



**FERIT**

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK**

**OTO 2018**

**27. Međunarodni znanstveno-stručni  
skup „Organizacija i tehnologija  
održavanja“**

**27<sup>th</sup> International Scientific and Professional Conference  
"Organization and Maintenance Technology"**

**ZBORNİK  
RADOVA**

**CONFERENCE  
PROCEEDINGS**

**Osijek, 13. travnja 2018.**

**Osijek, 13<sup>th</sup> April 2018**



Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek (FERIT)

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

## 27. Međunarodni znanstveno-stručni skup „Organizacija i tehnologija održavanja“ - OTO 2018. - Zbornik radova

### 27<sup>th</sup> International Scientific and Professional Conference "Organization and Maintenance Technology" - OTO 2018 - Conference Proceedings

Zbornik radova sadrži radove koji su prošli dvostruku neovisnu recenziju. Organizator skupa nije ulazio u sadržaj radova i način izražavanja te oni predstavljaju odraz razmišljanja autora. Službeni su jezici skupa hrvatski i engleski.

Each paper in the conference proceedings was reviewed by two independent reviewers. The content of the conference proceedings does not reflect the official opinion of the conference organizers. Responsibility for the information and views expressed in the papers lies entirely with the respective author(s). The official languages of the conference are Croatian and English.

**Naziv/Title:**

27. Međunarodni znanstveno-stručni skup „Organizacija i tehnologija održavanja“ - OTO 2018. - Zbornik radova

27<sup>th</sup> International Scientific and Professional Conference "Organization and Maintenance Technology" - OTO 2018 - Conference Proceedings

**Mjesto održavanja skupa/Venue:**

Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek (FERIT),  
Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek,  
Adresa/Address: Kneza Trpimira 2B, HR-31000 Osijek, Croatia  
Tel.: +385 (0) 31 224-600, Fax: +385 (0) 31 224-605, E-mail: ferit@ferit.hr

**Datum održavanja skupa/Conference date:**

13. travnja 2018./13<sup>th</sup> April 2018

**Organizator skupa/Organizer:**

Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek (FERIT)/  
Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

**Izdavač/Publisher:**

Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek (FERIT)/  
Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

**Urednici/Editors:**

Doc.dr.sc. Hrvoje Glavaš	- glavni urednik/chief editor
Izv.prof.dr.sc. Tomislav Barić	- izvršni urednik/executive editor
Doc.dr.sc. Emmanuel Karlo Nyarko	- tehnički urednik/technical editor
Doc.dr.sc. Marinko Barukčić	
Doc.dr.sc. Tomislav Keser	
Izv.prof.dr.sc. Mirko Karakašić	

**Lektorica/Proofreader:** Dr. sc. Dragana Božić Lenard

**Naklada/Issue:** 100

**Tisak/Printed by:** Biroprint d.o.o - Osijek

**UDK klasifikacija/UDK classification:** Ljiljana Vučković Vizentaner, prof. dipl. knjižničar

**ISBN:** 978-953-6032-97-6

**CIP zapis dostupan je u računalnom katalogu Gradske i sveučilišne knjižnice Osijek pod brojem 140908093.**

**MEĐUNARODNI ZNANSTVENI ODBOR/INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE:**

Popis prema abecednom redu imena/List in an alphabetical order

Prof.dr.sc. Andrej Štrukelj (Slovenia)  
Akademik prof.dr.sc. Božo Udovičić (Croatia)  
Prof.dr.sc. Drago Žagar (Croatia)  
Izv.prof.dr.sc. Dražen Slišković (Croatia)  
Izv. prof.dr.sc. Eleonora Desnica (Serbia)  
Prof.dr.sc. Goran Martinović (Croatia)  
Prof.dr.sc. György Elmer (Hungary)  
Prof.dr.sc. Isak Karabegović (BiH)  
Izv.prof.dr.sc. Kruno Miličević (Croatia)  
Prof.dr.sc. Lajos Jozsa (Hungary)  
Prof.dr.sc. Mirsad Raščić (BiH)  
Prof.emer.dr.sc. Safet Brdarević (BiH)  
Izv.prof.dr.sc. Sebastijan Seme (Slovenia)  
Prof.dr.sc. Snježana Rimac-Drlje (Croatia)  
Prof.dr.sc. Tihomil Rausnitz (Germany)  
Prof.dr.sc. Vlado Majstorović (BiH)  
Akademik prof.emer.dr.sc. Zijad Haznadar (Croatia)

**ORGANIZACIJSKI ODBOR/ORGANIZING COMMITTEE:**

Prof.dr.sc. Tomislav Mrčela - predsjednik/president  
Doc. dr.sc. Hrvoje Glavaš - zamjenik predsjednika/vice president  
Igor Sušenka, dipl.ing.el. - tajnik/secretary  
Ana Šokčević, prof.  
Doc.dr.sc. Damir Blažević  
Mr.sc. Držislav Vidaković  
Izv.prof.dr.sc. Marijana Hadzima-Nyarko  
Prof.dr.sc. Zlatko Lacković

**UREDNIŠTVO/EDITORIAL BOARD:**

Doc.dr.sc. Hrvoje Glavaš - glavni urednik/chief editor  
Izv.prof.dr.sc. Tomislav Barić - izvršni urednik/executive editor  
Doc.dr.sc. Emmanuel Karlo Nyarko - tehnički urednik/technical editor  
Doc.dr.sc. Marinko Barukčić  
Doc.dr.sc. Tomislav Keser  
Izv.prof.dr.sc. Mirko Karakašić

**RECENZETSKI ODBOR/REVIEW BOARD:**

Doc.dr.sc. Goran Knežević  
Izv.prof.dr.sc. Irena Galić  
Izv.prof.dr.sc. Marijana Hadzima-Nyarko  
Prof.dr.sc. Marinko Stojkov  
Doc.dr.sc. Zlatko Tonković

## Predgovor dekana FERIT-a



Međunarodni znanstveno stručni skup OTO predstavlja priliku za neposrednu razmjenu iskustava stručnjaka iz različitih područja s ciljem istraživanja i analiziranja primjene novih metoda i postupaka održavanja. Temeljni je cilj organizacije ovoga skupa trajno podizanje razine znanja o održavanju. Kroz znanstvene i stručne radove podiže se razina stručnih znanja, promovira cjeloživotno obrazovanje i podupire struka. Kroz publicirana istraživanja možemo kontinuirano pratiti trendove razvoja tehnike i tehnologije u svim sferama gospodarstva, infrastrukture i javnih službi.

Od prvog kolokvija održanog 20. travnja 1990. na Elektrotehničkom fakultetu Osijek do sada je održano 26 znanstveno-stručnih skupova. Do 2016. godine, skupove je organiziralo Društvo održavatelja Osijek (utemeljeno 1983.) u suradnji s Fakultetom elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Građevinskim fakultetom Osijek, Poljoprivrednim fakultetom u Osijeku te Veleučilištem u Požegi. Pored znanstvenika sa Sveučilišta, u organizaciju i rad skupa aktivno su uključeni i proizvođači industrijske opreme i reprodukcijškoga materijala, pri čemu neposredna komunikacija između znanstvenika i održavatelja iz poduzeća podiže razinu stručnosti te uvodi primjenu novih metoda i postupaka održavanja u svakodnevnu praksu.

Dvadeset i sedmi međunarodni znanstveno stručni skup „Organizacija i tehnologija održavanja OTO2018“ održava se 13. travnja 2018. u organizaciji Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek. I ove godine za uspješnu organizaciju skupa pobrinule su se sastavnice Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, pri čemu su se posebno aktivno uključili predstavnici Građevinskog fakulteta Osijek i Strojarskog fakulteta u Slavanskom Brodu.

Kako bismo dodatno promovirali objavljivanje radova u ovome području, autori najkvalitetnijih odabranih radova bit će pozvani da objave rezultate svojih istraživanja u proširenom obliku na engleskome jeziku u sljedećim indeksiranim časopisima: *Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek e-GFOS* (<http://e-gfos.gfos.hr>), *Journal of Energy* (<http://journalofenergy.com/>) i *International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems* ([www.ferit.unios.hr/ijeces/](http://www.ferit.unios.hr/ijeces/)).

Zbornik radova sadrži ukupno 28 radova, od kojih su, na temelju neovisnih recenzija, tri rada svrstana u kategoriju originalnih znanstvenih radova, dva rada u prethodno priopćenje, dva rada u pregledni rad i dvadeset i jedan rad u stručni rad. Područje elektrotehnike zastupljeno je s 15 radova, građevinarstva sa 7 radova i strojarstva sa 6 radova. Uspješno izdavanje ovog zbornika i međunarodni karakter skupa ne bi bio moguć bez doprinosa autora iz četiriju država i brojnih recenzenata kojima se ovom prilikom zahvaljujemo.

Ispred Organizacijskog odbora  
prof. dr. sc. Drago Žagar, dekan FERIT-a

## Dean of the Faculty (Foreword)



The international scientific conference, OTO, represents an opportunity for the direct exchange of experience of experts from different fields with the aim of exploring and analyzing the application of new methods and procedures in maintenance. The main goal of organizing this conference is to continuously increase the level of knowledge in maintenance. Through scientific and professional papers, the level of professional knowledge is increased, lifelong learning is promoted and the profession is supported. Through published research, one can continuously monitor the trends in engineering and technology development in all spheres of economy, infrastructure and public services.

Since the first conference held on 20<sup>th</sup> April, 1990 at the Faculty of Electrical Engineering in Osijek, 26 scientific and professional conferences have been held. Until 2016, the meetings were organized by the Society of Maintenance Engineers (founded in 1983) in cooperation with the Faculty of Electrical Engineering, Computing and Information Technology Osijek, Faculty of Civil Engineering Osijek, Faculty of Agriculture in Osijek and the Polytechnic of Požega. In addition to scientists from the University, manufacturers of industrial equipment and reproduction materials are actively involved in the organization and work of the conference, whereby direct communication between scientists and maintenance experts from the private sector raises the level of expertise and introduces new methods and maintenance procedures into everyday practice.

The twenty-seventh international scientific conference of the Organization and Maintenance Technology OTO2018 will be held on 13<sup>th</sup> April 2018 and organized by the Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek. This year, for the successful organization of the conference, other faculties of Josip Juraj Strossmayer University of Osijek have been actively involved, especially representatives of the Faculty of Civil Engineering Osijek and the Faculty of Mechanical Engineering in Slavonski Brod.

In order to further promote the publication of papers in this field, the authors of selected papers of the highest quality will be invited to publish an extended version of their research in the English language in the following indexed journals: Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek e-GFOS (<http://e-gfos.gfos.hr>), Journal of Energy (<http://journalofenergy.com/>) and International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems ([www.ferit.unios.hr/ijeces/](http://www.ferit.unios.hr/ijeces/)).

The Proceedings contain a total of 28 papers. Based on independent reviews, three papers are classified as original scientific papers, two as preliminary communication papers, two as review papers and twenty-one as professional papers. The field of electrical engineering is represented by 15 papers, civil engineering by 7 papers and mechanical engineering by 6 papers. The successful issuance of this proceedings and the international character of the conference could not have been possible without the contribution of authors from four countries and numerous reviewers, whom we thank on this occasion.

On behalf of the Organizing Committee

Dr. Drago Žagar, Full Professor, Dean of the Faculty

## Sadržaj

<b>1. Eleonora Desnica, Goran Arsić, Mića Đurđev</b> Test and control methods for bearings in mining exploitation for increasing system reliability	<b>1</b>
<b>2. Mirko Karakašić, Milan Kljajin, Željko Ivandić, Hrvoje Glavaš</b> Descriptive matrix of function and functionality in design and maintenance process	<b>7</b>
<b>3. Tomislav Barić</b> Supercapacitors, cell balancing using resistors	<b>15</b>
<b>4. Dragana Mitrović, Dragana Božić Lenard, Irena Galić</b> Održavanje baza alata za strojno prevođenje	<b>23</b>
<b>5. Naida Ademović, Neven Pavlinović, Marijana Hadzima-Nyarko, Gordana Pavić</b> Procjena i održavanje mostova u Bosni i Hercegovini	<b>33</b>
<b>6. Gordana Pavić, Naida Ademović, Tanja Kalman Šipoš, Marijana Hadzima-Nyarko</b> Tehnike ojačanja zidanih zgrada graditeljske povijesne baštine	<b>41</b>
<b>7. Ivan Vidaković, Goran Rozing, Željko Barač, Domagoj Zimmer, Filip Janješić</b> Reparaturno zavarivanje dijelova izrađenih od sivog lijeva	<b>53</b>
<b>8. Borivoj Novaković, Ljiljana Radovanović, Jasmina Pekez</b> Mere prediktivnog održavanja komponenti dizel električnih agregata (DEA)	<b>59</b>
<b>9. Branimir Perković, Tomislav Barić, Hrvoje Glavaš</b> Kemijsko čišćenje kotlova	<b>65</b>
<b>10. Deni Prhal, Goran Knežević, Krešimir Fekete</b> Energetski učinkoviti transformatori s amorfnom jezgrom	<b>71</b>
<b>11. Dino Obradović</b> Održavanje toranjskih dizalica	<b>79</b>
<b>12. Domagoj Talapko, Sejid Tešnjak, Hrvoje Glavaš</b> Impact of Maintenance on Solar and Wind Powered Internet Data Center Electrical Infrastructure Availability	<b>87</b>
<b>13. Dražen Hećimović, Držislav Vidaković</b> Analiza isplativosti energetske obnove obiteljskih kuća u Osječko-baranjskoj županiji	<b>97</b>
<b>14. Franjo Vračević, Damir Blažević, Damir Nožica</b> Izrada projekta aktivne energetski neovisne kuće	<b>105</b>
<b>15. Ivan Arambašić, Goran Knežević, Vladimir Čaha</b> Visokonaponska ispitivanja i pregledi opreme za rad pod naponom	<b>111</b>



<b>16. Ivona Jovanovac, Tomislav Keser, Srđan Kovačević, Vlatko Matijević, Miroslav Vuković</b> A generic cloud-based IoT platform for implementation of secure and scalable energy monitoring system applications	<b>117</b>
<b>17. Josip Katalinić, Tomislav Barić</b> Numerički izračun magnetskog polja Helmholtzovog svitka	<b>121</b>
<b>18. Krešimir Miklošević, Vedrana Jerković Štil, Dalibor Gernhart, Željko Špoljarić</b> Primjena uređaja za meki zalet Altistart 48 pri pokretanju kaveznog asinkronog motora	<b>127</b>
<b>19. Krešimir Pavelić, Denis Bauer, Ivica Jažić</b> Održavanje sigurnosne razine mrežnih servisa računalnog sustava programskim paketom NMAP	<b>135</b>
<b>20. Mario Dudjak, Ivica Lukić, Mirko Köhler</b> Survey of Database Backup Management	<b>141</b>
<b>21. Mato Marčetić, Krešimir Fekete, Goran Knežević, Zvonimir Klaić</b> Vrijeme povrata ulaganja u kućne fotonaponske sustave – utjecaj troškova održavanja	<b>149</b>
<b>22. Niko Sičanica, Damir Blažević, Igor Lukačević</b> Izrada sustava za nadzor i upravljanje rashladnim procesom	<b>157</b>
<b>23. Nina Pelc, Nataša Šuman, Uroš Klanšek,</b> Maintenance of Residential Buildings Supported by iBuilding Software	<b>167</b>
<b>24. Silva Lozančić, Mirjana Bošnjak Klečina, Davorin Penava, Matko Baloković</b> Utjecaj projektiranja i izvedbe na trajnost i održavanje objekta	<b>177</b>
<b>25. Srđan Kovačević, Vlatko Matijević, Ivan Jelušić, Tomislav Keser</b> High-definition video goggles for unmanned aerial vehicle operation and other remote operation applications	<b>183</b>
<b>26. Tatjana Mijušković-Svetinović, Dejan Bulajić</b> Rad i održavanje uređaja za pročišćavanje otpadnih voda	<b>189</b>
<b>27. Željko Barač, Ivan Plaščak, Tomislav Jurić, Mladen Jurišić, Goran Heffer, Ivan Vidaković, Domagoj Zimmer, Saša Majstorović</b> Održavanje linije strojeva za uzgoj lijeske – studija slučaja	<b>199</b>
<b>28. Željko Špoljarić, Davor Radičević, Vedrana Jerković Štil, Krešimir Miklošević</b> Influence of Motor Control Principles on Induction Motor Starting Current	<b>205</b>

## Contents

<b>1. Eleonora Desnica, Goran Arsić, Mića Đurđev</b> Test and control methods for bearings in mining exploitation for increasing system reliability	<b>1</b>
<b>2. Mirko Karakašić, Milan Kljajin, Željko Ivandić, Hrvoje Glavaš</b> Descriptive matrix of function and functionality in design and maintenance process	<b>7</b>
<b>3. Tomislav Barić</b> Supercapacitors, cell balancing using resistors	<b>15</b>
<b>4. Dragana Mitrović, Dragana Božić Lenard, Irena Galić</b> Maintaining databases for machine translation	<b>23</b>
<b>5. Naida Ademović, Neven Pavlinović, Marijana Hadzima-Nyarko, Gordana Pavić</b> Assessment and maintenance of bridges in Bosnia and Herzegovina	<b>33</b>
<b>6. Gordana Pavić, Naida Ademović, Tanja Kalman Šipoš, Marijana Hadzima-Nyarko</b> Strengthening techniques of cultural historical heritage masonry buildings	<b>41</b>
<b>7. Ivan Vidaković, Goran Rozing, Željko Barač, Domagoj Zimmer, Filip Janješić</b> Repair welding of parts made of cast iron	<b>53</b>
<b>8. Borivoj Novaković, Ljiljana Radovanović, Jasmina Pekez</b> Predictive maintenance measures for components of diesel electric aggregates (DEA)	<b>59</b>
<b>9. Branimir Perković, Tomislav Barić, Hrvoje Glavaš</b> The chemical cleaning of boilers	<b>65</b>
<b>10. Deni Prhal, Goran Knežević, Krešimir Fekete</b> Energy efficient transformers with amorphous core	<b>71</b>
<b>11. Dino Obradović</b> Maintenance of Tower Cranes	<b>79</b>
<b>12. Domagoj Talapko, Sejid Tešnjak, Hrvoje Glavaš</b> Impact of Maintenance on Solar and Wind Powered Internet Data Center Electrical Infrastructure Availability	<b>87</b>
<b>13. Dražen Hećimović, Držislav Vidaković</b> Analyses cost effectiveness energy reconstruction family houses in Osijek-Baranya county	<b>97</b>
<b>14. Franjo Vračević, Damir Blažević, Damir Nožica</b> Project of active energy independent house	<b>105</b>
<b>15. Ivan Arambašić, Goran Knežević, Vladimir Čaha</b> High voltage testing and inspection of equipment for live-line working	<b>111</b>

<b>16. Ivona Jovanovac, Tomislav Keser, Srđan Kovačević, Vlatko Matijević, Miroslav Vuković</b> A generic cloud-based IoT platform for implementation of secure and scalable energy monitoring system applications	<b>117</b>
<b>17. Josip Katalinić, Tomislav Barić</b> Numerical calculation of magnetic field of Helmholtz coil	<b>121</b>
<b>18. Krešimir Miklošević, Vedrana Jerković Štil, Dalibor Gernhart, Željko Špoljarić</b> Apply Altistart 48 soft start device on starting the squirrel cage asynchronous motor	<b>127</b>
<b>19. Krešimir Pavelić, Denis Bauer, Ivica Jažić</b> Maintaining the level of security of network services with the computer system package NMAP	<b>135</b>
<b>20. Mario Dudjak, Ivica Lukić, Mirko Köhler</b> Survey of Database Backup Management	<b>141</b>
<b>21. Mato Marčetić, Krešimir Fekete, Goran Knežević, Zvonimir Klaić</b> Payback period for household photovoltaic systems - impact of maintenance costs	<b>149</b>
<b>22. Niko Sičanica, Damir Blažević, Igor Lukačević</b> Cooling process monitoring and controlling system	<b>157</b>
<b>23. Nina Pelc, Nataša Šuman, Uroš Klanšek,</b> Maintenance of Residential Buildings Supported by iBuilding Software	<b>167</b>
<b>24. Silva Lozančić, Mirjana Bošnjak Klečina, Davorin Penava, Matko Baloković</b> Influence of design and construction on building durability and maintenance	<b>177</b>
<b>25. Srđan Kovačević, Vlatko Matijević, Ivan Jelušić, Tomislav Keser</b> High-definition video goggles for unmanned aerial vehicle operation and other remote operation applications	<b>183</b>
<b>26. Tatjana Mijušković-Svetinović, Dejan Bulajić</b> Operation and Maintenance of Wastewater Treatment Plants	<b>189</b>
<b>27. Željko Barač, Ivan Plaščak, Tomislav Jurić, Mladen Jurišić, Goran Heffer, Ivan Vidaković, Domagoj Zimmer, Saša Majstorović</b> Maintaining a Line of Hazel Growing Machines - Case Study	<b>199</b>
<b>28. Željko Špoljarić, Davor Radičević, Vedrana Jerković Štil, Krešimir Miklošević</b> Influence of Motor Control Principles on Induction Motor Starting Current	<b>205</b>



# Kemijsko čišćenje kotlova

Professional paper

## Branimir Perković

DMK servisi d.o.o.

Biljska cesta 66, Osijek

branimir.perkovic@dmkservisi.com

## Hrvoje Glavaš

FERIT

Kneza Trpimira 2b, Osijek

hrvoje.glavas@feritos.hr

## Tomislav Barić

FERIT

Kneza Trpimira 2b, Osijek

tomislav.baric@feritos.hr

**Sažetak**– U radu su kratko opisani toplinski procesi u kotlovskim postrojenjima, vrste goriva, cirkulacija medija, te osnovne vrste kotlova. Opisane su karakteristike kotlovskog kamenca i čađi, te su objašnjeni razlozi njihovog nastanka i njihovi utjecaji na energetske učinkovitost kotla. Prikazani su osnovni dijelovi kotla, procedura i dinamika kontrole i praćenja rada kotla. Objašnjena je procedura i način mehaničkog i kemijskog čišćenja kotla.

**Ključne riječi**–kotao, čišćenje, kamenac, čađ, održavanje

## The chemical cleaning of boilers

**Abstract**–The paper describes briefly the thermal processes in boiler plants, fuel types, circulation of media, and basic types of boilers. The characteristics of boiling lime and soot are described, explaining the reasons for their development and their effects on the boiler's energy efficiency. The basic parts of the boiler are shown, the procedure and the dynamics of the control and monitoring of the boiler operation. The procedure and method of mechanical and chemical cleaning of the boiler is explained.

**Keywords**–boiler, cleaning, lime, soot, maintenance

### 1. UVOD

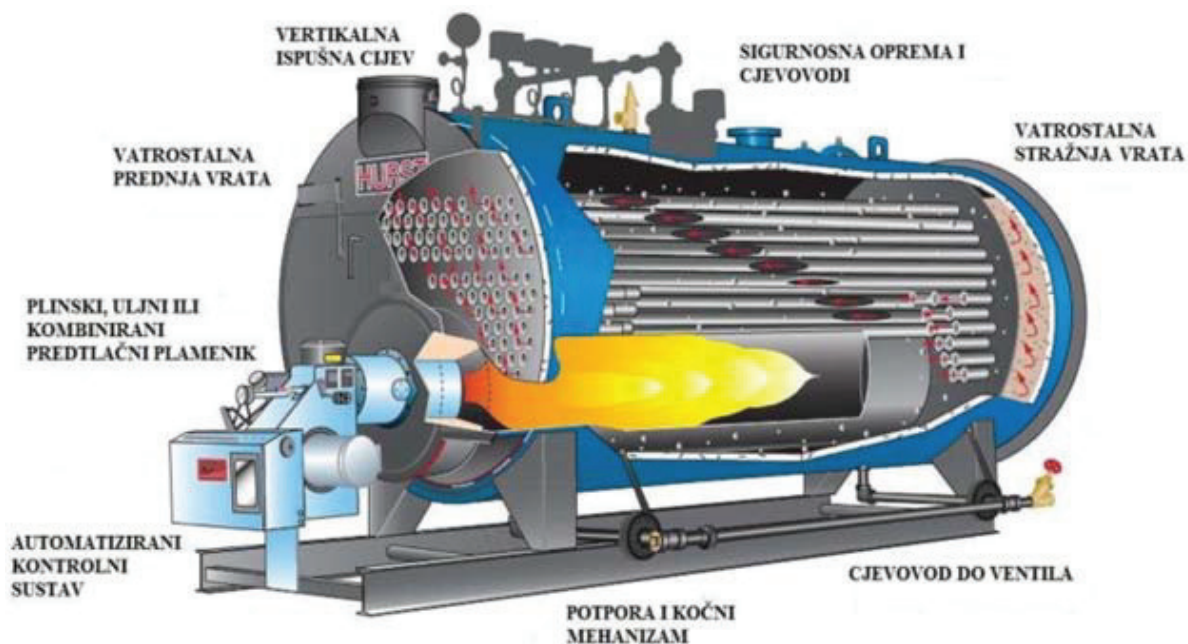
Tvrtka DMK servisi bavi se servisom, održavanjem i montažom plinskih i uljnih trošila, te kemijskih čišćenja kotlova i izmjenjivača topline. Ovaj rad je napisan prvenstveno kako bi se korisnicima plinskih i uljnih trošila približila važnost redovitog i pravilnog održavanja takovih uređaja. Na području Osijeka i prigradskih naselja nalazi se oko 36.000 plinskih priključaka. Svaki od tih priključaka na sebe ima spojeno minimalno jedno plinsko trošilo, što nam govori da na području grada Osijeka i prigradskih naselja postoji daleko više plinskih trošila od samog broja priključaka. Uzevši u obzir broj firmi koje se bave servisom plinskih trošila možemo sa sigurnošću tvrditi kako velik broj priključenih trošila nije redovno servisiran, a veliki broj trošila se „servisira“ tek kada se pokvare, te su vlasnici primorani zvati servisere. Problematika vezana uz neredovito održavanje uređaja prvenstveno potencijalno ugrožava život korisnika gdje može doći do trovanja ugljičnim monoksidom. Zatim možemo reći kako neredovito održavanje uređaja je u konačnici puno skuplje od redovitog održavanja, jer prema Murphyjevom zakonu – ako nešto može poći naopako, poći će u najgorem mogućem trenutku. Ukoliko Murphyjevu tvrdnju promotrimo

kroz praksu kod privatnih korisnika kvarovi se pretežno dogode pri vrlo niskim temperaturama obično kasno navečer ili vikendom, dok kod proizvodnje prilikom kvara uređaja dolazi do zastoja proizvodnje i puno većih troškova. Dok kod kotlovskih postrojenja potrebno je voditi računa o pripremi kotlovske vode, zaprljanosti ložišta, te nakupljanju kotlovskog kamenca na stjenkama.

### 2. OPĆENITO O KOTLOVIMA

Industrijskom revolucijom i izumom prvog parnog stroja započinje era ljudske povijesti gdje se voda i para koriste kao mediji za grijanje, industriju, prijevoz, proizvodnju električne energije i ostale namjene. Tijekom godina su se razvijale praktičnije i učinkovitije izvedbe kotlova. Sukladno tome mijenjao se sustav loženja i energenti s kojima su se kotlovi opskrbljivali. Iz toga proizlazi podjela kotlova prema vrsti goriva [1]:

- kotlovi za izgaranje krutih goriva,
- kotlovi za izgaranje ugljene prašine,
- kotlovi za izgaranje tekućih goriva,
- kotlovi za izgaranje plinovitih goriva,
- kotlovi za istodobno izgaranje više vrsta goriva,



Sl. 1.: Presjek plamenocijevskog kotla

- kotlovi za izgaranje biomase i raznih otpada,
- kotlovi za iskorištavanje otpadne topline (bez izgaranja u ložištu).

U današnje vrijeme na području Osijeka i okolice najčešće se koristi tekuće i plinovito gorivo s kojim se opskrbljuje plamenike na kotlovima. Kotlove možemo podijeliti još i prema načinu cirkulacije radnog medija, odnosno na prirodnu i prisilnu cirkulaciju. Kotlovi se mogu podijeliti prema konstrukciji:

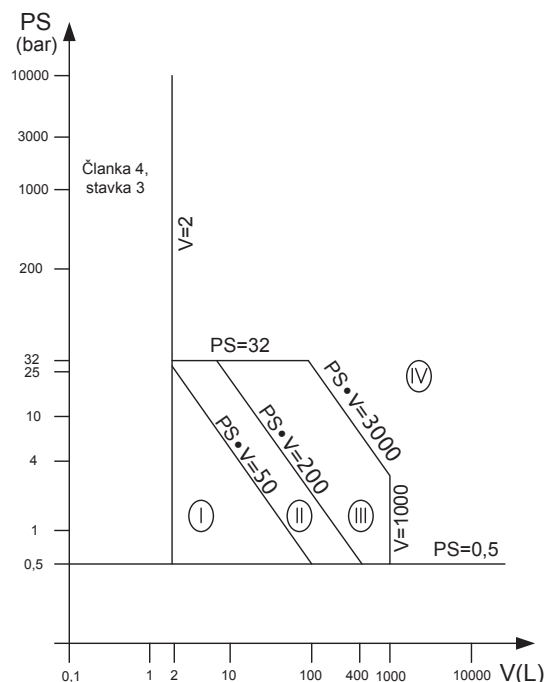
- cilindrični kotlovi,
- kotlovi sa plamenim cijevima (slika 2. [1]),
- kotlovi s dimnim cijevima,
- kombinirani kotlovi,
- vodocijevni kotlovi,
- kotlovi specijalnih konstrukcija.

Još jedna od važnijih podjela je podjela prema radnome tlaku [2]:

- kotlovi niskog tlaka 0,5 bara - 16 bara,
- kotlovi srednjeg tlaka 16 bara - 25 bara,
- kotlovi visokog tlaka 25 bara - 60 bara,
- kotlovi vrlo visokog tlaka 60 bara - 225 bara,
- kotlovi nad kritičnog tlaka 225 bara - 360 bara.

Nastavno na prikazane podjele dolazi se do obveza i dužnosti vlasnika opreme da se ista prijavi nadležnim agencijama za kontrolu i sigurnost opreme pod tlakom. U skladu s

Europskom normom direktiva 97/23/EC i Pravilnikom o tlačnoj opremi NN 27/2017 parni i vrelovodni kotlovi razvrstani su u četiri kategorije koje su određene odnosima između tlaka i volumena. Iz dijagrama na slici 2. se može vidjeti kategorizacija kotlova u ovisnosti tlaka i volumena.



Sl. 2.: Dijagram za određivanje kategorije ložene tlačne opreme

Ova podjela je osnovna za primjenu procedura u proizvodnji, kontroli kvalitete, održavanju i inspeksijskim nadzorima. Zanimljivo je da se u Pravilniku o tlačnoj opremi NN 27/2017 u članku tri

određuje: "Ložena ili na neki drugi način zagrijavana tlačna oprema kod koje postoji opasnost od pregrijavanja, a koja je namijenjena za proizvodnju pare ili vrele vodena temperaturama većim od  $110[^\circ\text{C}]$  i volumena većeg od 2 litre, te svi tlačni lonci za kuhanje. [2]"

### 3. NAČINI IZMJENE TOPLINE

Kao što je poznato da toplina prelazi sa tijela više temperature na tijelo niže temperature u nastojanju da se postigne temperaturna ravnoteža, odnosno teže izjednačavanju svojih temperatura. Izmjena topline provodi se na tri načina [3]:

- kondukcijom,
- konvekcijom,
- zračenjem.

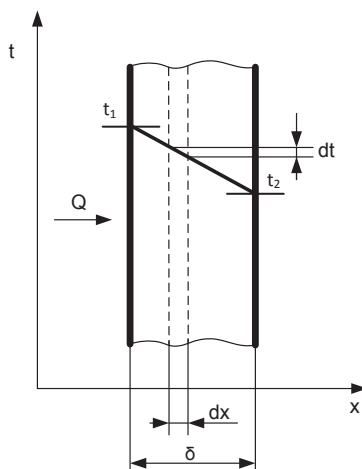
#### 3.1 Kondukcija

Izmjena topline kondukcijom vrši se međusobnim djelovanjem molekula različitih brzina. Što je pojedinoj molekuli viša temperatura to se brže giba, a hlađenjem se usporava. Prema Fourierovom zakonu ukoliko se dvije površine stjenke održavaju pri konstantnim temperaturama  $t_1$  i  $t_2$  [ $^\circ\text{C}$ ], kroz stjenku prolazi toplina  $Q$  [W](1)[3].

$$Q = \lambda \frac{(t_1 - t_2)}{\delta} A \quad (1)$$

Gdje je:  $\lambda$  - koeficijent toplinske vodljivosti u  $[\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$ ,  $\delta$  - debljina stjenke u [m],  $A$  -površina okomita na smjer prolaza topline u  $[\text{m}^2]$ .

Na slici 3. prikazana je kondukcija uz spomenute veličine.



Sl. 3.: Provođenje topline kroz ravnu stjenku

#### 3.2 Konvekcija

Konvekcija je usmjereno gibanje odnosno strujanje fluida (kapljevina i plinova), topliji fluid se giba prema hladnijem i predaje toplinu okolini. Konvekcija je jedan od glavnih načina prijenosa topline. U fluidima se promjena topline odvija kroz difuziju i koherentno gibanje. Opći izraz riječi konvekcija često izostavlja riječ toplina, ali ipak se misli na konvekciju topline: to je slučaj u kojem je interes da se toplina odvede i rasprši. Postoje dvije glavne vrste konvekcije [3]:

- Toplina se prenosi pasivno, gibanjem fluida koje bi se dogodilo i bez procesa grijanja. Ovaj slučaj konvekcije se najčešće naziva prisilna konvekcija.
- Toplina sama izaziva kretanje fluida (putem širenja i sile uzgona), dok se u isto vrijeme izaziva prijenos topline ovakvim skupnim gibanjem fluida. Ovaj proces se naziva prirodna konvekcija.

Oba tipa, prisilna konvekcija i prirodna konvekcija, mogu se odvijati zajedno. U tom slučaju nazivaju se mješovita konvekcija. Konvekcijski prijenos topline je mehanizam prijenosa topline koji nastaje zbog masovnog kretanja fluida. To može biti prikazano sa vodljivim prijenosom topline koje je prijenos energije vibracijama na molekularnoj razini kroz fluide i čvrsta tijela, i prijenos energije elektromagnetskim valovima. Pošto je konvekcija ovisna o masovnom gibanju, može se javljati samo u tekućinama, plinovima i više faznim smjesama.

#### 3.3 Zračenje

Zračenje je oblik prijenosa topline elektromagnetskim valovima različitih valnih duljina  $\lambda$ , što znači da prijelaz topline nije vezan za tvar. Tijelo koje zrači odaje ili prima energiju zračenja u fotonima. Jednoznačna i nepromjenjiva karakteristika boje neke zrake nije njena valna duljina, već njena frekvencija koja je s valnom duljinom povezana preko brzine rasprostiranja svjetlosti. Prilikom prolaska zrake kroz neki medij, brzina i valna duljina se ne mijenjaju, a frekvencija ostaje jednaka [3].

### 4. UTJECAJ ZAPRLJANOSTI KOTLA NA ENERGETSKU UČINKOVITOST

Energetska učinkovitost uređaja je definirana stupnjem korisnog djelovanja odnosno malih gubitaka prilikom transformiranja jednog oblika energije u drugi. Na osnovu poznatih relacija za provođenje topline možemo na primjerima prikazati stvarni utjecaj zaprljanosti površina u kotlovima. Što su površine zaprljanije to nam je potrebna viša

temperatura u ložištu i samim time se više energije izbacuje putem dimovoda u okolinu što nam povećava gubitke i sukladno tome smanjuje energetska učinkovitost samog uređaja.

Promotrit ćemo iz primjera utjecaj sloja čađi i kotlovskog kamenca na energetska učinkovitost kotla uz slijedeće poznate veličine [4]:

- toplinska vodljivost čelika  
 $\lambda_1 = 45 \text{ [W/mK]}$ ,
- toplinska vodljivost kotlovskog kamenca  
 $\lambda_2 = 1,2 \text{ [W/mK]}$ ,
- toplinska vodljivost čađi  
 $\lambda_3 = 0,12 \text{ [W/mK]}$ ,
- debljina zida grijane površine  
 $\delta_1 = 3,5 \text{ [mm]}$ .

Pitanje je kolika bi trebala biti razlika u temperaturi kako bi se održao prijelaz topline od  $Q = 250 \text{ [kW/m}^2\text{]}$  za slučajeve kada je stjenka čista, odnosno prekrivena čađom ili kotlovskim kamencom?•

U prvom slučaju imamo potpuno čistu čeličnu stjenku površine  $1 \text{ m}^2$  gdje je potrebno izračunati toplinski otpor  $R$  kako bi izračunali potrebnu temperaturnu razliku  $\Delta t$ .

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1 A} = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{45 \cdot 1} = 7,78 \cdot 10^{-5} \text{ [}^\circ\text{C/W]}$$

$$\Delta t_1 = Q \cdot R_1 = 250 \cdot 10^3 \cdot 7,78 \cdot 10^{-5} = 19,45 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

U drugom slučaju imamo identičnu čeličnu stjenku, ali sa slojem kamenca debljine  $\delta_2 = 1 \text{ [mm]}$ .

$$R_{uk} = R_1 + R_2 = \frac{\left[ \left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right) + \left( \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right) \right]}{A} = 9,11 \cdot 10^{-4} \text{ [}^\circ\text{C/W]}$$

$$\Delta t_2 = Q \cdot R_{uk} = 250 \cdot 10^3 \cdot 9,11 \cdot 10^{-4} = 227,75 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Ukoliko usporedimo rezultate iz prvog i drugog slučaja možemo zaključiti kako je [4]:

- toplinski otpor povećan za 11,71 puta,
- kod iste temperaturne razlike toplinski tok u drugom slučaju će biti samo 8,54 % u odnosu na prvi slučaj gdje imamo čistu čeličnu stjenku.

U trećem slučaju imamo identične parametre kao u drugom slučaju, ali sa slojem čađi debljine  $\delta_3 = 0,2 \text{ [mm]}$ .

$$R_{uk} = R_1 + R_2 + R_3 = 2,58 \cdot 10^{-3} \text{ [}^\circ\text{C/W]}$$

$$\Delta t_3 = Q \cdot R_{uk} = 250 \cdot 10^3 \cdot 2,58 \cdot 10^{-3} = 645 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Ukoliko usporedimo rezultate iz prvog i trećeg slučaja možemo zaključiti kako je:

- toplinski otpor povećan za 33,16 puta,
- kod iste temperaturne razlike toplinski tok u trećem slučaju biti će samo 3 % u odnosu na prvi slučaj gdje imamo čistu čeličnu stjenku.

Kako bi se smanjili gubici i povećala energetska učinkovitost potrebno je pravilno posluživati i održavati kotao. Nadzor i rad kotlovnice moraju izvršavati kvalificirani i obučeni zaposlenici. Kako bi kotao uvijek radio u zadanim i sigurnim parametrima uobičajeno je da ima slijedeće instrumente za kontrolu:

- temperatura vode na ulazu i izlazu,
- temperatura zraka za izgaranje,
- temperatura dimnih plinova,
- temperatura vode/pare,
- protok i količina vode za napajanje,
- protok i količina goriva,
- tlak napojne pumpe,
- tlak u kotlu.

Kako bi kotao radio sigurno i dugoročno potrebno je pravovremeno obavljati preglede ložišta, servisirati plamenik na njemu, baždariiti manometre i sigurnosne ventile, te ukoliko kotao spada pod nadzor inspekcije opreme pod tlakom također obavljati inspektorske preglede sukladno dinamici koju odredi inspektor sukladno parametrima kotla.

## 5. KEMIJSKO ČIŠĆENJE

Formiranje mulja, kotlovskog kamenca i čađi redovita je pojava u kotlovima i izmjenjivačima topline. U ovisnosti o debljini naslaga u pravilu se kombinira mehaničko i kemijsko čišćenje kotlova i izmjenjivačakako bi se postigao što bolji efekt čišćenja i da se materijal što kraće izlaže djelovanju kiseline [5].

Vodeni talozi odnosno kotlovski kamenac nastaje od soli kalcija i magnezija koje su otopljene u vodi. Povećavanjem temperature vode dolazi do taloženja naslaga i pri kontaktu s metalnim



površinama lokalno se počinje stvarati kristalne strukture kotlovskog kamenca. Soli koje tvore kotlovski kamenac su  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{HgCO}_3$ ,  $\text{MgOH}_2$ ,  $\text{NaOS}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , itd. Kada se kotlovski kamenac sastoji isključivo od soli otopljenih u čistoj vodi bijele je boje. U praksi se gotovo nikada ne susrećemo sa bijelim kotlovskim kamencem, već je roza-crven, tamno crven, crveno-smeđi, crveno-sivi, što ovisi od udjela korozije u kotlovskom kamencu. Debljina kotlovskog kamenca i njegova struktura nije svugdje jednaka po cijeloj ogrijevnoj površini, već ovisi o sadržaju soli, temperaturi pojedinih dijelova kotla, kapacitetu kotla, brzini cirkulacije, promjeni opterećenja i načina kristalizacije. Formiranje kotlovskog kamenca na stjenkama ne smanjuje samo energetska učinkovitost, već podiže temperaturu kotla, smanjuje čvrstoću i elastičnost materijala, smanjuje pogonsku sigurnost i pospješuje stvaranje korozije.

Obzirom na vrstu kotlovskog kamenca potrebno je pravilno odabrati postupak kemijskog čišćenja. Karbonatni kamenac otapa se u odgovarajućoj koncentraciji solne kiseline, dok se sulfatni kamenac ne otapa u solnoj kiselini, nego je potrebno prvenstveno sulfate pretvoriti u karbonate, te ih potom tretirati solnom kiselinom. Dok se silikatni kamenac najteže otapa i potrebno ga je tretirati fluorovodičnom kiselinom. U praksi se obično nailazi na kotlovski kamenac miješane strukture, te se kao takav mora tretirati sa više različitih kemijskih sredstava. Zbog toga je potrebno prije početka obavljanja kemijskog čišćenja uzeti uzorak kotlovskog kamenca kako bi se utvrdio njegov sastav. Također je bitno odrediti debljinu naslaga kotlovskog kamenca i površinu na kojoj se on nalazi kako bi se na osnovu toga mogla procijeniti potrebna količina kiseline za čišćenje.

Kada se obave sve pripremne radnje potrebno je osigurati odgovarajuću opremu, alate, kemijska sredstva, cirkulirajuću crpku otpornu na agresivna sredstva, plastičnu kadu, armirana gumena crijeva, odgovarajuće spojnice, zaštitnu opremu i odjeću, inhibitor, te sredstvo za neutralizaciju [5].

Potrebno je spojiti crpku na kotao kako bi se osigurala što bolja cirkulacija. Djelatnici se moraju obući u zaštitnu odjeću, te pripremaju i miješaju otopinu za kemijsko čišćenje. Kemijskom čišćenju pristupamo tako da kotao napunimo vodom do polovine, dodamo sav inhibitor, te se započne cirkulacija uz postepeno dodavanje kiseline. Kiselinu je potrebno postepeno dodavati, jer prilikom početnog dodavanja kiseline u kotao stvara se burna reakcija pri kojoj se formira puno pjene i plinova. Nakon što se doda sva potrebna kiselina kotao se puni vodom do kraja i cirkulira pomoću crpke.

Prilikom cirkulacije svaki sat se uzima uzorak kako bi se utvrdila koncentracija kiseline u kotlu. U početku čišćenja koncentracija kiseline mora iznositi od 6 % do 8 %. Pošto se svakog sata utvrđuje koncentracija kiseline, te ukoliko koncentracija padne ispod 4 % potrebno je dodati novu količinu kiseline kako bi koncentraciju vratili na 5 % u otopini. Kemijsko čišćenje se vrši dok se ne utvrdi kako koncentracija kiseline ne opada i da se ne događa kemijska reakcija prilikom cirkulacije. Nakon toga ispuštamo kiselu otopinu iz kotla i vršimo ispiranje sirovom vodom. Ispiranje se vrši dok se na izlazu iz kotla ne dobije isti pH kao na ulazu u kotao. Kada je postupak ispiranja kotla završen, pristupa se neutralizaciji pomoću odgovarajućeg alkalnog kemijskog sredstva.

Važno je napomenuti kako prilikom svakog kemijskog čišćenja, tlačne probe na kotlu, inspektorskog unutarnjeg pregleda ili bilo kojeg drugog razloga koji zahtijeva otvaranje prednjih vrata, zadnjih vrata ili revizionih otvora na kotlu obavezno se mora pregledati stanje brtvi. Brtve se prilikom rada kotla i utjecaja temperature na njih prilagode oblikom, te se znaju zalijepiti za stjenku kotla. Tako da prilikom svakog otvaranja postoji mogućnost oštećenja brtvi. Ukoliko se uoči bilo kakvo oštećenje na brtvama potrebno ih je izmijeniti prije zatvaranja kotla i puštanja u pogon. Primjer izmjene brtve na kotlu nakon izvršenog kemijskog čišćenja prikazan je na slici 4.



Sl. 4.: Izmjena brtve na prednjim vratima kotla

## 6. ZAKLJUČAK

Kako je svaka kotlovnica izvedena drugačije i prilagođena sustavu za koji je rađena, tako je i svaki kotao podvrgnut drugačijem režimu rada, te je njegovo čišćenje i održavanje jedinstven izazov. Sukladno tome također se mora voditi računa kako niti na jednom kotlu kotlovski kamenac nije u potpunosti identičnog kemijskog sastava, te je prilikom kemijskog čišćenja potrebno prvenstveno utvrditi kemijski sastav kotlovskog kamenca kako bi se kotao mogao što kvalitetnije očistiti i kako bi se kotlovski kamenac u potpunosti odstranio. Treba naglasiti kako se pravilnim rukovanjem i redovnim održavanjem kotla uvelike produžuje njegovo vrijeme eksploatacije, te smanjuje potrošnja energenata.

## LITERATURA:

- [1] S. Dautović, "Analiza djelovanja potresa na tlačne dijelove konstrukcije vodocijevnog parnog kotla", Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2017.
- [2] I. Bacinger, "Parni kotlovi", Savez energetičara Hrvatske, 2013.
- [3] S. Kvaternik, "Termodinamička analiza kompaktnog izmjenjivača topline", Sveučilišni studij strojarstva, Rijeka, 2015.
- [4] M. Mihajlović, M. Bogner, "O dimničarstvu", Beograd, 2013.
- [5] J. Gavranović, P. Ećimović, "DIMKO I", Beograd, 1985.