - *Prekidne komore* koje se koriste isključivo za kontrolu tlaka u sustavu.
- b) Niske vodospreme su smještene ukopane na nedovoljnoj visini za osiguranje tlaka u vodoopskrboj mreži te se voda iz njih do potrošača dovodi pomoću crpki.

Vodosprema se sastoji od dva osnovna funkcionalna i građevinska dijela (Slika 2):

- i. Vodne komore, koja služi za spremanje vodnih količina, a vodospremnik može biti s jednom, dvije (Slika 2) ili više komora,
- ii. Zasunske komore, u kojoj su smješteni cjevovodi (krajevi dovodnog i početak odvodnog cjevovoda), armature za upravljanje vodospremnikom, ispusti, preljevi i instrumenti za mjerjenje razine vode.



Slika 1. Shematski prikaz podjele vodosprema u odnosu na njihov visinski položaj [1]



Slika 2. Osnovni elemeti vodospreme ispred mesta potrošnje [1]

Vodospreme veće od 100 m^3 moraju imati minimalno dvije vodne komore, a one manje mogu imati i samo jednu vodnu komoru. Dvije komore su nužne za osiguranje neprekidne opskrbe tijekom održavanja. Komore se moraju redovito održavati, odnosno prazniti radi čišćenja i pranja. U razdoblju dok se jedna čisti, u funkciji je druga komora i obrnuto. U sustavima gdje se nalazi samo jedna vodna komora, tijekom pražnjenja spremnika radi čišćenja, koristi se obilazni vod između dovodnog i opskrbnog cjevovoda. Ovi radovi se iz finansijskih razloga planiraju u vrijeme smanjene potrošnje vode u naselju. U slučaju kada se vodospreme u vodoopskrbnom sustavu nalaze ispred potrošača tada svaka komora za svoj rad mora imati: dovodni cjevovod, opskrbni cjevovod, muljni ispust i preljevni cjevovod.

2.2. Zaštita vodospremnika i očuvanje kakvoće vode

Kako bi se omogućio normalan rad vodospreme i njezina dugotrajnost na samim vodospremama se uspostavlja nekoliko vrsta zaštite, a to su prema [1]: fizička zaštita, sanitarna zaštita, tehnološka zaštita ili zaštita kakvoće vode i zaštita konstrukcije.

Pod pojmom *fizička zaštita* smatra se strogo nadziranje objekta opremom, ogradijanje objekta posebnom ogradom koja sprječava ulazak neovlaštenim osobama, angažiranje zaštitarske službe i dr. Razlog tome je osjetljivost objekta / vode na slučajno ili namjerno zagađenje. Kako bi se opasnosti od onečišćenja svele na minimum potrebno je pridržavati se sanitarnih procedura koje propisuju korištenje sanitarno ispravne obuće i odjeće.

Sanitarna zaštita podrazumijeva češću kontrolu zdravlja zaposlenika koji imaju ovlaštenje za ulaz u vodospreme te im se nakon toga izdaje dozvola za rad. Također, na sve ulaze i otvore se postavlja zaštitna rešetka kako bi se sprječio doticaj životinja i kukaca s vodom jer oni mogu biti prijenosnici različitih bolesti koje se prenose vodom.

Tehnološka zaštita se odnosi na kakvoću vode i vodonepropusnost konstrukcije i opreme (cijevi, oblikovni komadi, armature). Za ovaj tip zaštite je vrlo važna faza projektiranja gdje je potrebno osigurati sprječavanje bilo kakve kemijske, fizikalne i biološke promjene kakvoće vode. Aktivnosti koje osiguravaju održavanje ulazne kakvoće vode su: dobar izbor materijala, sprječavanje prodiranja svjetla u vodospremnik, održavanje ulazne temperature vode, prozračivanje i cirkulacija (stalno kretanje vode od ulaza prema izlazu).

Kod izbora materijala potrebno je pridržavati se direktiva EU, odnosno ne koristiti materijale koji negativno djeluju na kakvoću vode. Beton i cementni premazi su uglavnom prihvatljni materijali ali se treba paziti s primjenom različitih aditiva. Potrebno je izvesti glatku podlogu bez pora kako bi se omogućilo jednostavnije pranje i čišćenje spremnika.

U svakom trenutku sprječavanje prodiranja svjetlosti u vodnu komoru je vrlo bitno kako bi se spriječila fotosinteza i razvoj algi i biljnog planktona.

Održavanje ulazne temperature je bitno zbog zadržavanja pitkosti vode. Temperatura se zadržava korištenjem termoizolacijskih ploča koje se ovisno o tipu vodospreme (ukopane ili iznad zemlje) ugrađuju po obodu i/ili stropnoj ploči. Idealna temperatura vode je 15°C.

Prozračivanje i ventilaciju koristimo kako bi se voda održala u odgovarajućem aerobnom stanju i spriječilo stvaranje neugodnih mirisa zbog moguće anaerobne razgradnje organskih tvari. Također, prozračivanje i ventilacija su nam vrlo bitni zbog poboljšanja otapanja kisika u vodi, čime dobivamo bolju kakvoću vode, te zbog smanjenja vlažnosti unutar prostorija, čime štitimo konstrukciju i elemente vodospreme od korozije. Prozračivanje postižemo ugradnjom odzračnih otvora koji se postavljaju po stropu i oplošju objekta. Svi otvori ventilacija se moraju zaštiti finim mrežama kako bi se spriječio ulazak kukcima i životinjama u objekt. Ovisno o mikrolokaciji objekta i stanju u okolišu potrebno je poduzeti sve mjere kako ne bi sa zrakom dolazilo do onečišćenja vode (plinovi, prašina i sl.).

Cirkulacija vode je bitna kako se ne bi stvarala ustajala voda u spremniku, što može uzrokovati lošiju kvalitetu i neugodne mirise vode. Tečenje vode od ulaza prema izlazu se usmjerava tako da se cijeli sloj vode po vertikali stalno kreće prema izlazu. Isto se postiže ugradnjom usmjerivača toka vode, najučinkovitija izmjena se postiže spiralnim usmjerivačima kod vodospremnika kružnog poprečnog presjeka.

2.3. Mjerenje, upravljanje i signalizacija vodosprema

Mjerenje i bilježenje osnovnih podataka u vodoopskrbnom sustavu podrazumijeva hidrauličke, električne i mehaničke veličine te parametre o kakvoći vode [2]. Mjerni uređaji u sastavu vodospremnika se odnose na mjerenje razine vode i protok na ulazu i izlazu, a razlikuju se prema načinu ugradnje, tehnologiji mjerjenja i izvedbi. Najčešće primjenjivani uređaji su pitotove cijevi, razne vrste vodomjera, venturijeve cijevi, ultrazvučne i elektromagnetske prigušnice i dr. Manje količine vode mjeri se kućnim vodomjerima različitih veličina i izvedbe, a najčešće su to krilasti vodomjeri. Kod većih protoka vode upotrebljavaju se turbinski, tzv. Woltmannovi vodomjeri koji rade po načelu okretanja horizontalno postavljenog hidrometrijskog krila.

Razinu vode u spremnicima moguće je mjeriti upotrebom plovaka, raznih vrsti sondi te električnih mjerača. Plovci su uređaji za mjerjenje razine vode koji se primjenjuju u

vodospremnicima, crpnim bazenima i drugim pogodnim mjestima. Povezani su s grafičkim pokazivačima ili registratorima. Suvremeniji uređaji od plovaka su oni koji imaju pneumatske sonde s pokazivačem i prijenosom izmjerениh podataka na daljinu. Za mjerjenje razine vode koriste se i ultrazvučni senzori posebne izvedbe.

Tlak u cijevima se mjeri upotrebom različitih manometara, a kod vodosprema i bunara se za mjerjenje tlaka koriste električni ekstenzimetri.

Upravljanje sustavom vodoopskrbe s jednog centralnog mjesta (NUS) [2, 3], donosi razne prednosti kao što su: smanjenje troškova izgradnje i održavanja, širi raspon programiranja rada, veću učinkovitost usluga, te mogućnost ostvarivanja cjelovitih prijenosa izmjerениh vrijednosti i njihovih usklađivanja. Centralizaciju sustava omogućuje tehnika prijenosa mjerjenih podataka i signalizacija. Podatke prati i prima operater koji ih po potrebi proslijeđuje do terminala ili mjesta upravljanja. Signalizacija omogućuje praćenje stanja vode u crpilištima i vodospremnicima, ispadanje iz rada crpki, pad tlaka u tlačnom ili dovodnom cjevovodu te u sustavu prouzročen gubitak vode i dr. Signalizacija može biti svjetlosna ili zvučna, a doprinosi većem stupnju sigurnosti u radu postrojenja ili sustava u cjelini.

3. Održavanje vodospremnika

3.1. Najčešća oštećenja i kvarovi na vodosprema

Vodospremni moraju raditi u okviru projektnih parametara, a svakako se moraju i dobro održavati kako bi bilo osiguran njihov kvalitetan rad. Vrlo je važno osigurati da akumulirana voda bude zaštićena od onečišćenja.

Najčešći problemi, odnosno kvarovi i oštećenja, kod vodosprema su [4]:

- Erozija zemljišta ispod i oko rezervoara kao posljedica oborina, ispiranja i prelijevanja iz vodospreme.
- Korozija metalnih i betonskih dijelova vodospreme uronjenih u vodu ili izloženih visokoj vlažnosti unutar rezervoara. Beton je posebno osjetljiv na koroziju kada je u kontaktu s mekom vodom.
- Vandalizam, ponekad od strane poljoprivrednika, pogotovo vlasnika stoke kako bi osigurali pristup vodi (obično iz ventila za ispiranje) ili ljudi koji istražuju područje.
- Onečišćenje uskladištene vode ulaskom u rezervoar oborina, životinja ili ljudi.
- Smanjenje koncentracije klora i nuspojave dezinfekcije kao rezultat predugovog zadržavanja vode u rezervoaru.
- Bujanje algi koji može dovesti do problema s okusom i mirisom vode.
- Nakupljanje taloga i mulja na dnu rezervoara koje može uzrokovati nezadovoljavajuću kakvoću vode.

3.2. Aktivnosti i dinamika održavanje vodospremnika

Rezervoari i vodotornjevi trebaju redoviti pregled i održavanje kako bi bili u dobrom radnom stanju i spriječili razvoj ozbiljnijih problema s opskrbom i kakvoćom vode. Glavno održavanje vodospremnika i njihovih cjevovoda trebalo bi obaviti tijekom zimskih mjeseci kada je manja potrošnja, pa time i veća akumulacija vode. U svim slučajevima korektivne radnje treba

poduzeti odmah nakon otkrivanja problema. Popis potrebnih aktivnosti pregleda i održavanja vodospremnika i njihova preporučena dinamika [4]:

Tjedni pregled i održavanje trebalo bi uključivati sljedeće:

- Provjera sigurnosne ograde, kapije i brava te rasvjete.
- Vodomjeri – provjera ispravnog rada i curenja.
- Crpna stanica - rad crpki i druge opreme (npr. kontrolni ventili ili booster klorinatori).
- Cjevovod i vodospremnik - znakovi curenja ili preljevanja iz vodospremnika.
- Indikatori razine vode - da li ispravno funkciraju.
- Košenje trave oko objekta, čišćenje staza, kanala, održavanje vrtova/zelenila.
- Uzimanje uzorka vode na izlazu radi analize kakvoće vode.

Mjesečni pregled i održavanje treba uključivati sljedeće:

- Otvaranje komora i provjera ventila, mjerača i druge armature/instrumentata na licu mesta.
- Čišćenje filtera i komora. Provjera poklopaca komora, brave te podmazanje šarki.
- Provjera ima li na ventilima korozije ili drugih oštećenja i rade li besprijekorno.
- Provjera poklopaca/vrata i brave na rezervoaru te podmazanje šarki na njima.
- Provjera jesu li oznake na mjestu i jesu li čitljive.
- Očitavanje svih vodomjera i uspoređivanje ulaznih i izlaznih vrijednosti kako bi se uočili znakovi, eventualnih, gubitaka vode.

Svaka tri mjeseca treba podmazati sve pomicne dijelove na ventilima.

Konačno, vodospremnike treba isprazniti, očistiti, pregledati i održavati svake godine, maksimalno svakih tri do pet godina.

3.3. Redoviti radovi održavanja vodospremnika

Redovito radova održavanja vodospremnika su čišćenje i dezinfekcija komora te sanacija vodospremnika.

a) Vodospreme se uglavnom čiste tako da osoblje ulazi u isušenu komoru kako bi se uklonio nakupljeni sediment. Čišćenje vodospremnika treba provoditi tijekom zimskih mjeseci kada je potrošnja, a time i opterećenje vodospremnika minimalna. Za čišćenje komora su potrebni posebno obučeni djelatnici, a ponekad i certificirani ronioci s posebnom opremom, u slučaju da komore nisu ispražnjene. Kod čišćenja rezervoara treba [4]:

- Isprazniti spremnik kada je razina vode u vodospremi niska. Ventili na dovodnim cijevima se tada zatvaraju, a ventil za ispiranje otvara.
- Sakupiti nakupljeni talog s dna rezervoara lopatama, strugačima i metlama i ukloniti ga kroz ulazni otvor. Talog se može, visokotlačnim ispiranjem, pretvoriti u tekućinu i isprati kroz ventil za ispiranje. Pri tome treba pripaziti da se ne ošteti hidroizolacija.
- Oprati stijenke i dno spremnika odgovarajućim sredstvima, visokotlačnim raspršivačem i metlama. Treba upotrijebiti odgovarajuće mjere za dosezanje viših dijelova zidova i osigurati da su svi spojevi i kutovi pravilno očišćeni.
- Isprati zidove i pod visokotlačnim raspršivačem.
- Pregledati unutarnje površine i spojeve kako bi bili sigurni da nema oštećenja. Sanirati ako je potrebno.
- Dezinficirati spremnik.

Nakon izvođenja radova na održavanju ili inspekcije pri kojem osoblje ulazi u vodospremnik, potrebno je slijediti sljedeći postupak dezinfekcije [4]:

- Provjeriti jesu li zidovi i pod komore čisti i jesu li isprani prljavština i deterdžent.
- Provjeriti je li ventil za pranje zatvoren.
- Pripremite otopinu vode s pH vrijednošću manjom od 7,5 (za optimalno djelovanje klora) i koncentraciju klora od 50 mg/l.
- Sve unutarnje površine, uključujući cijevi i spojeve, temeljito isprati kloriranim vodom.
- Nešto klorirane vode se treba izliti ili raspršiti preko unutarnjih pristupnih ljestava nakon što sve osoblje napusti komoru.
- Klorirana voda se ispušta iz objekta kroz ventil za ispiranje.
- Komora se puni pitkom vodom nakon razdoblja od najmanje 6 sati.

Neka od sredstava koja se koriste za dezinfekciju i dezinfekciju su Genoll, Genox i Izosan.

b) Prilikom redovitog i periodičkog pregleda vodospreme i njezinih dijelova se prati pojava oštećenja unutarnjih stijenki konstrukcije vodnih komora, pojava vlage na zidovima ili stropnoj ploči, pojava korozije i dr. te se na osnovu tih zapisa rade planovi za djelomičnu ili potpunu sanaciju koja ulazi u finansijske planove za sljedeće plansko razdoblje.

Ovisno o tipu vodospremnika (ukopani, nadzemni, vodotoranj) u praksi se izvodi sanacija hidroizolacije krovne plohe, ukopanih zidova ili zidova vodnih komora. Sukladno stanju izvedene hidroizolacije i stupnju oštećenja može se izvršiti djelomična ili kompletna sanacija. Djelomična sanacija obuhvaća radove manjeg opsega kojima se već izvedena hidroizolacija vraća u stanje vodonepropusnosti od strane ovlaštenog izvođača radova. U praksi, nakon izvedene djelomične sanacije ovlašteni izvođač radova ne izdaje garanciju.

Ako se javlja potreba za izmjenom ili kompletnom sanacijom hidroizolacije korisnik objekta u suradnji s projektantom i tehnologizma izrađuje elaborat sanacije objekta prema kojem se raspisuje natječaj za izvođenje radova. Sve vrste hidroizolacija koje se koriste u radovima sanacije moraju biti atestirane za kontakt s pitkom vodom te moraju biti otporne na sljedeće uvjete koji se javljaju u spremnicima: niska pH vrijednost vode (utječe na cementne površine), premoštenje pukotina koje se mogu javiti na betonskim podlogama, pojava klora, mikroorganizama te ispiranje materijala uslijed turbulentnog strujanja tijekom pražnjenja.

Sustavi hidroizolacija koji se koriste za osiguranje vodonepropusnosti vodnih komora su [5]:

- ugradnja vodonepropusnih mortova,
- ugradnja tekuće hidroizolacije,
- ugradnja hidroizolacijskih membrana i
- sanacija injektiranjem.

Hidroizolacija vodonepropusnim mortovima se izvodi u kombinaciji s prethodnim injektiranjem, a ako voda dolazi s vanjske strane i ugradnjom dilatacijskih traka. Materijal se nanosi ručno ili strojno u minimalno dva sloja utiskivanjem armaturne mrežice u svježe naneseni prvi sloj. Primjenjuje se kod novih objekata ali i kod sanacije postojećih rezervoara uz uvjet da se ne očekuje pucanje betona ili pucanje uslijed slijeganja objekta (Slika 3). Prednosti ovog sustava su kemijska otpornost, jednostavnost ugradnje, mogućnost kombinacije s dilatacijskim sustavima, dugi vijek trajanja, zaglađena površina i sl. Prije ugradnje vodonepropusnih mortova potrebno je osigurati kvalitetnu pripremu površine.

Ugradnja tekuće hidroizolacije prema Sika d.o.o. [5] je kao i kod vodonepropusnih mortova, samo što ima bolju prionjivost za čelične površine te zato svoju primjenu nalazi kod izoliranja čeličnih spremnika gdje ima dvojaku ulogu, služi kao antikorozivna zaštita spremnika i vodonepropusna barijera. Kod tekućih izolacija u praksi se pojavljuju dva tipa izolacije: dvokomponentni materijal na bazi epoksi smole i materijal na bazi poliuree (PUR), kao Sikalastic 841 ST (Slika 4). Za ugradnju proizvoda na bazi epoksi smole potrebna je priprema podloge te pravila i upute za ugradnju kao i kod ugradnje vodonepropusnih mortova. Materijala na bazi poliuree (PUR) tzv. špricane izolacije se primjenjuju kod sanacije starih objekata gdje je konstrukcija dotrajala, a beton je propustan ili prošaran strukturnim pukotinama koje su posljedica slijeganja ili neadekvatno izvedenog betona. Prednost ovog sustava je u velikoj prionjivosti na sve podloge te jednostavnna obrada prodora. Predviđeni vijek trajanja je minimalno deset godina.



Slika 3. Ugradnja vodonepropusnih mortova [6]



Slika 4. Ugradnja hidroizolacije Sikalastic 841ST špricanjem [5]

Hidroizolacijske se membrane na bazi TPO-a (Thermoplastic polyolefin) koriste kako kod novih tako i kod sanacije postojećih vodospremnika, odnosno vodnih komora. Ovaj sustav kao rješenje za osiguranje vodonepropusnosti (Slika 5) primjenjuje se kod svih vodospremnika i pogodan je za kontakt na sve materijale od kojih se izrađuju vodospremni (beton, čelik, opeka i dr.). Preporuka je da se prvo izvede izolacija zidova sa svim potrebnim pričvršćenjima i kontrolom varova, a potom podna izolacija i to zbog korištenja skele kod postavljanja vertikalne izolacije koja može oštetiti podnu izolaciju.

Postupak injektiranja (Slika 6) se primjenjuje u slučaju kada dođe do oštećenja primarne hidroizolacije te podzemna voda utječe u spremnik (što za posljedicu ima pad kakvoće vode) ili voda iz spremnika istječe u okolno tlo. U tom slučaju potrebno je zabrtviti pukotinu kako bi se spriječio gubitak vode ali i zaštiti konstrukcija od utjecaja vode (korozija armature). U ovim slučajevima postoje dva načina sanacije hidroizolacije, sanacija vodne komore izvana i iznutra jednom od opisanih metoda ili injektiranje pukotina i primjena hidroizolacijskih mortova kao dodatne zaštite. Kod ukopanih objekata najčešće se primjenjuje drugo rješenje jer je otkopavanje objekta preskupo ili se otkopavanjem ne može pristupiti cijelokupno izvedenoj izolaciji. Za postupak injektiranja se koriste različite smjese na bazi akrila, poliuretana, epoksida i dr., a odabir najbolje ovisi o količini vode koja istječe i pomacima koji se eventualno mogu pojavit u konstrukciji. Pribor za izvođenje postupka injektiranja je:

električna bušilica, pakeri, epoksi ljepilo za učvršćenje pakera, pumpa za injektiranje te smjesa za injektiranje. Postupak injektiranja se vrši pod tlakom od maksimalno 50 bara kako ne bi dolazilo do razaranja unutrašnje strukture betona.



Slika 5. Ugradnja podložnog geotekstila završnog profila i hidroizolacijske membrane [5]

Slika 6. Primjer injektiranja zidarskih pukotina [7]

Kratki pregled potrebnih predradnji i način izvođenja pojedinog sustava hidroizolacije vodnih komora vidljiv je u Tablici 1. Podaci u tablici koji se odnose na trajanje radova bazirani su na sanaciji vodospremnika kapaciteta 500 litara, tlocrtne površine 100 m² i visine vodnog stupca 5 m. Kod tekućih izolacija potrebno je dobiti vlažnost podloge od max 4% što utječe na ukupan rok završetka.

Tablica 1: Usporedba hidroizolacijskih sustava kod sanacije vodnih komora - iz prakse [3]

Tipovi izolacije	Priprema podloge		Ugradnja		Izvedba detalja/obrada prodora	Trajanje radova (dana)	Potrebno vrijeme sazrijevanja materijala prije ponovnog punjenja (dana)	Vijek trajanja (godina)
	Visoko - tlačni perać	Izravnavanje	Strojno	Ručno				
Hidroizolacijski mortovi	+	+	+	+	vrlo složeno	7	2-5	2-5
TEKUĆA IZOLACIJA								
Na bazi epoksida	+	+	-	+	složeno	5-7	5	5
Na bazi poliuree	+	+	+	-	Jedno-stavno	7-10	0	10
Hidroizolacijske membrane	-	-	-	+	Složeno	4	0	20-25

5. Zaključak

Kako bi objekti u vodoopskrbnom sustavu bili funkcionalni u cijelom projektnom razdoblju, kako bi se smanjili troškovi održavanja, a istovremeno sačuvala kakvoća vode potrebno je posebnu pozornost posvetiti projektiranju i nadzoru nad izvođenjem radova, kako u fazi izvođenja tako i u fazi sanacije vodospremnika. Bitno je predvidjeti kvalitetnu fizičku, sanitarnu i tehnološku zaštitu te zaštitu konstrukcije vodospreme. Kod praćenja rada vodoopskrbnog sustava, pa tako i vodospremnika, izuzetno je bitan nadzorno upravljački

sustav koji omogućuje pravovremeno detektiranje problema, bržu reakciju službe za održavanje te time smanjenje troškova i moguće štete i probleme zbog kvarova. Za komunalno poduzeće koje upravlja objektima u sustavu vodoopskrbe bitno je napraviti dobar ustroj poduzeća i izraditi kvalitetan pravilnik o održavanju sustava kojim se donose jasna pravila, upute, smjernice i imenuju odgovorne osobe za izvođenje i kontrolu radova održavanja. Primjenom pravilnika o održavanju sustava ranije se uočavaju problemi nastali zbog korištenja objekta ili dotrajalosti materijala i opreme, ali se smanjuju i rizici od ozljeda na radu, tako da upravitelj objekta ima mogućnost angažiranja tehnologa i/ili projektanata za izradu kvalitetnog projekta sanacije. Problemi koji se javljaju kao posljedica korištenja vodospremnika i njegovih elemenata većinom se rješavaju redovitim održavanjem. Bitno je kod redovitog održavanja i pranja vodnih komora izvršiti vizualni pregled konstrukcije vodnih komora kako bi se pravovremeno uočili problemi s konstrukcijom i izvedenom hidroizolacijom. Problemi s hidroizolacijom imaju za posljedicu ulazak vode u vodospremnik ili gubitak vode iz vodnih komora što za posljedicu ima pojačan rad crpki, slabiju kakvoću vode te propadanje betona i armature. Nakon pregleda konstrukcije potrebno je komoru na primjeren način dezinficirati korištenjem odgovarajućih sredstava koji su više ili manje agresivni. U fazi kad je potrebna djelomična ili potpuna sanacija vrlo je važno da se odabere odgovarajuće rješenje kojim se može se produljiti vijek trajanja objekta i dugoročno uštedjeti finansijska sredstva. U praksi postoji nekoliko metoda sanacije vodonepropusnosti, a bazirane su na upotrebi različitih materijala koji zahtijevaju različiti nivo pripreme podloge i različitu tehnologiju izvedbe.

Kod izrade projekta sanacije treba inzistirati na optimalnom odnosu vijeka trajanja sustava i uloženih finansijskih sredstava. Najniža cijena kao uvjet za dobivanje izvedbe i sanacije nije uvijek najbolji kriterij jer u nekim slučajevima može dovesti do loše izvedbe koja dovodi do češćih sanacija kao i nepotrebnih prekida u radu vodospreme. Bilo bi dobro da naručitelj radova s izvođačem ugovori dodatno pregledavanje izvedene izolacije jednom godišnje u terminu kada se vodne komore prazne radi čišćenja i dezinfekcije. Kontrolom izolacije produžuje se vijek trajanja i smanjuje opasnost od mogućeg curenja iz vodospremnika.

6. Literatura

- [1] Margeta, Jure. Vodoopskrba naselja. Split: Sveučilište u Splitu građevinsko-arhitektonski fakultet, 2010. (ISBN 978-953-6116-43-0)
- [2] Gulić, Ivan. Opskrba vodom. Zagreb. Hrvatski savez građevinskih inženjera, 2000. (ISBN 953-668-05-8)
- [3] Kelava, Mate. Diplomski rad. Građevinski i arhitektonski fakultet u Osijeku, 2018.
- [4] JE van Zyl. Introduction to Operation and Maintenance of Water Distribution Systems. Water Research Commission. 2014. (ISBN 978-1-4312-0556-1)
- [5] Cvetko, Romana. Hidroizolacije novosti br. 1 i br. 2, Sika Croatia d.o.o.
- [6] Waterproofing sika solutions for potable water, Sika. (https://grc.sika.com/dms/getdocument.get/3f1ecd3e-90b3-44aa-8b98-d00e390f4928/Sika_Solutions_Potable_Water_eng.pdf)
- [7] <https://hr.desoi.de/trgovina.html>, Datum pristupa: 5.9.2018.

Rainwater Irrigation Systems for Green Facades

D. Koški^{1*}, L. Lončarić², Ž. Jurković²

¹Faculty of Architecture, University of Zagreb, Zagreb, Croatia

²Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek, J.J. Strossmayer University of Osijek, Osijek, Croatia

*Corresponding Author, E-mail: danijela.koski@gmail.com

Abstract

The term energy efficiency represents the use of less energy to perform the same task or produce the same result. Greening the building envelope allows obtaining a relevant improvement of its efficiency, ecological and environmental benefits as well as an increase of biodiversity. Green facades attract and lose less heat. The plants also cause evaporation, which helps keep the building and the city's climate cooler in all weather conditions. Such a green facade system has the advantage of possible irrigation installation as part of rainwater collection as a natural maintenance cycle. The cyclical process is achieved through a mechanism that collects rainwater from the roof and side parts of the facade into tanks as needed, and maintains green facades through direct or indirect watering through a filtering system and irrigation pumps. The resulting ecosystem of vertical vegetation improves the thermal insulation of the building and helps reduce carbon dioxide and fine dust particles. The use and design of green facades achieve ecological, economic, social, spatial and energy benefits.

Key words: energy efficiency, green facades ,irrigation systems, building envelope

1. Introduction

The combined effect of uncontrolled urbanization and climate change is one of the most challenging problems of our time. The drastic increase of urban heat island effect, air and water pollution, urban flooding, loss of ecosystems as well as human health and well-being can be considered the main environmental issues at global scale produced by these challenges. Only an innovative, sustainable, and ecologically based approach can meet all these impacts, which even if are different from each-other are strongly correlated. Therefore, the aim of this work is to raise awareness of the environmental sustainability of buildings and how to improve energy sustainability. By learning about green facades and their application systems, the important characteristics and effects on the building are highlighted: how they are maintained, what are the advantages and disadvantages, and how they could be maintained naturally while benefiting buildings in urban areas.



2. Green facades

Green facades are increasingly being designed in construction and are used as an aesthetic and ecological segment in construction. Due to their significant characteristics, such as less loss of thermal energy, they are increasingly being practiced in order to implement energy efficiency in an ecological way.[1] Plants by themselves create the impression of a living facade and affect the aesthetics of the building, and significantly affect the temperature of the building through their evaporation, thus regulating the climate of the street and urban areas in the city. The most significant characteristic of the facade is precisely its verticality, which enables the use of various systems. Throughout history, the use of plants on facades can be traced, but primarily as an element used to cover neglected and unmaintained facades. Today, such plants are an element of aesthetics and energy efficiency through green facades. [2]

2. 1. Green facade types

Buildings with green facades use vegetation to create shade, where the advantage is that the vegetation takes up little space in an already intensively used urban area, and at the same time provides the opportunity for the formation of large vertical areas of greenery. Any climbing plant that can cover a multi-story building within a few years requires enough space for its roots to remain healthy. The plant does not need a lot of space on the ground, but it needs more space under the ground. [2]

Three types of vegetation can be discerned:

- Self-climbing plants, which climb using tendrils, twining stems or suckers; (Figure 1.a.)
- Climbing plants that need a construction placed in front of the wall along which they can grow and climb; ; (Figure 1.b.)
- Hanging plants which grow from pots on the roof or balcony (these plants require more care: fertiliser, water and protection against frost);
(Figure 3.c.)
- Green facade gardens, whereby plants grow upwards from pots fastened to the facade or from a substrate attached to it. These are generally costly and fragile solutions due to the intensive care and maintenance required, including regular watering and fertilising. The question arises as to how sustainable these solutions can be. They should only be applied in cases where plants cannot be put directly in the earth at the base of a facade.
(Figure 3.c.)

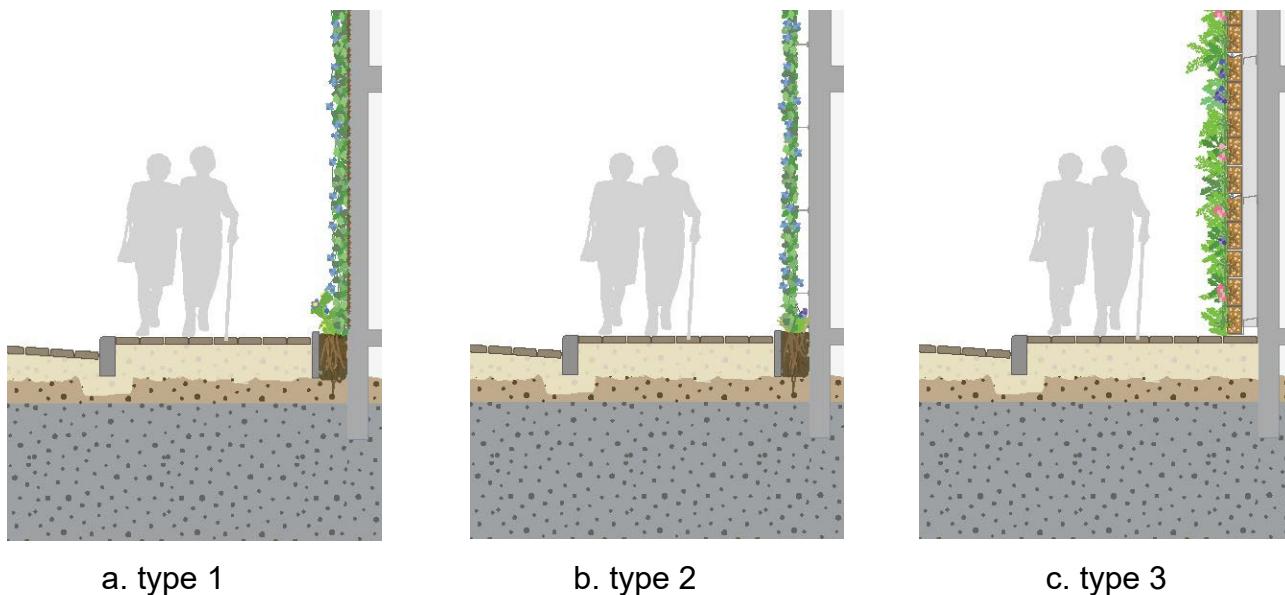


Figure 1. Different types of green facades [2]

2.2. Energy efficiency

The urban ecosystem is richer with the increasingly frequent use of green facades. The development of the way of applying vegetation to the facade improves the sustainability of the building. The main reason is energy saving, especially in summer days.[3] Different vertical green systems implemented in the facades of the building for cooling periods and heating periods show how much energy is saved. (Table 1.) Vertical greenery protects the building from the heat of the sun in summer, keeping it cooler.

Table 1. Influence of facade vegetation on air temperature [2]

Period Average day course	Normal facade			Green facade			
	T1	T01	T0	T1	T01	T0	
All days (n = 133)	Max.	20,8	22,2	31	21,4	22,2	25,5
	Min.	12,4	13,1	16,7	12,6	14,1	16,3
	Amplitude	8,4	9,1	14,3	8,8	8,1	8,9
Sunny days (n = 64)	Max.	24,1	25,6	36	25,1	24,8	28,6
	Min.	13	13,8	17,2	14,5	13,1	17,2
	Amplitude	11,1	12,2	18,8	10,6	11,7	11,4
Minimum temperature (n = 133)	Max.	6,2	6,1	11,2	7,9	6,8	9,9
	Min.	1	1,2	7	3	0,9	3,8
	Amplitude	5,2	4,9	4,2	4,9	5,9	5,2
Maximum temperature (n = 133)	Max.	35,2	38,7	44,8	34,6	36	40,7
	Min.	22	22,9	24,8	22,1	21,1	27,6
	Amplitude	13,2	15,8	20	12,5	14,8	13,1

- T1 temperature in C, 1 m from the facade
- T01 temperature in C, 0,1 m from the facade
- T0 temperature in C, on the facade

In winter, vegetation can protect the building from the wind and reduce heat loss through convection along the facade and the air pocket between the vegetation and the building. A stationary air pocket of 5 cm between the vegetation and the building is comparable to a heat transfer coefficient of 2.9 W/m²K (Table 2.), and therefore comparable to thermal insulation using insulated glass. Thicker layers of air do not significantly improve insulation, because convection loss due to the chimney effect increases. This can be remedied by separating the vertical growth using, for example, a support structure. The stack effect, the upward flow of air between the facade and the vegetation, can actually be a desired effect in summer. You can choose between evergreen or deciduous, depending on the desired effect. Deciduous vegetation protects from the sun in summer, but lets it through in winter.[2]

Table 2. Table with K-values in W/m²K of facades with and without vegetation [2]

Outer wall without vegetation	Outer wall with vegetation	Improvement
K-value	K-value	%
1,5	1,0	33
1,0	0,75	25
0,6	0,5	16
0,3	0,27	10

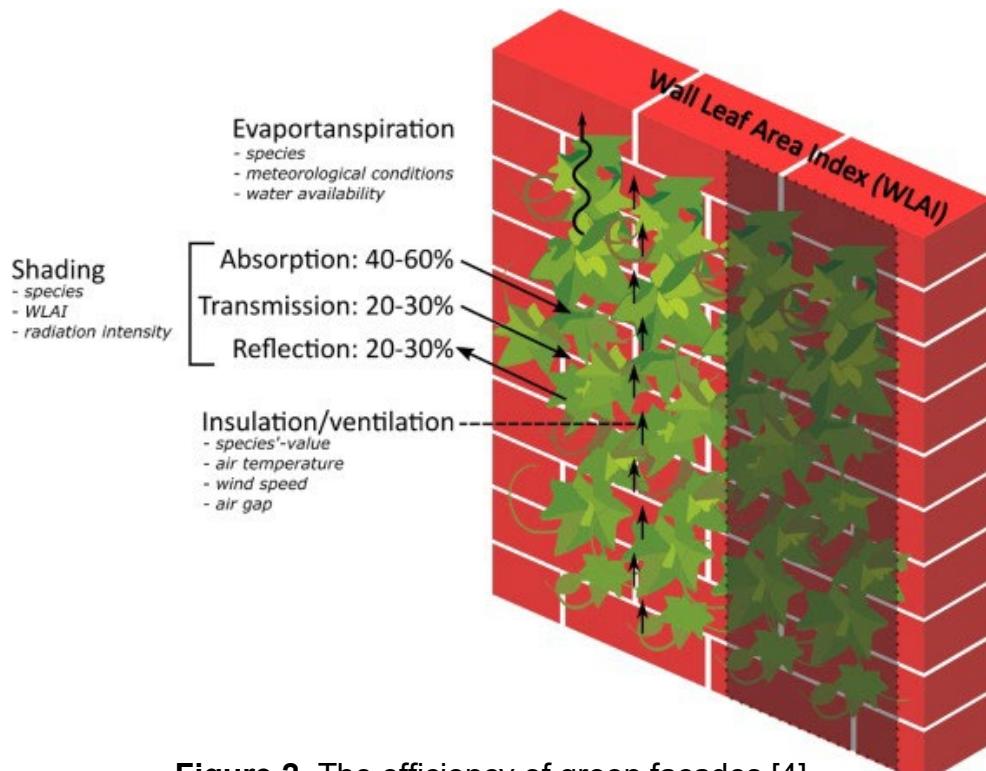
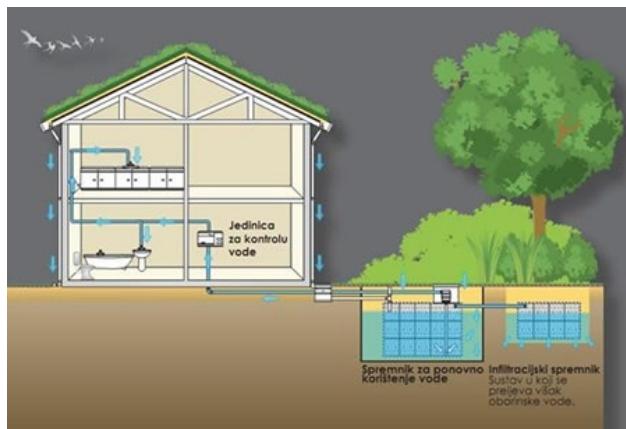


Figure 2. The efficiency of green facades [4]

3. Irrigation system

Climatic conditions were balanced in the past, and more recently, dry years have become extremely dry and wet years have become extremely wet. In these conditions, the irrigation of green areas requires investments in new systems or the application of alternative solutions that are increasingly used in smaller buildings and private facilities. One of the most efficient solutions is the usage of collected rainwater that is later used for irrigation and maintenance of greenery. Rainwater is collected in reservoirs or lagoons which are placed under natural slopes so that water flows into them. The most expensive method is tap water, which is unfortunately the most common option. The mentioned rain water is the best way to solve the irrigation system of small farms or family houses, but such systems can also be applied for green facades in order to solve the problem of sustainability of facades and improve energy efficiency. The rainwater tank can be placed underground or above ground. An underground tank is usually of large capacity, buried in the ground and therefore hidden from view. Its large storage capacity will enable longer use of water. Extracting water can be done manually with buckets directly from the tank, but a common option is to install simple water pumps in the tanks. Above-ground tanks usually have a smaller capacity, because they are installed in the gutter system so that rainwater flows down the gutter directly into the rainwater tank. The height of the tank can vary and is adjusted using practical brackets. Rainwater tanks can also be decorative, in the form of an amphora, jug or barrel, and have a capacity ranging from 120 to 300 litres. Such containers are a more common choice for home gardens. A rainwater collection system can use several interconnected tanks and as such allows the installation of a faucet in the tank, which is necessary to connect the watering hose to coordinate where the water is used. Watering with rainwater is also facilitated by different types of pumps and hydrophones: surface pumps, submersible pumps for dirty water, submersible pumps for clean water and hydrophoric pumps.



a. underground placement of rainwater tanks



b. above-ground placement of rainwater tanks

Figure 3. Rainwater tanks [5]

3. 1. Irrigation of green facades using rainwater

The aforementioned irrigation system through underground or above-ground tanks is one of the essential elements of improving environmental awareness and energy efficiency while maintaining the green vegetation of the facade. Green vegetation, in addition to the characteristic of reducing the temperature of the building, also has a significant impact on air purification. The layer of vegetation on the facade serves as a natural filter from impurities, smog and other harmful substances that are unavoidable in urban environments. Given the importance of such a facade, the need for its maintenance should not be overlooked. Unfortunately, it is often the case where the green facade designed by the project is not in the condition it should be in after a period of time, precisely because of incorrect or insufficient maintenance. Watering vegetation consumes more funds and resources precisely in these dry times affected by climate change. The system of natural irrigation with rainwater achieves a better approach to the sustainability of the building. The use of such a system is the most profitable in the context of sustainability. The green facade system, in which vegetation is planted in separate elements applied to the facade, can also be used on double ventilated green facades.

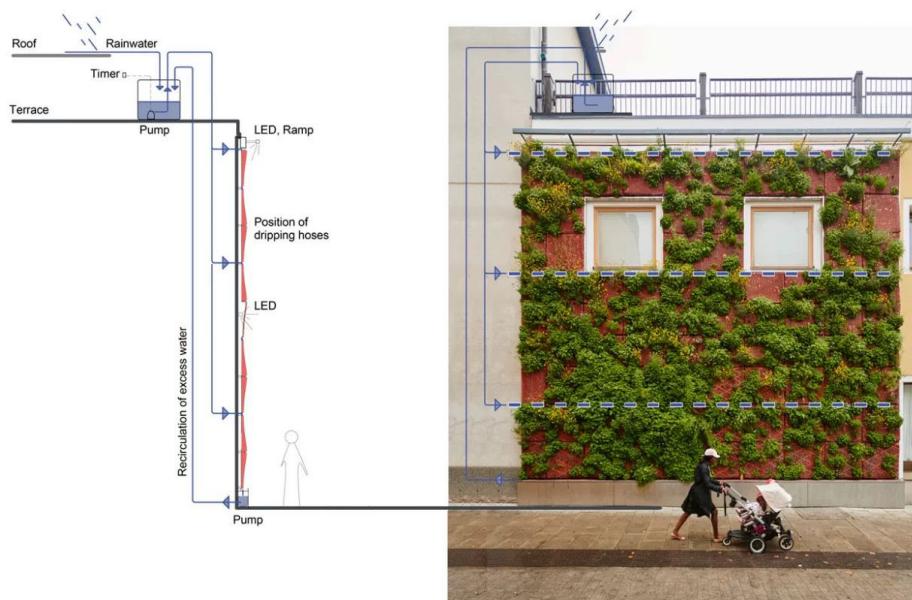


Figure 4. irrigation system of the green facade using rainwater [6]

Functioning of an irrigation system on buildings comes down to the amount of collected rainwater. Rainwater is a natural and free resource. It is stored in containers, filtered from impurities and used for watering. Tanks can be placed on the roof as part of other technical installations so that the aesthetics of the building are not affected (Figure 4). With adequate pumps, the irrigation system can also serve to supply water to a larger part of the building to meet the needs of users. The most important thing is to influence the awareness and importance of the cyclic process of water use (Figure 5). Greenery is increasingly necessary in progressively dense urban environments. By applying vertical vegetation, what has been

taken is replaced and returned to nature, and facades are almost self-maintained. Financial savings are visible in such systems, but unfortunately it is not enough incentive to use the approach on a global scale.

3.2. Cyclic process of rainwater irrigation systems

The cyclic irrigation process enables the reuse of collected water. In the photo (Figure 5), we see a diagram of one such process, where black arrows indicate water flow paths, and boxes represent the influence on the irrigation water flow path. The density of the plant canopy determines its ability to reflect, absorb and transmit radiation. Such ability varies between species and their characteristics with respect to age, water content, leaf thickness, surface texture and orientation. All these factors affect the transpiration activity of the vegetation, and thus the need for water. The choice of plant species must be based on the local environment, taking into account the climate, built environment and surrounding conditions. The most commonly used types are; climbers, shrubs, grasses, perennials, etc. The choice of a plant between deciduous and evergreen affects the potential throughout the year, and thus the demand for water. [7] In the process of irrigation, depending on the ability of the plants, the water is drained, collected and reused by the irrigation system for maintenance. The big advantage of such a process is that if water overflows, it will not be a loss. All the excess is collected together with the water that has gone through the drainage and is filtered and reused.

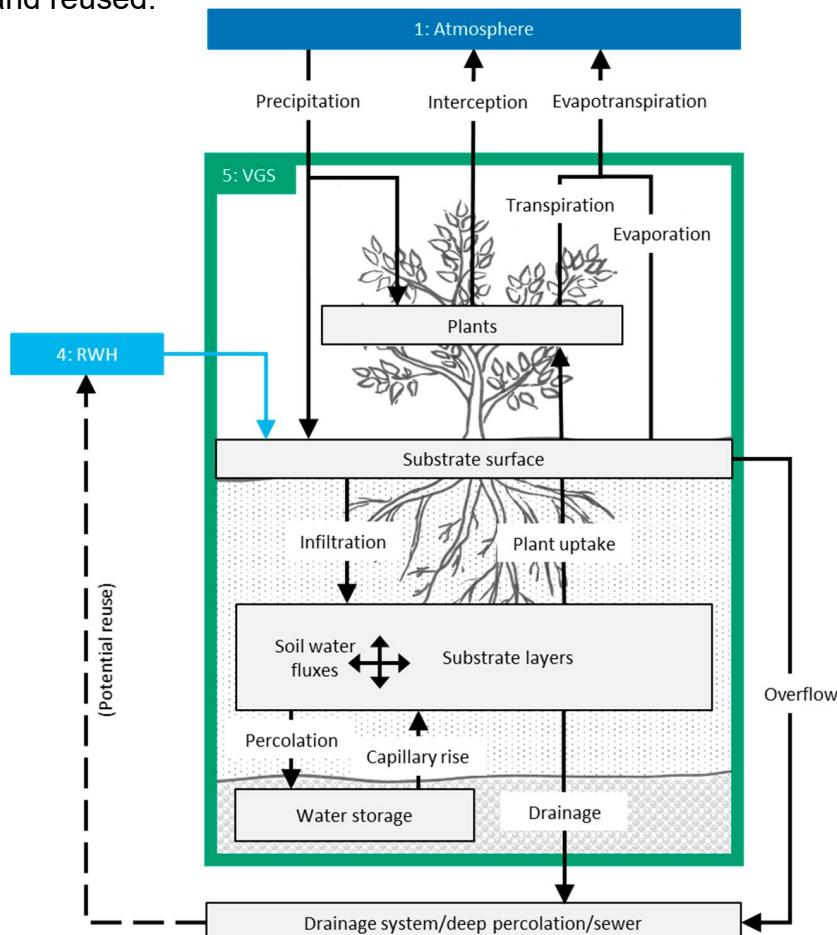


Figure 5. Cyclic process of rainwater irrigation systems [7]

4. Conclusions

Vertical green systems are promoted as a natural solution to mitigate the urban heat island effect. In order to ensure the long-term and sustainable use of the facade in this way, sufficient available irrigation water is a key element. Currently, drinking water is one of the main resources for irrigation. While rainwater is often mentioned as an alternative, only few examples truly practice it for system sustainability. This work aims to highlight the importance and advantages of rainwater harvesting as a sustainable resource for irrigation. With such self-sustaining systems and an inexhaustible resource, a possibility of observing green facades opens up in a new way as the primary choice of project solutions that are a more profitable and high-quality choice in the long term.

5. Literatura

- [1] Clapp, L. i Klotz, H. *Vertikalni vrtovi*. London/Sydney/Auckland: New Holland. 2018.
- [2] Groenblau. NI. Green facades,
<https://www.urbangreenbluegrids.com/me>
<https://www.urbangreenbluegrids.com/measures/green-facades/%22a>
<https://www.urbangreenbluegrids.com/measures/green-facades/>
 (pristup 25.07.2022.)
- [3] Corna, J. Building and Environment, Vertical greenery systems for energy savings in buildings, A comparative study between green walls and green facades //ScienceDirect 2017.;
https://www.sciencedirect.com/journal/building-and-environment/vol/111/suppl/C_Volume_111, pages 228-237;
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132316304383>
 (pristup 25.07.2022.)
- [4] W. Chen, K. Koch. Urban Forestry and Urban Greening, Urban heat stress mitigation potential of green walls // ScienceDirect, 2020.
<https://www.sciencedirect.com/journal/urban-forestry-and-urban-greening/vol/55/suppl/C>, Volume 55, 126843,
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866720306609> ,
 (pristup 25.07.2022.)
- [5] <https://docplayer.org/21495244-Odrzivo-upravljanje-kisnicom-uputstvo-za-infiltraciju-i-koristenje.html> (pristup 25.07.2022.)
- [6] <https://www.contemporist.com/green-wall-added-to-building-in-sweden/>
 (pristup 25.07.2022.)
- [7] Prener, Flora; Pucher, Bernhard; Zluwa, Irene; Pitha, Ulrike; Langergraber, Guenter. Rainwater Use for Vertical Greenery Systems: Development of a Conceptual Model for a Better Understanding of Processes and Influencing Factors // Water 2021, 13,1860., w13131860, <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/13/1860> (pristup 25.07.2022.)

Cjelovita obnova zgrada - smanjenje troškova kod objedinjavanja energetske obnove s drugim radovima

Complete renovation of buildings - cost reduction by combining energy renovation with other works

D. Vidaković^{1,*}, D. Hećimović²

¹Građevinski i arhitektonski fakultet u Osijeku, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Osijek,
Hrvatska,

²Bonzo j.d.o.o., Osijek, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: dvidak@qfos.hr

Sažetak

Mjerama za poboljšavanje energetske učinkovitosti i drugih svojstava zgrada unaprjeđuje se ispunjavanje propisanih temeljnih zahtjeva tijekom njihovog vijeka uporabe. Planirane uštede potrošnje energije i troškovi mjera obnove u članku su pokazani na projektima realiziranim u posljednjim ciklusima energetske obnove javnih zgrada i obiteljskih kuća u Osječko-baranjskoj županiji. Navedene su karakteristike izvođenja takvih projekata i pojašnjene su aktivnosti koje općenito iziskuju takvi projekti. Detaljnija analiza troškova ukazuje na moguće uštede objedinjavanjem izvedbe radova na održavanju i poboljšanju više temeljnih svojstava zgrada.

Ključne riječi: temeljni zahtjevi, energetska učinkovitost, cjelovita obnova, troškovi.

Abstract

Measures to improve energy efficiency and other properties of buildings improve the fulfillment of prescribed basic requirements during their useful life. Planned savings in energy consumption and costs of renovation measures are shown on projects realized in the last energy renovation cycles of public buildings and family houses in Osijek-Baranja County. The characteristics of the implementation of such projects are listed and the activities generally required by such projects are clarified. The detailed analysis of the costs indicates possible savings by unifying the performance of maintenance and improvement of several basic properties of buildings.

Key words: basic requirements, energy efficiency, complete renovation, costs.

1. Uvod

U Hrvatskoj, kao i u EU, najveći udio potrošnje energije vezan je za zgrade (dio tzv. opće potrošnje) [1], [2]. Recentna istraživanja u istočnoeuropskim gradovima pokazuju da je potrošnja energije najvećim dijelom generirana u stambenim i javnim zgradama [3]. Iz toga

se vidi koliko su važna svojstva novoizgrađenih zgrada i mjere poboljšanja (obnove) koje se mogu poduzeti na postojećim. U Hrvatskoj je većina stambenih i nestambenih zgrada stara više od 50 godina (57% obiteljskih kuća, 53% višestambenih zgrada i 54,5% osnovnih, područnih i srednjih škola te fakultetskih zgrada i vrtića izgrađeno je prije 1971. godine [4], [5]), što znači da su izgrađene prema ondašnjim propisima i standardima, koji su zahtijevali znatno slabiju energetsку učinkovitost (npr. manju toplinsku izolaciju ovojnica). Zato su poticajni program fokusirani na poboljšanje energetske učinkovitosti postojećih zgrada (u smislu da količina energije zahtijevane za uporabu bude na niskoj razini). Kod toga treba imati u vidu da se u zgradama, bez obzira na njihovu namjenu, preko 50% energije troši na grijanje (uz koje je u najvećoj mjeri povezana emisija ugljičnog dioksida), pripremu tople vode i rasvjetu.

2. Temeljni zahtjevi za građevine i poticanje ulaganja u energetsku obnovu

Hrvatski Zakon o gradnji (2014) propisuje da svaka građevina, ovisno o svojoj namjeni, mora biti projektirana, izgrađena i održavana tako da tijekom svog trajanja ispunjava temeljne i druge propisane zahtjeve. Jedan od temeljnih zahtjeva za građevine je gospodarenje energijom i očuvanje topline, a on određuje da građevine i njihove instalacije za grijanje, hlađenje, osvjetljenje i provjetravanje moraju biti projektirane i izgrađene tako da količina energije koju zahtijevaju ostane na niskoj razini, uzimajući u obzir korisnike i klimatske uvjete smještaja građevine [6]. Glavni projekti zgrada za koje se od 2020. godine traže građevinske dozvole moraju biti izrađeni u skladu sa zahtjevima za zgrade gotovo nulte energije, koji su određeni Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (2015). Zgradu koja je izgrađena kao zgrada gotovo nulte energije, mora se održavati tako da se tijekom njezina trajanja očuvaju ili unaprjeđuju zahtjevi za zgradu gotovo nulte energije kao i ostali temeljni zahtjevi za građevinu [7].

Za prije izgrađene zgrade propisi zahtjevaju samo da se održavaju tako da se tijekom njihovog životnog vijeka očuvaju tehnička svojstva i ispunjavaju zahtjevi određeni njihovim projektom i propisima prema kojima su izgrađene [8]. *Directive on the energy performance on buildings 2010/31/EU* (EPBD) nalaže da se u slučaju provedbe značajne obnove postojeće zgrade moraju poduzeti mjere kako bi se ispunili utvrđeni minimalni zahtjevi energetske učinkovitosti ukoliko je to tehnički, funkcionalno i gospodarski izvedivo [9]. U skladu s tim, Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama određuje da prije značajne obnove zgrade (gdje se obnavljava više od 25% površine ovojnica zgrade) projektant treba napraviti analizu postojećeg stanja zgrade te dati prikaz mjera za poboljšanje postojećeg stanja cijele zgrade s procjenom investicije po pitanju zdravih unutarnjih klimatskih uvjeta, zaštite od požara i rizika povezanih s djelovanjem potresa [7].

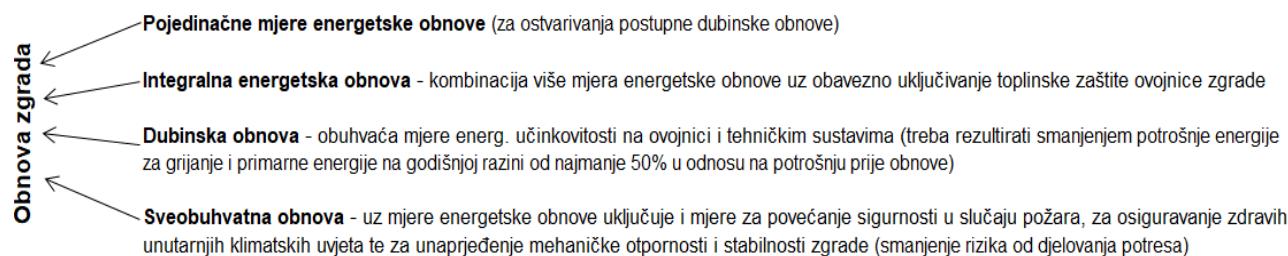
U cilju poticanja obnove energetski neučinkovitih građevinskih objekata u javnom vlasništvu EPBD zahtjeva da države osiguraju da se od 2014. svake godine obnovi 3% ukupne površine poda grijanih/hlađenih zgrada u vlasništvu i uporabi središnje vlasti [9].

Iako je najveća potrošnja energije u obiteljskim kućama i višestambenim zgradama raspodjela proračunskih sredstava namijenjenih ulaganjima u energetsku učinkovitost u

okviru kohezijske politike EU-a za razdoblje 2014. - 2020. pokazuje da su ulaganja u javne zgrade bila malo više nego dvostruko veća od ulaganja u stambene zgrade. Prema podacima Fonda za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost do sredine 2019. godine najveća ulaganja u Hrvatskoj bila su u zgrade javnog sektora, malo manje u obiteljske kuće, a više nego upola manje u višestambene i komercijalne zgrade zajedno.

Kako bi se postojeći fond zgrada transformirao u energetski visokoučinkovit i dekarboniziran krajem 2020. godine donesena je Dugoročna strategija obnove nacionalnog fonda zgrada do 2050. godine. Prema tom dokumentu u Hrvatskoj se godišnje obnavljalo oko 0,7% podne površine zgrada i do sada je tek 5% zgrada energetski obnovljeno. Planirani cilj je postupno povećati stopu obnove, od 1% podne površine 2021. do preko 3% iza 2030. godine [2], [10].

Hrvatska vlada je donijela i Nacionalni plan oporavka i otpornosti 2021. - 2026. u kojem je jedna od šest komponenti Inicijativa: Obnova zgrada. Ovom sastavnicom plana poticat će se cijelovita obnova zgrada (stambenih, nestambenih i javne namjene), što bi trebalo biti naročito važno za obnovu nakon velikih potresa u Hrvatskoj 2020. godine. Predviđeni modeli obnove zgrada u Hrvatskoj prikazani su na slici 1.



Slika 1. Modeli energetske i druge obnove zgrada (prema [10])

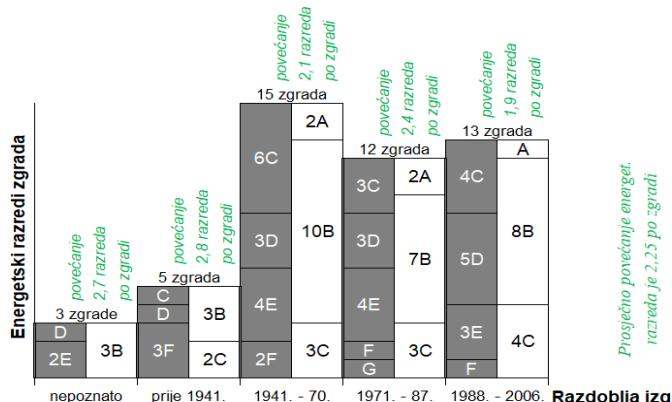
3. Troškovi i uštede energetske obnove školskih zgrada i obiteljskih kuća

Obrađeni su podaci dostupni na web stranici Osječko-baranjske županije (<http://www.obz.hr/index.php/upravni-odjel-za-investicije-razvojne-projekte-i-fondove-europske-unije>) za 48 projekata energetske obnove škola u ovoj županiji (8 srednjih i 40 osnovnih i područnih škola), koji su sufinancirani od *European Structural and Investment Funds* u okviru *Operational Programme "Competitiveness and Cohesion" 2014 - 2020* (na temelju javnih poziva nadležnog ministarstva 2017. i 2018. godine). Projekti energetske obnove analizirani su obzirom na starost i površinu zgrada, prethodno postojeći i unaprjeđeni energetski razred, planirane mјere obnove i ukupne troškove realizacije.

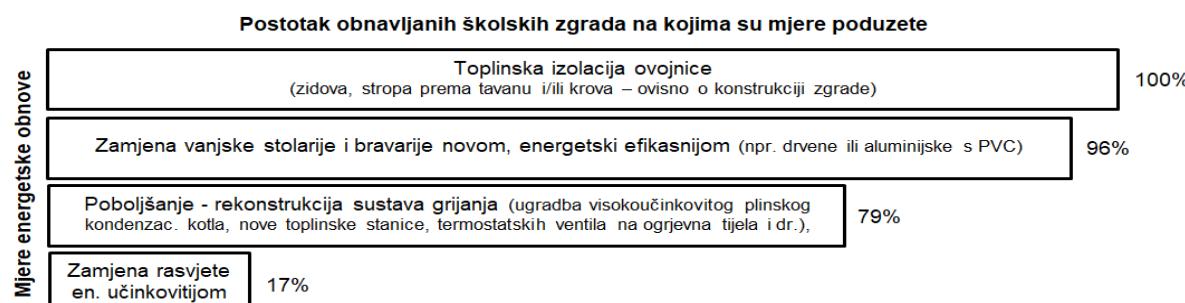
Ove školske zgrade bile su izgrađene od kraja 19. do početka 21. st. U tablici 1. su podaci o razdoblju izgradnje prema broju analiziranih zgrada i prema površinama, a uz to su izračunati troškovi obnove po zgradi i po četvornom metru površine. Slika 2. pokazuje energetske razrede koje su ove zgrade imale prije i poslije obnove te koliko je prosječno povećanje razreda po zgradi, razvrstano prema razdobljima izgradnje. Na slici 3. se vide koje su i koliko zastupljene bile predviđene mјere energetske obnove na školskim zgradama u Osječko-baranjskoj županiji (realizirano 2018. - 2021. godine).

Tablica 1. Troškovi analiziranih projekata obnove školskih zgrada

Udio prema broju / površini zgrada		Razdoblja izgradnje				
		nepoznato	prije 1941.	1941. - 70.	1971. - 87.	1988. - 2006.
Troškovi (kn)	Prosječno					
po zgradi	2.999.287	3.787.129	1.261.191	2.788.445	4.422.358	2.415.649
po m ² površine	1.202	1.534	1.256	1.253	1.186	1.090



Slika 2. Energetski razredi koje su zgrade imale prije obnove (označeni s ispunom i bijelim fontom) i razredi koje su postigli nakon nje (bez ispune i crni font teksta) (prema [11])



Slika 3. Mjere za poboljšanje energetske učinkovitosti na obnavljanim školskim zgradama

Rezultate obnove obiteljskih kuća u posljednjem dovršenom ciklusu Programa energetske obnove obiteljskih kuća 2014. - 2020. u istoj županiji prezentirali su Hećimović i Vidaković (2018). Gledano na uzorku od 100 obiteljskih kuća (2% građenih prije 1941., 13% od 1941. - 70., 46% od 1971. - 87., 32% od 1988. - 2006. i 7% poslije 2006. godine), pregledanih i obnovljenih 2015 - 2016. godine prosječno ulaganje u energetsku obnovu kuće bilo je 78.000 kn, a obzirom na prosječnu obnovljenu neto površinu kuće od cca. 120 m² to iznosi oko 650 kn/m². U odnosu na zgrade škola početni energetski razredi kuća bili su lošiji u svim razdobljima gradnje. Na kućama je poduzeto manje mjera za poboljšanje energetske učinkovitosti nego na školskim zgradama (u prosjeku 2,08 mjere po kući), a najčešće je to bila zamjena vanjske stolarije i u nešto manjoj mjeri toplinska izolacija vanjske ovojnice [12]. S tim je postignuto manje povećanje energetskih razreda i znatno manja ušteda energije za grijanje nego kod obnovljenih školskih zgrada (kod 15% kuća nije poboljšan i, kao i kod školskih zgrada, najlošiji razredi nakon obnove kuća ostali su kod onih građenih prije 1941.) [11], [12]. U prosjeku je blizu jedan energetski razred

povećan po kući, pa su troškovi za podizanje jednog razreda kod kuća u prosjeku bili oko 78.800 kn (=78.000/0,99). To je znatno manje od troškova povećanja energetskog razreda školskih zgrada, koji su bili 1.333.000 kn/razredu, ali površina obnavljanih škola bila je u prosjeku oko 21,5 veća od obiteljskih kuća. Gledano po metru četvornom, podizanje razreda obiteljskih kuća iziskivalo je oko 25% veće troškove nego kod školskih zgrada, gdje su bile veće količine radova i više poduzetih mjera obnove.

4. Karakteristike izvedbe projekata energetske obnove

Kod izvođenja mjera energetske obnove dominantna je produktivnost radne snage, pa su posebno važne njene karakteristike (vještine i motiviranost) i raspoloživost. Obnova zgrada često prekoračuje početno predviđene rokove i troškove izvedbe. Realizaciju ovih projekata učestalo otežavaju [13], [14], [15]:

- nepoznate karakteristike postojeće građevinske konstrukcije (materijal, dotrajalost i dr.),
- potrebni specijalizirani zadaci (iziskuju radnike sa zanatskim vještinama kakvih je danas malo na tržištu rada) s manjim količinama radova,
- neoptimalan raspored gradilišta za logistiku i manipulaciju s materijalima i strojevima,
- teže pristupan i skučeni prostor za rad,
- izvođenje radova na zauzetim zgradama (stanari i drugi korisnici su тамо).
- nedostatci i greške projektne i ugovorne dokumentacije (npr. opisi i količine radova u troškovniku te ugovorene odredbe za obračun i naplatu).

Uz to, u našoj praksi uobičajeno je neodgovarajuće vremensko planiranje (metode i pristup) i paušalni načini određivanja troškova (poglavito indirektnih i zajedničkih troškova). Realno predviđanje vremena i troškova otežava zanemarivanje neophodnih pomoćnih radova i nedovoljno poznavanje produktivnosti rada u konkretnim uvjetima rada. Pomoćni radovi kod realizacije projekata energetske obnove su brojni, kao npr. dolazak do mjesta rada (unutar gradilišta), priprema i spremanje mjesta rada, davanje i primanje uputa, čitanje nacrta, uzimanje alata i materijala, raspakiravanje materijala, rezanje ili miješanje nekih materijala, postavljanje i namještanje stroja, tj. dijelova stroja ili alata, postavljanje i premještanje skela i ljestava, pomaganje kod izvođenja direktnog rada (pozicioniranje, pridržavanje, usmjeravanje i sl.), obilježavanje, kontrola urađenog posla (mjerjenje i dr. pregledavanje), čišćenje alata i druge radne opreme, uklanjanje otpada, postupci zaštite na radu i dr. Oni ne dodaju direktno vrijednost, ali su nužni i moraju se uzeti u obzir.

Primjerice, početno uzorkovanje rada na nedavnom, velikom projektu obnove blokova stambenih zgrada u Danskoj pokazalo je da je produktivnog (direktnog) rada 26% (onaj koji se naplaćuje kroz stavke troškovnika), pomoćnog (indirektnog) rada 44% (najviše razgovori, kao što su upute za rad i sl. te priprema i transporti potrebnii za glavni rad), a izgubljenog vremena čak 30% (nenazočnost radnika, čekanje i suvišno kretanje) [16].

5. Moguće uštede vremena, novca i energije pri realizaciji projekata obnove zgrada

Dio troškova uvijek su jednokratni troškovi (uspostava/priprema gradilišta, dovoz i odvoz radne opreme itd.) zbog radova koji se isto moraju obaviti bez obzira na količinu i trajanje

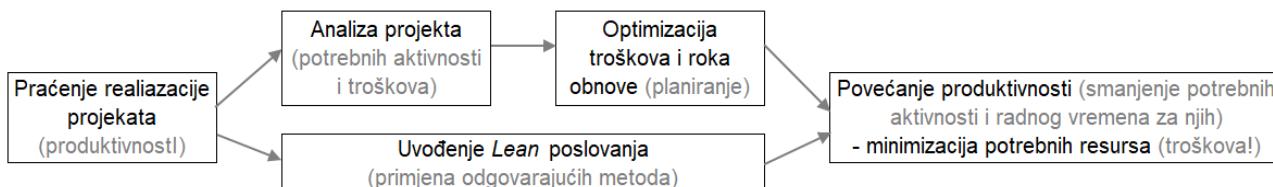
obnove zgrada. Oni se u kalkulacijama u pravilu raspodjeljuju na količinu ili sate rada, a to znači da će kod projekata s većim obimom radova ti troškovi imati manji udio.

Troškovi mogu biti manji ako je izvođaču više istovremenih projekta prostorno grupirano (zbog veće količine posla i zbog kraćih transporta te mogućnosti jednostavnije izmjene resursa za kojima su na pojedinačnim projektima promjenjivi zahtjevi). Moguće izbjegavanje nekih troškova kod povezivanja raznih mjera obnove zgrada, održavanja i drugih radova na njima analizirali su Vidaković i sur. (2021). Uštede izvođača i investitora troškova objedinjavanjem energetske obnove s cijelovitom modernizacijom i/ili prenamjenom zgrade pokazano je u tablici 2.

Tablica 2. Troškovi koji se mogu umanjiti ili izbjeći objedinjavanjem zahvata na zgradama (prema [17])

Troškovi vlasnika/investitora	Troškovi izvođača radova
<ul style="list-style-type: none"> - za ispitivanje stanja građevine (teže dostupnih elemenata) - za postupak izbora izvođača i ugovaranje - za nadzor nad izvedbom radova <u>- plaćanje izvođača (cijena radova).....</u> - privremena neuporabljivost ili smanjena razina uporabljivosti građevine (gubici zato što nije u funkciji) 	<p><u>Indirektni troškovi gradilišta</u> – pripremno završni radovi (uređenje i osiguranje), vođenje gradilišta, interni nadzor radova i komunikacija s investitorom, transporti, mjere zaštite na radu</p> <p><u>Direktni troškovi realizacije</u> – manje sati rada radnika i strojeva te utroška materijala (u nekim slučajevima manje zbog izbjegavanja dvostrukog čišćenja, rušenja i zatvaranja konstrukcije, zbog postojeće dostupnosti elemenata (osigurane zbog drugih radova) i veće iskorištenosti strojeva i radnika (naročito univerzalnih) kod veće količine radova na gradilištu)</p>

Rast udjela direktnog rada sa stupnjem primjene *Lean* potvrđuju istraživanja Wandahla i sur. (2021) i Johansena i sur. (2021) na četiri projekta opsežne obnove stambenih zgrada u Danskoj (2017. - 21.). Oni su utvrdili kako je usvajanjem *Lean* alata i metoda povećan udio produktivnog rada za oko 14% (do 40,7% radnog vremena) i smanjenje pomoćnog rada za oko 15% (smanjen na 30% radnog vremena) [16], [18]. Uz uštede izvođača, tako se postiže i smanjenje emisije ugljičnog dioksida (procjenjivo na 7,3 kg CO₂ emis./m² [18]). Slika 4. prikazuje proces unaprjeđenja izvedbe projekata obnove kroz smanjenje potrebnih aktivnosti na realizaciji i kroz povećanje produktivnosti primjenom odgovarajućih *Lean* metoda (npr. *Just-in-Time*, *5 S*, *Gemba*, *Last Planner System*, uzorkovanje aktivnosti).



Slika 4. Optimizacija roka i troškova izvedbe projekata obnove zgrada

6. Zaključak

Očita je nužnost mjera održavanja i poboljšavanja energetske učinkovitosti i drugih svojstava zgrada, kojima se ispunjavaju temeljni zahtjevi tijekom njihovog vijeka uporabe. Obzirom na godinu izgradnje, postojeći fond zgrada u Hrvatskoj predstavlja izuzetno veliki potencijal za uštenu energije. Pred postojećim zgradama vjerojatno je još dugi uporabni

vijek i njihova energetska obnova donosi više vrlo poželjnih efekata. Osim finansijskih ušteda i smanjenja zagađenja, postoje i druge direktnе i indirektnе koristi od obnove zgrada, kao što je bolji osjećaj ugode i zdraviji uvjeti za korisnike prostora (npr. vlažni prostori loši su za zdravlje, a vlažni zrak je i teže zagrijati, pa to znači veće troškove grijanja), zapošljavanje građevinskog sektora kroz realizaciju projekata energetske obnove (u EU-u se za svakih milijun eura uloženih u energetsku obnovu zgrada otvara prosječno 18 radnih mjeseta [19]), povećanje vrijednost zgrada i dr.

Obzirom na uvijek ograničene finansijske, ljudske i vremenske resurse mjere obnove treba dobro isplanirati. Uz uštete energije pri uporabi obnovljenih zgrada, kod planiranja mjera za poboljšanje energetske učinkovitosti potrebno je optimizirati troškove njihove realizacije, imajući u vidu i troškove ostalih potrebnih zahvata na zgradama. Oni su različiti za svaku zgradu, a specifičnosti proizlaze iz lokacije, namjene prostora, dimenzija i konstrukcijskog rješenja (materijali, vrsta krova, razvedenost tlora itd.), stanja zgrade, odnosno njene održavanosti (koliko su dotrajali postojeći elementi zgrade), sustava grijanja, hlađenja i rasvjete itd.

Pokazalo se da treba težiti što sveobuhvatnijoj obnovi zgrada jer se tako za ukupno manje vremena i novca postižu bolji rezultati nego parcijalnim mjerama. To je u skladu s Nacionalnim planom oporavka i otpornosti 2021. - 2026. u Hrvatskoj koji predviđa obnovu zgrada oštećenih u potresu s energetskom obnovom.

Planiranjem na temelju podataka utvrđenih na sličnim projektima i uvođenjem pogodnih *Lean* metoda (procjenjuje se da mogu dovesti do cca 25% ušteda radnog vremena [16]) izvođači mogu uštedjeti i veća je vjerojatnost realizacije projekta u okviru planiranih parametara. Jasno je da manje utrošenog radnog vremena znači i manji utrošak energije i manje zagađenja okoline. Uštete ugrađene energije na razini pojedinog projekta mogu se smatrati relativno malim, ali obzirom na broj takvih projekata koji su potrebni i one su vrlo značajne za postizanje ciljeva smanjenja potrošnje energije. U sadašnjoj situaciji nestašice energenata svako smanjenje njihove potrošnje još je važnije.

7. Literatura

- [1] European Court of Auditors. Energy efficiency in buildings: greater focus on cost-effectiveness still needed, Special Report 11/2020
- [2] Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine. Dugoročna strategija obnove nacionalnog fonda zgrada do 2050. godine, Zagreb, 2020.
- [3] Bazan-Krzywoszanska, Anna; Mrówczyńska, Maria; Skiba, Marta; Łaczakb, Andrzej Economic conditions for the development of energy efficient civilengineering using RES in the policy of cohesion of the European Union (2014–2020). Case study: The town of Zielona Gora // *Energy and Buildings*, 118 (2016); s. 170-180. (ISSN 0378-7788)
- [4] Dugoročna strategija za poticanje ulaganja u obnovu nacionalnog fonda zgrada Republike Hrvatske // Narodne novine, 74(2014). (ISSN 1333-9273)
- [5] Odluka o donošenju Programa energetske obnove zgrada javnog sektora za razdoblje 2016. – 2020. // *Narodne novine*, 22(2017). (ISSN 1333-9273)
- [6] Zakon o gradnji // *Narodne novine*, 153(2013). (ISSN 1333-9273)

- [7] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama // *Narodne novine*, 128(2015), 70(2018), 73(2018), 86(2018), 102(2020). (ISSN 1333-9273)
- [8] Tehnički propisi za građevinske konstrukcije // *Narodne novine*, 17(2017).
- [9] Directive on the energy performance of buildings 2010/31/EU
- [10] Žamboki, Danijel; Križ Šelendić, Irena. Energetska i sveobuhvatana obnova zgrada, Prezentacija izlaganja na 15. Dnima Hrvatske komore inženjera građevinarstva, Opatija, 17.-19.06.2021. https://www.hkig.hr/docs/Opatija_2021/prezentacije/01-web_prezentacije/ (Pristup 10.5.2022.)
- [11] Vidaković, Držislav; Lozančić Silva; Hadzima-Nyarko, Marijana; Krajnović, Marijana. Energy renovation of school buildings in Osijek-Baranja county // *Proceedings of XI International Conference Industrial Engineering And Environmental Protection 2021* / (ISBN 978-86-7672-348-5). Zrenjanin : Tehnički fakultet Mihajlo Pupin, Univerzitet u Novom Sadu, 7.-8.10.2021. s. 6-14.
- [12] Hećimović, Dražen, Vidaković, Držislav. *Analiza isplativosti energetske obnove obiteljskih kuća u Osječko-baranjskoj županiji* // *Proceedings of 27th International Scientific and Professional Conference "Organization and Maintenance Technology"* / Glavaš, Hrvoje (gl. ur.). (ISBN 978-953-6032-97-6). Osijek : Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, 13.04.2018. s. 97-104.
- [13] Kemmer, Sergio. Development of a Method for Construction Management in Refurbishment Projects, Disertacija na University of Huddersfield, UK, 2018.
- [14] Neve, H. Hasse; Wandahl, Søren; Lindhard, Søren; Teizer, Jochen; Lerche, Jon. Learning to see value-adding and non-valueadding work time in renovation production systems / *Production Planning and Control* 31(2020), s. 790-802.
- [15] Tzortzopoulos, P. i sur. *Lean Construction – Core Concepts and New Frontiers*, Routledge, London i New York, 2020. (ISBN 9780367196554)
- [16] Johansen, Peder; Christensen, Søren; Neve, Hasse; Wandahl, Søren. Lean renovation – a case study of productivity, flow, and time improvements // *Proceedings of 29. Annual Conference of the International Group for Lean Construction* / Alarcon, L. F.; González, V. A. (ur.). (ISBN 978-612-48025-4-6) Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú, 14.-16.07.2021 s. 839-848.
- [17] Vidaković, Držislav; Hadzima-Nyarko, Marijana; Ademović, Naida; Lozančić, Silva. Maintenance of building elements to fulfill the basic requirements buildings // *Proceedings of 30th International Scientific and Professional Conference "Organization and Maintenance Technology"* / Glavaš, Hrvoje (gl. ur.). (ISBN 978-3-030-92850-6). Osijek : Springer, 10.-11.12.2021. s. 288-309.
- [18] Wandahl, Søren; Pérez, T. Cristina; Salling, Stephanie; Neve, H. Hasse; Lerche, Jon; Petersen, Steffen. The Impact of Construction Labour Productivity on the Renovation Wave / *Construction Economics and Building* 21(2021), 3; s. 11-32. (ISSN 22049029)
- [19] Renovate Europe - Building Renovation: a kick-starter for the EU economy recovery. Renovate Europe, 2020. https://www.renovate-europe.eu/wp-content/uploads/2020/06/BPIE-Research-Layout_FINALPDF_08.06.pdf (Pristup 23.7.2022.)

Ugovaranje, naplata i rok radova na građevinama prema hrvatskim zakonima i novim uzancama o građenju

Contracting, payment and deadline for works on buildings according to Croatian laws and new construction customs

D. Vidaković^{1,*}

¹Građevinski i arhitektonski fakultet u Osijeku, Sveučilište J. J. Strossmayera, Osijek, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: dvidak@gfos.hr

Sažetak

U članku je dan pregled zakonskih odredbi o ugovaranju cijene, naplati, roku izvršenja radova i odgovornosti za promjene troškova na energetskim, vodnim i drugim građevinama. Komentirani su neki slučajevi kada u svezi toga dolazi do problema u našoj praksi. Pojašnjen je značaj i primjena uzanci o građenju u utvrđivanju postupanja i obveza izvođača i investitora. Nakon gotovo 45 godina usvojene su nove Posebne uzance o građenju i u članku su istaknute promjene koje one donose.

Ključne riječi: uzance o građenju, zakoni, ugovor, naplata, rok izvedbe, odgovornost

Abstract

The article provides an overview of the legal regulations on contracting the price, payment term of execution of works and responsibility for cost changes on energy, water and other buildings. Some cases where problems arise in our practice in this regard have been commented on. The article clarifies the importance and application of construction customs in determining the actions and obligations of contractors and investors. After almost 45 years, new Special construction customs have been adopted, and the article highlights the changes they bring.

Key words: construction customs, laws, contract, payment, deadline, responsibility.

1. Uvod

Uspješnoj realizaciji građevinskih projekata znatno doprinosi izbjegavanje problema s pitanjima izvršavanja obveza naručitelja (investitora) i izvođača. Zato je važno formalno definiranje njihovog poslovnog odnosa, a to treba biti u okviru ugovora o građenju. Zbog složene i dugotrajne realizacije građevinskih projekata ugovor o građenju je jedan od rijetkih pravnih odnosa koji, u cilju izbjegavanja spora između ugovornih strana, objektivno zahtjeva kontinuirano usklađivanje njihovih odnosa i nakon sklapanja ugovora [1].

Prema Zakon o obveznim odnosima (ZOO) građevinama se smatraju brane, bunari, vodovodi, kanalizacije, zgrade, mostovi, tuneli, ceste, željezničke pruge i ostale građevine čija izgradnja zahtjeva veće i složenije radove [2]. Iz toga proizlazi da manji ili jednostavniji radovi (obavljanje geološko-istraživačkih bušenja na zemljištu radi pripreme za izradu projektne dokumentacije, izvođenje radova hidroizolacije podruma ili obrtnički radovi s kojima se ne mijenja struktura stana, kao npr. soboslikarski radovi) ne mogu biti predmet ugovora o građenju. Završni radovi na građevinama su prema tumačenju visokih sudova u Hrvatskoj ugovori o djelu. To je važno zato jer su neki ugovori formalno nazvani ugovorima o građenju, a zapravo sadržajno su ugovori o djelu i prema tome za njih vrijede neka drugačija zakonska tumačenja (npr. rok zastare) [3]. U ZOO-u je posebno određeno sklapanje, prava i obveze za ugovor o građenju, a posebno za ugovor o djelu. No, iako nigrdje u zakonu nije izričito navedeno, pravna teorija i sudska praksa imaju stav da je ugovor o građenju posebna vrsta složenog ugovora o djelu [4].

Ugovore o građenju, uz ZOO (čl. 620. - 636.) uvelike određuju Posebne uzance o građenju (PUG), a sekundarno još i neki drugi propisi (Zakon o gradnji, Zakon o javnoj nabavi, Zakon o zaštiti na radu, Zakon o gospodarenju otpadu i dr.). Kao izvor prava u građevinskoj praksi, poglavito kod izvođenja međunarodnih projekata, mogu se koristiti i FIDIC-ovi (*Fédération Internationale Des Ingénieurs-Conseils*) opći uvjeti građenja.

Puno odredbi ZOO-a je dispozitivnog karaktera, što znači da nisu prisilne, nego da se primjenjuju ukoliko stranke ne ugovore nešto drugo, odnosno ne reguliraju određena prava i pravne odnose drugim pravnim aktom. Uzance nisu potpuno usklađene sa zakonom, ali prema ZOO-u (čl. 12. st. 3) trgovački običaji i praksa koju su trgovci međusobno razvili, a za čiju su primjenu ispunjene pretpostavke iz ZOO-a, primjenjuju se i ako su suprotni dispozitivnim normama [2].

2. Primjena Posebnih uzanci o građenju

Uzance o građenju su uobičajen oblik normiranja odnosa izvan zakona u Hrvatskoj, kao i u drugim zemljama. Uzancama se nazivaju postojeći poslovni (trgovački) običaji, koji nastaju tijekom vremena. Bilježe se i objavljaju u pisanim oblicima, više njih koji međusobno povezani čine neku cjelinu, po kojoj ih se i naziva [5]. Tako se, uz nužnu sistematizaciju i usklađivanje, utvrđuje ono što u praksi već postoji, pa su PUG više u duhu ustaljenih odnosa u graditeljstvu nego neke odredbe ZOO-a. (Za razliku od općih, posebne uzance uređuju neko posebno područje, u ovom slučaju pružanje usluga u graditeljstvu.)

Vjerojatno su upravo PUG najvažnije uzance u gospodarstvu, jer se temeljem njih, u usporedbi s drugim uzancama, vodi najveći broj sporova, uključujući i one na arbitražnom sudištu Hrvatske gospodarske komore (HGK) (najviše zbog neispunjerenja ugovornih obveza glede roka, kvalitete i cijene radova te njihovog plaćanja), a i zato što su građevinski sporovi jedni od najčešćih, najsloženijih i s najvišim vrijednostima [1], [4], [5].

Zakonom o gradnji (stupio na snagu početkom 2014.) određeno je da posebna radna skupina, u suradnji s komorom i drugim stručnim udrugama iz područja graditeljstva, utvrdi nove PUG. Pri utvrđivanju novih uzanci trebalo je uzeti u obzir postojeće gospodarske prilike i potrebe te suvremene poslovne običaje u odnosima iz područja građenja u

Hrvatskoj, a također i međunarodnu praksu iz nama usporedivih sustava. S obzirom da se običaji u praksi nisu u toliko velikoj mjeri mijenjali, u Hrvatskoj su se i dalje primjenjivale Posebne uzanse o građenju objavljene 1977. godine u Službenom listu SFRJ i koje od tada nikada nisu bile ažurirane. Krajem 2021. godine HGK i Hrvatska udruga poslodavaca objavile su nove PUG. Za razliku od prijašnjih, imaju dva dijela manje (sada 23) i ukupno 20 odredbi manje (sada 107), ali tumače značenje skoro duplo više pojmove na hrvatskom jeziku. Neki pojmovi iz starih uzanci su vrlo slično objašnjeni (kao npr. viškovi i manjkovi radova te naknadni i nepredviđeni radovi), neki u novim uzancama nisu obuhvaćeni (npr. za gradilište je značenje dano u Zakonu o gradnji), ali je definirano značenje izvanistroškovničkih radova i pojmovi u svezi roka i plana građenja, cijena i jamstva [6], [7]. PUG reguliraju odnose između naručitelja i izvođača u svakodnevnoj praksi izvođenja građevina, a primjenjuju se i u arbitražnim i sudskim sporovima. (Nove PUG primjenjuju se na ugovore sklopljene nakon njihovog donošenja.) Prema starom ZOO-u (do 2005.) odredbe ZOO-a bile su jače od uzanci i prioritetna primjena PUG-a bila je tek ako se to izrijekom ugovori. No, s primjenom danas važećeg ZOO-a uzance se gotovo beziznimno primjenjuju kao glavno pravno sredstvo uređenja ugovora o građenju jer smatra se da je njihova primjena ugovorena, osim ako u ugovorima nije izričito isključena. Obzirom da su mnogi veliki građevinski projekti financirani od javnih naručitelja, važno je istaknuti kako, suprotno odredbama ZOO-a [8], čl. 219. Zakona o javnoj nabavi propisuje, u slučaju da će se tijekom izvršenja ugovora o javnoj nabavi primjenjivati trgovački običaji, tj. uzance, javni naručitelj obvezan je to utvrditi odredbama ugovora [9].

3. Određivanje ugovorene cijene i mogućnosti njene promjene

3.1. Načini ugovaranja cijene i naplate radova

Zakonom je propisano da se cijena radova može odrediti po jedinici mjere ugovorenih radova (jedinična cijena) ili u ukupnom iznosu za cijelu građevinu (ukupno ugovorena cijena) [2], a može i kombinacijom ta dva načina ili određenim drugim načinima. Značajke dva najčešća načina ugovaranja cijene navedene su u tablici 1.

Tablica 1. Značajke načina ugovaranja cijene radova

Cijena po jedinici mjere radova	Cijena u ukupnom iznosu za cijelu građevinu
<ul style="list-style-type: none"> - Ugovara se kada se ugovoreni posao može podijeliti na više vrsta radova, a svaki od tih radova može se iskazati u odgovarajućim mjernim jedinicama (m, m², m³, kom, t / kg) i može mu se odrediti cijena za jediničnu mjeru, pa je ukupna cijena zbroj umnožaka jediničnih cijena s količinama radova u troškovniku. - Jedinična cijena vrijedi i za više i manje radova/usluga ako ne prelaze više od 10% ili manje za više od 10% od ugovorenih količina radova. Ako je količina izvedenih radova veća ili manja za više od 10% ugovorenih količina, tada se na zahtjev jednog ugovaratelja može dogоворити nova cijena, vodeći pri tome računa o povećanim ili smanjenim troškovima [7]. 	<ul style="list-style-type: none"> - Kada je cijena ugovorena samo u ukupnom iznosu za sve radove koje treba platiti zapravo se radi o paušalnoj cijeni (iako je ZOO ne naziva tako) [4]. Bez obzira što se naziva cijenom za izgradnju cijele građevine, tako se može ugovoriti cijenu i kada je predmet ugovora samo izvođenje pojedinih dijelova građevine ili određenih građevinskih radova (pojedine vrste radova koji čine posebnu cjelinu). Paušalna cijena ne obračunava se prema izvedenim radovima i količinama, ali izračunava se množenjem količine radova prema nekom predračunu (troškovniku) i pripadnih jediničnih cijena. - Izvođač ima pravo naplatiti točno iznos ukupno ugovorene cijene, bez obzira na stvarne količine radova i troškove koji su bili potrebni kako bi ispunio ugovornu obvezu. (Tada izvođenje više radova od predviđenih predračunom ide u korist naručitelja, jer nije dužan posebno ih platiti, dok manje potrebnih radova ide u korist izvođača jer se zbog njih ukupna ugovorena cijena ne umanjuje.)

Ugovaranje radova na izvođenju građevina može biti [2]:

- s odredbom "ključ u ruke" (*turnkey*) ili
- prema troškovniku (obuhvaća pojedinačno sve vrste radova s količinama i cijenama).

Osim toga, mogu se primijeniti i neki drugi, neformalni ugovorni odnosi, kao npr. direktna nagodba ili prema akordu [10].

Kada ugovor o građenju sadrži odredbu "ključ u ruke" ili neku drugu, sličnu odredbu, izvođač se obvezuje izvesti sve radove potrebne kako bi kompletna predmetna građevina bila osposobljena za uporabu te kao takva predana naručitelju [4] (metaforički predaja ključeva naručitelju znači da je građevina spremna za uporabu, odnosno funkcionalna). Princip ovog načina ugovaranja je ugovaranje investicije (projekta) kao "građevina komada 1", sve do konačnog stupnja izvedenosti, tj. gotovosti [10].

Ugovori s odredbom "ključ u ruke" su po svom predmetu obično širi, jer onda je izvođač često zadužen za poslove koje prethode građevinskim radovima (kao što je projektiranje, obavljanje administrativnih poslova oko pribavljanja neophodnih odobrenja za građenje, priprema terena i sl.), a također osigurava i nadzor [4]. Naš ZOO ugovaranjem "ključa u ruke" ne obvezuje izvođača za rješavanje poslova projektiranja, dok prema FIDIC-u ta odredba podrazumijeva da izvođač osigurava i izradu odgovarajućeg projekta građevine.

Ugovaranje "ključ u ruke" proizašlo je iz FIDIC-ovih pravila ugovaranja velikih investicija, zbog općenitog povećanja opsega i složenosti građevinskih projekata. Pogotovo kod izgradnje akumulacijskih brana, vodovodne i kanalizacijske mreže, tunela, elektrana i raznih drugih gospodarskih građevina, kao i velikih stambenih zgrada čija izgradnja zahtijeva veće i složenije radove, investitorima više odgovara s jednom stranom (izvođačem) ugovoriti obavljanje svih potrebnih radova i usluga te isporuku i ugradbu sve opreme za izgradnju građevine kompletirane za uporabu [4].

Ugovorena cijena s "ključem u ruke" obuhvaća i vrijednost izvedbe svih nepredviđenih radova i veće količine (viškova) radova/usluga, a isključuje utjecaj manje količine (manjka) radova/usluga na ugovorenu cijenu, pod pretpostavkom da nije došlo do izmjene opsega ugovorenih radova temeljem sporazuma ugovornih strana ili iz razloga za koje odgovara naručitelj [2]. Odredba "ključ u ruke" znači da ugovorena cijena previđenih radova obuhvaća i vrijednost onih radova koji nisu predviđeni troškovnikom, ali su predviđeni grafičkim dijelovima projekta (glavnog i izvedbenog) [7].

Ugovaranje ove odredbe predstavlja veći rizik za izvođača, jer mu naknadno, nakon ugovaranja posla, više neće biti priznati za naplatu radovi koje je propustio obračunati u cijeni. Stoga izvođač treba veliko stručno znanje i iskustvo, a i dovoljno vremena (čega često manjka), kako bi u postupku davanja ponude dobro proučio cijeli projekt.

Nekada se sklapaju ugovori čiji predmet nije izgradnja kompletne, tj. gotove građevine, ali svejedno su s odredbom "ključ u ruke". Pokazalo se da je kod nekih hrvatskih naručitelja prevladavajući motiv ugovaranja odredbe "ključ u ruke" zapravo težnja za ugovaranjem nepromjenjive cijene, a manje interes za sam pojam "ključ u ruke" [4], odnosno odgovornost izvođača za funkcionalnost predane građevine. Kod nas se nerijetko poistovjećuje ugovor s odredbom "ključ u ruke" s ugovaranjem ukupne fiksne ili paušalne cijene, ali zapravo je bitna razlika u odgovornosti izvođača za funkcionalnost građevine

prilikom primopredaje. U cilju izbjegavanja kasnijih nesporazuma, onda je bolje ugovoriti paušalnu cijenu za pojedine dijelove građevine ili određene građevinske radove koji su predmet ugovora (kao što može biti i kompletna građevina), imajući u vidu da u tom slučaju izvođač ne preuzima odgovornost za uporabnu funkcionalnost građevine [4].

Kada se ugovora izvedba samo određenih faza radova treba precizno i jasno projektom definirati i ugovorom odrediti koja je to faza i razina završetka radova. (Ta faza mora biti tako završena da se poslije može dovesti drugi izvođač za sljedeću fazu radova [10].) Kod zgrada je to često *rohbau*, ali taj izraz je iz njemačkog jezika i u našoj praksi nema ujednačeno značenje, pa se ne zna što se pod njim točno podrazumijeva (npr. obuhvaća li ugradbu stolarije) i to može biti izvor kasnijih sporova između naručitelja i izvođača.

Neki izvođači preferiraju ugovaranje "ključ u ruke" jer, prema njihovom mišljenju tada ne trebaju voditi toliko dokumentacije (za dokazivanje količina i troškova - građevinsku knjigu, situacije i sl.). Ipak, vođenje građevinskih i finansijskih dokumenata je potrebno zbog kontrole i sagledavanja svih komponenti ugovora, a obveza vođenja određene dokumentacije proizlazi i iz važećih zakonskih propisa [10].

Ugovorom o građenju koji ne sadrži odredbu "ključ u ruke" izvođač se obvezuje izvesti određene građevinske radove, odnosno sagraditi određenu građevinu prema njenom projektu i pripadnom troškovniku. Ugovorni troškovnik, obvezno sadrži opise radova i jedinične cijene koje su temelj osnovnog ugovora [4]. Međutim, često se događa da se količine iz troškovnika razlikuju od onih koje se stvarno izvedu, kao i da se pri realizaciji projekta ukaže potreba za izvantroškovničkim radovima. (Nedavno ispitivanje stručnih osoba pokazalo je da 42% smatra da je to često, a 39% da je vrlo često [11]). PUG izvantroškovničkim radovima smatraju nepredviđene i naknadne radove čije izvođenje nije predviđeno u ugovernom troškovniku. Nepredviđeni radovi su hitni radovi koje je izvođač dužan izvesti s odobrenjem ili bez odobrenja naručitelja radi očuvanja stabilnosti i sigurnosti građevine, susjednih građevina i osoba te ostali radovi koje je nužno hitno izvesti zbog tehnoloških i/ili funkcionalnih razloga, a naknadni radovi su oni radovi koji nisu ugovoreni i nisu nužni za ispunjenje ugovora, a naručitelj zahtijeva da se izvedu. (Izvođač nije obvezan naručitelju ponuditi izvođenje naknadnih radova.) Za izvedene radove koji nisu predviđeni troškovnikom PUG predviđaju da se obračun radi na temelju jediničnih cijena sličnih radova u ugovernom troškovniku, cijena na tržištu rada ili prethodno dogovorenih cijena [7].

Ugovorom se može odrediti isplata za ugovorene radove odjednom, u trenutku zaključenja ugovora ili kada se naručitelju preda gotova građevina, odnosno završeni radovi, ali najčešće se plaćanje ugovara tako da je postupno, u određenim razdobljima (uobičajeno mjesecnim) – proporcionalno količini, odnosno cijeni izvedenih radova u tom razdoblju. Moguće je ugovoriti i plaćanje određenog avansa izvođaču, čiji iznos se onda odbija od kasnijih obroka plaćanja (mjesecnih situacija).

Zakon o obveznim odnosima nema odredbe o situacijama za naplatu izvedenih radova, no uzance 50. - 56. reguliraju plaćanje na temelju privremenih i okončane situacije. Situacije izvođač ispostavlja na temelju izvedene količine ugovorenih radova i ugovorenih cijena, a POG određuju koje podatke te situacije trebaju sadržavati i rokove za plaćanje po

predmetnim situacijama (ako nije drugačije ugovorenno, privremene nakon 30, a okončanu nakon 45 dana od urednog primitka, što je duplo duži rok od onog prema uzancama iz vremena SFRJ [6], [7]). Okončanom situacijom izvođač prema ugovorenim cijenama iskazuje ukupne tražbine prema naručitelju, uključujući i za radove koji možda nisu bili obuhvaćeni privremenim situacijama (eventualno s uračunatom razlikom u cjeni i iznosom koji naručitelj zadržava za otklanjanje nedostataka, ako ne postoji drugi instrument osiguranja). Rad na okončanom obračunu ovlašteni predstavnici ugovaratelja započinju odmah nakon primopredaje izvedenih radova [7].

3.2. Mogućnost izmjene ugovorene cijene

I jedinična cijena i ukupno ugovorena cijena mogu biti ugovorene kao nepromjenjive ili kao promjenljive cijene. Za mogućnost određivanja korekcije promjenjiva cijena najčešće se ugovara s kliznom skalom ili indeksnom klauzulom. Njihovo ugovaranje općenito dozvoljava ZOO (čl. 23. i 24.), kao zaštitnih odredbi za slučaj promjena cijena materijala, rada i drugih čimbenika koji utječu na visinu troškova proizvodnje, odnosno izvedbe, u određeno vrijeme na određenom tržištu [2], [4]. Klizna skala može imati opisni oblik (gdje se određuje koliki postotak ukupne cijene otpada na troškove materijala, plaće radnika i fiksne, odnosno indirektne troškove) ili oblik s matematičkom formulom [12].

Ako su ispunjeni za to određeni uvjeti (obzirom na odgovornost), propisi dozvoljavaju korekcije ugovorenih cijena na više ili manje, čak i kada su ugovorene kao nepromjenjive. Kod ugovora o građenju s odredbom "ključ u ruke", osim što je obuhvaćana i vrijednost svih nepredviđenih radova i viškova radova, visina ugovorene cijene u načelu je nepromjenjiva [4]. Ipak, i ZOO i PUG definiraju uvjete (na međusobno drugačiji način) kada se kod ugovora o građenju koji sadrži odredbu "ključ u ruke" može izmijeniti ugovorena cijena. To je vezano za odgovornost naručitelja, a najčešće je zbog naknadnih radova, odnosno njegovog zahtjeva za povećanjem opsega radova (sporazumno, što ukazuje da su stranke pristale i na izmjenu cijene) [2], [4]. Prema čl. 623. ZOO-a za svako odstupanje od projekta, odnosno ugovorenih radova, osim ako se radi o nepredviđenim radovima koje se moraju hitno izvesti, izvođač mora imati pisani suglasnost naručitelja i bez nje ne može zahtijevati dodatnu naplatu tih radova [2]. (Ponekad se u praksi razlikuju mišljenja izvođača i naručitelja jesu li neki radovi naknadni i kao takvi trebaju biti dodatno plaćeni ili su to radovi koje je izvođač morao izvesti u okviru ukupno ugovorene cijene, pa se to dokazuje na sudovima [13].)

Uzanca 18. PUG-a daje pravo svakom ugovaratelju zahtijevati izmjenu ugovorene cijene (jedinične ili ukupno ugovorene, ovisno o tome kako je cijena ugovorena) ako dođe do promijenjenih okolnosti koje utječu na visinu te cijene. Promijenjene okolnosti su one koje se u vrijeme sklapanja ugovora nisu mogle predvidjeti, a čije se nastupanje nije moglo izbjegći niti njihovo djelovanje otkloniti. To su u prvom redu mjere utvrđene aktima nadležnih tijela, promjena cijena građevnih proizvoda/opreme/usluga na tržištu, uvjeti za izvođenje radova u zemlji ili vodi koji nisu predviđeni tehničkom dokumentacijom i prekoračenje roka gradnje radi izvođenja izvantroškovničkih radova. Prema uzanci 26. odredba "ključ u ruke" ne isključuje izmjenu ugovorene cijene zbog nastupanja

promijenjenih okolnosti i plaćanja izvantroškovničkih radova koji nisu predviđeni grafičkim dijelovima projekta ako je projekt osigurao naručitelj i promjene tehničke dokumentacije koju je zatražio naručitelj [7].

Izvođač može zahtijevati povećanje jedinične cijene izvođenja pojedinih radova, u slučaju da je izveo radove u ugovorenem roku, ako su se u vremenu između davanja ponude i ispunjenja ugovora (bez njegova utjecaja) povećale cijene pojedinih elemenata na temelju kojih je određena jedinična cijena pojedine stavke troškovnika (građevinskih materijala, proizvoda, rada i dr.), tako da bi ta cijena (jedinična ili ukupna – ovisno kako je ugovorena) trebala biti veća za više od 2% i može mu biti priznato za povećanje onoliko koliko je iznad 2%. Isto tako, i naručitelj ima pravo tražiti smanjenje cijene ako su se u razdoblju između sklapanja ugovora i ispunjenja obvezе izvođača cijene elemenata na temelju kojih je određena cijena radova snizile za više od 2%. I u slučaju kada je ugovorena nepromjenjiva cijena može se zahtijevati izmjena ugovorene cijene zbog promijenjenih okolnosti. Prema uzancama 19. i 22. to može biti ako su promijenjene okolnosti dovele do povećanja ili smanjenja cijene za više od 3% [7], a čl. 627. i 629. ZOO određuju da to mora biti više od 10% (priznaje se za povećanje cijene ono što je iznad tog postotka). Promjena cijena, odnosno troškova izvođenja ugovorenih radova moraju se dokazati i za to treba angažirati kompetentne stručne osobe (kao što su nadzorni inženjer, voditelj projekta, sudski vještak građevinske struke), koje će odabrati metodu za utvrđivanja poskupljenja [14]. Promjena cijene građevnih proizvoda/opreme/usluga utvrđuje se prema podacima Državnog zavoda za statistiku ili analizi HGK, uspoređujući podatke o cijenama (indeks) za razdoblje između datuma podnošenja ponude (ako nije podnesena ponuda onda od datuma sklapanja ugovora) u odnosu na podatke koji se odnose na vrijeme izvođenja radova.

Za neizvršene ugovore o javnoj nabavi radova kod kojih je ugovorena nepromjenjiva cijena radova, a primjenjive su odredbe članaka ZOO-a o ugovoru o građenju, ako su se cijene radova i elemenata na temelju kojih je cijena radova određena izmjenile u tolikoj mjeri da bi cijena radova trebala biti veća za više od 10% ugavaratelji se mogu obratiti naručiteljima sa zahtjevom za isplatom razlike u cijeni koja je iznad 10% [15]. Na to poziva Zaključak Vlade iz lipnja ove godine, koji u svom privitku daje Metodologiju utvrđivanja razlike u cijeni radova. Korekcije ugovorenih cijena s izvođačima zbog poskupljenja materijala i energije očekuju se najviše u prometnim, komunalnim i projektima vodnog gospodarstva [14].

Ako bi ugovorena cijena morala biti znatno povećana, naručitelj može raskinuti ugovor, ali je u tom slučaju dužan izvođaču isplatiti odgovarajući dio ugovorene cijene za do tada izvedene radove te pravičnu naknadu za učinjene nužne troškove [2].

Izvođač nema pravo tražiti da mu se prizna povećanje cijena ukoliko je do povećanja cijene elemenata na temelju kojih je određena cijena radova došlo nakon što je došao u zakašnjenje u odnosu na ugovoren i rok [2].

4. Rok izvođenja radova i kazna za kašnjenje ili neizvršenje ugovorenog

Kada ugovorom nije određen rok u kojem izvođač mora izgraditi građevinu ili izvesti druge radove primjenjuje se čl. 597. ZOO-a, prema kojem je dužan to obaviti u vremenu koje je razumno potrebno za takve poslove [2]. Razuman rok ovisi o svakom konkretnom slučaju,

a najviše o količini i složenosti ugovorenih radova [4]. ZOO oslobađa izvođača odgovornosti za zakašnjenje nastalo zbog toga što mu naručitelj nije predao materijal na vrijeme, ili zbog toga što je tražio izmjene, ili što mu nije isplatio dužni predujam te uopće za zakašnjenje nastalo ponašanjem naručitelja.

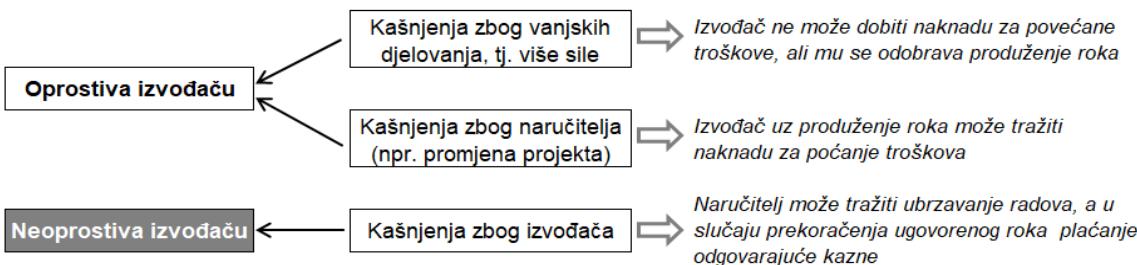
U ZOO-u ne postoje detaljnije odredbe o ugovorenim rokovima građenja, ali uzance 28. - 31. pojašnjavaju da je rok za izvođenje radova ukupno ugovoren rok i da on teče od datuma uvođenja izvođača u posao. Uz to, PUG određuju i pravne posljedice za kašnjenje te daju naručitelju za pravo da može raskinuti ugovor i zahtijevati od izvođača naknadu štete ako ovaj ne započne izvođenje radova u roku koji je određen ugovorom (može i prethodno izvođaču produžiti taj rok), a također ima pravo zatražiti od izvođača poduzimanje potrebnih mjera koje će osigurati ubrzanje radova i njihovo usklađivanje s ugovorenim dinamičkim planom građenja, ukoliko postoji opravdana sumnja da radovi neće biti izvedeni u ugovorenom roku [7]. Treba naglasiti da dinamički plan radova nije bitan sastojak ugovora, nego je dio ugovora samo ako su stranke tako ugovorile [3].

Uzance 12. i 33. - 35. daju pravo izvođačima da traže produljenje roka, a uz to i naknadu od naručitelja za povećanje troškova produženog izvođenja radova i ostale u svezi s tim dokazane troškove u slučajevima ako su bili sprječeni izvoditi radove [7]:

- zbog promijenjenih okolnosti u odnosu na one predviđene (više sile, prirodnih događaja, mjera predviđenih aktima nadležnih tijela za koje nije odgovoran izvođač, uvjeta za izvođenje radova u zemlji ili u vodi koji nisu predviđeni tehničkom dokumentacijom, izvanistroškovničkih radova za koje izvođač pri zaključivanju ugovora nije znao niti je mogao znati da se moraju izvesti),
- zbog neispunjavanja obveza naručitelja (kašnjenja s uvođenjem izvođača u posao, naknadno utvrđenog postojanja instalacija koje onemogućavaju izvođenje radova, kašnjenje naručitelja s dostavom tehničke dokumentacije, nepravodobnog pribavljanja odgovarajućih dozvola koje su u nadležnosti naručitelja, zakašnjenja s isporukom opreme za koju je odgovoran naručitelj, ako naručitelj ne osigura odgovarajuću koordinaciju između više izvođača s kojima je sklopio ugovore za rad na istoj građevini) ili
- zbog izmjene i dopune tehničke dokumentacije tijekom izvođenja te povećanja fizičkog obujma svih ugovorenih radova za više od 10% od ukupno ugovorene vrijednosti svih radova, a za koje se može dokazati da je iz tehničko-organizacijskih razloga opravdano produljenje roka.

Hoće li se kašnjenje nadoknaditi ili ne ovisi prvenstveno o uvjetima ugovora. U mnogim ugovorima posebno se navode vrste kašnjenja koja su opravdana (oprostiva izvođaču) i koja su pri tome nenadoknadiva, što znači za koje izvođač ne prima nikakav dodatni novac, ali mu se može dopustiti produljenje roka [17]. Uzroci smanjenja produktivnosti izvođača uslijed zastoja i kašnjenja radova te odgovornost za to i proizašlo povećanje troškova, može biti predmet spora između ugovornih strana, pogotovo ako je bilo više negativnih utjecaja u istom razdoblju (često djeluju kumulativno i sinergijski).

Slika 1. pokazuje kako se u inozemnoj praksi gleda na odgovornost za zastoje, odnosno kašnjenje izvođenja radova na građevinskim projektima.



Slika 1. Različiti uzroci kašnjenja izvedbe i mogućnosti naknade (prema [16] i [17])

Ugovorne strane po svojoj volji mogu odrediti visinu ugovorne kazne u ukupnoj svoti, u postotku, za svaki dan zakašnjenja ili na neki drugi način za slučaj da izvođač zakasni s ispunjavanjem svoje obveze i ako je on odgovoran za kašnjenje. Ako ugovorom nije predviđena drugačije (druga visina kazne), uzance 43. - 49. određuju plaćanje ugovorne kazne. Ta kazna iznosi 1% od ukupne ugovorene cijene radova za svaki dan zakašnjenja izvođenja radova u odnosu na početno ugovoreni ili naknadno produljeni rok, ali iznos tako određene ugovorne kazne ne može prijeći 5% od ukupne cijene radova. (U ukupnu ugovorenу cijenu radova, kao osnovicu za obračun ugovorne kazne, ne ulazi vrijednost ranije završenog dijela radova koji predstavlja ekonomsko-tehničku cjelinu koja se može samostalno koristiti [7].) Iz toga proizlazi da za dugotrajnija prekoračenja naručitelj neće moći tražiti povećanje kazne, osim ako ne dokaže kako stvarna šteta premašuje iznos 5% ukupne cijene, a što je prema pravilima dokazivanja naknade štete vrlo teško [1]. Pri tome treba imati u vidu i da ZOO (čl. 354.) dozvoljava da sud smanji ugovornu kaznu ako se utvrdi kako je ona nesrazmjerno visoka [2].

U ZOO-u nema odredbi o premiji (bonusu) za izvedbu radova prije ugovorenog roka, ali ona se također može uvrstiti u ugovor o građenju.

5. Zaključak

Izvedba svih većih građevinskih projekata zbog složenosti i dugotrajnosti te raznih vanjskih utjecaja je takva da se ne može ni projektnom dokumentacijom ni ugovorom potpuno obuhvatiti i detaljno regulirati sve okolnosti do kojih dolazi. Cijelo to područje nije moguće uređiti samo sa zakonskim propisima, pa je zato posebno važna uloga uobičajenih pravila definiranih PUG-om. Materiju ugovora o građenju PUG određuju djelom kao i ZOO, no uzance određuju pojedine odnose i postupanja koje zakon uopće ne spominje. Pri tome imaju i spomenuta, različita tumačenja od nekih odredbi ZOO-a.

Od važnih pitanja koja reguliraju ZOO i PUG od posebnog interesa za naručitelje i izvođače su ugovaranje cijene, naplate i roka izvođenih radova. Zbog aktualne, novonastale situacije na tržištu materijala i radne snage izuzetno je važno kako i u kojim slučajevima se dozvoljavaju promjene ugovorenih cijena.

Obzirom da PUG dobro reguliraju odnose naručitelja i izvođača i nadopunjaju ZOO, ako se u ugovoru o građenju želi izbjegći primjena pojedinih uzance ne treba isključivati cijele PUG, već je svrshishodnije isključiti samo određene, neželjene odredbe.

Nejasnoće i posljedične greške pri davanju ponude i loše ugovaranje vjerojatno će uroditи s problemima tijekom realizacije radova i primopredaje građevine, što može dovesti i do

prekida radova i sudske sporove ili drugih arbitraža. Nekvalitetna projektna dokumentacija otežava davanje ponude i na temelju nje sklapanje ugovora, te posljedično opterećuje cijeli proces realizacije projekta. (Nedavno Fučićev (2021.) ispitivanje pokazuje da su kod nas projekti najčešće samo djelomično usklađeni te nejasni i iziskuju dodatna pitanja, kao i da čak oko 20% projekata i troškovnika treba naknadno doradivati [11].) Troškovnik je jedan od temeljnih dokumenata za određivanje ponuđene cijene, pa je preporučljivo da naručitelj obvezno ugovori s projektantom njegovu izradu i da se pazi na njegovu točnost, odnosno potpunost (obzirom na obuhvaćene stavke te njihove opise i količine). To ne iziskuje veliki trošak, a važno je za izbjegavanje nesporazuma i grešaka izvođača u relativno kratkom roku davanju ponude.

6. Literatura

- [1] Ljubenko, Mićo; Knežević, Tena. Primjena Posebnih uzanci o građenju danas? // *Hrvatski graditeljski forum, Izazovi u graditeljstvu 2* / Lakušić, Stjepan (ur.). (ISBN 987-953-6686-15-5). Zagreb : HSGI, 18.-19.11.2014. s. 1-29.
- [2] Zakon o obveznim odnosima // *Narodne novine*, 35(2005). (ISSN 1333-9273)
- [3] Ljubenko Mićo. Primjena PUG i FIDIC-a u građevinskim sporovima // *Proceedings of 13th OTMC- Organization, Technology and Management in Construction* / Cerić, Anita; Huemann, Martina; Radujković, Mladen; Vukomanović, Mladen; Završki, Ivica (ur.). (ISBN 978-953-8168-21-5). Zagreb : Hrvatska udruga za organizaciju građenja, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 27.- 30.9.2017.
- [4] Periša, Igor; Šimić, Željko. Ugovor o građenju. Priručnik za polaznike / Pravosudna akademija, Zagreb, 2017
- [5] Radna skupina za izradu prijedloga nacrta Posebnih uzanci o građenju. Prijedlog nacrta Posebnih uzanci o građenju, <https://www.hgk.hr/documents/prezentacije-okruglostol-pug-283201758dd0180c30af.pdf> (Pristupljeno 30.05.2022.)
- [6] Posebne uzanse o građenju // Službeni list SFRJ, 18(1977). (ISSN 0354-3684)
- [7] Posebne uzance o građenju // *Narodne novine*, 137(2021). (ISSN 1333-9273)
- [8] Štaba, Romina. Primjena Posebnih uzanci o građenju u ugovorima o javnoj nabavi radova, Odvjetničko društvo Porobija & Špoljarić, 2022, <https://www.psod.hr/objave/primjena-posebnih-uzanci-o-gra%C4%91enu-u-ugovorima-o-javnoj> (Pristupljeno 20.06.2022.)
- [9] Zakon o javnoj nabavi // *Narodne novine*, 120(2016). (ISSN 1333-9273)
- [10] Omerhodžić, Zlatko. Načini ugovaranja radova u građevinarstvu, <https://webgradnja.hr/clanci/nacini-ugovaranja-radova-u-gradevinarstvu/520>
- [11] Fučić, Lino. Anketa o kvaliteti projekata - rezultati ankete. / Prezentacija na 15. Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva, Opatija, 17.-19.06.2021
- [12] Belaj, Vlado; Rajčić, Davor. Ugovor o građenju kao temelj pravnog posla // *Građevinar*, 60(2008), 7; 625 - 631. (ISSN 1333-9095)
- [13] Boić, Vitomir. Aktualnosti sudske prakse u vezi ugovora o građenju. / Prezentacija na 15. Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva, Opatija, 17.-19.06.2021.

-
- [14] Poskupljenje radova do 10 posto snosi izvođač, a iznad toga javni naručitelj // *Mineral & Gradnja*, 27.06.2022. (ISSN 2671-2059)
 - [15] Zaključak Vlade Republike Hrvatske o ublažavanju posljedica globalnog poremećaja na tržištima građevinskih materijala i proizvoda // *Narodne novine*, 71(2022). (ISSN 1333-9273)
 - [16] Brito, António. Causes of Construction Delays in Different Buildings Typology in Portugal // *Curent Trends in Civil & Structural Engineering*, 7(2021), 1; 1-14. (ISSN 2643-6876)
 - [17] Ansah, Richard Hanish; Sorooshian, Sorooshian; Mustafa, Bin Shariman. The 4Ps: A framework for evaluating construction projects delays // *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(2018), 5; 1222-1227. (ISSN 1818-7803)

Planiranje i upravljanje urbanim zelenim površinama ***Planning and management of urban green spaces***

V. Pleša¹, S. Vrbanac¹, D. Obradović^{1,*}

¹Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Osijek,
Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: dobradovic@gfos.hr

Sažetak

U današnje vrijeme velike, neplanirane urbanizacije, planiranje i upravljanje zelenim površinama te njihova dostupnost u urbanim sredinama su od velike važnosti. Površine u gradovima postaju sve više nepropusne time mijenjajući karakteristike otjecanja oborina te hidrološki ciklus. Urbane zelene površine imaju ključnu ulogu u poboljšanju života ljudi, te samog okoliša, kao i održivosti gradova. One imaju puno prednosti na svim razinama – lokalnoj i državnoj, pomažu minimizirati utjecaj urbanizacije na okoliš te poboljšati iskustvo stanovanja ljudi u gradovima. Urbane zelene površine mogu smanjiti emisije stakleničkih plinova i ograničiti porast temperature. Sažeto govoreći, urbane zelene površine poboljšavaju ekološke, ekonomske i društvene uvjete sredine u kojima se nalaze. Međutim, problemi kod urbanih zelenih površina su brojni te uključuju nedostupnost zemljišta, slabo planiranje i nedovoljno sudjelovanje dionika. Na razini cijele Europe ističe se kako je potrebno što više zelenih površina kako bi Europa bila otpornija na klimatske i zdravstvene prijetnje. Kod zdravstvenih prijetnji poput pandemije bolesti COVID-19 koja je pokazala kako urbane zelene površine kao što su parkovi pridonose fizičkom i psihičkom zdravlju ljudi. U radu će se prikazati značaj urbanih zelenih površina te dati osvrt na planiranje i upravljanje istima.

Ključne riječi: upravljanje, urbane zelene površine, urbanizacija, održivost, okoliš

Abstract

Nowadays, in the times of a fast and unplanned urban development, the management of green areas and their availability within urban environments is of great importance. Impervious surfaces in cities are becoming increasingly impermeable by changing the characteristics of drainage and hydrological cycle. Urban green areas play a key role in improving people's lives and the environment itself, as well as the sustainability of cities. They have many advantages at all levels, both local and national, help minimize the impact of urbanization on the environment and improve people's housing experience in cities. Urban green areas can reduce greenhouse gas emissions and limit temperature rises. In short, urban green areas improve the ecological, economic and social conditions of the environment in which they are located. However, problems with urban green areas are

numerous and include land unavailability, poor planning and the lack of stakeholder participation. The organizations in the countries across Europe emphasize that as many green areas as possible are needed to make Europe more resilient to climate change and health risks. The spread of health risks, such as the COVID-19 pandemic, has shown that urban green areas such as parks contribute to the physical and mental health of people. The paper will present the importance of urban green areas and provide an overview of planning and management of the said areas.

Key words: management, urban green spaces, urbanization, sustainability, environment

1. Uvod

Prema definiciji US Environmental Protection Agency (Agencije za zaštitu okoliša SAD-a) zelene površine podrazumijevaju otvorene prostore bez izgrađenih struktura koji su dostupni javnosti, a uključuju zelene površine pokrivenе travom, drvećem, grmljem i drugom vegetacijom, kao i školska dvorišta, igrališta, javne prostore za odmor, trgove i odmarališta [1], [2]. Urbane zelene površine, pružaju brojne potencijalne koristi za stanovnike grada. Upotreba zelenih površina može poboljšati fizičko i mentalno zdravlje kroz rekreaciju i vježbanje [3], [4], smanjiti tjeskobu i stres [5]. Urbane zelene površine mogu uključivati zelene krovove, zelene obale rijeka, zajedničke vrtove, parkove i rekreativska područja, urbane i periurbane šume, obrađeno zemljište, stijenska područja te vodna tijela i rječne tokove [6], [7]. Istiće se kako je Evropi potrebno više zelenih površina kako bi bila otpornija na klimatske i zdravstvene prijetnje [8]. Urbana zelena područja ne predstavljaju samo korektivni čimbenik postojeće urbanizacije, već je i maksimalno poželjno da ona predstavljaju integralni dio urbanog dizajna. Preporučuje se provedba ozelenjavanja gradova i nova zelena rješenja i to, prije svega, u najtoplijim urbanim područjima te kombiniranje zelene površine s plavim površinama (gradska jezera i sl.) ili s kišnim vrtovima, a sve u cilju prevencije urbanih poplava [9], [10]. Bez obzira na namjenu, većina stanovnika u gradu koristi ove prostore svaki dan. Brzom urbanizacijom svakodnevni život u modernim gradovima udaljava se od prirodnog okoliša, a razni urbani vanjski zeleni prostori postali su važna mjesta za stanovnike koji se na taj način približavaju prirodi [11], [12]. Urbane zelene površine sadrže ili podržavaju odgovarajući prirodni sustav zaštite okoliša. To su jedine prostorne cjeline s prirodnim biološkim djelovanjem i regenerativnim mehanizmom u urbanom ekosustavu, koje igraju značajnu ulogu u ublažavanju negativnih učinaka urbanog umjetnog okoliša [13].

U današnje vrijeme teži se velikoj urbanizaciji, događa se poremećaj klime na razini naselja, grada te na razini država i svijeta uopće. Gradi se sve više i više, područja koja su bila zelena i propusna postaju nepropusna, siva budući da se površine betoniraju, asfaltiraju ili se na bilo koji drugi način uklanja zelena površina i postavlja neki nepropusni sloj na tlo. Upravo su zelene površine te koje mogu pomoći smanjenju negativnih utjecaja betonizacije u gradovima, to jest ublažiti velike klimatske promjene. Urbano zelenilo u gradovima osigurava hlađenje zasjenjivanjem i pojačanim isparavanjem vode, smanjujući time učinak

urbanog toplinskog otoka. Zeleni koridori - zeleni prostori u gradovima i dolinama rijeka koje prolaze kroz gradove, mogu promijeniti mikroklimu područja i poboljšati protok zraka u gradovima. Takvi koridori stvaraju prostor za prođor hladnijeg zraka iz okolice u područja s gušćom gradnjom, time također smanjujući učinak urbanog toplinskog otoka [14].

Rad se sastoji od pet dijelova. Prvi je uvodni dio. U drugom dijelu rada dani su primjeri zelene infrastrukture u gradovima kao što su zeleni zidovi, jarci, zeleni krovovi, urbano drveće, parkovi, obale rijeka, sportski tereni u zelenilu i sl. Nakon toga slijedi treći dio rada gdje je dan osvrt na planiranje i upravljanje urbanim zelenim površinama – zelenoj infrastrukturi. Zadnji dio rada je zaključni dio gdje je dan osvrt na svu prethodno izloženu materiju. Naravno, na samom kraju je popis literature korištene u pisanju ovog rada.

2. Primjeri zelenih površina u gradovima

Kako je već prije navedeno, u gradovima je moguće susresti više vrsta zelene infrastrukture – urbanih zelenih površina. Neki od primjera urbanih zelenih površina su zeleni zidovi, zeleni krovovi, jarci, travnjaci, kućni vrtovi, zeleni pojas uz cestu, obale rijeka i jezera, parkovi, botanički i zoološki vrtovi i sl. U ovom dijelu rada navest će se i slikama prikazati (Tablica 1.) određeni primjeri urbanih zelenih površina – zelene infrastrukture.

Tablica 1. Primjeri zelene infrastrukture u gradovima (izrada autora)

Naziv	Primjer	Referenca
Urbano drveće na ulicama		[15]
Zeleni krovovi		[16]

Jarci		[17]
Gradski parkovi		[18]
Sportski tereni u zelenilu		[19]
Dječje igralište		[izvor: autori]
Obala rijeke		[izvor: autori]



3. Planiranje i upravljanje urbanim zelenim površinama

Kako bi urbane zelene površine mogle ispunjavati svoju ulogu to jest poboljšavati život stanovnika nekog grada, važno ih je pravilno planirati i s njima upravljati. Cilj ulaganja u razvoj zelene infrastrukture kao instrumenta implementacije održivog razvoja je stjecanje brojnih koristi za društvo u cjelini – okolišnih, gospodarskih i društvenih, koji čine tri stupa održivog razvoja [20]. Korist zelene infrastrukture za okoliš u urbanim područjima najbolje se ogleda u očuvanju i obnavljanju kvalitete zraka, vode i tla. Razvijena zelena infrastruktura u urbanim područjima utječe na smanjenje zagađenja filtriranjem štetnih lebdećih čestica u zraku i smanjenjem stakleničkih plinova, istodobno ima izražene hidrološke funkcije. Direktni gospodarski doprinos zelene infrastrukture očituje se u očekivanom smanjenju toplinskih otoka u gradu, pri čemu će se smanjenjem temperature u stambenim i radnim prostorima ostvariti ušteda u troškovima energije za hlađenje. Navedeno se postiže izvedbom zelenih krovova i zelenih zidova na zgradama, kao i povećanjem zelenih površina oko zgrada, čime se smanjuje okolna temperatura. Društvena korist zelene infrastrukture izravno se ogleda u unaprjeđenju kvalitete života u gradovima kroz provođenje slobodnog vremena na otvorenom te aktivno korištenje javno dostupnih rekreacijskih, sportskih, kulturnih, zdravstvenih i obrazovnih sadržaja unutar ili uz zelenu infrastrukturu [20].

Promišljeni razvoj i upravljanje zelenim prostorom poništava mnoge štetne utjecaje na okoliš i rizike povezane s klimatskim promjenama te je sve izražajnija potreba za pametnim upravljanjem gradskim zelenim prostorom. Samo upravljanje je sveprisutno pitanje kojim se bavi niz područja politike, ponajviše područje upravljanja prirodnim resursima, održivi urbani razvoj te prostorni razvoj, a tu lokalne vlasti imaju brojne uloge i obveze [21]. U upravljanju urbanim zelenim površinama od velike pomoći mogu biti geoinformacijski sustavi (GIS). Pomoću njih je moguće prikupiti podatke, izraditi različite grafikone, karte i prikaze koji omogućuju lakše upravljanje urbanim zelenim površinama. Moguće je i analizirati udaljenosti, napraviti različite indikatore vezane za održavanje, profitabilnost, atraktivnost, dostupnost i sl. [21].

Poseban problem, prilikom planiranja urbanih zelenih površina, predstavlja nedostatak cjelovitog poznavanja i praćenja utjecaja između prostornih uvjeta i potencijala, politike korištenja zemljišta, općeprihvaćenih stavova za razvoj grada i kvaliteta života koji se postiže u cjelini. U dosadašnjim nastojanjima osiguravanja funkcionalne i racionalne prostorne organizacije grada, prostor potreban za zelenilo nije adekvatno određen, a

njegove funkcije i namjena nisu sveobuhvatno sagledane i utvrđene. Planiranje sustava gradskog zelenila treba obuhvatiti analizu: prihvaćene politike razvoja i korištenja gradskog zemljišta, karakteristika i fizičke strukture urbanog prostora te aktivnosti i potreba čovjeka koji živi u gradu [22].

Vrednovanje slobodnih, ozelenjenih urbanih prostora provodi se kroz sljedeći sustav indikatora i kriterija:

- veličina zelenih površina u gradu – ova veličina je izražena brojem korisnika po jedinici površine pod zelenilom u gradu
- dostupnost zelenih površina u gradu – izražava se kao mogućnost savladavanja prostornih udaljenosti pješačkim kretanjem
- funkcionalnost zelenih površina u gradu – kao odgovor na specifična traženja za stvaranje kvalitetnih uvjeta za život
- struktura zelenih površina u gradu – opremljenost javnih zelenih prostora i ostalih slobodnih površina u suglasnosti s različitim potrebama korisnika
- privlačnost zelenih površina u gradu – izražena je harmoničnim ambijentom koji stvara pozitivne emocije kod stanovnika [22].

Međutim, u mnogim gradovima u zemljama u razvoju diljem svijeta osiguranje i održavanje zelene gradske infrastrukture nije prioritet [23], [24]. To je zbog prijeko postavljenih potreba za razvoja niza usluga sive infrastrukture kao i zbog brzih stopa urbanizacije i neadekvatnih proračuna [24]. Međutim, usprkos navedenom, ulaganje u urbane zelene površine ima velike koristi. Tako, na primjer nekoliko studija troškova i koristi pokazalo je dobrobit gradskih stabla kao dijelova urbane zelene infrastrukture koji neizostavno nadmašuju troškove za 2 do 5 puta [25], [26].

Održavanje urbanih zelenih površina, upravljanje njima i njihovim razvojem najviše se definira uredbama o uređivanju i održavanju zelenih i rekreativnih površina. U poslove uređenja i održavanja urbanih zelenih površina ubrajaju se aktivnosti kao što su projektiranje, izgradnja, rekonstrukcija, sanacija, održavanje svih hortikulturnih sadržaja, održavanje prateće opreme, zimsko održavanje, higijena, njega, zaštita i sječa stabala [22]. Samo neka od zanimanja koja sudjeluju u aktivnostima razvoja, upravljanja i održavanja urbanih zelenih površina su krajobrazni arhitekti, građevinari, hortikulturni stručnjaci, urbani šumari te još razne struke koje su potrebne za održavanje i obavljanje bilo kojih drugih aktivnosti.

Iskustva s intervencijama oko urbanog zelenog prostora na lokalnoj razini utvrdila su nekoliko općih aspekata koji trebaju biti razmatrana u okviru procesa urbanog planiranja [27]. Aspekti koji trebaju uvaženi kod planiranja urbanih zelenih površina su:

- 1) Treba biti jasno koji su ciljevi planiranja urbanog zelenila.

Ovdje je potrebno odrediti koja vrsta i veličina urbane zelene površine se planira, koje su joj glavne funkcije, za koju populacijsku skupnu se očekuje da će se koristiti, tko je odgovoran za upravljanje i održavanje.

- 2) Potrebno je imati dugoročni plan i ostati fleksibilan.

Urbane zelene površine su dugoročno ulaganje kojima će možda trebati određeno vrijeme da se stabiliziraju prije nego što postanu u potpunosti upotrebljive, one zahtijevaju dugoročno održavanje, prednosti urbanih zelenih površina postaju vidljive tek nakon određenog vremena, urbane zelene površine treba planirati i dizajnirati na fleksibilan način, čineći ih funkcionalnim za moguće prilagodbe u budućnosti [27].

- 3) Potrebno je koristiti kontekst urbanog i lokalnog planiranja te svih potrebnih okvira. Time će se osigurati da planeri stvore dugoročnu viziju zelenog grada kod lokalnih vlasti, integriraju potrebe urbane zelene infrastrukture prostora u urbanističkim planovima, uzmu u obzir zelene površine unutar infrastrukturnih projekata (stanovanja, prijevoza, poslovnih parkova, zdravstvenih ustanova) te pristupe urbanoj rehabilitaciji, razmotre okvire regionalnog planiranja kao što su zeleni koridori i mreže te angažiraju lokalnu zajednicu u procesu planiranja.
- 4) Smatrati projekte zelenih površina ulaganjem u javno zdravstvo i društvo. Osiguranje zelenih površina u urbanim sredinama je ulaganje u zdravlje i kvalitetu života, stvaranje mjesta za opuštanje, rekreaciju i društvenu interakciju. Urbane zelene površine vrijedne su za organizacije u zajednicama koje će biti domaćini kulturnih ili rekreativskih događanja ili mogu pružiti prostor za vrtlarstvo [27].

Određene pretpostavke za planiranje urbane zelene infrastrukture su:

- integriranje zelene infrastrukture u urbanističko planiranje - uključivanje sustava urbane zelene infrastrukture u urbano planiranje te u instrumente koji se koriste za razvijanje planova, različite razine planiranja zelene infrastrukture od prostornog plana grada, generalnog urbanističkog plana, detaljnijih planova
- uspostavljanje digitalne baze zelenih površina te definiranje funkcionalnih skupina elemenata unutar sustava zelene infrastrukture
- izrada strateških dokumenata i planova razvoja zelene infrastrukture cijelovito promišljenih na razini grada i šireg kontaktnog prostora
- osiguravanje informacija i komunikacija - razvoj programa komunikacijskih aktivnosti s ciljem poticanja participativnosti i osiguravanja sredstava
- uspostavljanje sustava periodičnog praćenja i procjene sustava zelene infrastrukture za procjenu učinkovitosti mjera
- poticanje sudjelovanja javnosti (participativnost) u jačanju i formiranju sustava zelene Infrastrukture [20].

4. Zaključak

Zelene površine u gradovima mogu rezultirati mnogim prednostima. Neke od prednosti koje se ostvaruju pomoću urbanih zelenih površina su smanjenje utjecaja toplinskih otoka, smanjenje potrebne količine energije za klimatizaciju zgrada u gradovima, smanjenje mogućnosti urbanih poplava, poboljšanje protoka zraka u gradovima, poboljšanje fizičkog i psihičkog zdravlja ljudi, osiguranje staništa za biljke i životinje, osiguranje bioraznolikosti, povećanje evapotranspiracije, smanjenje prašine i ispušnih plinova, apsorpcija sunčevih zraka itd. Naravno, nisu isključeni i nedostatci koji se mogu pojaviti

ponajviše u slučaju ako se urbane zelene površine pravilno ne planiraju, ako se njima pravilno ne upravlja te uslijed nedovoljnog održavanja istih. Kako bi se dobro upravljalo urbanim zelenim površinama tu od velike pomoći mogu biti geoinformacijski sustavi uz čiju uporabu je moguće prikupiti potrebne podatke, izraditi grafikone, karte i prikaze te je moguće analizirati udaljenosti, odrediti različite indikatore vezane za održavanje, profitabilnost, atraktivnost, dostupnost zelenih površina i sl.

Važno je i vrednovati urbane slobodne zelene površine i to kroz sustav indikatora i kriterija kao što su: veličina zelenih površina, dostupnost zelenih površina, funkcionalnost zelenih površina, struktura zelenih površina te privlačnost zelenih površina u gradu.

Naravno, kako bi zelene urbane površine mogle poboljšavati kvalitetu života stanovništva određenog naselja, potrebno je prije svega da ih se pravodobno i pravilno planira, da se s njima pravilno upravlja te, na kraju - da se urbane zelene površine pravilno održavaju. Jer, samo uredno pokošen travnjak, orezano grmlje i drveće su estetski privlačna, a poboljšavaju stanovanje u gradu.

5. Literatura

- [1] United States Environmental Protection Agency (US EPA). What is Open Space/Green Space?, [Online]. Dostupno na: <https://www3.epa.gov/region1/eco/uep/openspace.html> (Pristupljeno 27.07.2022.)
- [2] Buzov, Ivanka; Stanić, Sanja. Značenje zelenih prostora u gradu // Godišnjak Titius: godišnjak za interdisciplinarna istraživanja porječja Krke, 6-7 (2014), 6-7, 137–153. (ISSN 1847-0742)
- [3] Kaczynski, T. Andrew; Henderson, A. Karla. Environmental correlates of physical activity: a review of evidence about parks and recreation // *Leisure Sciences*, 29 (2007); 315–354. (ISSN 1521-0588)
- [4] Lopez, Bianca; Kennedy, Christopher; Field, Christopher; McPhearson, Timon. Who benefits from urban green spaces during times of crisis? Perception and use of urban green spaces in New York City during the COVID-19 pandemic // *Urban Forestry & Urban Greening*, 65 (2021); (ISSN 1618-8667)
- [5] Cox, T.C. Daniel; Shanahan, F. Danielle; Hudson, L. Hannah; Plummer, E. Kate; Siriwardena, M. Gavin; Fuller, A. Richard; Anderson, Karen; Hancock, Steven; Gaston, J. Kevin. Doses of neighborhood nature: the benefits for mental health of living with nature // *BioScience*, 67 (2017), 2; 147-155. (ISSN 1525-3244)
- [6] Cvejić, Rozalija; Eler, Klemen; Pintar, Marina; Železnikar, Špela; Haase, Dagmar; Kabisch, Nadja; Strohbach, Michael. A typology of urban green spaces, eco-system services provisioning services and demands, Report: D3.1, 2015. [online], Dostupno na: https://assets.centralparknyc.org/pdfs/institute/p2pupelp/1.004_Greensurge_A+Typology+of+Urban+Green+Spaces.pdf (Pristupljeno 27.07.2022.)
- [7] Diluiso, Francesca; Guastella, Gianni; Pareglio, Stefano. Changes in urban green spaces' value perception: A meta-analytic benefit transfer function for European cities // *Land Use Policy*, 101 (2021); (ISSN 0264-8377)

- [8] Evropska unija. Zelene površine, Dostupno na: https://europa.eu/climate-pact/about/priority-topics/green-areas_hr (Pristupljeno 27.07.2022.)
- [9] Savić, Stevan; Krstić, Hrvoje; Dunjić, Jelena; Milošević, Dragan, Šećerov, Ivan; Kukić, Srećko. Ozelenjavanje gradova – razvoj i promicanje zelene energije, energetske učinkovitosti i održiv životne sredine u gradovima. Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, 2021. (ISBN 978-86-7031-584-6)
- [10] Erlwein, Sabrina; Pauleit, Stephan. Trade-Offs between Urban Green Space and Densification: Balancing Outdoor Thermal Comfort, Mobility, and Housing Demand // *Urban Planning*, 6 (2021), 1, 5-19 (ISSN 2183-7635)
- [11] Walker, E. Susan; Duffield, S. Brian. Urban parks and open spaces—An overview // *Landscape Research*. 8 (1983), 8; 2–12. (ISSN 1469-9710)
- [12] Luo, Shixian; Xie, Jing; Furuya, Katsunori. “We Need such a Space”: Residents’ Motives for Visiting Urban Green Spaces during the COVID-19 Pandemic // *Sustainability*, 13 (2021); (ISSN 2071-1050)
- [13] Zou, Hao; Wang, Xiaojun. Progress and Gaps in Research on Urban Green Space Morphology: A Review // *Sustainability*, 13 (2021), 3; (ISSN 2071-1050)
- [14] Adriadapt. Urbano zelenilo i zeleni koridori. [Online]. Dostupno na: <https://adriadapt.eu/hr/adaptation-options/urbano-zelenilo-i-zeleni-koridori/> (Pristupljeno 28.07.2022.)
- [15] Prgić, Valentina; Novak, Kristina; Obradović, Dino. Vrijednosti drveća u urbanim sredinama – gradovima // *Proceedings of 12th International Natural Gas, Heat and Water Conference* / Raos, Pero; Galeta, Tomislav; Kozak, Dražan; Raos, Marija; Stojšić, Josip; Sutlović, Igor; Tonković, Zlatko (ur.). (ISSN 1849-0638), Slavonski Brod: Sveučilište u Slavonskom Brodu, 22.-25.09.2021. str. 75-85.
- [16] United States Environmental Protection Agency (US EPA). Stormwater Best Management Practice, Green Roofs, [Online]. Dostupno na: <https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-11/bmp-green-roofs.pdf> (Pristupljeno 29.07.2022.)
- [17] United States Environmental Protection Agency (US EPA). Stormwater Best Management Practice, Grassed Swales, [Online]. Dostupno na: <https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-11/bmp-grassed-swales.pdf> (Pristupljeno 29.07.2022.)
- [18] Turistička zajednica Grada Donjeg Miholjca. [Online]. Dostupno na: <http://www.tz-donjimiholjac.hr/media/images/o/perivoj.jpg> (Pristupljeno 30.07.2022.)
- [19] Pazin sport, Gradski stadion. [Online]. Dostupno na: <https://www.pazin-sport.hr/objekti/gradski-stadion/> (Pristupljeno 28.07.2022.)
- [20] Republika Hrvatska, Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine. Program razvoja zelene infrastrukture u urbanim područjima za razdoblje 2021. do 2030. godine, 2021. Zagreb, [Online]. Dostupno na: https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/Program_razvoja_zelene_infrastrukture_do_2030.pdf (Pristupljeno 30.07.2022.)

-
- [21] European Union, European Regional Development Fund. Priručnik za pametno i inovativno upravljanje zelenim površinama, [Online]. Dostupno na: <https://www.interreg-central.eu/Content.Node/UGB/HZI-Smart-Governance-Manual-Short-2019-CRO-WEB.PDF> (Pristupljeno 28.07.2022.)
 - [22] Ballian, Dalibor; Filipović, Damir; Memišević Hodžić, Mirzeta. Upravljanje javnim zelenim površinama. 2021.
 - [23] Xu, Xuegong; Duan, Xiaofeng; Sun, Haiqing; Sun, Qiang. Green Space Changes and Planning in the Capital Region of China // *Environmental Management*. 47 (2011); 456–467. (ISSN 1432-1009)
 - [24] King, A.; Shackleton, C.M. Maintenance of public and private urban green infrastructure provides significant employment in Eastern Cape towns, South Africa // *Urban Forestry & Urban Greening*, 54 (2020); (ISSN 1618-8667)
 - [25] Roy, Sudipto; Byrne, Jason; Pickering, Catherine. A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones // *Urban Forestry & Urban Greening*, 11 (2012), 4; 351-363; (ISSN 1618-8667)
 - [26] Ping Song, Xiao; Yok Tan; Puay; Edwards, Peter; Richards, Daniel. The economic benefits and costs of trees in urban forest stewardship: A systematic review // *Urban Forestry & Urban Greening*, 29 (2018), 162-170; (ISSN 1618-8667)
 - [27] World Health Organization, Regional Office for Europe. Urban green spaces: a brief for action, 2017. [Online]. Dostupno na: https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0010/342289/Urban-Green-Spaces_EN_WHO_web3.pdf (Pristupljeno 29.07.2022.)

Istraživanje problema koji otežavaju energetsko certificiranje zgrada u Hrvatskoj

Research on the problems that complicate the energy certification of buildings in Croatia

P. Završki¹, D. Hećimović², D. Vidaković^{3,*} H. Glavaš⁴

¹Hrvatske vode, VGO za Dunav i donju Dravu, Osijek, Hrvatska

²Bonzo j.d.o.o., Osijek, Hrvatska

³Građevinski i arhitektonski fakultet u Osijeku, Sveučilište J. J. Strossmayera, Osijek, Hrvatska

⁴Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Sveučilište J. J. Strossmayera, Osijek, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: dvidak@gfos.hr

Sažetak

U članku su prvo pojašnjene obveze za energetske preglede i certificiranje zgrada te zadaci osoba ovlaštenih za te poslove. U okviru ovog istraživanja, konzultiranjem sa stručnim osobama, detektirani su mogući problemi koji otežavaju certificiranje obiteljskih kuća i većih zgrada te je na temelju toga sastavljen upitnik. Tijekom lipnja 2022. godine obavljeno je anketno ispitivanje certifikatora različitih struka, iz različitih dijelova Hrvatske, a u članku su prikazani i analizirani rezultati tog ispitivanja. Također, prema valorizaciji ispitanika, istaknute su mjere koje mogu olakšati i unaprijediti rad na certificiranju zgrada.

Ključne riječi: energetsko certificiranje zgrada, otežavajući čimbenici, mjere poboljšanja

Abstract

The article first explains the obligations for energy inspections and certification of buildings, as well as the tasks of persons authorized for these tasks. As part of this research, by consulting with experts, possible problems were detected that make it difficult to certify family houses and larger buildings, and a questionnaire was created based on this. During June 2022, a survey of certifiers of various professions, from different parts of Croatia, was conducted, and the results of that survey are presented and analyzed in the article. Also, according to the evaluation by the respondents, measures were highlighted that can facilitate and improve the work on the certification of buildings.

Key words: energy certification of buildings, aggravating factors, improvement measures.

1. Uvod – energetski certifikat zgrada

Energetsko certificiranja zgrada uvedeno je na razini EU kako bi se potaknula ulaganja u njihovu energetsku učinkovitost i s tim osiguralo uštede u energiji. U Hrvatskoj se od 2008.

godine certifikat mora izraditi prije uporabe svih novoizgrađenih zgrada. Od 1. srpnja 2013. godine, ulaskom Hrvatske u EU vlasnici koji prodaju nekretninu obvezni su za nju ishoditi certifikat kako bi ga predočili kupcu. Do kraja 2015. energetski pregled trebale su proći sve zgrade javnog sektora i namjene (certifikat u njima mora biti istaknuti na dobro vidljivom mjestu), a od početka 2016. obveza certificiranja proširena je i na zgrade koje se iznajmljuju (osim onih za turistički smještaj u stanovima, apartmanima i kućama za odmor). Energetski certifikat potreban je za zgrade ili njihov poseban dio ako je u skladu s njihovom namjenom potrebno koristiti energiju za održavanje određenih unutarnjih klimatskih uvjeta (temperature). Te obveze su izuzete samo zgrade ukupne korisne površine manje od 50 m², zgrade koje imaju rok uporabe do dvije godine, zgrade namijenjene održavanju vjerskih obreda te industrijske zgrade, radionice i nestambene poljoprivredne zgrade s malim energetskim potrebama [1].

Energetskim certifikatom predočuju se energetska svojstva zgrade ili njezinog posebnog dijela. On daje informaciju o potrošnji energije te stanju zgrade s obzirom na energetsku učinkovitost, odnosno njena energetska svojstva (kvalitetu i svojstva ovojnica zgrade i učinkovitost njenih energetskih sustava) te u skladu s tim definira u koji od osam energetski energetskih razreda zgrada pripada (od A+ do G). Energetski razredi iskazuju se za referentne klimatske podatke, a oni su određeni posebno za kontinentalnu i za primorsku Hrvatsku u odnosu na broj stupanj dana grijanja. Uz navedeno, certifikat sadrži podatke o roku njegove valjanosti (vrijedi 10 godina od dana izdavanja), o osobi koja ga je izradila i izdala, kao i o osobama koje su sudjelovale u njegovoj izradi, opće podatke o zgradi i termotehničkim sustavima koje ima, o energetskoj potrebi zgrade i korištenju obnovljivih izvora energije te prijedloge mjera za poboljšanje energetskih svojstava.

Energetski certifikat izrađuje se na temelju projektne dokumentacije zgrade, energetskog pregleda i drugih potrebnih podataka, ovisno o tome je li zgrada nova ili je već u uporabi i ovisno o njenoj složenosti (uključujući i pripadne joj tehničke sustave) i namjeni. Zakon o gradnji (ZOG) u svom 3. dijelu (Energetsko svojstvo zgrade – čl. 20. - 47.) propisuje obvezu pribavljanja i izlaganja energetskog certifikata zgrade te okvirno definira postupak njegove izrade. Pravilnik o energetskom pregledu zgrade i energetskom certificiraju određuje sadržaj i izgled energetskog certifikata te detaljnije definira postupke provedbe energetskog pregleda zgrade i izrade odgovarajućeg izvješća [2].

Cijena izrade certifikata stvar je dogovora između naručitelja (vlasnika) i davatelja usluge, tj. energetskog certifikatora. Nadležno ministarstvo donijelo je Odluku o utvrđivanju najviše cijene energetskog pregleda i izdavanja certifikata. Ona se određuje prema površini i namjeni zgrade (stambena ili nestambena), posebno za nove i posebno za postojeće (kod njih se cijena uvećava množenjem s koeficijentom koji je za energetske preglede do 3,8, a za radnje energetskog pregleda i izdavanje energetskog certifikata do 1,2) [3].

2. Osobe ovlaštene za energetsko certificiranje zgrada

Provodenje energetskog pregleda i energetskog certificiranja zgrade investitori / vlasnici moraju povjeriti za to ovlaštenim osobama, a za potrebe toga omogućiti im pristup u sve

dijelove zgrade koja je predmet energetskog pregleda / certificiranja te na njihov zahtjev dati im na uvid bilo koji potreban dokument [1].

Za provođenje ovih poslova ovlaštenje daje Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, koje i vodi Registar osoba (fizičkih i pravnih) ovlaštenih za energetske preglede i energetsko certificiranje zgrada. Tko može biti ovlašten za energetsko certificiranje zgrada određuje ZOG i Pravilnik o osobama ovlaštenim za energetsko certificiranje, energetski pregled zgrade i redoviti pregled sustava grijanja i sustava hlađenja ili klimatizacije u zgradama. To mogu biti samo osobe koje imaju završen diplomski sveučilišni studij, specijalistički diplomski stručni studij, preddiplomski sveučilišni ili preddiplomski stručni studij arhitektonske, građevinske, strojarske ili elektrotehničke struke, najmanje 5 godina rada u struci (10 godina ako imaju samo preddiplomski studij), koje su uspješno završile odgovarajući program stručnog osposobljavanja te imaju sklopljen ugovor o osiguranju od profesionalne odgovornosti i ishode potvrdu o nekažnjavanju (za prijevare, primanje i davanje mita, zlouporabu položaja i ovlasti te druga kaznena djela s popisa navednog u ZOG-u).

Program izobrazbe za stručno osposobljavanje i obvezno usavršavanje osoba koje provode energetske preglede i energetsko certificiranje zgrada sastoji se od Modula 1 i Modula 2 (Modul 2 ne može se položiti bez prethodno položenog Modula 1), ali i obveznog daljnog, redovitog stručnog usavršavanja. Modul 1 je za osobe koje provode energetske preglede i/ili certificiranje zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom i fizičke osobe koje se ovlašćuju za provođenje energetskih pregleda zgrada sa složenim tehničkim sustavom u dijelu koji se odnosi na građevinske karakteristike zgrade (u smislu racionalne uporabe energije i toplinske zaštite), a Modul 2 za osobe koje provode energetske preglede i/ili certificiranje zgrada sa složenim tehničkim sustavom.

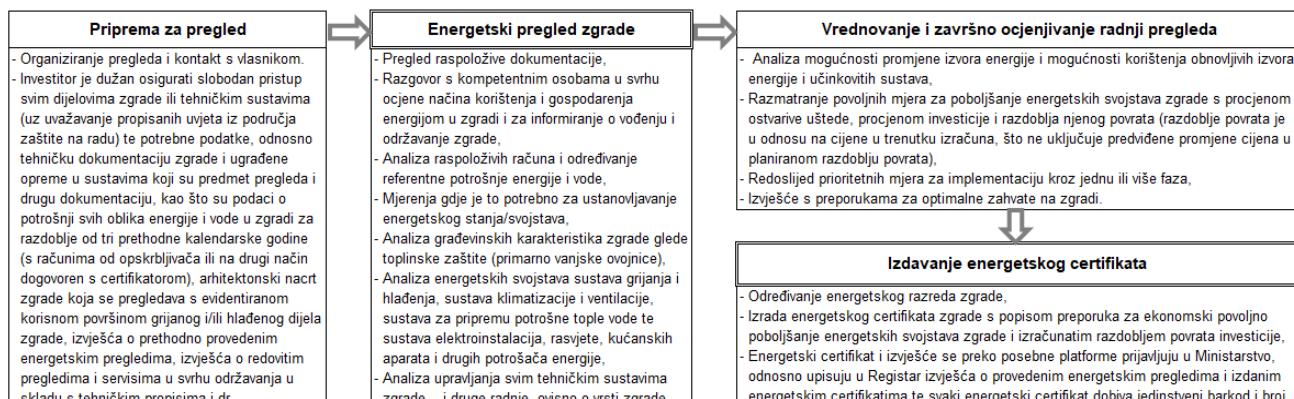
Broj potrebnih ovlaštenih osoba za provođenje energetskih pregleda i energetsko certificiranje zgrada ovisi o stambenom i nestambenom fondu zgrada kao i o brzini uvođenja certifikacije. Za cijelu Hrvatsku je u Akcijskom planu za implementaciju EU Direktive o energetskoj učinkovitosti zgrada u hrvatsko zakonodavstvo (2008) procijenjeno da treba minimalno 500 stručnih osoba [3]. Procjena u EU je da je za kvalitetnu provedbu energetske certifikacije zgrada potrebno minimalno 100 stručnjaka na 1.000.000 stanovnika [4].

3. Energetski pregled zgrada i izrada certifikata

Bez certifikata nove zgrade ne mogu dobiti uporabnu dozvolu, pa se kod njih certifikat izrađuje prije puštanja u pogon, tj. uporabu. Izdaje se na temelju podataka iz glavnog projekta te završnog izvješća nadzornog inženjera o izvedbi građevine i pisane izjave izvođača o izvedenim radovima i uvjetima održavanja građevine.

Za zgrade koje su već u uporabi certifikat se izdaje na temelju provedenog energetskog pregleda, koji je nezaobilazni pretkorak analizi potrošnje i obuhvaća pregled dostupne dokumentacije, utvrđivanje načina korištenja zgrade, odnosno energije te vizualni pregled zgrade. Temeljem toga analiziraju se energetska i tehnička svojstava predmetne zgrade i svih njenih tehničkih sustava koji troše energiju i vodu, kako bi se odredila učinkovitost te

potrošnja i mogućnosti njenog smanjenja. Što sve obuhvaćaju energetski pregledi i redoslijed postupaka do izdavanja certifikata prikazuje slika 1.



Slika 1. Postupci energetskog pregleda i certificiranja zgrada koje su u uporabi

Od nadležnog Ministarstva propisana Metodologija provođenja energetskog pregleda zgrada definira koncept i korake provedbe energetskog pregleda, način prikupljanja potrebnih ulaznih podataka, način provođenja analiza i proračuna te izgled i sadržaj završnog izvješća o provedenom energetskom pregledu zgrade [5]. Način proračuna svih potrebnih vrijednosti za izračun energetskog svojstva zgrade i izradu energetskog certifikata određuje Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790 (u specijaliziranom računalnom programu računa se količina energije po četvornom metru korisne površine zgrade koju je potrebno tijekom jedne godine u razdoblju grijanja dovesti u zgradu za održavanje unutarnje projektne temperature u zgradi, imajući u vidu klimatske uvjete u kojima se ta zgrada nalazi) te algoritmi za određivanje energetskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih, ventilacijskih i klimatizacijskih sustava i sustava rasvjete u zgradama propisani u okviru Metodologije provođenja energetskog pregleda zgrada.

Stvarna potrošnja energije u zgradama ovisi o mnogo konkretnih čimbenika, kao što su lokacija i lokalni klimatski uvjeti, orientacija zgrade i vanjskih otvora, dimenzije zgrade i razvedenost tlora, (ne)postojanje podruma, vrsta krova, svojstva vanjske ovojnice zgrade, zrakopropusnost, svojstva stolarije, unutarnji uvjeti, svojstva i postavke tehničkih sustava zgrade (sustav grijanja i hlađenja, rasvjeta i dr.) i režim njihovog rada, odnosno korištenja zgrade (aktivnosti i procesi koji se odvijaju u zgradi, broj korisnika i njihovo ponašanje, odnosno sklonosti i navike). Zbog svih tih različitih utjecaja događa se da se razlikuju energetski razredi pojedinih stanova u istoj višestambenoj zgradi i da energetski razred nekog stana nije isti kao razred koji ima cijela zgrada u kojoj se nalazi.

Ako rezultati općeg energetskog pregleda ukazuju na postojanje značajnog prostora za poboljšanje energetske učinkovitosti može se poslije obaviti detaljni energetski pregled, s mjeranjima na lokaciji, tj. zgradi (uobičajeno u trajanju 1 - 2 tjedna u sezoni grijanja i/ili hlađenja), kako bi se što točnije odredila potrošnja energije. Onda se na temelju ekonomske i financijske analize daje razrađeni akcijski plan za implementaciju izabranih mjera poboljšanja energetske učinkovitosti [6].

Kako bi se potigao glavni cilj sustava energetskog certificiranja, na temelju odgovarajućeg pregleda zgrade i analize, u okviru energetskog certifikata, definiraju se energetski, tehnički, ekonomski i ekološki optimalne mjere za poboljšanja energetskih svojstava (u skladu s realnim uvjetima) predmetne zgrade. Pregled nekih mogućih preporuka za ekonomski povoljno poboljšanje energetskih svojstava zgrade naveden je prilogu Pravilnika o energetskom pregledu zgrade i energetskom certificiranju. Kod novih zgada preporuke u certifikatu odnose se na korištenje zgrade glede ispunjavanja temeljnog zahtjeva za građevinu koji se odnosi na gospodarenje energijom i očuvanje topline.

4. Istraživanje otežavajućih čimbenika i mjera unaprjeđenja posla certifikatora

4.1. Metodologija ispitivanja

U okviru istraživanja početno je proučen pravni okvir (zahtjevi), a onda i problematika obavljanja energetskih pregleda i izrade energetskih certifikata u našoj praksi. Konzultirano je nekoliko stručnih osoba s dugogodišnjim iskustvom certificiranja zgrada kako bi se utvrdio popis s četrnaest čimbenika koji mogu loše utjecati na provođenje energetskih pregleda i izradu certifikata (prvenstveno kod starijih zgrada koje su već u uporabi) te osam mjera koje bi mogle to olakšati, odnosno unaprijediti. Sastavljen je upitnik u kojem se s od 1 do 5 treba ocijeniti negativno djelujuće čimbenike, i to posebno za obavljanje posla na obiteljskim kućama (s jednostavnim tehničkim sustavom), a posebno kod većih, složenijih zgrada. Uz to su navedeni i prijedlozi za moguća unaprjeđenja, kod kojih ispitanici označavaju s „da“, ako smatraju da predložena mjera može biti korisna (vrednuje se s 1), ili s „ne“, kada smatraju da nije poželjna (vrednuje se s 0). I kod popisa negativno djelujućih čimbenika i kod popisa prijedloga za unaprjeđenja ispitanicima je ostavljena mogućnost da dopišu i vrednuju svoje prijedloge. Na kraju upitnika su osobni podaci o ispitaniku. Uz ime i prezime upisuju se još podaci koji su također potrebni za statističku obradu i dani su u članku – godine iskustva na poslovima certificiranja, stručno područje studija i regija djelovanja.

Tijekom tri tjedna u lipnju 2022. ispitanici su kontaktirani direktno, uživo ili posebno personaliziranim e-porukama. Pri tome je svima (usmeno ili napismeno) pojašnjena svrha ovog ispitivanja. Cilj je bio da se skupi više odgovarajuće ispunjenih anketnih obrazaca od minimuma potrebnog za statističku obradu (≥ 25).

Poslije ispitivanja su obrađene anketne ocjene i odgovori kako bi se utvrdilo koji čimbenici najnegativnije djeluju te što bi najviše moglo pomoći certifikatorima u obavljanju njihovih zadataka. Rangiranje čimbenika prema negativnom utjecaju određeno je prema srednjoj ocjeni svih ispitanika i indeksu relativne važnosti (*Relative Importance Index - RII*), koji se računa prema izrazu [7]:

$$RII = \frac{5n_1 + 4n_2 + 3n_3 + 2n_4 + n_5}{5(n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5)},$$

gdje je n_1 - broj ispitanika koji su čimbenik vrednovali kao "izuzetno značajan utjecaj", odnosno "najveći utjecaj" (ocjena 5), n_2 - broj ispitanika koji su vrednovali kao "vrlo značajan utjecaj" (ocjena 4), n_3 - broj ispitanika koji su vrednovali kao "srednje jak utjecaj" ili "značajan utjecaj" (ocjena 3), n_4 - broj ispitanika koji su vrednovali kao "mali utjecaj"

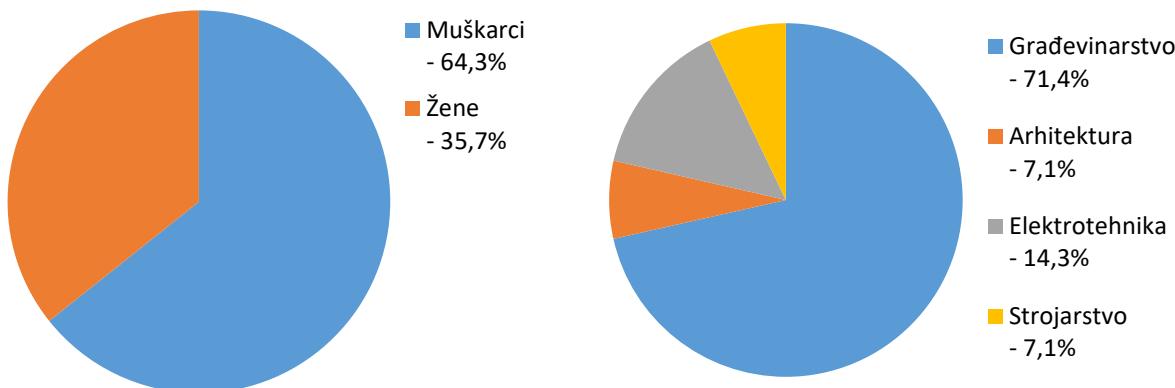
(ocjena 2) i n_5 - broj ispitanika koji su vrednovali kao "najmanji utjecaj" ili "nema utjecaja" (ocjena 1).

Nakon obrade rezultata slijedi njihova analiza i tumačenje te zaključne preporuke.

4.2. Obuhvaćeni uzorak ispitanika

Ispitani su isključivo energetski certifikatori i prikupljeno je 28 ispunjenih anketnih obrazaca. Svi su prema svom iskustvu ocijenili utjecaje na provođenje poslova na obiteljskim kućama, a 27 i na većim zgradama. To je iznad zahtijevanog minimuma i dovoljno za statističku obradu. Autori ne raspolažu s podatkom o točnom broju sada aktivnih certifikatora u Hrvatskoj (svi koji su završili odgovarajuću obuku nisu se registrirali, a ni svi registrirani se ne bave stalno s tim), ali s pretpostavkom da je to 450 i standardnu devijaciju 0,5%, za prikupljeni broj anketa izračunata je razina pouzdanost od 90% uz granice greške 15%. (izračunato na web stranici <https://hr.martech.zone/kalkulator-veli%C4%8Dine-uzorka-ankete/>)

Prosječan broj godina iskustva na certificiranju kod ispitanika je bio 6,6 godina. Sastav ispitanika prema spolu i prema polju studija koji su završili pokazan je na slici 2.



Slika 2. Sastav ispitanika prema spolu (lijevo) i završenom studiju (desno)

57% ispitanika radilo je samo na području Slavonije i Baranje (najviše od njih na području Osijeka i Osječko-baranjske županije), a ostali u drugim dijelovima Hrvatske ili na području cijele Hrvatske (18% na području primorske Hrvatske). Najveći udio ispitanika (29%) zaposlen je na Građevinskom i arhitektonskom fakultetu Osijek.

4.3 Rezultati ispitivanja i njihova analiza

Prosječna ocjena i prema njima izračunat RII za sve ispitivane čimbenike dani su u tablici 1.

Tablica 1. Obrađene ocjene o negativno djelujućim čimbenicima navedenim u anketi

Čimbenici koji negativno utječu	kod obiteljskih kuća			kod većih zgrada		
	Sred. ocjena	RII	Rang	Sred. ocjena	RII	Rang
Nema projekta zgrade (nepoznate dimenz. i ugrađeni materijal)	3,89	0,78	1	4,59	0,92	1
Starost zgrade i instalacija /opreme za grijanje	2,71	0,54	9	3,19	0,64	9
Nepristupačnost / zakrčenost prostora	2,50	0,50	11	3,04	0,61	11

Manjkavi i netočni podaci od vlasnika /korisnika	3,39	0,68	3	3,63	0,73	5
Teška dostupnost vlasnika / korisnika	2,50	0,50	11	3,15	0,63	10
Neupoznatost vlasnika s postupkom energ. certificir. i obnove	2,54	0,51	10	2,74	0,55	13
Neodgovorno trošenje energije (hlađenje otvaranjem prozora i sl.)	2,32	0,46	13	2,89	0,58	12
Neujednačena potrošnja energije (nema karakteristične)	2,82	0,56	8	3,26	0,65	8
Nema odgovarajućih mjerača potroš. energ. u zgradи /dijelu zgr.	3,04	0,61	7	3,74	0,75	4
Problemi s internetom i radom na računalu	2,04	0,41	14	2,26	0,45	14
Promjene zakonske regulative	3,25	0,65	5	3,48	0,70	6
Procedura dodjeljivanja financ. potpora za energetsku obnovu	3,18	0,64	6	3,37	0,67	7
Tržišna cijena izrade certifikata	3,79	0,76	2	4,11	0,82	2
Kratak zahtijevani rok za izradu certifikata	3,29	0,66	4	3,96	0,79	3

Zbog lakše usporedbe u analizi rezultata, na temelju prosječne ocjene između 1 i 5 mogu se identificirati tri važne zone [8]:

- 1,00 do 2,33 – slaba važnost („zelena zona“),
- 2,34 do 3,66 – umjerena važnost („žuta zona“) i
- 3,67 do 5,00 – velika važnost („crvena zona“).

Tako je označeno i u tablici, pa se vidi da je utjecaj 28,5% ocjenjivanih čimbenika u „crvenoj zoni“ (kod rada na obiteljskim kućama samo 14,3%), 14,3% u „zelenoj zoni“, a najviše njih je u „žutoj zoni“, odnosno umjerene važnosti.

Iako postoje razlike između veličine pojedinih utjecaja na obavljanje zadatka certifikatora kod obiteljskih kuća i većih zgrada izračunati Spearmanov koeficijent korelacije $r_s' = 0,78$ pokazuje da postoji vrlo dobra povezanost njihovog ranga (zato što je $r_s' > 0,76$ [9]).

Uz čimbenike koji su bili na popisu za anketno ocjenjivanje negativnog utjecaja ispitanici su dodali još četiri za koje smatraju da mogu biti značajni:

- Složeni upis u programske alate, unos istih stvari na jedno mjesto (autori smatraju da je to obuhvaćeno u popisu navedenim „Problemi s internetom i radom na računalu“),
 - Nemogućnost definiranja specifičnih slučajeva grijanja,
 - Pojava lažnih energetskih certifikata na tržištu (falsifikata) i
 - Pojava energetskih certifikata bez izvješća o energet. pregledu ili samo *KI expert* izračun.
- Predloženih osam mjera za olakšavanje i unaprjeđenje rada na energetskom pregledu i certificiranju zgrada ispitanici smatraju korisnim u sljedećem postotku:
- Poboljšanje dostupnosti baza potrebnih stručnih (tehničkih) podataka – 92,9%,
 - Mogućnost konzultiranja s mjerodavnim, kompetentnim osobama – 78,6%,
 - Ujednačavanje određivanja cijene certifikata – 78,6%,
 - Bolja informiranost vlasnika zgrada koji traže certifikat – 75,0%,
 - Veća suradnja – udruživanje certifikatora – 67,9%,
 - Bolje mogućnosti unaprjeđenja znanja certifikatora – 46,4%,
 - Bolja upoznatost s radom (iskustvima) u inozemstvu (drugim državama EU) – 39,3% i
 - Izmjene u programu obučavanja certifikatora – 35,7%.

Dva ispitanika su još dodatno predložili kao korisne mjere:

- Izbjegi korištenje gotovih programa za izradu certifikata (svaki certifikator je odgovoran za svoj proračun a korištenjem programa koji nema jasne upute i jasni algoritam povećava se mogućnost pogreške),

- Implementirati izračun fizike zgrade, odnosno kompletног energetskog certifikata i izradu izvješća u web sučelje (mrežna stranica IEC) i
- Stvoriti kompletну bazu podataka na razini države (još bolje EU) od slojeva, tipova građevina, mjera, rezultata.

Mjere s najvećim postotkom prihvaćanja ukazuju na postojanje problema s podacima koje treba utvrditi energetskim pregledima te uzeti u proračune potrebne energije i analizu za izradu certifikata. Drugorangirana mjera povezana je s drugorangiranim negativnim utjecajem – tržišnom cijenom certifikata, s kojom očito većina certifikatora općenito nije zadovoljna. (Može se pretpostaviti da certifikati niske razine kvalitete predstavljaju nelojalnu konkureniju, a i ispitanici upozoravaju na pojavu nepotpunih, pa čak i falsificiranih certifikata.) Bolja informiranost vlasnika zgrada sigurno će doprinijeti da se izbjegnu nerealni zahtjevi i očekivanja te da olakšaju energetski pregled i izradu certifikata prikupljanjem potrebne dokumentacije i davanjem drugih podataka. Upravo nedostatak toga je čimbenik s najviše ocjenjenim negativnim djelovanjem. Veća suradnja kroz neke oblike udruživanje certifikatora također može doprinijeti realnijim i ujednačenijim cijenama te boljem pronalaženju i razmjeni tehničkih podataka, ali i određivanju i boljoj kontroli kvalitete certifikata (radi sprječavanja nelojalne konkurenije). Interes za unaprjeđenje znanja i druge vidove obuke nije zanemariv, ali je kod ispitanika najmanje poželjan.

5. Zaključak

Sve početno navedeno o zadacima pri energetskom pregledu i izradi energetskog certifikata zgrade pokazuje kako to nije nimalo jednostavan ni brz posao. U praksi postoji niz čimbenika koji ga usporavaju, otežavaju i potencijalno loše utječu na kvalitetu energetskog certifikata.

Istraživanje orientacijski pokazuje da su na certificiranje postojećih većih zgrada koje iziskuju energetski pregled negativni utjecaji značajniji, tj. u prosjeku više ocijenjeni, mada postoji visoka korelacija u odnosu na rang istih djelujućih čimbenika kod rada certifikatora na obiteljskim kućama. Kod obje vrsta zgrada najveći problem su nedostatak projekta i tržišna cijena izrade certifikata, a vrlo loše utječe i kratak zahtijevani rok za izradu certifikata, nepostojanje odgovarajućih mjerača potrošnje energije u zgradama, odnosno dijelu zgrade te manjkavi i netočni podaci koji se dobivaju od vlasnika ili korisnika.

Djelovanje utjecaja koji imaju veliku važnost svakako bi trebalo nastojati minimizirati poduzimanjem odgovarajućih mjera. Čimbenike umjerene važnosti treba imati u vidu i također, po mogućnosti, umanjiti, a utjecaje onih slabe važnosti može se čak zanemariti. Prema mišljenju ispitanika primarno bi trebalo poraditi na boljoj dostupnosti baza potrebnih stručnih (tehničkih) podataka. Uz to, za unaprjeđenje obavljanja poslova energetskog certificiranja korisna bi bila mogućnost konzultiranja s mjerodavnim, kompetentnim osobama, ujednačavanje određivanja cijene certifikata i bolja informiranost vlasnika zgrada koji traže certifikat te veća suradnja, odnosno neki vid udruživanja certifikatora.

Više mjera za bolje mogućnosti rada certifikatora i manje negativnih djelovanja doprinijeti će boljoj kvaliteti energetskih certifikata zgrada i s tim u konačnici njegovoj osnovnoj svrsi – uštedama energije i novca.

6. Literatura

- [1] Zakon o gradnji // *Narodne novine*, 153 (2013). (ISSN 1333-9273)
- [2] Pravilnik o energetskom pregledu zgrade i energetskom certificiranju // *Narodne novine*, 88(2017). (ISSN 1333-9273)
- [3] Grupa autora. Priručnik za energetsko certificiranje zgrada. // Pavković, Branimir; Zanki, Vlasta (ur.). (ISBN: 978-953-7429-25-6). Zagreb: Program Ujedinjenih naroda za razvoj, 2010
- [4] Casals, Xavier García. Analysis of building energy regulation and certification in Europe: Their role, limitations and differences // *Energy and Buildings*, 38(2006), 381-392.
- [5] Metodologija provođenja energetskog pregleda zgrada. Zagreb, 2021. <https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/Metodologija-2021.pdf> (Pristupljeno 15.05.2022.)
- [6] Morvaj, Zoran; Dučić, Boris; Zanki, Vlasta; Čačić, Goran. Priručnik za provedbu energetskih pregleda zgrada. Zagreb, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, 2010. (ISBN 978-953-7429-25-6)
- [7] Lim, Ewe Chye; Alum, J. Construction productivity: issues encountered by contractors in Singapore // *International Journal of Project Management*, 13(1995), 1; 51-58. (ISSN 0263-7863)
- [8] Salhi, Roumeissa; Messaoudi, Karima. The Effects of Delays in Algerian Construction Projects: An Empirical Study // *Civil and Environmental Engineering Reports*, 31(2021), 2; 218-254. (ISSN 2450-8594)
- [9] Colton, Theodore. Statistics in Medicine. Boston: Little, Brown and Company, 1974. (ISBN 0-316-15249-8, 0-316-15250-1)

Problematika stanogradnje i nedostatka stanova *The Issues Concerning Residential Construction and Housing Shortage*

M. Ivanić¹, A. Ivanković¹, D. Obradović^{1,*}, K. Veselovac²

¹Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Osijek,
Hrvatska

²Srednja škola Donji Miholjac, Donji Miholjac, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: dobradovic@gfos.hr

Sažetak

Stanovanje je jedna od ljudskih potreba. Svjedoci smo velike potražnje za stanovima kojih nema u dovoljnem broju kao i velikog porasta cijena materijala potrebnih za gradnju te povezano s time, porasta cijene stanova. Naravno, dodatno pojačana potražnja za stanovima uzrokuje također porast cijena stanova. Nadalje, Republika Hrvatska subvencionira kupnju prvog stana. Sve to uzrokuje da stanova nema u dovoljnem broju za kupnju, a pogotovo potencijalni kupci imaju lošije mogućnosti odabira. Također, poticaj za kupnju stanova je niska cijena novca, odnosno niske kamate te inflacija tako da se ulaganje u stanove pojavljuje kao određeni oblik štednje. Sadašnjost postaje da si nekretnine može priuštiti mali broj ljudi budući da veliki broj nije kreditno sposoban, a oni koji su kreditno sposobni ili imaju ušteđevinu kupuju po dva ili tri stana. Kako bi se moglo ukazati na određene poteškoće i pravce razvoja stanogradnje u Republici Hrvatskoj, u radu će se prikazati podatci kao što su: broj završenih stanova, broj završenih zgrada, prosječne cijene prodanih novih stanova po 1 m², broj stanova za koje su izdane građevinske dozvole i sl. U radu će se dati kratki osvrt na problem nedostatka stanova i porast cijena istih.

Ključne riječi: cijena stanova, nedostatak stanova, stanogradnja, zgrade

Abstract

Housing is a fundamental need of an individual. We have all been witnessing a high demand for homes the supply of which is insufficient, as well as a large increase in the price of materials needed for construction and, consequently, an increase in house prices. Of course, the further increase in the demand for homes also leads to an increase in housing price. Furthermore, the Republic of Croatia provides a subsidy for the purchase of one's first home. All this leads to the housing shortage, with potential buyers having poor selection options. Moreover, the incentive for the purchase of homes is the low money value, i.e., low interest rates and inflation, so that investment in home purchase appears as a form of savings. The harsh reality is that a small number of people can afford to buy a real estate, since the majority of them is not creditworthy. Even those who are creditworthy or have

savings, buy two or three homes each. In order to address specific issues and directions of development of residential building construction in the Republic of Croatia, the data such as the number of completed apartments, the number of completed buildings, average prices of new apartments sold per 1 m², the number of apartments for which building permit issued, etc. will be presented in the paper. The paper will provide a brief overview of the housing shortage and price increase issues.

Key words: price of apartments, housing shortage, apartment building, buildings

1. Uvod

Do procesa privatizacije stanovanja dolazi u postsocijalističkim zemljama [1], [2], u koje spada i Republika Hrvatska. Navedeno dovodi do jačanja tržišta nekretninama [3]. Hrvatska je jedna od postsocijalističkih zemalja koje imaju najveći udio privatnog vlasništva nad stanovima kao stanarskog statusa i u kojima je proces stambene privatizacije donio mnoge promjene. Od 1990-ih godina i tranzicijom na novo društveno uređenje u ekonomskom, političkom, ali i svakom drugom smislu, stanovanje se od nekadašnjega stambenog zbrinjavanja s države prebacuje na brigu samih građana te vlasništvo nad stanom postaje privilegija. Iz takve će situacije proizaći mnogobrojne posljedice vidljive u svim aspektima života, posebno demografskim i gospodarskim te će se preliti i na stambeni standard [3]. Događa se privatizacija, odnosno otkup društvenih stanova. Potaknuto jeftinom privatizacijom, niskim kamatama na kredite, niskim poreznim stopama (promjenama u ponudi) i povećanom potražnjom za stanovima iz inozemstva, vlasništvu je narasla vrijednost.

Oni koji posjeduju, posjeduju dosta - po kućanstvu 1,53 stana. Stoga se može reći kako vlada svojevrsna okupiranost vlasništvom [4]. Privatizacija dotadašnjih društvenih stanova dodatno je poremetila odnos ponude i potražnje na tržištu stanova. Građani Republike Hrvatske zadužuju se koliko god mogu i to ulažu u nekretnine. Neki od njih ulažu u kuće, neki u stanove. Ljudi uglavnom ne žele ulagati u posao i plaćati porez na dobit ako mogu ostvariti neoporezivi dobitak pukom kupnjom (veće) kuće ili stana [4]. Moglo bi se reći kako stanovnici Republike Hrvatske kuću tretiraju kao mjesto za spavanje i ogromnu kasicu prasicu u koju se stavlja štednja [4], što je i slučaj u Velikoj Britaniji [5].

Poslije oporavka gospodarstva na početku 2000-ih godina kućanstva počinju ponovno ulagati u stanove. To je dovelo do brzoga rasta cijena stanova i do znatnoga porasta najamnina iznajmljivanih stanova [4]. Trenutno su aktualne visoke cijene stanova te ih nema u dovoljnoj mjeri koja bi zadovoljila potražnju na tržištu nekretnina. Uzrok visokoj cijeni stanova može se pronaći u dramatičnom porastu cijena građevinskog materijala, poremećajima na globalnom tržištu zbog pandemije koronavirusa i otežane opskrbe, ali i rastu cijene rada zbog nedostatka radnika [6], nedostatka robe na tržištu [7] itd. Tržište nekretnina u Hrvatskoj u protekle dvije godine, unatoč pandemiji koronavirusa i dva snažna potresa, nastavlja s trendom rasta cijena. Na razini čitave RH tražene su cijene unazad godinu dana rasle 4,05 % za stanove i čak 7,73 % za kuće [8].

Još jedan razlog rastu cijena nekretnina je mjera subvencioniranja stambenih kredita. U Republici Hrvatskoj od 2017. godine provodi se mjera subvencioniranja stambenih kredita, provedeno je 6 poziva [9], a Izmjenama Zakona o subvencioniranju stambenih kredita [10] (NN 65/17, 61/18, 66/19, 146/20) omogućeno je subvencioniranje stambenih kredita za mlade sve do 31. prosinca 2023., za svaku kalendarsku, odnosno proračunsku godinu [9].

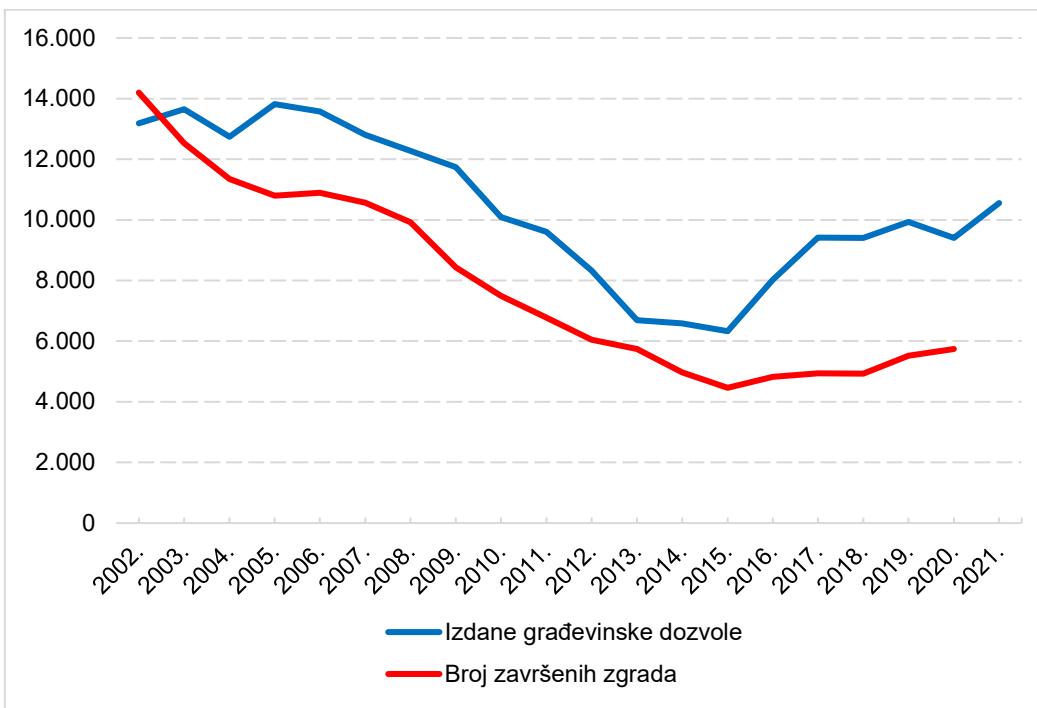
2. Stanje tržišta nekretnina u RH i pokazatelji dinamike stanogradnje

U ovom dijelu rada kratko će se prikazati i analizirati podaci o broju izdanih građevinskih dozvola, broju završenih zgrada, broju stanova za koje su izdane građevinske dozvole, broju završenih stanova i broju stanova u novim zgradama (Tablica 1.). Razdoblje za koje će se prikazati prethodno navedeni podatci je od 2002. do 2020. (2021.) godine, odnosno obuhvaća razdoblje od 19 (20) godina.

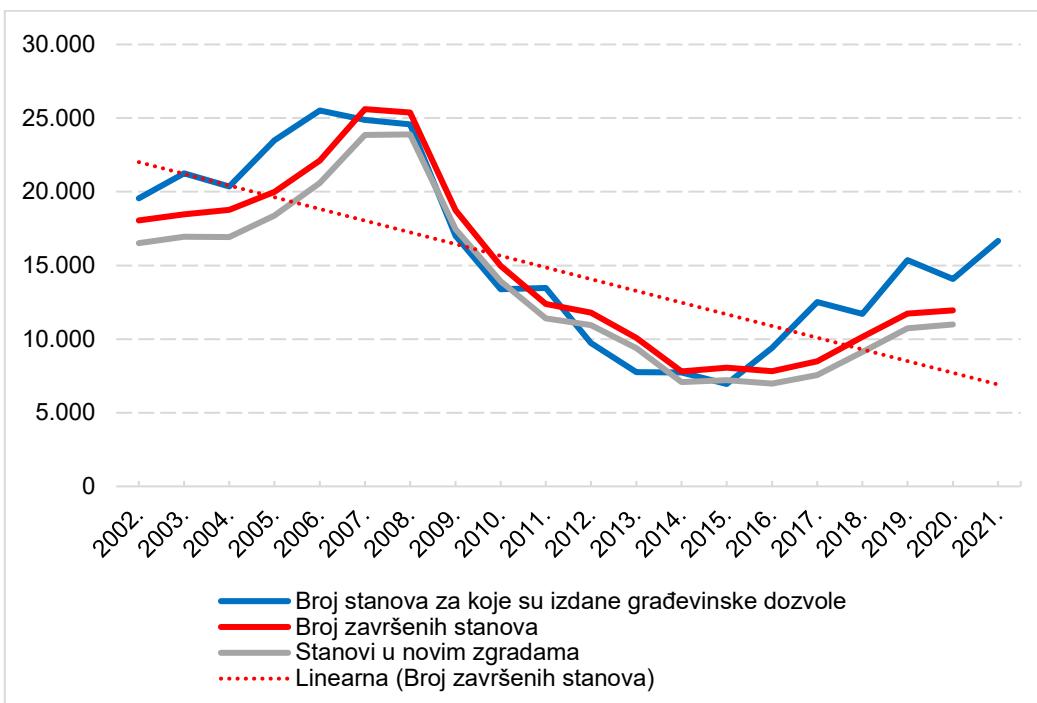
Tablica 1. Prikaz broja izdanih građevinskih dozvola, broja završenih zgrada, broja stanova za koje su izdane građevinske dozvole, broja završenih stanova te broja stanova u novim zgradama (izrada autora prema: [11], [12])

Godina	Broj izdanih građevinskih dozvola	Broj završenih zgrada	Broj stanova za koje su izdane građevinske dozvole	Broj završenih stanova	Stanovi u novim zgradama
2002.	13.185	14.197	19.549	18.047	16.522
2003.	13.647	12.526	21.245	18.460	16.943
2004.	12.741	11.348	20.358	18.763	16.935
2005.	13.818	10.800	23.484	19.995	18.378
2006.	13.575	10.897	25.517	22.121	20.588
2007.	12.801	10.561	24.877	25.609	23.851
2008.	12.281	9.923	24.585	25.368	23.893
2009.	11.736	8.434	17.018	18.740	17.478
2010.	10.087	7.491	13.378	14.972	13.915
2011.	9.601	6.777	13.470	12.390	11.401
2012.	8.330	6.047	9.742	11.792	10.938
2013.	6.687	5.739	7.744	10.090	9.383
2014.	6.589	4.971	7.743	7.805	7.087
2015.	6.328	4.461	6.950	8.059	7.212
2016.	8.018	4.824	9.398	7.809	6.978
2017.	9.418	4.940	12.509	8.496	7.567
2018.	9.406	4.933	11.719	10.141	9.113
2019.	9.932	5.521	15.370	11.726	10.729
2020.	9.403	5.745	14.083	11.957	11.001
2021.	10.553	-	16.654	-	-

Podatci su, osim u prethodnoj tablici 1., radi preglednosti prikazani i na slikama 1. i 2.



Slika 1. Prikaz kretanja broja izdanih građevinskih dozvola i broja završenih zgrada za razdoblje od 2002. do 2021. godine (izrada autora prema [11])



Slika 2. Prikaz kretanja broja stanova za koje su izdane građevinske dozvole, broja završenih stanova i broja stanova u novim zgradama za razdoblje od 2002. do 2021. godine (izrada autora prema [11])

Slika 1. prikazuje približno isto kretanje broja izdanih građevinskih dozvola i broja završenih zgrada za razdoblje od 2002. do 2021. godine.

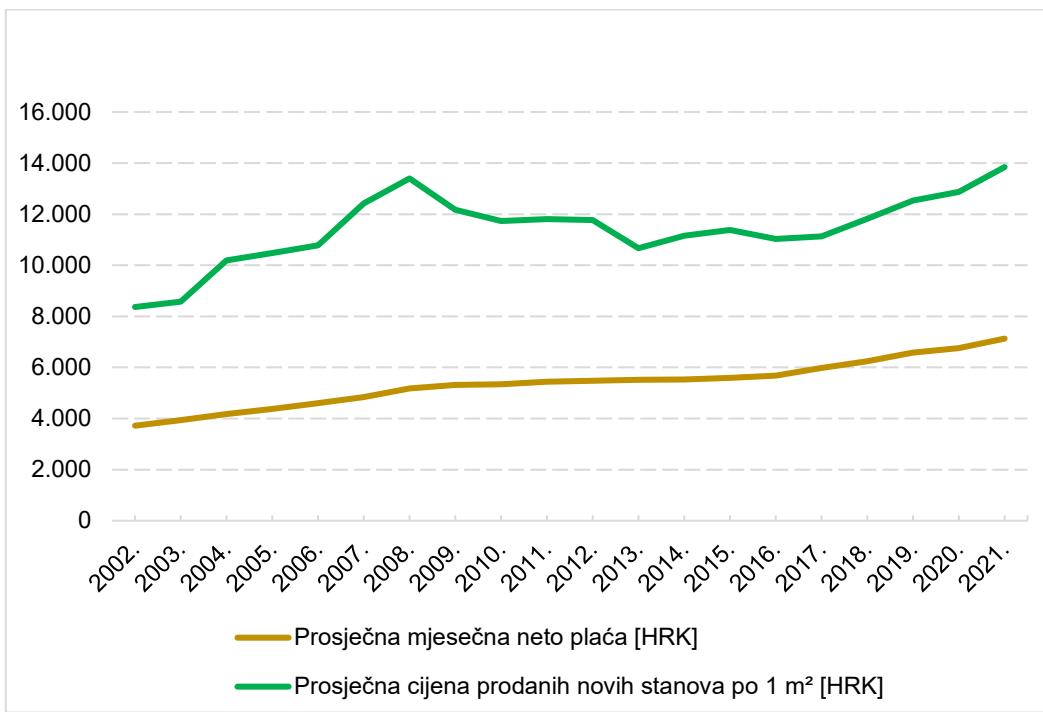
Slično vrijedi i za približno isto kretanje broja stanova za koje su izdane građevinske dozvole i broja završenih stanova za razdoblje od 2002. do 2021. godine što je vidljivo na slici 2.

3. Cijene prodanih novih stanova

Stambena imovina čini bitnu stavku imovine stanovništva i važnu komponentu njegova ukupnog „bogatstva“ [13]. Budući da je povećana količina novca na tržištu, raste stopa inflacije što dodatno navodi ulagače na kupnju nekretnina. Po visokim cijenama predvode novosagrađene nekretnine i to posebno one stambene u Gradu Zagrebu i priobalju - iako se porast cijene novosagrađenog kvadratnog metra dogodio u svim većim urbanim sredinama u Hrvatskoj [14]. U tablici 2. prikazani su podatci za razdoblje od 2002. do 2021. godine za prosječnu mjesecnu neto plaću (u HRK), prosječnu cijenu prodanih novih stanova po 1 m² (u HRK), broj završenih stanova te broj stanova u novim zgradama.

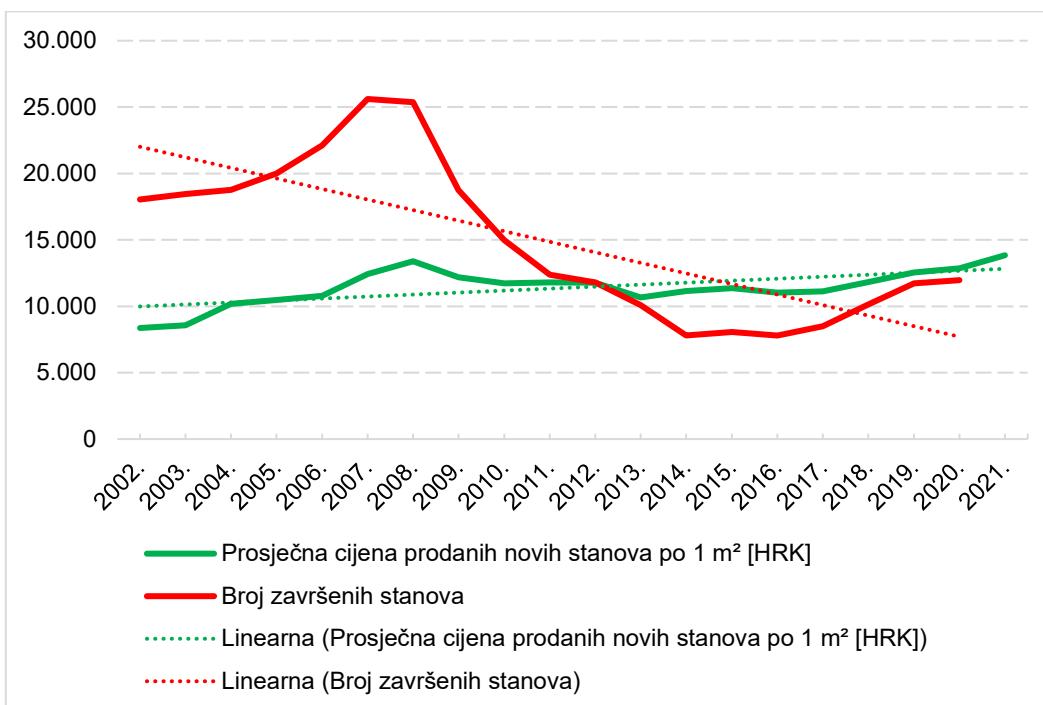
Tablica 2. Prikaz određenih pokazatelja (izrada autora prema: [11], [12], [15], [16], [17], [18])

Godina	Prosječna mjesecna neto plaća [HRK]	Prosječna cijena prodanih novih stanova po 1 m ²	Broj završenih stanova	Stanovi u novim zgradama
2002.	3.720	8.366	18.047	16.522
2003.	3.940	8.569	18.460	16.943
2004.	4.173	10.195	18.763	16.935
2005.	4.376	10.475	19.995	18.378
2006.	4.603	10.782	22.121	20.588
2007.	4.841	12.422	25.609	23.851
2008.	5.178	13.399	25.368	23.893
2009.	5.311	12.174	18.740	17.478
2010.	5.343	11.727	14.972	13.915
2011.	5.441	11.811	12.390	11.401
2012.	5.478	11.774	11.792	10.938
2013.	5.515	10.662	10.090	9.383
2014.	5.533	11.161	7.805	7.087
2015.	5.594	11.378	8.059	7.212
2016.	5.685	11.027	7.809	6.978
2017.	5.985	11.128	8.496	7.567
2018.	6.242	11.819	10.141	9.113
2019.	6.582	12.536	11.726	10.729
2020.	6.763	12.869	11.957	11.001
2021.	7.129	13.843	-	-



Slika 3. Prikaz prosječne mjesечne neto plaće i prosječne cijene prodanih novih stanova po 1 m² za razdoblje od 2002. do 2021. godine (izrada autora prema: [12], [15], [16], [17], [18])

Kako se može vidjeti na slici 3. da kretanje prosječne mjesечne plaće približno prati i kretanje – rast prosječne cijene prodanih novih stanova po 1 m².



Slika 4. Prikaz prosječne cijene prodanih novih stanova po 1 m² i broja završenih stanova za razdoblje od 2002. do 2021. godine (izrada autora prema: [11], [12], [15], [18])

U 2021. godini prosječna mjesecna neto plaća je iznosila 7.129 kune, dok je prosječna cijena prodanih novih stanova po 1 m² bila 13.843 kune. Ako se navedeno usporedi s početno analiziranom 2002. godinom kada je prosječna mjesecna neto plaća iznosila 3.720 kune dobiva se da je plaća u 2021. godini u odnosu na 2002. godinu porasla za 47,82 %. Ako se usporedi porast prosječne cijene prodanih novih stanova po 1 m² i to od 2002. godine kada je to bilo 8.366 kune, s 2021. godinom kada je cijena bila 13.843 kune, onda se dobiva porast cijene prodanih novih stanova po 1 m² od 39,56 %.

Ukupna vrijednost prodanih nekretnina u Hrvatskoj u 2020. godini iznosila je 40,023 milijarde kuna. Prosječna vrijednost nekretnine kojom se trgovalo u 2020. godini iznosila je 388.226 kune. Najčešća transakcija na tržištu nekretnina u Republici Hrvatskoj u 2020. godini bila je kupoprodaja kod koje je zabilježeno 103.093 transakcije. Županijska struktura kupoprodaja prema vrsti nekretnine u 2020. godini pokazuje da su kupoprodaje stanova/apartmana dominantne u Gradu Zagrebu i Primorsko-goranskoj županiji [19].

4. Prikaz korelacije varijabli

U ovom dijelu rada napravljena je korelacijska analiza za svih sedam varijabli: broj izdanih građevinskih dozvola, broj završenih zgrada, broj stanova za koje su izdane građevinske dozvole, broj završenih stanova, broj stanova u novim zgradama, prosječna mjesecna neto plaća te prosječna cijena prodanih novih stanova po 1 m².

U tablici 3. prikazani su koeficijenti korelacije između navedenih sedam varijabli. Variable - vrijednosti koje su označene crvenom bojom su statistički značajne ($p < 0,05$).

Tablica 3. Koeficijenti korelacije varijabli

Varijable	Izdane građevinske dozvole	Broj završenih zgrada	Broj stanova za koje su izdane građevinske dozvole	Broj završenih stanova	Stanovi u novim zgradama	Prosječna mjesecna neto plaća	Prosječna cijena prodanih novih stanova po 1 m ²
Izdane građevinske dozvole	1,000000	0,898293	0,952998	0,871464	0,860928	-0,681906	-0,289429
Broj završenih zgrada	0,898293	1,000000	0,842050	0,830942	0,820449	-0,889722	-0,529535
Broj stanova za koje su izdane građevinske dozvole	0,952998	0,842050	1,000000	0,941856	0,935804	-0,601041	-0,104053
Broj završenih stanova	0,871464	0,830942	0,941856	1,000000	0,999567	-0,625347	-0,007429
Stanovi u novim zgradama	0,860928	0,820449	0,935804	0,999567	1,000000	-0,613042	0,010170
Prosječna mjesecna neto plaća	-0,681906	-0,889722	-0,601041	-0,625347	-0,613042	1,000000	0,722014
Prosječna cijena prodanih novih stanova po 1 m ²	-0,289429	-0,529535	-0,104053	-0,007429	0,010170	0,722014	1,000000

Tablica 3. prikazuje kako postoji korelacija između određenih varijabli, kojih je dosta. Iz navedenog razloga, one se neće posebno navoditi i komentirati tekstualno. Između određenih varijabli postoje statističke značajne korelacije ($p < 0,05$).

Uočava se kako postoji statistički značajna negativna korelacija između prosječne cijene prodanih novih stanova po 1 m^2 i broja završenih zgrada. Također, između prosječne cijene prodanih novih stanova po 1 m^2 i prosječne mjesecne neto plaće postoji statistički značajna pozitivna korelacija (koeficijent korelacijske r = 0,722014; p = 0,000482 < 0,001) što govori da je navedeno visoko statistički značajno [20].

Nadalje, zanimljivo je uočiti da, prema dostupnim podatcima, provedenoj analizi i dobivenim rezultatima, ne postoji statistički značajna korelacija (koeficijent korelacijske r = -0,007429; p = 0,975920) između prosječne cijene prodanih novih stanova po 1 m^2 i broja završenih stanova što navodi na zaključak da cijena novih stanova ne korelira s brojem završenih novih stanova.

5. Zaključak

Jedna od osnovnih ljudskih potreba je potreba za sigurnošću, koja se između ostalog, ostvaruje tako što čovjek ima krov nad glavom – kuću, stan, odnosno nekretninu koja mu pruža smještaj. U Republici Hrvatskoj postoji visok udio stanovništva s vlastitom nekretninom, a veliki dio nekretnina potječe iz bivšeg sustava. Društveni stanovi postaju privatni procesom privatizacije. Kako je privatizacija bila jeftina, kamate na kredite su bile jeftine te je došlo do povećane potražnje, vlasništvu je porasla vrijednost.

Nekretnine su u Republici Hrvatskoj najpopularniji oblik investicija. Kupovinu nekretnina dodatno pojačava i inflacija koja obezvrjeđuje novac. Dolazi do toga da vlasnici stanova imaju više od jednog stana, dok si određeni ne mogu priuštiti ni prvu nekretninu. Sve teže postaje kupiti nekretninu zbog malog izbora na tržištu nekretnina i visokih cijena istih. Visoka se cijena nekretnina javlja zbog povećane potražnje, velikog porasta cijena građevinskog materijala, poremećaja na globalnom tržištu zbog pandemije koronavirusa, otežane opskrbe, nedostatka radnika, nedostatka robe na tržištu, smanjenja raspoložive površine građevinskog zemljišta itd. Također, državno subvencionirani stambeni krediti podižu cijenu nekretnina na tržištu. Osim toga, stanovnici RH skloni su vjerovanju da su nekretnine oblik štednje te ulažu novac u iste.

Ljudi se teško odlučuju za prodaju nekretnina, što im još dodatno povećava vrijednost. A, oni koji prodaju žele zaraditi što više novca te dolazi do toga da si stanovništvo Republike Hrvatske u određenom trenutku ne može priuštiti nekretninu te tada prodavatelj tu nekretninu prodaje strancima kojima su naše cijene pristupačne. Tako dolazi do toga da sve manje nekretnina ostaje u hrvatskom vlasništvu što opet smanjuje broj nekretnina koje stanovništvo Republike Hrvatske ima na raspolaganju.

U radu su analizirani dostupni podatci koji se odnose na stanogradnju i cijene stanova, i to: broj izdanih građevinskih dozvola, broj završenih zgrada, broj stanova za koje su izdane građevinske dozvole, broj završenih stanova, broj stanova u novim zgradama, prosječna mjesecna neto plaća te prosječna cijena prodanih novih stanova po 1 m^2 .

Broj izdanih građevinskih dozvola, a time i broj završenih zgrada ima opadajući trend što je prikazano na slici 2. Provedenom analizom u ovom radu pokazano je kako je broj završenih stanova u opadanju (vlada opadajući trend). Za razdoblje od 2002. do 2021. godine prosječna mjesecna neto plaća, ali i prosječne cijene prodanih novih stanova po 1 m² imaju trend rasta. Prema svemu navedenom, uočava se kako broj završenih stanova opada i prosječna mjesecna neto plaća raste. Nadalje, na slici 4. je pokazano kako se broj završenih stanova smanjuje dosta velikim trendom pada, dok je kod prosječne cijene prodanih novih stanova po 1 m² zamjetan nešto blaži rast. Zaključno, može se očekivati da će se nastaviti trend rasta cijena nekretnina te će običnom čovjeku s prosječnom plaćom u Republici Hrvatskoj biti sve teže kupiti nekretninu.

6. Literatura

- [1] Banks, Christopher; O'Leary, Sheila; Rabenhorst, Carol. Privatized Housing and the Development of Condominiums in Central and Eastern Europe: The Cases of Poland, Hungary, Slovakia and Romania // *Review of Urban & Regional Development Studies*, 8 (1996), 2; 137-155. (ISSN 0917-0553)
- [2] Stephens, Mark; Lux, Martin; Sunega, Petr. Post-socialist housing systems in Europe: Housing welfare regimes by default? // *Housing Studies*, 30 (2015), 8; 1210-1234. (ISSN 1466-1810)
- [3] Svirčić Gotovac, Anđelina. Učinci procesa privatizacije stanovanja u postsocijalističkoj Hrvatskoj // *Geoadria*, 25 (2020), 2; 151-176. (ISSN 1848-9710)
- [4] Filipić, Petar. Uvod u makroekonomiju stanovanja // *Ekonomski pregled*, 58 (2007), 7-8; 393-420. (ISSN 1848-9494)
- [5] Oswald, Andrew. The Case for a Healthier Rental Sector in the UK, The Times, November 11 2004. [Online]. Dostupno na: <https://www.andrewoswald.com/docs/timesrentingnov2004.pdf> (pristupljeno 22.07.2022.)
- [6] Crnjak, Marija. Divljanje cijena u građevini izaziva opasnu lančanu reakciju: Mislite li kupiti stan, bolje je da požurite. Poslovni dnevnik, 08. listopad 2021. [Online]. Dostupno na: <https://www.poslovni.hr/nekretnine/cijene-stanova-rast-ce-barem-jos-godinu-i-pol-dana-4308421> (pristupljeno 23.07.2022.)
- [7] Vlašić, Boris. Vroglavo visoke cijene: 'Kupnja stanova raste jer ne znamo na drugi način ulagati novac'. Globus, 09. studeni 2021. [Online]. Dostupno na: <https://www.jutarnji.hr/globus/biznis/vroglavo-visoke-cijene-kupnja-stanova-raste-jer-ne-znamo-na-drugi-nacin-ulagati-novac-15118375> (pristupljeno 23.07.2022.)
- [8] Njuškalo blog. Cijene su u prethodne dvije godine rasle, no interesi kupaca su se promjenili. 10. ožujka 2022. [Online]. Dostupno na: <https://blog.njuskalo.hr/novosti/cijene-su-u-prethodne-dvije-godine-rasle-no-interesi-kupaca-su-se-promjenili> (pristupljeno 27.07.2022.)
- [9] E-Građani. Vlada Republike Hrvatske. Subvencioniranje stambenih kredita za mlade. [Online]. Dostupno na: <https://gov.hr/hr/subvencioniranje-stambenih-kredita-za-mlade/1286> (pristupljeno 24.07.2022.)

-
- [10] Narodne novine, Službeni list Republike Hrvatske. Zakon o subvencioniranju stambenih kredita. NN 65/17, 61/18, 66/19, 146/20, 2017., 2018., 2019., 2020., Zagreb
- [11] Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske. Izdane građevinske dozvole prema vrstama građevina, 2022. Tablica 3.2.3 Broj i površina stanova za koje su izdane građevinske dozvole; Tablica 3.2.4. Broj i građevinske veličine završenih zgrada; Tablica 3.2.5. Završeni stanovi. [Online]. Dostupno na: <https://podaci.dzs.hr/hr/podaci/gradevinarstvo/gradevinske-dozvole/> (pristupljeno 22.07.2022.)
- [12] Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske. Izdane građevinske dozvole, 2022., Tablica 3.1.12. Završeni stanovi prema opremljenosti; Tablica 3.1.9. Prosječne cijene prodanih novih stanova i troškovi građenja po 1 m² koje su prodavala trgovačka društva i druge pravne osobe, bez POS-a. [Online]. Dostupno na: <https://podaci.dzs.hr/hr/podaci/gradevinarstvo/gradevinske-dozvole/> (pristupljeno 25.07.2022.)
- [13] Davor Kunovac, Davor; Kotarac, Karlo. Cijene stambenih nekretnina u Hrvatskoj. Pregledi P-41, Hrvatska narodna banka, Zagreb, siječanj 2019. (ISSN 1334-0085)
- [14] Burza nekretnina. BN Komentar 21.01.2022. [Online]. Dostupno na: <https://www.burza-nekretnina.com/statistike/> (pristupljeno 26.07.2022.)
- [15] Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske. Statističke informacije, Izdanja od 2005. do 2021. godine. (ISSN 1334-062X). [Online]. Dostupno na: <https://web.dzs.hr/arhiva.htm> (pristupljeno 25.07.2022.)
- [16] Kelebuh, Ivan. Pregled kretanja neto i bruto plaća u RH u posljednjih 20 godina, TEB Poslovno savjetovanje, 14.05.2021. [Online]. Dostupno na: <https://www.teb.hr/novosti/2021/pregled-kretanja-neto-i-bruto-placa-u-rh-u-posljednih-20-godina/> (pristupljeno 26.07.2022.)
- [17] Narodne novine, Službeni list Republike Hrvatske. Prosječna mjesečna isplaćena neto plaća i prosječna bruto plaća po zaposlenome u pravnim osobama Republike Hrvatske za 2021. NN 23/22, 2022., Zagreb
- [18] Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske. Cijene prodanih novih stanova od 1990. do 2010., Statistička izvješća, Zagreb, 2012. (ISSN 1332-0297)
- [19] Rašić, Ivana; Slijepčević, Sunčana; Stojčić, Nebojša; Vizek, Maruška. Pregled tržišta nekretnina Republike Hrvatske 2020., Republika Hrvatska, Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine; Ekonomski institut Zagreb. (ISSN 2706-4697)
- [20] StatsDirect Limited. P Values. [Online]. Dostupno na: https://www.statsdirect.com/help/basics/p_values.htm (pristupljeno 28.07.2022.)

Rekonstrukcija zavarene izvedbe rotora, proračun i izrada 3D modela rotora centrifugalne pumpe u lijevanoj izvedbi

Reconstruction of welded rotor design, calculation and production of 3D model of centrifugal pump rotor in cast design

B. Hršak^{1,2*}, A. Čikić^{2*}, I. Kozić¹, Z. Busija², S. Švoger²

¹Veleučilište u Bjelovaru, Trg E. Kvaternika 4, 43000 Bjelovar

²Sveučilište Sjever, 104. Brigade 3, 42000 Varaždin

*Autors za korespondenciju e-mail: bhrsak@vub.hr acikic@unin.hr

Sažetak:

Prikazano je dimenzioniranje i rekonstrukcija zavarene izvedbe rotora centrifugalne pumpe, te 3D oblikovanje rotora u lijevanoj izvedbi na temelju postojeće 2D radioničke dokumentacije (ručne izrade) u lijevanoj izvedbi i reverzibilnog inženjeringu. U programskom alatu SolidWorks izrađen je novi 3D model rotora od sivog lijeva SL-20 (EN-GJL-200 po DIN normi). Proведен je proračun osnovnih veličina rotora promjera $D_2 = 205$ mm pri $n = 1450 \text{ min}^{-1}$ za protok $V = 80 \text{ m}^3/\text{h}$ prema British Standard, BS EN 733: 1995 End-suction centrifugal pumps, rating With 10 bar with bearing – Nominal duty point, main dimensions, designation system kao i analize zakrivljenosti površina 3D modela (Curvature), zakrivljenosti "Zebra Uzorkom" (Zebra Stripes), i kontrola geometrije 3D modela. Na temelju rekonstruirane izvedbe 3D modela rotora, izrađena je (generirana) potpuno nova 2D radionička dokumentacija rotora pumpe u lijevanoj izvedbi. Na 3D pisaču zortrax M200, primjenom FDM tehnologije taložnog očvršćivanja materijala, izrađen je umanjeni 3D model rotora centrifugalne pumpe.

Ključne riječi: centrifugalna pumpa, 3D oblikovanje, 3D model, reverzibilni inženjer, 2D radionička dokumentacija, 3D pisač

Abstract:

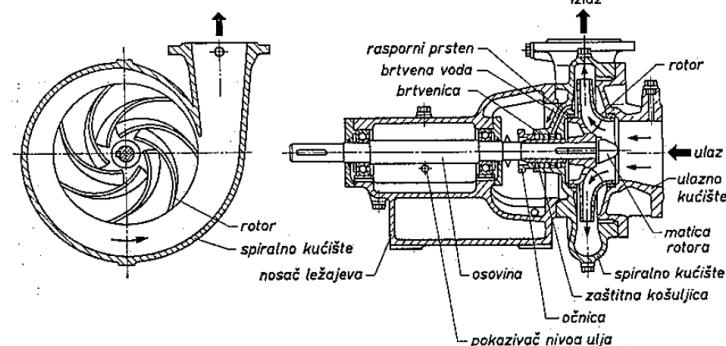
Dimensioning and reconstruction of the welded version of the rotor of the centrifugal pump is presented, as well as the 3D design of the rotor in the cast version based on the existing 2D workshop documentation (handmade) in the cast version and reversible engineering. A new 3D model of a rotor made of gray cast iron SL-20 (EN-GJL-200 according to DIN standard) was created in the SolidWorks software tool. The calculation of the basic sizes of the rotor diameter $D_2 = 205$ mm at $n = 1450 \text{ min}^{-1}$ for flow $V = 80 \text{ m}^3/\text{h}$ was carried out according to British Standard, BS EN 733: 1995 End-suction centrifugal pumps, rating

With 10 bar with bearing – Nominal duty point, main dimensions, designation system, as well as analyzes of curvature of 3D model surfaces (Curvature), "Zebra Stripes" curvature, and 3D model geometry control. Based on the reconstructed performance of the 3D model of the rotor, a completely new 2D workshop documentation of the pump rotor in cast version was created (generated). On the zortrax M200 3D printer, a reduced 3D model of the centrifugal pump rotor was created using FDM technology of deposition hardening of the material.

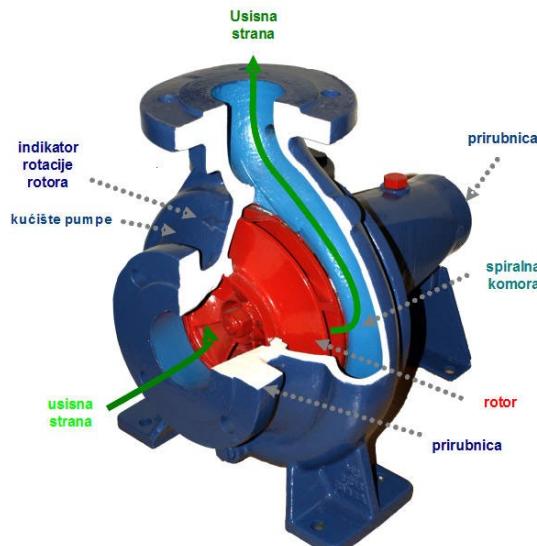
Key words: centrifugal pump, 3D design, 3D model, reverse engineering, 2D workshop documentation, 3D printer

1. Centrifugalne pumpe

Centrifugalne pumpe povećavaju tlak i brzinu, odnosno samo tlak ili samo brzinu kapljevine pretvarajući mehanički rad rotirajućeg radnog kola (rotora) u energiju tlaka i kinetičku energiju kapljevine kroz procese njenog strujanja u lopaticama rotora i u spiralnim kanalima kućišta (statora) pumpe. Konstruiraju se za različite protoke i visine dobave kapljevina različite čistoće, agresivnosti, temperature i viskoznosti. Radikalne pumpe (slika 1. i slika 2.), imaju najšire područje primjene. Upotrebljavaju se u vodoprivrednim, vodoopskrbnim i energetskim postrojenjima, u rudarstvu, građevinarstvu, kemijskoj i procesnoj industriji, služe kao brodske pumpe za različite namjene, u rashladnim i toplifikacijskim sustavima, itd. Prikladne su za dobavu svih vrsta čistih kapljevina sa vrlo širokim područjem izbora protoka i visine dobave [1].



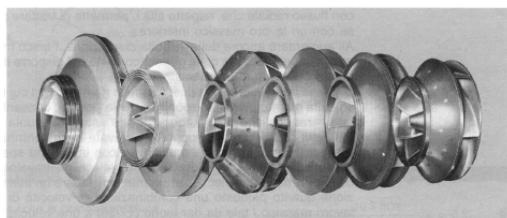
Slika 1. Dijelovi centrifugalne pumpe [1]



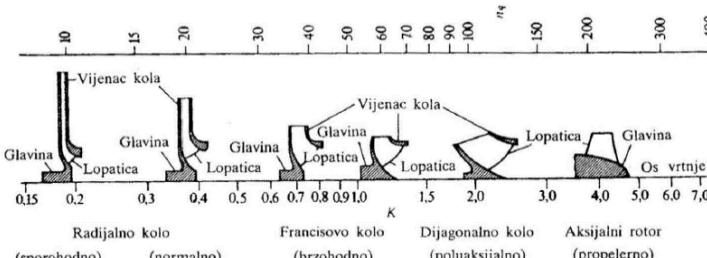
Slika 2. Presjek centrifugalne pumpe [2]

2. Izvedbe rotora centrifugalnih pumpi

Brzohodnost je parametar na osnovu kojeg se odabire oblik rotora pumpe (slika 3.) s kojim se za odabrane hidrodinamičke karakteristike (protok i visinu dobave) postiže maksimalna moguća iskoristivost. Na slici 4. prikazana je ovisnost oblika rotora pumpi o brzohodnosti [4].



Slika 3. Različite izvedbe rotora [3]

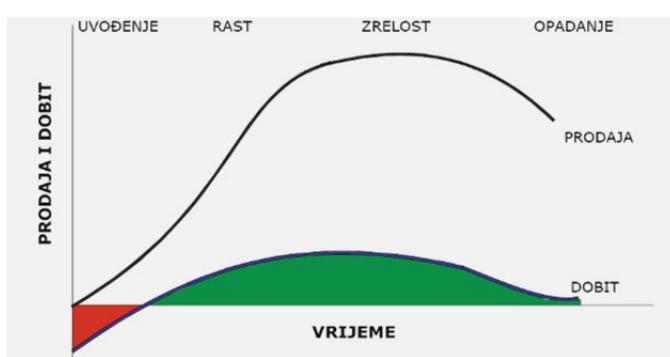


Slika 4. Profili rotora pumpi [4]

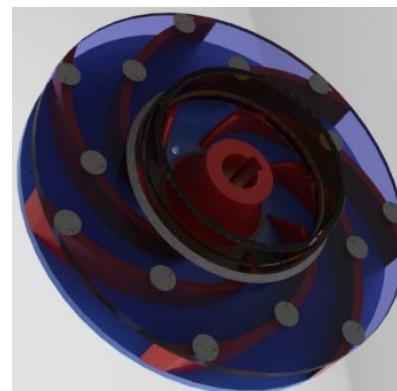
3. Zahtjevi za rekonstrukciju postojeće zavarene izvedbe rotora u lijevanu izvedbu

Poznavanje i uvažavanje životnog ciklusa proizvoda (slika 5), nužan je uvjet za donošenje valjanih odluka o proizvodu. U fazi „zrelost“ prodaja "postojećeg proizvoda" – rotor zavarene izvedbe (slika 6.) nastavlja s rastom, ali u fazi "pada" (odumiranja) prodaje i zasićenja tržišta, potrebno je redizajnirati proizvod.

Konkurentske tvrtke kopiranjem vodećeg proizvoda, te znatno nižim cijenama osvajaju dio tržišta. Funkcionalnom modifikacijom (rekonstrukcijom) "novi" proizvod – rotor lijevane izvedbe se prilagođava "novim" potrebama kupaca, što je najčešće povezano s redizajniranjem proizvoda zbog znatnije promjene veličine "serije proizvoda" u proizvodnji.



Slika 5. Životni ciklus proizvoda [5]



Slika 6. Zavarena izvedba rotora - postojeća

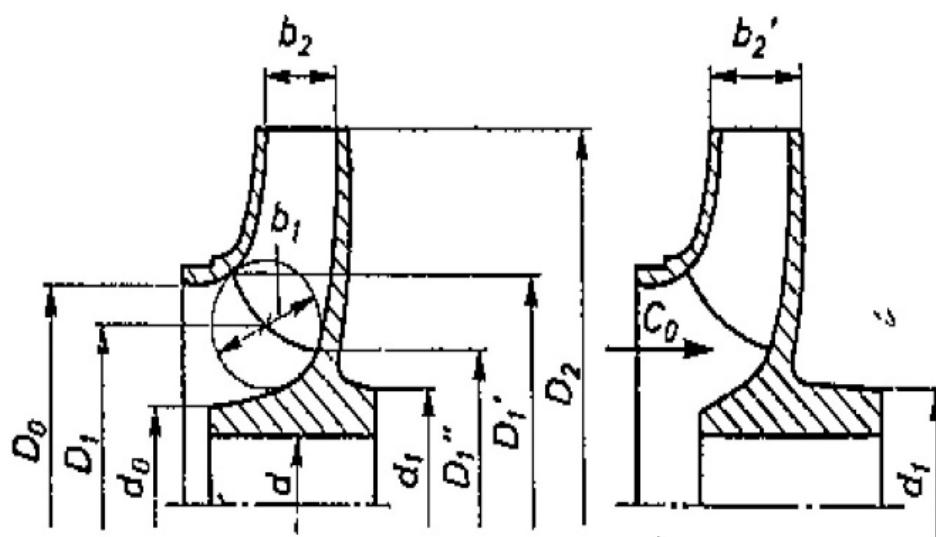
U cilju bržeg razvoja i optimizacije postojećeg proizvoda te primjenom reverzibilnog inženjeringu, prikazani su: rekonstrukcija postojeće zavarene izvedbe rotora, analitički kontrolni proračun osnovnih veličina rotora pumpe za $n = 1450 \text{ min}^{-1}$, postojeći vanjski promjer rotora $D_2 = 205 \text{ mm}$, te protok $V = 80 \text{ m}^3/\text{h}$ prema *British Standard, BS EN 733*, te

početak izrade 3D modela rotora centrifugalne pumpe u lijevanoj izvedbi na temelju postojeće 2D radioničke dokumentacije. Zbog zahtjevnosti oblikovanja za izradu 3D modela, provedenih analiza zakrivljenosti površina 3D modela (eng., *Curvature*), zakrivljenosti "Zebra Uzorkom" (eng., *Zebra Stripes*) odabran je programski alat *SolidWorks*, a izrađen je i 3D ispis modela rotora centrifugalne pumpe u lijevanoj izvedbi na 3D pisaču zortrax M200.

4. Analitički kontrolni proračun osnovnih veličina lijevane izvedbe rotora

Za navedene parametre proveden je proračun osnovnih veličina rotora pumpe za gustoću radnog fluida (vode) $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ prema *BS EN 733*. Korištene jednadžbe i rezultati prikazani su u tablici 1. [6, 7].

Osnovne dimenzije rotora centrifugalne pumpe prikazane su na slici 7.



Slika 7. Osnovne dimenzije rotora pumpe [7]

Tablica 1. Osnovne veličine rotora pumpe

OSNOVNE VELIČINE ROTORA PUMPE	
Veličine i parametri	$n = 1450 \text{ min}^{-1}$, $V = 80 \text{ m}^3/\text{h}$
Brzohodnost $n_q = n \cdot \frac{Q^{0,5}}{H^{0,75}}$	32,51
Specifični broj okretaja pumpe $n_s = 3,65 \cdot n_q$	119
Vanjski promjer rotora, mm $D_2 = K_{D_2} \cdot \frac{H^{0,5}}{n}$	219

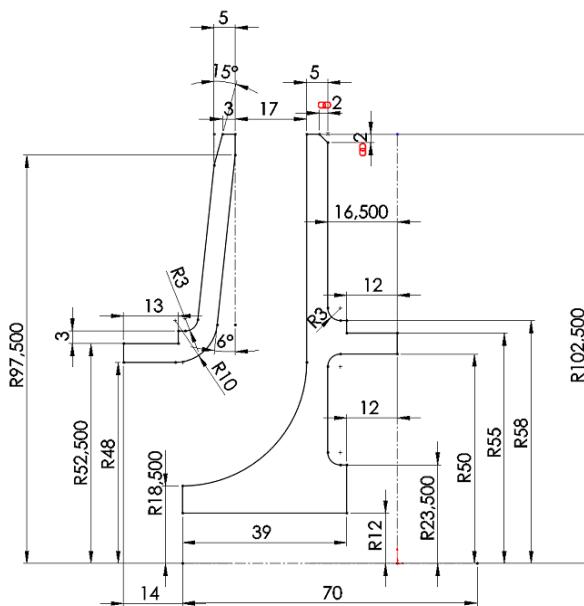
Snaga elektromotora pumpe, W $P = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{\eta_{\max}}$	3481
Minimalni promjer osovine pumpe d_{cm} , mm (dijagram [3])	22
Proračunski promjer osovine pumpe d , mm (dokumentacija)	24
Promjer glavine na ulazu d_0 , mm $d_0 = (1,3 - 1,4) \cdot d$	37,8
Promjer glavine na leđnoj strani d_1 , mm $d_1 = (1,4 - 1,5) \cdot d$	40,5
Promjer D'_1 , mm (slika 3.) $D'_1 = D_0 = k_{D_0} \cdot \frac{H^{0,5}}{n}$	115
Promjer D''_1 , mm (slika 3.) $D''_1 = k_{D_1}^{\prime\prime} \cdot \frac{H^{0,5}}{n}$	65
Promjer D_1 , mm (slika 3.) $D_1 = \left[\frac{(D'_1)^2 + (D''_1)^2}{2} \right]^{0,5}$	93
Ulagana širina rotora b_1 , mm $b_1 = k_{b_1} \cdot \frac{H^{0,5}}{n}$	37
Izlagana širina rotora b_2 , mm $b_2 = k_{b_2} \cdot \frac{H^{0,5}}{n}$	20

K_{D2} – konstanta rotora = 90, prema dijagramu [7]; η_{\max} – maksimalna iskoristivost = 77,5 %, prema dijagramu [7]; k_{D0} – konstanta rotora = 47, prema dijagramu [7]; $k_{D1}^{\prime\prime}$ – konstanta rotora = 26,5 prema dijagramu [7]; k_{b1} – konstanta rotora = 15, prema dijagramu [7]; k_{b2} – konstanta rotora = 8, prema dijagramu [7].

Za utvrđenu brzohodnost $n_q \approx 32$, odnosno raspon $n_q = 26 - 70$ odabran je broj lopatica rotora $z = 7$ [7].

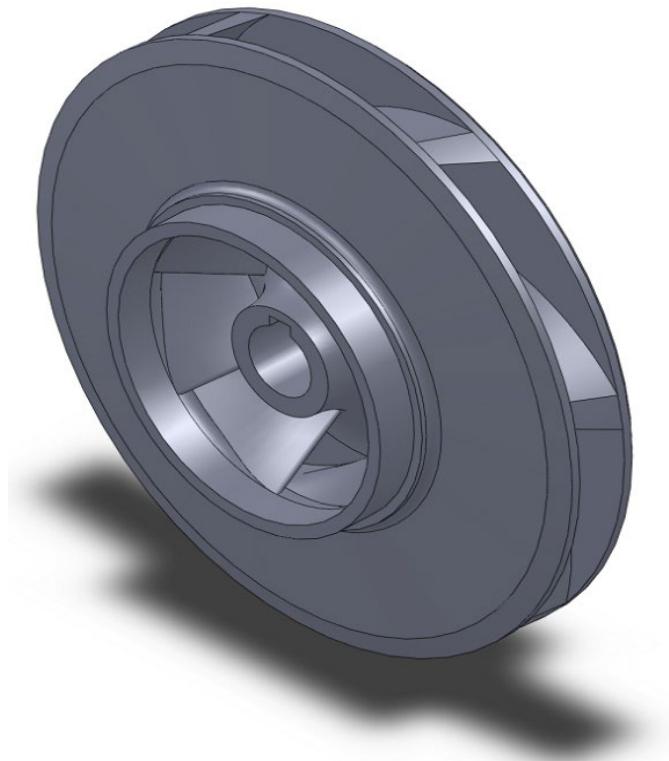
5. Izrada 3D modela rotora centrifugalne pumpe u lijevanoj izvedbi

Na temelju postojeće 2D radioničke dokumentacije ručne izrade, reverzibilnim inženjeringom, prikazan je početak 3D modeliranja (skica konture poprečnog presjeka rotora – slika 8.) i konačni izgled 3D modela rotora u programskom alatu *SolidWorks*.



Slika 8. Skica konture poprečnog presjeka rotora

Pomoću naprednih alata za 3D oblikovanje izrađen je konačni izgled 3D modela rotora centrifugalne pumpe u lijevanoj izvedbi, (slika 9.).



Slika 9. Konačni izgled 3D modela rotora

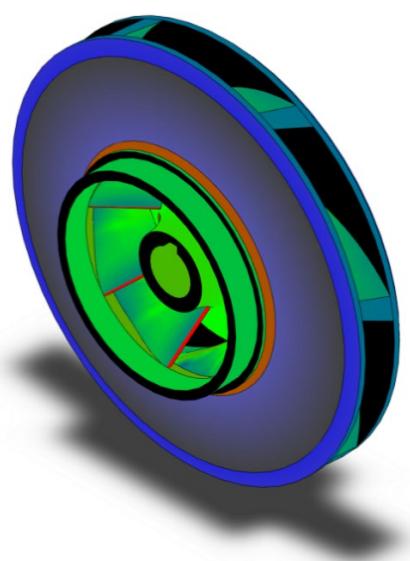
Na kraju izrade 3D modela, potrebno je "dodati" materijal. Rotor je proizведен od sivog lijeva SL - 20 (0.6020 (EN-GJL-200 po DIN normi), a kako taj materijal postoji u bazi podataka *SolidWorks-a*, pridružen je 3D modelu rotora.

6. Analiza zakrivljenosti površina

Prilikom 3D modeliranja često se koristi alat *Curvature* koji *SolidWorks* te većina drugih pridruženih CAD programa sadržava u programskom sučelju. Korišten je alat za sjenčanje u ovisnosti o zakrivljenosti površine za slikovito uočavanje diskontinuiteta i infleksije koji je potvrdio točnost i kvalitetu izrade 3D modela (slika 10.).

7. Analiza zakrivljenosti zebra uzorkom

Pomoću alata - zebra uzorka ili *Zebra Stripes* omogućen je prikaz vrlo male promjene na površini tijela koja se jako teško, ili gotovo nemoguće može primijetiti u standardnom prikazu. *Zebra Stripes* uzorci simuliraju odraz dugih traka svjetlosti na vrlo sjajnoj površini. Vrlo lako se mogu uočiti bore, neravnine ili neki drugi nedostatak na površini. Također se mogu provjeriti da li su dva susjedna lica u kontaktu ili su u tangentu te da li se nastavljaju u kontinuiranoj zakrivljenosti. Analiza zakrivljenosti površina je također je potvrdila točnost i kvalitetu izrade 3D modela rotora (slika 11.).



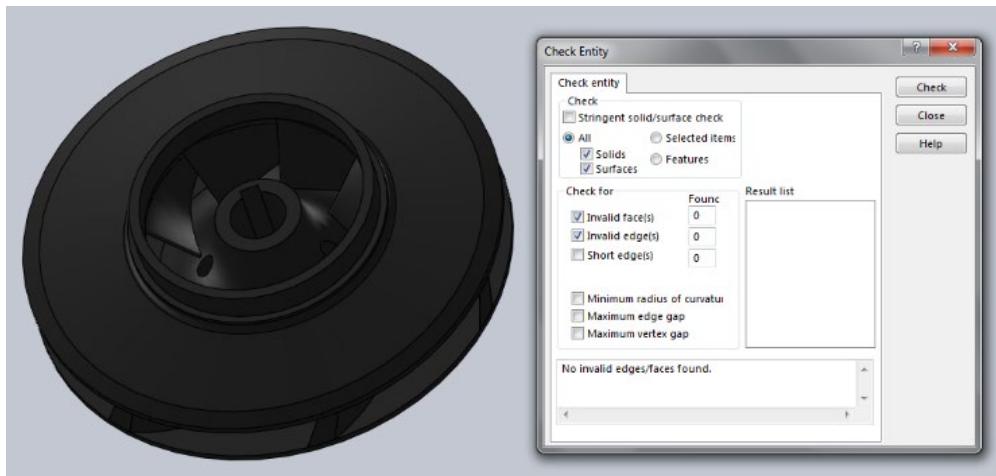
Slika 10. Primjena alata *Curvature*



Slika 11. Primjena alata *Zebra Stripes*

8. Kontrola geometrije

Kontrola geometrije provodi se automatski od samog početka projektiranja, te ako nema nikakvih upozorenja tijekom modeliranja sa velikom sigurnosti može se garantirati da nema geometrijskih grešaka. Na kraju postupka 3D modeliranja "pokrenut" je programski modul za kontrolu geometrije – *Check Entity* koji nije pronašao ni jednu pogrešku na kreiranom 3D modelu rotora centrifugalne pumpe (slika 12.).



Slika 12. Kontrola geometrije 3D modela

9. 3D ispis modela rotora centrifugalne pumpe u lijevanoj izvedbi

3D ispis modela rotora centrifugalne pumpe u lijevanoj izvedbi izrađen je FDM tehnologijom taložnog očvršćivanja materijala na 3D pisaču zortrax M200 (slika 13.).

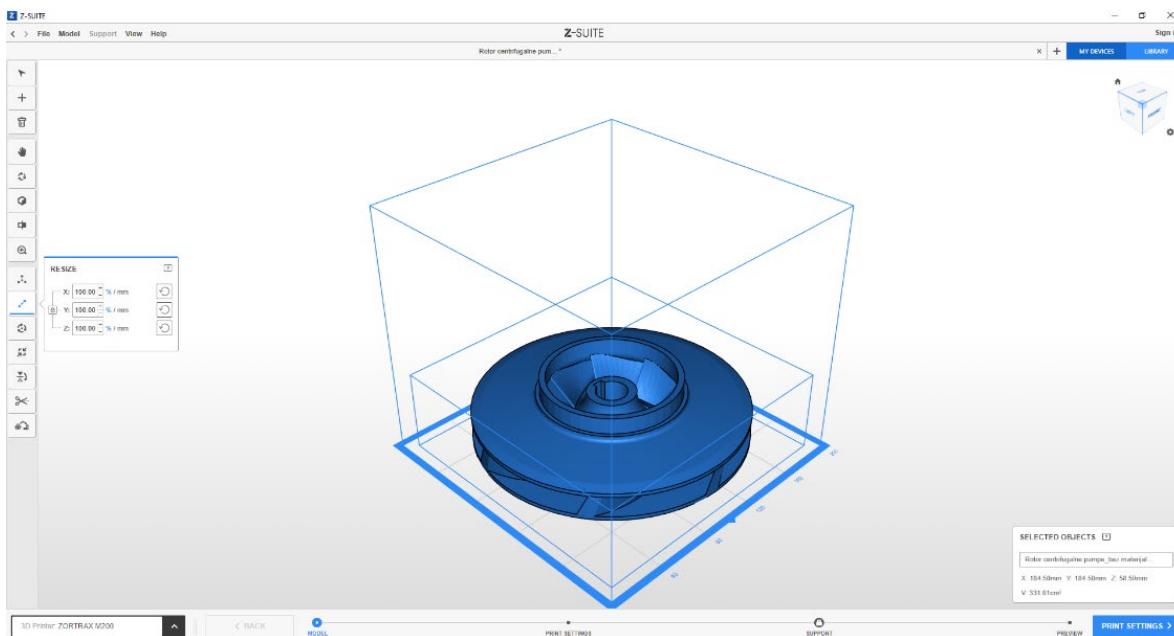
FDM postupak temelji se na procesu ekstrudiranja polimernog materijala (npr. ABS) kroz mlaznicu koja prati presjek predmeta izrade sloj po sloj. Za ispis 3D modela na 3D pisaču izrađen je 3D model i pohranjen u *.stl formatu zapisa te učitan u programski alat Z-SUITE (slika 14.) i pozicioniran na virtualnu "platformu" za 3D ispis. Konfigurirani su svi potrebni parametri 3D ispisa i pohranjeni u format zapisa koji 3D pisač "razumije" (.zcode), a dobivena datoteka je pohranjena na SD karticu koja je postavljena u 3D pisač.



zortrax M200

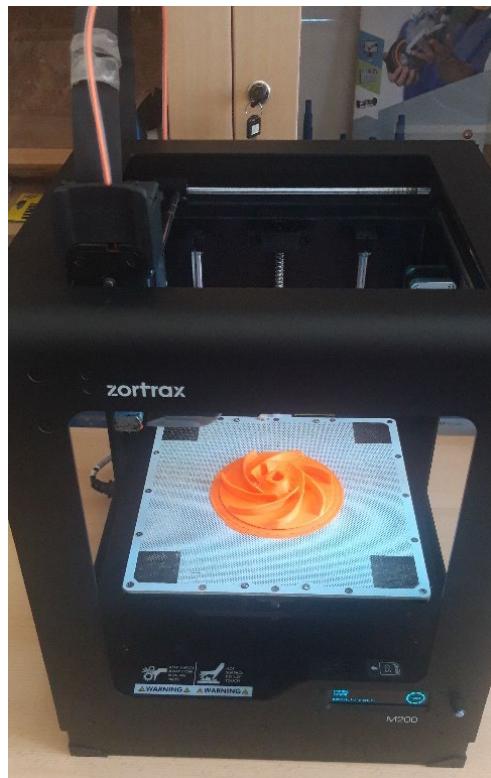
Fizičke dimenzije	
S kolotom	345 x 360 x 430 mm
Bez kolota	345 x 430 x 430 mm
Težina	16 kg
Printanje	
Tehnologija printanja	LPD
Radni prostor	200 x 200 x 180 mm
Postavke razlučivosti sloja	90-400 mikrona
Debljina zida	Optimalna: 800+ mikrona
Rezolucija ispisne točke	400+mikrona
Promjer materijala	1,75 mm
Promjer mlaznice	0,4 mm
Pozicioniranje preciznost X / Y	1,5 mikrona
Z jedan korak	1,25 mikrona
Temperatura	
Maksimalna temperatura ekstrudera	380° C
Maksimalna temperatura grijane platforme	110° C
Elektronika	
AC ulaz	110/240V
Zahajtive napajanja	24 V DC
Potrošnja struje	300 W
3D printer	
Broj ekstrudera	1
Povezivanje	SD kartica
Dostupni materijali	Z-ABS, Z-ULTRAT, Z-HIPS, Z-GLASS, Z-PETG, Z-PCABS

Slika 13. 3D pisač zortrax M200 s tehničkim karakteristikama [8]



Slika 14. Programsko sučelje programskog alata Z-SUITE [9]

Na slici 15. prikazan je izrađen umanjeni 3D model rotora centrifugalne pumpe u lijevanoj izvedbi na 3D pisaču zortrax M200.



Slika 15. Izrađen umanjeni 3D model rotora centrifugalne pumpe u lijevanoj izvedbi na 3D pisaču zortrax M200.

10. Zaključak

U životnom ciklusu proizvoda, u fazi "povećanja" prodaje izvršena je modifikacija - rekonstrukcija proizvoda. Razvojem suvremene proizvodne tehnologije, značajnu ulogu prilikom konstruiranja novih proizvoda ili rekonstrukcije postojećih ima projektiranje pomoću računala (CAD – Computer Aided Design). Značajno se skraćuje vrijeme rekonstrukcije varijantnog proizvoda i smanjuju se troškovi projektiranja. Proveden je proračun osnovnih veličina rotora centrifugalne pumpe promjera $D_2 = 205$ mm pri $n = 1450$ min^{-1} za protok $V = 80 \text{ m}^3/\text{h}$ prema British Standard, BS EN 733. Prikazan je početak 3D modeliranja (skica konture poprečnog presjeka rotora i konačni izgled 3D modela rotora u programskom alatu *SolidWorks* u lijevanoj izvedbi na temelju postojeće 2D radioničke dokumentacije. Reverzibilnim inženjeringom, uspješno je izrađen 3D model rotora koji u potpunosti ispunjava postavljene zahtjeve:

- izrađen je fleksibilan računalni 3D model rotora centrifugalne pumpe odgovarajućih dimenzija i optimalnih radnih karakteristika kako bi cijena izrade rotora i centrifugalne pumpe kao gotovog proizvoda u visoko serijskoj proizvodnji bila prihvatljiva tržištu,
- 3D model rotora ima veoma precizno definiranu geometriju što potvrđuju: analiza zakrivljenosti površina - Curvature, analiza zakrivljenosti zebra uzorkom - Zebra Stripes, kontrola geometrije - Check Entity, a također je i minimizirana veličina njegovog digitalnog zapisa,
- 3D model je upotrebljiv za: daljnju analizu, redizajn, i brzu izradu prototipa kao varijantnog proizvoda, kako bi gotov proizvod – centrifugalna pumpa zadovoljila sve tehničke uvjete i kriterije tržišta,
- potvrda postavljenih zahtjeva provedena je umanjenim 3D ispisom rotora centrifugalne pumpe na 3D pisaču zortrax M200.

Predloženi postupci 3D modeliranja doprinose praktičnoj primjeni u unapređenju i razvoju brze izrade i 3D oblikovanja prototipa (Rapid Prototyping), redizajnu i razvoju strojnih elemenata centrifugalnih pumpi za različita energetska postrojenja i procesne sustave.

11. Literatura

- [1] Skupina autora, (1988.) Tehnička Enciklopedija- 11 Pov-Sap Zagreb: Leksikografski Zavod "Miroslav Krleža"
- [2] <http://hfoplant.blogspot.com/2011/05/centrifugal-pump-15.html>; (02.10.2011.)
- [3] http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_teh_term_energ/katedra3/; (15.09.2011.)
- [4] http://www.fsb.unizg.hr/newsupload/23_05_2007_7072_ot_6_poglavlje.pdf; (16.09.2011.)
- [5] Grbac, B. "Osvajanje ciljnog tržišta", Ekonomski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka 2005.
- [6] Britisch Standard, BS EN 733: 1995 End-suction centrifugal pumps, rating with 10 bar with bearing – Nominal duty point, main dimensions, designation system
- [7] Praktičar 3, Strojarstvo 2, Školska knjiga Zagreb, 1.izdanje, 1973.
- [8] <https://zortrax.com>, (31.05.2022.)
- [9] <https://zortrax.com/software/>, (31.05.2022.)

Korištenje vizualizacije kao dodatne dimenzije u 3D MCAD programskim alatima

Using visualization as an additional dimension in 3D MCAD software tools

S. Švoger^{1*}, A. Čikić¹, B. Hršak^{1,2}, Z. Busija¹, K. Klobučarić¹

¹Sveučilište Sjever, 104. Brigade 3, 42000 Varaždin

²Veleučilište u Bjelovaru, Trg E. Kvaternika 4, 43000 Bjelovar

*Autor za korespondenciju. E-mail: sinisa.svoger@unin.hr

Sažetak:

Prikazan je postupak korištenja slika i tekstura na 3D modelu tako da se uz postojeće 3 fizičke dimenzije dobije dodatna dimenzija u obliku vizualizacije (3,5D oblikovanje). U prvom primjeru korištena je kocka – stvarna tvorevina čija je površina snimljena termografskom kamerom. Nastali termogram je iskorišten kao slika – tekstura na 3D modelu koji je izrađeni u 3D MCAD programskom alatu Solidworks. Za postavljanje slike na površinu 3D modela korišten je SolidWorks – alata za Naljepljivanje slika (Decals). Nakon toga izvršen je 3D ispis u boji pomoću PolyJet aditivne tehnologije (AM). Tvorevina dobivena takvim AM postupkom zadržava svoje fizičke gabarite (dimenzije) uz dodatnu dimenziju u obliku termograma na površini kocke. U drugom primjeru korišten je 3D model sa slikama silnica unutrašnjih sila – naprezanja u obliku različitih boja. Navedene slike i 3D model su iskorišteni za 3D ispis AM PolyJet tehnologijom. Dobivena tvorevina prikazuje fizičke gabarite modela u mjerilu M 1:1 s prikazom slike naprezanja. Najveće naprezanje se nalazi na području najveće promjene geometrija tijela što se jasno vidi kao crvena boja u odnosu na ostale dijelove tvorevine. Ovakav način prikaza 3D modela uz dodatne slike – teksture na površini modela naziva se 3,5 D oblikovanje a kombinira se različitim AM tehnologijama.

Ključne riječi: 3,5D oblikovanje, Vizualizacija, Aditivne tehnologije, PolyJet, 3D model

Abstract

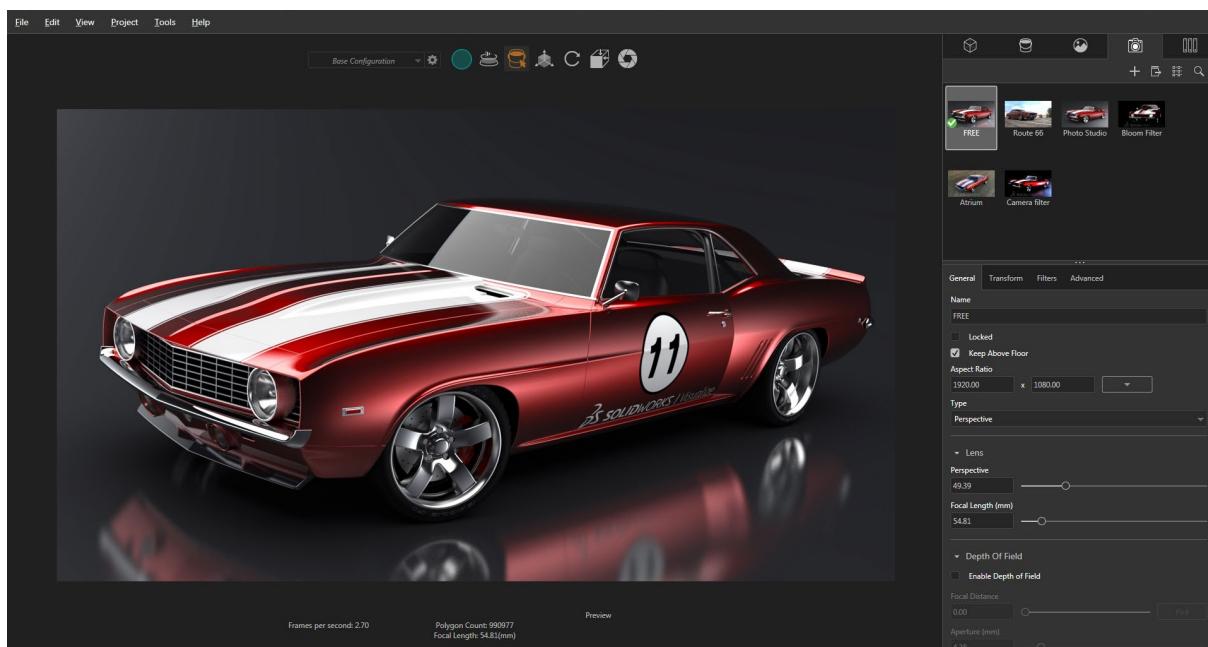
The procedure of using images and textures on a 3D model is presented in such a way that in to the existing 3 physical dimensions, an additional dimension is obtained in the form of visualization (3.5D modeling). In the first example, a cube was used – an actual creation whose surface was recorded with a thermographic camera. The thermogram was used as an image – texture on a 3D model created in the 3D MCAD SolidWorks software tool. SolidWorks – a tool for pasting images (Decals) was used to place the image on the surface of the 3D model. After that, 3D color printing was performed using PolyJet additive technology (AM). The creation obtained by such an AM process retains its physical

dimensions with an additional dimension in the form of thermograms on the surface of the cube. In the second example, a 3D model was used with images of the forces of internal forces – stresses in the form of different colors. These images and 3D model were used for 3D printing with AM PolyJet technology also. The greatest stress is in the area of the greatest change in the geometry of the body which is clearly seen as the red color compared to other parts of the model. This way of displaying 3D models with additional images – textures on the surface of the model is called 3.5D modeling and is combined with various AM technologies.

Key words: 3,5D modeling, Visualization, Additive technologies, PolyJet, 3D model

1. Uvod

3D oblikovanje (modeliranje) je skup procesa kojima se kreira virtualni 3D model stvarnog fizičkog tijela. Tri dimenzije koje opisuju model često nisu dovoljne za vizualizaciju i prezentaciju proizvoda zahtjevnom modernom tržištu koje traži nove i inovativne proizvode s minimalnim vremenom razvoja. Današnji moderni 3D MCAD alati (sustavi) koriste alate za fotorealističan prikaz (*render*) 3D modela. Jedan od specijaliziranih alata za prikazivanje fotorealističnih slika je SolidWorks – Alat za vizualizaciju (*Visualize*, slika 1) koji se naslanja i kvalitativno nadopunjuje SolidWorks – pakete (*Standard, Profesional, Premium*).



Slika 1. SolidWorks – Alat za vizualizaciju (*Visualize*) [1]

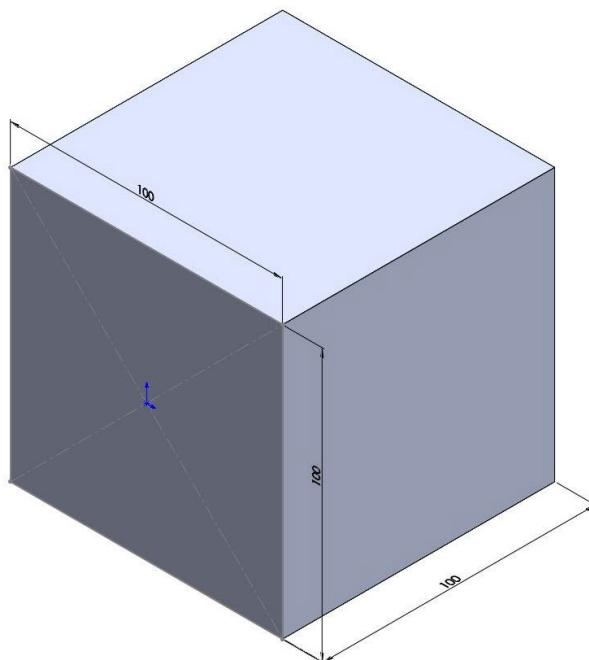
Takvi specijalizirani alati izrazito povećavaju cijenu paketa pa se zato koristi alat unutar SolidWorks paketa (samo *Professional* i *Premium*): SolidWorks – Alat za renderiranje (*Render tools*).

Osim fotorealističnog prikazivanja modela mogu se prikazati i dodatne informacije o svojstvima modela: toplinsko stanje modela, unutarnje naprezanje kod vanjskog opterećenja modela ili vanjsko strujanje fluida oko modela i sl. Na taj način površina 3D model uz pomoć vizualizacije ima dodatnu dimenziju. Ovakav način oblikovanja može se nazvati 3,5D oblikovanje a zajedno sa aditivnim tehnologijama može biti veoma učinkovito za prikazivanje bitnih svojstva budućeg proizvoda.

2. Izrada 3,5D modela (primjer 1)

2.1 Izrada 3D modela kocke

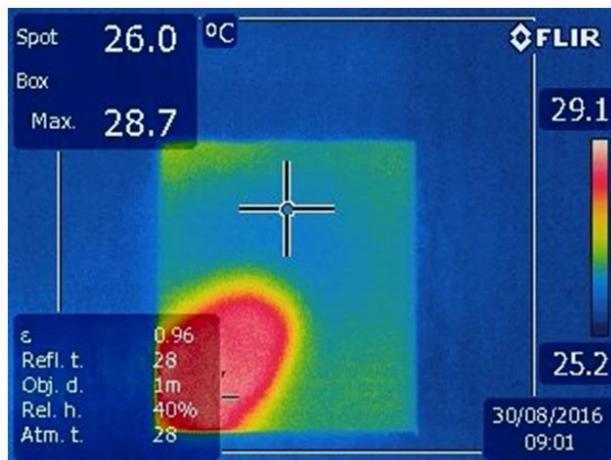
Prema stvarnim dimenzijama kocke izrađen je 3D model pomoću 3D MCAD programske alate Solidworks. Na slici 2 nalazi se 3D model kocke sa svim potrebnim dimenzijama.



Slika 2. 3D model kocke

2.2 Izrada termograma

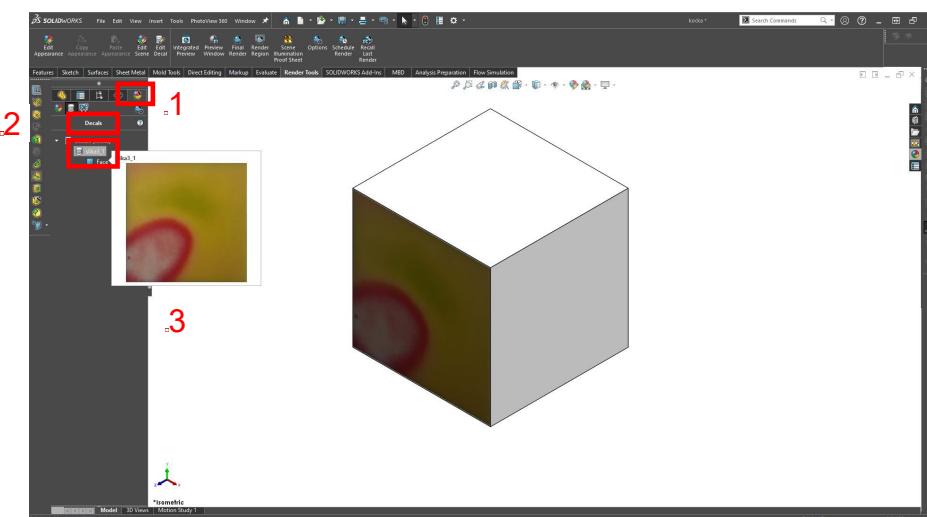
Za izradu koristila se FLIR E60 termografska kamera [2] koja opaža zračenje u infracrvenom pojasu elektromagnetskog spektra i stvara snimke tog zračenja u obliku termograma. Na tako dobivenom termogramu (slici), na površini kocke se mogu primjetiti temperaturne promjene uslijed zagrijavanja jednog dijela kocke (slika 3). Dobiveni termogram se dodatno analizira i prema potrebi mijenja se prikaz boja ili parametara termografskog snimanja. U ovom slučaju korišten je spektar željezno-sive boje (*Ironbow*). Sve analize i izmjene su određene pomoću programske alate FLIR tools +, a završni termogram (slika) koji će biti korišten na 3D modelu nalazi se na slici 4.



Slika 3. Termogram kocke

2.3 Izrada 3,5D modela

Termogram se nakon grafičke obrade (izrezivanje slike, izmjena kontrasta i osvjetljenja slike) u programskom alatu Photoshop koristi kao slika na površini 3D modela unutar programskog alata SolidWorks. Iz izbornika za Vizualizaciju (*Display manager*) korišten je alat za Naljepljivanje slika (*Decals*) te je izabrana slika na odgovarajućoj površini modela koja predstavlja termogram kocke. Na slici 4. prikazan je postupak izrade 3,5D modela od 1 do 3.



Slika 4. 3,5D model

3. 3D tiskanje u boji pomoću PolyJet aditivne tehnologije

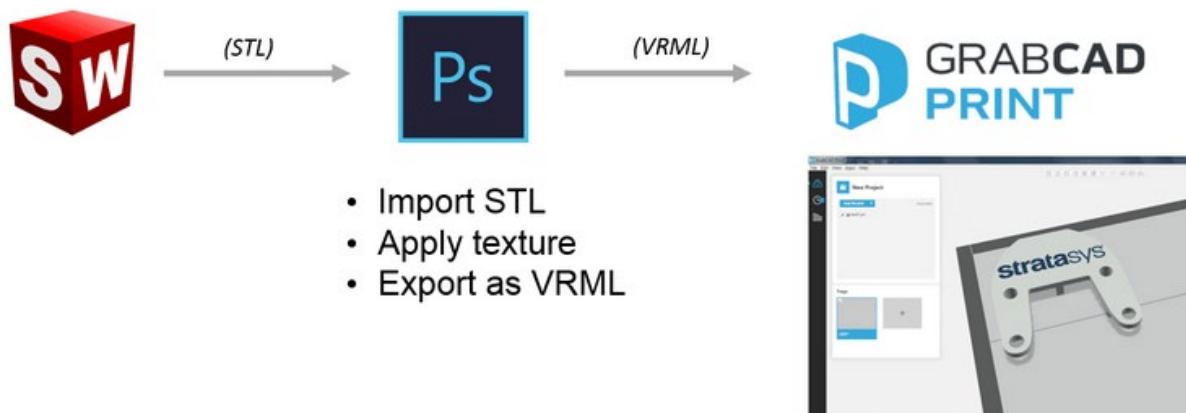
Suvremeni zahtjevi tržišta postavljaju sve oštire zahtjeve na procese razvoja i proizvodnje. Osim zahtjeva za većom kvalitetom proizvoda i njegovoj fleksibilnosti, istovremeno se zahtjeva sniženje troškova te skraćenje vremena razvoja i proizvodnje [3]. Zbog potrebe za brzinom i kvalitetom 3D tiskanja korišten je uređaj J750 firme Stratasys (slika 5.) koji radi na principu PolyJet postupka.



Slika 5. Stratasys J750 [4]

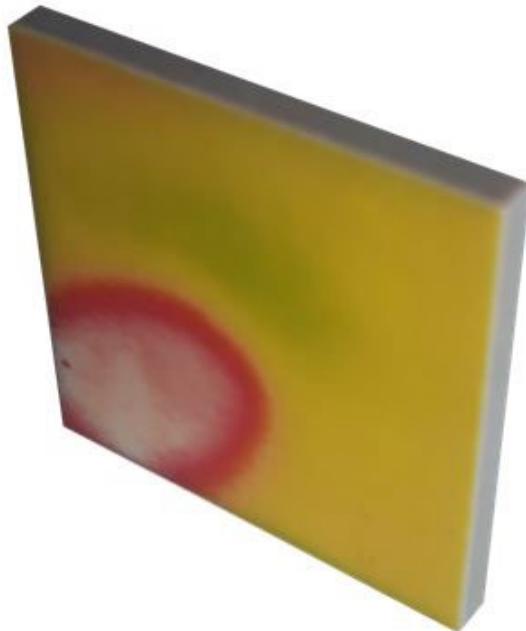
Prednost PolyJet postupka su: visoka kvaliteta, mogućnost izrade sitnih detalja i tankih stijenki, postupak je brz i moguće je upotrijebiti različite materijale koji omogućuju različitu geometriju, mehanička svojstva i boju. Nedostatak ovog postupka je visoka cijena uređaja. Za 3D tiskanje (svih modela unutar članka) korišten je materijal Vero [7].

Prije 3D tiskanja izvršena je priprema 3D modela jer izravno tiskanje u boji iz SolidWorks-a (za ovaj primjer) nije moguće provesti. Slika 6. prikazuje postupak dorade 3D modela (Photoshop) i pripreme (GrabCAD print) za 3D tiskanje u boji.



Slika 6. Postupak dorade 3D modela i priprema za 3D tiskanje u boji [5]

Slika 7 prikazuje tvorevinu izrađenu PolyJet postupkom. Zbog smanjenja vremena izrade nije izvršeno tiskanje cijelog modela već dijela površine koji predstavlja termogram. Dodatno podešavanje teksture i boja moguće je izvršiti u programu za pripremu 3D tiskanja.

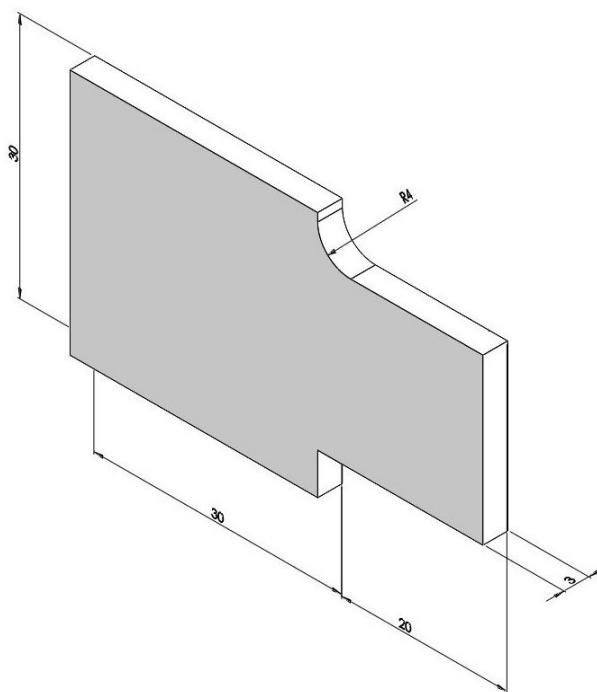


Slika 7. Stvarna tvorevina izrađena PolyJet postupkom

4. Izrada 3,5D modela (primjer 2)

4.1 Izrada 3D modela

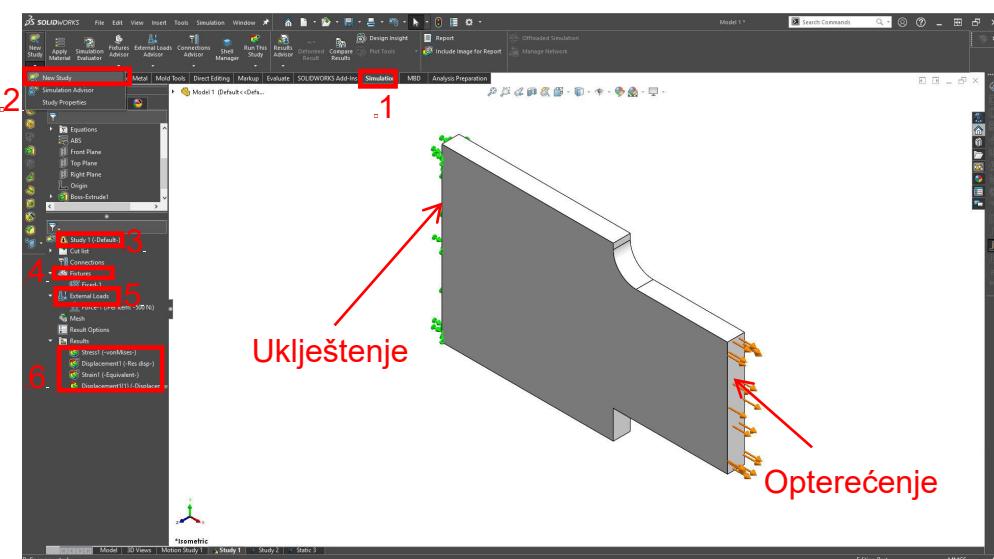
Izrađen je 3D model pomoću 3D MCAD programske alatove Solidworks. Na slici 8. prikazan je 3D model sa svim potrebnim dimenzijama.



Slika 8. 3D model

4.2 Analiza unutarnjih naprezanja modela

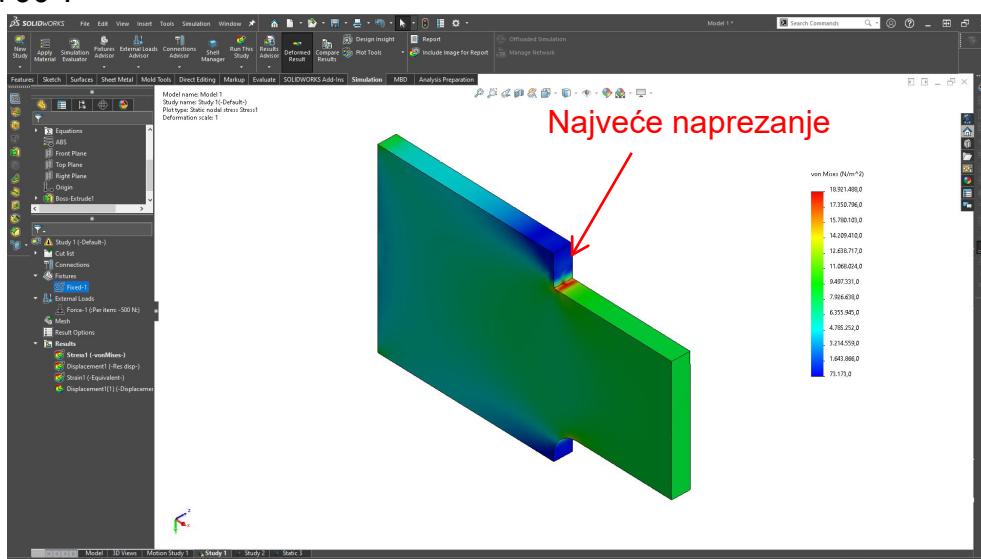
Korištenjem kartice **Simulacija (Simulation)** odabran je alat **Nova studija (New Study)**. Izborom alata za izradu Statičkih simulacija (**Static**) utvrđena je Površina uklještenja (**Fixtures**) a na suprotnoj površini definirana su Vanjska opterećenja (**External Loads**) na vlak. Mreža modela (**Mesh**) je odabrana prema zadanim (**default**) parametrima modela koji su određeni prema dimenzijama modela. Na slici 9. prikazan je postupak izrade simulacije od 1 do 6.



Slika 9. Izrada simulacije po koracima

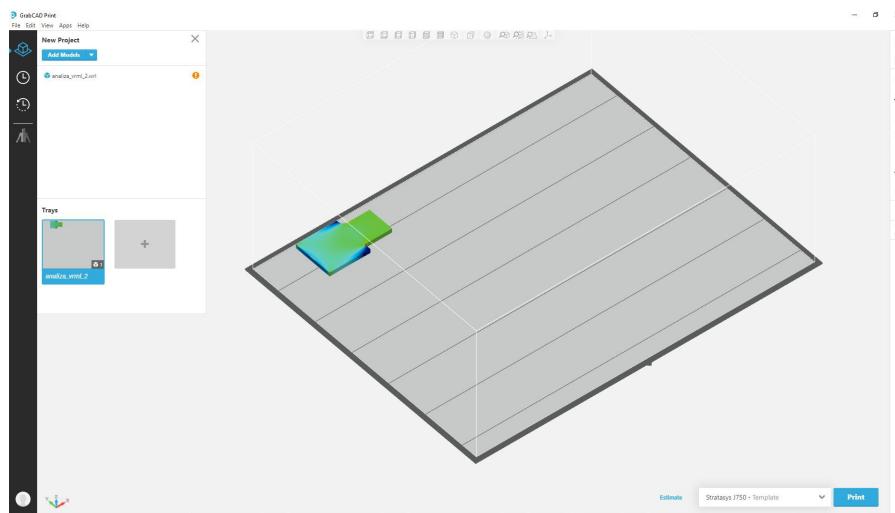
4.3 Izrada 3,5D modela

Na slici 10. prikazani su rezultati simulacije u obliku spektra boja raspoređenih po površini modela. Prikazani spektar boja predstavljaju unutarna naprezanja materijala kao reakciju na vanjsko opterećenje. Najveće naprezanje se pojavljuje na geometrijskom prijelazu 3D modela od 90°.



Slika 10. Prikaz naprezanja

Za razliku od prvog primjera gdje je izvršena dodatna grafička obrada prije pripreme za 3D tiskanje u drugom primjeru spremljen je 3D model kao VRLM [6] (u SolidWorksu VRLM 97) datoteku (s ekstenzijom .wrl). Takva datoteka je čitljiva u GrbaCAD Print programskom alatu (slika 11) koji se koristi za pripremu 3D tiskanja u boji.

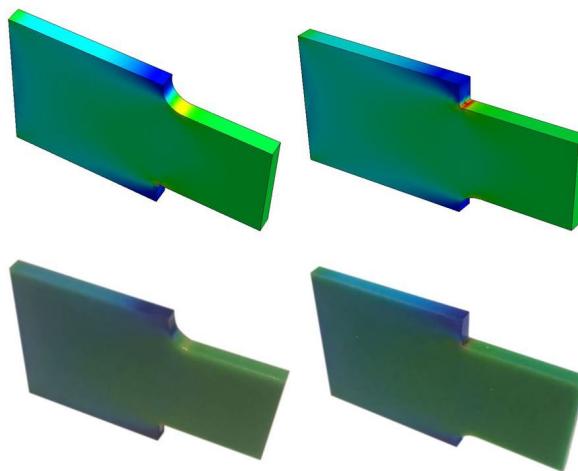


Slika 11. Priprema za 3D tiskanje u boji unutar GrabCAD Print-a

Ovo je samo jedna od primjera kako izvršiti pripremu modela za 3D tiskanje u boji. Složenost te problemi koji se javljaju prilikom 3D tiskanja tehnički su veoma zahtjevni i potrebno je savladavanje niza vještina i znanja za uspješnu i učinkovitu realizaciju.

5. 3D tiskanje u boji pomoću PolyJet aditivne tehnologije

Za 3D tisk u boji korišten je uređaj (printer) Stratasys J750 (slika 5.) koji radi na principu Polyjet postupka. Na slici 12. prikazan je usporedni prikaz stvarne tvorevine i 3D modela.

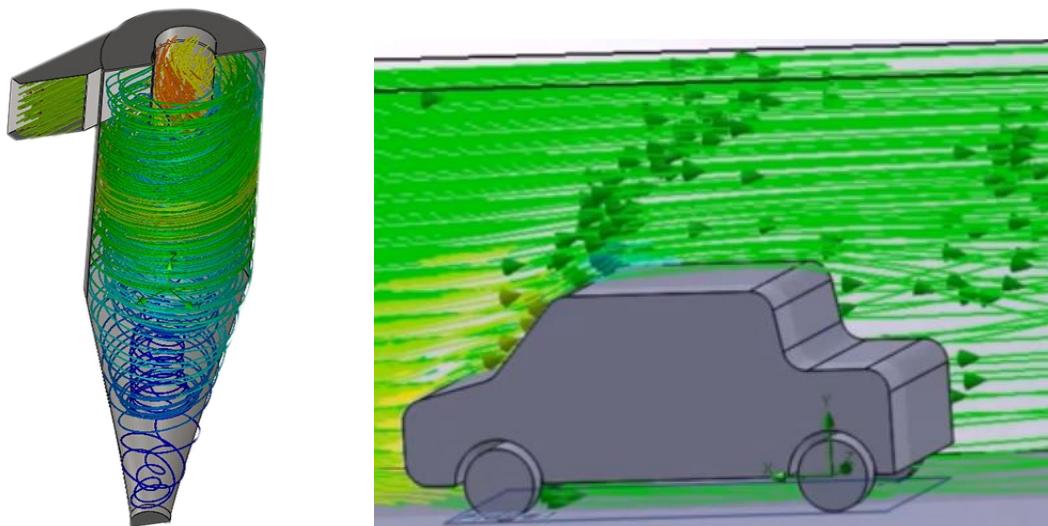


Slika 12. Usporedba 3D modela s tvorevinama izrađenim PolyJet postupak

Na slici 12. uočavaju se manja odstupanja između boja na 3D modelima i bojama na tvorevinama. Takva odstupanja su nastala zbog nešto lošije kvalitete same slike te zbog završnog podešavanja boja unutar alata za pripremu 3D tiska u boji. Za dodatnu obradu slike korišten je alat Adobe Photoshop CC 2015.

6. Ostali primjeri

Na slici 13 nalaze se potencijalni (idejni) primjeri 3D modela koji mogu poslužiti za izradu i 3D tiskanje u boji različitih prototipa potrebnih za prezentacijske, edukacijske ili druge svrhe. Prikaz presjeka ciklona sa strujnicama zraka koje predstavljaju putanje čestica zraka kao i prikaz strujnica zraka van modela loše aerodinamički oblikovane površine samo su jedan od mnogobrojnih primjera.



Slika 13. Prikaz 3D modela ciklona i aerodinamički loše oblikovane površine

7. Zaključak

Potreba za brzom izradom prototipa i proizvoda stvorila je nove tehnologije koje se zajedno nadopunjaju i stvaraju nove mogućnosti realnog prikaza proizvoda s dodatnim informacijama u dodatne dimenzije (3,5D). Takav proizvod omogućava bolju komunikaciju između konstruktora (dizajnera) i kupaca jer nudi visokokvalitetne 3,5D modele koje mogu biti tiskani pomoću različitih aditivnih tehnologija. Smanjenjem cijena i povećavanjem dostupnosti različitih uređaja za 3D tiskanje u boji smanjilo je vrijeme razvoja novih proizvoda

Izrada prototipa je najvažniji dio procesa oblikovanje proizvoda a jedan od problema koji nastaje je nedostatak opreme i kadrova (nedostatak obrazove radne snage i menadžmenta s vizijom). Ako bi eliminirali navedene probleme glavni nedostaci primjene 3,5 D modela su ograničenja u slabijem poznavanju različitih tehnologija i nedostatku ideja o primjeni tehnologija koje su nevedene u članku.

8. Literatura

- [1] <https://www.strojotehnika.hr/visualize-beta-2018-je-ovdje/> (15. 6. 2022.)
- [2] <https://www.flir.eu/support/products/e60/#Documents> (15. 6. 2022.)
- [3] Šercer, Mladen; Godec, Damir; Pilipović, Ana. Aditivne tehnlogije za mala i srednja poduzeća. Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2014
- [4] <https://www.stratasys.com/en/resources/blog/i750-3d-printer-introduction/> (15. 6. 2022.)
- [5] <https://proto3000.com/resources/faqs/how-to-3d-print-in-colour-from-solidworks/> (15. 6. 2022.)
- [6] <https://www.techopedia.com/definition/4808/virtual-reality-modeling-language-vrml> (15. 6. 2022.)
- [7] <https://www.stratasys.com/en/materials/materials-catalog/polyjet-materials/vero/> (8. 9. 2022.)

3D oblikovanje kalupa za niskotlačno lijevanje Hot-melt tehnologijom

3D mold design for low pressure molding with Hot-melt technology

S. Švoger^{1*}, A. Čikić¹, M. Filipović¹, B. Hršak^{1,2}, Z. Busija¹

¹Sveučilište Sjever, 104. Brigade 3, 42000 Varaždin

²Veleučilište u Bjelovaru, Trg E. Kvaternika 4, 43000 Bjelovar

*Autor za korespondenciju. E-mail: sinisa.svoger@unin.hr

Sažetak:

Prikazan je postupak izrade kalupa za niskotlačno lijevanje, hot-melt tehnologijom. U 3D MCAD programskom alatu SolidWorks izrađeni su 3D modeli dijelova kalupa, 3D model USB prijenosne memorije te 3D model tiskane pločice (PCB). Za izradu kalupa korišten je programski modul SolidWorks – Alat za izradu kalupa (Mold tools). U programskom modulu SolidWorks – Alat za renderiranje (Render tools) izrađeni je realan prikaz (render) kalupa. Opisan je tehnologija niskotlačnog lijevanja (Hot – melt) s prikazanim postupkom lijevanja i opisom potrebne opreme – alata. Navedene su prednosti i nedostaci navedene tehnologije te su predložena poboljšanja s ciljem povećanje proizvodnosti i kvalitete odljevka – prijenosne USB memorije.

Ključne riječi: 3D oblikovanje kalupa, niskotlačno lijevanje, Solidworks - Alat za izradu kalupa, Hot-melt, 3D model

Abstract

This article presents the process of making a mold for low-pressure casting with hot-melt technology. In the 3D MCAD SolidWorks software tool, 3D models of mold parts, 3D model of USB flash drive and 3D model of printed circuit board (PCB) were created. In the software module SolidWorks – Render tools, a realistic render of the mold was created. The technology of low – pressure molding (Hot – melt) is described with the molding process and a description of the necessary equipment – tools. The advantages and disadvantages of this technology are listed, and improvements are proposed in order to increase the productivity and quality of the casting part – portable USB memory.

Key words: 3D mold desing, Low pressure molding, SolidWorks Mold tools, Hot – melt, 3D model

1. Uvod

Elektroničke komponente moraju biti zaštićene od vlage, izlaganja koroziji i visokim temperaturama. Standardne proizvodne tehnologije s lijepljenjem i gravitacijskim lijevanjem (slika 1.) zahtijevaju određeno vrijeme stvrđnjavanja i imaju ograničenja u dizajnu kućišta zbog potrebe popunjavanja masom. U usporedbi s navedenim tehnologijama niskotlačno lijevanje, Hot – melt (slika 2.) značajno skraćuje vrijeme proizvodnje.



Slika 1. Proces zalijevanja elektronike zaštitnom masom [1]



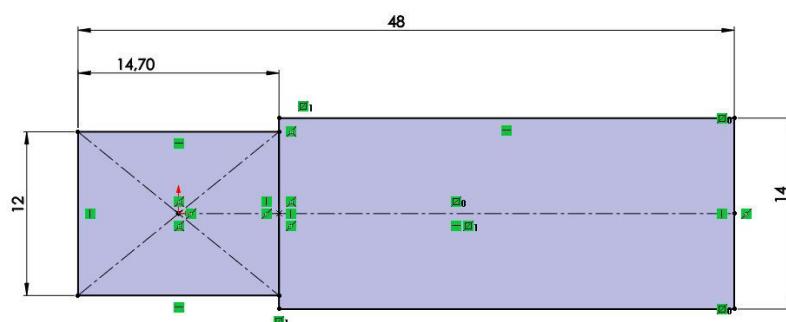
Slika 2. Najjednostavniji uređaj (pištolj) za korištenje Hot – melt tehnologije [2]

Porastom primjene elektroničkih komponenti i uređaja raste potreba za proizvodnjom i konstrukcijom kalupa prilagođenim niskotlačnom lijevanju Hot – melt tehnologijom. 3D oblikovanje ima veliku važnost u konstrukciji kalupa i alata. Postoje razni programski alati (programske sustave) u kojima je moguće izraditi 3D model kalupa. Neki od tih 3D MCAD (Mechanical Computer Aided Design) [3] programskih alata su CREO kompanije PTC te CATIA i SolidWorks kompanije Dassault System. SolidWorks je CAD sustav srednje opsežnosti, povoljni i primjenjivi u manjim proizvodnim tvrtkama [4].

2. Izrada 3D modela i sklopa kalupa za niskotlačno lijevanje

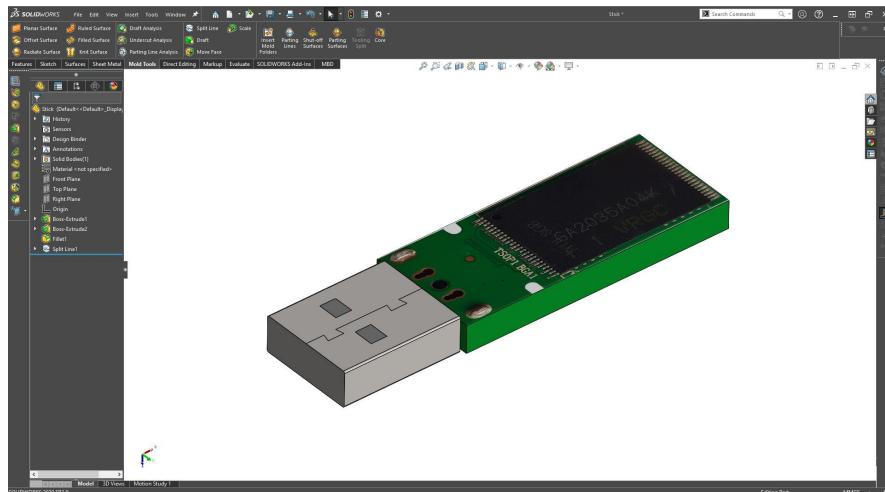
2.1. Izrada 3D modela tiskane pločice s USB konektorom

Izrada 3D modela započinje izradom skice (slika 3.) korištenjem SolidWorks – Alata za izradu skica (*Sketch*).



Slika 3. Skica tiskane pločice s konektorom

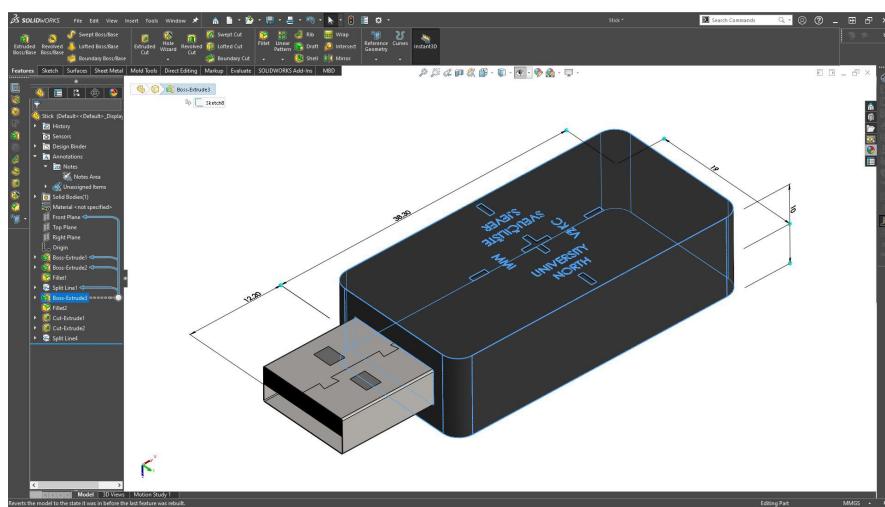
3D model je izrađeni korištenjem Alata za izduživanje (*Extrude*) koji se nalazi u kartici (*tab*) Značajke (*Features*). Na slici 4. prikazan je 3D model s realnim prikazom površina izrađenim korištenjem Alata za izradu naljepnica (*Decals*).



Slika 4. 3D model tiskane pločice s konektorma

2.2. Izrada 3D modela USB prijenosne memorije

Nakon izrade 3D modela tiskane pločice i konektora izrađen je 3D model USB prijenosne memorije. Razmatrano je nekoliko različitih dizajna i dimenzija. Na slici 5. prikazan je model V 1.0 sa svim potrebnim dimenzijama.

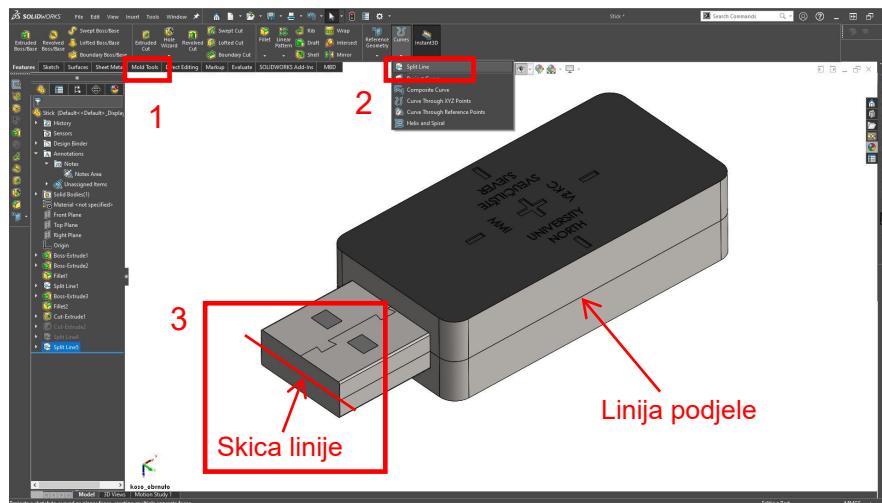


Slika 5. 3D model USB prijenosne memorije V 1.0

2.2. Izrada 3D modela kalupa

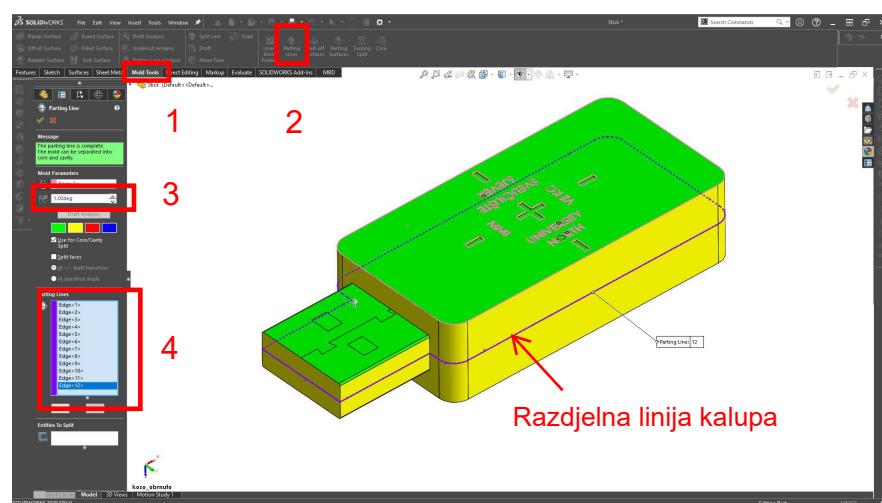
Nakon izrade 3D modela USB prijenosne memorije potrebno je izraditi pomoću alata Linija podjele (*Split line*) liniju podjele (kartica Značajke) koja se definira prije konstruiranja kalupa na samom 3D modelu USB prijenosne memorije. Zbog simetričnosti 3D modela

kalup je razdijeljen po sredini 3D modela pomoću skice i izrađene linije koja se kasnije koristi za izradu linije podjele (slika 6). Navedena linija 3d modela služi za izradu razdjelne linije (*parting line*) kalupa.



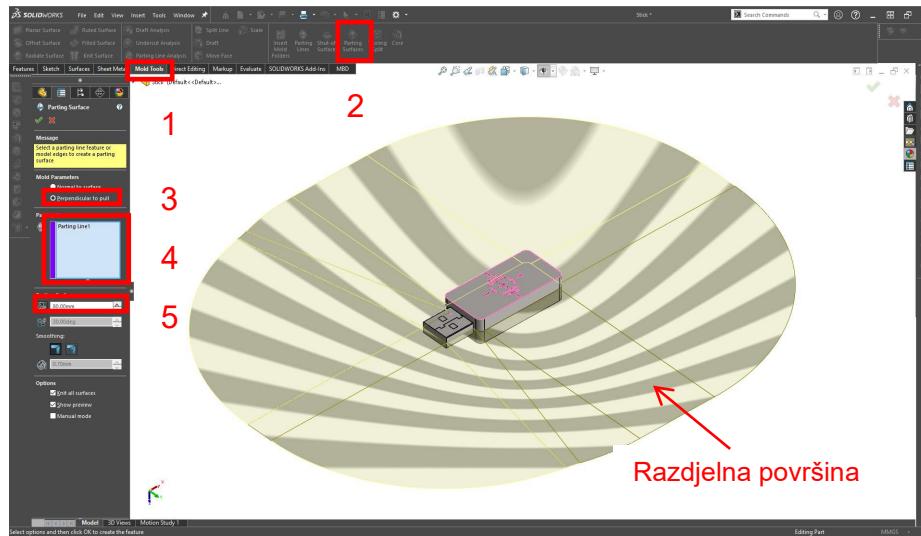
Slika 6. Izrada linije podjele 3D modela

Pokretanjem alata Razdjelna linija (*Parting lines*) označena je neka od horizontalnih površina (*Face <1>*) 3D modela te su označeni bridovi (linije) prethodne linije podjele 3D modela. Na slici 7. prikazan je postupak (od 1 do 4) izrade razdjelne linije.



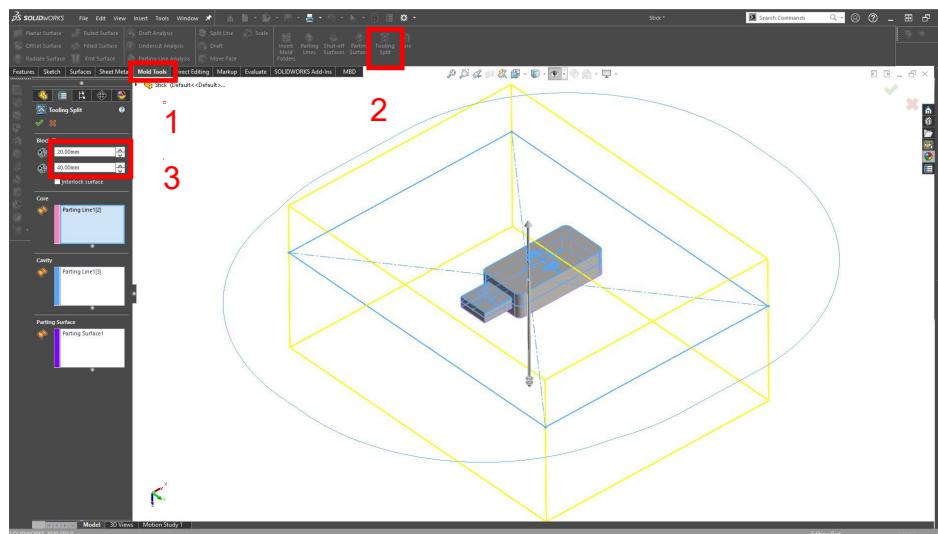
Slika 7. Izrada razdjelne linije kalupa

Nakon definirane razdjelne linije utvrđena je razdjelna površina (*parting surface*) pomoću alata Razdjelna površina unutar kartice Alati za izradu kalupa. Razdjelna površina mora biti veća od površine kalupa i u ovom slučaju iznosi 80 mm. Na slici 8. prikazan je postupak izrade razdjelne površine kalupa od 1 do 5.



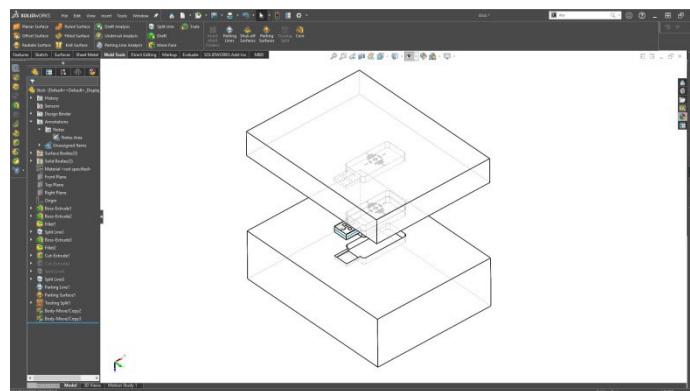
Slika 8. Izrada razdjelne površine kalupa

Razdjelna površina je „nevidljiva“ zbog lakše izrade kalupa. Sljedećim korakom izrađena je skica na ravnini (*plane*) koja prolazi kroz razdjelnu liniju kalupa. Dimenzije skice (130 mm x 100 mm) predstavljaju unaprijed predviđene vanjske dimenzije kalupa koje su određene prema dostupnosti materijala za izradu kalupa. U idućem koraku potrebno je koristiti alata Razdvajanje alata (*Tooling split*) u kartici Alati iza izradu kalupa. Navedeni alat prepoznae razdjelnu površinu a potrebno je još unesti visinu gornjeg kalupa od 20 mm i donjeg kalupa od 40 mm. Na slici 9. prikazan je postupak izrade gornjeg i donjeg kalupa od 1 do 3.



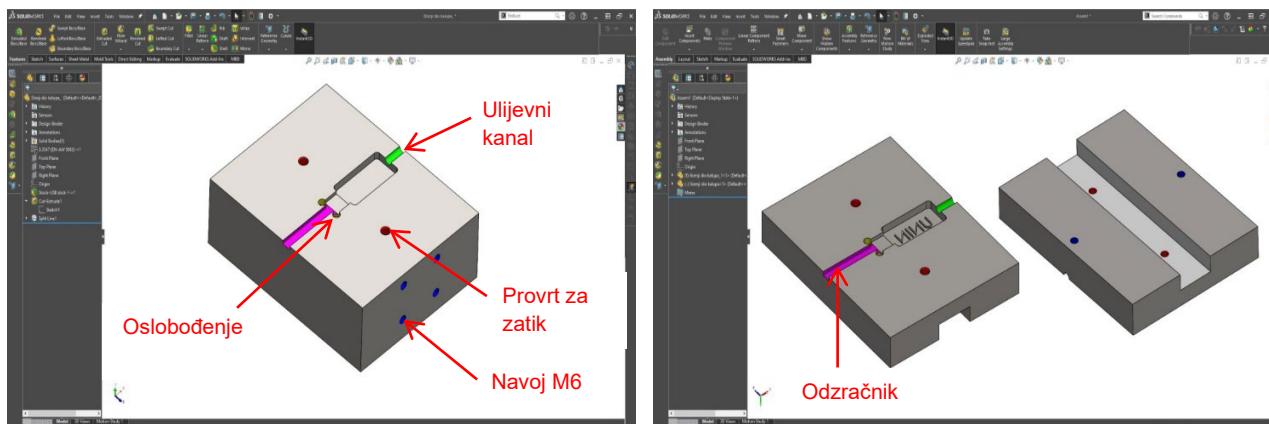
Slika 9. Izrada kalupa pomoću alata Razdvajanje alata

Na slici 10. nalazi se detaljan izgled (s unutarnjim konturama) gornjeg i donjeg dijela kalupa nakon korištenje alata Razdvajanje kalupa i alata Pomicanje tijela (*Move body*).



Slika 10. Izrada kalupa pomoću alata Razdvajanje alata

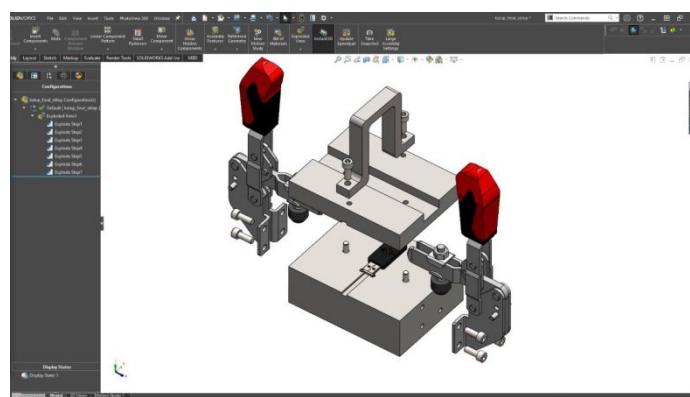
Pomoću osnovnih alata iz kartice Značajke definiran je završni oblik gornjeg i donjeg dijela kalupa. Na slici 11. i 12. prikazan je gornji i donji dio kalupa sa značajkama u boji.



Slika 11. Donji dio kalupa

Slika 12. Gornji dio kalupa

Na slici 13. prikazan je 3D sklop kalupa u rastavljenom (*exploded*) stanju.



Slika 13. 3D sklop kalupa

3. Fotorealističan prikaz 3D sklopa kalupa

Fotorealističan (*render*) prikaz 3D sklopa kalupa je odrađeni u programskom alatu KeyShot 9.0 kojeg karakterizira jednostavnost i brzina korištenja. Na slici 14. prikazan je i 3d sklop kalupa a na slici 15. 3D model USB prijenosne memorije.



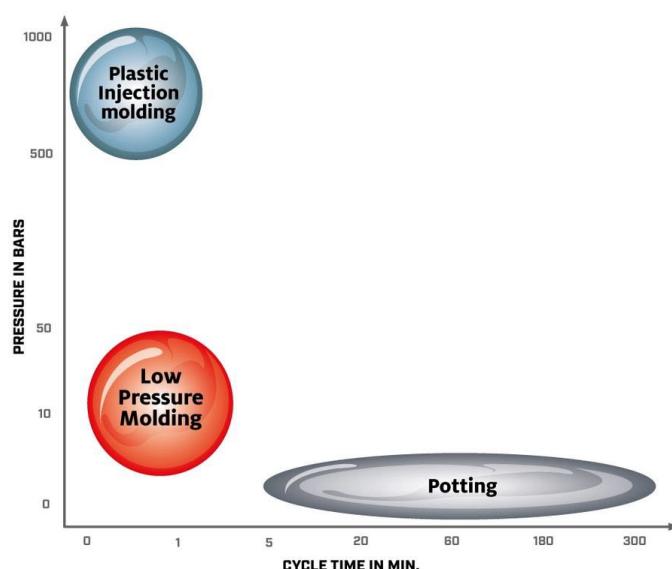
Slika 14. Fotorealističan prikaz 3D sklopa kalupa



Slika 15. Fotorealističan prikaz USB memorijске kartice V1.0

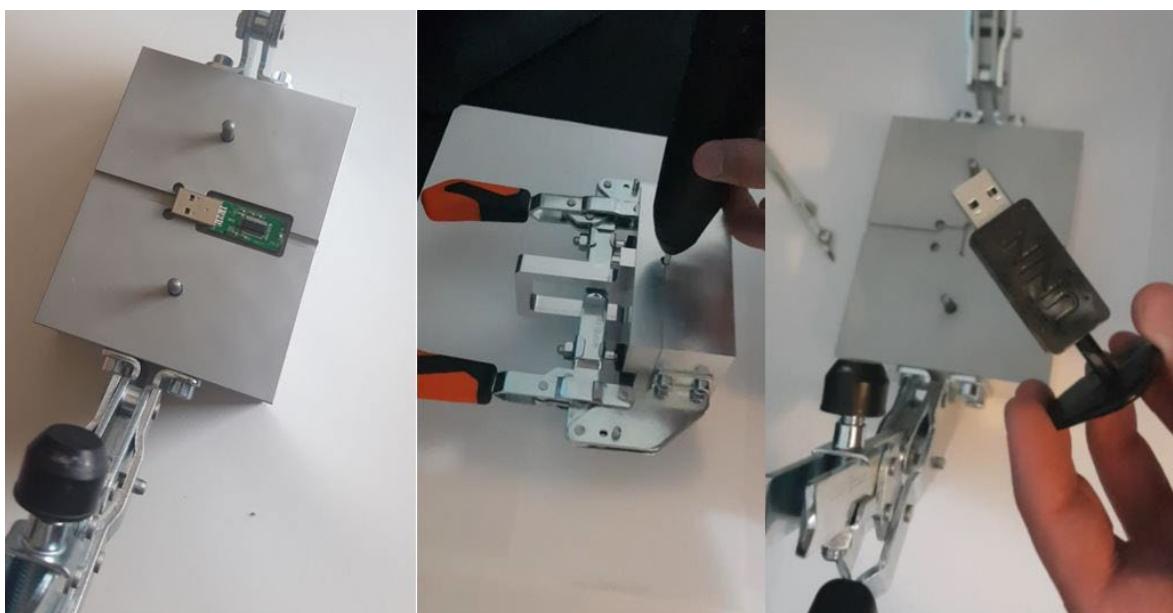
4. Niskotlačno lijevanje Hot – melt tehnologijom

Hot melt je tehnologija niskotlačnog lijevanja polimera. U odnosu na tehnologiju injekcijskog prešanja prednost je niža cijena kalupa i uređaja za lijevanje. Prednost u odnosu na tehnologiju gravitacijskog lijevanja (slika 1.) su znatno veće brzine lijevanja. Usporedba tehnologija prema brzini lijevanja i tlaku lijevanja nalazi se na slici 16.



Slika 16. Usporedba tehnologija prema tlaku i brzini lijevanja [5]

Prema slici 16. Znatno su niži tlakovi lijevanja u odnosu na injekcijsko prešanje ali i veće brzine lijevanja (*cycle time in min.*) u odnosu na gravitacijsko lijevanje (*potting*). Nedostatak je viša cijena materijala za lijevanje u odnosu na materijal namijenjen injekcijskom prešanju. Proces Hot – melt lijevanja sastoji se od postavljanja komponente u kalup, zatvaranja kalupa i ulijevanje rastaljenog polimera pomoću uređaja (pištolja). Vrijeme stvrdnjavanja taljevine u ovom primjeru iznosi 10 do 15 s. Nakon "spajanja" taljevine s tiskanom pločicom i konektorom, kalup se otvara te se proces nastavlja. Na slici 17. prikazan je proces Hot – melt lijevanja u kalupu te završni proizvod – prijenosna USB memorija V 1.1.



Slika 17. Proces Hot – melt lijevanja i završni proizvod, USB prijenosna memorija V1.1

Lijevanje ovom metodom je provedeno pomoću uređaja (pištolja) OverTec 820 – 15 [6] (slika 18.) s radnim karakteristikama: temperatura taljenja od 155 do 220 °C (temp je bila podešena na 180 °C) ; snaga 300 W i promjer korištenog materijala za lijevanje 15 mm.



Slika 18. Pištolj OverTec 820 – 15 [6]

Materijal kućišta izrađenog USB sticka je Power OverTech 5 FR [7] (slika 19.) u štapiću (*stick*).



Slika 19. Materijal za lijevanje u štapiću promjera 15 mm [7]

5. Poboljšanje procesa proizvodnosti niskotlačnog lijevanja

Poboljšanje procesa ide u dva smjera: poboljšanje konstrukcije kalupa (bolje oblikovanje uljevnog kanala i dodavanje kanala za hlađenje) i nabava kvalitetnije opreme (uređaja) s boljom kontrolom temperature i brzine lijevanja.

Na slici 20. nalazi se pištolj ALPHA 100 proizvođača Aston sa svim potrebnim karakteristikama da zadovolji male proizvodne serije.



Slika 20. Pištolj ALPHA 100 [8]

6. Zaključak

Izrada kalupa za nisko tlačno lijevanje (Hot – melt tehnologijom) uz pomoć SolidWorks – Alata za izradu kalupa (*Mold tools*) je vrlo efikasna i brza metoda koja ostvaruje puno lakši pristup rješavanju problema konstrukcije kalupa za lijevanje. Primjeri korištenje alata koji su opisani i prikazani mogu biti smjernica u profesionalnu konstrukciju i primjenu kalupa za lijevanje. Tehnologija Hot-melt lijevanja uz pomoć opisane opreme je sadržajan pristup i oblik za prototipno lijevanje i maloserijsku proizvodnju u bilo kojoj industriji gdje su naglašene potrebe za zaštitom elektronike ili mehaničkih dijelova od vanjskih atmosferskih utjecaja i trošenja.

7. Literatura

- [1] <https://cht-silicones.com/products/encapsulants/general-silicone-encapsulant>
(15. 6. 2022.)
- [2] <https://www.amazon.com/DoWin-E245073-Hot-Melt-Glue/dp/B0030EY388>
(15. 6. 2022.)
- [3] https://www.globalspec.com/learnmore/industrial_engineering_software/engineering_scientific_software/mechanical_computer_aided_design_software_mcad
(15. 6. 2022.)
- [4] Kljajin, Milan; Karakašić, Mirko. Modeliranje primjenom računala. Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2012. (ISBN 978-953-6048-67-0) (2.1 Podjela CAD sustava)
- [5] <https://www.henkel-adhesives.com/hr/en/products/encapsulants/low-pressure-molding.html> (15. 6. 2022.)
- [6] <https://www.hotmelt.com/products/overtec-820-15-hot-melt-gun> (15. 6. 2022.)
- [7] <https://www.hotmelt.com/products/overtec-5-fr-low-pressure-molding-hot-melt-sticks?variant=25974904459> (9. 9. 2022.)
- [8] <https://aston.de/portfolio-items/niederdruck-spritzguss-handpistole-alpha-100/>
(15. 6. 2022.)

Proračun i usporedba pozicije kritično opterećenih vijaka prema standardu EN 1993-1-8 i CBFEM metodi nazivno zglobnog priključka

Calculation and comparison of the position of the critically loaded bolts according to the standard EN 1993-1-8 and the CBFEM method of the nominally pinned joint

M.Vilić^{1,*}, J.Marijić¹, I.Grgić¹, M.Karakašić¹, I.Opačak²

¹ Sveučilište u Slavonskom Brodu, Strojarski fakultet, Hrvatska

² Srednja škola Matije Antuna Reljkovića Slavonski Brod, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: mvilic@unisb.hr

Sažetak

Nazivno zglobni priključci su vrste spojeva koji se koriste u čeličnim konstrukcijama za prijenos normalnih i posmičnih sila. Ovakva vrsta priključaka ne prenosi momente savijanja i na taj način osigurava slobodnu rotaciju u čvorovima. Deklarirani su kao zglobovi u modelu globalne analize. Cilj ovog rada bio je utvrditi posmične i normalne sile u vijcima nazivno zglobnog priključka, uvrstiti ih u odgovarajuće formule prema standardu EN 1993-1-8, izračunati postotak iskorištenja, odrediti poziciju kritično opterećenog vijka te usporediti rezultate proračuna. Analitički proračun odrađen je u programu Autodesk Advance Steel 2022 (AS), a CBFEM u programu IDEA StatiCa 22 (IS). CBFEM metoda kombinira CM (metoda komponenti) i MKE (metoda konačnih elemenata). Usporedbom i analizom rezultata utvrdila se značajna razlika u silama u vijcima te u poziciji kritično opterećenih vijaka. Kao uzrok je utvrđeno što svaki program prepostavlja poziciju posmične sile na drugom mjestu. AS prepostavlja poziciju posmične sile blizu čvora gdje se sastaju simetrale profila, dok IS prepostavlja posmičnu силу u vijcima. Ustanovljeno je da IS daje točnije predviđanje pozicije kritičnog opterećenog vijka. Preporučeno je da se koriste identični vijci na objema nogicama L100x10 profila kako bi se izbjeglo poddimenzioniranje istih.

Ključne riječi: kritično opterećeni vijci, Autodesk Advance Steel 2022, Idea StatiCa 22, CBFEM metoda

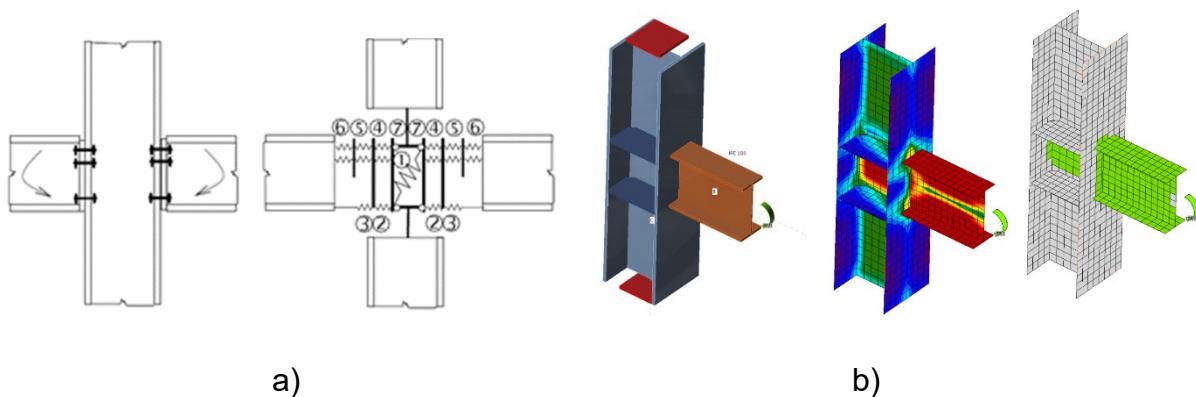
Abstract

Nominally pinned joints are types of joints used in steel structures to transmit normal and shear forces. This type of connection does not transmit bending moments and thus provides free rotation in the nodes. They are declared as joints in the global analysis model. The aim of this study was to determine the shear and normal forces in the bolts of the nominally pinned joint, to include them in the corresponding formulas according to EN 1993-1-8, to calculate the percentage utilisation, to determine the position of the critically loaded bolt and to compare the results of two calculations. The analytical calculation was performed in Autodesk Advance Steel 2022 (AS) and the CBFEM in IDEA StatiCa 22 (IS). The CBFEM method combines CM (component method) and FEM (finite element method). By comparing and analysing the results, a significant difference was found in the forces in the bolts and in the position of the critically loaded bolts. The cause was found to be that each software assumes a shear force position at a different location. AS assumes the position of the shear force near the node where the profile bisectors meet, while IS assumes the shear force in the bolts. It has been shown that IS gives a more accurate prediction of the position of the critically loaded bolt. It is recommended to use identical bolts on both legs of the L100x10 profile to avoid underdimensioning.

Key words: critically loaded bolts, Autodesk Advance Steel 2022, Idea StatiCa 22, CBFEM method

1. Uvod

Na slici 1 su prikazane metode: metoda komponenti (CM) te CBFEM metoda. CM računa vezu kao sustav međusobno povezanih elemenata – komponenti. Za svaku vrstu spoja izrađuje se odgovarajući model kako bi se odredile sile i naprezanja u svakoj komponenti. Komponente spoja modeliraju se pomoću opruga i svaka komponenta se zasebno provjerava odgovarajućim formulama. CBFEM metoda temelji se na ideji zadržavanja većine provjerenih i vrlo korisnih dijelova CM-a i zamjene slabih dijelova CM-a, poput analize naprezanja pojedinih komponenti, modeliranjem i analizom pomoću MKE [2].



Slika 1. a) CM metoda, b) CBFEM metoda (IDEA StatiCa) [2]

Za analitičke proračune korištene su formule iz norme EN 1993-1-8. Opseg analitičkih i CBFEM proračuna uključivao je provjeru posmične sile vijka, vlačne sile vijka te kombinaciju posmične i vlačne sile vijka.

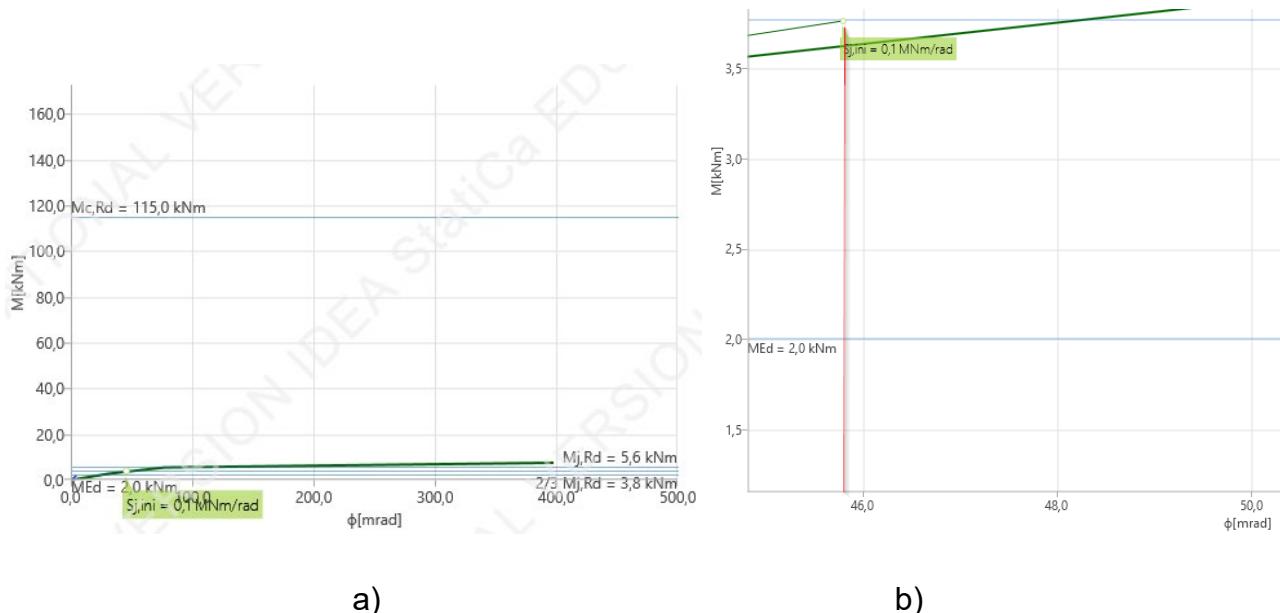
2. Razredba priključaka

Prema EN 1993-1-8 postoje tri metode globalnog proračuna: elastična, krutoplastična, elastoplastična. Za prethodno navedene metode postoje tri vrste modela priključaka: jednostavni, kontinuiran, polukontinuiran. Metoda globalnog proračuna korištena u ovom radu je elastična metoda (elastični globalni proračun). Prema elastičnoj metodi razredbe priključaka su sljedeće: nazivno zglobni (jednostavni), kruti (kontinuiran), polukruti (polukontinuiran). Rotacijska krutost je mjerilo prema kojem se određuje razredba priključaka u elastičnom globalnom proračunu. To je vrijednost dobivena formulom M_y / ϕ_y izražena u MNm/rad, gdje je M_y moment savijanja izražen u kNm, a ϕ_y kut je rotacije izražen u mrad. Slika 2 prikazuje dijagram ovisnosti $M - \phi$ dobivenog CBFEM metodom koristeći program IDEA StatiCa 22. Sa slike 2 a) određuje se početna rotacijska krutost $S_{j,ini}$ na način:

$$\frac{2/3 M_{j,Rd}}{\phi_{2/3M_j,Rd}} \text{ te se dobiva vrijednost } \frac{3,8 \text{ kNm}}{45,9 \text{ mrad}} = 0,1 \text{ MNm/rad [1].}$$

Uvjeti razredbe priključaka za elastični globalni proračun dani su u EN 1993-1-8 5.2.2.5(1). Pošto je $S_{j,ini} \leq 0,5EI_b / L_b$, gdje je $E=210$ GPa Youngov modul elastičnosti; $I_b = 2,51 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$ moment tromosti grede HEA180; $L_b=6\text{m}$ raspon grede, radi se o nazivno

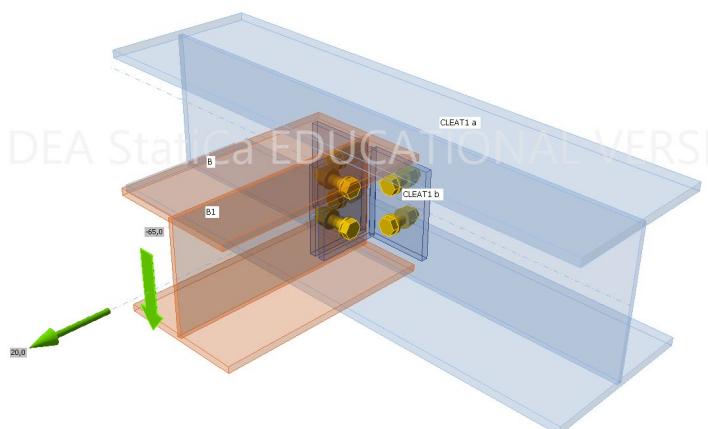
zglobnom priključku te se u elastičnom globalnom proračunu zadaje na način da prenosi samo unutarnje sile, ne i momente savijanja ili torzije [1] .



Slika 2. a) dijagram $M - \phi$, b) određivanje $S_{j,ini}$ [3]

3. Opis problema

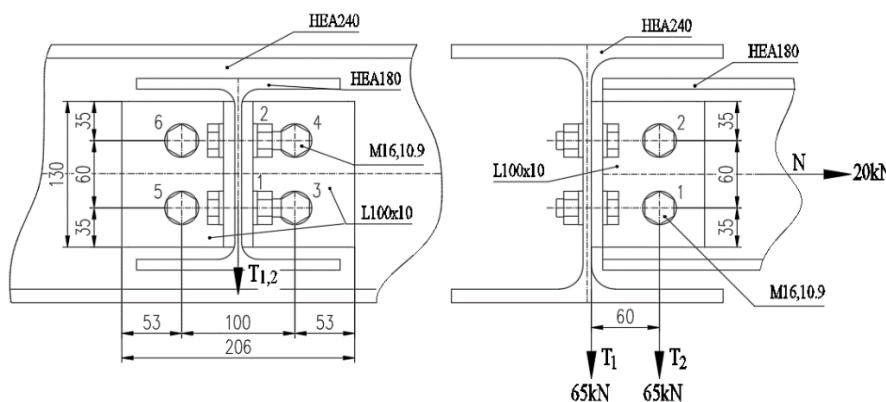
Na slici 3 prikazan je nazivno zglobni priključak između dva H profila HEA180 (B1) i HEA240 (B). H profili spojeni su hrbat na hrbat vijcima M16 i profilom L100x10 (Cleat1 a, Cleat1 b). Na kraju HEA180 (B1) djeluje smična sila od 65 kN te normalna sila od 20 kN. Svi profili su od materijala S355, vijci su kvalitete 10.9.



Slika 3. nazivno zglobni priključak sa zadanim silama

4. Analitički proračun vijaka priključka

Analitički proračun rađen je u programu Autodesk Advance Steel 2022 prema normi EN 1993-1 (EC3) te pretpostavlja poziciju posmične sile na mjestu T_1 [4,5]. Slika 4 prikazuje poziciju posmičnih sila T_1 i T_2 , numerirane pozicije vijaka M16, sve potrebne dimenzije i vrste profila. Određene su posmične i normalne sile u svih šest vijaka. Sile su potom uvrštene u formule za izračun posmične otpornosti, vlačne otpornosti, kombinacije posmika i vlaka prema tablici 3.4 iz norme EN 1993-1-8 [1].



Slika 4. Pozicija posmičnih sila T_1 i T_2

Određivanje posmičnih i normalnih sile u vijcima 3, 4, 5, 6 [1]:

$$V_3 = V_4 = V_5 = V_6 = \frac{T_1}{4} = \frac{65}{4} = 16,2 \text{ kN}; N_3 = N_4 = N_5 = N_6 = \frac{N}{4} = \frac{20}{4} = 5 \text{ kN}$$

Određivanje posmične otpornosti, vlačne otpornosti, kombinacije posmika i vlaka vijaka 3, 4, 5, 6 prema tablici 3.4 iz norme EN 1993-1-8 [1]:

$$\text{Posmična otpornost: } F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 1000 \cdot 157}{1,25} = 62,8 \text{ kN} \geq V_{3-6} = 16,2 \text{ kN}; \frac{16,2}{62,8} = 25,8\%$$

gdje je: $\alpha_v = 0,5$ za vijke 10,9; f_{ub} – vlačna čvrstoća vijka; A_s – vlačno naprezana ploština vijka; γ_{M2} – parcijalni koeficijent sigurnosti 1,25

$$\text{Vlačna otpornost: } F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1000 \cdot 157}{1,25} = 113 \text{ kN} \geq N_{3-6} = 5 \text{ kN}; \frac{5}{113} = 4,42\%$$

, gdje je $k_2 = 0,9$ za vijke koji nisu upušteni.

$$\text{Kombinirani posmik i vlak: } \frac{V_{3-6}}{F_{v,Rd}} + \frac{N_{3-6}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0; 0,258 + 0,031 \leq 1,0; 0,29 \leq 1,0; 29\%$$

Određivanje posmičnih i normalnih sila u vijcima 1, 2 [1]:

Posmična sila od: -sprega sila zbog savijanja $V_{b,x} = \frac{65 \cdot 0,06}{0,06} = 65 \text{ kN}$; posmične sile T_1 ;

$$V_{T_1,y} = \frac{T_1}{2} = 32,5 \text{ kN}$$

$$-\text{Normalne sile } N; V_{N,x} = \frac{N}{2} = 10 \text{ kN}$$

$$-\text{ukupna posmična sila}; V_{1,2} = \sqrt{(V_{b,x} + V_{N,x})^2 + V_{T_1,y}^2} = 81,7 \text{ kN}$$

Vanjska normalna sila na vijke 1 i 2 ne postoji te se iz tog razloga računa samo posmična otpornost u dvije posmične ravnine. Određivanje posmične otpornosti u dvije posmične ravnine vijaka 1, 2 prema tablici 3.4 iz norme EN 1993-1-8 [1]:

$$\text{Posmična otpornost: } F_{v,Rd} = \frac{2 \cdot \alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 1000 \cdot 157}{1,25} = 125,6 \text{ kN} \geq V_{1,2} = 81,7 \text{ kN}; \frac{81,7}{125,6} = 65\%$$

, vjaci 1 i 2 nose posmik s 2 posmične ravnine.

Tablica 1 prikazuje kritično opterećene vijke prema analitičkom proračunu. Kritično opterećeni vjaci su 1 i 2 s iskorištenjem od 65%.

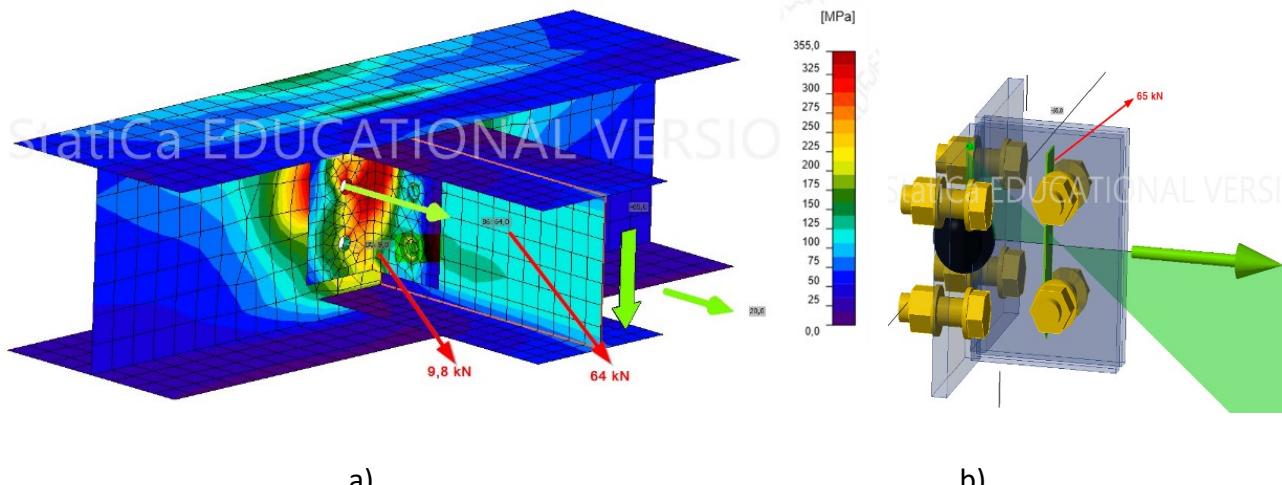
Tablica 1. Sažeti prikaz sila u vijcima i postotaka iskorištenja analitičkog proračuna

Analitički proračun, pozicija posmične sile T_1			
Vijak	Posmična sila, kN	Normalna sila, kN	Najveće iskorištenje, %
1.	81,7	0,0	65,0
2.	81,7	0,0	65,0
3.	16,2	5,0	29,0
4.	16,2	5,0	29,0
5.	16,2	5,0	29,0
6.	16,2	5,0	29,0

5. CBFEM proračun vijaka priključka

Slika 5 prikazuje CBFEM proračun rađen u programu IDEA StatiCa 22 prema normi EN 1993-1 (EC3) te prepostavlja poziciju posmične sile na mjestu T_2 prema slikama 4 i 5 [2,4]. Određene su posmične i normalne sile u svih šest vijaka. Sile su potom uvrštene u formule

za izračun posmične otpornosti, vlačne otpornosti, kombinacije posmika i vlaka prema tablici 3.4 iz norme EN 1993-1-8 [1].



Slika 5. CBFEM proračun: a) prikaz von Mises naprezanja i normalnih sila u vijcima, b) pozicija posmične sile T_2

Tablica 2 prikazuje kritično opterećene vijke prema CBFEM proračunu. Kritično opterećeni vijci su 4 i 6 s iskorištenjem od 69,6%.

Tablica 2. Sažeti prikaz sila u vijcima i postotaka iskorištenja CBFEM proračuna

CBFEM proračun, pozicija posmične sile T_2			
Vijak	Posmična sila, kN	Normalna sila, kN	Najveće iskorištenje, %
1.	34,0	15,1	36,6
2.	34,0	12,9	35,3
3.	16,2	9,8	31,9
4.	18,3	64,0	69,6
5.	16,2	9,8	31,9
6.	18,3	64,0	69,6

6. Usporedba rezultata analitičkog i CBFEM proračuna

Iz tablice 3 jasno su vidljive razlike sila u vijcima i najvećim iskorištenjima između dvije metode proračuna. Najveća razlika posmične sile je 47,7 kN (240%) za vijke 1 i 2, normalne sile 59 kN (1280%) za vijke 4 i 6, najvećeg iskorištenja 40,6 % za vijke 4 i 6.

Tablica 3. Usporedba rezultata

Vijak	Usporedba rezultata analitičkog i CBFEM proračuna					
	Posmična sila, kN		Normalna sila, KN		Najveće iskorištenje, %	
	analitički	CBFEM	analitički	CBFEM	analitički	CBFEM
1.	81,7	34,0	0,0	15,1	65,0	36,6
2.	81,7	34,0	0,0	12,9	65,0	35,3
3.	16,2	16,2	5,0	9,8	29,0	31,9
4.	16,2	18,3	5,0	64,0	29,0	69,6
5.	16,2	16,2	5,0	9,8	29,0	31,9
6.	16,2	18,3	5,0	64,0	29,0	69,6

7. Zaključak

Cilj ovog rada bio je usporediti rezultate analitičkog i CBFEM proračuna vijaka te odrediti koja metoda daje točnije i pouzdanije rezultate. Analitički proračun rađen je programom Autodesk Advance Steel 2022 (AS), a CBFEM programom IDEA StatiCa 22 (IS). Oba programa su među najpopularnijima u svijetu za proračun i detaljni dizajn čeličnih konstrukcija. Razlike u rezultatima su značajne. Razlog tome je u drugačijoj pretpostavci položaja posmične sile. AS pretpostavlja posmičnu silu blizu čvora, gdje se sastaju simetrale HEA240 i HEA180 profila, na površini hrpta, dok IS pretpostavlja posmičnu silu u vijcima 1 i 2. Najveće iskorištenje dobiveno AS-om je 65%, dok je IS-om 69,6%. Ukoliko se promatra samo razlika najvećih iskorištenja ona iznosi svega 4,6%. Usporedbom položaja kritično opterećenih vijaka prema oba proračuna dolazi se do oprečnih rezultata. AS predviđa da su to vijci 1 i 2 sa iskorištenjem 65%, dok IS predviđa da su to vijci 4 i 6 sa iskorištenjem 69,6%. Vjaci 1 i 2 te 4 i 6 se nalaze na suprotnim nogicama L100x10 profila te ih je moguće različito dimenzionirati kako bi razlike u iskorištenju bile što manje, a ušteda što veća. Različito dimenzionirani vjaci bi, po jednoj od metoda proračuna, bili dobro dimenzionirani, a po drugoj poddimenzionirani. Autori ovog članka smatraju točnjom pretpostavku programa IDEA StatiCa 22 da se posmična sila prenosi preko vijaka 1 i 2. Razlog tome što je jedini put posmične sile, sa spjenog elementa HEA180 na glavni element HEA240, su vjaci 1 i 2. Prema tome kritično opterećeni vjaci su 4 i 6 dobiveni CBFEM proračunom. Preporuka je koristiti identične vijke na obje nogice L100x10 profila ukoliko konstruktor nije siguran u točan položaj kritično opterećenih vijaka.

8. Literatura

- [1] Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija – Dio 1-8: Proračun priključka (EN 1993-1-8:2005+AC:2009), drugo izdanje, veljača 2014.
- [2] <https://www.ideastatica.com/support-center/general-theoretical-background> (pristup 14.04.2022.)
- [3] <https://www.ideastatica.com/support-center/stiffness-analysis-en> (pristup 15.03.2022.)
- [4] <https://www.ideastatica.com/support-center/how-to-define-correct-load-position> (pristup 14.04.2022.)
- [5] <https://knowledge.autodesk.com/support/advance-steel/learn-explore/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/Advance-Steel-Details-about-Joint-calculation-according-to-EC3.html> (pristup 12.04.2022.)

Influence of luminar energy emission in the visible waveband on human color perception

A. Sutlović*, M. I. Glogar, I. Divjak

University of Zagreb, Faculty of Textile Technology, Department for Textile Technology and ecology, Prilaz baruna Filipovića 28a, Zagreb, Croatia

*Corresponding author. Email: ana.sutlovic@ttf.unizg.hr

Abstract

Color is particularly associated with electromagnetic radiation of a specific wavelength range visible to the human eye. Color perception depends on vision, light, and individual interpretation, and understanding color involves physics, physiology, and psychology. This paper, analyzes the interaction between color perception and light, i.e., the emission of light energy. The light spectrum consists of many different wavelengths of energy produced by a light source. There are some significant differences between natural daylight and artificial light. Intensity and spectrum are most important here. The entire light spectrum is found only in daylight. Visible light is a portion of the spectrum from 380 nm to 780 nm. The spectral distribution of the light spectrum produced by a lamp depends on the brightness and significantly influences human color perception. The paper explains how the relative intensities of energy emission at each wavelength affect color perception. This paper can contribute to luminaire selection, i.e., human perception of color both outdoors and indoors. Human centric lighting expresses the positive effect of light and lighting on human health, well-being and performance, and thus has both short and long term benefits. The "ideal" lighting spectrum depends on the type of lighting and the desired effect on people, nature and objects.

Keywords: color, light spectrum, energy emission, color perception

1. Introduction

According to the International Lighting Vocabulary, the definition of light is: 'Any radiation that can directly produce a visual sensation. Light or visible light is electromagnetic radiation that is visible to the human eye and is responsible for the sense of sight (CIE, 1987). Visible light has a wavelength in the range of about 380 nanometres (nm) to about 740 nm, with a frequency range of about 405 - 790 THz. In physics, the term light sometimes refers to electromagnetic radiation of any wavelength, visible or not. A light source is one of the three components necessary to see or measure colours. Removing or changing any of the three components, namely a light source, an object and a receiver, has a significant impact on how our brain perceives colour. All three factors influence the colour and appearance perceived by the viewer. A light source illuminates the object and

is characterised by the energy emitted at different wavelengths, which is referred to as spectral distribution. When light falls on an object, the light beam is modified by absorption, scattering and other physical processes, depending on the physical and chemical construction of the object. Ultimately, the light reaches the viewer's eye in the form of reflected or refracted light. Photosensitive pigments in the eye absorb the light energy. This triggers nerve impulses that are transmitted to the brain. The human eye-brain mechanism provides a quick and continuous assessment of the appearance and colour of an object. The light that enters our eyes contains the characteristic imprints of both the light source and the object [1-3].

The influence that light has on colour perception is significant and often overlooked. A light source emits different visible wavelengths of light, which are then absorbed or reflected by an object. The reflected wavelengths lead to the perception of colour. Colour and light interact in our environment in very diverse and complex ways. However, in practise, colour and light are still treated separately and linguistic concepts to describe colour and light in spatial contexts are still being developed. Colour and light mediate and construct our experience; we experience the world visually through colour and light. All senses contribute, but our vision enables us to make an immediate judgement of the spatial whole. Our perception of colour and light changes as we move through space. The direction of light influences the shape of shadows and creates foreground and backlighting. Different light sources create illumination with different light colours, while the colour of daylight varies constantly throughout the day. This affects the colour we see in the objects around us. So the external spatial world is constantly changing. Our visual system compensates for the physical changes in our surroundings, which helps us to perceive the external reality as relatively constant. However, not all light sources are the same. The wavelengths emitted by the light source can vary significantly, altering the perception of colour. The colour of light refers to the colour (hue) that light generally has in a given space. The colour of light does not correspond to the colour of the light source, nor does it correspond to the surface colours we can perceive in a space. The most common terms to describe a perceived colour of light are 'warm' and 'cool'. The colour of light is most clearly perceived when juxtaposed with another colour of light. Imagine you are standing in a room lit by a light source and it is dusk outside. If you look out of the window, you can clearly see the cooler blue tone of daylight compared to the warmer yellow tone of incandescent light. In combination with light distribution and luminous intensity, the colour of light plays an important role in setting the mood and thus noticeably contributes to how we experience a room [1-3].

When selecting and defining a luminaire, three aspects must be taken into account: the luminaire as a light source, the optical nature of the light emitted by the luminaire and the interaction of the light with the surface to be illuminated.

2. Luminar – light source

Insufficient light or its total absence creates a feeling of insecurity - a lack of information. Artificial light therefore increases the feeling of security. The average European spends 90% of their time indoors, so the importance of artificial lighting is irreplaceable [2]. Artificial lighting is a versatile tool that you can use to transform a space. It can be used in public areas to enhance performances and worship or in private settings as a functional or decorative lighting solution. A survey of lighting professionals found that colour plays a critical role in all lighting applications and is usually more important than light output. Similar to how physical colour affects psychology, lighting colour also has a physiological effect on people. While many people know that colour in our daily lives, such as wall colour and decoration, has a psychological impact on our mood, some may not be aware of how much the colour of lighting affects our health. All light affects us, the wavelengths of coloured lighting can affect our psychological and physiological systems in different ways. Artificial luminaires can be defined by the following key parameters (Figure 1., Equations 1-4): luminosity (the amount of light emitted by a light source), luminous intensity (describes the amount of light emitted in a particular direction), luminance (the amount of light falling on a surface) and luminance - the only basic lighting parameter perceived by the eye [2, 3].

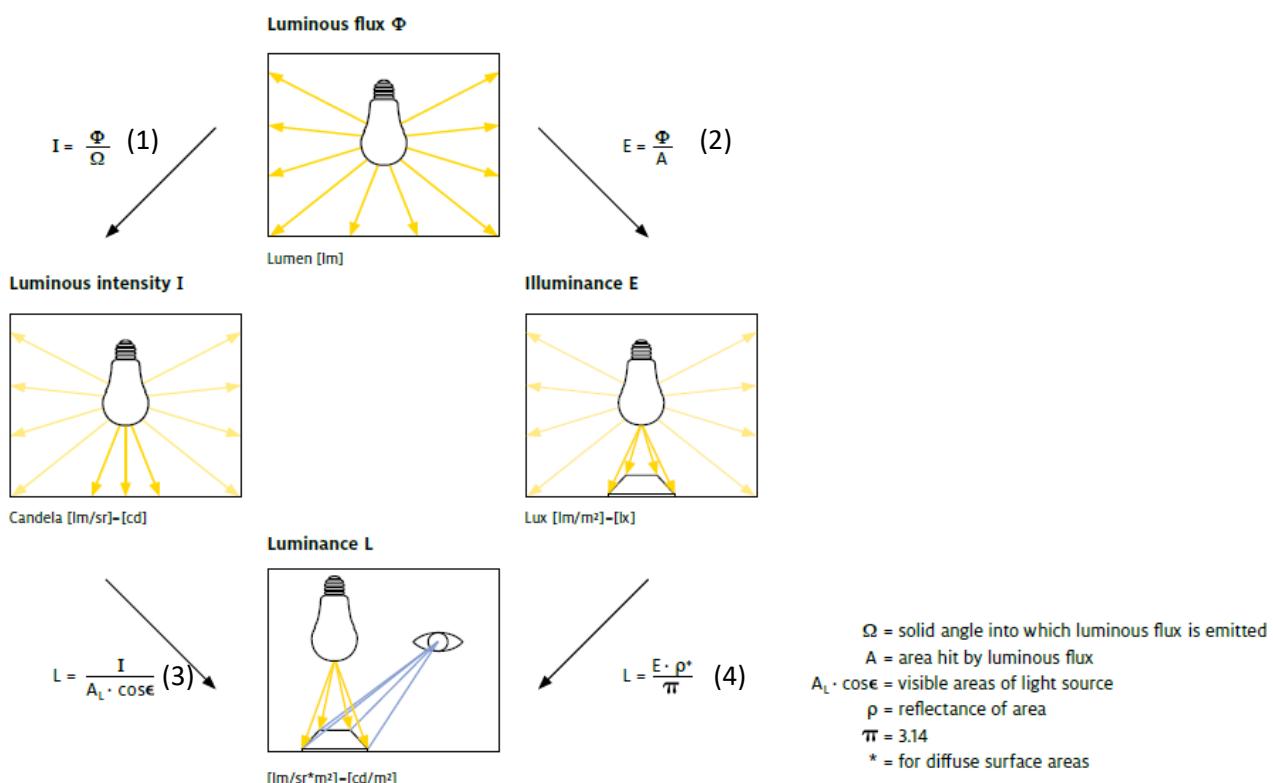


Figure 1. Basic parameters used in lighting [3]

3. The optical nature of light

Quantum or corpuscular theory, i.e. the absorption and emission properties of light, are best explained by the concept that light exists as a series of energy packets called photons and its inherent energy can be expressed as follows:

$$E = h \cdot v = h \cdot 1/\lambda \quad (5)$$

where h is Planck's constant ($6,6260701 \cdot 10^{-34}$ Js), v is frequency and λ is wave number. In wave theory, i.e. physical optics, however, light is regarded as a wave that propagates. In defining light, it is important to emphasise that radiometry is the study of optical radiation (light, ultraviolet radiation and infrared radiation). Photometry, on the other hand, is concerned with the human visual response to light. Radiometry is concerned with the total energy content of radiation, whereas photometry studies only the radiation that humans can see. Thus, the most common unit in radiometry is the watt (W), which measures the radiant flux (power), while the most common unit in photometry is the lumen (lm), which measures the luminous flux [1, 2].

4. Interaction of light with objects

In the interaction of light and surface, the properties of both the luminaire and the object are important. Proper lighting is important because the appearance of an object is significantly influenced by the light source and the environment in which it is viewed. When light strikes an object on its path of propagation, a number of physical phenomena take place simultaneously, the most important of which are (Figure 2):

1. secular reflection at the surface of the object (associated with gloss),
2. scattering within the material (associated with diffuse reflection and sometimes with diffuse transmission),
3. absorption within the material (largely responsible for the colour),
4. straight line transmission or refraction directly through the object in the case of a transparent or translucent object (associated with clarity) [1, 2].

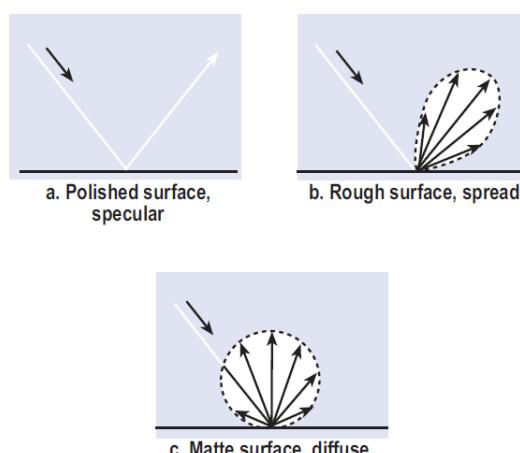


Figure 2. Specular, spread, and diffuse reflections from a surface [2]

The emission of light energy in the visible wavelength range and its influence on human colour perception is usually assessed on the basis of two important parameters: color temperature and colour rendering.

4.1. Color temperature

Colour temperature (CCT) is an important aspect of colour appearance that refers to how "cool" (bluish) or how "warm" (yellowish) nominally white light appears (Figure 3). The CCT of a light source, given in Kelvin (K), is the temperature at which the heated black body comes closest to the colour of the light source in question. It characterises the appearance of the emitted light, not the colour of the illuminated objects (Table 1) [3, 4].

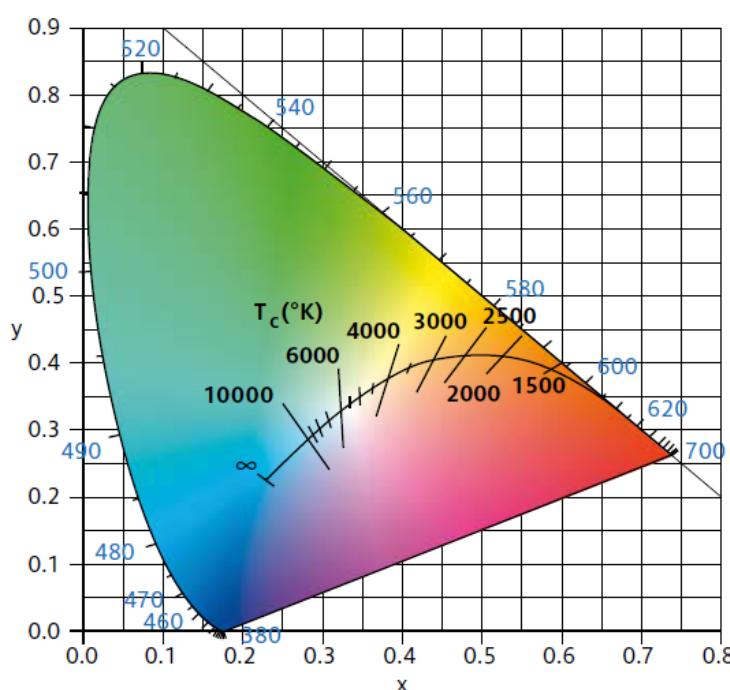


Figure 3. Color temperature graph [4]

Table 1. Some examples of CCT [4]

Source	Temperature
Overcast sky	7500 K
Daylight or fluorescent light	5000 K
Sunlight at noon	4200 - 5500 K
Metal halide	4200 - 5500 K
Incandescent light	2000 - 3000 K

More specifically, CCT is a metric that relates the appearance of a light source to the appearance of a theoretical mass, called a blackbody, if it were heated to high temperatures. As a blackbody gets hotter, it turns red, orange, yellow, white and finally blue. A blackbody is an idealised material that absorbs all incident electromagnetic radiation regardless of frequency or angle of incidence and is also a perfect emitter of all wavelengths (Figure 4) [3, 4].

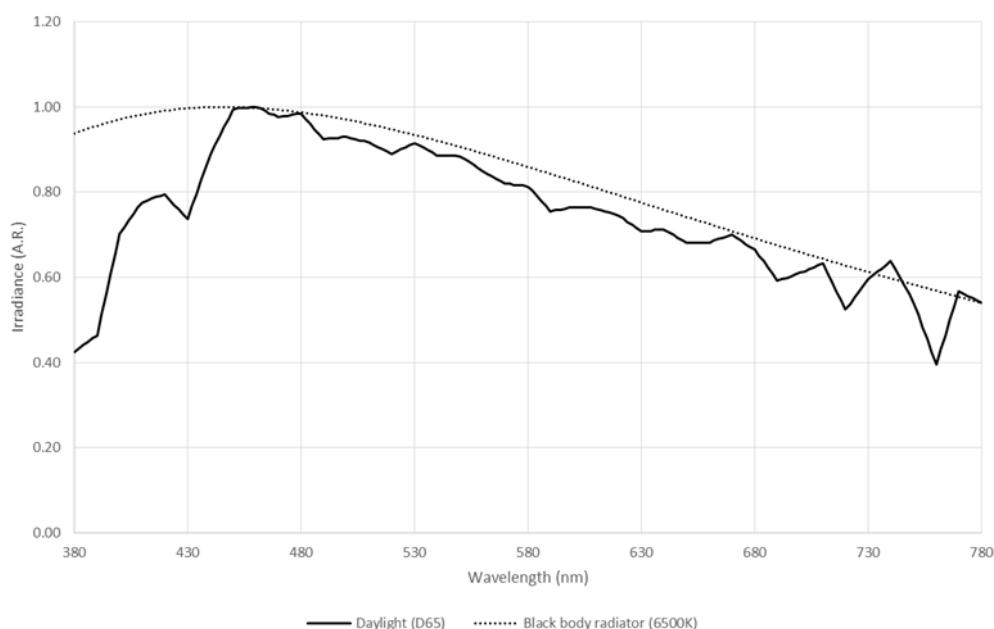


Figure 4. Spectral comparison between black body radiation and daylight illuminate [3]

4.2. Colour rendering

Colour rendering is the ability of a light source to reproduce the colours of a surface as faithfully as possible compared to a reference light source (Table 3). It is indicated by the colour rendering factor (Ra). The best colour rendering is Ra = 100. The lower the Ra factor of the source, the worse the colour rendering of that source. The colour rendering is calculated as an average value for 15 standardised colour samples (Figure 5).

Table 2. Some examples on the color rendering factor [4]

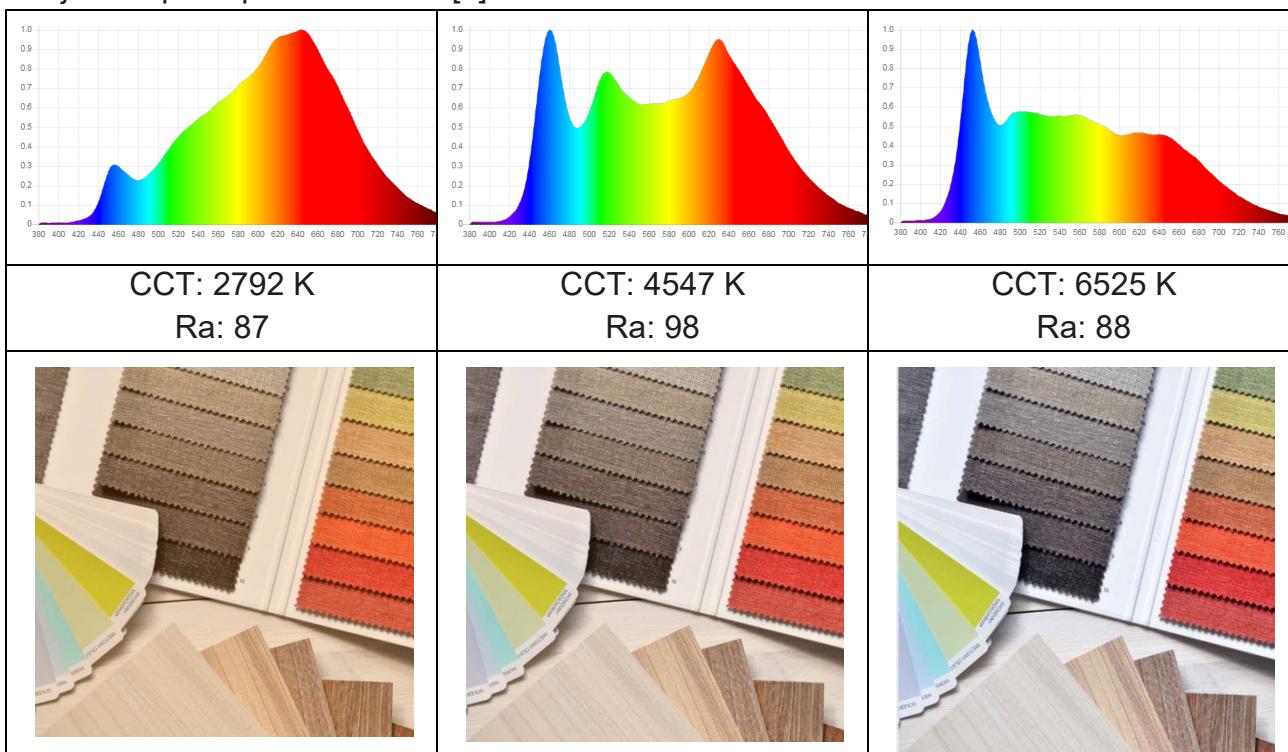
Ra	Example
100	Closest to natural light
85-90	Standard metal halide
55-65	Standard metal halide
52-65	Fluorescent light
22	High-pressure sodium
0	Low-pressure sodium



Figure 5. Standardized color samples for color rendering definition [4]

4.3. The influence of the characteristics of LED lighting on the perception of color
Table 3 shows a comparison of the remission spectrum of LED with colour temperature and colour rendering as well as a simulation of the colour experience of the human eye for surfaces of different colours and structures.

Table 3. Influence of LED energy emission in the visible waveband on CCT, Ra, and the subjective perception of colour [4]



In Table 3, it can be seen that LED luminaires with the most uniform radiation distribution over the entire wavelength range have the CCT values most similar to daylight and the highest Ra value. This is because they produce white light with the fullest spectrum, rendering colours with the highest degree of accuracy and efficiency. However, as the proportion of yellow and red components (wavelengths above 580nm) increases, CCT decreases because colour energy is inversely proportional to wavelength. Following the same principle, if the cold component of the blue and green remission (wavelength below 580 nm) is increased, the CCT increases, i.e. people experience warmer colours. In both cases, the dominance of one part of the spectrum has the effect of lowering Ra. It can be observed that lighting can be adapted to the intended purpose by the targeted remission of LED luminaires.

5. Conclusion

Modern standards for light sources require strict specifications in terms of colour quality, light intensity, uniformity of illumination, viewing/illumination geometry and environmental conditions. Differences in any of these conditions can affect the appearance of colours. Luminars are the key element of any viewing environment. Modern luminars are designed for use in specific situations and must conform as closely as possible to standard curves. This is because light has a very important effect on people: visual functions, emotional perception and biological effects. From the point of view of visual function, light is essential for: standard-compliant illumination of the working area and must be glare-free and practical. In addition, architecture that improves lighting and influences the creation of scenes and effects is important for emotional perception. Light creates biological effects by stimulating people's circadian rhythms and having a stimulating or relaxing effect. In addition to standard parameters such as watts and lumens, light sources must also be defined by new parameters such as colour temperature and colour rendering. By comparing these parameters, the importance and quality of the lighting of LED becomes visible, which can be defined according to the needs of the situation.

6. References

- [1] Choudhury, Asim Kumar Roy. *Principles of Colour and Appearance Measurement*. The Textile Institut, Elsevier Science, 2014. (ISBN 978-0-85709-229-8)
- [2] Taylor, Alma E. F. *Illumination Fundamentals*. Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, Rensselaer Polytechnic Institute, New York, 2000
- [3] The Lighting Handbook. Zumtobel Lighting GmbH, Dornbirn, Austria, 2018., <https://pdf.archiexpo.com/pdf/zumtobel/lighting-handbook/9003-235704.html> (visited 10. 7. 2022.)
- [4] <https://www.waveformlighting.com/tech> (visited 20. 7. 2022.)

Kontrola kvalitete zasuna Valve quality control

L. Maglić^{1,*}, J. Lipovac¹, O. Maglić², T. Šolić¹

¹Strojarski fakultet, Sveučilište u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, Hrvatska

²Županijska uprava za ceste, Slavonski Brod, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: Imaglic@unisb.hr

Sažetak

Zasun je zaporna naprava koja služi za otvaranje i zatvaranje prolaza plinovima, kapljevinama i parama u cjevovodima. Okretanjem ručnog kola na vrhu zasuna pomiče se osovina na koju je pričvršćen zaporni element te se na taj način zasun otvara ili zatvara, odnosno protok fluida se omogućava ili onemogućava. Na primjeru zasuna API 6A 2 9/16" 5000 psi koji se koristi u naftnoj i plinskoj industriji za regulaciju protoka fluida u cjevovodu, prikazati će se proces kontrole kvalitete zasuna. Aktivnosti kontrole kvalitete provode se prema definiranom planu kontrole. Proces kontrole kvalitete zasuna prikazan je u sedam faza, koje uključuju kontrolu sklopa i kontrolu dijelova.

Ključne riječi: Kontrola kvalitete, zasun, plan kontrole

Abstract

The valve is a shut-off device used to open and close the flow of gases, liquids, and vapours in pipelines. Turning the handwheel on the top of the valve moves the shaft to which the closing element is attached, thus opening or closing the valve, i.e., enabling or blocking the flow of liquid. The process of valve quality control is demonstrated using the example of the API 6A 2 9/16 " 5000 psi valve, which is used in the oil and gas industry to regulate the flow of fluid in the pipeline. Quality control measures are carried out according to an established control plan. The process of valve quality control is shown in seven phases, which include assembly control and parts control.

Key words: Quality control, valve, Inspection plan

1. Uvod

U modernim proizvodnim sustavima jedan od najvažnijih ciljeva je kreirati i napraviti proizvod koji će zadovoljiti postavljene kriterije kvalitete uz minimalne troškove proizvodnje. Za ostvarenje ovakvih ciljeva neophodno je imati učinkovite sustave upravljanja kvalitetom. Norma koja definira zahtjeve sustava upravljanja kvalitetom je HRN ISO 9001:2015. Većina hrvatskih proizvodnih tvrtki primjenjuje zahtjeve opisane ovom normom. U svakom proizvodnom sustavu jedan od vrlo važnih procesa je proces kontrole kvalitete proizvoda.

Zahtjevi norme HRN ISO 9001:2015 za proces kontrole kvalitete opisani su u točkama 8.4.2 Vrsta i opseg kontrole, 8.5.1 Upravljanje proizvodnjom i pružanjem usluga i 8.6 Puštanje proizvoda i usluga [1]. Proces kontrole kvalitete opisati će se na primjeru kompleksnog proizvoda, zasuna API 6A 2 9/16" 5000 psi koji se koristi u naftnoj i plinskoj industriji za regulaciju protoka fluida u cjevovodu.

2. Opis proizvoda

Odabrani proizvod je zasun API 6A 2 9/16" 5000 PSI (34,5 MPa = 345 bar). Skraćenica API predstavlja American Petroleum Institute, 6A je standard koji se odnosi na zahtjeve za proizvodnju ventila, cijevi i pribora koji se koriste u naftnoj i plinskoj industriji. Oznaka 2 9/16" predstavlja nazivnu veličinu prvrta zasuna u inčima ($\varnothing 65,0^{+0,8}$ mm). 5000 PSI označava radni tlak sjedišta zasuna (34,5 MPa = 345 bar).

Zasun je zaporna naprava koja služi za otvaranje i zatvaranje prolaza plinovima, kapljevinama i parama u cjevovodima. Okretanjem ručnog kola na vrhu zasuna pomiče se osovina na koju je pričvršćen zaporni element, na taj način zasun se otvara ili zatvara, odnosno protok fluida se omogućava ili onemogućava. Zaporni mehanizam projektiran je okomito na smjer kretanja medija kako bi fluid kroz njega protjecao s minimalnim otporom, bez promjene pravca gibanja [2].



Slika 1. Poprečni presjek zasuna 2 9/16" [2]

Zasun API 6A 2 9/16" 5000 PSI se koristi u naftnoj i plinskoj industriji za regulaciju protoka fluida u cjevovodu. Industrija nafte i plina predstavlja jedinstvene i ekstremne uvjete rada, od iznimno visoke temperature i visokog tlaka do kriogenih temperatura i vrlo niskog tlaka. Stoga zasuni moraju biti projektirani tako da su otporni, sigurni i pouzdani za upotrebu [3].

3. Plan kontrole kvalitete

Plan kontrole kvalitete proizvoda je dokument koji propisuje sve aktivnosti kontrole kvalitete korak po korak. U planu kontrole navode se postupci kontrole, relevantne norme, kriteriji prihvatljivosti, dokumentacija kontrole kvalitete kao i zahtjevi za kompetentnost u pojedinim postupcima kontrole [4]. Plan kontrole kvalitete za proizvod zasun 2 9/16" obuhvaća četrdeset pet aktivnosti podijeljenih u sedam poglavlja. Prvo poglavljje se odnosi na kontrolu kvalitete sklopa zasuna, dok se ostalih šest poglavlja odnosi na kontrolu kvalitete pojedine pozicije. Kod kontrole pojedinih dijelova sklopa, provode se kontrola atesta ispitivanja materijala, ispitivanje mehaničkih svojstava, pregled izvještaja o ispitivanju kemijskog sastava i mikrostrukture, ispitivanje tvrdoće, dijagram toplinske obrade i ispitivanja nerazornim metodama. U ovom radu opisati će se proces kontrole kvalitete sklopa zasuna, koji se sastoje od sedam aktivnosti

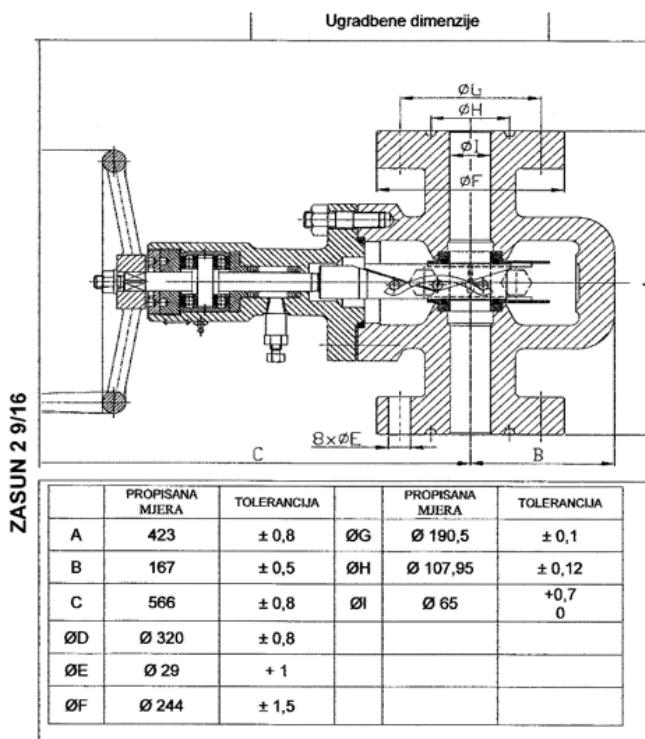
1. Kvalifikacija i certifikacija NDT osoblja prema normi HRN EN ISO 9712
2. Kontrola dimenzija prema nacrtu
3. Kontrola montaže prema ispitnoj uputbi
4. Hidrostatičko ispitivanje zasuna prema normi API 6A
5. Kontrola oznaka na natpisnoj pločici
6. Kontrola površinske zaštite
7. Postavljanje API monograma prema normi API 6A

Za navedene aktivnosti kontrole kvalitete rade se odgovarajući izvještaji o provedenim ispitivanjima. Načini provođenja ispitivanja su definirani ispitnim uputama.

4. Kontrola kvalitete sklopa zasuna

Prva aktivnost je definiranje zahtjeva za NDT osoblje, opremu i postupak ispitivanja koji trebaju biti ispunjeni kod primjene ispitivanja na pozicijama i sklopovima. Zahtjev za kvalifikaciju osoblja proizlazi iz specifikacije API 6A i norme HRN EN ISO 9712, a ispitivanje provodi ovlašteni ispitivač. Nakon što se provede ispitivanje bez razaranja potrebno je izraditi izvještaj koji se radi na predviđenom obrascu u skladu s definiranom ispitnom uputom.

Druga aktivnost je kontrola dimenzija sklopa. Dimenzijska kontrola zasuna 2 9/16" provodi se kako bi se provjerila točnost mjera, oblika i položaja proizvoda u skladu sa zahtjevanim dimenzijskim zahtjevima koje su definirane u projektnoj dokumentaciji. Za mjerjenja se koriste trokraki mikrometri za unutrašnja mjerena, mikrometri za vanjska mjerena i pomična mjerila. Nakon što se provede postupak mjerena dimenzija, izrađuje se mjerni protokol u kojem se navode zahtjevane vrijednosti, tolerancije i izmjerene vrijednosti. Na slici 2 su prikazane ugradbene dimenzije zasuna 2 9/16".



Slika 2. Ugradbene dimenzije zasuna 2 9/16" [2]

Treća aktivnost je kontrola montaže sklopa koja se provodi prema uputama za montažu zasuna koja je izrađena u skladu sa specifikacijom API 6A. U procesu montaže zasuna ukupno je dvanaest koraka koji su jasno definirani u uputama. Svrha kontrole je provjera stanja i funkcionalnosti ugrađenih dijelova te ispravnosti prethodno izvršenih operacija. Kriterij prihvativosti definira se uspješnom provedbom hidrostatičkog ispitivanja zasuna, hidrostatičkog ispitivanja ljske i sjedišta zasuna.

Zahtjevi za hidrostatičko ispitivanje su:

- Na zasunu se ne smije uočiti vidljivo curenje tijekom držanja pod ispitnim tlakom,
- Nadgledani tlak ne smije odstupati od ispitnog tlaka na početku i na kraju ispitivanja za više od 5%,
- Navojni spojevi koji cure iznad radnog tlaka trebaju imati dodatni period držanja na radnom tlaku, bez uočenog vidljivog curenja.

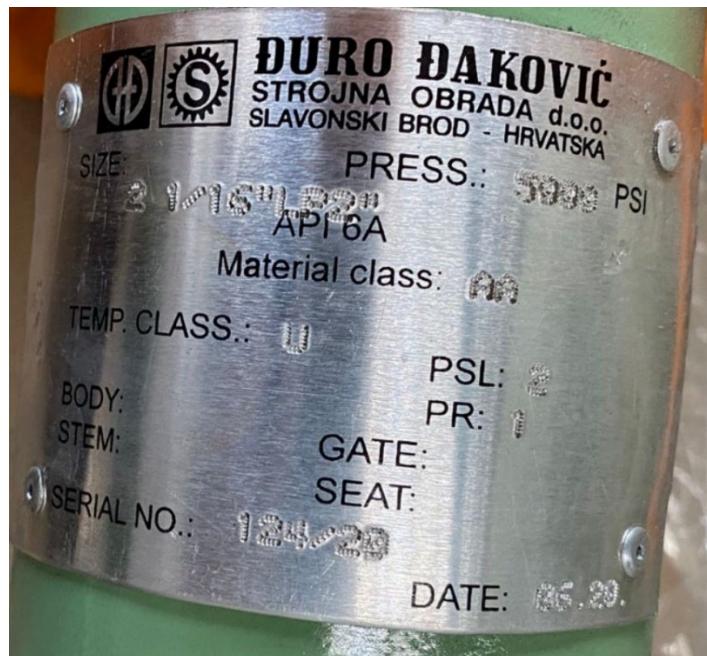
Hidrostatičko ispitivanje provodi se prema specifikaciji API 6A. Mjerna oprema kojom se provodi hidrostatičko ispitivanje mora biti ispravno održavana i umjeravana. Hidrostatičko ispitivanje zasuna provodi se na ispitnoj stanicici koja je prikazana na slici 3.



Slika 3. Mjerna stanica za hidrostatičko ispitivanje [2]

Upute za hidrostatičko ispitivanje definiraju 15 koraka koje je potrebno provesti. Prilikom hidrostatičkog ispitivanja, radni tlak se mjeri uređajem koji kontinuirano bilježi izmjerene vrijednosti na računalu. Na osnovu tih podataka računalo izrađuje dijagram hidrostatičkog ispitivanja zasuna. Radni tlak prilikom ispitivanja iznosio je oko 540 bara dok je ispitivanje trajalo oko 3 minute. Ispitivanje je provedeno dvaput u razmaku od 10 minuta i svi postavljeni kriteriji bili su zadovoljeni.

Peta aktivnost prema planu kontrole kvalitete je kontrola oznaka na natpisnoj pločici. Označavanje proizvoda se provodi u skladu s zahtjevom norme ISO 9001:2015, točka 8.5.2 Identifikacija i sljedivost. Oblik natpisne pločice i mjesto ugradnje pločice su definirani konstrukcijskom dokumentacijom. Natpisna pločica sadrži podatke o broju radnog naloga, rednom broju proizvoda, nazivu i tipu proizvoda te godinu proizvodnje. Identifikacija omogućuje prepoznavanje proizvoda, a sljedivost omogućuje povezivanje proizvoda s dokumentacijom u kojoj su opisane sve proizvodne i kontrolne aktivnosti. Tako se i tijekom eksploatacije proizvoda može dobiti informacija kada je proizvod rađen, iz kojih materijala ili tko je odobrio puštanje proizvoda u eksploataciju. Kontrola oznaka natpisne pločice vrši se evidencijom dodijeljenih rednih brojeva unutar radnog naloga, provodi ju odjel kontrole. Arhiviranje i čuvanje podataka o tvorničkim brojevima je trajno. Na slici 4 prikazana je natpisna pločica.

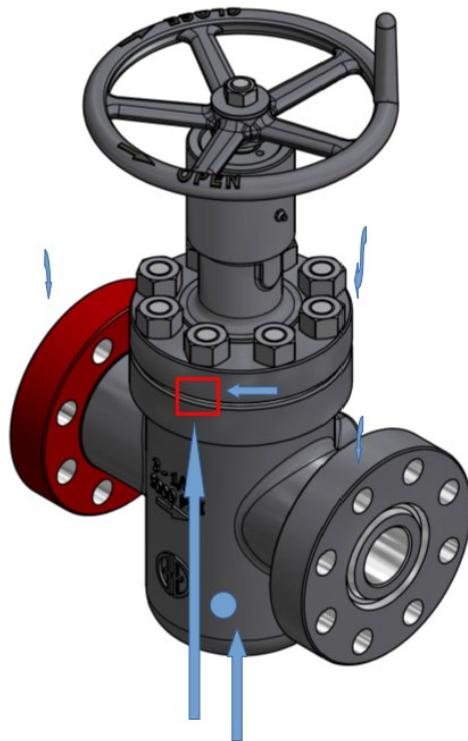


Slika 4. Natpisna pločica [2]

Šesta aktivnost je kontrola površinske zaštite. Površinska zaštita provodi se kako bi se proizvod zaštitio od korozije. Prije nanošenja zaštitnog premaza potrebno je očistiti površinu od eventualnih nečistoća i masnoće. Zaštita se nanosi u dva sloja, temeljni premaz i završni premaz. Definirana je debljina premaza od 50-70 µm. Ispitivanje debljine sloja premaza provodi se pomoću mjernog uređaja Elcometer 345 F. Rezultati ispitivanja unose se u obrazac Mjerni protokol za debljine premaza.

Sedma i posljednja aktivnost je postavljanje API monograma. API monogram program je dobrovoljni program licenciranja osmišljen kako bi se olakšala dosljedna izrada proizvoda koji je u skladu s primjenjivim API specifikacijama. API monogram certifikat visoko je priznat diljem svijeta kao potvrda kvalitetnih i pouzdanih proizvoda. Program API monogram daje licenciranim proizvođačima ovlaštenje za korištenje registrirane označke API monograma za opremu koja ispunjava zahtjeve.

Kako bi se dobilo dopuštenje za postavljanje API monograma na proizvod potrebno je uspješno provesti audit sustava upravljanja prema zahtjevima API specifikacije. Korištenje API monograma predstavlja garanciju da su ti zahtjevi ispunjeni. Mjesto označavanja API monograma je definirano u tehničkoj dokumentaciji. Uz sam API monogram mora biti označen i broj vlasnika licence i datum proizvodnje. Nakon svih završenih kontrolnih aktivnosti monogram se postavlja na proizvod. Mjesto označavanja API monograma kod zasuna 2 9/16" prikazano je na slici 5.



Slika 5. Mjesto označavanja API monograma [2]

5. Zaključak

Kontrola kvalitete proizvoda ključan je proces u svakoj proizvodnoj organizaciji. Kada se izrađuje složen i zahtjevan proizvod kao što je zasun 2 9/16" neophodno je pripremiti i poštovati odgovarajući plan kontrole. Sve kontrolne aktivnosti moraju se provesti u skladu s planom i relevantnim normama. Kako bi se dodatno osigurala kvaliteta proizvoda provode se i audit od strane ovlaštenih institucija kao što je API kako bi se potvrdila učinkovitost sustava upravljanja kvalitetom i ispunjenje zahtjeva za proizvod.

6. Literatura

- [1] HRN EN ISO 9001:2015, Sustavi upravljanja kvalitetom-zahtjevi, HZN, 2015
- [2] Lipovac, Josip. Kontrola kvalitete zasuna, Diplomski rad, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2022.
- [3] Kondić, Živko; Maglić, Leon; Pavletić, Duško; Samardžić, Ivan. Kvaliteta 1, Varaždin; Sveučilište Sjever, Strojarski fakultet Slavonski Brod, Sveučilište u Rijeci, 2018.
- [4] Common Valves Used in Oil and Gas Industry. SIO Valve. 2019. URL: <https://en.siovalve.com/valves-used-in-oil-and-gas-industry/>, (20.4.2022.).

Povezivanje računala sigurnom kriptiranom vezom pomoću SSH protokola

Connecting a computers with a secure encrypted connection using SSH protocols

K.Pavelić^{1,*}, K. Kurilj², A. Jurić¹

¹Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Osijek,
Hrvatska

²Odjel za Fiziku Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: kreso@gfos.hr

Sažetak

U današnje vrijeme javlja se potreba naročito u poslovnom svijetu za povezivanjem određenih računalnih sustava (server - klijent, server - server ili klijent - klijent komunikacija) putem sigurnih, zaštićenih i kriptiranih komunikacijskih kanala.

SSH - secure shell je mrežni protokol koji za razliku od svojih prethodnika (telnet, RSH i sličnih) omogućuje takvu sigurnu vrstu komunikacije između dva računala. U radu je objašnjen princip rada SSH protokola, načini korištenja i upotreba programskog paketa Putty.

Ključne riječi: SSH, Putty, komunikacijski kanal

Abstract

Nowadays, there is a need, especially in the business world, to connect certain type of computers (server - client, server - server or client - client communication) through secure, protected and encrypted communication channels.

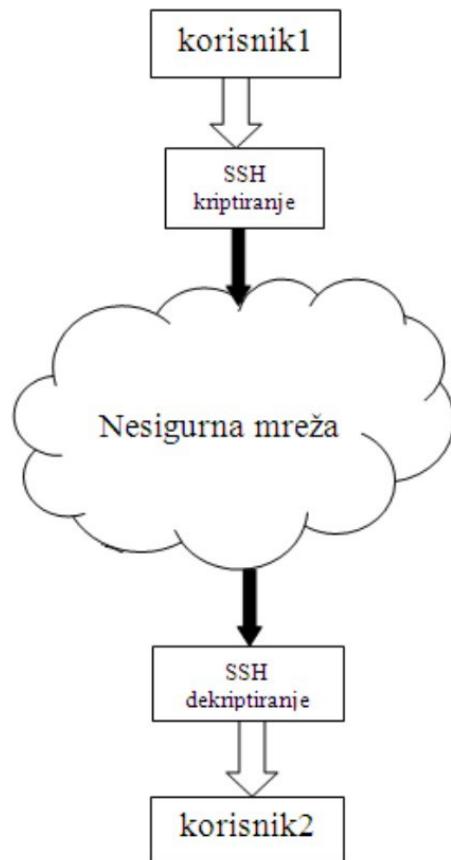
SSH - secure shell is a network protocol that, unlike its predecessors (telnet, RSH and similar), enables such a secure type of communication between two computers. The paper explains the working principle of the SSH protocol, how to use it, and the use of the Putty software package.

Key words: SSH, Putty, communication canal.

1. Uvod

U početcima interneta, 90tih godina prošlog stoljeća, informacije koje su razmjenjivane između računala kretale su se kroz komunikacijski kanal između prijemnika i predajnika. Informacija poslana od strane pošiljatelja stizala je kroz Internet ili lokalnu mrežu otvorena, ne kriptirana i time omogućavala da nekakav zlonamjerni program ili korisnik presretne informaciju, pročita ju ili izmjeni. Za razliku od protokola koji su se tada koristili u komunikaciji

između računala, SSH (Secure SHell) protokol uspostavlja i uvodi zaštitu i tajnost podataka na način da ih kriptira prilikom slanja i dekriptira nakon što korisnik primi podatke[1].



Slika 1. Primjer rada SSH protokola

SSH je u biti mrežna aplikacija koja služi za prijavu i razmjenu informacija između dva računala.

2. SSH protokol

Podaci koji se koriste u komunikaciji moraju biti zaštićeni od neovlaštenog pristupa. Najčešći način zaštite je putem simetričnih algoritama kriptiranja. Naziv simetrični dolazi od toga što se podaci koje treba zaštititi mijenjaju matematički pomoću nekog ključa koji se koristi i kod kriptiranja i kod enkripcije. Sigurnost samih algoritama se temelji na tajnosti ključeva.

Algoritmi koji se koriste za simetričnu enkripciju su AES, Blowfish, Arcfour [1].

Kod ovakvog načina kriptiranja tajnost i dužina samog ključa su esencijalni u sprječavanju proboja i zaštiti samih podataka.

SSH u svojoj komunikaciji koristi port 22 koji se može ukoliko postoji potreba promijeniti u određenim aplikacijama (Putty).

Primjer spajanja pomoću SSH protokola:

ssh kreso@gfos.hr ili ssh kreso@161.53.203.180

U ovom primjeru, kreso je ime korisnika (account name) koji se želi spojiti na računalo/domenu gfos.hr ili određeno računalo definirano IP adresom, u ovom slučaju 161.53.203.180

Komunikacija se tada nastavlja kroz slijedeća tri koraka: Provjera poslužitelja od strane klijenta, generiranje ključa za aktivnu sesiju (trenutnu komunikaciju) kojim će se kriptirati/zaštititi svi podaci i sama autentifikacija odnosno odobravanje pristupa klijentu.

Provjera poslužitelja je proces koji klijentskim aplikacijama omogućuje provjeru identiteta poslužitelja. Ako poslužitelj ne uspije u procesu provjere autentičnosti ključa SSH hosta, tada je moguće da je ključ hosta poslužitelja jednostavno promijenio administrator, što u osnovi nije veliki problem. Međutim, to također može značiti da je netko izveo prijevaru ili napad "čovjek u sredini" i stoga je klijent vjerojatno na rubu povezivanja sa zlonamjernim poslužiteljem.

Provjera autentičnosti poslužitelja pomaže spriječiti da se to dogodi jer ako proces provjere autentičnosti ne uspije, klijent će dobiti odgovarajuće upozorenje.

Dvije važne datoteke su bitne za ovaj proces: known-hosts i authorized_keys

Nakon uspješne provjere poslužitelja, obje strane dogovaraju ključ sesije koristeći Diffie-Hellmanov algoritam. Njime obje strane jednako doprinose generiranju ključa sesije. Tako dobiven ključ je simetričan, tj. isti ključ se koristi za kriptiranje i dekriptiranje podataka.

Završna faza uključuje autentifikaciju klijenta. Autentifikacija se vrši pomoću dva SSH ključa. Jedan je javni ključ koji se koristi za šifriranje podataka dok je drugi privatni ključ koji se koristi za dešifriranje podataka [2].

3. Tijek autentifikacije i komunikacije nakon uspostave sigurne veze

Klijent počinje proces autentifikacije slanjem svojih identifikacijskih podataka poslužitelju.

Poslužitelj provjerava valjanost ključa u datoteci authorized_keys računa na koji se klijent pokušava prijaviti.

Ako se u datoteci pronađe javni ključ s odgovarajućim ID-om, poslužitelj generira nasumični broj, potom koristi javni ključ za šifriranje broja i šalje ovu šifriranu poruku.

Ako klijent ima ispravan privatni ključ, dekriptirat će poruku i pročitat slučajni (rnd) broj koji je generirao poslužitelj.

Klijent tada kombinira dobiveni slučajni broj s dijeljenim ključem sesije i izračunava pomoću MD5 hash generatora koji služi za kriptiranje/dekriptiranje podatke koji su potrebne.

Klijent zatim šalje dobivene podatke natrag na poslužitelj kao odgovor na šifriranu brojčanu poruku. Poslužitelj koristi isti dijeljeni ključ sesije i izvorni broj koji je poslao klijentu kako bi samostalno izračunao vrijednost MD5. Nakon toga uspoređuje vlastiti izračun s onim koji je klijent poslao natrag. Ako se ove dvije vrijednosti poklapaju, to dokazuje da je klijent posjedovao privatni ključ i klijent je odobren pristup.

Asimetrija ključeva omogućuje autentifikaciju klijenta jer klijent može dekriptirati poruke samo ako ima ispravan pridruženi privatni ključ.

Sistemski administrator zadužen za sigurnost i nadzor poslužitelja (servera) određuje koji se klijent smije spojiti na njegov poslužitelj tako da javni ključ klijenta upiše u datoteku authorized_keys. Ta datoteka može sadržavati više javnih ključeva upisivanih jedan ispod drugog te time administrator može dopustiti proizvoljnog broju klijenata pristup poslužitelju. known-hosts datoteka – SSH autentifikacija služi se „fingerprintom“ : To je jedna od funkcija javnog ključa. Koristi se za provjeru i utvrđivanje identiteta poslužitelja. Prilikom inicijalnog spajanja korisnika na poslužitelj, prikazat će mu se fingerprint serverskog računala. Korisnik tada može kontaktirati administratora sustava koji mu diktira sadržaj fingerprinta ili ga pošanje elektroničkim putem. Ukoliko se podaci podudaraju, korisnik tada pohranjuje podatke u known-hosts datoteku kako bi omogućio slijedeće prijave. Bitno je napomenuti da se ti podaci potpuno provjere između korisnika i administratora kako bi se izbjegla bilo kakova mogućnost da se klijent spoji na krivi poslužitelj ili da se serveru omogući pristup zlonamjernoj osobi.

4. Podešavanje SSH

1. Generiranje klijentskog para ključeva: ssh-keygen -t rsa -b 2048 -C kreso@qfos.hr

Klijentov javni i privatni ključ bit će pohranjeni u datotekama ssh/id_rsa.pub odnosno ssh/id_rsa

2. Administratorski sustav treba kopirati klijentov javni ključ na udaljeni poslužitelj u datoteku .ssh/authorized_keys

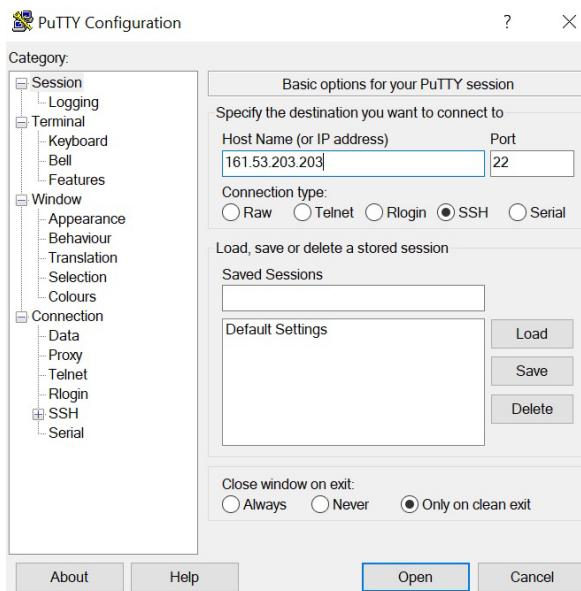
ssh-copy-id -f -i id_rsa.pub server@161.53.203.180

3 : Klijent se zatim može spojiti na udaljeni poslužitelj: ssh [server@161.53.203.180](ssh://server@161.53.203.180)

Također možete stvoriti konfiguracijsku datoteku .ssh/config u kojoj definirate podatke za udaljeni poslužitelj kao što su ime računala (hostname), IP adresu servera, korisničko ime (username) i ključevi.

5. Putty

PuTTY je SSH klijent, izvorno razvijen od strane Simona Tatham-a za Windows platformu. To je softver otvorenog koda koji razvija i održava skupina volontera [3].

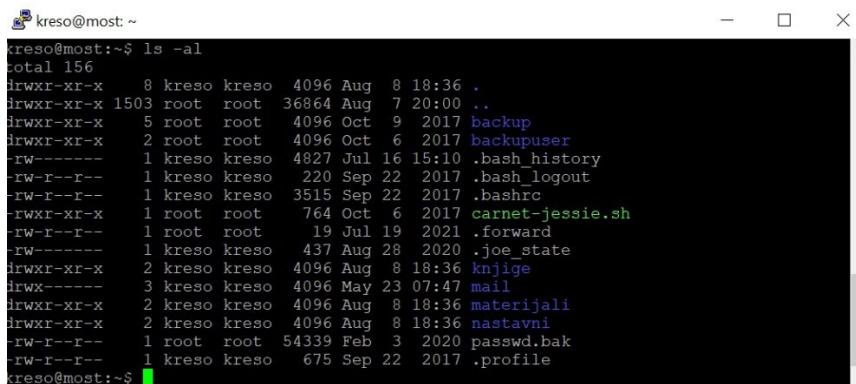


Slika 2. Putty SSH klijent

Na slici 2 se vidi primjer izgleda Putty klijenta namijenjenog SSH komunikaciji sa upisanom IP adresom poslužitelja kojoj korisnik namjerava pristupiti. Umjesto IP adrese moguće je upisati i naziv računala/servera sa pripadajućom domenom. Ako se koristi povezivanje putem standardnog porta 22, klikne se na dugme Open.

Slika 3. Unos pristupnih podataka

Poslužitelj tada od klijenta traži njegove pristupne podatke: korisničko ime i lozinku. Provjerom vjerodajnica, klijentu se dozvoljava ili odbija pristup poslužitelju (slika 3).



```
kreso@most:~$ ls -al
total 156
drwxr-xr-x  8 kreso kreso 4096 Aug  8 18:36 .
drwxr-xr-x 1503 root root 36864 Aug  7 20:00 ..
drwxr-xr-x  5 root root 4096 Oct  9 2017 backup
drwxr-xr-x  2 root root 4096 Oct  6 2017 backupuser
-rw-------  1 kreso kreso 4827 Jul 16 15:10 .bash_history
-rw-r--r--  1 kreso kreso 220 Sep 22 2017 .bash_logout
-rw-r--r--  1 kreso kreso 3515 Sep 22 2017 .bashrc
-rwxr-xr-x  1 root root 764 Oct  6 2017 carnet-jessie.sh
-rw-r--r--  1 root root 19 Jul 19 2021 .forward
-rw-------  1 kreso kreso 437 Aug 28 2020 .joe_state
drwxr-xr-x  2 kreso kreso 4096 Aug  8 18:36 knjige
drwxr-xr-x  3 kreso kreso 4096 May 23 07:47 mail
drwxr-xr-x  2 kreso kreso 4096 Aug  8 18:36 materijali
drwxr-xr-x  2 kreso kreso 4096 Aug  8 18:36 nastavni
-rw-r--r--  1 root root 54339 Feb  3 2020 passwd.bak
-rw-r--r--  1 kreso kreso 675 Sep 22 2017 .profile
kreso@most:~$
```

Slika 4. Pristup klijentskim podacima na serveru

Ukoliko je klijent uspješno prošao postupak autentifikacije, dozvoljava mu se pristup podacima za koje ima ovlasti, u ovom slučaju to je njegov osobni folder sa podacima. Plavo su označene mape , bijelo datoteke, a zeleno izvršne datoteke (slika 4).

6. Zaključak

SSH protokol, nastao 1995. godine od strane Tatu Ylonen-a, omogućuje sistemskim administratorima sigurno povezivanje sa udaljenim računalima preko nezaštićene mreže (LAN, Internet...). U današnje vrijeme se zna da sama koncepcija pristupa pomoću korisničkog imena i lozinke određenim računalima i podacima ne nudi dovoljnu razinu sigurnosti pogotovo u poslovnom okruženju. Zbog toga se prelazi na autentifikaciju putem SSH ključeva. To je sigurna alternativa prethodnim protokolima za prijavu kao što je bio Telnet i nesigurnim sustavima prijenosa datoteka kao što je FTP. Osim što pruža jaku enkripciju i zaštitu, sistemski administratori ga koriste sve više u komunikaciji sa udaljenim računalima radi nadzora, sigurnosti, održavanja i transfera podataka [4].

7. Literatura

- [1] <https://www.cert.hr/wp-content/uploads/2009/08/CCERT-PUBDOC-2009-08-272.pdf>,
SSH protokol CCERT-PUBDOC-2009-08-272, Carnet CERT (**Internet stranica**)
- [2] <https://schh.medium.com/ssh-for-dummies-ea168e6ff547> (**Internet stranica**)
- [3] <https://www.putty.org/> (**Internet stranica**)
- [4] <https://www.keyfactor.com/blog/ssh-protocol/> (**Internet stranica**)

Toplinsko naštrcavanje legura na bazi Ni, CrC i WC u svrhu poboljšanja svojstava površine

Thermal spraying of Ni, CrC, and WC based alloys to improve surface properties

I. Vidaković^{1,*}, G. Heffer¹, K. Šimunović², I. Samardžić², G. Pačarek¹, D. Petrović¹

¹Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska

² Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: i.vidakovic@fazos.hr

Sažetak

U radu su prikazane karakteristike triju postupaka toplinskog naštrcavanja - naštrcavanja pomoću plinskog plamena, naštrcavanja plazmom prenesenim lukom i naštrcavanja velikim brzinama čestica. Navedeni postupci prikladni su za nanošenje legura na bazi nikla, krom karbida i volfram karbida koje su primjenjive u uvjetima gdje je potrebna visoka korozija otpornost i otpornost na trošenje. Također, u radu su opisana svojstva ovih legura (konkretno NiCrBSi, NiCrBSi-WC, NiBSi-WC, CrC-NiCr, WC-CoCr) te tehnički parametri navedenih postupaka toplinskog naštrcavanja.

Ključne riječi: toplinsko naštrcavanje, NiCrBSi, NiBSi-WC, CrC-NiCr, WC-CoCr

Abstract

The paper presents the characteristics of three thermal spray processes - flame spraying (FS process), plasma transferred arc process (PTA process) and high velocity oxygen fuel (HVOF process). The above processes are suitable for the deposition of alloys based on nickel, chromium carbide and tungsten carbide, which can be used in conditions requiring high corrosion and wear resistance. Moreover, the properties of these alloys (in particular NiCrBSi, NiCrBSi-WC, NiBSi-WC, CrC-NiCr, WC-CoCr) and the technical parameters of the above thermal spraying processes are described.

Keywords: thermal spraying, NiCrBSi, NiBSi-WC, CrC-NiCr, WC-CoCr

1. Uvod

Tijekom eksploatacije, radni dijelovi mnogih tehničkih sustava izloženi su različitim oblicima trošenja. Trošenje ima za posljedicu oštećenje i raniju zamjenu istrošenih dijelova, što dovodi do povećanja ukupnih troškova održavanja. Kako bi se smanjio utjecaj trošenja i izbjegao raniji otkaz radnih dijelova, na površine izložene trošenju nanose se prevlake otporne na trošenje, različitim postupcima toplinskog naštrcavanja [1-3]. Ovi postupci često se primjenjuju i istraživani su u mnogim znanstvenim radovima. Ubrajaju se u postupke prevlačenja, odnosno u postupke oplemenjivanja površina [4, 5], a dio su skupine postupaka inženjerstva površina. Prevlake nanesene postupcima toplinskog naštrcavanja primjenjuju se u svrhu povećanja otpornosti na trošenje i koroziju, a imaju primjenu u gotovo svim granama industrije: automobilskoj industriji, termoelektranama, hidroelektranama, nuklearnim elektranama, postrojenjima za spaljivanje otpada, zrakoplovnoj industriji, općoj strojogradnji, medicinskoj tehnici, kemijskoj industriji, industriji stakla, papirnoj i tiskarskoj industriji, itd. [5].

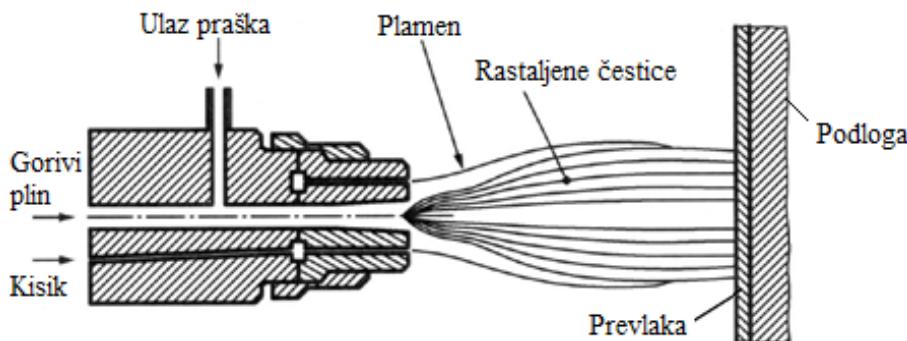
Postupcima toplinskog naštrcavanja vrlo se često nanose prevlake od legura na bazi nikla (Ni), krom karbida (CrC) i volfram karbida (WC). Navedene prevlake imaju visoku čvrstoću prianjanja, dobru otpornost na koroziju i trošenje pri visokim temperaturama te se primjenjuju na dijelovima koji su tijekom eksploatacije izloženi djelovanju različitih oblika trošenja ili korozije [6]. Ove prevlake, kao i mnoštvo drugih vrsta prevlaka, mogu se naštrcavati sljedećim postupcima: naštrcavanje pomoću plinskog plamena, naštrcavanje velikim brzinama čestica, naštrcavanje detonacijskim pištoljem, elektrolučno naštrcavanje, naštrcavanje plazmom, naštrcavanje plazmom prenesenim lukom, naštrcavanje laserom. Nakon provedbe pojedinih postupaka toplinskog naštrcavanja (uglavnom naštrcavanja pomoću plinskog plamena, naštrcavanja velikim brzinama čestica i naštrcavanja plazmom) često se provodi postupak utaljivanja (engl. *fusing, remelting, melting...*) nanesenih prevlaka s ciljem smanjenja poroznosti prevlake i ostvarivanja metalurške veze između prevlake i podloge. Postupak utaljivanja moguće je izvoditi u dva koraka - nakon postupka naštrcavanja ili u jednom koraku - istovremeno tijekom postupka naštrcavanja.

U nastavku rada prikazane su osnovne karakteristike i princip rada postupaka naštrcavanja pomoću plinskog plamena, naštrcavanja velikim brzinama čestica te postupka naštrcavanja plazmom prenesenim lukom. Također, opisana su svojstva tri prevlake na bazi nikla (NiCrBSi, NiCrBSi-WC i NiBSi-WC) te prevlake na bazi krom karbida (CrC-NiCr) i prevlake na bazi volfram karbida (WC-CoCr) koje su nanesene određenim postupkom toplinskog naštrcavanja.

2. Teorijski dio – opis primjenjenih postupaka naštrcavanja

2.1. Naštrcavanje pomoću plinskog plamena

Postupak naštrcavanja pomoću plinskog plamena (engl. *flame spraying - FS*) koristi kemijsku energiju izgaranja gorivih plinova u kisiku za stvaranje topline potrebne za taljenje polaznog materijala koji je najčešće u obliku praha ili žice. Na slici 1 dan je shematski prikaz postupka naštrcavanja pomoću plinskog plamena kod kojeg se koristi prah kao polazni materijal od kojeg nastaje prevlaka.



Slika 1. Shematski prikaz postupka naštrcavanja pomoću plinskog plamena - polazni materijal prah [3]

Kao gorivi plin uglavnom se koristi acetilen, a također je moguća primjena i nekih drugih plinova, kao npr. propan ili vodik. Prema kriteriju brzine rastaljenih čestica postupak naštrcavanja pomoću plinskog plamena ubraja se u postupke naštrcavanja malim brzinama jer je brzina naštrcavanja manja od 100 m/s [1].

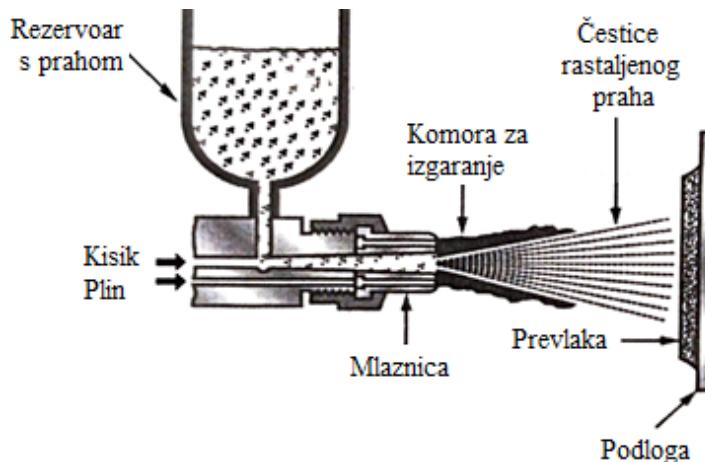
Postupci naštrcavanja pomoću plinskog plamena razlikuju se po temperaturi podloge na koju se prevlaka nanosi i dijele se na hladni i topli postupak. Kod hladnog postupka naštrcavanja pomoću plinskog plamena temperature na površini podloge su niske (do 200 °C) te se između prevlake i podloge uspostavlja mehanička veza [7]. Kod toplog postupka naštrcavanja pomoću plinskog plamena, između prevlake i podloge stvara se metalurška veza [7]. Ovaj postupak naštrcavanja može se provesti u jednom koraku uz istovremeno naštrcavanje i utaljivanje (temperatura oko 1000 °C) ili u dva koraka gdje se nakon postupka naštrcavanja provode različiti postupci utaljivanja (indukcijski, plamenom, u peći, laserom).

2.2. Naštrcavanje velikim brzinama čestica

Postupak naštrcavanja velikim brzinama čestica poznat je pod nazivom HVOF (engl. *High Velocity Oxy-Fuel*) prilikom izgaranja goriva i kisika, dok prilikom izgaranja goriva i zraka ovaj se postupak naziva HVAF (engl. *High Velocity Air-Fuel*). HVOF postupak koristi isti princip izgaranja goriva i kisika kao i postupak naštrcavanja pomoću plinskog plamena. Razlika HVOF postupka u odnosu na postupak naštrcavanja pomoću plinskog plamena je znatno veća brzina plamena i rastaljenih čestica. Kod ovog postupka brzina plamena doseže 2100 m/s, dok brzine rastaljenih čestica mogu doseći 800 m/s [1].

Na slici 2 dan je shematski prikaz postupka naštrcavanja velikim brzinama čestica. Proces izgaranja goriva (propan, vodik, acetilen, zemni plin ili kerozin) i kisika odvija se u komori izgaranja pod visokim tlakom. Na kraju komore nalazi se de Lavalova mlaznica kroz koju struje plinovi izgaranja i rastaljene čestice te zbog visokog tlaka i velike brzine protoka dosežu navedene brzine. Ovisno o vrsti primijenjenog goriva i tlaku u komori izgaranja, temperatura izlaznog mlaza može doseći do 3200 °C.

HVOF postupkom vrlo se često naštrcavaju legure na bazi kobalta i kroma. Debljina nanesenih prevlaka kreće se u rasponu od 100 do 300 µm, a odlikuju se visokom otpornošću na trošenje, koroziju i oksidaciju [1].

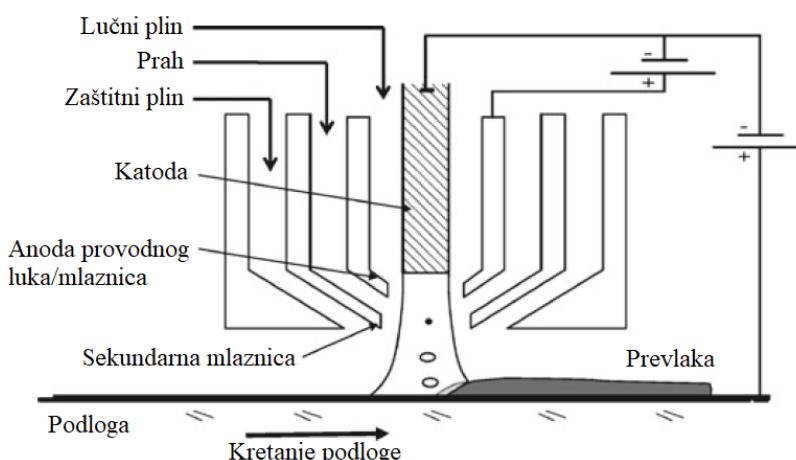


Slika 2. Shematski prikaz postupka naštrcavanja velikim brzinama čestica [5]

2.3. Naštrcavanje plazmom prenesenim lukom

Postupak naštrcavanja plazmom prenesenim lukom (engl. *Plasma Transferred Arc - PTA*) svrstava se u postupke navarivanja, ali se često ubraja i u postupke naštrcavanja, osobito kada se kao dodatni materijal koristi prah [1].

Kod ovog postupka, luk se prenosi na materijal podloge koji zapravo služi kao anoda. Na površini podloge stvara se rastaljeni bazen pri čemu se čestice praha unose u luk gdje se zagrijavaju, ali se ne tale već se lijepe na podlogu nakon čega ih preneseni luk rastaljuje. Ovisno o snazi plamenika mogu se nanositi prilično velike količine praha, do 30 kg/sat [1]. Na slici 3 dan je shematski prikaz postupka naštrcavanja plazmom prenesenim lukom.



Slika 3. Shematski prikaz postupka naštrcavanja plazmom prenesenim lukom [1]

Prevlake nanesene PTA postupkom razlikuju se od prevlaka nanesenih nekim drugim postupcima toplinskog naštrcavanja jer se materijal podloge zagrijava i djelomično tali pod djelovanjem električnog luka, a rastaljeni prah se miješa s rastaljenim materijalom podloge. Kao posljedica tog miješanja je dobra metalurška veza između prevlake i podloge, ali navedeno miješanje može promijeniti svojstva prevlake i podloge [1].

U usporedbi s ostalim toplinski naštrcanim prevlakama, prevlake nanesene ovim postupkom su gušće i metalurški vezane za podlogu. Izbor polaznog materijala za nastajanje prevlake i materijala podloge za primjenu PTA postupka naštrcavanja ograničen je na elektroprovodljive materijale [1].

3. Eksperimentalni dio – prahovi za naštrcavanje i nanesene prevlake

Prahovi za naštrcavanje prethodno navedenim postupcima naštrcavanja dizajnirani su za točno određeni postupak i opremu naštrcavanja i uglavnom nije moguće naštrcavanje bilo kojeg praha bilo kojim postupkom, tj. opremom toplinskog naštrcavanja. Sukladno tome, u nastavku su prikazani tehnički podaci i kemijski sastav tri legure na bazi nikla te legure na bazi krom karbida i legure na bazi volfram karbida nanesene s tri različita postupka.

3.1. Prevlake nanesene postupkom naštrcavanja pomoću plinskog plamena

Postupkom naštrcavanja pomoću plinskog plamena uz istovremeno utaljivanje nanesene su dvije legure na bazi nikla. Legura NiCrBSi je trgovačkog naziva Eutalloy 10009, BoroTec i sljedećeg je kemijskog sastava: 0,7 % C, 15 % Cr, 3,5 % Fe, 3,2 % B, 4,4 % Si, ostatak % Ni; proizvođač (Castolin) za ovu prevlaku navodi tvrdoću oko 56 HRC, gustoću 7,8 g/cm³ i radnu temperaturu, temperaturu utaljivanja od 1040 °C. Legura NiCrBSi-WC trgovačkog naziva Eutalloy 10112, TungTec sastavljena je od 60 % volfram karbida i 40 % matrice na bazi nikla. Kemijski sastav praha je max. 0,1 % C, 7 % Cr, 5,8 % Fe, 3 % B, 4,5 % Si, ostatak % Ni; prema proizvođaču (Castolin), ova prevlaka ima tvrdoću matice oko 59 HRC i tvrdoću čestica karbida oko 1900 HV1, pri čemu proizvođač navodi da vrijednosti tvrdoće prevlaka ovise o postupku naštrcavanja, temperaturi predgrijavanja, itd. te da postizanje navedenih tvrdoća nije zajamčeno.

3.2. Prevlaka nanesena postupkom naštrcavanja plazmom prenesenim lukom

Postupkom naštrcavanja plazmom prenesenim lukom, nanesen je prah legure NiBSi-WC, trgovačkog naziva EutroLoy PG 6503 s matricom na bazi nikla uz dodatak čestica volfram karbida u odnosu 60 % volfram karbida i 40 % matrice. Kemijski sastav praha je 0,1 % C, 2,47 % B, 3,47 % Si, 0,2 % Cr, 0,69 % Fe, 0,0125 % O, 0,0005 % S, ostatak % Ni; za ovu prevlaku proizvođač (Castolin) navodi gustoću od 11,2 g/cm³, radnu temperaturu ≈ 650 °C i temperaturu taljenja ≈ 1370 °C.

Legure na bazi nikla razvijene su kao kombinacija legirnih elemenata (Cr, B, Si, C) s ciljem ostvarivanja prevlaka male poroznosti i dobre metalurške veze s podlogom. U žilavoj matrici na bazi nikla, dodatak kroma ima utjecaj na koroziju postojanost i oksidacijsku otpornost, prisutnost bora i silicija utječe na snižavanje temperature taljenja, poboljšanje samotečenja legure i pomoći je kod procesa naknadnog utaljivanja, dok prisutnost ugljika omogućava stvaranje karbida koji mogu povećati tvrdoću i otpornost na trošenje prevlaka [8-10].

3.3. Prevlake nanesene postupkom naštrcavanja velikim brzinama čestica

Postupkom naštrcavanja velikim brzinama čestica nanesene su dvije vrste prahova. Legura na bazi krom karbida s matricom na bazi nikla i kroma (CrC-NiCr) sastavljena je od 80 % tvrdih čestica krom karbida i 20 % nikl-krom matrice. Ova legura nosi trgovacki naziv

CastoJet HVOF - prah, 55580C i sljedećeg je kemijskog sastava: osnova Cr, 10,20 %C, 16 % Ni, 0,25 % Fe, 0,26 % ostalo. Proizvođač (Castolin) navodi da ova prevlaka ima gustoću od 2,5 g/cm³, mikrotvrdoću od 1200 HV0,3 te radnu temperaturu do 840 °C. Kod legura na bazi krom karbida s matricom od kroma i nikla, krom karbid osigurava visoku otpornost na trošenje, dok prisutnost nikla i kroma u matrici osigurava tvrdoću, žilavost i koroziju postojanost matrice [11-13]. Legura na bazi volfram karbida s matricom na bazi kobalta i kroma (WC-CoCr), sastavljena je od 86 % tvrdih čestica volfram karbida, 10 % kobalta i 4 % kroma. Ova legura nosi trgovачki naziv CastoJet HVOF - prah, 55586C i sljedećeg je kemijskog sastava: osnova W, 5,2 % C, slobodni C, 10 % Co, 4 % Cr, 0,05 % Ta, 0,05 % Ni, 0,05 % Ti, 0,1 % ostalo. Prema proizvođaču (Castolin) ova prevlaka ima gustoću 5 g/cm³, mikrotvrdoću 1230 HV0,3 te radnu temperaturu do 520 °C. U legurama na bazi volfram karbida s matricom od kobalta i kroma, volfram karbid osigurava visoku tvrdoću i otpornost na trošenje dok dodatak kobalta i kroma osigurava dobra mehanička svojstva prevlake i visoku čvrstoću vezivanja čestica karbida unutar matrice [14,15].

3.4. Parametri primjenjenih postupaka toplinskog naštrcavanja

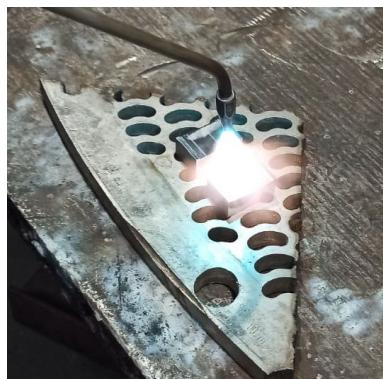
Kako je navedeno, ovisno o vrsti praha, primijenjena su tri različita postupka toplinskog naštrcavanja [6] na podlozi od poboljšanog čelika 42CrMo4 te su u nastavku prikazana svojstva podloge i parametri svakog pojedinog postupka.

3.4.1. Svojstva materijala podloge

Postupci naštrcavanja provedeni su na podlozi od poboljšanog čelika 42CrMo4, sljedećeg kemijskog sastava: 0,358 % C, 0,288 % Si, 0,77 % Mn, 0,0081 % P, 0,0117 % S, 1,06 % Cr i 0,152 % Mo. Navedeni čelik ubraja se u skupinu niskolegiranih čelika za poboljšavanje, visoke čvrstoće i upotrebljava se za izradu visoko opterećenih strojnih elemenata, dijelova izloženih trošenju kod građevinski i poljoprivrednih strojeva, itd. Dimenzije uzoraka za naštrcavanje bile su 40x25x15 mm.

3.4.2. Parametri postupka naštrcavanja pomoću plinskog plamena

Primijenjen je postupak naštrcavanja NiCrBSi i NiCrBSi-WC legura (opisanih u poglavljju 3.1.) pomoću plinskog plamena s istovremenim utaljivanjem s ciljem ostvarivanja metalurške veze između prevlake i podloge. U ovom slučaju temperatura utaljivanja iznosila je oko 1040 °C. Prije postupka naštrcavanja provedena je priprema površine koja je obuhvaćala čišćenje i odmašćivanje površine te ohrapavljanje površine ručnim brušenjem. Navedeni postupak proveden je s pištoljem (*Castolin SuperJet Eutalloy*) koji koristi mješavinu plinova kisika i acetilena za izgaranje. Unutar pištolja dolazi do miješanja smjese plinova i praha, nakon čega rastaljene čestice izlaze iz plamenika u obliku plamena. Nakon izlaska iz pištolja, smjesa se istovremeno nanosi na podlogu i utaljuje pri čemu se ostvaruje metalurška veza između prevlake i podloge. Na slici 4 prikazane su faze ovog postupka. Primijenjeni plamenik koristi tlak kisika 2,0 bara i tlak plina acetilena 0,5 bara. Za postizanje zahtijevane debljine prevlake, prevlaka je nanesena kroz više prolaza.



a) Postupak ugrijavanja podloge



b) Postupak naštrcavanja pomoću plinskog plamena s istovremenim utaljivanjem

Slika 4. Postupak naštrcavanja pomoću plinskog plamena s istovremenim utaljivanjem

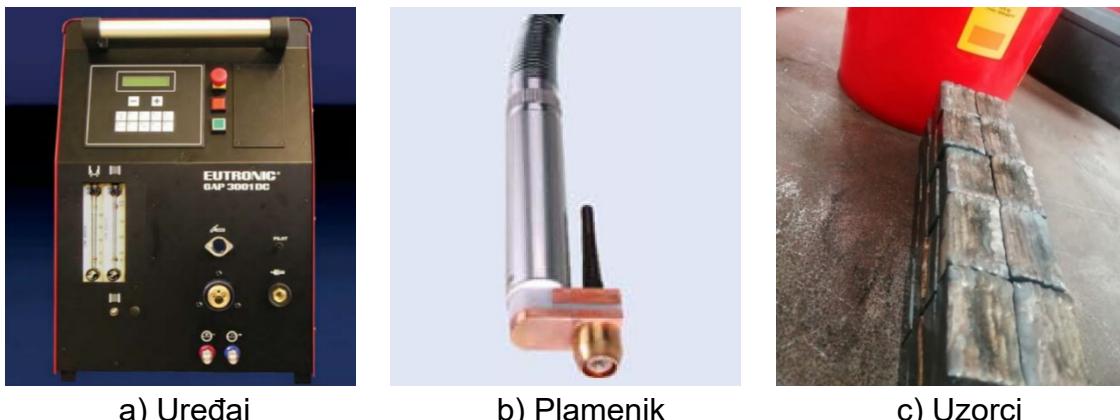
3.4.3. Parametri postupka naštrcavanja plazmom prenesenim lukom

Parametri postupka naštrcavanja plazmom prenesenim lukom odabiru se prema vrsti praha za naštrcavanje. Parametri primjenjeni u postupku naštrcavanja navedeni su u tablici 1.

Tablica 1. Parametri postupka naštrcavanja plazmom prenesenim lukom (PTA) [16]

PARAMETRI	NiBSi-WC (<i>EutroLoy PG6503</i>)
Primijenjeni sustav	GAP 3001 DC
Plamenik	E52
Anoda	3 mm/90°
Katoda	Standardna
Mlaznica zaštitnog plina	Standardna
Plazma plin	Argon + 5 % vodika (1,5 l/min)
Transportni plin	Argon + 5 % vodika (2,0 l/min)
Zaštitni plin	Argon + 5 % vodika (13 l/min)
Tip dobave praha	EP2
Količina dobave praha	2,2 kg/sat
Jakost struje zavarivanja	25 A
Napon struje	20 V

Postupak naštrcavanja plazmom prenesenim lukom (PTA postupak) primijenjen je za nanošenje legure na bazi nikla (NiBSi-WC) (opisane u poglavљу 3.2.) te je izведен s uređajem Castolin EuTronic GAP 3001 DC. Na slikama 5 a) i b) prikazana je oprema za postupak naštrcavanja plazmom prenesenim lukom; postolje na koje se postavlja plamenik je računalom upravljanu i ima mogućnost gibanja u tri osi. Također, na slici 5 c) prikazani su uzorci s prevlakama nanesenim PTA postupkom. Potrebno je navesti da je prije postupka naštrcavanja proveden isti postupak pripreme površine kao i kod postupka plinskog naštrcavanja s istovremenim utaljivanjem.



Slika 5. Oprema za postupak naštrcavanja plazmom prenesenim lukom

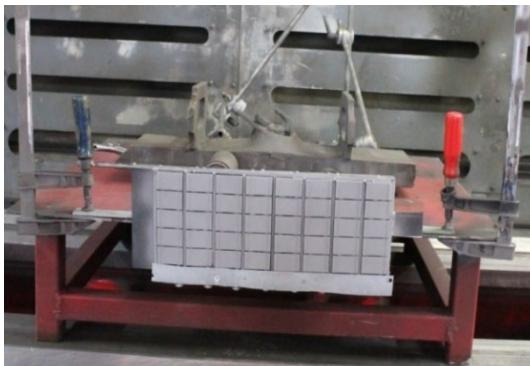
3.4.4. Parametri postupka naštrcavanja velikim brzinama čestica

Parametri primjenjeni u postupku naštrcavanja velikim brzinama čestica navedeni su u tablici 2. Ovisno o vrsti praha za naštrcavanje mijenjaju se parametri postupka naštrcavanja.

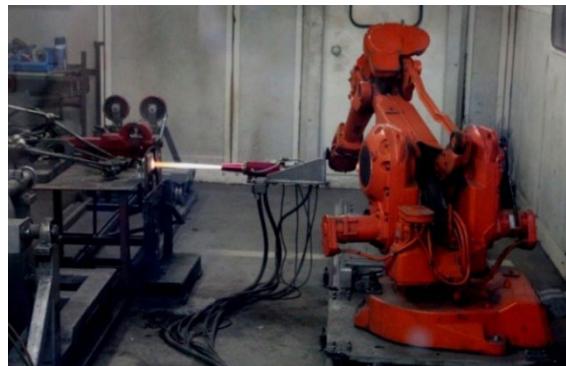
Tablica 2. Parametri postupka naštrcavanja velikim brzinama čestica [17,18]

PARAMETRI	CrC-NiCr (CastoJet® HVOF - prah, 55580C)	WC-CoCr (CastoJet® HVOF - prah, 55586C)
Duljina mlaznice	150 mm	150 mm
Brzina protoka kerozina	378 ml/min	380 ml/min
Brzina protoka kisika	811 Nl/min	845 Nl/min
Količina dobave praha	31,74 g/min	54,91 g/min
Tlok komore	7 bar	7 bar
Udaljenost naštrcavanja	350 mm	350 mm

Prevlake na bazi krom karbida (CrC-NiCr) i volfram karbida (WC-CoCr), opisane u poglavljju 3.3. nanesene su postupkom naštrcavanja velikim brzinama čestica (HVOF postupak), sustavom CastoJet CJK5. Navedeni sustav je postupak naštrcavanja velikim brzinama, koristi se kerozin kao tekuće gorivo te kisik koji se dovodi u komoru za izgaranje. Dobiveni vrući plin pod tlakom oko 1 MPa izlazi kroz mlaznicu gdje se usmjerava prema površini naštrcavanja. Brzina mlaza na izlazu iz mlaznice je veća od 1000 m/s. U struju plinova izgaranja ubrizgava se prah za naštrcavanje koji postiže brzinu do 800 m/s. Prahovi se u struji plina djelomično tale i nanose na podlogu. Postupak naštrcavanja proveden je uporabom robotske ruke ABB IRB 2400. Na slici 6 prikazana je naprava za pozicioniranje uzorka i robotska ruka. Prije postupka naštrcavanja proveden je postupak pripreme površine koji se sastojao od čišćenja i odmašćivanja površine, pjeskarenja uzorka glinicom te postavljanja uzorka u napravu za točno pozicioniranje.



a) Naprava za pozicioniranje uzoraka



b) Robotska ruka ABB IRB 2400

Slika 6. Oprema korištena u postupku naštrcavanja velikim brzinama čestica

4. Zaključak

Postupci toplinskog naštrcavanja - naštrcavanje pomoću plinskog plamena s istovremenim utaljivanjem, naštrcavanje plazmom prenesenim lukom i naštrcavanje velikim brzinama čestica, koji su prikazani u radu, prikladni su za nanošenje opisanih prevlaka na bazi nikla, krom karbida i volfram karbida. Vizualnom kontrolom uzorka utvrđeno je da su dobivene prevlake bez pukotina te dobre čvrstoće prianjanja budući da na nijednom uzorku nije došlo do odvajanja prevlake od podloge. Mjeranjem površinske tvrdoće uzorka, utvrđeno je da su dobivene prevlake visoke tvrdoće koja je približno jednaka deklariranoj tvrdoći. Budući da proizvođač prahova (Castolin) navodi visoku otpornost na trošenje i koroziju čak i na visokim temperaturama, nastavak istraživanja mogao bi ići u smjeru utvrđivanja korozijske otpornosti prevlaka, koja je istraživana u manjoj mjeri u usporedbi s tribološkim svojstvima.

5. Literatura

- [1] Fauchais, Pierre L.; Heberlein, Joachim V.R.; Bolous, Maher I. Thermal Spray Fundamentals, From powder to Parts, New York, Heidelberg, Dordrecht, London, Springer, 2014, 1566 str. (ISBN-13: 978-0387283197)
- [2] Davis, Joseph R. Handbook of Thermal Spray Technology, Materials Park, Novelty, Ohio, ASM International, 2004, 338 str. (ISBN 0-87170-795-0)
- [3] HRN EN ISO 14917:2017, Toplinsko naštrcavanje - Nazivlje, razredba (ISO 14917:2017; EN ISO 14917:2017); Thermal spraying - Terminology, clasification (ISO 14917:2017; EN ISO 14917:2017), Zagreb, Hrvatski zavod za norme, 2017, 25 str.
- [4] Stupnišek, Mladen; Matijević, Božo. Pregled postupaka modificiranja i prevlačenja metala, Znanstveno stručni skup s međunarodnim učešćem Toplinska obradba metala i inženjerstvo površina: Zbornik radova, Zagreb, Hrvatsko društvo za toplinsku obradbu i inženjerstvo površina, 2000, str. 53-62
- [5] Filetin, Tomislav; Grilec, Krešimir. Postupci modificiranja i prevlačenja površina, Priručnik za primjenu, Zagreb, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, 2004, 257 str.
- [6] Vidaković, Ivan. Statističko modeliranje i optimiranje trošenja tvrdih toplinski naštrcanih prevlaka u masi abraziva // Doktorska disertacija, Slavonski Brod: Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2021.

- [7] Šimunović, Katica; Grilec, Krešimir; Ivušić, Vinko. Istraživanje otpornosti plinski naštrcanih NiCrBSi slojeva na erozijsko trošenje // *Tehnički vjesnik* 14(2007), 1,2; 59-64. (ISSN 1330-3651).
- [8] Usana-ampaipong, Tharanon; Dumkum, Chaiya; Tuchinda, Karuna; Tangwarodomnukun, Viboon; Teeraprawatekul, Boonyawat; Qi, Huan. Surface and Subsurface Characteristics of NiCrBSi Coating with Different WC Amount Prepared by Flame Spray Method // *Journal of Thermal Spray Technology*, 28(2019), 580-590. (ISSN1059-9630).
- [9] Islak, Serkan; Buytoz, Soner. Microstructure properties of HVOF-sprayed NiCrBSi/WCCo-based composite coatings on AISI 1040 steel // *Optoelectronics and Advanced Materials, Rapid Communications*, 7(2013), 11-12; 900-903.
- [10] Houdková, Šárka; Vostfák, Marek; Hruška, Matěj; Říha, Jan; Smazalová, Eva; Česánek, Zdenek; Schubert, Jan. Comparison of NiCrBSi coatings, HVOF sprayed, remelted by flame and by high-power laser // *Metal 2013, 22nd International Conference on Metallurgy and Materials*. (ISBN: 978-80-87294-39-0). Brno, 15.05.-17.05. 2013, Czech Republic, 982-987.
- [11] Houdková, Šárka; Česánek, Zdenek; Kašparová, Michaela; Schubert, Jan. Spraying parameters study of HVOF coatings, based on CrC // *Metal 2013, 22nd International Conference on Metallurgy and Materials*. (ISBN: 978-80-87294-39-0). Brno, 15.05.-17.05. 2013, Czech Republic, 915-920.
- [12] Straffelini, Giovanni; Federici, Matteo. HVOF Cermet Coatings to Improve Sliding Wear Resistance in Engineering Systems // *Coatings*. 10(2020); 886.
- [13] Schubert, Jan; Česánek, Zdeněk; Bláhová, Olga. Mechanical Properties of HVOF Sprayed CrC-NiCr Coating Exposed to Hot Corrosion Environment // *Key Engineering Materials*. 784(2018); 141-146. (ISSN: 1662-9795).
- [14] Berger, Lutz-Michael. Application of hardmetals as thermal spray coatings // *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 49(2015); 350-364. (ISSN: 0263-4368).
- [15] Song, Bo; Murray, James W.; Wellman, Richard G.; Pala, Zdenek; Hussain, Tanvir. Dry sliding wear behaviour of HVOF thermal sprayed WC-Co-Cr and WC-Cr_xC_y-Ni coatings // *Wear*, 442-443 (2019), 15, 203114. (ISSN: 0043-1648).
- [16] Priručnik Castolin:
<https://www.castolin.com/sites/default/files/products/docs/6503-PTA-Powder.pdf>
 (7.9.2022.)
- [17] Priručnik Castolin:
[URL:https://www.castolin.com/sites/default/files/products/docs/HVOF-pulver-55580C.pdf](https://www.castolin.com/sites/default/files/products/docs/HVOF-pulver-55580C.pdf) (7.9.2022.)
- [18] Priručnik Castolin:
[URL:https://www.castolin.com/sites/default/files/products/docs/HVOF-powder-CastoJet-55586C.pdf](https://www.castolin.com/sites/default/files/products/docs/HVOF-powder-CastoJet-55586C.pdf) (7.9.2022.)

Analiza utjecaja parametara obrade mlazom abraziva na hrapavost i izgled obrađene površine

Analysis of the influence of abrasive blasting parameters on the roughness and appearance of the treated surface

T. Šolić^{1,*}, D. Marić¹, I. Peko², A. Bašić¹, B. Kovačević¹, I. Kovačević¹, I. Samardžić¹

¹Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod,
Hrvatska

²Prirodoslovno-matematički fakultet u Splitu, Sveučilište u Splitu, Split, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: tsolic@unisb.hr

Sažetak

Razvoj korozijskih mehanizama može uzrokovati značajne gubitke funkcionalnih svojstava konstrukcije, koji će rezultirati velikim troškovima sanacije. Kako bi se njihov razvoj spriječio potrebno je mijenjati vanjske ili unutarnje faktore oštećivanja, ili pak stvarati barijeru između agresivne okoline i štićenog materijala. Jedan od načina stvaranja zaštitne barijere je aplikacija organskih premaza. Kako bi zaštitni premaz ispunio svoju funkciju, preduvjet je dobro pripremljena podloga, što će nadalje rezultirati ostvarivanjem zadovoljavajućih adhezijskih svojstava između štićenog materijala i premaza. Bez obzira na kvalitetu pojedinačnih komponenti od kojih je premaz izrađen, ukoliko nisu zadovoljena adhezijska svojstva, zaštitna funkcija premaza neće u potpunosti biti ostvarena. Tehnologija koja se može koristiti za odstranjivanje prethodno nastalog koroziskog produkta te stvaranje određene hrapavosti i profila površine je obrada površine mlazom abraziva. Kako bi se naglasila važnost kvalitete pripreme površine za aplikaciju premaza, u eksperimentalnom dijelu rada varirani su određeni parametri obrade. Varirane su različite kombinacije abrazivnog sredstva, granulacije abraziva te radnog tlaka pod kojim je abraziv izlazio iz mlaznice pištolja. Analizom dobivenih rezultata proizašlih mjerjenjem hrapavosti te snimanjem profila obrađene površine jasno je vidljiv njihov utjecaj na izgled i hrapavost površine.

Ključne riječi: korozija, površinska zaštita, obrada mlazom abraziva, hrapavost površine

Abstract

The development of corrosion mechanisms can cause significant losses of the functional properties of the structure, which will result in high costs of recovery. In order to prevent their development, it is necessary to change external or internal damage factors, or to create a

barrier between the aggressive environment and the protected material. One of the ways to create a protective barrier is the application of organic coatings. In order for the protective coating to fulfill its function, a well-prepared substrate is a prerequisite, which will further result in achieving satisfactory adhesion properties between the protected material and the coating. Regardless of the quality of the individual components from which the coating is made, if the adhesive properties are not satisfied, the protective function of the coating will not be fully realized. A technology that can be used to remove previously formed corrosion products and create a certain roughness and surface profile is abrasive blasting. In order to emphasize the importance of the quality of surface preparation for coating application, certain processing parameters were varied in the experimental part of the work. Different combinations of the abrasive agent, the granulation of the abrasive and the working pressure under which the abrasive came out of the nozzle of the gun were varied. Analysis of the results obtained by measuring the roughness and recording the profile of the treated surface clearly shows their influence on the appearance and roughness of the surface.

Key words: corrosion, surface protection, abrasive blasting, surface roughness

1. Uvod

Razvoj korozijskih procesa na konstrukcijskim materijalima uvjetovan je raznim čimbenicima poput sredine u kojoj se odvijaju, materijala koji su u kontaktu, karakteristika samih materijala i mnogih drugih [1]. Korozija, kao jedan od glavnih faktora krize u svijetu materijala i energije, uzročnik je značajnih gubitaka gospodarstva svake države. Korozijskim se djelovanjem na materijal prije svega smanjuje masa i uporabna vrijednost, a skraćuje se i vijek trajanja opreme. Istraživanja u Sjedinjenim Državama, Japanu i Europskoj uniji ukazuju da je korozija veliki štetnik ljudskih dobara. Istraživanja prezentirana 2016. godine, a koja se odnose na 2013. godinu, su pokazala da su troškovi korozije na svjetskom nivou procijenjeni na 2,5 bilijuna američkih dolara, što je ekvivalentno 3,5% globalnog BDP-a. Analizom praktičnih praćenja korozijskih procesa, pretpostavlja se da bi se mogla ostvariti ušteda od 15 i 35% troškova korozije, tj. između 375 i 875 milijardi američkih dolara godišnje na globalnoj razini. Zadnji podaci svjetske korozionske organizacije (WCO - World Corrosion Organization) pokazuju da se gubici od korozije i dalje nekontrolirano samo povećavaju [2]. Zbog velikih propusta, incidenata, prisilnih isključenja, nesreća, itd., globalna industrija mora shvatiti da loše upravljanje i zanemarivanje korozijskih procesa može dovesti do velikih i skupih troškova, te da se putem pravilnog upravljanja korozijom, odnosno pravilnom zaštitom materijala mogu postići značajne uštede. Jedna od tehnologija površinske zaštite koju je moguće primijeniti u tu svrhu je zaštita nanošenjem organskih premaza, odnosno zaštita metala bojanjem [3]. Zaštita organskim premazima najraširenija je metoda površinske zaštite materijala [4], pa je tako 3/4 metalnih površina zaštićeno istima [5]. U prilog tome svjedoči i primjena tehnologije u industrijskim granama kao što su automobiliška industrija, aeronautika, brodogradnja, zaštita spremnika za primjenu u naftnoj industriji i sl. [6-8]. Osim same zaštite jednako je važna i kvalitetna priprema površine za aplikaciju

odabране tehnologije. Upravo to je primarni cilj ovog rada, ukazati važnost spomenutog procesa pripreme površine, i to pripreme površine mlazom abraziva.

2. Priprema površine

Priprema površine se obavlja u svrhu čišćenja i kondicioniranja površine materijala kako bi se ostvarilo što bolje prianjanje premaza. Čišćenje podloge smatra se jednom od osnovnih priprema površine gdje se trebaju ukloniti sva rastresita i lagana onečišćenja kao što su masne tvari, većina produkata korozije, prašina i sl., a prilagodbe osiguravaju željenu kvalitetu ili željenu hrapavost podloge. Priprema podloge ključna je za odgovarajući vijek zaštitnih sredstava, jer nanošenjem zaštitnih premaza i prevlaka na neobrađenu plohu može rezultirati lošom zaštitom. Prema procjeni osiguravajućeg društva, u 85% slučajeva uzrok preranog kvara sustava zaštite je neadekvatno pripremljena podloga. Čišćenje površine provodi se pomoću mlaza čestica, a postupak može biti suhi ili mokri. Mlaz čestica udara u površinu pri čemu se u trenutku doticaja kinetička energija pretvara u mehanički učinak. Time dolazi do uklanjanja onečišćenja s površine, a ujedno se utiskuje materijal koji dovodi do otvrdnjivanja. Učinkovitost mlaza uvelike ovisi o slijedećim faktorima: tvrdoći čestica, brzini radnog medija, upadnom kutu mlaza kao i o obliku i veličini čestica. Tvrde čestice oštrijih bridova uz mali upadni kut (manji od 30°) brže skidaju strugotinu, a uz veći upadni kut i oblige bridove do izražaja dolazi utiskivanje mikroizbočina i lomljenja krhkikh slojeva. U primjeni abraziva treba voditi računa o vrsti materijala podloge i zahtijevanoj kvaliteti površine. Za suhi postupak čišćenja, veličina čestica je 0,2 do 3 mm, a za mokri postupak čišćenja se uglavnom koriste sitnije čestice (minimalno 3 µm) [5].

2.1. Pneumatički suhi postupak

Abraziv se usisava tlačno, tlakom koji se može kontrolirano regulirati. Pri radu sa cijevima i posudama se zadržava konstantni tlak, a abraziv iz posude pod tlakom dolazi kroz mjerni ventil u cijev za pjeskarenje koji potom ide do mlaznice. Abraziv prilikom prolaza kroz mlaznicu dobiva ubrzanje i strujanjem kroz zrak udara u površinu uzorka, tj. obrađivane površine. Što su čestice krupnije, promjer mlaznica pištolja je veći, a obično se kreće od 4 do 12 mm. Tlak zraka u pištoljima najčešće se kreće između 0,3 i 0,7 MPa. Udaljenost pištolja od površine obratka je oko 200 mm, dok se mlaz usmjerava pod određenim kutom na obrađivanu plohu. Upotrebotom zrnaca abraziva taj je kut od 20 do 30°, dok je za obradu metalnim česticama taj kut od 30 do 45 °. Jedan pištolj raspršuje 1 do 50 kg/min sredstva za obradu i troši 0,4 do 10 m³/min zraka [5].

3. Eksperimentalni dio

Osnovni materijal je konstrukcijski čelik S235. Da bi se dobili ispitni uzorci koji će se obrađivati mlazom abraziva, potrebno ih je izrezati na dimenzije 100 x 150 mm. Takav ispitni uzorak prikazan je na slici 1. Nakon što su uzorci izrezani, prije same obrade mlazom abraziva potrebno je pripremiti abraziv. Korišteni abrazivi su: kvarcni pijesak, aluminijev oksid i garnet. Cilj je prosijati svaki abraziv na niži i viši raspon veličine granulacije zbog različitog utjecaja pijeska na površinu. Stroj za prosijavanje je prikazan na slici 2. Za kvarcni

pjesak donji raspon veličine granulacije je između 100 do 250 µm, a gornji raspon veličine je između 250 i 600 µm. Za garnet donji raspon veličine granulacije je između 180 i 250 µm, a gornji između 250 i 350 µm. Kod aluminijevog oksida prosječna vrijednost veličine granulacije iznosi 120 µm.



Slika 1. Ispitni uzorak



Slika 2. Stroj za prosijavanje pjeska

Nakon pripreme uzorka i potrebnih prosijanih granulacija abraziva slijedi proces obrade mlazom obzraziva. Plan provedbe pokusa, tj. plan obrade ispitnih uzoraka prema definiranim parametrima je slijedeći:

- kvarcni pjesak granulacije 100-250 µm s 3 i 6 bara,
- kvarcni pjesak granulacije 250-600 µm s 3 i 6 bara,
- garnet granulacije 180-250 µm s 3 i 6 bara,
- garnet granulacije 250-350 µm s 3 i 6 bara,
- aluminijev oksid prosječne granulacije 125 µm (mesh 120) s 3 i 6 bara.

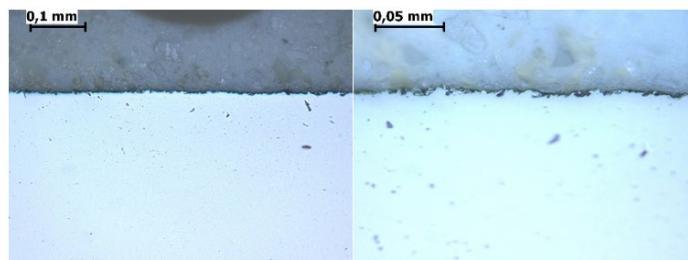
Na uzorcima obrađenim mlazom abraziva, hrapavost je mjerena uređajem Mitutoyo SJ-301. Obradene površine potom je potrebno izrezati po sredini na tračnoj pili i odmastititi razrjeđivačem radi uklanjanja svih nečistoća i odvojenih čestica koje bi narušile izgled poprečnog presjeka pod mikroskopom. Na svakom uzorku hrapavost je mjerena na tri djela i to u gornjoj, srednjoj, i donjoj zoni obrađenoj mlazom abraziva. Na osnovu tih mjerjenja određena je srednja vrijednost hrapavosti. Kako bi se dobio bolji uvid u stanje površine nakon obrade mlazom abraziva, a koji je u ovisnosti o svim definiranim parametrima obrade, odradeno je snimanje površine uzroka na mikroskopu Leica DM 2500M i to sa povećanjem od 200 i 500 puta.

4. Analiza rezultata

Nakon odradjenih mjerjenja slijedi analiza utjecaja pojedinih parametara na izgled i hrapavost obrađene površine. U tablicama 1, 2, 3 i 4 su vidljive sve vrijednosti hrapavosti površine za kvarcni pjesak različitih parametara. Na slikama 3, 4, 5 i 6 dan je prikazan poprečnih presjeka površine obrađene kvarcnim pjeskom.

Tablica 1. Hrapavosti površine obrađene kvarcnim pijeskom niže granulacije s 3 bara

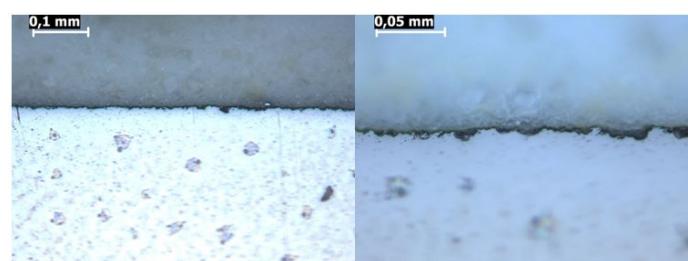
Kvarcni pijesak_100-250_3 bara		
Prvo mjerjenje: 8,3 µm	Drugo mjerjenje: 7,28 µm	Treće mjerjenje: 7,59 µm
Srednja vrijednost hrapavosti: 7,72 µm		



Slika 3. Prikaz poprečnog presjeka površine obrađene kvarcnim pijeskom granulacije 100-250 µm s 3 bara uvećan 200 (lijevo) i 500 puta (desno)

Tablica 2. Hrapavosti površine obrađene kvarcnim pijeskom niže granulacije sa 6 bara

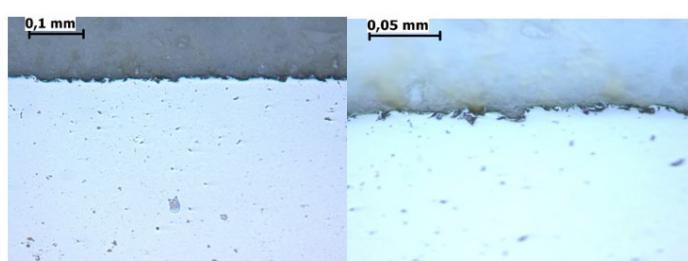
Kvarcni pijesak_100-250_6 bara		
Prvo mjerjenje: 9,32 µm	Drugo mjerjenje: 9,44 µm	Treće mjerjenje: 8,38 µm
Srednja vrijednost hrapavosti: 9,05 µm		



Slika 4. Prikaz poprečnog presjeka površine obrađene kvarcnim pijeskom granulacije 100-250 µm sa 6 bara uvećan 200 (lijevo) i 500 puta (desno)

Tablica 3. Hrapavost površine obrađene kvarcnim pijeskom više granulacije s 3 bara

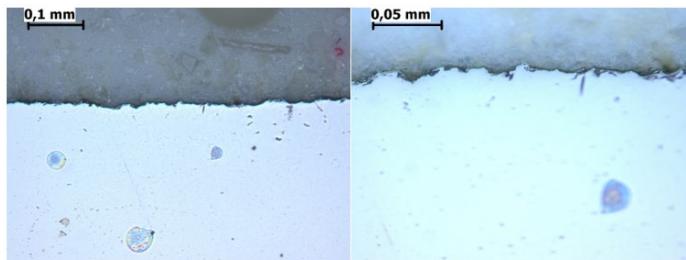
Kvarcni pijesak_250-600_3 bara		
Prvo mjerjenje: 12,96 µm	Drugo mjerjenje: 11,44 µm	Treće mjerjenje: 11,59 µm
Srednja vrijednost hrapavosti: 11,99 µm		



Slika 5. Prikaz poprečnog presjeka površine obrađene kvarcnim pijeskom granulacije 250-600 µm s 3 bara uvećan 200 (lijevo) i 500 puta (desno)

Tablica 4. Hrapavost površine obrađene kvarcnim pijeskom više granulacije sa 6 bara

Kvarcni pijesak_250-600_6 bara		
Prvo mjerjenje 16,79 µm	Drugo mjerjenje 14,27 µm	Treće mjerjenje 13,04 µm
Srednja vrijednost hrapavosti 14,7 µm		



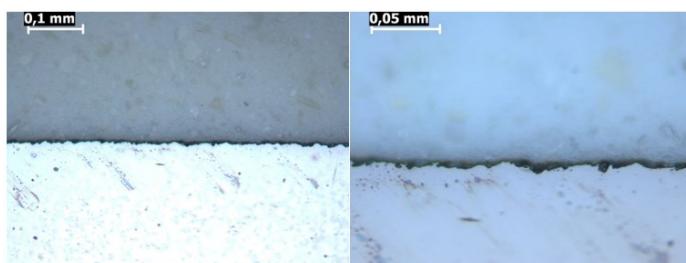
Slika 6. Prikaz poprečnog presjek površine obrađene površine kvarcnim pijeskom granulacije 250-600 µm sa 6 bara uvećan 200 (lijevo) i 500 puta (desno)

Na uzorcima obrađenima s kvarcnim pijeskom niže granulacijama i nižim tlakom nisu vidljive prevelike razlike između profila površina. Jasno se može zaključiti da povećanjem tlaka se povećava i hrapavost. Vidljivo je da je veća granulacija (250-600µm) pod većim tlakom (6 bara) najbolje utjecala na površinu. Na poprečnom presjeku su vidljive veće promjene i hrapavost je veća pri većem tlaku (14,7µm).

U tablicama 5, 6, 7 i 8 su prikazane vrijednosti hrapavosti površine obrađene garnetom. Na slikama 7, 8, 9 i 10 dan je prikazan poprečnih presjeka površine obrađene garnetom.

Tablica 5. Hrapavosti površine obrađene garnetom niže granulacije sa 3 bara

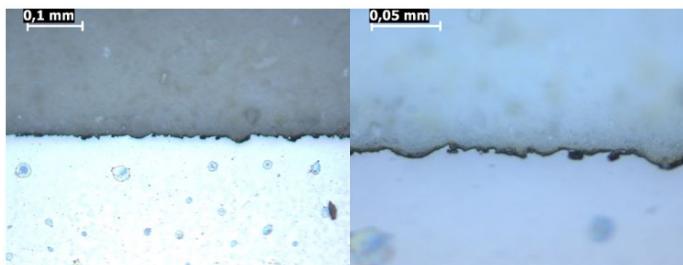
Garnet_180-250_3 bara		
Prvo mjerjenje: 8,93 µm	Drugo mjerjenje: 7,59 µm	Treće mjerjenje: 9,63 µm
Srednja vrijednost hrapavosti: 8,72µm		



Slika 7. Prikaz poprečnog presjeka površine obrađene garnetom granulacije 180-250 µm s 3 bara uvećan 200 (lijevo) i 500 puta (desno)

Tablica 6. Hrapavosti površine obrađene garnetom niže granulacije sa 6 bara

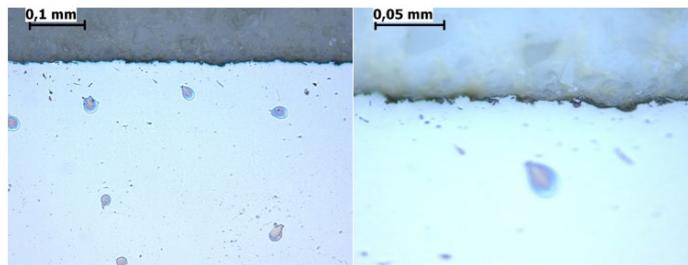
Garnet_180-250_6 bara		
Prvo mjerjenje: 9,61 µm	Drugo mjerjenje: 8,74 µm	Treće mjerjenje: 9,53 µm
Srednja vrijednost hrapavosti: 9,29 µm		



Slika 8. Prikaz poprečnog presjeka površine obrađene garnetom granulacije 180-250 μm sa 6 bara uvećan 200 (lijevo) i 500 puta (desno)

Tablica 7. Hrapavosti površine obrađene garnetom više granulacije s 3 bara

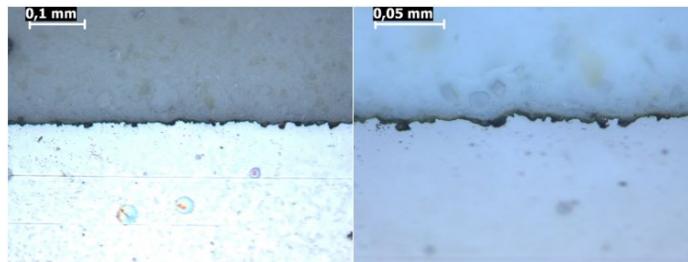
Garnet_250-350_3 bara		
Prvo mjerjenje: 10,16 μm	Drugo mjerjenje: 11,04 μm	Treće mjerjenje: 10,83 μm
Srednja vrijednost hrapavosti: 10,68 μm		



Slika 9. Prikaz poprečnog presjeka površine obrađene garnetom granulacije 250-350 μm s 3 bara uvećan 200 (lijevo) i 500 puta (desno)

Tablica 8. Hrapavosti površine obrađene garnetom više granulacije sa 6 bara

Garnet_250-350_6 bara		
Prvo mjerjenje: 11,93 μm	Drugo mjerjenje: 11,35 μm	Treće mjerjenje: 11,54 μm
Srednja vrijednost hrapavosti: 11,61 μm		



Slika 10. Prikaz poprečnog presjeka površine obrađene površine garnetom granulacije 250-350 μm sa 6 bara uvećan 200 (lijevo) i 500 puta (desno)

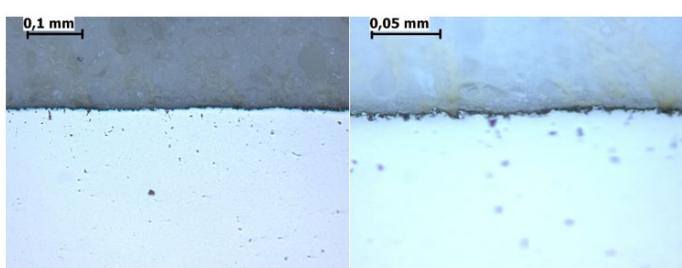
Na uzorcima obrađenim mlazom garneta također je vidljivo da se povećanjem tlaka povećava i hrapavost te se mijenja izgled profila površine. Najveća izmjerena hrapavost površine obrađene garnetom je s granulacijom 250-350 μm pod tlakom od 6 bara

(11,61 µm). Najmanja hrapavost, te male razlike na profilu površine, izmjerena je pri granulaciji 180-250 µm i tlakom od 3 bara i iznosi 8,72 µm.

U tablicama 9 i 10 su prikazane vrijednosti hrapavosti površine obrađene aluminijevim oksidom. Na slikama 11 i 12 dan je prikaz poprečnog presjeka površine obrađene površine aluminijevim oksidom.

Tablica 9. Hrapavosti površine obrađene aluminijevim oksidom s 3 bara

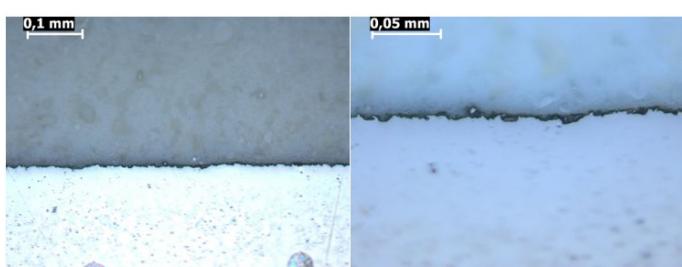
Aluminijev oksid_mesh 120_3 bara		
Prvo mjerjenje: 7,45 µm	Drugo mjerjenje: 7,96 µm	Treće mjerjenje: 7,96 µm
Srednja vrijednost hrapavosti: 7,81 µm		



Slika 11. Prikaz poprečnog presjeka površine obrađene aluminijevim oksidom srednje granulacije 120 µm s 3 bara uvećan 200 (lijevo) i 500 puta (desno)

Tablica 10. Hrapavosti površine obrađene aluminijevim oksidom sa 6 bara

Aluminijev oksid_mesh 120_6 bara		
Prvo mjerjenje: 9,76 µm	Drugo mjerjenje: 8,55 µm	Treće mjerjenje: 8,93 µm
Srednja vrijednost hrapavosti: 9,08 µm		



Slika 12. Prikaz poprečnog presjeka površine obrađene aluminijevim oksidom srednje granulacije 120 µm sa 6 bara uvećan 200 (lijevo) i 500 puta (desno)

Kod uzoraka obrađenih mlazom aluminijeva oksidom mijenjan je samo tlak dok je granulacija bila konstanta. Pri manjim tlakom se ne vide prevelike razlike i hrapavost je relativno mala (7,81 µm), dok su većim tlakom dobivene veće hrapavosti 9,08 µm. Za usporedbu sva 3 abraziva koji su se koristili u eksperimentalnom dijelu najveću hrapavost daje kvarjni pijesak veće granulacije pod tlakom od 6 bara.

U svim promatranim stanjima provedenog pokusa, jasno se može uočiti kako odziv (u ovom slučaju hrapavost površine) raste proporcionalno s povećanjem granulacije abraziva i ranog tlaka. Prema tome, ukoliko je na raspolaganju za obradu samo jedan abraziv određene granulacije, a potrebno je varirati hrapavost obrađene površine to se može postići korigiranjem vrijednosti radnog tlaka. Isto tako, različite vrijednosti hrapavosti moguće je dobiti variranjem granulacije jednog abraziva za iste vrijednosti radnog tlaka. Istodobnim povećanjem i granulacije i tlaka dolazi do povećanog rasta hrapavosti obrađene površine. Osim toga, ovisno o vrsti abraziva koji se koristi, uz preostale promatrane parametre, razlikovat će se i profil površine, što je posebno uvjetovano oblikom i karakteristikama samog abraziva.

5. Zaključak

Korozija predstavlja jedan od velikih problema u tehnološkom razvoju te bi joj se trebala posvetiti velika pozornost u svrhu trajnosti i zaštite materijala. Ako joj se pristupi temeljito i pravilnim postupcima, gubici u procesu proizvodnje bi se trebali svesti na minimum. U eksperimentalnom dijelu cilj je bio istražiti utjecaj različitih parametara na mlazom obrađenu površinu. Parametri koji su mijenjani su vrsta abraziva (kvarcni pjesak, garnet i aluminijev oksid) i to manjih i većih granulacija i pod različitim tlakovima. Različiti parametri su imali veliki utjecaj na profil hrapavost i obrađenu površinu. Radom je pokazano koliko je važno обратити pažnju na kvalitetnu pripremu površine, a koja je posljedica odabira pravilnih parametara procesa obrade. Jer bez obzira o kvaliteti samog zaštitnog sustava (npr. organskog premaza i njegovih komponenti), ukoliko površina nije dobro pripremljena ni sama zaštitna svojstva sustava neće biti u potpunosti ostvarena. Za svaki organski premaz definirana je prihvatljiva granica hrapavosti pri kojoj će biti ostvarena najbolja adhezija između temeljnog sloja i materijala podloge. Kako je uočeno da promjena bilo kojeg od promatralih parametara mijenja profil i hrapavost površine, prije same aplikacije premaza bitno je optimizirati parametre obrade površine osnovnog materijala. Ukoliko je npr. definiran abraziv kojim će se raditi prema njemu i željenoj kvaliteti obrađene površine, potrebno je definirati radni tlak i udaljenost mlaznice pištolja od površine koja se obrađuje. Bitno je konstantno kontrolirati rezultate obrade kako bi se moglo pravovremeno izvršiti korekciju ulaznih parametara ukoliko rezultati počnu odstupati od zahtijevanih vrijednosti.

6. Literatura

- [1] L. F. Montoya, D. Contreras, A. F. Jaramillo, C. Carrasco, K. Fernández, B. Schwederski, D. Rojas, M. F. Melendrez. Study of anticorrosive coatings based on high and low molecular weight polyphenols extracted from the Pine radiata bark // *Progress in Organic Coatings*, 127(2019); 100-109. (ISSN 0300-9440)
- [2] NACE International. International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies Study. Texas, USA, 2016.
- [3] B. Nikravesh, B. Ramezanzadeh, A. A. Sarab, S. M. Kasiriha. Evaluation of the corrosion resistance of an epoxy-polyamide coating containing different ratios of micaceous iron oxide/Al pigments // *Corrosion Science*, 53(2011), 4; 1592-1603. (ISSN 0010-938X)

-
- [4] David Veselý, Andrea Kalendová, Petr Němec. Properties of organic coatings depending on chemical composition and structure of pigment particles // *Surface & Coatings Technology*, 204(2010); 2032-2037. (ISSN 0257-8972)
 - [5] Ivan Juraga, Vesna Alar, Ivan Stojanović. Korozija i zaštita premazima. Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2014. (ISBN 978-953-7738-27-3)
 - [6] K.-C. Chang, W.-F. Ji, M.-C. Lai, Y.-R. Hsiao, C.-H. Hsu, T.-L. Chuang, Y. Wei, J.-M. Yeh, W.-R. Liu. Synergistic effects of hydrophobicity and gas barrier properties on the anticorrosion property of PMMA nanocomposite coatings embedded with graphene nanosheets // *Polymer Chemistry*, 5(2013), 3; 1049-1056. (ISSN 1759-9962)
 - [7] J. Ding, O. ur Rahman, W. Peng, H. Dou, H. Yu. A novel hydroxyl epoxy phosphate monomer enhancing the anticorrosive performance of waterbone graphene/epoxy coatings // *Applied Surface Science*, 427(2018); 981-991. (ISSN 0169-4332)
 - [8] A. A. Javidparvar, B. Ramezanzadeh, E. Ghasemi. Effect of Various Spinel Ferrite Nanopigments Modified by Amino Propyl Trimethoxy Silane on the Corrosion Inhibition Properties of the Epoxy Nanocomposites // *CORROSION*, 72(2016), 6; 761-774. (ISSN 0010-9312)

Technology of manufacturing clamping jaws

**M. Oršulić, M. Duspara, M. Stoić, J.
Cumin, A. Stoić**

Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod, University of Slavonski Brod

* Corresponding Author. E-mail: mduspara@unisb.hr

Abstract

In this paper, the goal was to show the task of the clamping jaws themselves and what they can be. Attention was also paid to clamping methods and possible errors during clamping. The processing procedure to the final and processed clamping jaws are also described. In addition, for the production of the clamping jaws itself, it was necessary to pay attention to the selection of the material itself, and which parameters the material must have in order for the clamping jaws itself to perform its tasks.

Keywords: Clamping, jaws, hard, soft, aluminium.

1. Jaws function

Clamping jaws are tools that are mounted on a clamping head. The clamping head by means of clamping jaws makes the grip and release of the workpiece by pressing and moving away. Performing clamping of the clamping jaw work independently by means of certain mechanisms. They must be dimensioned and manufactured so that they tighten the preparation without any damage to the preparation or themselves. In addition, their main task is to reduce costs and simplify the processing process. In previous years, until today **everyone** tends to automate workpiece clamping, just for the reason that costs are reduced and time savings are saved during the production process.

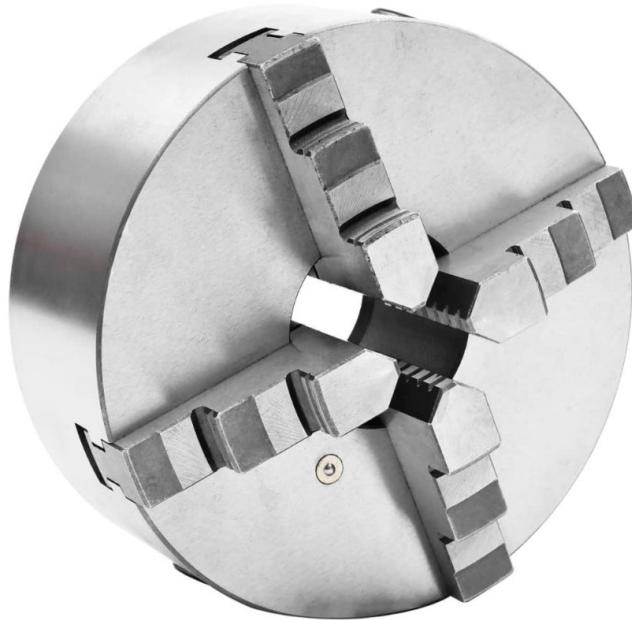


Figure 1. Clamping head with jaws

2. Types of clamping jaws

Clamping jaws can be easily divided into soft clamping jaws and hard clamping jaws.

2.1. Soft clamping jaws

What are soft jaws? Soft jaws are a common solution for holding parts that would be difficult to attach with standard flat jaws for vises during machining.

Soft clamping jaws are very useful, especially for holding round objects which normal jaws can crush (Figure 2). The jaws can be machined to grip larger parts of the object of its scope. Another use is to hold thin workpieces. Machine can make a recess in the jaws to accommodate a thin object. Soft clamping jaws are also used for clamping workpieces that are smaller in size and weight and have lower clamping forces. Often made of aluminum or steel, soft jaws can also be 3D printed with continuous reinforcement fibers. The advantage of making soft clamping jaws by 3D printing is saving time during production. The classic production of clamping jaws on a lathe requires specific software programs which wastes a lot of time that can be used for other tasks.



Figure 2. Soft clamping jaws

2.2. Hard clamping jaws

Hard clamping jaws are used to hold the workpiece on the clamping head. They are made of hardened steel and have a serrated clamping surface for protection during machining. They are ideal for roughly processed parts and parts of larger dimensions and masses. Hard clamping jaws are used for higher clamping forces because they are more durable and can withstand higher stresses than soft clamping jaws (Figure 3). Hard clamping jaws can have one or two steps that are mutually revisable.



Figure 3. Hard clamping jaws

3. Ways of clamping with clamping jaws

Nowadays, great attention is paid to clamping with clamping jaws. So we have automated and manual clamping. Manual clamping is clamping in which the same accuracy and centering are no longer achieved after the first clamping. For this reason, using manual clamping is desirable to tighten and process the piece in one clamp. Manual clamping is divided into clamping with self-centering jaws and free jaws.

3.1. Free jaws clamping

Free jaws are suitable for tightening irregular shapes. The clamping process is performed by placing the irregular part in the clamping head and each clamping jaw is moved as long as it takes to center and tighten the workpiece.

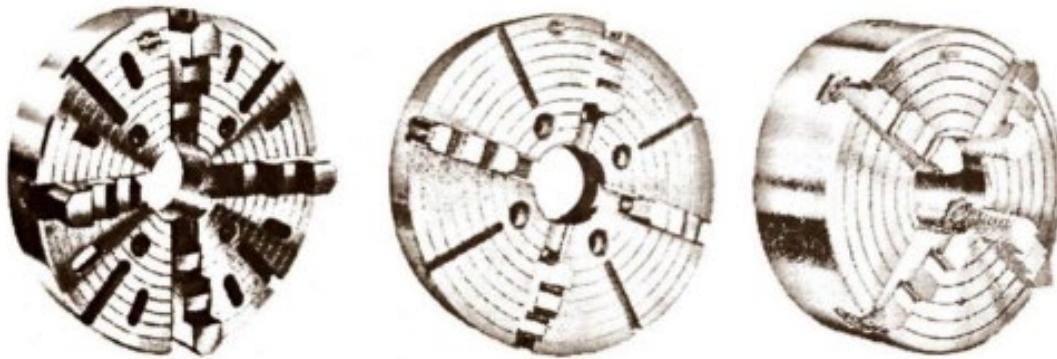


Figure 4. Clamping head with free jaws

3.2. Self-centering clamping

Self-centering clamping is possessed by four jaws although they are rarely used. Self-centering clamping with three clamping jaws are made more and more often. Clamping heads with three jaws can take a larger displacement of its scope, while a clamping head with two jaws has the possibility of jumping the jaws and for this reason they are suitable for irregular shapes. The difference between self-centering clamping heads and free-jaw heads is in the clamping mechanism because in self-centering clamping heads the clamping of the jaws is done in way that all the jaws must be moved at the same time to center or from center of clamping head.

3.3. Automated clamping

Unlike manual clamping, automated clamping is based on the fact that when the cutting forces act, the clamping jaws penetrate the surface of the preparation and thus tighten it. There is a hydraulic and pneumatic clamping mechanism. Today, pneumatic systems that work on the principle of air supply are much more used. Although the wasting of the components of the pneumatic mechanism are faster, they are still more represented in practice because maintaining of the pneumatic mechanism is simpler and therefore more accessible than hydraulic. (Figure 5.)

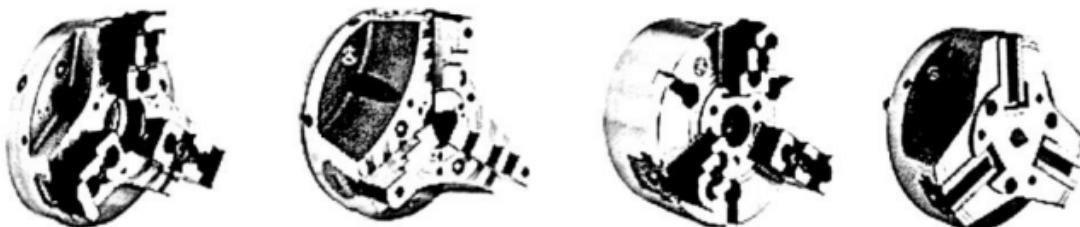


Figure 5. Automated clamping head

4. Forces and errors when clamping with clamping jaws

The clamping force depends on the cutting force of the preparation. When clamping some workpieces, the clamping force must be directed in the direction of the supports or in the direction between the supports, or the force generated during processing cannot disturb the position of the workpiece achieved during the base. Apart from the forces that occur when clamping, attention must also be paid to the moments that occur due to the clamping and cutting forces. The moment affects whether the preparation will tighten properly or whether it will be stable after clamping. The preparation must be tightened so that it is very close to the processing site, but the tool movement space for which it is necessary to determine the optimal distance should also be taken into account. The magnitudes of the clamping forces arise from the static balances of the forces in the tool, machine and preparation.

What are the mistakes that occur when clamping with clamping jaws? Mistakes are all errors in which the position of the workpiece changes during the action of the clamping forces. Elastic deformations are the main reason for the occurrence of errors and are ordered to be visible at smaller and larger lengths and smaller machining surfaces.

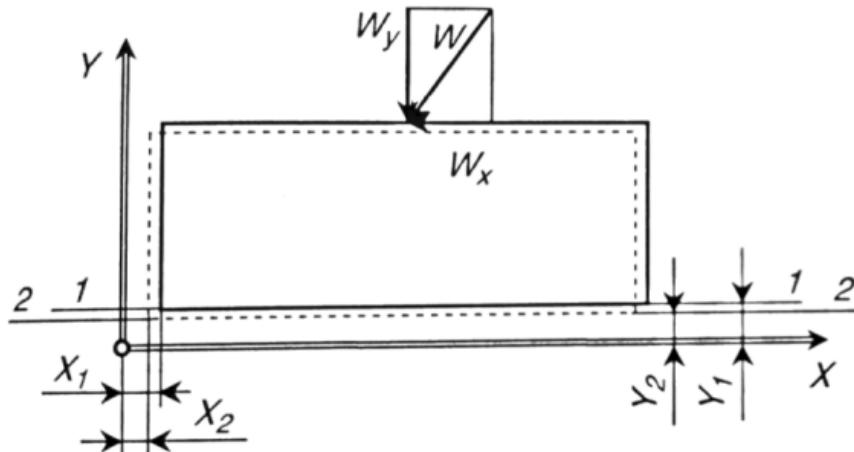


Figure 6. Schematic determination of the error during clamping

The Figure 6 shows that the appearance of the forces W_y and W_x results in the occurrence of elastic deformations depending on their planes. Their changes are marked with sizes $Y_1 - Y_2$ and $X_1 - X_2$. It follows that the clamping error is:

$$\Delta s = Y_1 - Y_2.$$

This expression shows that if the construction from position 1-1 is moved to position 2-2, as a result is Δs . What would happen if the construction retained its position? There will be an error of $\Delta s = 0$, or we can say there are no errors.

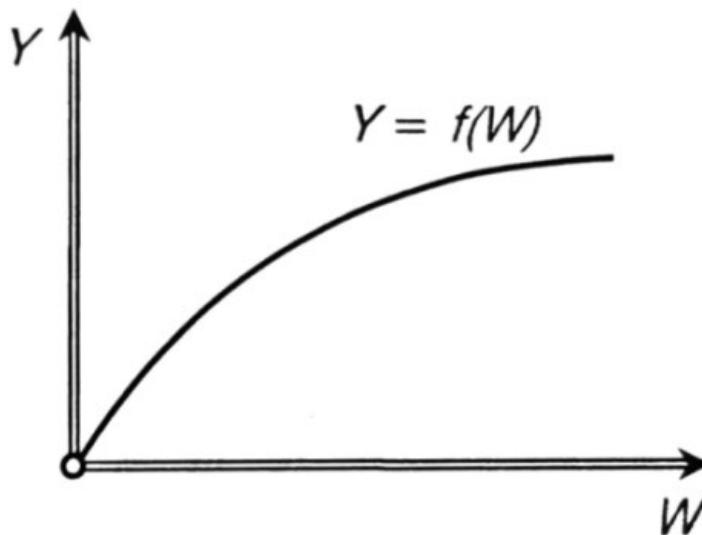


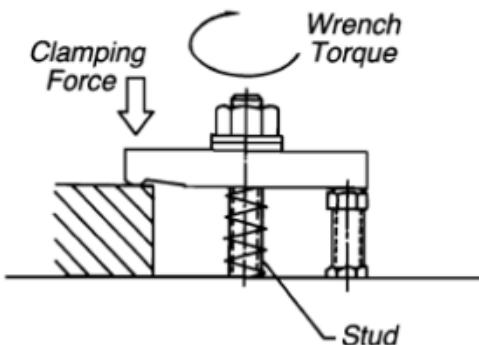
Figure 7. Dependence of elastic deformation and clamping forces

The diagram shows the dependence of an elastic deformation on the clamping force. It is shown here that the elastic deformation is the change in position Y and the clamping force in the function of the parabola, that is $Y = f(W)$. (Figure 7.)

5. Clamping forces measurement

The amount of force applied to the treatment by closing and locking the jaws is called the clamping force. This is an important calculation because it allows the jaw to have

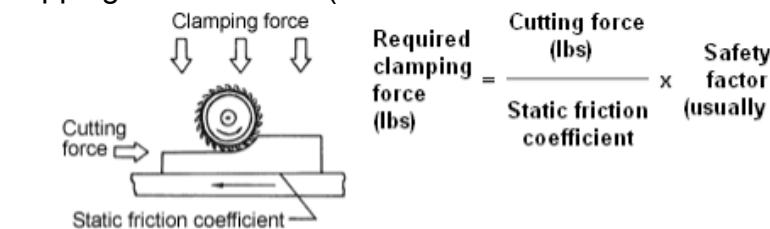
the appropriate capacity to resist the external processing forces. The clamping force is determined taking into account several factors including the cutting force and the workpiece material. Clamping force calculations can be quite complicated. Sometimes an approximate method is sufficient. The data from the Figure 8 shows how much clamping force is available from different sizes of manual clamping strips (with a clamping force ratio of 2 to 1) for comparison with clamping forces.



Stud Size	Recommended Torque* (ft.-lbs.)	Clamping Force (lbs.)	Tensile Force In Stud (lbs.)
#10-32	2	300	600
1/4-20	4	500	1000
5/16-18	9	900	1800
3/8-16	16	1300	2600
1/2-13	38	2300	4600
5/8-11	77	3700	7400
3/4-10	138	5500	11000
7/8-9	222	7600	15200
1-8	333	10000	20000

Figure 8. The first way of measuring clamping force

You can also calculate the required clamping forces based on the calculated cutting force. A simplified example appears below, with the cutting force completely horizontal and without stopping the treatment (the friction force resists the entire cutting force).



Contact surfaces	Friction coefficient (Dry)	Friction coefficient (Lubricated)
Steel on steel	15	12
Steel on cast iron	19	10
Cast iron on cast iron	30	19

Figure 9. The second way of measuring clamping force

However, in addition to the budgetary clamping force, clamping forces can also be determined practically by means of a clamping force measuring device.



Figure 10. Device for measuring the clamping force for heads with three jaws

6. Material for making clamping jaws

A different range of materials is used to make different clamping jaws. All materials from which the clamping jaws are made must meet the conditions that wear and corrosion must not occur before prescribed. The main reason for the existence of corrosion resistance is refrigerant (emulsion, oil) included in processing of a workpiece on the machine. In addition, material that is economically and technologically the most accessible must be selected.

Materials used for the clampig jaw are structural steels, tool steal, aluminium alloys and stainless steal, there are also some other materials like brass/ bronze, cast iron; ceramics. Structural steels because they have a high stretching limit, dynamic durability and toughness. Tool steels because they have elevated strength and they are resistant to wear and toughness. Aluminum alloys that are corrosion-resistant and have a constant toughness and strength. Stainless steels for their high corrosion resistance.

Table 1. Ratio of individual elements in Al 7075 alloy

Chemical Composition		
Element	Minimum %	Maximum %
Silicon	No Min	0.4
Iron	No Min	0.5
Copper	1.2	2
Manganese	No Min	0.3
Magnesium	2.1	2.9
Chromium	0.18	2
Zinc	5.1	6.1
Titanium	No Min	0.2
Other Elements	No Min	0.05 each, 0.15 in total

Physical Properties			
Property	7075-O	7075-T6, -T651	7075-T73, -T7351
Density	2.81 g/cc 0.102 lb/in ³	2.81 g/cc 0.102 lb/in ³	2.81 g/cc 0.102 lb/in ³

Mechanical Properties			
Property	7075-O	7075-T6, -T651	7075-T73, -T7351
Tensile Strength	228 MPa 33000 psi	572 MPa 83000 psi	505 MPa 73200 psi
Yield Strength	103 MPa 15000 psi	503 MPa 73000 psi	435 MPa 63100 psi
Modulus of Elasticity	71.7 GPa 10400 ksi	71.7 GPa 10400 ksi	72.0 GPa 10400 ksi

Thermal Properties			
Property	7075-O	7075-T6, -T651	7075-T73, -T7351
Coefficient of Thermal Expansion @ 20.0 - 100 °C Temp	23.4 µm/m·°C 13.0 µin/in·°F	23.4 µm/m·°C 13.0 µin/in·°F	23.4 µm/m·°C 13.0 µin/in·°F
Thermal Conductivity	173 W/m·K 1200 BTU-in/hr·ft ² ·°F	0.960 J/g·°C 0.229 BTU/lb·°F	155 W/m·K 1080 BTU-in/hr·ft ² ·°F

The data from the table 1 shows the proportion of individual components in aluminum alloy 7075. The comparison for radium, modulus elasticity is approximately three times less than the steel elasticity module. This alloy is one of the strongest and lightest alloys that has high toughness and corrosion resistance. It is stable on high temperatures, resistant to external influences and can withstand high stresses. After making the clamping jaw from aluminum alloy, it is regular to perform heat treatment.

Heat treatment of aluminum alloys can be softening treatment and hardening treatment. Softening treatment restores ductility to the material and reduces internal stresses, strength and hardness decrease and deformation properties increase. In contrast, the implementation of heat hardening treatment ensures an increase in strength and hardness, and it is carried out in three phases, dissolved annealing, quenching, and natural or artificial aging.

Accept conducting annealing with aluminum alloys, in proces of making steel clamping jaw is necessary to carry out annealing such as homogenization annealing, stabilizing annealing, coarse grain annealing, spheroidal annealing.

7. Technological procedure for making soft clamping jaws

After selecting the material and selecting the dimensions of the raw material, technological processing procedures are carried out. The technology of making a clamping jaw consists of two clamps. In the first clamping, the sequence of operations

is rough and fine forehead milling, rough and fine milling of the contour, and milling of the bore. The Figure 14 show the sequence of interventions in the first clamping.

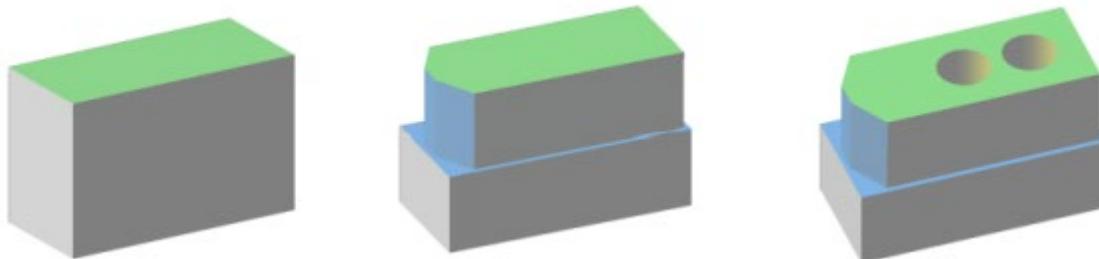


Figure 11. Technological operations in the first tightening

After performing all technological interventions, the workpiece is released and dimensional control is carried out. After that, a second clamping is performed, which consists of rough and fine forehead milling, rough and fine milling of the contour, milling of the canals, milling of the teeth, and drilling of holes. The Figure 15 images show the sequence of interventions in the second clamping.

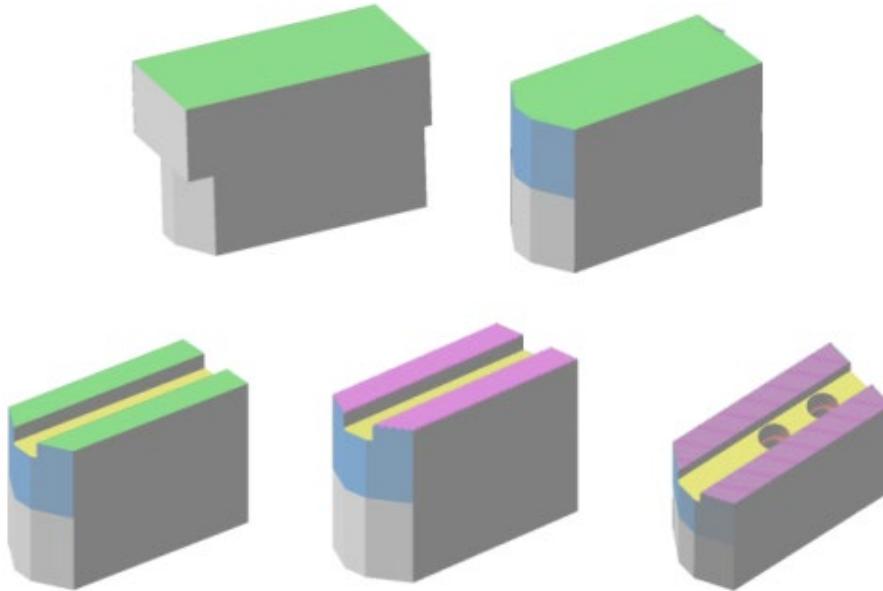


Figure 12. Technological operations in the second tightening

8. Conclusion

The production of clamping jaws can be a very complex production process. However, nowadays that process can be facilitated by some other manufacturing procedures, such as 3D printing, which reduces creation time and allows a person to use that time for more important tasks that have been put in front of him. In addition, today clamping with clamping jaws is automated and at a high level of accuracy centering which in the past caused big problems with manual clamping. Manual tightening is in the past created many scrap parts and such tightening affected the competitiveness on the market. Therefore, today's automated clamping of high accuracy and quality enables

competitiveness and saving time on tightening and releasing and all that is of a great importance in mass production.

9. References

- [1] S. Ekinović, Obrada rezanjem (tehnologija, mašine, sistemi, alati i pribori), Zenica: Univerzitet u Zenici, 2011..
- [2] Metal-Kovis
 - URL: <https://metal-kovis.hr/shop/cijena/pakne-tvrde-unutarnje-400x4-sharp>.
- [3] 7075 Aluminium Alloy
 - URL: <https://www.gabrian.com/wp-content/uploads/2018/09/7075-Aluminum-Alloy-Properties.pdf>.
- [4] Engineering Learn,
 - URL: <https://engineeringlearn.com/types-of-lathe-chuck/>.
- [5] Carrlane
 - URL: <https://www.carrlane.com/engineering-resources/fixture-design-principles/clamping-force-calculations>.
- [6] MonsterJaws
 - URL: <https://monsterjaws.com/10-hard-jaws-1-5mm-x-60-serrated-for-b-210-cnc-lathe-chucks/>.