

# Program praćenja pouzdanosti za flotu lakih školskih helikoptera

---

Žlabravec, Ronald Matej

Master's thesis / Diplomski rad

2023

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:015683>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-02**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -  
Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Ronald Matej Žlabravec

PROGRAM PRAĆENJA POUZDANOSTI ZA FLOTU LAKIH  
ŠKOLSKIH HELIKOPTERA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, svibanj 2023.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
**POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT**

Zagreb, 21. veljače 2023.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**  
Predmet: **Održavanje zrakoplova**

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 7033

Pristupnik: **Ronald Matej Žlabravec (0135249292)**  
Studij: **Aeronautika**


Zadatak: **Program praćenja pouzdanosti za flotu lakih školskih helikoptera**

Opis zadatka:

Cilj ovog diplomskog rada je upoznavanje s osnovnim pokazateljima pouzdanosti, izračun istih na stvarnim podacima i prezentacija modela programa praćenja pouzdanosti flote lakih školskih helikoptera pogodnog za primjenu u organizaciji za školovanje pilota helikoptera

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:



---

prof. dr. sc. Ernest Bazijanac

---

## SAŽETAK

Cilj ovog diplomskog rada je istražiti mogućnost uspostave programa praćenja pouzdanosti za flotu lakih školskih helikoptera u vojnoj organizaciji. Program praćenja pouzdanosti napravljen je na temelju analize i obrade podataka iz eksploatacije flote od šest lakih školskih helikoptera. Ovim istraživanjem dobiva se uvid u pouzdanost lakih školskih helikoptera preko kojih se mogu iznijeti potrebne korektivne mjere u programu održavanju. Specifičnost ovog rada je što se u organizaciji gdje se nalazi flota lakih školskih helikoptera još ne provodi program praćenja pouzdanosti nego je ovaj rad prva analiza takvih podataka.

**KLJUČNE RIJEČI:** program praćenja pouzdanosti; flota lakih školskih helikoptera; pouzdanost; parametri pouzdanosti.

## SUMMARY

The main goal of this thesis is to explore the possibility of establishment a maintenance reliability program for a fleet of light school helicopters in military organization. Maintenance reliability program was created based on the analysis and processing of data from the exploitation of a fleet of six light school helicopters. The research provides an insight into the reliability of light school helicopters, through which the necessary corrective measures in the maintenance program can be presented. The specificity of this work is that the organization where the fleet of light school helicopters is located does not implement a maintenance reliability program yet and this thesis is the first analysis of such data.

**KEY WORDS:** maintenance reliability program; fleet of light school helicopters; reliability; reliability parameters.

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **DIPLOMSKI RAD**

**PROGRAM PRAĆENJA POUZDANOSTI ZA FLOTU LAKIH  
ŠKOLSKIH HELIKOPTERA**  
**MAINTENANCE RELIABILITY PROGRAM FOR A FLEET OF  
LIGHT TRAINING HELICOPTERS**

MENTOR: prof. dr. sc. Ernest Bazijanac

STUDENT: Ronald Matej Žlabravec

JMBAG: 0135249292

Zagreb, svibanj 2023.

## SADRŽAJ

1.	UVOD .....	1
2.	OSNOVNI POKAZATELJI POUZDANOSTI .....	2
2.1.	Pouzdanosti .....	2
2.2.	Intenzitet otkaza .....	4
2.2.1.	Model pouzdanosti pri konstantnom intenzitetu otkaza .....	5
2.2.2.	Model pouzdanosti za Weibullovu razdioba intenziteta otkaza .....	6
2.2.3.	Krivulja kade .....	7
2.3.	Srednje vrijeme do otkaza - <i>MTTF</i> .....	8
2.4.	Srednje vrijeme između otkaza - <i>MTBF</i> .....	8
3.	PROGRAM PRAĆENJA POUZDANOSTI .....	10
3.1.	Općenito o programu praćenja pouzdanosti .....	10
3.2.	Izrada programa pouzdanosti .....	11
3.3.	Raspoloživost zrakoplova .....	12
3.4.	Pouzdanost otpreme zrakoplova .....	13
3.5.	Pouzdanost komponenti i sustava .....	13
3.6.	Pouzdanost pogonskog sustava .....	15
3.7.	Definiranje graničnih vrijednosti .....	16
3.8.	Prezentacija i analiza podataka o pouzdanosti .....	17
4.	ODRŽAVANJE ZRAKOPLOVA U VOJNOJ ORGANIZACIJI .....	19
4.1.	Model održavanja vojnih zrakoplova .....	20
4.1.1.	Prvi stupanj održavanja .....	21
4.1.2.	Drugi stupanj održavanja .....	22
4.1.3.	Treći stupanj održavanja .....	22
4.2.	Ustrojstvene jedinice u Oružanim snagama za održavanje zrakoplova .....	23
5.	PRIJEDLOG PROGRAMA PRAĆENJA POUZDANOSTI .....	25
5.1.	Ispitivanje pogodnosti primjene programa pouzdanosti na temelju analize podatak za mjesec svibanj 2021. ....	25
5.1.1.	Operativna statistika flote .....	25
5.1.2.	Broj otkazanih letova .....	27
5.1.3.	Broj primjedbi pilota .....	27
5.1.4.	Ponavljajuće primjedbe pilota .....	28
5.1.5.	Broj zamjenjenih komponenti .....	29

5.1.6.	Broj neplaniranih zamjenjenih komponenti .....	30
5.1.7.	Broj gašenja motora u letu .....	31
5.1.8.	Broj neplaniranih zamjena motora .....	31
5.1.9.	Dugotrajni problemi s neispravnostima .....	31
5.1.10.	Značajni nalazi tijekom radova redovnog održavanja.....	31
5.1.11.	Korektivne mjere.....	31
5.2.	Prijedlog programa praćenja pouzdanosti na temelju godišnjih izvještaja za pojedine podatke .....	32
6.	ZAKLJUČAK.....	36
	POPIS LITERATURE .....	37
	POPIS SLIKA .....	38
	POPIS TABLICA .....	39
	POPIS DIJAGRAMA .....	40

# 1. UVOD

Program praćenja pouzdanosti je sustav statističke obrade i izvještavanja o događajima vezanim uz tehnički status zrakoplova tijekom eksploatacije u floti operatora. Održavanje je ključna stvar u životnom vijeku bilo koje letjelice koja se direktno odražava na njenu eksploataciju, odnosno, o kvaliteti održavanja ovisi životni vijek letjelice.

U ovom diplomskom radu napravljena je analiza i obrada podataka iz eksploatacije flote lakih školskih helikoptera koji su potrebni za izradu programa pouzdanosti zrakoplova koji su u upotrebi u vojnoj organizaciji. Rad je strukturiran od osam poglavlja:

1. Uvod
2. Osnovni pokazatelji pouzdanosti
3. Program praćenja pouzdanosti
4. Održavanje zrakoplova u vojnoj organizaciji
5. Obrada i analiza podataka
6. Izračun parametara pouzdanosti
7. Zaključak.

U prvom poglavlju rada napisan je uvod u temu i dan je opis strukture rada.

Drugo poglavlje govori o osnovnim pokazateljima pouzdanosti i općenito pouzdanosti i prognoziranju pouzdanosti

U trećem poglavlju govori se općenito o programu praćenja pouzdanosti i njegovim elementima.

Kroz četvrto poglavlje objašnjen je sustav održavanja zrakoplova u vojnoj organizaciji.

U petom poglavlju provedena je obrada i analiza podataka na temelju podataka iz eksploatacije u svibnju 2021. godine prema čemu je prikazan primjer obrade podataka koje bi trebale biti u mjesečnom izvješću. U ovom poglavlju je prikazan prijedlog programa praćenja pouzdanosti na temelju raspoloživosti flote i pouzdanosti otpreme zrakoplova.

Šesto poglavlje daje zaključak na temu rada.



## 2. OSNOVNI POKAZATELJI POUZDANOSTI

U ovom poglavlju se navode i definiraju osnovni pokazatelji pouzdanosti koji su potrebni za prikaz pouzdanosti nekog elementa, sklopa ili sustava općenito. Svi navedeni pokazatelj se ne koriste nužno samo u zrakoplovstvu, ali su gotovo neizostavani u prikazu održavanja i eksploatacije nekog zrakoplovnog sredstva.

### 2.1. Pouzdanosti

Pouzdanost sredstva je vjerojatnost da će sredstvo izvršiti zadanu funkciju u zadanim uvjetima i u određenom vremenskom razdoblju bez kvarova [1]. Za pouzdanost također možemo reći da je mjera sposobnosti da se neki element, sklop ili sustav održi u radnom stanju tijekom određenog vremenskog razdoblja ne uzimajući u obzir čimbenike koji bi mogli utjecati na nju. Pouzdanost se izražava statističkim metodama koje sadrže tri osnovna elementa [1]:

- zadanu funkciju
- zadane uvjete
- određeni vremenski period.

Matematički izraz pouzdanosti glasi (2.1.):

$$R(t) = P(T > t) \quad (2.1)$$

pri čemu je  $R(t)$  vjerojatnost da će vrijeme rada bez otkaza  $T$  biti veće od određenog vremena. Ovako izražena pouzdanost može se statistički obraditi prema formuli (2.2.) koja predstavlja funkciju pouzdanosti:

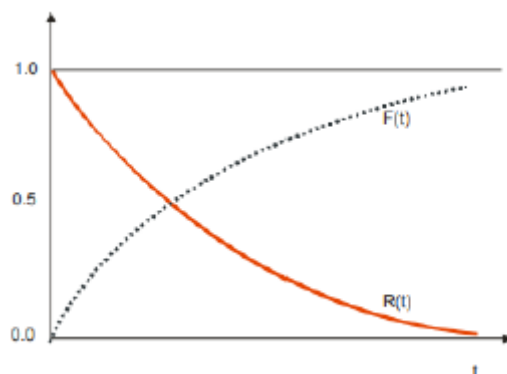
$$R(t) = \frac{n - N(t)}{n} = 1 - \frac{N(t)}{n} = \frac{n(t)}{n} \quad (2.2)$$

gdje je  $n$  broj elemenata na početku eksploatacije,  $N(t)$  broj elemenata koji su otkazali do vremena  $t$ , a  $n(t)$  ukupan broj ispravnih elemenata do trenutka  $t$  [1].

Komplementarna funkcija pouzdanosti je nepouzdanost koja je zapravo vjerojatnost otkaza sredstva. Zbroj pouzdanosti i nepouzdanosti je uvijek jednak jedinici [1], što je vidljivo prema formuli (2.3.):

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (2.3.)$$

Za nepouzdanost sustava možemo reći da je to vjerojatnost da će sustav doživjeti otkaz pri određenim uvjetima u određenom vremenskom periodu. Na slici 1. vidi se odnos pouzdanosti i nepouzdanosti sustava gdje sa vremenom pouzdanost sustava  $R(t)$  pada dok nepouzdanost  $F(t)$  raste.



**Slika 1.** Odnos pouzdanosti i nepouzdanosti [1]

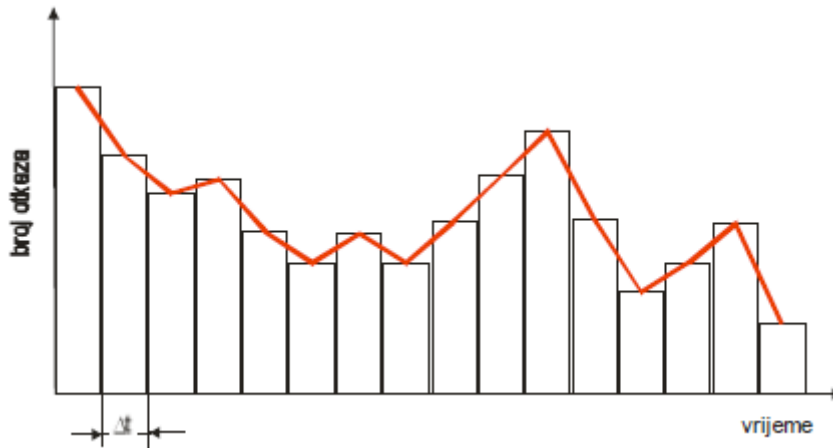
Derivacijom izraza (2.3.) po vremenu dobije se izraz (2.4.) prema kojem je lijevi član, odnosno prva derivacija pouzdanosti po vremenu, funkcija gustoće bezotkaznog rada, a desni član, odnosno prva derivacija nepouzdanosti po vremenu, predstavlja funkciju gustoće otkaza.

$$\frac{dR(t)}{dt} + \frac{dF(t)}{dt} = 0 \quad (2.4.)$$

Funkcija gustoće otkaza može se dobiti i na drugačiji način. Primjer toga je praćenje sredstva u eksploataciji čije vremensko razdoblje promatranja se podijeli u vremenske intervale te se prati broj otkaza u tom intervalu. Funkcija gustoće otkaza dana je formulom (2.5.) [1]:

$$f(t) = \frac{N(\Delta t)}{n * \Delta t} \quad (2.5.)$$

Pri čemu je  $N(\Delta t)$  broj otkazalih elemenata u intervalu  $\Delta t$  u okolini vremena  $t$ ,  $n$  je broj promatranih elemenata kod  $t = 0$ ,  $\Delta t$  je trajanje vremenskog intervala [1]. Na slici 2. vidimo primjer statističkog određivanja funkcije gustoće otkaza.



**Slika 2.** Statističko određivanje funkcije gustoće otkaza [1]

## 2.2. Intenzitet otkaza

Pouzdanost se u praksi najčešće iskazuje preko funkcije intenziteta otkaza koja se označava  $\lambda(t)$ . Funkcija intenziteta otkaza  $\lambda(t)$  ne predstavlja vjerojatnosti, ali se pomoću nje može izračunati uvjetna vjerojatnost otkaza. Vjerojatnost otkaza nekog elementa u razdoblju između vremena  $t$  i  $t + \Delta t$  pod uvjetom da do vremena  $t$  nije otkazao jednaka je:

$$p(t < T \leq t + \Delta t | T > t) = \lambda(t) \cdot \Delta t \quad (2.6.)$$

Intenzitet otkaz definira se kao omjer funkcije gustoće otkaza i pouzdanosti, što je vidljivo u izrazu (2.7.):

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{dF(t)}{dt}}{R(t)} = \frac{1}{R(t)} \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt} \quad (2.7.)$$

Također, intenzitet otkaza se može odrediti praćenjem elemenata u eksploataciji (2.8.):

$$\lambda(t) = \frac{N(\Delta t)}{n(t) * \Delta t} \quad (2.8.)$$

Mjerna jedinica intenziteta otkaza je  $[s^{-1}]$ , a ovisno o tome kako se interpretira može biti i [otkaza/s]. Intenzitet otkaza može se računati i kao prosječna vrijednost za duži period rada jednog sredstva prema slijedećem izrazu (2.9.) [1]:

$$\lambda = \frac{\text{broj otkaza}}{\text{ukupno vrijeme u radu}} \quad (2.9.)$$

### 2.2.1. Model pouzdanosti pri konstantnom intenzitetu otkaza

Ako se pretpostavi ili ako se praćenjem otkaza u eksploataciji utvrdi da je tijekom vremena intenzitet otkaza konstantan, tj  $\lambda(t) = \lambda$ , tada proizlazi da se otkazi događaju u skladu s ekponencijalnom raspodjelom. Nakon sređivanja temeljnog izraza (2.7.) za konstantan intenzitet otkaza pa zatim njegovim integriranjem od  $t = 0$  do nekog vremena  $t$  dobivamo funkciju pouzdanosti (2.10.), funkciju nepouzdanosti (2.11.) i funkciju gustoće otkaza (2.12.) u sljedećim oblicima [1]:

$$\lambda = - \frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt} \quad (2.7.)$$

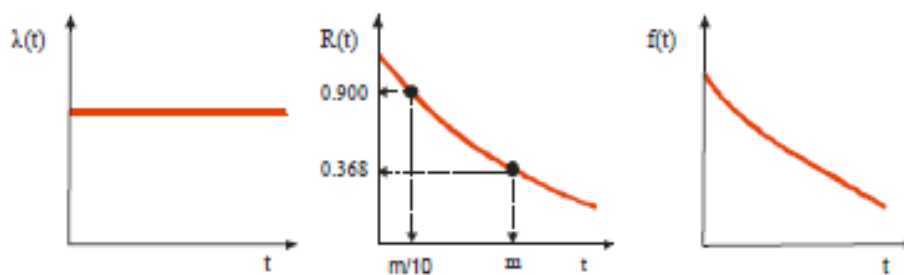
$$\frac{dR(t)}{R(t)} = - \lambda * dt$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.10.)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2.11.)$$

$$f(t) = \lambda * e^{-\lambda t} \quad (2.12.)$$

Grafovi navedenih funkcija izgledaju kao na slici 3. Na grafu ovisnosti pouzdanosti o vremenu vidi se da se pouzdanost s vremenom smanjuje, a suprotno pouzdanosti funkcija nepouzdanosti bi bila rastuća kao što je vidljivo na slici 1. u prethodnoj cjelini. Funkcija gustoće otkaza je padajuća odnosno gustoća otkaza je sve manja s promijenom vremena.



**Slika 3.** Osnovni pokazatelji pouzdanosti za konstantan intenzitet otkaza [1]

Srednje vrijeme do otkaza (*MTTF*), odnosno srednje vrijeme između otkaza (*MTBF*) se može izračunati prema:

$$m = MTBF = \int_0^{\infty} R(t) \cdot dt \quad (2.13.)$$

iz čega za eksponencijalnu raspodjelu proizlazi da je:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.14.)$$

Što znači ako se iz statističkog praćenja otkaza odredi srednja vrijednost između otkaza  $m = MTBF$ , tada je ujedno poznat i intenzitet otkaza  $\lambda$ . Iz slike 3. je vidljivo da je kod vremena  $t = MTBF$  pouzdanost elementa pri eksponencijalnoj raspodjelu pala na vrijednost  $R = 0,368$

### 2.2.2. Model pouzdanosti za Weibullovu razdioba intenziteta otkaza

U praksi se često koristi Weibullova funkcija razdiobe intenziteta otkaza. Troparametarska Weibullova razdioba intenziteta otkaza dana je izrazom (2.15.):

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\alpha} (t - \gamma)^{\beta-1} \quad (2.15.)$$

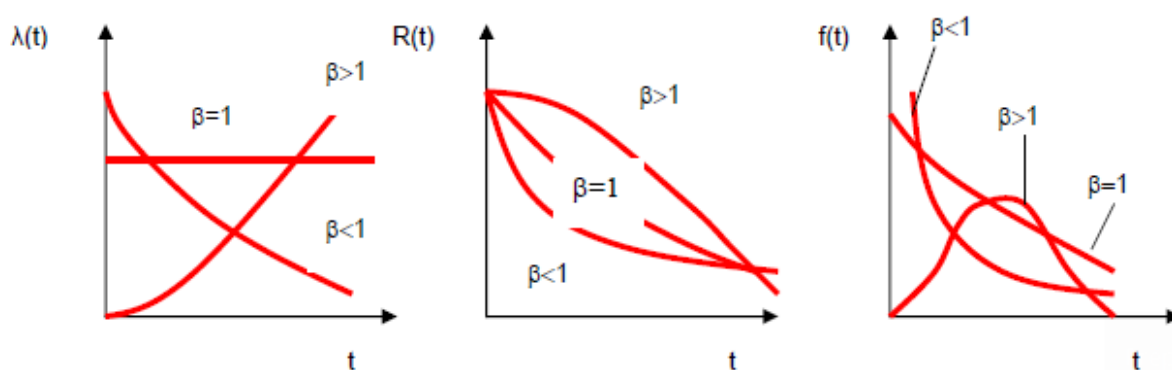
pri čemu je:

- $\alpha$  - faktor skale,
- $\beta$  - faktor oblika,
- $\gamma$  - parametar ovisan o prvom otkazu [1].

Ostali pokazatelji pouzdanosti prikazani su u izrazima (2.16.) i (2.17.):

$$R(t) = e^{-\frac{(t-\gamma)^\beta}{\alpha}} \quad (2.16.)$$

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} (t - \gamma)^{\beta-1} e^{-\frac{(t-\gamma)^\beta}{\alpha}} \quad (2.17.)$$



**Slika 4.** Pokazatelji pouzdanosti Weibullovom raspodjelom [1]

Na slici 4. su prikazani grafovi funkcija intenziteta otkaza, pouzdanosti i gustoće otkaza. Važno je za primjetiti da su krivulje na grafu kada faktor oblika  $\beta$  iznosi 1 jednake onima koje su prikazane na grafovima u prethodnom podpoglavlju. Razlog tomu je taj što je eksponencijalna razdioba, korištena za model pouzdanosti pri konstantnom otkazu, zapravo specijalni oblik Weibullove razdiobe kada faktor oblika  $\beta = 1$

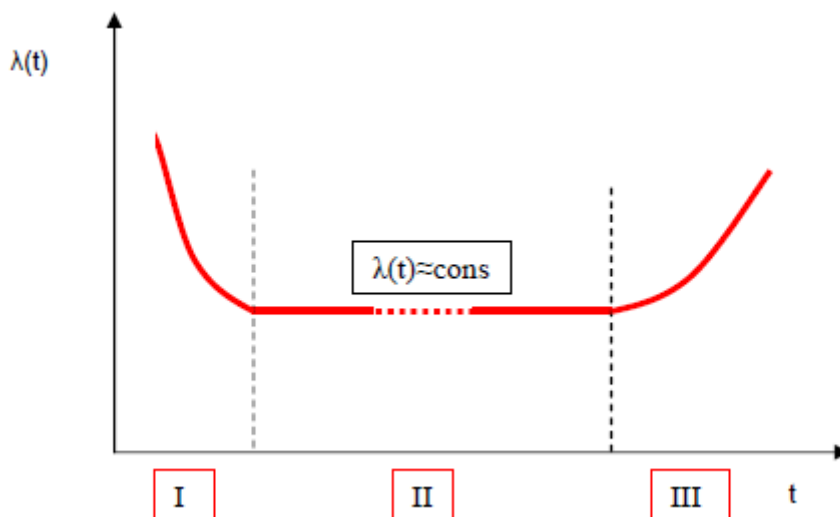
### 2.2.3. Krivulja kade

Danas se u rješavanju praktičnih problema upotrebljava šest oblika promjene intenziteta od kojih je najpoznatija krivulja kade [1]. Na slici 5. prikazana je krivulja kade koja predstavlja tri karakteristična razdoblja u životnom vijeku nekog sredstva.

Prvo razdoblje predstavlja razdoblje ranih otkaza koji se javljaju u početku rada sredstva kao posljedica grešaka u proizvodnji ili materijala koji su se potkrali prilikom procesa kontrole tijekom izrade. Ovo razdoblje se još naziva i razdoblje uhodavanja ili razoblje „dječijih bolesti“. Za ovaj period korištenja sredstva već se unaprijed prije uvođenja u eksploataciju planiraju razrade scenarija koji bi korisnicima pomogli kako bi se smanjio intenzitet otkaza. S obzirom na poznate karakteristike razdoblja početka korištenja nekog sredstva proizvođači daju garantni rok unutar kojega daju garanciju o besplatnom uklanjanju nastalih otkaza. Za prikaz intenziteta otkaza u ovom razdoblju koristi se Weibullova razdioba [1].

Drugo razdoblje predstavlja najveći dio životnog vijeka nekog zrakoplovnog sredstva u kojem je konstantan intenzitet otkaza, tj.  $\lambda(t) = const$ . Uz pretpostavku pravilnog korištenja ovo razdoblje karakterizira pojava slučajnih otkaza različitog porijekla i uzroka te je ovakve otkaz nemoguće izbjeći. Ovo razdoblje se opisuje modelom pouzdanosti pri konstantnom intenzitetu otkaza [1].

Treće razdoblje je razdoblje istrošenosti ili starosti u kojem često dolazi do otkaza uglavnom zbog dotrajalosti, zamora materijala ili zbog procesa koji su izazvani starenjem [1].



**Slika 5.** Krivulja kade [1]

### 2.3. Srednje vrijeme do otkaza - *MTTF*

Srednje vrijeme do otkaza (eng. *Mean Time To Failure – MTTF*) je vrijeme koje proteklo do otkaza. Izračunava se za nepopravljiva sredstva, odnosno ona koja se nakon otkaza ne popravljaju nego se zamijenjuju novim sredstvom. Koristi se za statističko predviđanje vremena do prvog otkaza.. *MTTF* statistički se određuje na sljedeći način izrazom (2.15.) [1]:

$$MTTF = \frac{\sum_{i=1}^n Tri}{n} \quad (2.18.)$$

gdje je:

- $T_{ri}$  – vrijeme rada do otkaza  $i$  – tog sredstva,
- $n$  – broj sredstava koje se promatra.

### 2.4. Srednje vrijeme između otkaza - *MTBF*

Srednje vrijeme između otkaza (eng. *Mean Time Between Failure – MTBF*) je vrijeme koje je proteklo između dva otkaza. Izračunava se za popravljiva sredstva koja se nakon otkaza popravljaju i ponovno koriste. Izračun *MTBF* koristi se za statističko predviđanje vremena između dva otkaza. Računa se prema sljedećem izrazu (2.19.) [1]:

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n Tri}{n} \quad (2.19.)$$

gdje je:

- $T_{ri}$  – trajanje  $i$  – tog razdoblja ispravnog rada,
- $n$  - ukupan broj analiziranih razdoblja rada i otkaza.

U zrakoplovstvu se koristi i parametar koji opisuje srenje vrijeme između neplaniranih skidanja elementa/sklopa s zrakoplova pod sumnjom neispravnosti: *MTBUR* (eng. *Mean Time Between Unsccheduled Removals*) . Naknadno se može utvrditi da je sklop ispravan. Razlika od *MTBF-a* je ta što *MTBF* pokazuje srednje vrijeme između potvrđenih neispravnosti, odnosno otkaza.



## 3. PROGRAM PRAĆENJA POUZDANOSTI

Ovo poglavlje govori o programu praćenja pouzdanosti, o njegovoj svrsi, karakteristikama i sadržaju.

### 3.1. Općenito o programu praćenja pouzdanosti

Program praćenja pouzdanosti je sustav koji se bavi statističkom obradom i izvještavanjem o događajima vezanim uz tehnički status zrakoplova tijekom njihove upotrebe u floti operatora. S obzirom da se uvjeti upotrebe zrakoplova razlikuju od jednog do drugog operatora, praćenje pouzdanosti provodi se na floti svakog pojedinog operatora, pri tome uzimajući u obzir specifične uvjete njihove upotrebe. Programom praćenja pouzdanosti se omogućava analiza pouzdanosti funkcioniranja zrakoplova, njihovih sustava i komponenti te usporedba stvarnih podataka o pouzdanosti flote s očekivanim razlutatima pouzdanosti koji su prethodno definirani[2]. Očekivani rezultati pouzdanosti temelje se na iskustvenim podacima o pouzdanosti flota drugih operatora u svijetu koji koriste isti tip zrakoplova. Primarna svrha programa praćenja pouzdanosti je osigurati podatke i informacije koji će operatorima pomoći u prilagodbi i poboljšanju njihovog programa održavanja za određeni tip zrakoplova [3].

Primjena programa praćenja pouzdanosti ne utječe direktno na pouzdanost nekog sredstva čiji se statistički podaci iz eksploatacije obrađuju nego se temeljem njega može korigirati postojeći program pouzdanosti koji će na bolji način moći održavati neku komponentu ili sustav unutar očekivanih parametara pouzdanosti. Velik utjecaj na ponašanje neke komponente ili sustava s vremenom ima način i uvjeti eksploatacije te program održavanja stoga je potrebno da svaki operator za sebe vodi vlastiti program praćenja pouzdanosti. No, nisu svi operatori dužni voditi program praćenja pouzdanosti[2].

U civilnom zrakoplovstvu kada se govori o programu praćenja pouzdanosti podrazumijeva se da se isti provodi po programu održavanja za taj tip zrakoplova koji je odobren od zrakoplovnih vlasti i u organizaciji za održavanje koje posjeduje sve potrebne certifikate te udovoljava svim zrakoplovnim propisima. Također, i sam program praćenja pouzdanosti mora bit odobren od zrakoplovnih vlasti, a za njegovo provođenje mora se osnovati odbor za praćenje pouzdanosti koji snosi odgovornost za njegovo funkcioniranje. Odbor čini rukovodeće osoblje organizacija za održavanje. Njihova glavna zadaća je provođenje programa praćenja pouzdanosti sukladno propisanim procedurama i nadležni su za odobrenje korektivnih akcija i promjena programa održavanja koje su utemeljene za programu praćenja pouzdanosti. Odbor se sastaje jednom mjesečno

kako bi izvršio analizu provedenih korektivnih mjera, analizu izvješća o pouzdanosti za protekli mjesec i donio odluku o novim korektivni mjerama ukoliko su potrebne. Svaki sastanak se evidentira zapisnikom sa sastanka na kojem su usvojeni izvještaji o pouzdanosti, konstatirano stanje provođenja korektivnih mjera i definirane nove korektivne mjere. Predstavnicima zrakoplovnih vlasti moraju imati pristup svim informacijama vezanim uz provođenje programa praćenja pouzdanosti [2].

### 3.2. Izrada programa pouzdanosti

Prvi korak u izradi programa praćenja pouzdanosti je prikupljanje relevantnih podataka iz eksploatacije koje radi inženjeri u organizaciji za održavanje. Ti podaci mogu varirati ovisno o broju parametara koji pojedini operator prati, no osnovni parametri koje se prate su [3]:

- broj primjedbi pilota na 100 slijetanja,
- broj tehničkih kašnjenja iznad 15 minuta i otkazivanje letova na 100 letova,
- broj zamjena komponenti zrakoplova na 1000 sati rada komponente,
- broj neplaniranih zamjena komponenti na 1000 sati rada komponente,
- broj gašenja motora u letu na 1000 sati rada motora,
- broj neplaniranih zamjena motora na 1000 sati rada motora,
- ponavljajuće primjedbe pilota,
- drugotrajni problemi s neispravnostima,
- ponavljajuće primjedbe pilota,
- značajni nalazi tijekom radova redovnog održavanja,
- raspoloživost zrakoplovne flote, dnevno korištenje, odnos trajanja leta i broj polijetanja.

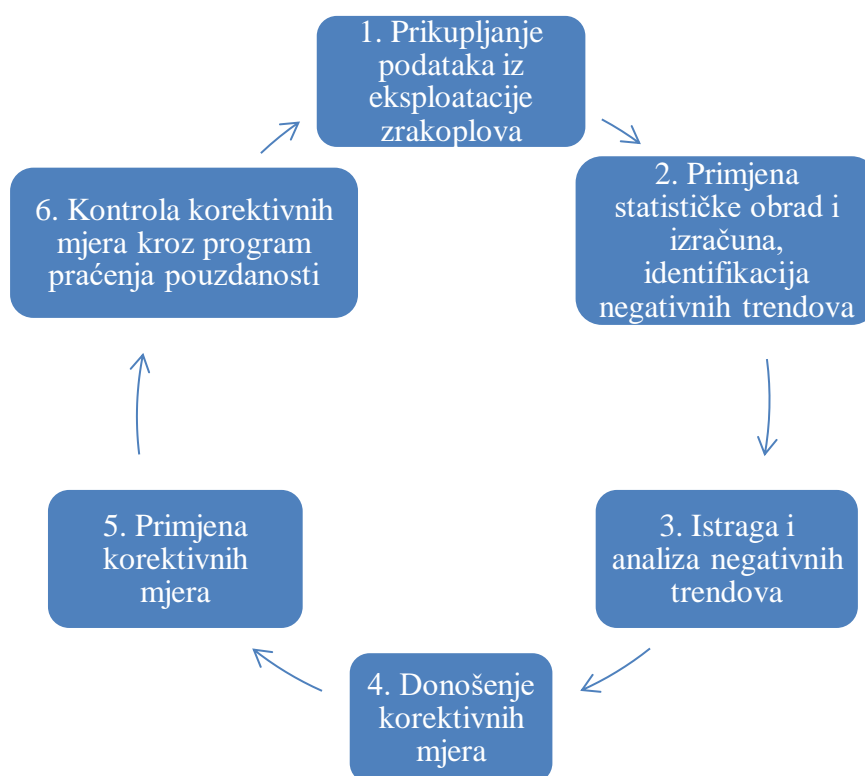
Neki od izvora podataka su [3]:

- *Flight Order* (FO),
- *Ground Log Book* (GLB),
- *Technical Log Book* (TLB).

Nakon što se prikupe svi potrebni podaci za protekli mjesec isti se statistički obrađuju na način da se verificiraju i sortiraju prema parametrima, da se izračunaju parametri statističkih vrijednosti te da se izračunaju granične vrijednosti jednom godišnje [3]

Na kvalitetu izrade statističkih podataka značajan utjecaj ima broj zrakoplova u floti jer se primjerice na malom broju zrakoplova može dogoditi da statistički podaci jako variraju u odnosu na

očekivanja. Pri statističkoj obradi podataka poželjno je imati što veći broj zrakoplova u floti. Grafički prikaz tijeka prikupljanja podataka dan je dijagramom 1.



**Dijagram 1.** Prikaz tijeka prikupljanja podataka za program praćenja pouzdanosti [4]

### 3.3. Raspoloživost zrakoplova

Raspoloživost zrakoplova jedan je od bitnih parametara za program praćenja pouzdanosti koji nam daje podatak koliko je prosječno raspoloživih zrakoplova u promatranom periodu. Obično je promatrani period mjesec dana. Da bi izračunali raspoloživost zrakoplova najprije moramo izračunati ukupni mogući kapacitet flote jednog tipa zrakoplova izraženog u satima leta prema izrazu (2.20.) [1]:

$$h_{uk} = h_m * i_{uk} \quad (2.20.)$$

pri čemu je:

- $h_m$  – broj sati u promatranom periodu, npr. mjesec dana,
- $i_{uk}$  – ukupan broj zrakoplova promatranog tipa.

Zatim izračunamo koliko sati zrakoplovi nisu bili operativno raspoloživi  $h_s$  zbog održavanja (2.21.):

$$h = h_{uk} - h_s \quad (2.21.)$$

broj raspoloživih zrakoplova  $i$  tijekom promatranog vremena iznosi (2.22.):

$$i_a = \frac{h_{uk} - h_s}{h_{uk}} i_{uk} \quad (2.22.)$$

Prema podatku o raspoloživosti zrakoplova možemo usporedno s njime i izračunati dnevnu iskoristivost dostupnih zrakoplova za pojedini promatrani mjesec.

### 3.4. Pouzdanost otpreme zrakoplova

Pouzdanost otpreme zrakoplova je vjerojatnost da će zrakoplov poletjeti u planirano vrijeme pri čemu se u obzir uzimaju samo kašnjenja nastala zbog tehničkih razloga ili potrebnih radnji održavanja. Računa se prema izrazu (2.23.) [1]:

$$R_d = \left[ 1 - \frac{n_d + n_c}{n} \right] * 100 \quad (2.23.)$$

gdje je:

- $n_d$  – broj kašnjenja u promatranom periodu koja su veća od nekog zadanog vremena zbog tehničkih razloga
- $n_c$  - broj otkaza zbog tehničkih razloga
- $n$  – ukupan broj ciklusa – polijetanja u promatranom periodu.

Pouzdanost otpreme zrakoplova često se računa kao indeks kašnjenja na 100 polijetanja [2].

### 3.5. Pouzdanost komponenti i sustava.

Pouzdanost komponenti se može prikazivati preko srednjeg vremena između otkaza *MTBF*, preko srednjeg vremena između neplaniranih skidanja elemenata (eng. *Mean Time Between Unscheduled Removals – MTBUR*) ili preko intenziteta otkaza  $\lambda$  [2].

*MTBUR* se računa način da se umnožak broja jednakih komponenti na zrakoplovu i broj sati naleta u tom mjesecu podijeli sa brojem neplaniranog skidanja komponente:

$$MTBUR = \frac{n_k * FH}{n_r} \quad (2.24.)$$

pri čemu je:

- $n_k$  – broj komponenti zrakoplova
- $FH$  – broj sati naleta

- $n_r$  – broj neplaniranih skidanja komponente.

Inzenzitet skidanja komponente na 1000 sati naleta dobijemo tako da recipročnu vrijednost  $MTBUR$  pomnožimo sa 1000:

$$\lambda = \frac{1}{MTBUR} * 1000 \quad (2.25.)$$

Pouzdanost sustava zrakoplova prati se prema ATA 100 specifikacijama u kojima su sustavi sistematizirani u skupine prema brojevima od 1 do 100 gdje svaki od brojeva odgovara jednom broju. Provođi se na način da se prati neispravnost pojedinih sustava zrakoplova zbog čega se neke komponente moraju neplanski zamjeniti. U tablici 1. vidimo primjer podjele sustava po ATA specifikaciji. Pouzdanost sustava prikazuje se preko prosječnog broja neplaniranih zamjena pojedinih komponenti sustava na 1000 sati leta izrazom (2.26.) [1]:

$$i_{ur} = \frac{n_{UR}}{n_{ks} * h} 1000 \quad (2.26.)$$

pri čemu je:

- $n_{ur}$  – ukupan broj neplaniranih zamjena komponenti u promatranom periodu
- $n_{ks}$  – broj komponenti po sustavu
- $h$  – ukupan nalet zrakoplova u promatranom periodu.

Pouzdanost sustava zrakoplova može se iskazati preko stupnja pouzdanosti na temelju primjedbi pilota u promatranom periodu u odnosu na 1000 polijetanja:

$$i_p = \frac{n_p}{n_{TO}} 100 \quad (2.27.)$$

pri čemu je:

- $n_p$  – broj primjedbi pilota tijekom promatranog perioda
- $n_{TO}$  – broj polijetanja- broj ciklusa u promatranom periodu.

ATA specifikacija	Sustav
ATA 27	komande leta
ATA 28	gorivo
ATA 32	stajni trap
ATA 33	navigacija

**Tablica 1.** Primjeri ATA specifikacija

Raspolaganjem sa saznanjima o ovom podatku može se smanjiti vrijeme koje bi zrakoplov proveo u neoperativnom stanju, zbog održavanja, tako što bi se moglo predvidjeti kada će neka komponenta otkazati i na taj način planirati njenu zamjenu unaprijed [5]

### 3.6. Pouzdanost pogonskog sustava

Pri praćenju pouzdanost pogonskog sustava prate se slijedeći parametri [1]

- Gašenje motora u letu
- Neplanirane zamjene motora
- Dolazak motora u radionicu.

Svi od navedenih parametara računaju se u odnosu na 1000 sati rada motora. Indeks gašenja motora u letu računa se prema izrazu (2.28.) [1]:

$$i_{SD} = \frac{n_{SD}}{h_p} 1000 \quad (2.28.)$$

pri čemu je:

- $n_{SD}$  – broj neplaniranih gašenja motora u promatranom periodu,
- $n_p$  – ukupan broj sati rada motora za vrijeme promatrenog perioda.

Indeks neplaniranih zamjena motora računa se prema izrazu (2.29.) [1]:

$$i_{UR} = \frac{n_{ur}}{h_p} 1000 \quad (2.29.)$$

pri čemu je:

- $n_{UR}$  – broj neplaniranih zamjena motora u promatranom periodu,
- $h_p$  – ukupan broj sati rada motora za vrijeme promatranog perioda.

Indeks dolazaka motora u radionicu računa se prema izrazu (2.30.) [1]:

$$i_{SV} = \frac{n_{SV}}{h_p} 1000 \quad (2.30.)$$

pri čemu je:

- $n_{SV}$  – broj dolazaka motora u radionicu zbog otkaza u promatranom periodu,
- $h_p$  – ukupan broj sati rada motora za vrijeme promatranog perioda.

### 3.7. Definiranje graničnih vrijednosti

Za sve navedene parametre pouzdanosti u prethodnim poglavljima koji se prate za pojedini zrakoplov ili flotu važno je odrediti gornju ili donju granicu ovisno o tome koja je granica kritična. Granične vrijednosti nam služe za uočavanje značajnih odstupanja u pouzdanosti komponente, sustava ili zrakoplova od statistički prihvatljivih granica na temelju čega bi se mogle poduzeti određene korektivne mjere. One nam govore i do koje granice se može kretati naša pouzdanosti, a da pri tome performanse zrakoplova možemo smatrati stabilnima. Svako uzastopno ponavljajuće prekoračenje definiranih granica smatra se negativnim trendom kojeg je potrebno zaustaviti korektivnim mjerama. Takva prekoračenja u izvješćima se definiraju granicama uzbune (eng. *alert levels*) koja određuju status uzbune (eng. *Alert status*) [2]:

- CLEAR – pouzdanost je za tekući promatrani mjesec i njen prosjek unutar protekla tri mjeseca je ispod granice uzbune,
- YELLOW – ovaj status se definira kada je granična vrijednost probijena dva uzastopna mjeseca, ali je prosječna vrijednost ispod granice uzbune te ovaj status sugerira na moguću pojavu negativnog trenda,
- RED – ovaj status se definira ukoliko je uspostavljen negativan trend, odnosno kada je granica uzbune probijena tri uzastopna mjeseca za redom,
- REMAINS IN ALERT – ovaj status se dodjeljuje kada kod kontinuiranog RED statusa nema poboljšanja,
- WATCH – ovaj status se dodjeljuje parametrima koji pokazuju znakove poboljšanja u mjesecu nakon dodijeljenog RED statusa, a vrijednosti parametara ne prelaze granične vrijednosti.

Granične vrijednosti se izračunavaju preko standardne devijacije, pri čemu se koriste podaci iz evidencije podataka u proteklih 12 mjeseci. Svakih 12 mjeseci je potrebno raditi novi izračun. Važno je da se ista ne postavi previsoko jer neće pokazivati pojavu trendova, a niti prenisko kako ne bi dolazilo do probijanja graničnih vrijednosti bez realnog razloga. Izraz za standardnu devijaciju (2.31.) [2]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.31.)$$

gdje je:

- $x_i$  – mjesečna vrijednost parametara u promatranim mjesecima,
- $n$  – broj mjeseci za koji se izračunava standardna devijacija
- $\bar{x}$  – srednja vrijednost pokazatelja.

Izračun gornje granične vrijednosti (eng. *Upper Control Limit - UCL*) i donje granične vrijednosti (eng. *Lower Control Limit - LCL*) [2]:

$$UCL = \bar{x} + k * \sigma \quad (2.32.)$$

$$LCL = \bar{x} - k * \sigma \quad (2.33.)$$

Pri čemu je:

- $k$  – broj od 1 do 3 koji je obično od 2 do 3, a uzima ga operator ovisno o veličini flote. Za manje flote pogodniji je veći broj dok je za veće flote pogodniji manji.

### 3.8. Prezentacija i analiza podataka o pouzdanosti

Podaci o pouzdanosti koji se prate na mjesečnoj bazi prezentiraju se svaki mjesec na sastancima odbora programa praćenja pouzdanosti u vidu izvješća u kojem su izloženi podaci o pouzdanosti kategorizirani ko kategorijama. Iz takvih se izvješća uočavaju negativni trendovi ili poboljšanja nakon čega se donose korektivne akcije ako su potrebne. Izvješća se donose za svaki tip zrakoplova u floti posebno. Izvješće se sastoji od dva dijela od kojeg prvi dio čini uvodni dio, a drugi dio čini izvješće o performansama flote. U uvodnom dijelu su istaknuti glavni oči pokazatelji pouzdanosti određene flote, svi statusi upozorenja, tehnički incidenti i podaci o operaciji flote. Drugi dio sadrži detaljno izvješće za svaki tip zrakoplova u floti koje se sastoji od [2]:

- Sumarni statistički podaci operacije flote: veličina flote, ukupni sati i ciklusi leta,
- Broje primjedbi pilota na 100 slijetanja,
- Broj tehničkih kašnjenja iznad 15 minuta i otkazivanje letova na 100 letova,
- Broj zamjena komponenti zrakoplova na 1000 sati rada komponente,
- Broj neplaniranih zamjena komponenti na 1000 sati rada komponente,
- Broj gašenja motora u letu na 1000 sati rada motora,
- Broj neplaniranih zamjena motora na 1000 sati rada motora,
- Ponavljajuće primjedbe pilota,
- Dugotrajni problemi s neispravnostima,
- Značajni nalazi tijekom radova redovnog održavanja.



Na temelju ovog izvješća provodi se analiza podataka koji su dosegli status uzbune i što je dovelo do pojave negativnog trenda. Rezultatima analize dolazi se do uzroka nastalog prekoračenja. Razlozi negativnih trendova mogu biti [1]:

- nedostatno preventivno održavanje,
- nedostatak znanja,
- nedovoljno specificirane procedure održavanja,
- nepoštivanje propisanih postupaka održavanja,
- neispravan alat i oprema za održavanje,
- neispravna oprema za opsluživanje zrakoplova,
- nagle promjene u vrsti operacije,
- nepoštivanje pilotskih procedura,
- operacija zrakoplova u necertificiranim uvjetima i sl.

Nakon provedene analize dolazi se do donošenja određeni korektivnih mjera kako bi se parametri vratili na stabilnu razinu. Korektivne akcije mogu biti [1]:

- promjena intervala u programu održavanje ili promjena sadržaja radova,
- revizija određenih taskova,
- dodatne inspekcije flote u cilju utvrđivanja stanja određenih kritičnih sustava/komponenti,
- modifikacija flote,
- promjena postupaka održavanja,
- školovanje.


## 4. ODRŽAVANJE ZRAKOPLOVA U VOJNOJ ORGANIZACIJI

Održavanje vojnih zrakoplova regulirano je Pravilnikom o kontinuiranoj plovidbenosti i održavanju vojnih zrakoplova iz 2022. godine [6]. Ovim pravilnikom se propisuje kontinuirana plovidbenost, sustav zrakoplovno - tehničkog održavanja, održavanje vojnih zrakoplova, zrakoplovno – tehničko osoblje, kontrola i nadzor i dr. Program održavanja vojnih zrakoplova je dokument koji se izrađuje na temelju navedenog pravilnika i tehničke dokumentacije proizvođača te se prema njemu provodi održavanje zrakoplova. Program sadrži postupke u održavanju i preglede za svaki tip zrakoplova, rokove i način provedbe, a koji su određeni namjenom i uvjetima uporabe te zrakoplovno - tehničkom dokumentacijom. Ažuriranje programa održavanja radi se u skladu sa [6]:

- direktivama o plovidbenosti zrakoplovnih vlasti zemlje proizvođača ili zemlje registra zrakoplova,
- servisnim biltenima koje izdaje proizvođač u svrhu izmjene ili dopune postojećeg načina održavanja, a oni mogu biti obavezujući, preporučeni i izborni,
- servisnim pismima kojima se šalju obavijesti proizvođača o određenim aktivnostima vezanim uz održavanje,
- zrakoplovno – tehničkim uputama, odnosno, dokumentima kojima se pojašnjavaju određene odredbe Pravilnika o kontinuiranoj plovidbenosti i održavanju vojnih zrakoplova.

Program održavanja donosi načelnik Glavnog stožera na prijedlog zapovjednika HRZ uz prethodnu suglasnost Samostalne službe za vojni zračni promet (SSVZP). Na temelju Programa održavanja načelnik Glavnog stožera također donosi i Plan preventivnog održavanja[6].

Plovidbenost vojnih zrakoplova izdaje se na neograničen rok i vrijedi sve dok su ispunjeni uvjeti kontinuirane plovidbenosti zrakoplova, a izdaje ju Samostalna služba za vojni zračni promet (SSVZP) koja je svojevrsna „zrakoplovna vlast“ unutar Ministarstva obrane. Zrakoplov je kontinuirano plovidben ako je redovno održavan. Nakon održavanja, glavni inženjer održavanja Zrakoplovnog krila dokazuje provedeno održavanje izdavanjem Potvrde o otpustu s radova temeljem Izvješća o provedenim radovima. Ako se održavanje provodilo u nekoj organizaciji izvan Ministarstva obrane, onda Potvrdu o otpustu s radova potpisuje ovlaštena osoba te organizacije. Izgledpotvrde nalazi se u na slici 6 [6].

 <b>REPUBLIKA HRVATSKA</b> Ministarstvo obrane Samostalna služba za vojni zračni promet <b>REPUBLIC OF CROATIA</b> Ministry of defence Military aviation authority	<b>POTVRDA O OTPUSTU S RADOVA</b> <b>AUTHORISED RELEASE CERTIFICATE</b>	<b>3. Broj potvrde/odobrenja</b> <i>Certificate /Approval Ref. No</i>
<b>4. Ime i adresa ovlaštene organizacije/ Broj ovlaštenja</b> <i>Approved Organisation Name and Address/Approval number</i>		<b>5. Radni nalog/ugovor/faktura</b> <i>Work Order/Contract/Invoice</i>
<b>6. Tip i registracija zrakoplova</b> <i>Aircraft type and registration</i>	<b>7. Broj potvrde o plovidbenosti</b> <i>Certificate of Airworthiness no.</i>	<b>8. Ukupno sati naleta</b> <i>Total flight hours</i>
<b>9. Status/radovi</b> <i>Status/Work</i>		
<b>10. Napomene</b> <i>Remarks</i>		
<b>11. Puštanje u uporabu prema:</b> <input type="checkbox"/> <b>Pravilniku o kontinuiranoj plovidbenosti i održavanju vojnih zrakoplova</b> <i>Release to service in accordance with Military Aviation Authority maintenance protocols</i> <input type="checkbox"/> <b>Drugi propisi navedeni u polju 10</b> <i>Other regulation specified in Block 10.</i>	<b>12. Potvrđuje da su, osim ako nije drukčije navedeno u polju 10, radovi navedeni u polju 9. i opisani u polju 10. provedeni u skladu s Pravilnikom o kontinuiranoj plovidbenosti i održavanju vojnih zrakoplova i, što se tiče navedenih radova, zrakoplov se smatra spremnim za puštanje u uporabu.</b> <i>Certifies that unless otherwise specified in Block 10, the work identified in block 9 and described in Block 10, was accomplished in accordance with Military Aviation Authority maintenance protocols and in respect to that work the aircraft is considered ready for release to service.</i>	
<b>13. Datum</b> <b>(dan/mjesec/godina)</b> <i>Date (dd/mmm/yyyy)</i>	<b>14. Broj ovlaštenja</b> <i>Authorisation Number</i>	<b>15. Ime i potpis ovlaštene osobe</b> <i>Authorised name and signature</i>

**Slika6 .** Potvrda o otpustu s radova [6]

#### 4.1. Model održavanja vojnih zrakoplova

Postoje dva modela održavanja vojnih zrakoplova, a to su:

- održavanje prema fiksnim resursima,
- održavanje prema stanju.

Održavanje prema fiksnim resursima je model održavanja vojnih zrakoplova prema unaprijed određenim resursima dijelova do zamjene ili remonta. Provodi ga vojna organizacija

za održavanje ili vanjska ovlaštena organizacija održavanja. Provodi se u u tri stupnja, i to:

- prvi stupanj – provodi se u zrakoplovnim bazama ili na području eksploatacije zrakoplova
- drugi stupanj – provodi se u zrakoplovnim bazama, na području eksploatacije ili u stacionarnim uvjetima,
- treći stupanj – najviša razina održavanja i provodi se u stacionarnim uvjetima.

Održavanje vojnih zrakoplova prema stanju sadrži: [6]:

- linijsko održavanje – obuhvaća opsluživanje, planirane preglede, mjerenja degradacije tehničkih parametara, zamjene sklopova, manje popravke i podešavanje,
- bazno održavanje – obuhvaća najsloženije popravke i preinake koje se provode radi obnove degradiranih tehničkih parametara.

Prvi i drugi stupanj održavanja istovjetan je s linijskom razinom, a treći stupanj s baznom razinom održavanja [6].

#### 4.1.1. Prvi stupanj održavanja

Prvi stupanj održavanja zrakoplova čini specijalizirani tim ovlaštenih zrakoplovnih tehničara koji se sastoji od nadležnog zapovjednika održavanja, kontrolora zrakoplovno – tehničkih radova, zrakoplovnih tehničara za zrakoplov i motor (ZIM), instrumente, radio i elektroopremu (IRE) i zrakoplovno naoružanje (ZN). Tim određuje zapovjednik postrojbe koji je nadležan za prvi stupanj održavanja. Ovim stupnjem održavanja osigurava se najviši stupanj ispravnosti i pouzdanosti vojnih zrakoplova u svrhu pravodobne pripreme i sigurnog izvršenja zadaće, a on obuhvaća [6]:

- prethodnu pripremu i otklanjanje manjih neispravnosti,
- neposrednu pripremu zrakoplova,
- međuletni pregled i opsluživanje tijekom uporabe,
- izvlačenje, uvlačenje i vuču zrakoplova,
- smještaj, čuvanje i održavanje zrakoplova izvan uporabe
- prihvat zrakoplova u prolazu,
- izvanredni pregled.

### 4.1.2. Drugi stupanj održavanja

Kako bi neka organizacija bila sposobna za provođenje drugog stupnja održavanja, mora to dokazati Potvrdom o ovlaštenju za obavljanje redovitog pregleda iz drugog stupnja održavanja, programom održavanja, raspoloživim certificiranim osobljem, alatima i ispitnom opremom, pričuvnim dijelovima te nadzorom i kontrolom održavanja. Drugi stupanj održavanja provodi se radi obnove resursa i osiguranja najviše ispravnosti i pouzdanosti za sigurnu uporabu zrakoplova tijekom odobrenog resursa. Ono uključuje [6] :

- povremene preglede vojnih zrakoplova i zrakoplovne tehnike,
- zamjenu komponenti zrakoplova,
- manji popravak i podešavanje zrakoplova i komponenti,
- pomoć nižim i višim stupnjevima održavanja,
- prihvata zrakoplova u prolazu,
- smještaj, čuvanje i održavanje zrakoplova izvan uporabe,
- izvanredni pregled zrakoplova.

### 4.1.3. Treći stupanj održavanja

Treći stupanj održavanja je najviša razina održavanja te se provodi zbog obnove utvrđenog resursa ili dovođenja u ispravno stanje nakon nesreće, oštećenja ili veće neispravnosti. Provodi ga ovlaštena domaća ili inozemna organizacija za održavanje koja svoju sposobnost za održavanje mora dokazati Potvrdom o ovlaštenju za provođenje trećeg stupnja održavanja, programom održavanja, projektno – konstrukcijskom i remontnom dokumentacijom, certificiranim osobljem, alatima i ispitnom opremom, pričuvnim dijelovima te kontrolom i nadzorom održavanja. Ono obuhvaća [6]:

- remont zrakoplova, sustava i uređaja,
- popravak zrakoplova, sustava i uređaja prije isteka resursa,
- popravak nakon nesreće ili oštećenja zrakoplova,
- modernizaciju zrakoplova,
- najsloženije promjene na zrakoplovu,
- izradu i homologaciju sustava uređaja,
- konstruiranje, izradu i homologaciju specijalne opreme i alata,
- konstruiranje, izradu, remont i homologaciju besposadnih letjelica,
- prenamjenu i homologaciju zrakoplova,

- izradu nastavnih sredstava,
- popravak i umjeravanje opreme, alata i pribora.

Treći stupanj održavanja provode ovlaštene tvrtke za održavanje izvan sustava Ministarstva obrane, ali testne letove i preglede prije povratka u eksploataciju rad zrakoplovni tehničari i testni piloti iz Hrvatskog ratnog zrakoplovstva.

## 4.2. Ustrojstvene jedinice u Oružanim snagama za održavanje zrakoplova

U održavanju vojnih zrakoplova i zrakoplovne tehnike sudjeluju slijedeće ustrojstvene jedinice [7]:

- Samostalna služba za vojni zračni promet (SSVZP),
- Uprava za materijalne resurse,
- Glavni stožer,
- Zapovjedništvo Hrvatskog ratnog zrakoplovstva (HRZ),
- Zapovjedništvo za potporu,
- Zapovjedništvo Zrakoplovnog krila,
- temeljne zrakoplovno – tehničke postrojbe.

Samostalna služba za vojni zračni promet je služba Ministarstva obrane koja provodi potvrđivanje vojnih zrakoplova, procesa održavanja, zrakoplovno - tehničkog osoblja i organizacija održavanja, validacijom potvrda koje je izdala ovlaštena organizacija održavanja i sl. Ova ustrojstvena jedinica kontinuirano nadzire uvjete koje moraju ispunjavati vojna organizacija održavanja i ovlaštena organizacija održavanja za kvalitetno održavanje vojnih zrakoplova. Također, sudjeluje u postupku ugovaranja održavanja vojnih zrakoplova u vanjskim ovlaštenim organizacijama za održavanje te donosi zrakoplovno – tehničke upute za potrebe održavanja vojnih zrakoplova [6].

Glavni stožer se u smislu održavanja vojnih zrakoplova bavi planiranjem financijskih sredstava, materijalnim i ljudskim resursima potrebnima za provedbu istog, te uvjetima za sigurnu provedbu u nižim ustrojstvenim jedinicama. Donosi plan održavanja i plan preventivnog održavanja te sudjeluje u postupku ugovaranja održavanja vojnih zrakoplova izvan OSRH [6].

Zapovjedništvo HRZ planira, nadzire održavanje i uvjete za sigurnu uporabu vojnih zrakoplova i tehnike u ustrojstvenim jedinicama u kojima se koriste. U HRZ – u za održavanje je odgovoran Glavni inženjer održavanja i strukovni inženjeri za kvalitetu i resurse [6].

Zapovjedništvo za potporu osigurava i skladišti sve vrste zrakoplovne tehnike, nadzire

provedbu vanjskih usluga te provodi obuku pomoćnog zrakoplovno – tehničkog osoblja. Sudjeluje u izradi i provedbi Plana preventivnog održavanja [6].

Zapovjedništvo Zrakoplovnog krila planira, provodi i nadzire održavanje i uvjete za sigurnu upotrebu vojnih zrakoplova i tehnike te skladišti iste. Za održavanje u Zapovjedništvu zrakoplovnog krila odgovoran je Glavni inženjer održavanja zrakoplovnog krila i strukovni inženjer za kvalitetu i resurse [6].

Održavanje zrakoplova se provodi u temeljnim ustrojstvenim jedinicama koje čine zrakoplovno – tehničke bojne, satnije, vodovi i desetine [6].

## 5. PRIJEDLOG PROGRAMA PRAĆENJA POUZDANOSTI

U ovom poglavlju provedena je analiza i obrada prikupljenih podataka iz eksploatacije flote lakih školskih helikoptera kao što je to potrebno pri izradi programa praćenja pouzdanosti.

U prvom podpoglavljju provedeno je ispitivanje pogodnosti za primjenu programa praćenja pouzdanosti u smislu posjeduje ih navedena organizacija u kojoj se nalazi flota lakih školskih helikoptera na temelju podataka iz eksploatacija za mjesec svibanj 2021. godine. Stoga su navedeni podaci sortirani po stavkama koje bi se trebale prezentirati u mjesečnom izvješću na mjesečnim sastancima odbora za praćenje pouzdanosti.

U drugom podpoglavljju prezentiran je primjer implementacije programa praćenja pouzdanosti na temelju podataka o raspoloživosti flote i pouzdanosti otpreme zrakoplova za 2021. godinu.

Podaci su prikupljeni iz knjižica zrakoplova, tehničkih knjižica zrakoplova i ostale dostupne zrakoplovne dokumentacije helikoptera koje posjeduje organizacija u kojoj se nalazi flota lakih školskih helikoptera. Obzirom da su helikopteri u vojnoj organizaciji dijelovi izvješća su prilagođeni specifičnostima u eksploataciji flote.

### 5.1. Ispitivanje pogodnosti primjene programa pouzdanosti na temelju analize podataka za mjesec svibanj 2021.

Izvješća o pouzdanosti trebaju se iznositi za svaki mjesec na sastancima odbora koji bi se trebao formirati u tu svrhu. U ovom podpoglavljju prikazan je primjer kako bi se trebali obrađivati podaci na mjesečnoj razini po stavkama koje izvještaj treba sadržavati. Neke od stavaka su prilagođene operacijama flote i načinu funkcioniranja sustava održavanja flote lakih školskih helikoptera.

#### 5.1.1. Operativna statistika flote

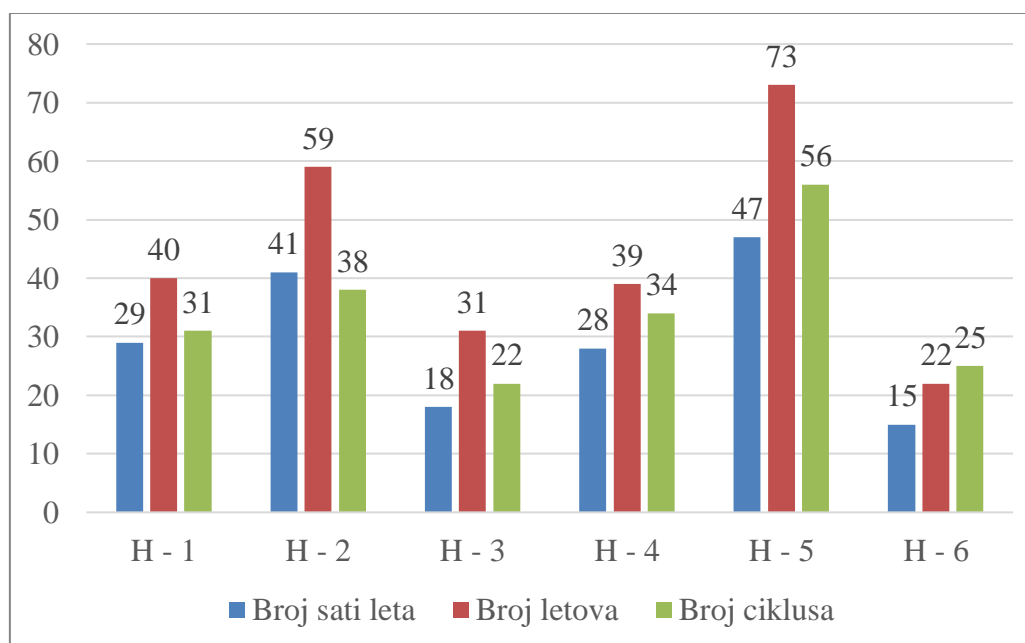
Operativna statistika flote nam pokazuje odnos broja sati leta, broja letova i broja ciklusa pokretanja motora u tom mjesecu za svaki od helikoptera koji su označeni oznakama od H - 1 do H - 6. Za ovaj mjesec prema podacima navedenim u tablici 2. vidljivo je da je bilo 178 sati leta od čega je 264 leta pri 206 ciklusa motora. Na dijagramu 1. grafički je prikazan odnos navedenih parametara prema kojima je vidljivo da je veći broj ciklusa motora od broja sati leta dok je za isti taj fond sati napravljeno znatno više letova. Razlog ovakvim podacima je što se flota lakih školskih helikoptera



upotrebljava isključivo namjenski u svrhu školovanja polaznika obuke za pilote helikoptera, obučavanje novih instruktora letenja, provođenje metodičkih letova instruktora letenja prije započinjanja novog razdjela obuke s polaznicima obuke i provođenje tehničkih letova nakon održavanja. Prema tome, neke od misija koje se provode na helikopterima imaju kraće trajanje od 1 sata leta. Manji broj ciklusa od broja letova jer je na helikopterima moguća izmjena posada dok helikopter radi, uvjetno rečeno može reći da se može uštedjeti na broju ciklusa motora i smanjenju totalnog vremena rada motora koje bi se potrošilo na pokretanje i zaustavljanje motora.

	Broj sati leta	Broj letova	Broj ciklusa
<b>H - 1</b>	29	40	31
<b>H - 2</b>	41	59	38
<b>H - 3</b>	18	31	22
<b>H - 4</b>	28	39	34
<b>H - 5</b>	47	73	56
<b>H - 6</b>	15	22	25
<b>Ukupno</b>	<b>178</b>	<b>264</b>	<b>206</b>

**Tablica 2.** Operativna statistika flote lakih školskih helikoptera za mjesec svibanj 2021. godine



**Dijagram 2.** Grafički prikaz operativne statistike flote lakih školskih helikoptera mjesec svibanj 2021.

### 5.1.2. Broj otkazanih letova

Broj otkazanih letova je jedan od podataka koji se bilježi svaki puta kada do leta nije došlo zbog neispravnosti koja je otkrivena u sklopu nekih od prijeletnih pregleda pilota ili tehničara. Uvjet da bi taj podatak bio zabilježen je da je helikopter bio planiran za letenje taj dan. Iz ovog podataka se računa pouzdanost otpreme zrakoplova. Kada se prati ovaj podatak u njega se ubrajaju svi letovi koji su otkazani i sva kašnjenja koja su veća od 15 minuta, a da su se dogodila zbog neispravnosti sredstva, na 100 letova. Podatak o broju letova koji su imali kašnjenje veće od 15 minuta zbog tehničke neispravnosti ovdje se neće pratiti iz razloga što je politika organizacije u kojoj se nalazi flota lakih školskih helikoptera da ako se otkrije neispravnost prije nego što je helikopter poletio, neovisno u kojoj fazi je otkriven, taj helikopter neće ići na let. Pri tome se otkazom smatra apsolutno svaka neispravnost koja i nebi imala utjecaj na sigurnost letenja pa čak i ako se ne nalazi na listi minimalne opreme. U tom slučaju helikopter se zamjenjuje helikopterom koji je u pričuvi i let se obavlja sa tim helikopterom. Iz navedenih razloga se ovaj podatak ne govori o letovima koji nisu izvršeni zbog tehničkih neispravnosti nego o letovima tih helikoptera za taj dan pri čemu je zadaća na kraju obavljena. U tablici 3. navedeno je koliko je bilo otkazanih letova po svakom od šest helikoptera za promatrani mjesec. Vidimo da je helikopter H – 3 imao 4 otkazana leta, ujedno i najviše, dok helikopter H – 5 nije imao ni jedan otkazani let.

Helikopter	Broj otkazanih letova
H – 1	1
H – 2	2
H – 3	4
H – 4	1
H – 5	0
H – 6	2
<b>Ukupno</b>	<b>10</b>

**Tablica 3.** Prikaz broja otkazanih letova po helikopterima

### 5.1.3. Broj primjedbi pilota

Ovaj podatak može sugerirati početak neispravnosti nekog sustava ili komponente helikoptera jer su to zapisi koje piloti pišu u knjižicu zrakoplova prije leta ili u većini slučajeva nakon leta. U tablici 4. vidimo broj primjedbi po helikopteru za promatrani mjesec.

Primjedbe na helikopteru H – 1:

- Desni HSI pokazuje odstupanje 15 stupnjeva u odnosu na lijevi cijelo vrijeme leta
- Transponder nije radio prvih 10 minuta leta iako ništa nije dalo naslutiti neispravnost zbog vizualno ispravnog rada

Primjedbe na helikopteru H – 2:

- Pojava neočekivano velikih vibracija u letu malim brzinama
- Različito pokazivanje pilotskog i koplilotskog brzinomjera 7 – 10 čvorova
- Ne radi desni „*foot switch*“
- Pojava indikacije „ENG CHIP“

Primjedbe na helikopteru H – 3:

- Otkaz NAV-COMM stanice 1

Primjedbe na helikopteru H –5:

- Neispravnost rada HSI. Nakon nekoliko oštih zaokreta pokazuje potpuno pogrešan smjer bez ikakve pravilnosti u pokazivanju.

Na helikopterima H – 4 i H – 6 nije bilo primjedbi u promatranom mjesecu.

Helikopter	Primjedbi pilota
H – 1	2
H – 2	4
H – 3	1
H – 4	0
H – 5	2
H - 6	0
<b>Ukupno</b>	<b>9</b>

**Tablica 4.** Kvantitativni prikaz primjedbi pilota po helikopterima

#### 5.1.4. Ponavljajuće primjedbe pilota

U ovaj dio izvješća se unose podaci o ponavljajućim primjedbama pilota koje su se dogodile u prošlom i u ovom mjesecu ili u cijelom promatranom periodu. Važno je voditi evidenciju ovakvih podataka kako bi se ukazalo na problem s neispravnosti i pristupilo se njenom istraživanju te otklonu te neispravnosti u budućnosti. Evidenciju je potrebno voditi za svaki helikopter posebno, ali i

usporedno za cijelu flotu kako bi se otkrile greške koje mogu biti u rukovanju sredstvom, nepravilnim održavanjem, korištenjem sredstva u nepropisane svrhe i slično.

U ovom mjesecu nije bilo ponavljajućih primjedbi

### 5.1.5. Broj zamjenjenih komponenti

Pod ovom stavkom izvješća navodi se broj, naziv komponenti i njihova podijela po sustavima. Ovdje se navode samo one komponente koje su bile planirane za zamjenu i koje su zamjenjene na redovnim pregledima nakon isteklog resursa te se ovaj podatak ne smatra mjerom pouzdanosti već pokazateljem pogodnosti helikopter za održavanje i raspoloživosti. Bitno je podijeliti zamijenjene dijelove po sustavima kako bi se imala statistika zamijenjenih dijelova po sustavima . U civilnom zrakoplovstvu se u tu svrhu komponente dijelo po ATA specifikacijama, a preporuka bi bila da se ista praksa primjeni i na flotu lakih školskih helikoptera.

Za helikopter H – 2 vidimo da su na njemu zamjenjene 4 komponente ukupno u promatranom mjesecu u sklopu redovnog planiranog održavanja. Zamijenjeni su jarbol, opruge graničnika mahanja i Thomason spojka koji su dijelovi glavnog rotora i transmisije.

Naziv komponente	Količina	Naziv sustava
Jarbol	1	Glavni rotor
Opruga graničnika mahanja	2	Glavni rotor
Thomason spojka	1	Transmisija

**Tablica 5.** Zamjenjene komponente na helikopteru H - 2

Na helikopteru H – 3 zamijenjene su 4 komponente u sklopu redovnog planiranog održavanja. Zamijenjeni su repni reduktor kao dio sustava transmisije, zatim lopatice repnog rotora i gorivna pumpa koja je dio gorivnog sustava helikoptera.

Naziv komponente	Količina	Naziv sustava
Repni reduktor	1	Transmisija
Lopatica repnog rotora	2	Repni rotor
Gorivna pumpa	1	Gorivni sustav

**Tablica 6.** Zamjenjene komponente na helikopteru H – 3

Na helikopteru H – 5 zamijenjene su 4 komponente. Zamijenjena je svijećica i upravljačka jedinica goriva koji su dijelovi motora, stražnje desno sjedalo koje je dio kabine i tlačni prekidač booster pumpe koja je dio gorivnog sustava motora.

Naziv komponente	Količina	Naziv sustava
Svijećica	1	Motor
Upravljačka jedinica goriva	1	Motor
Stražnje desno sjedalo	1	Kabina
Tlačni prekidač buster pumpe	1	Gorivni sustav

**Tablica 7.** Zamjenjene komponente na helikopteru H - 5

Na helikopterima H – 1, H -4 i H – 6 nije bilo planirano zamijenjenih komponenti u ovom mjesecu.

### 5.1.6. Broj neplaniranih zamijenjenih komponenti

U ovom dijelu izvješća iznosi se broj zamijenjenih komponenti koje su zamjenjene neplanirano odnosno zbog neispravnosti. Pod ovom stavkom navodi se broj, naziv komponenti i njihova podjela po sustavima. Isto kao i planirano zamijenjene komponente preporuča se da se komponente podijeli po sustavima po ATA specifikaciji.

Na helikopteru H – 1 bila jedna neplanirana zamjena komponente u promatranom mjesecu. Zamijenjen je transponder nakon primjedbe pilota poslije leta koji je dio sustava avionike.

Naziv komponente	količina	Naziv sustava
Transponder	1	Avionika

**Tablica 8.** Neplanirano zamijenjene komponente na helikopteru H -1

Na helikopteru H – 2 bila je jedna neplanirana zamjena nakon primjedbe pilota o neispravnosti. Zamijenjen je nožni prekidač za emitiranje kao dio sustava komunikacija.

Naziv komponente	količina	Naziv Sustava
Nožni prekidač za emitiranje	1	Komunikacije

**Tablica 9.** Neplanirano zamijenjene komponente na helikopteru H – 2

Na helikopteru H – 3 zamijenjena je jedna komponenta neplanirano. Zamijenjena je NAV – COMM stanica također nakon prijave neispravnosti od strane pilota nakon leta. Ta komponenta je dio sustava komunikacija.

Naziv komponente	Količina	Naziv sustava
NAV – COMM stanica	1	Komunikacije

**Tablica 10.** Neplanirano zamijenjene komponente na helikopteru H – 3

Na Helikopterima H – 4, H – 5 i H – 6 nije bilo neplaniranih zamjena u promatranom mjesecu.

#### 5.1.7. Broj gašenja motora u letu

Broj gašenja motora u letu je podatak koji se evidentira ukoliko je došlo do prestanka rada motora u letu tijekom obavljanja zadaće. Ovaj podatak gotovo nikad nije zabilježen od kad su laki školski helikopteri u upotrebi, ali je ovdje naveden kao jedan od podataka koji je potrebno pratiti. Također, u ovom mjesecu nije bilo gašenja motora u letu.

#### 5.1.8. Broj neplaniranih zamjena motora

Broj neplaniranih zamjena motora je podatak koji govori o tome je li bilo neplaniranih zamjena motora uslijed nekakve nepredviđene neispravnosti. U ovom mjesecu ovaj podatak nije evidentiran iako se dogodila situacija koja je mogla uzrokovati neplaniranu zamjenu motora. Pojavom indikacije „ENG CHIP“ koja indicira pojavu metalnih opiljaka u ulju reduktora motora na helikopteru H – 2. Motor helikoptera je pregledan te je utvrđeno da su opiljci zbog kojih je došlo do pojave indikacije nastali trošenjem koje je normalno u ovoj fazi eksploatacije te su svi dijelovi pregledani i motor je pušten dalje u funkciju.

#### 5.1.9. Dugotrajni problemi s neispravnostima

Ukoliko su primjećene neke pravilnosti u smislu pojave nepravilnosti u ovom dijelu izvješća se takve stvari bilježe i na temelju toga razmatraju kako bi se mogle poduzeti odgovarajuće korektivne mjere. U ovom mjesecu nisu zabilježeni nikakvi dugotrajni problemi s neispravnostima.

#### 5.1.10. Značajni nalazi tijekom radova redovnog održavanja

Ako se prilikom redovnog održavanja primjeti nešto što je važno napomenuti onda se to napiše u ovom dijelu izvješća. Primjer toga može biti da je otkriven neki veći otkaz tijekom redovitog održavanja koji nije davao nikakve znakove neispravnosti, a zapravo nije niti bila planirana zamjena otkazalih komponenti.

#### 5.1.11. Korektivne mjere

U ovom dijelu izvješća donose se korektivne mjere kako bi se spriječio nastavak pojavljivanja neispravnosti. Korektivne mjere donose članovi odbora za praćenje pouzdanosti nakon provedene analize. Primjer takve korektivne mjere bio bi da se tijekom simulacije otkazivanja instrumenata tijekom uvježbavanja instrumentalnog letenja s parcijalnom instrumentalnom pločom ne izvlače osigurači kako bi se instrument isključio u letu nego da se instrument prekrije

naljepnicom. Poznato je da su se problemi s instrumentom HSI počeli pojavljivati na razdjelu intrumentalnog letenja na različitim helikopterima i ova korektivna mjera zahtjeva promjenu načina upotrebe helikoptera i postupaka u letu.

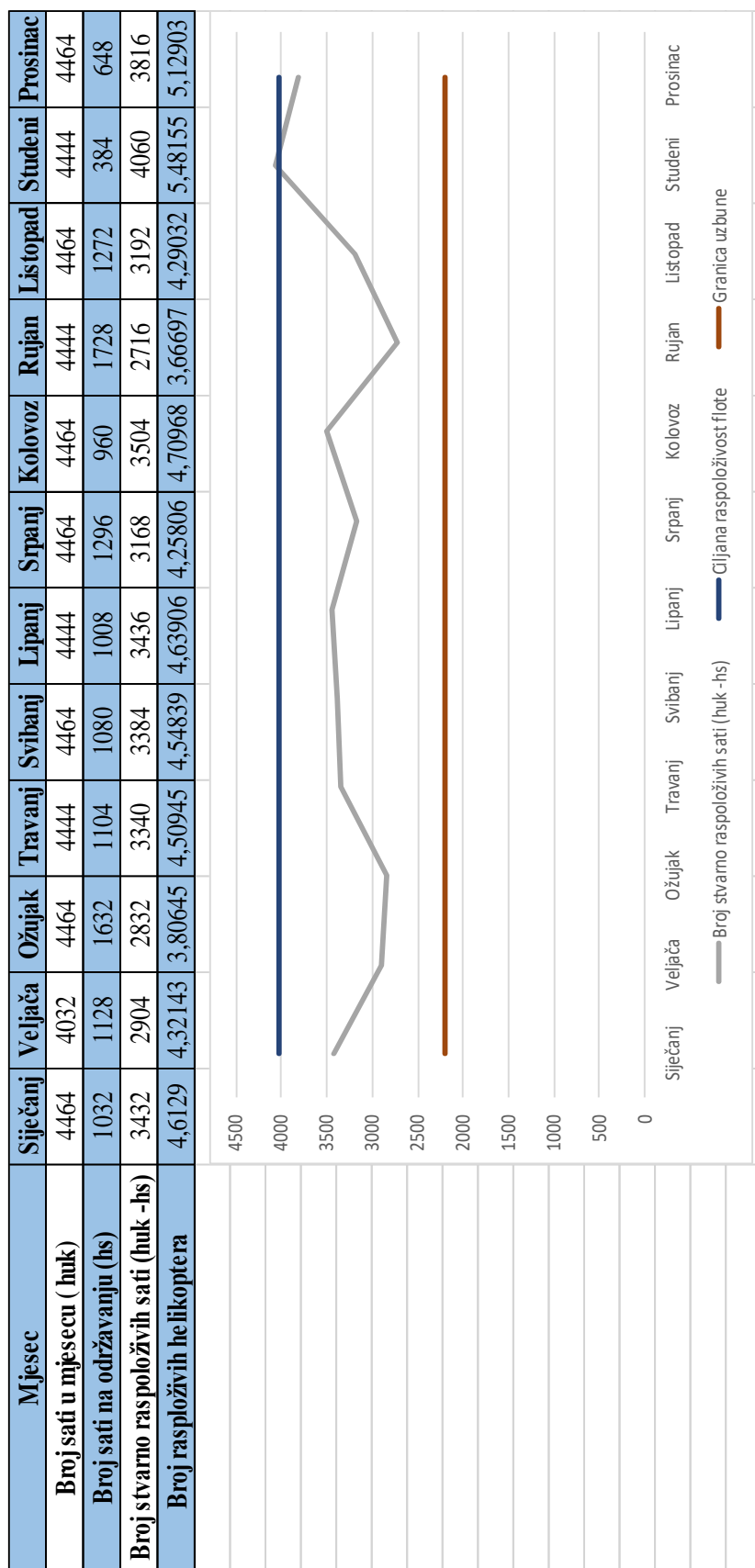
## 5.2. Prijedlog programa praćenja pouzdanosti na temelju godišnjih izvještaja za pojedine podatke

Program praćenja pouzdanosti predviđa obradu podataka na mjesečnoj razini i zbirni prikaz parametara pouzdanosti za čitavu godinu. U ovom potpoglavlju se prikazuju godišnja obrada podataka na primjeru raspoloživosti flote i pouzdanosti otpreme. Obradeni podaci su prikazani za 2021. i to na način da se vidi kako bi izgledali izvještaji kad bi se uveo program pouzdanosti u razmatranu vojnu organizaciju.

Raspoloživost flote lakih školskih helikoptera jedan je od podataka koji bi se trebao računati na mjesečnoj bazi i prilagati u mjesečnom izvješću o pouzdanosti na sastancima odbora za praćenje pouzdanosti. Najprije je izračunat kapacitet flote prema izrazu (2.20.) gdje je pomnožen broj sati u mjesec dana za koliko su ukupno mogli biti helikopteri raspoloživi za letenje i broj raspoloživih helikoptera za taj mjesec. Zatim se prema izrazu (2.21.) izračuna broj sati koliko su helikopteri stvarno bili raspoloživi za letenje taj mjesec tako da se oduzelo ukupno vrijeme koje je bilo moguće da budu raspoloživi i vrijeme koje nisu bili raspoloživi za letenje zbog planiranog ili neplaniranog održavanja. Nakon što su dobiveni svi navedeni podaci izračunata je raspoloživost flote prema izrazu (2.22.) tako što je razlika ukupnog mogućeg raspoloživog vremena i vremena pri kojem helikopteri nisu bili raspoloživi za letenje podijeli s ukupnim mogućim raspoloživim vremenom i pomnoži s brojem dostupnih zrakoplova za taj mjesec.

Izračuni su napravljeni prema stvarnim podacima iz eksploatacije flote za cijelu 2021. za svaki mjesec posebno što je vidljivo na slici 6.

Prema navedenim izračunima i podacima izračunata je i standardna devijacija preko izraza (2.31.) preko koje se izračunava donja granična vrijednost izrazom (2.33.) koja ujedno predstavlja i granicu uzbune. Usvojena je i vrijednost parametra  $k$  koji iznosi 2,85 u navedenom izračunu. Standardna devijacija iznosi  $\sigma = 390,013$ , a donja granica  $LCL = 2203,797$  sati. Ciljana vrijednost raspoloživosti flote je 4020 sati koja je otprilike 90% godišnjeg mogućeg prosjeka raspoloživosti flote. Prema dijagramu na slici vidimo da granica uzbune nije dostignuta ni u jednom mjesecu u 2021 godini dok je ciljana vrijednost raspoloživosti dostignuta samo u studenom.



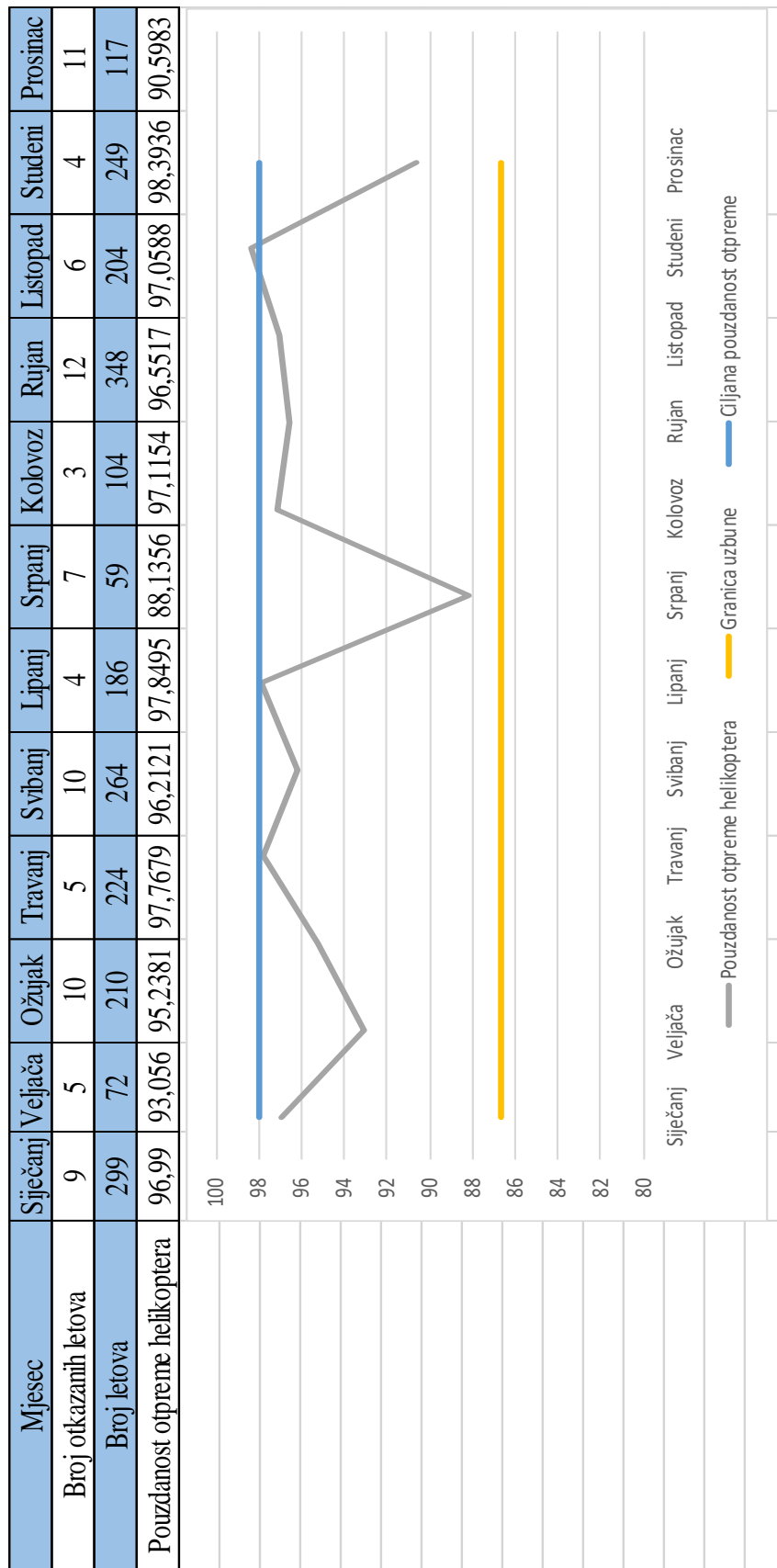
Slika 7. Prikaz raspoloživosti flote za 2021. godinu



Pouzdanost otpreme flote lakih školskih helikoptera izračunata je prema izrazu (2.23.), s tim da je rezultat pomnožen sa brojem 100 jer se računa pouzdanost otpreme helikoptera na 100 letova. Prema izračunatim podacima na slici 8 vidljivo je da je pouzdanost otpreme helikoptera u studenom, iznosila 98,39%. Također je vidljivo da je u mjesecu srpnju pouzdanost otpreme zrakplova bila najmanja u 2021. godini i da je iznosila 88,1356 %.

Kao i za rapoloživost flote najprije je izračunata standardna devijacija koja iznosi  $\sigma = 3,0567$ , i donja granična vrijednost koja je ujedno i granica uzbune, a iznosi  $LCL = 86,70213$  % . Usvojena je ciljana vrijednost pouzdanosti otpreme helikoptera od 98% i dostignuta je jedino u studenom, dok granica uzbune nije prijeđena ni u jednom mjesecu tako da je status uzbune za ovaj podatak CLEAR za cijelu godinu.

Oba ova parametra trebala bi se uspoređivati sa podacima o svjetskoj floti istog tipa helikoptera koja se može dobiti od proizvođača. Najbolje bi bilo da se navedeni podaci razmjenjuju sa drugim savezničkim vojskama u okviru NATO saveza koje u upotrebi imaju isti helikopter jer im je i način eksploatacije najbliži promatranoj floti lakih školskih helikoptera.



**Slika 8.** Pouzdanost otpreme flote za 2021. Godinu

## 6. ZAKLJUČAK

Visoka pouzdanost sustava, komponenti i zrakoplovnog sredstva kao cijeline posebno je važna u eksploataciji zrakoplova za bilo koje svrhe. Praćenjem pouzdanosti sa što više parametara dobivamo jasniju sliku onoga što se događa sa zrakoplovnim sredstvom u eksploataciji i što potencijalno može uzrokovati ili uzrokuje pojedine otkaze. Na temelju toga lakše je donijeti korektivne akcije kojima će se prekinuti ili prevenirati nastanak otkaza pojedine komponente ili sustava.

U organizaciji u kojoj se nalazi flota lakih školskih helikoptera do sada nije proveden program praćenja pouzdanosti i navedeni podaci koji su dobiveni služe samo kao primjer kako bi se program praćenja pouzdanosti trebao provoditi i praćenje kojih podataka bi trebalo uzeti u obzir. Što će se duže provoditi program praćenja pouzdanosti to će podaci biti relevantniji. Obzirom da se flota lakih školskih helikoptera nalazi u vojnoj organizaciji koja sama po sebi ima samo jedno zrakoplovno zakonodavno tijelo i nekoliko pravilnika koji propisuju rad i organizaciju sustava održavanja, bilo bi dobro da se kompletan rad, certificiranje i provođenje različitih programa poput praćenja pouzdanosti, uskladi po civilnim zakonima i propisima unutar kojih je već sve to puno detaljnije razrađeno. Primjerice, „Pravilnik o kontinuiranoj plovidbenosti i održavanju vojnih zrakoplova“ iz 2022. godine uopće ne propisuje primjenu programa praćenja pouzdanosti.

Za provođenje programa praćenja pouzdanosti potrebno je sastaviti odbor za nadzor provođenja programa pouzdanosti koji će se sastajati jednom mjesečno i podnijeti mjesečno izvješće. Za praćenje pouzdanosti radi lakše kontrole podataka potrebno je razviti računalne sustave sa popisom dijelova i sustava unutar kojih će se bilježiti podaci iz eksploatacije. Također, potrebno je zatražiti od proizvođača helikoptera podatke o floti istih modela helikoptera u svijetu te usporediti vlastite podatke iz eksploatacije sa dobivenim podacima.

Program praćenja pouzdanosti je definitivno dio održavanja koja se treba uvesti u organizaciju u kojoj se nalazi flota lakih školskih helikoptera jer postoje svi potrebni preduvjeti za njegovo provođenje što je dokazano provedenim ispitivanjima u 5. Poglavlju. Izrada projekta programa praćenja pouzdanosti znatno bi unaprijedila način poslovanja organizacije za održavanje u smislu veće kontrole, što može utjecati na smanjenje troškova održavanja kao i održavanje zrakoplovnih sredstava kojima bi se poboljšanim načinom održavanja, ukoliko je moguće, olakšalo ostvarivanje predviđenog životnog vijeka i efikasnija eksploatacija dodijeljenih resursa.

## POPIS LITERATURE

- [1] Bazijanac, E : Tehnička eksploatacija i održavanje zrakoplova, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2007
- [2] Marušić, Ž, Alfirević, I., Pita, O.: Maintenance Reliability Program as Essential Prerequisite of Flight Safety, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2009.
- [3] Bazijanac, E : Održavanje zrakoplova, Autorizirana predavanja; Fakultet prometnih znanosti, 2022.
- [4] Marušić, Ž., Galović, B., Pita, O.: Optimizing maintenance reliability program for small fleets, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2007.
- [5] Ribeiro de Olivera, J. L. : Developing a reliability program for maintenance and operation, Instituto Superior Tecnico – Departamento de Engenharia Aeroespacial, Lisboa
- [6] Pravilnik o kontinuiranoj plovidbenosti i održavanju vojnih zrakoplova, NN 50/2022-634, Ministarstvo obrane, Zagreb, 2022.
- [7] Domitrović, A: Održavanje zrakoplova, Autorizirana predavanja; Fakultet prometnih znanosti, 2022.

## POPIS SLIKA

<b>Slika 1.</b> Odnos pouzdanosti i nepouzdanosti	3
<b>Slika 2.</b> Statističko određivanje funkcije gustoće otkaza	4
<b>Slika 3.</b> Osnovni pokazatelji pouzdanosti za konstantan intenzitet otkaza	5
<b>Slika 4.</b> Pokazatelji pouzdanosti Weibullovom raspodjelom	6
<b>Slika 5.</b> Krivulja kade	8
<b>Slika6.</b> Potvrda o otpustu s radova	20
<b>Slika 7.</b> Prikaz raspoloživosti flote kroz 12 mjeseci 2021	33
<b>Slika 8.</b> Pouzdanost otpreme flote za 2021. Godinu	35

## POPIS TABLICA

<b>Tablica 1.</b> Primjeri ATA specifikacija	14
<b>Tablica 2.</b> Operativna statistika flote lakih školskih helikoptera za 5. mjesec 2021. Godine	26
<b>Tablica 3.</b> Prikaz broja otkazanih letova po helikopterima	27
<b>Tablica 4.</b> Kvantitativni prikaz primjedbi pilota po helikopterima	28
<b>Tablica 5.</b> Zamjenjene komponente na helikopteru H – 2	29
<b>Tablica 6.</b> Zamjenjene komponente na helikopteru H – 3	29
<b>Tablica 7.</b> Zamjenjene komponente na helikopteru H – 5	30
<b>Tablica 8.</b> Neplanirano zamijenjene komponente na helikopteru H -1	30
<b>Tablica 9.</b> Neplanirano zamijenjene komponente na helikopteru H – 2	30
<b>Tablica 10.</b> Neplanirano zamijenjene komponente na helikopteru H – 3	30

## POPIS DIJAGRAMA

<b>Dijagram 1.</b> Prikaz tijeka prikupljanja podataka za program praćenja pouzdanosti	12
<b>Dijagram 2.</b> Grafički prikaz operativne statistike flote lakih školskih helikoptera za mjesec svibanj 2021.	26

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb


## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad<sup>(vrsta rada)</sup> isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom Program praćenja pouzdanosti za flotu lakih školskih helikoptera, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 26.4.2023

  
Ronald Matej Zlabravec  
(ime i prezime, *potpis*)