



UNIVERSITY OF EAST SARAJEVO  
FACULTY OF MECHANICAL  
ENGINEERING



4<sup>th</sup> INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE



## COMETa2018

*, „Conference on Mechanical Engineering  
Technologies and Applications“*

# PROCEEDINGS

27<sup>th</sup>-30<sup>th</sup> November  
East Sarajevo-Jahorina, RS, B&H

# COMET<sub>a</sub> 2018

4<sup>th</sup> INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

27<sup>th</sup> - 30<sup>th</sup> November 2018  
Jahorina, Republic of Srpska, B&H



University of East Sarajevo

Faculty of Mechanical Engineering

Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications

---

## ZBORNIK RADOVA

## PROCEEDINGS

*Istočno Sarajevo – Jahorina, BiH, RS  
27 - 30. Novembar 2018.*

*East Sarajevo – Jahorina, B&H, RS  
27<sup>th</sup> – 30<sup>th</sup> November 2018.*

ZBORNIK RADOVA SA 4. MEĐUNARODNE  
NAUČNE KONFERENCIJE  
"Primijenjene tehnologije u mašinskom inženjerstvu"  
COMETa2018, Istočno Sarajevo - Jahorina 2018.

PROCEEDINGS OF THE 4<sup>th</sup> INTERNATIONAL  
SCIENTIFIC CONFERENCE  
"Conference on Mechanical Engineering  
Technologies and Applications"  
COMETa2018, East Sarajevo - Jahorina 2018.

---

<i>Organizator:</i>	Univerzitet u Istočnom Sarajevu Mašinski fakultet Istočno Sarajevo
<i>Organization:</i>	University of East Sarajevo Faculty of Mechanical Engineering East Sarajevo
<i>Izdavač:</i>	Univerzitet u Istočnom Sarajevu Mašinski fakultet Istočno Sarajevo
<i>Publisher:</i>	University of East Sarajevo Faculty of Mechanical Engineering East Sarajevo
<i>Za izdavača:</i> <i>For publisher:</i>	Assistant professor Milija Kraišnik PhD
<i>Urednici:</i> <i>Editors:</i>	Full professor Dušan Golubović PhD Assistant professor Aleksandar Košarac PhD Assistant professor Dejan Jeremić PhD
<i>Tehnička obrada i dizajn:</i> <i>Technical treatment and desing:</i>	Davor Milić, senior assistant Jelica Anić, senior assistant
<i>Izdanje:</i> <i>Printing:</i>	Prvo 1 <sup>st</sup>
<i>Register:</i> <i>Register:</i>	ISBN 978-99976-719-4-3 COBISS.RS-ID 7818520

## REVIEWERS

PhD Antunović Ranko, FME UES (B&H)  
PhD Banić Milan, FME Niš (Serbia)  
PhD Blagojević Mirko, FE Kragujevac (Serbia)  
PhD Dubonjić Ljubiša, FMCE Kraljevo (Serbia)  
PhD Golubović Dušan, FME UES (B&H)  
PhD Ivanović Lozica, FE Kragujevac (Serbia)  
PhD Jovanović Jelena, FME Podgorica (MNE)  
PhD Jovović Aleksandar, FME Belgrade (Serbia)  
PhD Košarac Aleksandar, FME UES (B&H)  
PhD Krašnik Milija, FME UES (B&H)  
PhD Krstić Branimir, University of Defence, Military Academy (Serbia)  
PhD Lozančić Silva, Faculty of Civil Engineering Osijek (Croatia)  
PhD Lubura Slobodan, FEE UES (B&H)  
PhD Marić Bogdan, FME UES (B&H)  
PhD Marković Biljana, FME UES (B&H)  
PhD Medaković Vlado, FME UES (B&H)  
PhD Milovančević Miloš, FME Nis (Serbia)  
PhD Milutinović Miroslav, FME UES (B&H)  
PhD Milutinović Mladomir, FTS Novi Sad (Serbia)  
PhD Moljević Slaviša, FME UES (B&H)  
PhD Nestić Snežana, FE Kragujevac (Serbia)  
PhD Orašanin Goran, FME UES (B&H)  
PhD Pekez Jasmina, TF "Mihajlo Pupin" Zrenjanin (Serbia)  
PhD Prodanović Saša, FME UES (B&H)  
PhD Pršić Dragan, FMCE Kraljevo (Serbia)  
PhD Rackov Milan, FTS Novi Sad (Serbia)  
PhD Radić Nebojša, FME UES (B&H)  
PhD Stanojević Miroslav, FME Belgrade (Serbia)  
PhD Tabaković Slobodan, FTS Novi Sad (Serbia)  
PhD Tanasić Nikola, FME Belgrade (Serbia)  
PhD Tomicić Mladen, FTS Novi Sad (Serbia)  
PhD Tomović Radoslav, FME Podgorica (MNE)  
PhD Vasković Srđan, FME UES (B&H)  
PhD Vučina Adisa, FMEC Mostar (B&H)  
PhD Vukelić Đorđe, FTS Novi Sad (Serbia)  
PhD Zeljković Milan, FTS Novi Sad (Serbia)  
PhD Žigić Miodrag, FTS Novi Sad (Serbia)  
PhD Živanović Saša, FME Belgrade (Serbia)  
PhD Živković Aleksandar, FTS Novi Sad (Serbia)

## INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE

### **PhD Golubović Dušan, FME UES (B&H) – president**

PhD Aleksandrov Sergej, Institute for Problems in Mechanics (Russia)  
PhD Anđelić Nina, FME Belgrade (Serbia)  
PhD Antunović Ranko, FME UES (B&H)  
PhD Arsovski Slavko, FE Kragujevac (Serbia)  
PhD Balasaheb M. Patre, SGGS Institute of Engineering and Technology (Indija)  
PhD Bjelonja Izet, FME US (B&H)

PhD Blagojević Bratislav, FME Niš (Serbia)  
PhD Blagojević Mirko, FE Kragujevac (Serbia)  
PhD Bulatović Radislav, FME Podgorica (MNE)  
PhD Ciconkov Risto, Univerzitet St Kiril i Metodije (Republic of Macedonia)  
PhD Dobrnjac Mirko, FME Banja Luka (B&H)  
PhD Gašić Milomir, FMCE Kraljevo (Serbia)  
PhD I.Thirunavukkarasu, Manipal Institute of Technology (Indija)  
PhD Ivanović Lozica, FE Kragujevac (Serbia)  
PhD Jovović Aleksandar, FME Belgrade (Serbia)  
PhD Karabegović Isak, University of Bihać, Faculty of Technical Sciences (B&H)  
PhD Karapetrović Stanislav, University of Alberta (Canada)  
PhD Knežević Darko, FME Banja Luka (B&H)  
PhD Kovač Pavel, FTS Novi Sad (Serbia)  
PhD Krajcar Slavko, FER Zagreb (Croatia)  
PhD Krivokapić Zdravko, FME Podgorica (MNE)  
PhD Krstić Branimir, University of Defence, Military Academy (Serbia)  
PhD Kuzmanović Siniša, FTS Novi Sad (Serbia)  
PhD Lukić Ljubomir, FMCE Kraljevo (Serbia)  
PhD Lukić Nebojša, FE Kragujevac (Serbia)  
PhD Ljuboje Zoran, FEE UES (B&H)  
PhD Marić Bogdan, FME UES (B&H)  
PhD Marković Biljana, FME UES (B&H)  
PhD Miladinov Ljubomir, FME Belgrade (Serbia)  
PhD Milićić Dragan, FME Niš (Serbia)  
PhD Milovančević Milorad, FME Belgrade (Serbia)  
PhD Miltenović Vojislav, FME Niš (Serbia)  
PhD Milutinović Miroslav, FME UES (B&H)  
PhD Mitrović Radivoje, FME Belgrade (Serbia)  
PhD Moljević Slaviša, FME UES (B&H)  
PhD Nedić Novak, FMCE Kraljevo (Serbia)  
PhD Novak Peter, UNM FPUV (Slovenia)  
PhD Nyers Jozsef, Obuda University, Budapest (Hungary)  
PhD Ognjanović Milosav, FME Belgrade (Serbia)  
PhD Pavlović Nenad, FME Niš (Serbia)  
PhD Perić Sreten, University of Defence, Military Academy (Serbia)  
PhD Posavljak Strain, FME Banja Luka (B&H)  
PhD Putnik Goran, Univerzitet Minho (Portugal)  
PhD Radić Nebojša, FME UES (B&H)  
PhD Radovanović Radovan, Academy of Criminalistic and Police Studies (Serbia)  
PhD Rosić Božidar, FME Belgrade (Serbia)  
PhD Simić Stojan, FME UES (B&H)  
PhD Spasić Dragan, FTS Novi Sad (Serbia)  
PhD Stankovski Stevan, FTS Novi Sad (Serbia)  
PhD Stanojević Miroslav, FME Belgrade (Serbia)  
PhD Stefanović Velimir, FME Niš (Serbia)  
PhD Tanasić Zorana, FME Banja Luka (B&H)  
PhD Tanović Ljubodrag, FME Belgrade (Serbia)  
PhD Tica Milan, FME Banja Luka (B&H)  
PhD Tomić Mladen, FTS Novi Sad (Serbia)  
PhD Tomović Radoslav, FME Podgorica (MNE)  
PhD Vasković Srđan, FME UES (B&H)  
PhD Vilotić Dragiša, FTS Novi Sad (Serbia)  
PhD Vučijak Branko, FME US (B&H)

PhD Vučina Adisa, FMEC Mostar (B&H)  
PhD Zeljković Milan, FTS Novi Sad (Serbia)  
PhD Živković Miroslav, FE Kragujevac (Serbia)

#### **ORGANIZING COMMITTEE**

**PhD Krašnik Milija, FME UES – president**

PhD Golubović Dušan, FME UES

PhD Košarac Aleksandar, FME UES

PhD Marković Biljana, FME UES

PhD Milutinović Miroslav, FME UES

PhD Orašanin Goran, FME UES

PhD Prodanović Saša, FME UES

PhD Radić Nebojša, FME UES

PhD Jeremić Dejan, FME UES - Technical Secretary

MSc Milić Davor, senior assistant, FME UES - Technical Secretary

MSc Anić Jelica, senior assistant, FME UES- Technical Secretary

Stanišić Vera – Secretary

## PREFACE

Faculty of Mechanical Engineering East Sarajevo is organizing the 4th International Scientific Conference COMETa 2018 - "Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications". The aim of the conference is to contribute to the implementation of new technologies in production processes by achieving better cooperation between scientific research institutions and companies, and to enable practical application of research results presented in the proceedings.

The main objective of the conference is to bring together eminent domestic and international experts in the field of engineering and the application of new technologies and the development of mechanical systems, and to contribute increasing the competitiveness of the domestic economy through the exchange of experience and knowledge, public presentations of current research and new construction solutions.

The organization of previous conferences COMETa2012, COMETa2014 and COMETa2016, according to the assessments of participants, especially foreign colleagues, were successful.

The efforts were recognized by the Ministry of Science and Technology of the Republic of Srpska, since in May 2018 the COMETa conference was ranked among international scientific conferences of the first category.

The COMETa 2018 conference program consists of the following thematic areas:

- Manufacturing technologies and advanced materials,
- Applied mechanics and mechatronics,
- Machine design and product development,
- Energy and environmental protection,
- Maintenance and technical diagnostic,
- Quality, management and organization.

At this year's COMETa2018 conference, a record number of papers from the country and abroad have been submitted. In total 277 authors from 13 countries participates in the international conference COMETa2018, 112 papers were accepted, including 4 plenary papers. Within the COMETa2018 conference, it is planned to organize two working meetings that will focus on the current topics of the Conference.

With the desire to improve the organizational as well as the scientific effect of the Conferences, and appreciating the contributions made by the scientific community in this way, we want to emphasize that each of your suggestions is more than welcome and will be appreciated in connection with the above.

On behalf of the Organizing and Scientific Committee of the COMETa2018 conference, we would like to express our gratitude to all authors, reviewers, institutions, companies and individuals who contributed to the Conference.

Hoping that the results of our joint work will meet expectations, the organizer of the Conference, Faculty of Mechanical Engineering East Sarajevo, wants you active participation that will contribute to the development of modern ideas and solutions, in the spirit of technical and technological development of the modern world.

We wish you a pleasant stay in Jahorina. Welcome to the COMETa2018 conference.

East Sarajevo, November 21<sup>st</sup>, 2018.

President of the Scientific Committee

Full Professor Dušan Golubović, PhD

President of the Organizing Committee

Assistant Professor Milija Krašnik, PhD



## POČETNA ISTRAŽIVANJA S CILJEM RAZVOJA METODOLOGIJE ZA PROCJENU INTEGRITETA CILINDARSKOG SKLOPA AVIONSKOG KLIPNOG MOTORA

Nikola Vučetić<sup>1</sup>, Gordana Jovičić<sup>2</sup>, Vladimir Milovanović<sup>3</sup>, Branimir Krstić<sup>4</sup>,  
Dragan Rakić<sup>5</sup>, Radoslav Tomović<sup>6</sup>, Ranko Antunović<sup>7</sup>

*Rezime: U radu je dat pregled istraživanja mehaničkih otkaza različitih strukturnih elemenata vazduhoplova, kao u učestalost pojedinih mehanizama otkaza. Naveden je konkretni problem pucanja glave cilindra avionskog vazdušno hlađenog klipnog motora, te je predstavljen plan i cilj istraživanja u cilju razvoja metodologije za procjenu integriteta cilindarskog sklopa. U okviru planiranih istraživanja neophodno bi bilo izvršiti eksperimentalnu analizu mehaničkih karakteristika legure aluminijuma 242.0 na sobnoj i povišenoj temperaturi, kao i numeričku analizu cilindarskog sklopa. Prikazani su očekivani rezultati istraživanja, kao i zaključna razmatranja vezana za značaj samog istraživanja.*

*Ključne riječi: glava cilindra, mehanički otkaz, procjena integriteta, povišena temperatura, prslina, vazduhoplov.*

## RESEARCH WITH THE AIM OF METHODOLOGY FOR THE INTEGRITY ASSESSMENT OF AIRCRAFT PISTON ENGINE CYLINDER ASSEMBLY DEVELOPMENT

*Abstract: This paper shows an overview of the investigation of various structural elements of the aircraft mechanical failures, as well as frequency of certain failure mechanisms. The specific problem of aircraft air-cooled piston engine cylinder head fracture is presented and the plan and the aim of the research were presented in order to develop a methodology for the integrity assessment of cylinder assembly. Within the planned research it is necessary to perform an experimental analysis of the mechanical properties of aluminum alloy 242.0 at room temperature and elevated temperature, as well as the numerical analysis of the cylinder assembly. The expected results of the*

<sup>1</sup> MSc, Nikola Vučetić, Mašinski fakultet, Istočno Sarajevo, BiH, vuceticnikola@yahoo.com (CA)

<sup>2</sup> Dr, Gordana Jovičić, red. prof, Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac, Srbija, gjovicic.kg.ac.rs@gmail.com

<sup>3</sup> Dr, Vladimir Milovanović, docent, Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac, Srbija, vladicka@kg.ac.rs

<sup>4</sup> Dr, Branimir Krstić, docent, Vojna akademija, Beograd, Srbija, branimir.krstic@va.mod.gov.rs

<sup>5</sup> Dr, Dragan Rakić, docent, Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac, Srbija, drakic@kg.ac.rs

<sup>6</sup> Dr, Radoslav Tomović, vanr. prof, Mašinski fakultet, Podgorica, Crna Gora, radoslav@ac.me

<sup>7</sup> Dr, Ranko Antunović, red. prof, Mašinski fakultet, Istočno Sarajevo, BiH, rankoantunovicmf@gmail.com

*research, as well as the final considerations related to the significance of the research are presented.*

*Key words:* cylinder head, mechanical failure, integrity assessment, elevated temperature, crack, aircraft.

## 1 UVOD

Mehanički otkazi različitih strukturnih elemenata vazduhoplova su čest slučaj u praksi [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]. Brojni su uzročnici otkaza poput korozije, grešaka u materijalu, odnosno poroznosti, visokocikličnog zamora i slično. Ovakvi elementi u savremenoj vazduhoplovnoj industriji moraju zadovoljiti povećan nivo pouzdanosti u toku rada. Zamor materijala, praćen korozijom, je bio dominantan uzrok pucanja vratila na kormilu borbenog mlaznog aviona [1]. Branimir Krstić i sar. [2] su analizirali problem pucanja cijevi stajnog trapa helikoptera Gazelle SA 341H. Na osnovu sprovedenog istraživanja, korozija se pokazala kao glavni uzročnik otkaza. Pucanje montažnog vijka na glavnem nosaču mjenjača helikoptera [3] se dogodilo tokom leta, pri čemu se pristupilo analizi i utvrđivanju uzroka otkaza na osnovu spektroskopske, fraktografske, metalografske analize, te analize konačnim elementima na osnovu kojih je potvrđeno da je lom vijka na dva dijela nastao u prisustvu korozije. S ciljem analize uzroka pucanja poluge stajnog trapa civilnog aviona [4], Bagnoli i sar. su izvršili vizuelni pregled, spektrografsku analizu, metalografsku analizu i analizu metodom konačnih elemenata. Na osnovu navedenog utvrdili su da je postojanje inicijalne prsline na spoljašnjoj površini izazvalo prethodni problem. Inspekcijom nakon leta primjećeno je postojanje prsline na APU jedinici vazduhoplova C27-J. Bagnoli i sar. [5] su analizom navedenog problema došli do zaključka da je visokociklični zamor bio presudan za navedeni otkaz. Uzrok pada aviona u Holandiji je bio predmet istraživanja u radu [10]. Fraktografskom analizom je utvrđeno da je naponska korozija dovela do otkaza pogonskog motora. Na šestocilindričnom avionskom motoru nakon, približno, 600 časova rada primjećene su prsline između rashladnih rebara na aluminijumskoj glavi cilindra na strani izduvnog otvora i oko izduvnog ventila [11]. Prsline su otkrivene korišćenjem penetrantske tečnosti. Na osnovu makroskopskog ispitivanja, hemijske analize i miskorstrukturne analize utvrđeno je da je poroznost materijala bila dominantan uzrok problema. Analizom pucanja preklopne poluge aviona MB339 CD bavili su se Allegrucci i sar. [12]. Elektronском miskroskopijom je utvrđeno da se prsina pojavila na unutrašnjim ivicama na mjestima sa najvišim naponima, što je potvrđeno i analizom konačnim elementima. Dalja ispitivanja su dovela visokociklični zamor u vezu sa otkazom. U publikaciji [13] je analiziran uzroka pojave zamorne prsline na kućištu cilindra koji predstavlja dio hidrauličnog sistema aviona. Na osnovu analize problema izведен je zaključak da bi promjena geometrije udubljenja cilindra, s ciljem smanjivanja napona, mogla da bude rješenje navedenog istraživanja. Pojava pucanja uljnog katera avionskog klipnog motora [14] navela je da se Zhongjian i sar. posvete analizi navedenog problema. Utvrdili su postojanje visokocikličnog zamora na kliznom ležaju u kućištu uljnog kartera. U radu [15] je prikazan mehanizam loma propelera aviona Cesna-185. Istraživanje je uključivalo metalografiju, test tvrdoće i fraktografsku analizu.

## 2 UČESTALOST MEHANIZAMA OTKAZA

Na osnovu sprovedenih istraživanja, Findlay i Harrison su dali procjenu učestalosti mehanizama otkaza vazduhoplovnih komponenti [16], tabela 1.

Tabela 1. *Učestalost mehanizama otkaza vazduhoplovnih komponenti [16]*

Mehanizam otkaza	Zastupljenost otkaza kod vazduhoplovnih komponenti [%]
Zamor	55
Korozija	16
Prerećenje	14
Naponska korozija, zamorna korozija	7
Habanje, abrazija, erozija	6
Korozija uslijed povišene temperature	2

Rezultati iz tabele 1 pokazuju da se kod otkaza vazduhoplovnih komponenti kao dominantan uzrok tretira zamor sastavnih komponenti [17,18,19,20].

Jedan od učestalih mehaničkih otkaza na vazdušno hlađenim klipnim avionskim motorima je pucanje glave cilindra. Na osnovu izvještaja nadležnih vazduhoplovnih vlasti zemalja širom svijeta [21,22,23,24] zabilježeno je čak 47 ovakvih otkaza na motorima sa klasičnom vazdušno hlađenom konstrukcijom koja podrazumijeva da je svaki cilindarski sklop (cilindar), koji sačinjavaju tijelo cilindra i glava cilindra, posebna cijelina sa prepoznatljivim i jasno izraženim dubokim rashladnim rebrima na spoljašnjoj strani [25].

## 3 PREDMET I CILJ ISTRAŽIVANJA

Ovaj rad predstavlja nastavak istraživanja uzroka problema pucanja glave cilindra školskog aviona Utva [25,26,27,28] u cilju razvoja metodologije za procjenu integriteta cilindarskog sklopa avionskog klipnog motora izloženog visokocikličnom mehaničkom i termičkom opterećenju.

Poseban značaj, doprinos i kompleksnost istraživanja ogleda se u činjenici da u literaturi nema zastupljenih radova koji se odnose na eksperimentalno utvrđivanje mehaničkih karakteristika navedenog materijala, za razliku od mnogobrojnih legura aluminijuma koje su bile čest predmet istraživanja brojnih autora [29,30,31,32,33,34].

Razmatranje navedenog problema bi zahtjevalo sprovođenje eksperimentalnih ispitivanja legure aluminijuma 242.0, kao sastavne legure glave cilindra, gdje bi se, pored karakteristika na sobnoj temperaturi, odredile i mehaničke karakteristike materijala na povišenoj temperaturi koja predstavlja temperaturu koja se javlja u toku eksploatacije.

### 3.1 Hemiska analiza materijala

Analiza hemijskog sastava aluminijuma 242.0, od koga je izrađena glava cilindra avionskog motora Lycoming IO-360-B1F, je urađena metodom fluorescentne spektografije H-zracima. Hemiska analiza legure aluminijuma 242.0 je izvršena u Laboratoriji za ispitivanje materijala/proizvoda u okviru preduzeća Orao a.d. iz Bijeljine.

Rezultati analize hemijskog sastava materijala u potpunosti odgovaraju standardnoj specifikaciji za aluminijušku leguru 242.0, tabela 2.

Tabela 2. Rezultati hemijskog sastava aluminijске legure 242.0

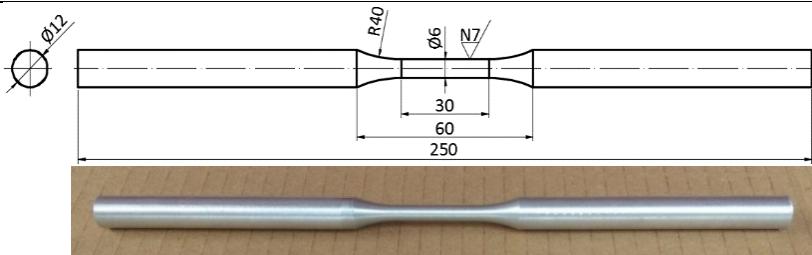
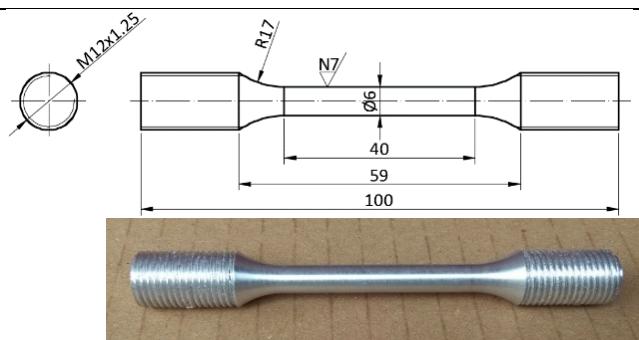
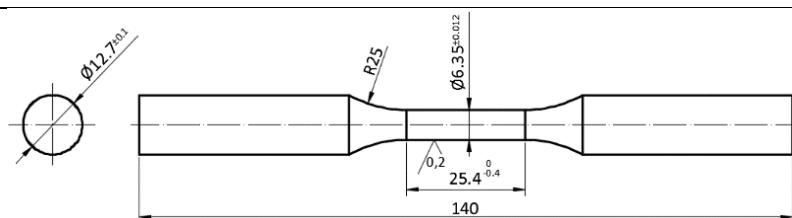
Element	Cu	Cr	Fe	Mg	Mn	Ni	Si	Ti	Zn
Удио [%]	4,02 (3,5-4,5)	0,20 (0-0,25)	0,45 (0-1,0)	1,52 (1,2-1,8)	0,06 (0-0,35)	2,29 (1,7-2,3)	0,46 (0-0,7)	0,15 (0-0,25)	0,03 (0-0,35)

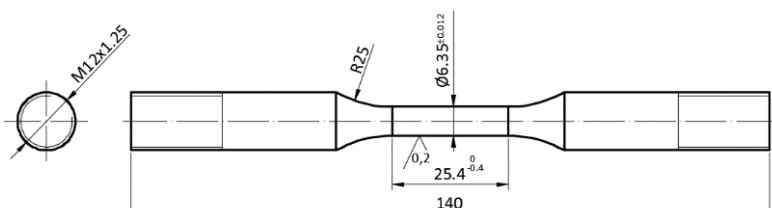
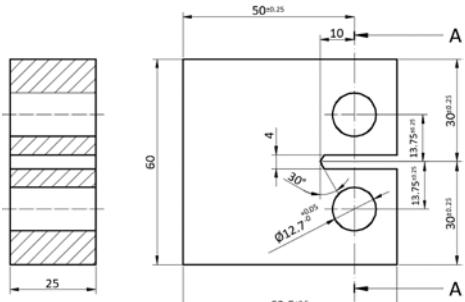
Inače, osnovna primjena navedene legure je izrada cilindarskih glava vazdušno hlađenih avionskih motora.

### 3.2 Eksperimentalna ispitivanja mehaničkih karakteristika

U tabeli 3 prikazane su planirane vrste ispitivanja nad navedenom legurom aluminijuma u cilju određivanja mehaničkih karakteristika materijala i osnovnih parametara mehanike loma neophodnih pri daljoj analizi problema.

Tabela 3. Ispitivanje mehaničkih karakteristika legure aluminijuma 242.0

Vrsta ispitivanja	Crtež i izgled epruvete
Ispitivanje statičkih karakteristika na sobnoj temperaturi	
Ispitivanje statičkih karakteristika na povišenoj temperaturi	
Ispitivanje zamornih karakteristika na sobnoj temperaturi	

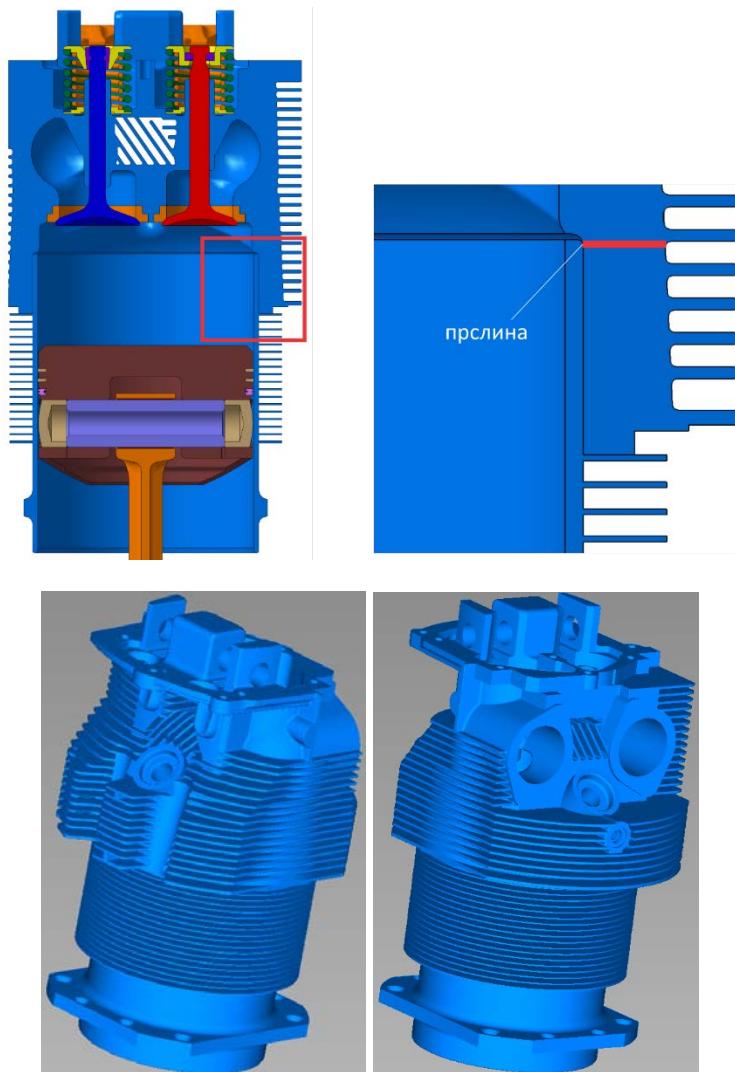
		
Ispitivanje zamornih karakteristika na povišenoj temperaturi		 
Ispitivanje lomne žilavosti na sobnoj i povišenoj temperaturi		 

Eksperimentalno određene rezultate bi pratila numerička analiza u okviru koje bi se modeliralo složeno termomehaničko opterećenje.

### 3.3 Numerička analiza cilindarskog sklopa

Cilindarski sklop je vazdušno hlađen i čine ga tijelo (cilindar) i glava cilindra. Tijelo cilindra je izrađeno od otkivka CrNiMo čelika označke AISI 4140 (prema American Iron and Steel Institute sistemu označavanja). Unutrašnji dio cilindra je brušen i honovan, a na spoljašnjem dijelu su duboka rashladna rebra. Veza cilindra sa kućištem motora je ostvarena preko osam vijaka.

Model cilindarskog sklopa *Lycoming IO-360-B1F* agregata prikazan je na slici 1.



Slika 1. Model cilindarskog sklopa avionskog klipnog motora

Zbog zahtjeva za dobrom toplotnom provodljivošću i dobrim mehaničkim karakteristikama na povišenim temperaturama, glava cilindra je izrađena postupkom livenja od legure aluminijuma oznake 242.0 (prema American National Standard Institute sistemu označavanja) sa mašinski obrađenom komorom za sagorijevanje. Na spoljašnjoj strani glave cilindra se, takođe, nalaze duboka rashladna rebara.

Stoga, granični uslovi bi trebali da se razmotre pažljivo i da se što realnije simuliraju realna ograničenja i opterećenja, kao i tip konačnog elementa, te gustina konačno-elementne mreže. Veza tijela i glave cilindra se ostvaruje na način da se glava cilindra zagrijava do temperature od približno  $350^{\circ}\text{C}$ , pa se tako zagrijana pričvršćuje na tijelo cilindra navojnom vezom preko navoja na spoljašnjoj strani tijela cilindra i

unutrašnjoj strani glave cilindra. Hlađenjem glave cilindra ostvaruje se čvrsto nalijeganje u zoni navoja, kao i između glatkih cilindričnih površina iznad navojnog spoja. Dakle, veza cilindra i glave bi bila numerički simulirana kao kruta veza. Postolje cilindra bi bilo fiksirano, što odgovara i realnom slučaju, jer je u praksi tijelo cilindra vezano vijcima za kućište motora. Opterećenje bi bilo modelirano kao složeno mehaničko (pritisak na glavu cilindra) i termičko koje odgovara temperaturi kojoj je izložena glava cilindra u toku eksploatacije. Prethodni problem bi bio razmatran u nekom od numeričkih programskih paketa zasnovanih na analizi metodom konačnih elemenata.

## **4 OČEKIVANI REZULTATI**

Primjenom prethodno navedenih istraživanja očekuju se sljedeći ključni rezultati:

- Određivanje mehaničkih karakteristika materijala legure aluminijuma 242.0 na sobnoj i povišenoj temperaturi;
- Određivanje parametara mehanike loma legure aluminijuma 242.0: prag faktora intenziteta napona, žilavost loma, brzina rasta prsline;
- Utvrđivanje potencijalnog uzroka pojave prsline na glavi cilindra avionskog vazdušno hlađenog klipnog motora i otkaza istog;
- Razvoj metodologije za procjenu integriteta cilindarskog sklopa avionskog vazdušno hlađenog klipnog motora pri visokocikličnom mehaničkom i termičkom opterećenju;
- Određivanje broja ciklusa do otkaza, odnosno radnog vijeka cilindarskog sklopa sa inicijalnom prslinom;
- Utvrđivanje mogućih daljih pravaca istraživanja;

## **5 ZAKLJUČAK**

U naučnoj domaćoj i svjetskoj literaturi je, uprkos velikom broju slučajeva otkaza cilindarskih sklopova vazdušno hlađenih avionskih klipnih motora uslijed postojanja prsline, zabilježen mali broj radova koji su razmatrali navedenu problematiku. Na osnovu navedene činjenice moguće je spoznati važnost istraživanja koje bi, na osnovu eksperimentalno određenog dovoljnog broja podataka o ispitivanom materijalu, te na osnovu numeričke analize modela cilindarskog sklopa, omogućilo da se u potpunosti i sa dovoljnom sigurnošću i tačnošću procijeni integritet cilindarskog sklopa avionskog klipnog motora.

Cilj ove disertacije bi bio razvoj metodologije za eksperimentalnu i numeričku procjenu integriteta cilindarskog sklopa avionskog klipnog motora sa uočenom prslinom na glavi cilindra izloženog promjenljivom mehaničkom i termičkom opterećenju, a koja bi mogla da bude primjenljiva i na ostale konstruktivne mašinske elemente. To bi omogućilo da se na jednostavan i brz način izvrši procjena integriteta cilindarskog sklopa klipnog motora sa uočenom prslinom, zahvaljujući čemu bi se postigle značajne uštede u troškovima projektovanja, proizvodnje, kao i ispitivanja drugih vitalnih elemenata motora sa unutrašnjim sagorijevanjem koji su bili ili se još uvijek nalaze u fazi eksploatacije, što bi navedenu metodologiju činilo efektivnom i efikasnom u primjeni.

Poseban doprinos ove disertacije bi se ogledao kroz kompleksnost prirode opterećenja razmatranog problema u kome se pojavljuju, pored dinamičkih, i termička opterećenja koja bi se morala uzeti u obzir pri eksperimentalnoj i numeričkoj analizi u okviru graničnih uslova i zadatih opterećenja.

Ovakvi rezultati bi bili od velikog značaja, kako pri izradi ove disertacije, tako i za dalja istraživanja u oblasti mehanike loma i zamora vezana za problematiku pucanja konstruktivnih elemenata izrađenih od pomenutog materijala za koji se, u trenutno dostupnoj literaturi, ne može pronaći dovoljan broj eksperimentalnih rezultata utvrđenih na sobnoj, a posebno na povišenoj temperaturi. Doprinos i značaj ove disertacije bi se ogledao u spoznaji učestalosti problema pucanja glave cilindra avionskog vazdušno hlađenog klipnog motora, kao i u mogućnosti razvoja iznad pomenute metodologije.

## 6 LITERATURA

- [1] Trifković, D., Stupar, S., Bošnjak, S., Milovančević, M., Krstić, B., Rajić, Z., Dunjić, M. (2011). Failure analysis of the combat jet aircraft rudder shaft. *Engineering Failure Analysis*, Vol. 18, pp. 1998-2007.
- [2] Krstić, B., Rebhi, L., Trifković, D., Khettou, N., Dodić, M., Perić, S., Milovančević, M. (2016). Investigation into recurring military helicopter landing gear failure. *Engineering Failure Analysis*, Vol. 63, pp. 121-130.
- [3] Krstić, B., Rebhi, L., Ilić, N., Dodić, M., Dinulović, M., Andrić, P., Trifković, D. (2016). Failure of mounting bolt of helicopter main gearbox support strut. *Engineering Failure Analysis*, Vol. 70, pp. 351-363.
- [4] Bagnoli, F., Dolce, F., Colavita, M., Bernabei, M. (2008). Fatigue fracture of a main landing gear swinging lever in a civil aircraft. *Engineering Failure Analysis*, Vol. 15, pp. 755-765.
- [5] Bagnoli, F., Bernabei, M., Ciliberto, A. (2011). Failure analysis of an aircraft auxiliary power unit air intake door. *Engineering Failure Analysis*, Vol. 18, pp. 284-294.
- [6] ASM International (1994). Handbook of Case Histories in Failure Analysis, Vol. 1.
- [7] ASM International (1994). Handbook of Case Histories in Failure Analysis, Vol. 2.
- [8] <http://www.dviaviation.com/engine-failures.html>, приступљено 14.03.2017.
- [9] <http://www.flyingmag.com/technique/accidents/aftermath-pattern-failure>, приступљено 14.03.2017.
- [10] Kolkman, H.J., Kool, G., Wanhill, R.J.H. (1996). Aircraft crash caused by stress corrosion cracking. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, Vol. 118, pp. 146-149.
- [11] Ortiz, A.F., Rodriguez, S.A., Coronado, J.J. (2013). Failure analysis of the engine cylinder of a training aircraft. *Engineering Failure Analysis*, Vol. 35, pp. 686-691.
- [12] Allegrucci, L., Amura, M., Bagnoli, F., Bernabei, M. (2009). Fatigue fracture of a aircraft canopy lever reverse. *Engineering Failure Analysis*, Vol. 16, pp. 391-401.
- [13] Diltemiz, S.F., Uzunonat, Y., Kushan, M.C., Celik, O.N. (2009). Effect of dent geometry on fatigue life of aircraft structural cylinder part. *Engineering Failure Analysis*, Vol. 16, pp. 1203-1207.
- [14] Zhongjian, P., Qinghua, H. (2015). High cycle fatigue analysis for oil pan of piston aviation kerosene engine. *Engineering Failure Analysis*, Vol. 49, pp. 104-112.
- [15] Kushan, M.C., Diltemiz, S.F., Sackesen, I. (2007). Failure analysis of an aircraft propeller. *Engineering Failure Analysis*, Vol. 14, pp. 1693-1700.
- [16] Findlay, S.J., Harrison, N.D. (2002). Why aircraft fail. *Materials Today*, Vol. 5, pp. 18-25.
- [17] Silva, F.S. (2006). *Fatigue on engine pistons-a compendium of case studies*. *Engineering Failure Analysis*, Vol. 13, pp. 480-492.

- [18] Yu, Z.W., Xu, X.L. (2006). Failure analysis and metallurgical investigation of diesel engine exhaust valves. *Engineering Failure Analysis*, Vol. 13, pp. 673-682.
- [19] Martin, G.G. (2004). Failure of stationary pump engine piston. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, Vol. 4, pp. 37-39.
- [20] Yu, Z.W., Xu, X.L. (2005). Failure analysis of a diesel engine crankshaft. *Engineering Failure Analysis*, Vol. 12, pp. 487-495.
- [21] Airworthiness Directive (AD) (2008). Federal Aviation Administration of the USA.
- [22] Safety recommendation A-12-7 (2012). National Transportation Safety Board of the USA.
- [23] Guertsman, V., Dionne, S., Crosby, T. (2009). *Engineering report number LP085/2009*, Transportation Safety Board of Canada.
- [24] Guertsman, V., Dionne, S., Crosby, T. (2010). *Engineering report number LP077/2010*, Transportation Safety Board of Canada.
- [25] Krstić, B., Rašuo, B., Trifković, D., Radisavljević, I., Rajić, Z., Dinulović, M. (2015). Ispitivanje uzroka mehaničkog otkaza glave cilindra avionskog klipnog motora, *Tehnika-Mašinstvo*, Vol. 64, pp. 71-80.
- [26] Krstić, B., Rašuo, B., Trifković, D., Radisavljević, I., Rajić, Z., Dinulović, M. (2016). Fatigue as a cause of failure of aircraft engine cylinder head. *Handbook of Materials Failure Analysis with Case Studies from the Aerospace and Automotive Industries*, pp. 191-214.
- [27] Krstić, B., Rašuo, B., Trifković, D., Radisavljević, I., Rajić, Z., Dinulović, M. (2013). Failure analysis of an aircraft engine cylinder head. *Engineering failure analysis*, Vol. 32, pp. 1-15.
- [28] Krstić, B., Rašuo, B., Trifković, D., Radisavljević, I., Rajić, Z., Dinulović, M. (2013). An investigation of the repetitive failure in an aircraft engine cylinder head. *Engineering failure analysis*, Vol. 32, pp. 1-15.
- [29] Liang, X., Xiang, Y., Li, H., Song, Z. (2016). Fatigue life prediction of aviation aluminium alloy based on quantitative pre-corrosion damage analysis. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, Vol. 27, pp. 1353-1362.
- [30] Borrego, L.P., Abreu, L.M., Costa, J.M., Ferreira, J.M. (2004). Analysis of low cycle fatigue in AlMgSi aluminium alloys. *Engineering Failure Analysis*, Vol. 11, pp. 715-725.
- [31] Couper, M.J., Nesson, A.E., Griffiths, J.R. (1990). Casting defects and the fatigue behavior of an aluminium casting alloy. *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures*, Vol. 13, pp. 213-227.
- [32] Casari, D., Fortini, A., Merlin, M. (2013). *Fracture behaviour of grain refined A356 cast aluminium alloy: tensile and Charpy impact specimens*. XXII Convegno Nazionale IGF, Roma, Italia, 1st-3rd Luglio, pp. 314-321.
- [33] Tocci, M., Pola, A., Montesano, L., Merlin, M., Garagnani, G.L., La Vechia, G.M. (2017). Tensile behaviour and impact toughness of an AlSi3MgCr alloy. *Procedia Structural Integrity*, Vol. 3, pp. 517-525.
- [34] Jurczak, W., Kyziol, L. (2012). Dynamic properties of 7000 – series aluminum alloys at large strain rates. *Polish Maritime Research*, Vol. 19, pp. 38-43.

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна и универзитетска библиотека  
Републике Српске, Бања Лука

621.03(082)(0.034.4)

МЕЂУНАРОДНА научна конференција "Примијењене технологије  
у машинском инжењерству" COMETA (4 ; 2018 ; Источно Сарајево)

Zbornik radova [Elektronski izvor] / [4. Međunarodna naučna  
konferencija "Primijenjene tehnologije u mašinskom inženjerstvu",  
COMETA 2018.], Istočno Sarajevo - Jahorina, BiH, RS 27 - 30.

Novembar 2018. = Proceedings / 4th International Scientific Conference  
"Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications"  
COMETA 2018, 27th - 30th November 2018, East Sarajevo - Jahorina ;  
[urednici, editors Milija Krašnik]. - 1 izd. - Istočno Sarajevo : Mašinski  
fakultet, 2018. - 1 optički disk (CD-ROM) : tekst, slika ; 12 cm

Sistemske zahteve nisu navedeni. - Radovi na srp. i engl. jeziku. -  
Napomene i bibliografske reference uz tekst. - Bibliografija uz svaki rad.  
- Rezimei na engl. i srp. jeziku.

ISBN 978-99976-719-4-3

COBISS.RS-ID 7818520

ISBN 978-99976-719-4-3

ISBN 978-99976-719-4-3

A standard linear barcode representing the ISBN number 978-99976-719-4-3.

9 789997 671943