

MOGUĆNOSTI PRIMJENE SAVREMENE ENDOSKOPSKE DIJAGNOSTIKE U ODRŽAVANJU PREMA STANJU VAZDUHOPLOVNIH SREDSTAVA

mr Karadžić Radoje, dipl. ing., Vojska Crne Gore, e-mail: karadzic.radoje@yahoo.com
prof. dr. Miodrag Bulatović, Mašinski fakultet Podgorica, 81000 Podgorica, e-mail:

bulatovm@yahoo.com

mr Jelenko Milaković, dipl.ing., Vojska Crne Gore, e-mail: jelenkomil@yahoo.com

REZIME

U ovom radu je prikazana mogućnost primjene endoskopske dijagnostike u vazduhoplovnim sistemima. Endoskopska dijagnostika je jedna od pouzdanih metoda tehničke dijagnostike sistema, u modelu preventivnog održavanja prema stanju, koja ne zahtijeva njegovo rastavljanje. Istaknuta je visoka efikasnost korišćenja navedene metode, u procesima održavanja složenih vazduhoplovnih sredstava, kao i široka mogućnost njene primjene u industriji.

Ključne riječi: tehnička dijagnostika, endoskopija, održavanje prema stanju

1. ODRŽAVANJE PREMA STANJU

Složeni tehnički sistemi sa savremenim sistemima automatizacije i visokim cijenama izrade traže savremeni pristup održavanja, skup i zasnovan na primjeni modernih metoda i tehnika.

Klasična tehnologija održavanja, bazirana na povremenim pregledima poslije određenog broja časova leta ili vremenskog perioda upotrebe aviona, sve više ustupa mjesto savremenoj, tehnologiji održavanja prema stanju. Primjena ove tehnologije sa novom modularnom konstrukcijom motora, obezbjeđuje brz i jednostavan pristup djelovima motora i značajno korišćenje dijagnostičke opreme za monitoring stanja.

Osnovni cilj savremene metodologije *održavanja prema stanju (Productive Maintenance)* je povećanje efikasnosti održavanja, pouzdanosti i sigurnosti letenja. Zahvaljujući ovom konceptu praćenja stanja moguće je preduprediti neplanirana skidanja motora, koja znatno povećavaju operativne troškove, posebno zbog visokih cijena transporta motora.

Strategije održavanja po stanju, mogu se svrstati u dvije osnovne grupe:

- 1) *Održavanje po stanju sa kontrolom parametara.* Predviđa stalnu ili periodičnu kontrolu i mjerenje tehničkih parametara kojima se određuje tehničko stanje funkcionalnih sistema kao cjeline.
- 2) *Održavanje po stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti.* Sastoji se u sakupljanju, obradi i analizi podataka o nivou pouzdanosti sastavnih dijelova sistema i razradi odluke o neophodnim planskim aktivnostima održavanja nakon sniženja pouzdanosti.

Dijagnostički proces preventivnih postupaka, u konceptu održavanja prema stanju, izvode se:

a) Kontinualno, kada je oprema za dijagnostiku konstruktivno ugrađena u složeni sistem koji se dijagnostifikuje. Kontrola stanja vitalnih sklopova vrši se kontinualno (u radu), a na osnovu ranije izabranih parametara.

b) Periodično, kada se dijagnostika vrši posle propisanog vremena rada ili posle intervencije na tehničkom sistemu.

Održavanje po stanju je dijagnostički proces preventivnih postupaka koji se izvode kontinualno ili periodično prije nastanka otkaza, uz mogućnost njegove prognoze i geneze.

2. OSNOVE TEHNIČKE DIJAGNOSTIKE

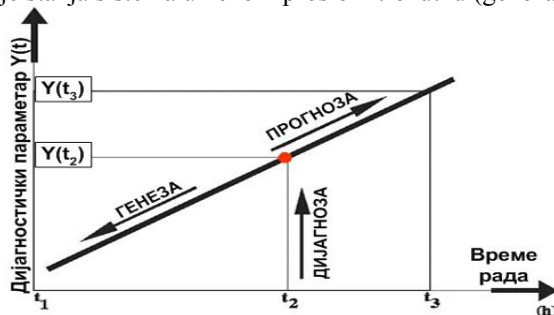
Dijagnostika, odnosno dijagnoza, dolazi iz medicinskih nauka i potiče od grčke riječi *diagnosis* označava prepoznavanje (zaključivanje) i procjenjivanje.

Tehnička dijagnostika, predstavlja naučno tehničku disciplinu koja se bavi teorijom, metodama i opremom za otkrivanje uzroka, prognoze i geneze (retrospektive) otkaza tehničkih sistema.

Pouzdanost rada i održavanje tehničkog sistema baziraju se na dijagnostici, kojom se bez rastavljanja konstatuje stvarno stanje sistema i predviđa njegov rok bezbjednog rada.

Osnovni zadaci tehničke dijagnostike (slika 1.) su;

1. Određivanje trenutnog tehničkog stanja sistema (dijagnosticiranje);
2. Predviđanje budućeg tehničkog stanja sistema (prognostiranje) i
3. Određivanje stanja sistema u nekom prošlom trenutku (geneza ili retrospektiva).



Slika 1. Osnovni zadaci tehničke dijagnostike

Savremeni koncept održavanja prema stanju (prediktivno i proaktivno) zahtijeva da se pouzdanost i efektivnost rada tehničkih sistema bazira na različitim dijagnostičkim metodama i postupcima. U cilju ubrzanja procesa dijagnostifikovanja složenih vazduhoplovnih sredstava postavlja se kao neophodnost pregled njihove unutrašnjosti. Ovako postavljene zahtjeve ispunjava endoskopska dijagnostika.

3. ENDOSKOPSKA DIJAGNOSTIKA

Endoskopska dijagnostika je metoda tehničke dijagnostike koja se koristi za posmatranje nepristupačnih mjesta tehničke dijagnostike, bez njihovog rastavljanja.

Termin **endoskopija** je kovanica dve grčke reči ENDO (unutrašnjost) i SKOPEIN (gledati), što u slobodnom prevodu predstavlja "**pregled iznutra**".

Pravilnim odabirom endoskopske opreme moguće je u zatvorenom, neosvjetljenom i skućenom prostoru, pouzdano otkrivanje, merenje, registrovanje i arhiviranje: oštećenja, prskotina, zareza, deformacija, lomova, korozije, erozije, izgoritina, gubitka zaštitnih prevlaka, naslaga, promjena boje i td.

Osnovni zadatak ove metode je da se utvrdi trenutno stanje tehničkog sistema. Na osnovu nađenog stanja donose se odluke o postupcima i aktivnostima iz oblasti održavanja.

Neophodni uslovi za uspešno sprovođenje metode Endoskopske dijagnostike su: oprema, metodologija i specijalizovan kadar.

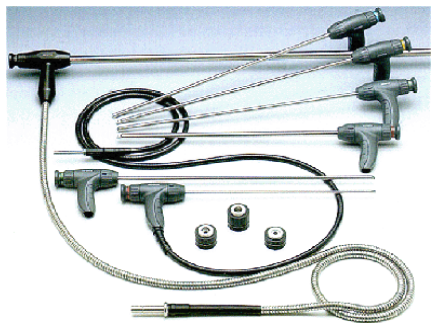
Savremena endoskopska oprema razvrstana je u tri osnovne grupe: *boroskopi*, *fiberskopi* i *video endoskopi*.

Boroskopi predstavljaju klasičan sistem optičkih sočiva ugrađenih u krutu cijev, kroz koju se istovremeno dovodi osvetljenje i gleda u unutrašnjost. Kruta konstrukcija, mogućnost regulisanja dužine, prečnika, ugla i polja vida, kao i jednostavnost upotrebe, čine boroskop rasprostranjenim priborom vizuelne kontrole. U okular *boroskopa* se povezuju digitalne mini

kamere, a sve u sistem sa *Video analizatorom*, čime se povećavaju njegove operativne mogućnosti. Inače, usled svoje čvršće konstrukcije boroskopi se lako održavaju, nakon što su pri tehničkoj dijagnostici izloženi raznim vidovima nečistoća (sl. 2). Na jednostavan način se poslije upotrebe detaljno obrišu. Boroskopi se mogu nesmetano koristiti do temperatura od 150° C. Kreću se od prečnika 8 mm, 6mm do onih čiji je prečnik samo 1,7 mm. Oni se koriste za pregled izbušenih otvora malog prečnika, a takođe i dizni za gorivo motora.

Fiberskopi su gipki uređaji, koji imaju sposobnost savijanja bez posledica po sliku koju obrađuju. Oni se sastoje od izvora svjetlosti, snopa tankih staklenih vlakana, ugrađenih u savitljivu cijev objektiva i okulara. *Fiberskopi* obično imaju mogućnost savijanja svojih krajeva, što omogućava ne samo direktni već i bočni pogled (sl. 3.). Minimalni prečnik fiberskopa je 2 mm. Moguće je ne samo gledanje kroz okular nego i postavljanje digitalnih mini kamera i povezivanje sa *Video analizatorom*.

Video endoskopi (sl. 4.) predstavljaju poslednji tehnički proizvod baziran na optičko digitalnoj tehnologiji, koji je danas postao standard u dijagnosticiranju. Upotrebom preciznog sistema sočiva i minijature digitalne kamere – čip (CCD) velike rezolucije, omogućava se stvaranje maksimalne osvijetljenosti objekta i velike rezolucije snimka, tako da se dobija digitalna slika, koja se može kompjuterski obrađivati, čuvati, štampati i distribuirati. Unutar video endoskopa nalazi se softver za post procesnu obradu rezultata (upravljanje snimcima, mjerenjima, gotovim modovima za pisanje izveštaja i dr.) i daljinskim upravljanjem sistemom video endoskopa. Podaci sačuvani na hard disku Video endoskopa (kompjuteru), omogućavaju efikasno praćenje stanja tehničkog sistema u budućnosti.



Slika 2. Boroskopi



Slika 3. Komplet fiberskopa



Slika 4. – Video endoskop



1 2 3 4 5 6

Slika 5. Radni alati za industrijsku upotrebu_1-magnet, 2-žičana omča, 3-žičana košara, 4-kuka F100, 5-trostrana hvataljka, 6-aligator hvataljka

U sistemu videoendoskopa nalazi se specijalna hvataljka, koja omogućava operateru jednostavno uklanjanje stranih predmeta iz motora ili drugih objekata. (sl. 5).

Sistem daljinskog vizuelnog pregleda ("RVI" - remote visual inspection) su najnoviji oblici kompleksnih sistema endoskopske dijagnostike, koji predstavljaju, već opisane sisteme endoskopske opreme, samo sada povezane sa računarom i video opremom, što nam omogućava daleko veću mogućnost manipulacije slikom pregledanih sklopova. Oni često eliminišu potrebu za demontažom i nepotrebne prekide u eksploataciji, što dovodi do velikih ušteda kako u vremenu, tako i u novcu. Specifičnost ovih tehnika se sada ne ogleda samo u prodoru do mjesta na kojima se vrši pregled i otkrivanje unutrašnjih oštećenja, već u mogućnosti njihovog snimanja, memorisanja i dalje analize.

4. METODOLOGIJA PRIMJENE ENDOSKOPSKE DIJAGNOSTIKE

Metodologija primjene endoskopske dijagnostike vazduhoplovnih sredstava sastoji se iz sledećih faza:

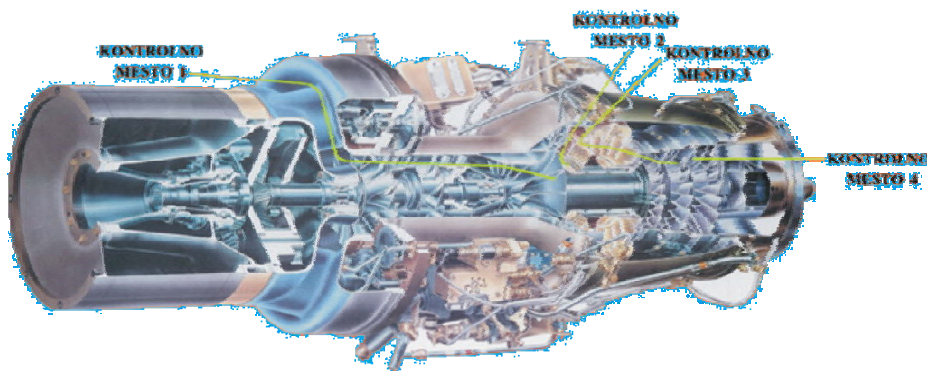
1. Analiza konstruktivnog rješenja objekta dijagnostike

Za uspješnu primjenu endoskopske dijagnostike, kadar za izvođenje pregleda, mora poznavati konstrukciju, karakteristike i održavanje tehničkih sistema koji se pregledaju. Neophodno je poznavanje sklopova i dijelova koji se pregledaju u pogledu: konstrukcije, materijala, tehnologija izrade, površinske zaštite, kritičnih mjesta opterećenja, održavanja, mogućih vrsta oštećenja.

2. Određivanje kontrolnih mjesta i izbor pristupnih otvora za uvođenje endoskopa

Nakon detaljnog upoznavanja i analize konstrukcije objekta dijagnostike definišu se kontrolna mjesta koja će se dijagnosticirati i biraju pristupni otvori za uvođenje endoskopa u unutrašnjost sklopova (npr: uvodnik, aksijalni kompresor, centrifugalni kompresor, grejna komora, turbina i izduvni sklop).

Primjer prikaza definisanih kontrolnih mjesta za endoskopsku dijagnostiku GTM ASTAZOU IIIB prikazan je na slici 6.



Slika 6. Izgled djelimičnog presjeka motora ASTAZOU IIIB sa kontrolnim mjestima za endoskopsku dijagnostiku

3. Izbor endoskopske opreme za efikasnu kontrolu

Izbor endoskopske opreme zavisi od: izabranih mjesta pregleda, konstruktivnih rješenja otvora za pregled, uslova u kojima će se izvoditi pregled, itd.

4. Definisavanje postupka endoskopske dijagnostike

Nakon određivanja kontrolnih mjesta, izbora pristupnih otvora i izbora endoskopske opreme vrši se priprema objekta dijagnostike za endoskopsku dijagnostiku.

Rezultati endoskopske dijagnostike se unose u formirane programske liste endoskopskog pregleda prema definisanim kontrolnim mjestima i upisanim memorisanim slikama i nađenim stanjem sa zaključkom.

5. Analiza dozvoljenih oštećenja

Za objekat dijagnostike potrebno je definisati kriterijume oštećenja. Nađeno stanje pri prvom endoskopskom pregledu treba da predstavlja početno stanje za definisanje kriterijuma.

Kriterijumi se definišu na osnovu stanja koja će biti utvrđena na sledećim pregledima i njihovim poređenjima sa početnim stanjem, sa etalonskim (prihvatljivim), imajući u vidu uslove eksploatacije i vrijeme rada tehničkog sistema između dva pregleda. Na osnovu ovih rezultata daje se ocjena o daljem nastavku eksploatacije.

6. Izrada izvještaja

Na osnovu memorisanih podataka i analize registrovanih oštećenja sačinjava se izvještaj sa zaključkom i predlogom mjera o nastavku eksploatacije. Popunjene liste sa memorisanim slikama predstavljaju osnovni sadržaj izvještaja endoskopske dijagnostike.

NAĐENO STANJE ENDOSKOPSKE DIJAGNOSTIKE					
Re d.	Kontrolno mjesto	Datum	Slika	Nadeno stanje	Zaključak
I UVODNIK VAZDUHA					
1.	UVODNIK VAZDUHA	27.12. 2007	1	Manje naslage nečistoća bez prskotina postoji	ZADOVOLJAVA
2.	AKSIJALNI ZAZOR između uvodnika vazduha i I stepena aksijalnog kompresora		3	ZAZOR Propisan 1,9 + 3,2 mm Izmjeren 2,6	postoji ZADOVOLJAVA
3.	RADIJALNI ZAZOR između I stepena aksijalnog kompresora i kućišta kompresora		2	postoji ZAZOR Propisan 0,7 + 1,2mm Izmjeren 0,7	postoji ZADOVOLJAVA
II AKSIJALNI KOMPRESOR					
LOPATICE ROTORA					
4.	NAPADNA IVICA		4	Bez oštećenja	ZADOVOLJAVA
5.	KORJENI DIO		5	Bez oštećenja	ZADOVOLJAVA
6.	IZLAZNA IVICA		6	Bez oštećenja	ZADOVOLJAVA
7.	VRH LOPATICE, TJEME		7	Manja korozija, bez oštećenja	ZADOVOLJAVA

7. Arhiviranje dijagnostičkih podataka

Neophodno je formirati sopstvenu datoteku podataka o svim izvršenim endoskopskim pregledima. Arhivirani podaci, slike i rezultati, koriste se pri narednim pregledima u cilju daljeg praćenja stanja objekta dijagnostike, u procesu održavanja po stanju.

5. PRIMJENA ENDOSKOPSKE DIJAGNOSTIKE NA VAZDUHOPLOVNIM SISTEMIMA

Prednosti endoskopske kontrole ogledaju se u velikoj ekonomičnosti i povećanju produktivnosti procesa održavanja tehničkih sistema. U današnje vrijeme endoskopija nalazi sve širu primenu i teži da postane nezaobilazan proces tehničkog održavanja.

Najčešća primena endoskopske dijagnostike u Vazduhoplovstvu je u sledećim oblastima:

a) Pogonske grupe vazduhoplova

- turbomlazni, turboelisni i turbovratilni motori;
- kompresori (stanje lopatica, oštećenja, korozija, naslage, zazori itd.),
- komore (naslage, izgoretine, deformacije, prskotine ...),
- turbine (stanje lopatica, oštećenja, korozija, prskotine, zazori ...),
- mlaznici (naslage, oštećenja, korozija, prskotine ...),
- sistem za gorivo (curenje, zaprljanost, koksovanje brizgača itd.),
- sistem za vazduh (prskotine, oštećenja, zaprljanost ...).

b) Vazduhoplovi, struktura i sistemi

- vitalne veze (zavarene i zakovane),
- rezervoari (stanje zaštite i zaptivanje, curenje, korozija, zaprljanost ...),
- komande (stanje veza, oštećenja, istrošenost ...),
- hidro i gorivni sistemi (zaprljanost, filteri, istrošenja hidro cilindara, korozija...),
- kočioni sistemi (stanje istrošenja, korozija, čistoća ...),
- elektro sistem (pregled instalacija, konektora, spojeva ...)
- ostale komponente i agregati (istrošenja, curenja, oštećenja ...).

v) Transmisija

- reduktori (ležajevi, ozubljenja, zazori, sistem podmazivanja ...),
- transmisiona vratila (ležajevi, spojevi, ozubljenja ...),
- menjači (ležajevi, ozubljenja, zazori, sistem podmazivanja),
- diferencijali (ležajevi, ozubljenja, zazori, sistem podmazivanja ...).

Takođe, široka je primjena navedene dijagnostike u opštoj industriji:

a) Turbomašine

- parne i gasne turbine (oštećenja, zazori, istrošenja, korozija ...),
- turbokompresori (stanje, oštećenja kola, zazori, korozija, zaprljanost ...),
- pumpe (stanje, oštećenja kola, zazori, korozija, kavitacija, curenje ...),
- ventilatori (zaprljanost, oštećenja kola, korozija ...).

b) Otto i Dizel motori

- ventili (stanje površina ...),
- cilindri (stanje površina ...),
- klipovi (stanje, naslage koksa i oksidacije, stanje karika, oštećenja ...),
- blokovi (stanje, naslage, prskotine ...),
- agregati (stanje, oštećenja, naslage, istrošenja, izgoretine ...).

v) Sudovi pod pritiskom (oštećenje prevlaka i korozija ...)

g) Parni kotlovi sa instalacijama (naslage kamenca, korozija ...)

d) Izmjenjivači toplote (zaprljanost, korozija, curenja ...)

đ) Elektro transformatori (zaprljanost, curenja ...)

e) Građevinarstvo



KUĆIŠTE CENTRIFUGALNOG KOMPRESORA
– pojava korozije i nečistoće



KOMORA SAGORIJEVANJA, deflektori – pojava oksidacije, hemijske korozije, djelimično progrijevanje bez oštećenja



DRUGI VIJENAC SPROVODNOG APARATA – pojava gareži i naslaga ulja



UVODNIK VAZDUHA – bez oštećenja

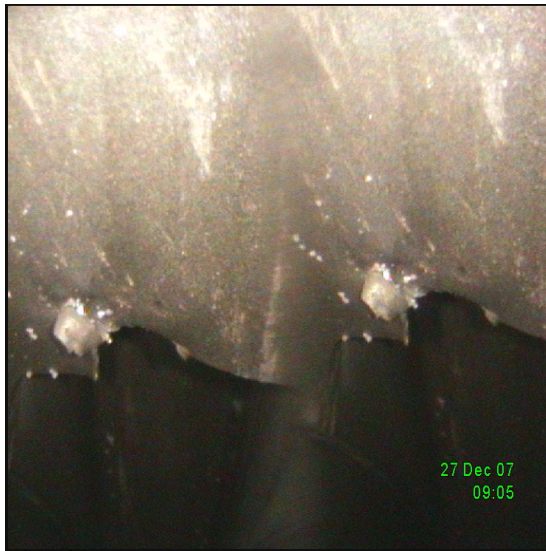


DIFUZOR – oštećenje izlazne ivice

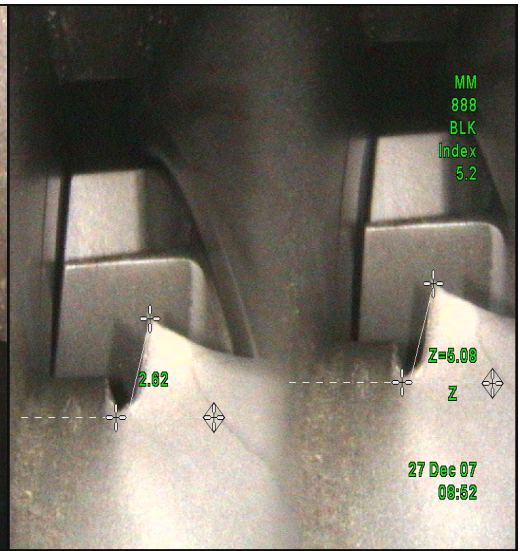


KOMORA SAGORIJEVANJA, deflektori – pojava koks i oksidacije, hemijske korozije, djelimično progrijevanje bez oštećenja

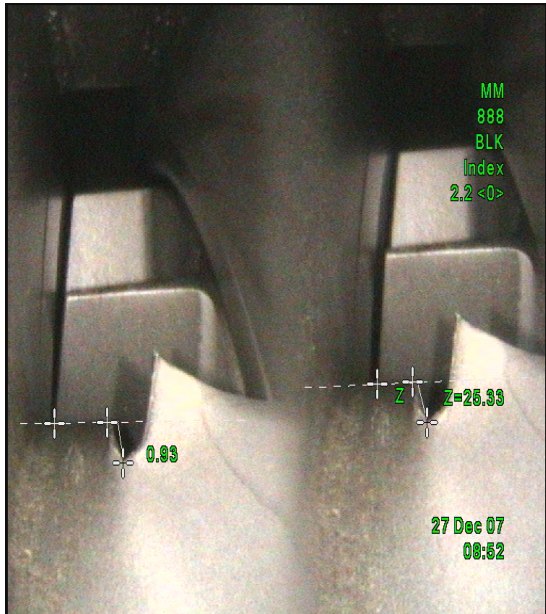
Stereometrija je uporedna metoda mjerenja rastojanja, oštećenja, prskotina i ostalih deformacija. Prilikom mjerenja ovom metodom koriste se specijalni nastavci za stereometrijska mjerenja.



OŠTEĆENJE NA DIFUZORU KOMPRESORA



IZMJERENA VISINA RISA OŠTEĆENJA iznosi 2.62 mm



IZMJERENI RIS OŠTEĆENJA iznosi 0,93 mm



IZMJERENI RIS OŠTEĆENJA (mjereno sa druge strane) iznosi 0,95 mm

6. ZAKLJUČAK

Uvođenje koncepta *preventivnog održavanje po stanju* vazduhoplovnih i drugih složenih tehničkih sistema je dijagnostički proces koji omogućava određivanje tehničkog stanja svakog sastavnog dijela sistema i omogućava permanentno planiranje aktivnosti održavanja (zamjene ili opravke sastavnih dijelova sistema) zasnovan na stvarnom tehničkom stanju, povećavajući na taj način vrijeme efektivnog rada i pouzdanost tehničkog sistema, eliminišući nepotrebne zastoje i smanjujući ukupne troškove

Primjena endoskopske dijagnostike omogućava maksimalno iskorišćenje individualnih tehničkih mogućnosti elemenata i sklopova sistema, uz ostvarivanje zahtijevanog nivoa pouzdanosti efikasnosti održavanja i sigurnosti letenja.

Prednosti endoskopske kontrole ogledaju se u velikoj ekonomičnosti i povećanju produktivnosti procesa održavanja tehničkih sistema. U današnje vrijeme endoskopija nalazi sve širu primenu i teži da postane nezaobilazan proces tehničkog održavanja u opštoj industriji: turbomašine, otto i dizel motori, sudovi pod pritiskom, parni kotlovi sa instalacijama, izmjenjivači toplote, elektro transformatori, građevinarstvo.

7. LITERATURA

- [1] Bulatović Miodrag, Održavanje i efektivnost tehničkih sistema, Monografija, Mašinski fakultet, Podgorica, 2008
- [2] Karadžić Radoje, Istraživanja povišenja efektivnosti helikoptera primjenom održavanja po stanju, magistarski rad, Podgorica, 2009
- [3] Karadžić Radoje, Vazduhoplovna baza: Baza podataka endoskopskih pregleda vazduhoplovnih motora,

