

Modeli planiranja zaliha rezervnih dijelova za potrebe održavanja klipnih zrakoplova

Pavić, Matea

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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:119:766211>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-23**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Matea Pavić

MODELI PLANIRANJA ZALIHA REZERVNIH
DIJELOVA ZA POTREBE ODRŽAVANJA KLIPNIH
ZRAKOPLOVA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2017.

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

Zagreb, 15. ožujka 2017.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**
Predmet: **Eksploatacija i održavanje zrakoplova**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 3858

Pristupnik: **Matea Pavić (0135221459)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Zračni promet**

Zadatak: **Modeli planiranja zaliha rezervnih dijelova za potrebe održavanja klipnih zrakoplova**

Opis zadatka:

U radu je potrebno dati pregled modela za upravljanje zalihama. Nadalje, potrebno je opisati sustav održavanja zrakoplova s klipnim motorom te definirati zahtjeve za potrebnim količinama rezervnih dijelova obzirom na eksploataciju zrakoplova. U nastavku rada potrebno je izabrati pogodan model za izračun zaliha u održavanju klipnih zrakoplova. Na kraju je potrebno izračunati potrebnu količinu rezervnih dijelova u određenom vremenskom periodu na temelju podataka iz eksploatacije školske flote zrakoplova.

Zadatak uručen pristupniku: 28. travnja 2017.

Mentor:



doc. dr. sc. Anita Domitrović

**Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:**

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet Prometnih Znanosti

DIPLOMSKI RAD

MODELI PLANIRANJA ZALIHA REZERVNIH
DIJELOVA ZA POTREBE ODRŽAVANJA KLIPNIH
ZRAKOPLOVA

MODELS OF PLANNING STOCK OF SPARE
PARTS FOR PISTON ENGINE
AIRCRAFT MAINTENANCE

Mentor: doc.dr.sc. Anita Domitrović

Student: Matea Pavić

JMBAG:0135221459

Zagreb, rujan 2017.

Zahvala

Zahvaljujem se svojoj mentorici doc.dr.sc. Aniti Domitrović, na strpljenju, vodstvu, stručnoj pomoći i savjetima u cilju izrade ovog diplomskog rada.

Također, zahvaljujem se Hrvatskom nastavnom središtu, a osobito univ. bacc. ing. traff. Luki Kezele, na posvećenom vremenu, stručnim savjetima i ustupljenim podacima koji su mi bili potrebni prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem se doc.dr.sc. Diani Božić na pomoći oko logističkih elemenata unutar ovog rada, kao i svim profesorima, asistentima i izvanrednim predavačima na Fakultetu prometnih znanosti koji su mi prenosili svoja iskustva i znanje.

Na kraju, najljepše i najveće hvala mojim roditeljima i bratu na ukazanoj potpori i povjerenju tijekom studiranja.

Sažetak

Modeli planiranja zaliha rezervnih dijelova se koriste kako bi se optimizirali troškovi nabave i skladištenja. Modeli su važni zbog praćenja količine rezervnih dijelova koji su potrebni za održavanje zrakoplova. Održavanje zrakoplova je usko povezano s eksploatacijom i pouzdanosti zrakoplova, a Part M i Part 145 su temeljni propisi EASA-e koji određuju uvjete održavanja. Također, uz održavanje zrakoplova, kao i modele planiranja zaliha rezervnih dijelova veže se i logistika koja je uključena u proces da se zrakoplov popravi što prije usklađujući održavanje s količinom rezervnih dijelova koji se drže u skladištima operatera zrakoplova. Za izračun potrebne količine rezervnih dijelova neophodni su podaci o potražnji u određenom vremenskom periodu (mjesec, godina), trošku po nabavi, trošku držanja zaliha i godišnja stopa troška držanja zaliha. U diplomskom radu analizirani su modeli planiranja zaliha rezervnih dijelova za potrebe održavanja klipnih zrakoplova. Na temelju analize izabran je EOQ model i primijenjen na konkretnom primjeru planiranja zaliha rezervnih dijelova za zrakoplove u sastavu školske flote.

Ključne riječi: Modeli planiranja zaliha; rezervni dijelovi; održavanje zrakoplova

Summary

Models of stock planning of spare parts for piston engine aircraft maintenance are used for optimization of procurement and storage costs. Models are important for keeping track of spare parts needed for aircraft maintenance. Aircraft maintenance is closely related to aircraft exploitation and reliability, whereas Part M and Part 145 are the basic EASA regulations which determine maintenance conditions. Likewise, with aircraft maintenance, as well as models of stock planning of spare parts, there is also logistics involved in the process of aircraft repairment to ensure short-term repairment by coordinating the maintenance with available spare parts amount stored in aircraft operator's warehouses. In order to calculate the necessary spare parts amount, demand data in a given period of time (month, year) are required as well as data related to cost per acquisition, stock cost and annual rate of stock cost. This thesis analyzes models of planning stock of spare parts for piston engine aircraft maintenance. Detailed analysis proved EOQ model as the most acceptable for the spare parts stock planning for the aircrafts of the school fleet.

Key words: Models of planning supplies; spare parts; aircraft maintenance

Sadržaj:

1.	Uvod	1
1.1.	Cilj i svrha rada	1
1.2.	Dosadašnja istraživanja	2
1.3.	Očekivani rezultati istraživanja	2
1.4.	Struktura rada	3
2.	Logističko inženjerstvo	4
3.	Sustav održavanja zrakoplova s klipnim motorom	8
3.1.	Održavanje	8
3.2.	Pouzdanost i eksploatacija	11
3.3.	Radionica	14
3.4.	Hangari	14
3.5.	Skladišta	15
3.6.	Rezervni dijelovi	15
4.	Upravljanje zalihama	18
4.1.	Uvjeti planiranja zaliha	18
4.2.	Klasifikacija zaliha	20
5.	Modeli upravljanja zalihama	24
5.1.	Model upravljanja zalihama i trenutnim vremenom nabave ($s, S, \lambda=0$)	26
5.2.	Model upravljanja zalihama i nabavom u realnom vremenu ($s, S, \lambda>0$)	27
5.3.	Model upravljanja zalihama s naručivanjem pri svakom periodičnom nadzoru ($S, S, \lambda>0$)	28
5.4.	Model upravljanja zalihama s tekućim odlukama o naručivanju ($s, Q, \lambda>0$)	29
5.5.	Stohastički model	30
5.6.	Deterministički modeli	32
5.6.1.	Model ekonomske količine nabave	32
5.6.2.	Model upravljanja zalihama ukoliko postoji količinski popust	33
5.6.3.	Dinamički modeli upravljanja zalihama	34
6.	Primjena EOQ modela na upravljanje zalihama rezervnih dijelova klipnih zrakoplova	36
6.1.	Interpretacija EOQ-a	36
6.2.	ABC analiza	40
6.3.	Izračun EOQ modela zaliha rezervnih dijelova	41

7. Zaključak	43
Literatura	44
Popis knjiga	44
Ostali izvori	44
Internet izvori	44
Popis slika	46
Popis tablica	46

1. Uvod

Pod zalihama rezervnih dijelova podrazumijevaju se dijelovi koji su uskladišteni radi kontinuiranog opskrbljivanja vremenski i prostorno bliže ili daljnje potrošnje. Glavni cilj je da zaliha bude što manje, ali i dovoljno za potrošnju ili održavanje. Prevelika količina zaliha uvjetuje nepotrebne troškove držanja zaliha pa razvoj modela planiranja i kontrole zaliha donosi značajan napredak u procesu upravljanja zalihami.

Održavanje zrakoplova nedjeljivo je povezano s eksploatacijom zrakoplova. Predviđanje otkaza pojedinog dijela zrakoplova je jedan od uvjeta uspješnosti održavanja i eksploatacije. Predviđanja se provode statističkim praćenjem događaja koji su povezani s tehničkom ispravnosti zrakoplova. Nabavka i planiranje zaliha rezervnih dijelova i održavanje zrakoplova su logističke djelatnosti koje su ovisne jedna o drugoj, a zajedno ovise o tempu eksploatacije zrakoplova.

Logistika rezervnih dijelova osigurava da se zrakoplov popravi što prije usklađujući održavanje s količinom rezervnih dijelova koji se drže u skladištima operatera zrakoplova. Za potrebnu količinu rezervnih dijelova utvrđuju se određeni parametri kao što su tehnički podaci prilikom eksploatacije, redoviti i izvanredni pregledi zrakoplova, njegovih sustava i komponenata, nalet flote, osvrt posade na funkcioniranje sustava tijekom leta, broj uklonjenih i zamijenjenih komponenti, i slično.

1.1. Cilj i svrha rada

Cilj rada usmjeren je na analizu potrebne količine rezervnih dijelova u eksploataciji zrakoplova s klipnim motorom u sastavu školske flote u svrhu optimizacije procesa nabave, skladištenja, te ugradnje rezervnih dijelova na zrakoplov. Svrha rada je izraditi model planiranja i nabavne potrebne količine rezervnih dijelova za klipne zrakoplove i usporediti ga s iskustvenim modelom koji se koristi u praksi.

Modeli planiranja zaliha rezervnih dijelova za potrebe održavanja klipnih zrakoplova su od velikog značaja jer s odgovarajućim modelom moguće je smanjiti troškove skladištenja, odnosno, posjedovati optimalnu količinu zaliha rezervnih dijelova. Također, ukoliko se u skladištu pohranjuje velika količina potrebnih rezervnih dijelova, ali sa određenim rokom trajanja, te ukoliko se ne iskoriste unutar tog perioda, to predstavlja dodatni trošak operateru. S druge strane, mora se voditi računa da u vrijeme intenzivne eksploatacije zrakoplova na skladištu ne ponestane rezervnih dijelova, jer u tom slučaju, postoji opasnost od gubitka letnih sati, odnosno, prijeti zaustavljanje eksploatacije.

Klipni zrakoplovi se najčešće koriste za sportsko letenje i školovanje pilota, a manje služe za komercijalnu upotrebu. S obzirom na te činjenice, neophodno je imati optimalnu količinu rezervnih dijelova na skladištu. Pomoću logističkih modela moguće je utvrditi količinu potrebnih rezervnih dijelova kako bi se smanjili troškovi, ali i vrijeme samog popravka određenog dijela zrakoplova.

1.2. Dosadašnja istraživanja

Praćenje podataka iz eksploatacije i održavanja zrakoplova te razmatranje dobivenih podataka omogućuje racionalno skladištenje zaliha rezervnih dijelova prema dosadašnjim potrebama za određenim dijelovima. Logistički modeli koji se razmatraju kroz literaturu (knjige, članci, disertacije i slično), kao i korištenje različitih modela kao pomoćnih sredstava pri planiranju održavanja i planiranja nabavke rezervnih dijelova u praksi, pospješuju potrebu za optimalnom količinom zaliha rezervnih dijelova. Logistički modeli omogućuju odgovor na takve slučajeve i u zadanom roku riješiti kvarove.

Istraživanje modela upravljanja zalihama primjećuje se i kroz brojnu literaturu, knjige, stručne i znanstvene radove autora iz raznih područja, a mogu se istaknuti:

1. Matijaščić, Z.: Logističko inženjerstvo, Veleučilište Velika Gorica, 2012., Velika Gorica
2. Fritzsche, Roy; Lasch, Rainer: „An Integrated Logistics Model of Spare Parts Maintenance Planning within the Aviation Industry“ - World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering Vol:6, No:8, 2012
3. Pupovac, Drago: Suvremeni pristupi upravljanju zalihama, Veleučilište u Rijeci, 2014.
4. Beker, I.: Upravljanje zalihama, knjiga, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Univerzitet u Novom Sadu, 2011.
5. Krpan, Lj., Maršanić, R., Jedvaj, V.: Upravljanje zalihama materijalnih dobara i skladišno poslovanje u logističkoj industriji, Technical journal 8, 3(2014), str. 269-277.

1.3. Očekivani rezultati istraživanja

U radu će se provesti istraživanje podataka iz održavanja certificirane organizacije za održavanje klipnih zrakoplova. Nakon analize podataka i kategorizacije rezervnih dijelova pristupit će se izradi odgovarajućeg modela koji bi omogućio raspolaganje optimalnom potrebnom količinom rezervnih dijelova na skladištu.

1.4. Struktura rada

Rad je strukturiran u sedam poglavlja. Nakon uvoda u kojem se navode predmet i cilj rada, drugo poglavlje opisuje pojmove iz logističkog inženjerstva, te povezuje logistiku s područjem održavanja u zračnom prometu. U trećem poglavlju objašnjava se održavanje zrakoplova s klipnim motorima i glavne komponente koje utječu na planiranje zaliha rezervnih dijelova. U četvrtom poglavlju se pojašnjava pojam zaliha te uvjeti, planiranje i njihova klasifikacija. Peto poglavlje analizira modele upravljanja zalihama rezervnih dijelova i objašnjava se princip svakog modela. Interpretacija odabranog modela je objašnjena u šestom poglavlju rada, gdje je istaknut jedan model na temelju podataka zrakoplovnog operatera. Zaključak rada na temelju optimizacijskog modela naveden je u sedmom poglavlju rada.

2. Logističko inženjerstvo

Logističko inženjerstvo je dio tehničke logistike i skup svih znanja, umijeća, metoda, aktivnosti i postupaka potrebnih da se osigura efektivna i ekonomična potpora tehničkom sredstvu odnosno sustavu za vrijeme predviđenog životnog vijeka. Unutar logističkog inženjerstva postoje određene etape koje su međusobno povezane, a to su:

- istraživanje i razvoj;
- projektiranje;
- proizvodnja i eksploatacija;
- uporaba;
- održavanje;
- skladištenje;
- modifikacije (adaptacije, rekonstrukcija, inoviranje);
- otuđenje (otpis, uništenje, prenamjena, uporaba).¹

Sustav održavanja podrazumijeva skup funkcijskih cjelina i njihove unutarnje i međusobne veze koje osiguravaju cjelovito održavanje tehničkih sredstava u njihovom životnom ciklusu. Održavanje se može gledati kao samostalni sustav, čija je namjena i njegova temeljna djelatnost, a ponekad je to jedan od podsustava više organizacijskih cjelina kojoj temeljna djelatnost može biti proizvodnja ili neka uslužna djelatnost.²

Logistika, kao potpora djelatnosti, je vještina i znanost upravljanja koja obuhvaća inženjerske usluge, tehničke i ostale aktivnosti koje se odnose na tehničke zahtjeve, projektiranje i razvoj, opskrbu i održavanje sustava s ciljem pružanja efikasne potpore temeljnoj djelatnosti, planovima i operacijama. Logistika se dijeli prema području djelovanja na:

- vojnu;
- industrijsku;
- ekonomsko – komercijalnu;
- socijalno – upravnu;
- opću tehničku.³

Uz temeljne zahtjeve funkcije i namjene, proizvodnji, ljudskim čimbenicima, sociološkim zahtjevima i zahtjevima zaštite okoliša, potrebno je uzeti u obzir zahtjeve korisnika, kao što su pouzdanost tijekom promatranog vremena, raspoloživost u određenom trenutku te pogodnost za održavanje tehničkog sredstva, zrakoplova, prikazane na slici 1.⁴

¹Matijaščić, Z.: *Logističko inženjerstvo*, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, 2012., p.11

²Ibid., p.151.

³Ibid., p.11

⁴Ibid., p.12

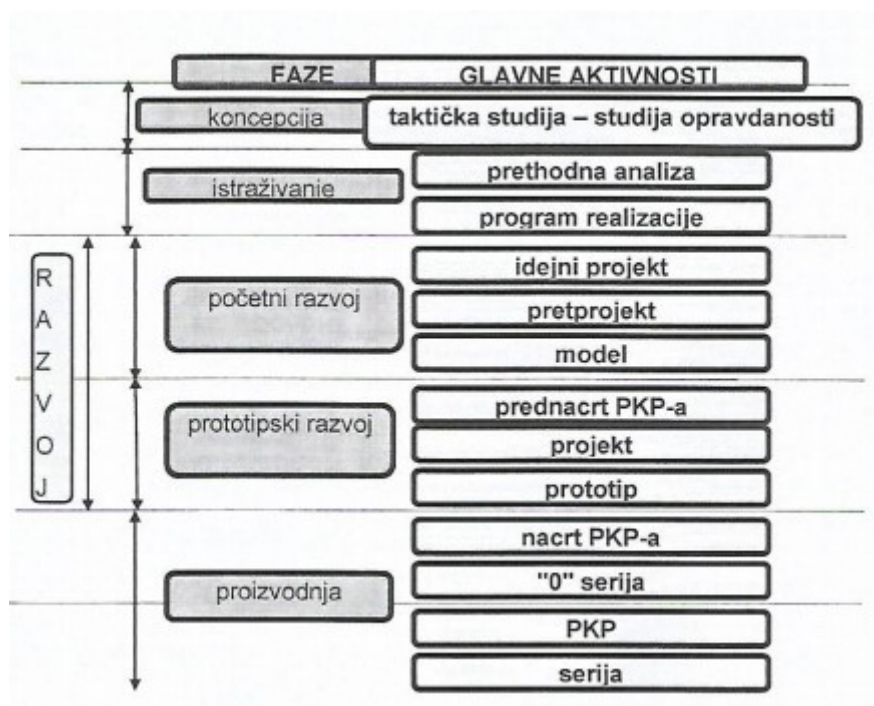


Slika 1. Konceptija tehničkog sredstva (TS)

Izvor: Matijaščić, Z.: *Logističko inženjerstvo*, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, 2012.

Zahtjevi se provode u određenom broju faza, prikazane na slici 2, koje se temelje na određenim potrebama i zamislima do konačne ugradnje u završnim fazama proizvodnje. Svaka faza pojedinačno zahtijeva suradnju konstruktora, tehnologa i logističkog inženjera, a temelji se na korisničkim tehničkim i logističkim zahtjevima.⁵

⁵Ibid., p.12



Slika 2. Faze projekta ugradnje koncepcije tehničkog sredstva PKP - propisi o kvaliteti proizvoda

Izvor: Matijaščić, Z.: *Logističko inženjerstvo*, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, 2012.

Tijekom faze koncepcije i istraživanja izrađuju se dokumenti studije opravdanosti nabave (razvoj, proizvodnja, nabava), to jest taktične studije koje omogućuju racionalnu količinu rezervnih dijelova koji su potrebni tijekom određenog vremenskog intervala. Analizama izvodljivosti potrebno je dokazati da je određeni koncept opremanja najpovoljniji, te pomoću programa realizacije izabrati model opremanja i dokazati djelotvornost izabranog modela, što je i početna faza razvoja (nabave) sustava. Program realizacije uključuje:

- analizu i definiranje potrebne količine;
- tehničko – ekonomsku analizu;
- analizu i izbor puta realizacije;
- predračun ukupnih troškova;
- analizu organizacijsko – ustrojbenih potreba;
- očekivane učinke;
- prijedlog zaključaka.⁶

Tijekom faze razvoja provodi se početni razvoj s idejnim projektom i preprojektom i projektira se model za provjeru funkcije, ali ne i provjera pouzdanosti. Također ova faza obuhvaća i izradu propisa o kvaliteti proizvoda.⁷

⁶Ibid., p.13

⁷Ibid., p.14

Faza proizvodnje obuhvaća organizaciju proizvodnog procesa, projekciju tehnološkog procesa izrade i početak izrade nulte serije. Također u ovoj fazi se provode tehnička i terenska ispitivanja te izrađuju nacrti propisa o kakvoći proizvoda.⁸

Logistička podrška je neophodna za uspješno održavanje zrakoplova. Logistika, u cilju tehničkog održavanja zrakoplova i opreme, obuhvaća korištenje raspoloživih postupaka i sredstava organizacije za tehničko održavanje, s ciljem uspješnog obavljanja održavanja na svim aerodromima na kojima zrakoplov polijeće i slijeće, ograničenim raspoloživim vremenskim periodom, sa zahtjevanim standardima kvalitete i uz prihvatljive troškove.⁹

Logistika osim tehničkih elemenata podrške obuhvaća i elemente integralnog sustava, kao što su osoblje, financijska sredstva, dokumentacija i drugo.¹⁰

Osnovni cilj logistike u zračnom prometu je da stručno organizira održavanje i eksploataciju flote zbog njezinog efikasnog korištenja. Također, logistika je u vezi i s komercijalnom službom zrakoplovnih kompanija, stoga racionalno korištenje flote utječe na punjenje zrakoplova (*load factor*) te na komercijalni uspjeh operatera zrakoplova.¹¹

Logistika održava zrakoplov u plovidbenom stanju te organizira popravak u slučaju oštećenja, ali uz minimalne troškove i minimalan boravak na zemlji. Kako bi se to moglo ostvariti potrebna je stalna suradnja s tehničkom službom.¹²

⁸Ibid., p.14

⁹Manić, A., Razumenić, S.: *Održavanje vazduhoplova*, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2003., p.299

¹⁰Ibid., p.299

¹¹Ibid., p.300

¹²Ibid., p.300

3. Sustav održavanja zrakoplova s klipnim motorom

Svaki tip zrakoplova se tijekom svog životnog ciklusa mora redovito održavati. Vrlo je važno uz održavanje definirati stanje “*u radu*” i stanje “*u otkazu*”. Tijekom stanja “*u otkazu*” tehnička služba popravlja sredstvo kako bi se ono vratilo na stanje “*u radu*”. Održavanje se definira kao određeni skup aktivnosti koje se obavljaju u svrhu održavanja radne sposobnosti sredstva. Kako bi se zrakoplovne operacije mogle izvoditi sigurno i pouzdano, zrakoplov mora biti održavan u ispravnom stanju i održavan prema propisanim normama.¹³

3.1. Održavanje

Pregledi održavanja mogu biti planirani i neplanirani, ovisno o stanju zrakoplova, a maksimalni intervali koji se broje između redovnog održavanja se izražavaju u satima naleta (*Flight Hours – FH*), prema broju slijetanja (*landings*), po broju ciklusa, prema kalendarskom vremenu – mjeseci ili godine, podacima iz prošlosti. Također, održavanje se može podijeliti i na korektivno, preventivno i održavanje prema trenutnom stanju.¹⁴

Najuobičajnija jedinica za mjerenje intervala između održavanja je po satima naleta, ali za određene dijelove kao što su podvozje, zakrilca, životni vijek nadtladne kabine i slično, se broji po broju slijetanja kada je potrebno održavanje. Dok je za zrakoplovne mlazne motore vrijeme između dva pregleda izraženo u ciklusima, za zrakoplovne klipne motore resurs je izražen u satima leta. Primjerice, vrijeme između dva generalna pregleda motora (*overhaul*) obično iznosi 2000 sati. Za provjeru korozije, gumenih brtvi, ulja i svih dijelova o kojima ne ovisi koliko leti zrakoplov izražava se po kalendarskom vremenu.¹⁵

Korektivno održavanje se primjenjuje na elemente kod kojih otkaz nema utjecaja na sigurnost letenja, a sredstvu odnosno komponenti se pomoću ovog tipa održavanja vraća radna sposobnost nakon otkaza. Otkaz komponente mora biti signaliziran posadi ili mehaničarima, i ne smije inicirati otkaz drugih komponenti. Ovaj način održavanja se najčešće odnosi na komponente avionike, instrumente, svjetlosnu opremu i sve komponente kod kojih se ne može dobro predvidjeti otkaz. Aktivnosti unutar korektivnog održavanja su:

- uočavanje otkaza;
- lokacija otkaza;
- rastavljanje;

¹³Bazijanac, E.: *Tehnička eksploatacija i održavanje zrakoplova*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2007., p. 6

¹⁴Domitrović, A.: *Eksploatacija i održavanje zrakoplova, Program održavanja zrakoplova*, Auditorna predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

¹⁵Domitrović, A.: *Eksploatacija i održavanje zrakoplova, Program održavanja zrakoplova*, Auditorna predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

- popravak;
- sastavljanje;
- testiranje;
- verifikacija.

Kada se održavanje provodi planski, na zrakoplovu koje je ispravno ili se smatra ispravnim, onda se takva vrsta održavanja naziva preventivno održavanje. Kod preventivnog održavanja se primjenjuje "*hard time*" odnosno princip poduzimanja preventivne aktivnosti. Najčešće se primjenjuje na mehaničke komponente čije se trošenje može pratiti pomoću vremena rada, a to su ciklusi ili sati rada. Aktivnosti unutar preventivnog održavanja su:

- rastavljanje;
- popravak;
- sastavljanje;
- testiranje;
- verifikacija.

Najčešće se zrakoplovi s klipnim motorima i veliki broj komponenti klipnog motora održavaju po principu čvrstog radnog vijeka (*hard time*). "*Ograničeni radni vijek*" motora ili određene komponente, koji je propisan, se ne smije povećavati bez odobrenja zrakoplovne vlasti. Ukoliko se želi povećati "*ograničeni radni vijek*" korisnik mora podacima iz praćenja pouzdanosti, iskustvima iz prakse te pregledima komponenti u radionici dokazati kako bi se određenoj komponenti ili zrakoplovu trebao povećati radni vijek i kako produljenje ograničenog radnog vijeka neće utjecati na sigurnost uporabe samog zrakoplova.¹⁶

Održavanje se može podijeliti i prema specifikacijama Savezne uprave za civilno zrakoplovstvo (*Federal Aviation Administration – FAA*) prema:

- čvrstom radnom vijeku (*Hard Time -HT*) ;
- stanju - periodičke provjere, ili s ciljem utvrđivanja stanja (*On Condition -OC*);
- stalnom nadzoru stanja - praćenjem značajnih pokazatelja moguće je pronalaženje ili predviđanje kvara (*Condition Monitoring - CM*).¹⁷

Pregledi koji se ubrajaju u program održavanja prema opsegu i prirodi poslovanja su:

1. servisni pregledi – predpoletni, tranzitni, dnevni (nakon posljednjeg leta u danu), pregled manjih servisnih i preventivnih radova koji uključuju i otklanjanje kvarova;

¹⁶Bazijanac, E.: *Tehnička eksploatacija i održavanje zrakoplova*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2007., p.77

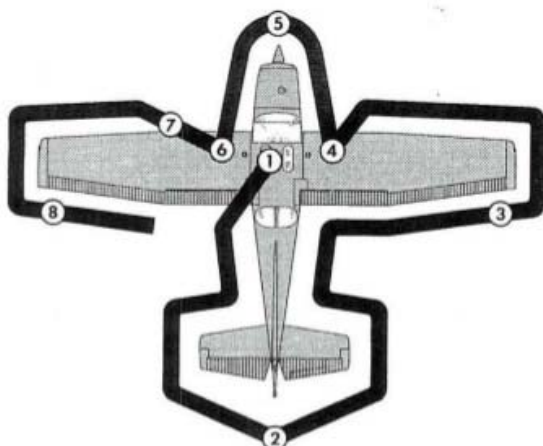
¹⁷Domitrović, A.: *Eksploatacija i održavanje zrakoplova, Program održavanja zrakoplova*, Auditorna predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

2. povremeni pregledi – obuhvaćaju redovito održavanje u određenim vremenskim intervalima, prema periodima ponavljanja ili ciklusu;
3. radovi velike obnove/ blok pregledi (*overhaul*) – obuhvaćaju skidanje većine komponenata na zrakoplovu, te njihov detaljni pregled i ispitivanje funkcionalnosti, također i ispitivanje instalacija, strukture zrakoplova, otklanjanje nedostataka, korozije. Ovakav način pregleda se može izvršiti odjednom ili u etapama (blok pregled), a propisano vrijeme za radove obnove izraženo je u satima naleta, a može biti i vremenski ograničeno;
4. posebni pregledi – vrše se ukoliko je došlo do izvanredne situacije na zrakoplovu, a obavljaju se prema radnim karticama posebnih pregleda;
5. pregledi – provjere tijekom leta – služi za ispitivanje performansi, te ponašanje zrakoplova u tijeku svih faza leta;
6. pregledi za utvrđivanje plovidbenosti zrakoplova – obuhvaćaju preglede koji potvrđuju ispravnost zrakoplova te sigurnost za plovidbu.¹⁸

Za male zrakoplove s klipnim motorom preporuča se:

- prijeletni pregled, prikazan na slici 3;
- 50 satni, 100 satni, 200 satni, 1000 satni odnosno godišnji pregled.

¹⁸Domitrović, A.: *Eksploatacija i održavanje zrakoplova, Program održavanja zrakoplova*, Auditorna predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.



NOTE

Visually check airplane for general condition during walk-around inspection. In cold weather, remove even small accumulations of frost, ice or snow from wing, tail and control surfaces. Also, make sure that control surfaces contain no internal accumulations of ice or debris. Prior to flight, check that pitot heater (if installed) is warm to touch within 30 seconds with battery and pitot heat switches on. If a night flight is planned, check operation of all lights, and make sure a flashlight is available.

Figure 4-1. Preflight Inspection

4-4

CHECKLIST PROCEDURES

PREFLIGHT INSPECTION

① CABIN

1. Control Wheel Lock -- REMOVE.
2. Ignition Switch -- OFF.
3. Avionics Power Switch -- OFF.
4. Master Switch -- ON.
5. Fuel Quantity Indicators -- CHECK QUANTITY.
6. Master Switch -- OFF.
7. Baggage Door -- CHECK, lock with key if child's seat is to be occupied.

② EMPENNAGE

1. Rudder Gust Lock -- REMOVE.
2. Tail Tie-Down -- DISCONNECT.
3. Control Surfaces -- CHECK freedom of movement and security.

③ RIGHT WING Trailing Edge

1. Aileron -- CHECK freedom of movement and security.

④ RIGHT WING

1. Wing Tie-Down -- DISCONNECT.
2. Main Wheel Tire -- CHECK for proper inflation.
3. Before first flight of the day and after each refueling, use sampler cup and drain small quantity of fuel from fuel tank sump quick-drain valve to check for water, sediment, and proper fuel grade.
4. Fuel Quantity -- CHECK VISUALLY for desired level.
5. Fuel Filler Cap -- SECURE.

⑤ NOSE

1. Engine Oil Level -- CHECK, do not operate with less than four quarts. Fill to six quarts for extended flight.
2. Before first flight of the day and after each refueling, pull out strainer drain knob for about four seconds to clear fuel strainer of possible water and sediment. Check strainer drain closed. If water is observed, the fuel system may contain additional water, and further draining of the system at the strainer, fuel tank sumps, and fuel selector valve drain plug will be necessary.

4-5

Slika 3. Prijeletni pregled (Preflight check) za C172N

Izvor: <https://www.slideshare.net/southernregionfaasteam/172-preflight-checklist>, rujan 2017

Vrlo je važno omogućiti, pomoću održavanja, zrakoplovu da bude siguran za let i plovidben. Ukoliko se zrakoplov ne održava u vremenskim intervalima koji su mu određeni ili kada letačko osoblje primijeti neku grešku, a zanemari ju, zrakoplov se dovodi u opasnost i stanje nesigurnosti i neispravnosti.

Najvažnija dva zadatka organizacije za održavanje zrakoplova su:

- dostaviti zrakoplov koji je siguran za let i plovidben, te da odgovara svim provedbenim propisima za održavanje;
- uz optimizaciju troškova omogućiti raspoloživost zrakoplova.¹⁹

3.2. Pouzdanost i eksploatacija

Uz samo održavanje vežu se pojmovi eksploatacije i pouzdanosti. Eksploatacija predstavlja cjelokupan rad zrakoplova od proizvodnje do otpisa, a obuhvaća:

¹⁹Bačani, I.: *Analiza ključnih pokazatelja učinkovitosti u procesu održavanja zrakoplova*, Diplomski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013., p.12

- korišćenje;
- održavanje;
- čuvanje;
- transportiranje.

Pouzdanost zrakoplova je usko povezana s eksploatacijom, ali i troškovima, što je prikazano na slici 4. Operater je dužan pratiti pouzdanost zrakoplova u eksploataciji, odnosno razraditi program pouzdanosti.

Troškovi eksploatacije s aspekta operatera zrakoplova se mogu podijeliti na:

- DOT (*Direct Operating Cost – DOC*) – direktni operativni troškovi;
- IOT (*Indirect Operating Cost – IOC*) – indirektni operativni troškovi.

Unutar DOT-a se nalaze:

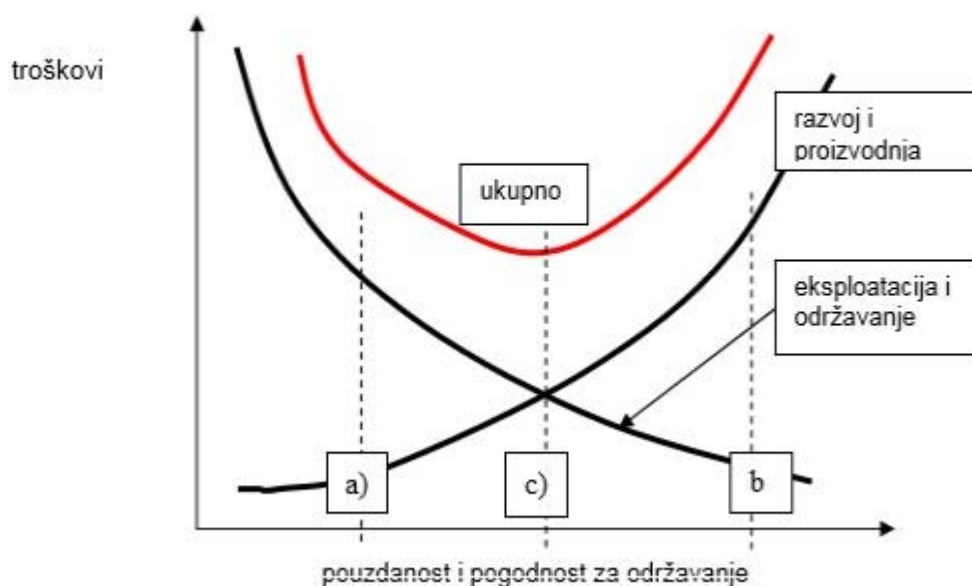
- troškovi letачkog osoblja
- troškovi goriva;
- troškovi održavanja;
- navigacija;
- troškovi amortizacije zrakoplova;
- troškovi osiguranja zrakoplova;
- kamata.²⁰

Za razliku od DOT-a, IOT- i se mogu podijeliti u tri skupine:

1. troškovi vezani uz eksploataciju i sami zrakoplov
2. troškovi vezani za prijevoz putnika;
3. troškovi za prijevoz robe.

Kako bi se održala veća pouzdanost i pogodnost za održavanje potrebna su i veća ulaganja u razvoj i proizvodnju. Ukoliko je veća nabavna cijena zrakoplova, imat će i manje troškove u eksploataciji.

²⁰Ibid., p. 87



Slika 4. Odnos troškova, pouzdanosti i pogodnosti za održavanje

Izvor: Bazijanac, E.: *Tehnička eksploatacija i održavanje zrakoplova*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2007.

Troškovi održavanja čine 12% do 15% ukupnih troškova zrakoplovnog operatera, ili 10% od vrijednosti održavane flote. S obzirom da je zračni promet visoko prometna grana, udio troškova predstavlja značajnu sumu. Za razliku od mnogih drugih troškova na koje se ne može utjecati, kao što su cijena goriva, cijena prihvata i otpreme na aerodromima, cijena zrakoplova, tehničko održavanje se u velikoj mjeri može kontrolirati od strane zrakoplovnog operatera. Kontrola troškova se izvodi preko programa održavanja, pri čemu je cilj svakog programa održavanja da nema nepotrebnih radova i zamjena rezervnih dijelova, ali također da ni jedna potrebna zamjena rezervnog dijela ne bude izostavljena.²¹

CAMO (*Continuing Airworthiness Management Organisation*), organizacije koje vode kontinuiranu plovidbenost EASA zrakoplova, su najbitnije jer organiziraju osoblje uključeno u kontinuiranu plovidbenost zrakoplova i aeronautičkih komponenti. EASA zrakoplovi su zrakoplovi koji uz standardnu svjedodžbu o plovidbenosti te nacionalne propise, primjenjuju i EU propise. Eksploatacija i održavanje zrakoplova određeno je međunarodnim i nacionalnim propisima. Osnovni propisi u Republici Hrvatskoj koji su važni za održavanje i eksploataciju, prema EASA-i su Part M i Part 145. Najvažniji dokument za održavanje zrakoplova je Part 145, kojim EASA regulira održavanje zrakoplova. U tom dokumentu su definirani rezervni dijelovi koji se drže u

²¹Manić, A., Razumenić, S.: *Održavanje vazduhoplova*, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2003., p.11

skladištu, kao i količina rezervnih dijelova koja ovisi o poslovanju zrakoplovnog operatera. Priručnik organizacije za održavanje (*Maintenance organization exposition – MOE*) opisuje kako organizacija ispunjava zahtjeve Part 145 standarda.²² Uvjeti za dobivanje Part 145 su vezani uz prostor, alat, ovlašteno osoblje, licencirano osoblje, tehničku dokumentaciju i Priručnik MOE.

3.3. Radionica

Služba za tehničko održavanje zrakoplova i zrakoplovne opreme se sastoji od hangara, potrebnih radionica s opremom i uređajima, i drugih zgrada kao što su pomoćne radionice, uredi, parkirna mjesta za zrakoplove, pogoni infrastrukture, sustav za preradu otpadnih voda i drugo.²³

Prostor za održavanje zrakoplova je vrlo skup, zahtjeva velika i stalna ulaganja, a mora zadovoljiti najmanje dvije do tri generacije zrakoplova. Također, radni prostor mora zadovoljiti potrebe linijskog i radioničarskog održavanja tako da:

- svojim kapacitetom zadovolji predviđene radove;
- ima dobar raspored radionica;
- ima mogućnost proširenja;
- ima uspješno građevinsko rješenje uz prihvatljive troškove;
- posjeduje uređaje i opremu za održavanje;
- zadovoljava zdravstvene kriterije;
- odgovara klimatskim uvjetima;
- ima odgovarajuću protupožarnu zaštitu;
- ima dobar raspored prometnica i zgrada.²⁴

Rijetko neka radionica ima svu potrebnu opremu i uređaje za održavanje, stoga ukoliko je potrebno zamijeniti ili popraviti određeni dio za koji radionica nema odgovarajuću opremu, dio se šalje u druge radionice koje posjeduju potrebnu opremu.

3.4. Hangari

Hangari su najveći i najskuplji objekti u tehničkoj organizaciji, stoga je za njihovu izgradnju potrebno pristupiti iz više perspektiva. Osnovne dimenzije hangara ovise o dimenzijama zrakoplova koji će se održavati, broju zrakoplova koji će biti

²²http://www.fpz.unizg.hr/zan/wp-content/uploads/2016/02/CAME_MOE-Rev.13-cjelovita-verzija-potpisana.pdf, rujan 2017.

²³Manić, A., Razumenić, S. : *Održavanje vazduhoplova*, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2003., p.243

²⁴Ibid., p.244

održavani, dnevnom i godišnjem naletu flote, programu održavanja, potrebnom vremenu za radove, načinu korištenja zrakoplova.

Za svaku zrakoplovnu kompaniju su ovi podaci specifični, jer svaka kompanija ima svoj dnevni, mjesečni i godišnji nalet, svoj program održavanja, raspoloživu tehnologiju i potrebnu radnu snagu.²⁵

3.5. Skladišta

Veličina skladišta, kod zrakoplovnih kompanija, ovisi od veličine flote i broju tipova zrakoplova u floti. Služe za čuvanje rezervnih dijelova za svaki tip zrakoplova i za svaku vrstu opreme. Postoje dva osnovna zadatka vezana za uspješno funkcioniranje skladišta, a to su:

- čuvanje rezervnih dijelova u zahtjevanim uvjetima, da ne bi izgubili svoju kvalitetu i
- evidencija i praćenje stanja skladišnog materijala.²⁶

Skladišta moraju odgovarati uvjetima urednosti, čistoće, suhoće, zaštite od temperature, zaštite od sunca i vlage. Rezervni dijelovi se kompjuterski evidentiraju i prate, a povezani su s centralnim informacijskim sustavom. Dijelovi se slažu na police, a prihvati i otprema se obavlja ručno ili automatski. Skupi dijelovi se čuvaju u posebnim kontejnerima.²⁷

Pozicioniranje skladišta je uglavnom centralno u odnosu na hangar i ostale radionice, uz uvjet dobrih prometnica, sustavom komunikacije i posjedovanju sredstava za transport dijelova. Skladište ima dva odvojena dijela:

- prostor za prihvati i otpremu rezervnih dijelova i
- prostor za čuvanje prihvaćenih dijelova.²⁸

Osnovna podjela dijelova u skladištu je na zrakoplovne dijelove i ostale dijelove. Zrakoplovni dijelovi se sastoje od ispravnih zrakoplovnih dijelova, neispravnih zrakoplovnih dijelova, potrošnog zrakoplovnog materijala, zapaljivih dijelova, sirovina, alata, kemikalija, ispravnih i neispravnih guma, goriva i maziva.²⁹

3.6. Rezervni dijelovi

²⁵Manić, A., Razumenić, S.: *Održavanje vazduhoplova*, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2003., p.244

²⁶Ibid., p.273

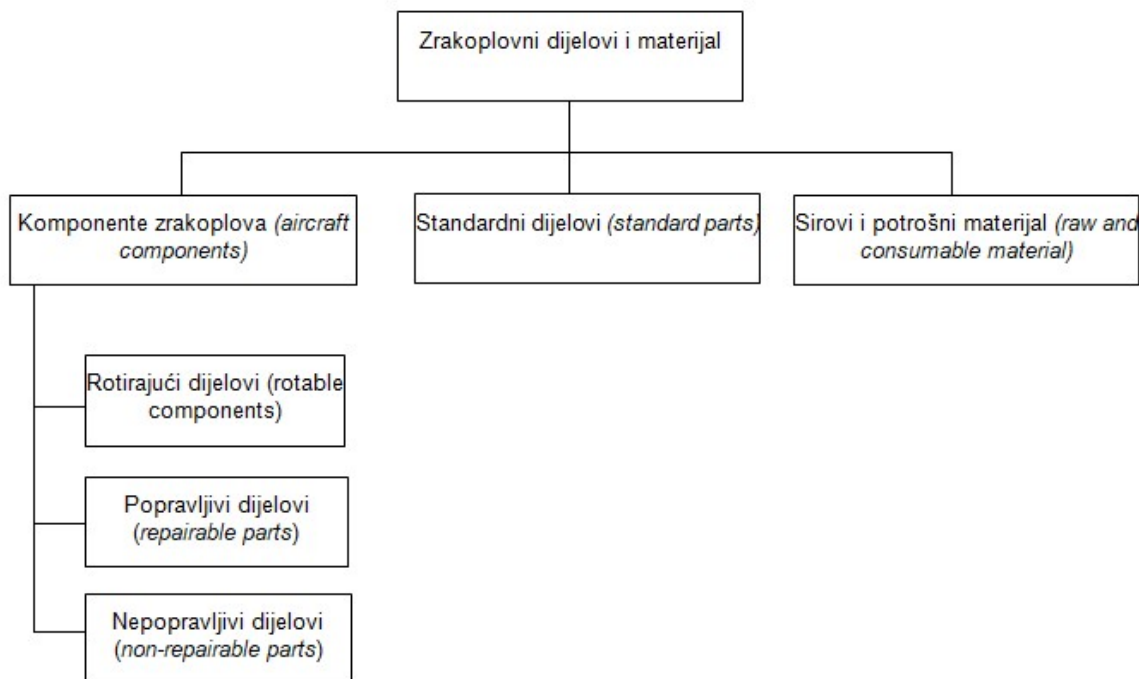
²⁷Ibid., p.273

²⁸Ibid., p.273

²⁹Ibid., p.274

Osnovna podjela rezervnih dijelova, prikazana na slici 5, je na:

- komponente zrakoplova (*aircraft components*);
- standardne dijelove (*standard Parts*);
- sirovi i potrošni materijal (*raw and consumable material*).³⁰



Slika 5. Podjela materijala u zrakoplovstvu

Izvor: Pita, O.: *Održavanje zrakoplova II, Logistika održavanja zrakoplova*, Autorizirana predavanja, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, 2015.

Popravljivi rezervni dijelovi se još nazivaju i “*kružeci dijelovi*”, jer tijekom svog vijeka idu kružnim putem, sa zrakoplova se skidaju kada su neispravni, te se šalju u skladište neispravnih dijelova, nakon toga idu na popravak u radionicu, pa u skladište ispravnih dijelova i nakon tog ciklusa se ponovno ugrađuju na zrakoplov. Jako je važno da u bilo kojem trenutku i na bilo kojem mjestu na letnim rutama postoji raspoloživi rezervni dio ili da se u najkraćem roku, u slučaju izvanredne situacije, dostavi. Iz toga se može zaključiti kako je u ovom slučaju najbitnije osigurati dovoljnu količinu rezervnih dijelova, što planiranjem, a što pravovremenom nabavom, tako i već prethodno spomenutu, dobro organiziranu logistiku.

S obzirom da svako zrakoplovno skladište posjeduje veliku količinu rezervnih dijelova, osim njihove evidencije i praćenja stanja, potrebno je označavati rezervne dijelove. Stoga se za označavanje dijelova koriste kombinacije brojeva i slova, a cilj oznaka je sigurna identifikacija dijela, lagano lociranje u skladištu i praćenje kroz

³⁰Pita, O.: *Održavanje zrakoplova II, Logistika održavanja zrakoplova*, Autorizirana predavanja, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, 2015., p.2

program pouzdanosti. Tvornički broj (*Part number – P/N*) služi proizvođaču za oznaku grupe istih dijelova i proizvoda. Rezervni dijelovi s istim P/N brojem su jednaki po obliku, materijalu, konstrukciji, priključcima i performansama. Dodatni broj u P/N broju označava modifikaciju određenog proizvoda. Serijski broj (*Serial number – S/N*) je broj kojim proizvođač daje oznaku dijelovima unutar istog P/N broja. Serijski brojevi se koriste u službi pouzdanosti za kontrolu kvalitete proizvoda. Kodni broj (*Code number – C/N*) je skladišni broj rezervnog dijela, a namjena mu je da omogući jednoznačnu oznaku dijelova raznih proizvođača ili P/N brojeva koji su međusobno izmjenjivi. Pomoću C/N broja se može označiti svaki dio koji se prati na zrakoplovu i lako i brzo ga se može naći u skladištu. Kartica ispravnog/neispravnog dijela je oznaka pomoću koje se bilo koji dio u skladištu može identificirati, uobičajeno je da je ta kartica zelene boje, te se još zbog toga naziva i “*zelena kartica*”. Ukoliko je crvene boje onda ona označava неисправan dio zrakoplova. Skladišna karta je dokument o kretanju rezervnog dijela i stanju rezervnog dijela u skladištu. Točno i kontinuirano vođenje skladišne karte omogućuje kontrolu stanja skladišta.³¹

³¹ Ibid., p.288

4. Upravljanje zalihama

Vlastiti materijal koji se koristi u poslovanju, odnosno koji je namijenjen potrošnji ili na prodaju, a uključuje sirovine (*raw material*), poluproizvode (*intermediate products*), materijal u radu (*work-in process – WIP*) i gotove proizvode (*final products*) se naziva zalihama. Također, zalihama se nazivaju i skladišteni proizvodi koji se koriste u cilju proizvodnje i zadovoljavanja potreba kupaca. Ukoliko se želi osigurati kontinuitet proizvodnje i prodaje, odnosno u proizvodnji i distribuciji potrebno je stalno osiguravati odgovarajuću zalihu robe. Prilikom nedovoljne količine zaliha ili zakašnjele isporuke, kupci će odlaziti kod drugih dobavljača koji će im pružiti odgovarajuću uslugu kakvu oni zahtijevaju.³²

4.1. Uvjeti planiranja zaliha

Prilikom zalihe rezervnih dijelova za održavanje klipnih motora potrebno je zaštititi poslovanje i proizvodnju u uvjetima neizvjesnosti, omogućiti ekonomičnu nabavu i proizvodnju, pokriti objektivno prisutne promjene u ponudi i potražnji, omogućiti tijek materijala unutar proizvedenog poslovnog sustava.³³

“*Mrtve zalihe*” omogućuju sigurniju opskrbu proizvodnje i kupaca, ali i određene troškove vezane za izdatke kamata za financijska sredstva kao i troškove skladištenja. Velika količina tvrtki koje nabavljaju, ali i prodaju rezervne dijelove, se susreću s lošom optimalnom “*politikom*” upravljanja zalihama. Unutar te politike dolazi do nepredvidive potražnje, dugim vremenom isporuke, nepouzdana nabava, velika količina dijelova, kratak vremenski rok potražnje za određenim proizvodom. Optimalno upravljanje zalihama rezervnih dijelova usklađuje proizvodne, nabavne i distribucijske aktivnosti unutar logističkog procesa.

Uvjeti održavanja zaliha su:

- neplanirani zahtjevi kupaca, koji omogućuje profit, iako je teško predvidjeti zahtjeve kupaca;
- broj rezervnih dijelova kao i njegovih varijanti je sve veći, a životni vijek sve kraći;
- sve veći broj konkurentskih rezervnih dijelova, kao posljedica globalizacije.³⁴

Razlozi koji uvjetuju potrebu održavanja zaliha su:

- nepouzdana nabava i isporuka rezervnih dijelova;
- povoljnije cijene transporta za veću količinu rezervnih dijelova;

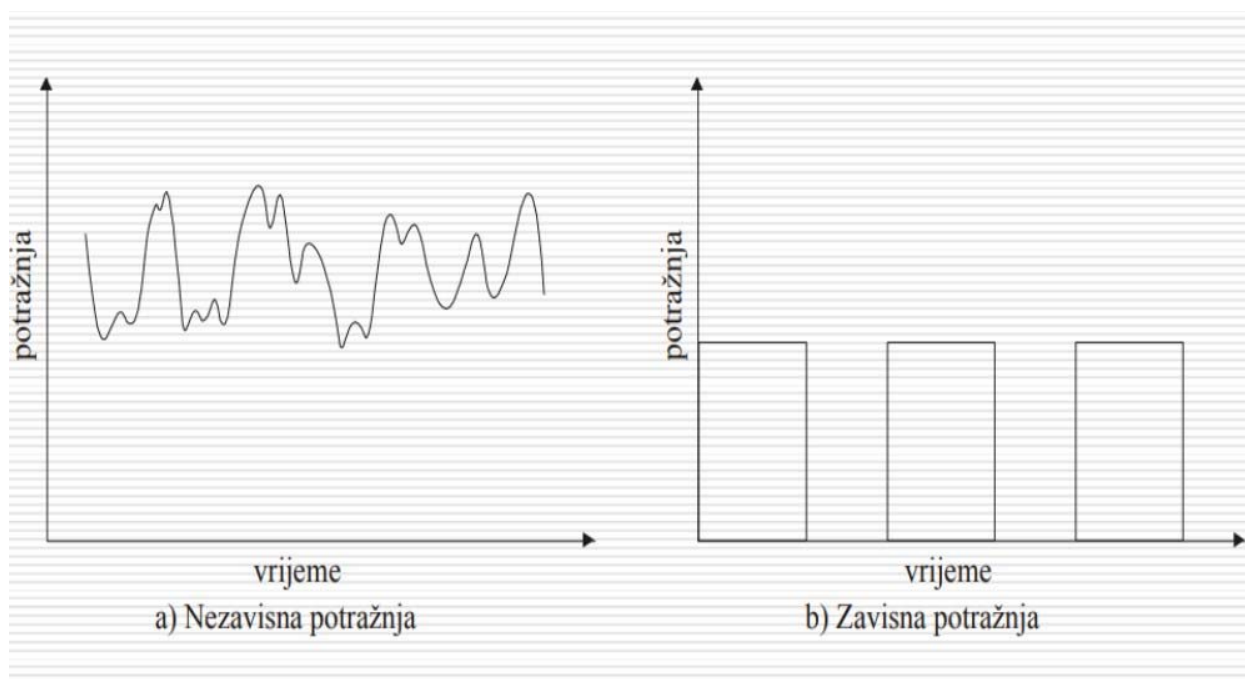
³²Šafran, M.: *Upravljanje zalihama*, Auditorna predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

³³Šafran, M.: *Upravljanje zalihama*, Auditorna predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

³⁴Šafran, M.: *Upravljanje zalihama*, Auditorna predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

- ekonomija obujma – što su narudžbe veće, niža je jedinična cijena za robu.³⁵

U osnovi upravljanja zalihama, razlikuju se dva modela potražnje, prikazani na slici 6, a to su nezavisna i zavisna potražnja, što proizlazi iz uvijeta koji se moraju ispunjavati prilikom upravljanja zalihama.



Slika 6. Dijagram zavisne i nezavisne potražnje

Izvor: Šafran, M.: *Upravljanje zalihama*, Auditorna predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

Postoje dva tipa upravljanja rezervnim dijelovima:

- zahtjev za što većom količinom rezervnih dijelova, kako bi se osigurao kontinuitet potrebnih zamjena;
- zahtjev da na skladištu bude što manje rezervnih dijelova kako bi poslovanje bilo što ekonomičnije.³⁶

Menadžment poduzeća je usko povezan i gotovo da je nemoguće opstati bez upravljanja zalihama. Glavni cilj je da rezervnih dijelova bude što manje, ali dovoljno za potrebe zamjena. Zbog prevelike količine rezervnih dijelova, dolazi do prevelikih nepotrebnih troškova. U današnje vrijeme je napredak tehnologije jako važna i bitna činjenica u upravljanju zalihama rezervnih dijelova jer pomoću modela kontrole i

³⁵Šafran, M.: *Upravljanje zalihama*, Auditorna predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

³⁶Šafran, M.: *Upravljanje zalihama*, Auditorna predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

planiranja se može kontinuirano pratiti količina prethodno korištenih rezervnih dijelova.

Potrebna količina rezervnih dijelova, prema brojnim čimbenicima ovisi o:

- dogovorenoj isporuci rezervnih dijelova;
- broju skladišta;
- uvjetima skladištenja i stručnosti dijelatnika skladišta;
- uvjetima transporta,
- uvjetima na domaćem i stranom tržištu,
- učestalosti naručivanja,
- karakteristikama skladištenja rezervnih dijelova,
- kamatnim stopama kreditiranja.³⁷

Prilikom svakog skladištenja rezervnih dijelova potreban je plan ili predviđanje potrebne količine rezervnih dijelova. Takva predviđanja ne moraju uvijek biti točna, zbog toga se koriste modeli upravljanja zalihama, kako bi se smanjio *“mrtvi kapital”*, ali i povećala ekonomičnost.

Jedan od važnih uvjeta prilikom upravljanja količinom rezervnih dijelova je broj skladišta u distribucijskoj mreži. Uvjeti skladištenja rezervnih dijelova ovisi o stanju zgrade i opreme. Ukoliko su skladišta za pohranu rezervnih dijelova veća, to zahtijeva i veću količinu rezervnih dijelova, što također uzrokuje i veće troškove držanja rezervnih dijelova. Zbog problema skladišta, u svijetu se reducira broj skladišta, a uštede tim zahvatom se temelje na *“Zakonu kvadratnog korijena”* koji se osnovao na izrazu *“potrebna količina ukupnih zaliha proporcionalna je broju skladišta u distribucijskoj mreži poduzeća”* (B. Marchant), što se može prikazati formulom:

$$Z(\%) = 1 - \frac{\sqrt{x}}{\sqrt{y}}, \text{ gdje je:}$$

- $Z(\%)$ – smanjenje zaliha u postotku;
- x – potreban broj skladišta;
- y – ukupan broj skladišta.

Ukoliko se rezervni dijelovi nabavljaju često, ali u malim količinama, razina dijelova će u skladištu biti manja. Time se treba težiti optimalnoj količini nabavke, čime se uspostavlja ravnoteža između troškova skladištenja i troškova naručivanja.

4.2. Klasifikacija zaliha

Zaliha rezervnih dijelova na skladištu se može podijeliti na:

³⁷Šafran, M.: *Upravljanje zalihama*, Auditorna predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

- vrstu robe koja se skladišti:
 1. sirovine i materijali;
 2. dijelovi i poluproizvodi;
 3. gotovi proizvodi;
- stvarna i planirana količina, prikazana na slici 7:
 1. minimalne;
 2. maksimalne;
 3. optimalne;
 4. prosječne;
 5. sigurnosne;
 6. spekulativne;
 7. sezonske
 8. nekurentne zalihe;
- po važnosti za kapitalne potrebe tvrtke:
 1. A;
 2. B;
 3. C;
- vijeku kvarenja:
 1. kvarljive;
 2. nekvarljive.³⁸

Minimalne zalihe rezervnih dijelova predstavljaju najmanju količinu robe koja je potrebna za pravovremenu zamijenu. Manjak dijelova može usporiti proces. Za utvrđivanje minimalne količine zaliha rezervnih dijelova potrebno je utvrditi dnevnu potrošnju i rokove nabave.

Maksimalne zalihe rezervnih dijelova predstavljaju gornju granicu količine robe u skladištu iznad koje se ne smiju nabavljati rezervni dijelovi. Štetno je i ekonomski neopravdano, a ima smisla jedino ukoliko potreba rezervnim dijelovima oscilira tijekom godine pa se politikom držanja maksimalnih zaliha želi osigurati od nestašice rezervnih dijelova.

Optimalne zalihe rezervnih dijelova temelje se na količini dobara, a ne na troškovima nabavke i skladištenja. Optimalne zalihe se nalaze između minimalnih i maksimalnih zaliha, a podrazumijeva rezervne dijelove koji osiguravaju redovnu i potpunu zamjenu uz minimalne troškove skladištenja i naručivanja.

Prosječne zalihe rezervnih dijelova najčešće čine godišnji prosjek za određeno vremensko razdoblje.³⁹

³⁸Safran, M.: *Upravljanje zalihama*, Auditorna predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

³⁹Safran, M.: *Upravljanje zalihama*, Auditorna predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.



Slika 7. Klasifikacija zaliha

Izvor: Šafran, M.: *Upravljanje zalihami*, Auditorna predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

Kao nadzor cijelog sustava upravljanja zalihama rezervnih dijelova ističu se:

- sustav kontinuiranog nadzora - gdje se zalihe kontinuirano nadgledaju, a do nove narudžbe dolazi kada određeni rezervni dio dođe do kritične točke;
- sustav periodičnog nadzora - količina rezervnih dijelova se provjerava u određenim intervalima koji mogu biti na dnevnoj, tjednoj, mjesečnoj i godišnjoj razini, te se narudžba izrađuje u tim intervalima kada se odredi točna količina preostalih rezervnih dijelova.⁴⁰

Sustav upravljanja rezervnim dijelovima nadzire količinu rezervnih dijelova, koji su u zračnom prometu veliki izvor troškova, ali i sigurnosti. Stoga se zrakoplovni rezervni dijelovi mogu podijeliti prema ATA - 100 specifikacijama (*Air Transport Association*), neki od njih su prikazani u tablici 1, prema stupnju kvarljivosti, odnosno mijenjanja. Unutar ATA – 100 specifikacije postoji podjela svih rezervnih dijelova prema namjeni.⁴¹ ATA – 100 specifikacija sadrži podjelu rezervnih dijelova, njihove slike, objašnjava se njihova upotreba i primjena u radu. Također, ATA – 100 specifikacija definira tehničku dokumentaciju po kojoj je proizvođač dužan izraditi svoju dokumentaciju.⁴²

Tablica 1. ATA specifikacije

ATA KOD	NAZIV KOMPONENTE	ATA KOD	NAZIV KOMPONENTE
05	Provjera održavanja	31	Instrumenti
20	Standardne prakse	32	Oprema za slijetanje
21	Klima uređaj	33	Svjetla
22	Autopilot	34	Navigacijski sustav
23	Komunikacija	35	Kisik
24	Električna energija	38	Otpadne vode
25	Oprema	52	Vrata
26	Zaštita od požara	55	Stabilizatori
28	Gorivo	57	Krila
29	Hidraulični sustav	72	Motor
30	Sustav proklizavanja	79	Motorno ulje

Izvor: <https://www.linkedin.com/pulse/what-ata-chapters-he-asked-me-bruce-miller>, rujan 2017.

⁴⁰Šafran, M.: *Upravljanje zalihama*, Auditorna predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

⁴¹https://en.wikipedia.org/wiki/ATA_100, rujan 2017.

⁴²Manić, A., Razumenić, S.: *Održavanje vazduhoplova*, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2003., p.238

5. Modeli upravljanja zalihama

Modeli upravljanja zalihama su temelj za određivanje politike upravljanja u poznatim uvjetima, te služe za kontrolu troškova, kako prilikom nabave tako i tijekom skladištenja. Prilikom odabira modela potrebno je odrediti moguće konstante te se optimizacija procesa mora provoditi na jednostavnijim modelima s periodičnim odlukama o naručivanju ili s kritičnim razinama naručivanja, a to su: modeli s periodičnim odlukama o naručivanju i modeli s tekućim odlukama o naručivanju. Odabir modela mora biti primjeren postojećoj organizaciji sustava opskrbe p/d, a sukladno ograničenjima koja su određena. Model s periodičnim odlukama naručivanja se provodi u već unaprijed određenim trenucima vremena T , a kod modela s tekućim odlukama naručuje se kada količina zaliha dođe do kritične razine ili niže.⁴³

Modeli u upravljanju zalihama koriste dva osnovna parametra za razvoj optimalne politike zaliha, a to su:

- Q – količina koja se naručuje;
- R – točka na kojoj se naručuje.

Postoje uobičajeni problemi kod zaliha, a oni uključuju:

- osnovne zalihe;
- količinske popuste;
- količinu proizvodnje;
- planirane nedostatke;
- periode pregleda zaliha;
- jednokratne nabavke.⁴⁴

Modeli koji se razlikuju prema načinu određivanja veličine narudžbe Q su jednostavniji modeli. Veličina narudžbe Q može biti unaprijed određena i konstantna veličina ili se može odrediti pomoću posebnih pravila. Posebna pravila za određivanje su najčešće iz povijesnih procesa, a to su intenzitet potražnje, tehnička obilježja sredstva, predstojeće zadaće, intenzitet potražnje i drugo.⁴⁵

Svaki model mora biti okarakteriziran s minimalno dva parametra, a neki od njih su:

- S - optimalna razina zaliha;
- s - razina naručivanja;
- Q - veličina narudžbe;
- T - vrijeme između dvije narudžbe;

⁴³Matijaščić, Z.: *Logističko inženjerstvo*, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, 2012., p.184

⁴⁴Božić, D.: *Obrtaj zaliha*, Auditorne/laboratorijske vježbe, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb

⁴⁵Matijaščić, Z.: *Logističko inženjerstvo*, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, 2012., p.184

- t - vrijeme isporuke.⁴⁶

Uz modele upravljanja zalihama su vezani troškovi, koji se mogu podijeliti u četiri skupine:

- trošak držanja zaliha (*Holding costs*);
- trošak naručivanja (*Order/Setup costs*);
- trošak zadovoljenja korisnika (*Customer satisfaction costs*);
- trošak proizvodnje i nabave (*Procurement / Manufacturing costs*).

Trošak držanja zaliha (knjigovodstveni troškovi) ovise o raznim parametrima, kao što su:

- troškovi kapitala;
- troškovi skladištenja;
- troškovi komunalnih usluga;
- radna snaga;
- osiguranje;
- zaštita;
- krađa i oštećenja;
- zastarijevanje.⁴⁷

Računska formula za izračun troškova držanja zaliha sadrži godišnji trošak držanja zaliha po jedinici na zalihama (C_h), godišnju stopu troška držanja zaliha koja se izražava u postotku (H) i jedinični trošak robe na zalihama (C).

$$Ch = H * C$$

Trošak naručivanja (*Order cost*) ne ovisi o količini koja se naručuje, a nastaje kada tvrtka kupi rezervne dijelove od dobavljača, a uključuje poštarinu, trošak telefona, trošak ispisa narudžbe, trošak transporta, te trošak kontrole kada rezervni dijelovi stignu. Uz trošak naručivanja se veže i trošak pokretanja narudžbe (*Setup cost*) koji nastaju pri proizvodnji rezervnih dijelova, a cilj im je prodaja tih rezervnih dijelova drugima. U troškove pokretanja narudžbe su uključeni troškovi pripreme strojeva (čišćenje) kao i obuka osoblja. Trošak naručivanja, odnosno trošak pokretanja narudžbe se označava s:

$$C_0 = \text{Order cost or setup cost.}^{48}$$

Trošak zadovoljenja korisnika (*Customer Satisfaction Costs*) je sam prikaz mjere zadovoljstva korisnika sa samim zalihama rezervnih dijelova. Ukoliko je korisnik nezadovoljan u većini slučajeva će pronaći drugog dobavljača, što rezultira

⁴⁶Ibid., p.185

⁴⁷Šafran, M.: *Upravljanje zalihama*, Auditorna predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

⁴⁸Šafran, M.: *Upravljanje zalihama*, Auditorna predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

gubitkom prodaje, ili će čekati dok mu se ne ispuni narudžba što također ima negativnost zbog nepoštivanja vremena korisnika. Ukoliko korisnik odluči čekati svoju narudžbu bez obzira na nezadovoljstvo, tada se pojavljuju dvije vrste troškova, a to su:

- C_b – fiksni troškovi rezervnih dijelova kojih nema trenutno na zalihama;
- C_s – godišnji troškovi čekanja korisnika na robu koje nema na zalihama

Trošak proizvodnje i nabave obuhvaća trošak po jedinici rezervnog dijela stavljenog na zalihi. Kod proizvodnje se izražava kao jedinična cijena proizvodnje, a kod nabave kao jedinična cijena kupovine koja uključuje i transport. Oznaka jediničnog troška nabave ili proizvodnje je C .

Kao glavna komponenta kod upravljanja zalihama rezervnih dijelova je potražnja. Potražnja određuje kako će se problem zaliha modelirati, te kao glavni element utječe na poslovanje, ekonomičnost, suradnju dobavljača i kupca, učinkovitost te na samu problematiku. Postoje tri stalna obrasca potražnje koja se dijele prema vremenskom intervalu, a to su:

- konstantna potražnja tijekom vremena (*Deterministic inventory models*);
- promjenjiva potražnja, ali poznata s vremenom (*Dynamic models*);
- varijabilna (slučajna) potražnja tijekom vremena (*Probabilistic models*).⁴⁹

Stopa potražnje se označava unutar računanja oznakom D , što se gleda prema satima naleta ili prema godinama.

Postupci optimiziranja kod jednostavnijih modela mogu se provoditi tako da se definira veličina narudžbe Q kao konstantna ili promjenjiva veličina, a parametar vremena isporuke t može se promatrati kao realna veličina ($t > 0$), konstantna vrijednost ($t=\text{konstanta}$) ili se može zanemariti ($t=0$).⁵⁰ U nastavku su opisani neki od modela upravljanja zalihama dostupni u literaturi broj 3.

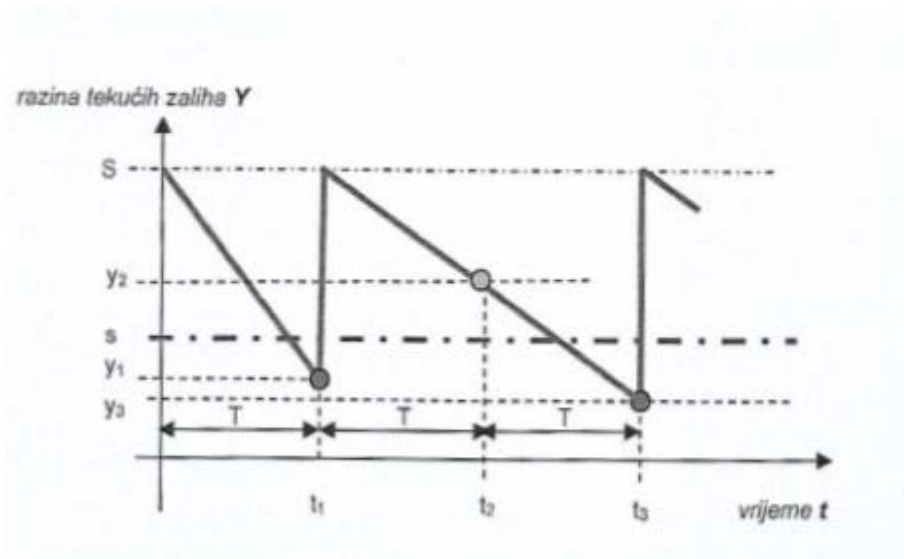
5.1. Model upravljanja zalihama i trenutačnim vremenom nabave ($s, S, \lambda=0$)

Model ($s, S, \lambda=0$), prikazan na slici 8, ima posebno važnu ulogu u upravljanju zalihama. Pripada skupini periodičnih modela, a parametri koji ga obilježavaju definiraju se kao:

⁴⁹Šafran, M.: *Upravljanje zalihama*, Auditorna predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

⁵⁰Matijaščić, Z.: *Logističko inženjerstvo*, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, 2012., p.185

- s - točka naručivanja osigurava vremenski period za ispostavu narudžbe za popunjavanje zaliha;
- S - razina naručivanja koja određuje optimalnu količinu zaliha koju treba posjedovati.⁵¹



Slika 8. Model upravljanja zalihama ($s, S, \lambda=0$) i trenutačnom nabavom

Izvor: Matijaščić, Z.: *Logističko inženjerstvo*, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, 2012.

Periodi kontrole zalihe u ovom modelu su konstantni ($T = \text{konstanta}$), vrijeme nabave je trenutačno ($\lambda=0$), a isporuka cijele količine Q je istodobna. Izraz kojim se izražava navedeni model za veličinu narudžbe Q u nekom vremenskom razdoblju vrijedi izraz:

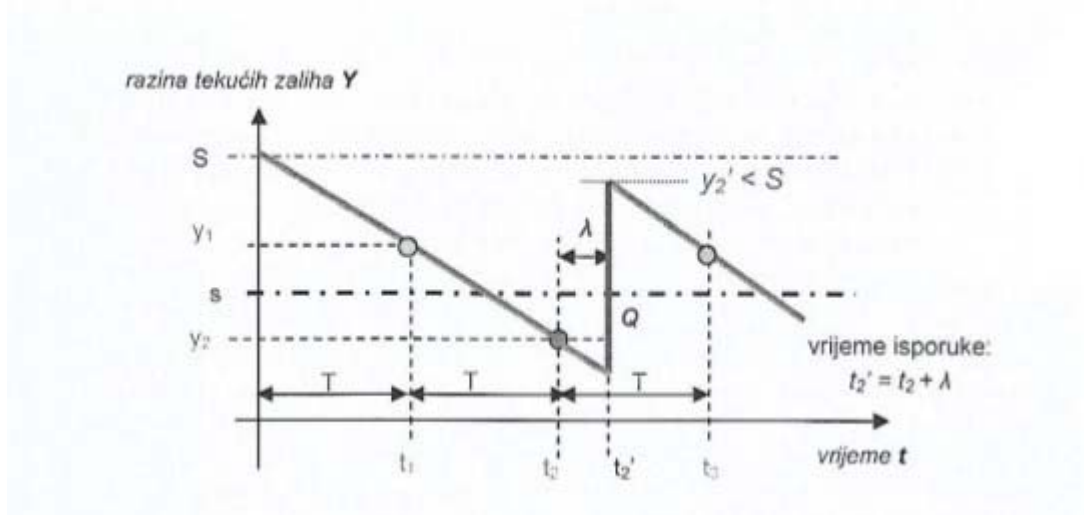
$$Q_i = \begin{cases} S - y_i & \text{ako je } y_i < s \\ 0 & \text{ako je } y_i \geq s \end{cases}^{52}$$

5.2. Model upravljanja zalihama i nabavom u realnom vremenu ($s, S, \lambda>0$)

Model upravljanja zalihama u kojemu je glavni uvjet realno vrijeme trajanja nabave ($\lambda>0$), prikazan na slici 9, uz istodobnu isporuku cijele naručene količine.

⁵¹Ibid., p.185

⁵²Ibid., p.186



Slika 9. Model upravljanja zalihama ($s, S, \lambda > 0$) i realno vrijeme nabave

Izvor: Matijaščić, Z.: *Logističko inženjerstvo*, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, 2012.

Nadzor količine zaliha, kao i u modelu s trenutnom nabavom, provodi se u istim intervalima vremena T , u trenucima $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$. Također su i uvjeti naručivanja jednaki, ali u obzir se uzima vrijeme potrebno za nabavu $\lambda \neq 0$, te će naručena količina rezervnih dijelova biti isporučena kasnije u trenutku $t_2' = t_2 + \lambda$, ali ukoliko je potražnja postojala do tog trenutka, razina zaliha u trenutku t_2' će biti manja od S , to jest $y_2' < S$.

Obilježje ovog modela je u njegovoj fleksibilnosti i brzom reagiranju na promjene u potražnji rezervnih dijelova iz skladišta. Koristi se ukoliko u sustavu nije dopušteno pojavljivanje deficita. Negativna strana ovog modela je u izvjesnom povećanju prosječne razine zaliha i osjetljivosti na potražnju. Prosječna razina zaliha se javlja kao posljedica nedopuštanja deficita zbog čega dolazi do visoke točke naručivanja. Kod neobično visoke točke naručivanja posebno je izražena osjetljivost na potražnju, jer u prethodnoj narudžbi nije naručena nova količina jer je bilo $y_i \geq s$ što može dovest do deficita.⁵³

Model ($s, S, \lambda > 0$) najčešće se upotrebljava kod neautomatiziranih sustava opskrbe i primjenjiv je u velikom broju slučajeva bez dodatnih ograničenja. Također, koristi se i kod visokokomponentnih sustava opskrbe, uz bazni period naručivanja $T_{sr} = \sum T_i / n$, to jest periodičnost nadzora zaliha određuje se kao aritmetička sredina periodičnosti pojedinih komponenti.⁵⁴

5.3. Model upravljanja zalihama s naručivanjem pri svakom periodičnom nadzoru ($S, S, \lambda > 0$)

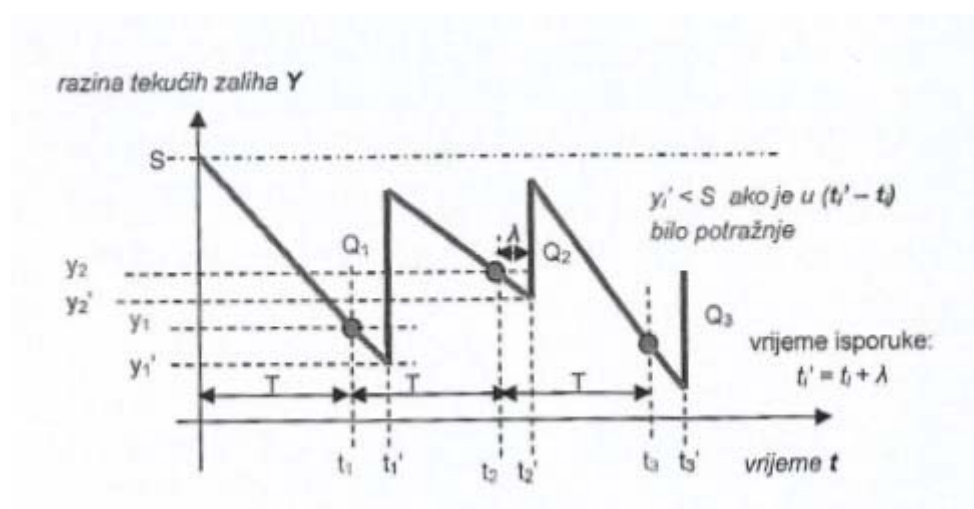
⁵³Ibid., p.187

⁵⁴Ibid., p.187

Ovaj model, prikazan na slici 10, je inačica modelu s naručivanjem u realnom vremenu. Pri svakom periodičnom nadzoru zaliha u vremenu t_i ispostavlja se narudžba veličine

$$Q_i = S - y_i$$

bez obzira na veličinu zaliha y_i , te na taj način točka naručivanja s postaje razina naručivanja S .⁵⁵



Slika 10. Model upravljanja zalihama ($S, S, \lambda > 0$) i realno vrijeme nabave

Izvor: Matijaščić, Z.: *Logističko inženjerstvo*, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, 2012.

Model ($S, S, \lambda > 0$) ima veću prosječnu razinu zaliha u odnosu na model (s, S), a time i veće troškove zaliha. Manje je osjetljiv na potražnju jer ispostavlja narudžbu pri svakom nadzoru, stoga tako tek povećana potražnja u nekom vremenskom intervalu T može dovesti do deficita.⁵⁶

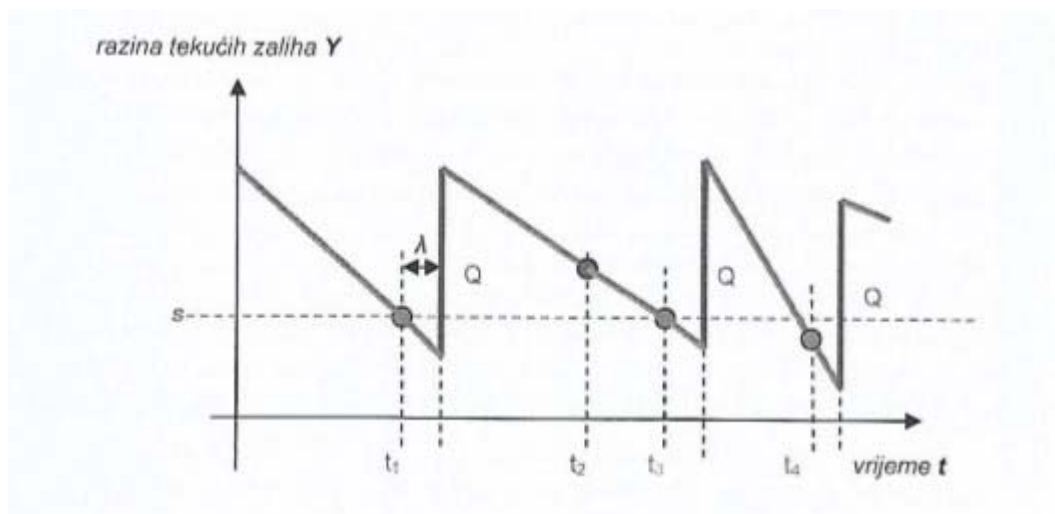
5.4. Model upravljanja zalihama s tekućim odlukama o naručivanju ($s, Q, \lambda > 0$)

Koristeći ovaj model upravljanja zalihama, prikazan na slici 11, se nakon svakog izdavanja u skladištu provodi nadzor razine zaliha. Ukoliko je točka naručivanja veća od razine zaliha u trenutku nazora ($y_i < s$) ispostavlja se ista narudžba iste količine Q . Ukoliko je $y_i \geq s$ naručivanje se ne pokreće. Ovaj model

⁵⁵Ibid., p.188

⁵⁶Ibid., p.188

pripada u kategoriju modela s tekućim odlukama o naručivanju jer razdoblja nadzora nisu unaprijed dogovorena.⁵⁷



Slika 11. Model upravljanja zalihama ($s, Q, \lambda > 0$) i realno vrijeme nabave

Izvor: Matijaščić, Z.: *Logističko inženjerstvo*, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, 2012.

Prednost ovog modela je što je manje osjetljiv na potrošnju od modela ($s, S, \lambda > 0$) jer potražnja ne utječe na sustav. Deficit je moguć pri istodobnoj nižoj točki naručivanja s , odnosno tijekom stabilizacije izuzetno visoke potražnje u dužem razdoblju i dugačkom vremenu nabave.⁵⁸

5.5. Stohastički model

Jedan od osnovnih modela za utvrđivanje potrebne količine zaliha je stohastički model. Primjenjuje se za utvrđivanje potreba za zalihama poluproizvoda. Model se zasniva na potrebama za zalihama koje su se javile u prethodnom vremenskom intervalu. Osim tog podatka, također je potrebno raspolagati podacima i proizvodnji prije tog intervala, ali i o planiranoj proizvodnji u narednom periodu. Izračun za stohastički model se zasniva na sljedećoj jednadžbi:

$$Q = \frac{Q_{z0}}{Q_{p0}} * Q_{p1}$$

gdje je:

- Q -potrebna količina određenog proizvoda;
- Q_{p0} -planirana količina proizvoda u prethodnom intervalu;
- Q_{z0} -količina potrošenih zaliha u prethodnom intervalu;

⁵⁷Ibid., p.188

⁵⁸Ibid., p.188

- Q_{p1} -planirana količina krajnjeg proizvoda u narednom vremenskom intervalu.⁵⁹

Jednostavnost ovog modela je njegova prednost, s obzirom da se pomoću tri osnovne vrijednosti omogućuje utvrđivanje potrebne količine zaliha. Nedostatak modela je što se greške iz prethodnog vremenskog intervala preslikavaju i u budući interval. Primjer za takav slučaj je ukoliko je u prethodnom vremenskom intervalu bilo 10 % neiskorištenih zaliha isto toliko će biti neiskorišteno u budućem vremenskom intervalu.

Iz navedene jednadžbe vidljivo je da troškovi nisu uključeni u ovaj model, tako da nije moguće izvršiti nikakvu procjenu mogućih troškova, to jest ušteda, koje bi s nekim drugim planom nabave bili ostvareni.⁶⁰

Ovaj model se koristi kod određivanja količine zaliha gdje nije prihvaćena neophodnost proizvodnje sa najnižim troškovima, s ciljem opstanka na tržištu. Karakterističan je kod monopolističkih poduzeća koji sve troškove proizvodnje ugrađuju u cijenu svog proizvoda i koji uspiju prodati svoju količinu koju proizvedu, te za ne-tržišnu ekonomiju.⁶¹

Također, ovaj model se uzima u obzir prilikom procjene količine zaliha za potrebe održavanja (zalihe rezervnih dijelova i potrošnog materijala) što je potpuno pogrešno. Razlog primjene navedenog modela i u održavanju je to što ovaj model raspolaže s ogromnom količinom podataka i razinom znanja koji nije karakterističan za mnoga održavanja.⁶²

⁵⁹Beker, I.: *Upravljanje zalihama*, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, 2011., p.11.

⁶⁰Ibid., p.11

⁶¹Ibid., p.12

⁶²Ibid., p.12

5.6. Deterministički modeli

Modeli upravljanja zalihama koji su se razvili u dva osnovna pravca:

- klasični
- dinamički.⁶³

Temelje se na planovima proizvodnje, a koriste pretpostavke zaliha koje mogu biti:

- količinske;
- strukturne;
- modularne.

Količinski model je najjednostavniji za određivanje potrebnih količina zaliha. Sadrži identifikaciju komponenti. Strukturni model sadrži podatke o strukturi komponente, ali i također obuhvaća i količinu zaliha. Može sadržavati samo jednu komponentu, ali i cijeli sklop. Modularna sastavnica omogućuje pojednostavljeni sustav proizvođačim jer se orijentiraju samo na jedan dio, a ne na cijeli sklop.

5.6.1. Model ekonomske količine nabave

Model ekonomske količine nabave (*Economic Order Quantity – EOQ*) je model optimalne količine nabave zaliha rezervnih dijelova kojom se ukupni varijabilni troškovi u nabavi i skladištenju dovode do minimalnog iznosa. Pomoću ovog modela se jasno prikazuje omjer troškova nabave i skladištenja.

Prilikom izračuna EOQ modela potrebno je uzeti u obzir pretpostavke pomoću kojih se određuju parametri za analizu zaliha, a to su:

- potražnja je poznata, te se događa u konstantnim intervalima;
- rezervni dijelovi imaju dug rok trajanja;
- rezervni dijelovi se nadziru pomoću kontinuiranog sustava nadzora;
- troškovi su jednaki bez obzira na period;
- cijela količina naručenih rezervnih dijelova dolazi u jednoj isporuci.⁶⁴

Optimalna EOQ politika sastoji se od narudžbi jednake veličine. Osnovna formula za izračun EOQ – a je:

$$Q = \sqrt{\frac{2DCo}{ch}}, \text{ gdje je}$$

D – potražnja u određenom vremenskom periodu (mjesec, godina);

⁶³Ibid., p.14

⁶⁴Božić, D.: *Upravljanje zalihama*, Auditorne vježbe, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb

C_0 – trošak po nabavi;

C_h – $C \cdot H$ (trošak držanja zaliha);

H – godišnja stopa troška držanja zaliha (%) – ovisi o poslovanju, a kreće se od 10 % do 15 %;

Q – količina rezervnih dijelova koja se nabavlja.⁶⁵

Prilikom izračunavanja ove veličine, potrebno je da su sve vrijednosti izražene u istim vremenskim jedinicama (na primjer: vrijeme dolaska je x dana, a planirana godišnja potreba u y komada dnevno).⁶⁶

5.6.2. Model upravljanja zalihama ukoliko postoji količinski popust

U modelu u kojem postoji količinski popust može doći do gubitka, jer bez obzira na uštedu troškova kod nabavne cijene, jer se naručuje više komponenti zbog količinskog popusta, mogu se povećati indirektni troškovi zbog čuvanja zaliha na skladištu. Stoga je potrebno odrediti postoji li razlog za korištenjem takvog modela i hoće li se ta količina zaliha potrošiti kako ne bi došlo do “*mrtvog kapitala*”. Postoje tri modela popusta na količinu:

1. popust na sve kupljene komponente proizvoda;
2. popust samo na proizvode iznad određene količine;
3. specijalni modeli.

Popust na sve kupljene komponente proizvoda omogućava kupcu da ukoliko nabavlja određenu količinu komponenti, tijekom dostignute količine rezervnih dijelova x , dobavljač mu daje popust na tu količinu, odnosno cijena će biti umanjena za neku vrijednost zbog same količine.

Popust samo na proizvode iznad određene količine najčešće koriste proizvođači rezervnih dijelova jer ispod određene količine naručenih dijelova ne umanjuju cijenu.

Specijalni modeli su manje primjenjivani od prethodna dva, ali se mogu naći kao alternative prilikom upravljanja zalihama. Stoga je moguće pronaći model upravljanja zalihama koji omogućuje optimizaciju troškova po prijevoznom sredstvu. Kada proizvođač naplaćuje kupcu trošak prijevoza, tada mu od prodajne cijene rezervnog dijela oduzima vrijednost prijevoza i ostale komponente prodaje po toj nižoj cijeni. Ukoliko je cijelo prijevozno sredstvo popunjeno, te se počinje popunjavati i drugo, cijena za te proizvode je opet veća sve dok se ne pokriju opet troškovi prijevoza tog drugog prijevoznog sredstva i nakon toga se opet smanjuje cijena proizvoda.

⁶⁵Božić, D.: *Upravljanje zalihama*, Auditorne vježbe, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb

⁶⁶Božić, D.: *Upravljanje zalihama*, Auditorne vježbe, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb

5.6.3. Dinamički modeli upravljanja zalihama

Dinamički model upravljanja zalihama se koristi kada potrebe nisu konstantne nego postoje oscilacije, takve promjene su najčešće sezonske ili ukoliko su neki trendovi aktualni, a poznati. Primjena ovog modela ovisi o određenim parametrima:

- određivanje vremenskog perioda za koje se planira nabavljanje rezervnih dijelova;
- podjela vremenskog perioda na jednak broj vremenskih intervala;
- provjera stanja zaliha i naručivanje isključivo na početku vremenskog intervala.

Postupak određivanja količine rezervnih dijelova obuhvaća dva vremenska perioda naručivanja, to je prvi vremenski interval, te svaki novi vremenski interval. U dinamičke modele pripadaju:

- Wagner-Whitin model;
- Wagelmans- Hoesel- Kolen model;
- Minimalni jedinični trošak nabave i skladištenja;
- Model uravnoteženja troškova;
- Model *“dva puta vremenski interval”*.

Wagner-Whitin (WW) model upravljanja zalihama definira optimalnu politiku kojom se postižu minimalni troškovi nabave i skladištenja potrebnih rezervnih dijelova. WW model kreće od trenutnog stanja, te se postupno dodaje svaki sljedeći interval dok se ne dođe do posljednjeg vremenskog intervala. Za ovaj model je potrebno odrediti:

- vremenski period nabave rezervnih dijelova;
- broj vremenskih intervala na koje se dijeli vremenski period nabave (najčešće su ovi intervali jednaki, ali to ne mora biti uvjet kako bi se ovaj model primjenjivao);
- troškovi transporta;
- troškovi nabave;
- troškovi skladištenja.

Wagelmans- Hoesel- Kolen (WHK) model koristi gotovo jednake uvjete kao i WW model, ali ima samo jednu razliku, a to je da se postupak izvodi do zadnjeg intervala od promatranog trenutka. Kao i WW model, WHK model daje optimalno rješenje, stoga se s gledišta točnosti ne može odrediti koji je model bolji. Međutim, s obzirom na količinu računanja, WHK model je efikasniji. Cilj oba modela je da se ostvari takav plan nabave koji će dovesti do minimalnih troškova nabave i skladištenja.

Minimalni jedinični troškovi nabave i skladištenja (*Least Unit Cost*) izračunavaju troškove nabave i skladištenja po jedinici kupljenog rezervnog dijela. Pretpostavi se

da se najniži troškovi nabave i skladištenja zaliha postižu ukoliko se nabavi potrebna količina rezervnih dijelova za prvi vremenski interval. Nakon izračuna troškova za prvi vremenski interval dolazi se do zaključka da se naruči određena količina rezervnih dijelova i za drugi vremenski interval. Ukoliko se dobiju niži troškovi, pretpostavi se da će se troškovi još više smanjivati dodavanjem količine rezervnih dijelova i za sljedeći vremenski interval. Ukoliko su troškovi viši, naručuje se samo količina rezervnih dijelova koja je prethodno bila određena dok su troškovi bili niži.

Model uravnoteženja troškova (*Cost Balancing Method*) produžuje vremenski period za koji se vrši nabava, sve dok se troškovi skladištenja i troškovi nabave ne izjednače. Glavni problem ovog modela je kada troškovi držanja zaliha za mali iznos novca premašuju troškove nabave. U tom slučaju se preporuča da se nabavlja ona količina rezervnih dijelova koja daje niže troškove skladištenja nego troškove nabave.⁶⁷

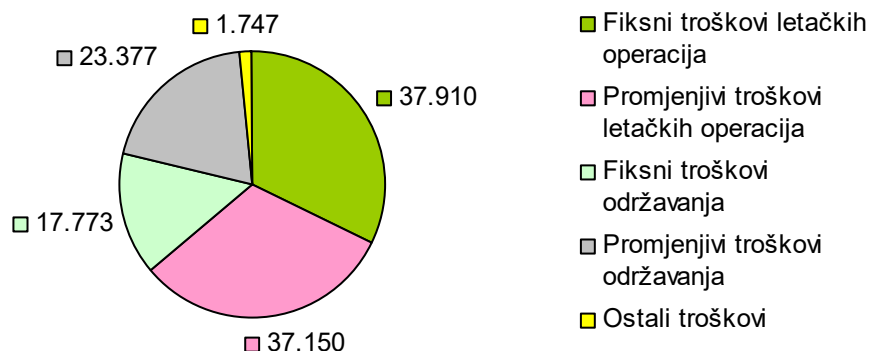
⁶⁷Beker, I.: *Upravljanje zalihama*, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad. 2011., p.12.

6. Primjena EOQ modela na upravljanje zalihama rezervnih dijelova klipnih zrakoplova

Kao što je objašnjeno u poglavlju 5.6.1. EOQ je model koji optimizira zalihe rezervnih dijelova, a minimalizira troškove nabave i skladištenja. Prema podacima koje svaka zrakoplovna kompanija sadrži, moguće je izraditi EOQ model upravljanja zalihama rezervnih dijelova.

6.1. Interpretacija EOQ-a

S obzirom da postoji više vrsta modela izračuna, odabirom EOQ-a se usmjerila pažnja isključivo na varijabilne troškove nabave i skladištenja. EOQ model se uklopio u redoviti plan održavanja jer je za cijeli ciklus od pet godina poznat podatak o potrebama za određenim rezervnim dijelovima. Ciklus od pet godina je u prosjeku jednak 2000 sati naleta zrakoplova s klipnim motorom. Na slici 12, prikazani su troškovi eksploatacije zrakoplova u jednoj godini za C172, izuzev troškova amortizacije.



Slika 12. Troškovi C-172 u jednoj godini

Izvor: Jurić, Ž. :*Izračun troškova eksploatacije školskog zrakoplova*, Diplomski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2009.

Model EOQ, kao model upravljanja zalihama rezervnim dijelovima klipnih zrakoplova, interpretiran je na primjeru HZNS-a (Hrvatsko zrakoplovno nastavno središte). HZNS u svojoj floti ima tri zrakoplova Cessna 172 u floti, Cessna 172N, prikazana na slici 13, i Cessna 172R, prikazana na slici 14, na čijem primjeru je objašnjen model upravljanja zalihama rezervnim dijelovima. Cessna 172 je jednomotorni zrakoplov, visokokrilac, s četiri sjedišta. Cessna je najuspješniji ikad

razvijen laki zrakoplov. Osnovne i letne karakteristike oba tipa zrakoplova su prikazane u tablicama 2 i 3.

Tablica 2. Osnovne karakteristike Cessna 172 N i Cessna 172 R

OSNOVNE KARAKTERISTIKE	Cessna 172 R	Cessna 172 N
Posada	1	1
Kapacitet	3 putnika	3 putnika
Dužina	8,28 m	8,22 m
Raspon krila	11 m	10,97 m
Površina krila	16,2 m ²	16,2 m ²
Visina	2,72 m	2,72 m
Masa zrakoplova	736 kg	767 kg
Maksimalna masa pri polijetanju	1113 kg	1110 kg
Korisni teret	376 kg	344 kg

Izvor: https://hr.wikipedia.org/wiki/Cessna_172, rujan 2017.

Tablica 3. Letne karakteristike Cessna 172 N i Cessna 172 R

LETNE KARAKTERISTIKE	Cessna 172 R	Cessna 172 N
Najveća brzina	228 km/h	231,5 km/h
Dolet	1272 km	1630 km
Brzina penjanja	3,7 m/s	6,1 m/s

Izvor: https://hr.wikipedia.org/wiki/Cessna_172, rujan 2017.



Slika 13. Cessna 172 N

Izvor: http://www.fpz.unizg.hr/zan/wp-content/uploads/2015/07/HZNS-7661_resize.jpg, rujan 2017.



Slika 14. Cessna 172 R

Izvor: <http://www.fpz.unizg.hr/zan/>, rujan 2017.

Interpretacija modela je iskazana na temelju dvije najčešće mijenjane komponente u jednom ciklusu zrakoplova koji iznosi 5 godina. Prva najčešće mijenjana komponenta je motorno ulje koje se mijenja svakih 50 sati naleta

zrakoplova u količini 12 QTS (1 QTS≈1 l). Ova komponenta zavisi o potrošnji ulja motora, ali i o stanju samog motora. Godišnji podatak naručenog ulja motora je 360 l. Kao drugi najčešće mijenjani dio je filter ulja. Također se mijenja svakih 50 sati naleta zrakoplova. Godišnja nabava filtera ulja je 48 komada.

HZNS zbog posjedovanja vlastitog skladišnog prostora ne pohranjuje podatke o troškovima držanja određenog rezervnog dijela na skladištu. Ukoliko se u jednom ciklusu rada zrakoplova s klipnim motorom, koji iznosi 4-5 godina, mora promijeniti određeni dio samo jednom, on se ne naručuje do zadnje godine ciklusa, kako ne bi stajao na skladištu. U prosjeku vrijeme isporuke određenog rezervnog dijela je 14 dana od dana narudžbe, čime se znatno smanjuje količina zaliha na skladištu jer nema potrebe za gomilanjem zaliha. Skladište u posjedovanju HZNS-a je veličine 30 –ak m², a održava se na temperaturi od 20 °C do 30 °C. Trošak održavanja skladišta na godišnjoj bazi je od 2000 kuna do 3000 kuna. Svi uvjeti održavanja skladišta sadržani su u dokumentu Airworthiness Advisory Circulars AAC – 020, prikazanom na slici 15, čiji su segmenti primjenjivani u praksi.



AIRWORTHINESS ADVISORY CIRCULAR

ECCAA Document AAC-020

STORAGE CONDITIONS FOR AERONAUTICAL SUPPLIES

Slika 15. Airworthiness Advisory Circular AAC – 020

Izvor: <http://www.eccaa.aero/images/stories/docs/acs/aw/AAC%20020%20-%20Storage%20Conditions%20for%20Aeronautical%20Supplies.pdf>, rujan 2017.

6.2. ABC analiza

ABC analiza dijeli zalihe rezervnih dijelova prema njihovoj važnosti i koeficijentu obrtaja. Zalihe rezervnih dijelova mogu biti niske, ukoliko su isporuke kontinuirane od strane dobavljača pojedinog rezervnog dijela. Također, određeni rezervni dio može zauzimati visoku vrijednost u ukupnoj vrijednosti svih zaliha zbog slabijeg korištenja. Stoga je potrebno rangirati rezervne dijelove prema njihovoj vrijednosti i jediničnoj prodaji.

Kod ABC analize "Pareto zakon" je temelj pomoću kojeg se rezervni dijelovi za zrakoplov s klipnim motorom dijele prema značenju i važnosti za poslovanje zrakoplovnog operatera, a u ovom slučaju HZNS-a. "Pareto zakon" ili "Paretovo pravilo" navodi da 80 % uspjeha proizlazi od 20 % aktivnosti.

Klasični Pareto dijagram prikazuje kako se 80 % vrijednosti zaliha rezervnih dijelova nalazi u svega 20 % rezervnih dijelova na zalihama, dok se u ostalih 80 % rezervnih dijelova nalazi 20 % vrijednosti.⁶⁸

Provedba ABC analize se provodi u tri faze:

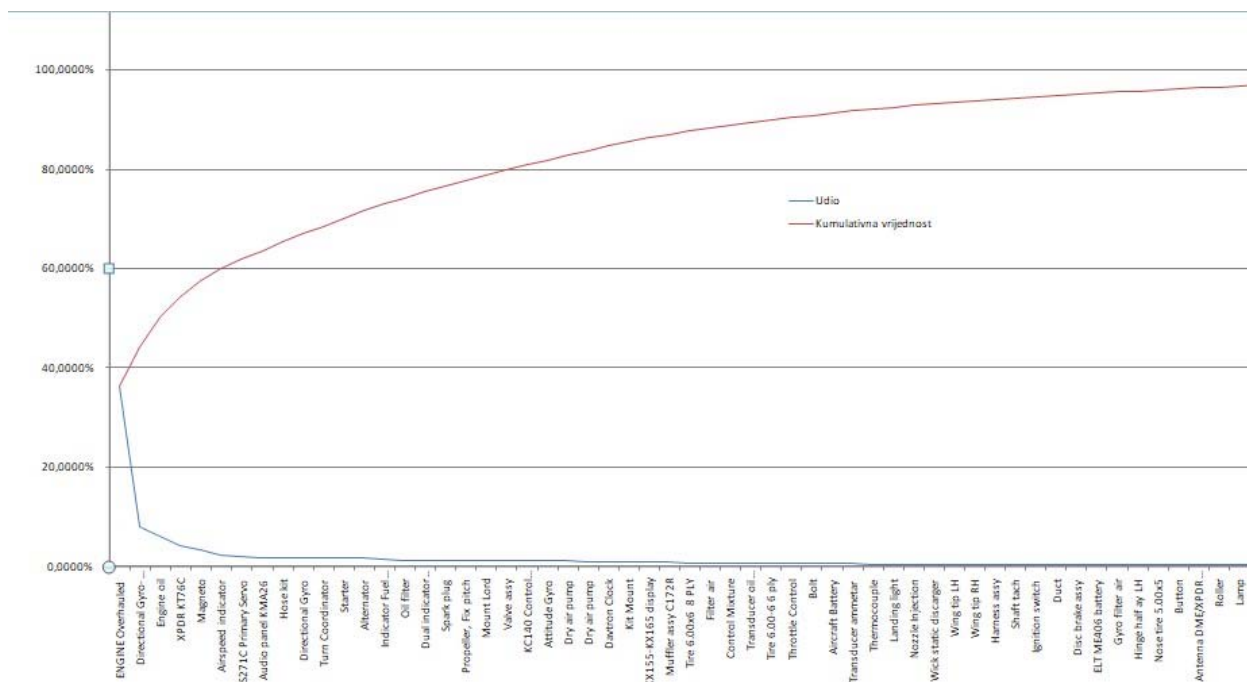
1. prikupljanje podataka o godišnjim potrebama u posljednjih 12 mjeseci, odnosno pet godina u ovom slučaju, te izračunavanje vrijednosti potražnje množenjem količina pojedinog rezervnog dijela s njegovom prosječnom nabavnom cijenom;
2. sortiranje rezervnih dijelova u padajućem slijedu prema vrijednosti godišnjih potreba te izračunavanje postotka vrijednosti pojedinog rezervnog dijela u ukupnoj vrijednosti godišnjih potreba (petogodišnjih) te kumuliranje postotnih udjela;
3. usporedba kumulativnih vrijednosti godišnjih potreba i postotka broja vrsta rezervnog dijela, prema čemu se određuju kategorije A, B i C.

Rezervni dijelovi iz skupine A su najvrijedniji što se tiče nosivosti ukupne vrijednosti, stoga se za njih preporučuje kontrola njihovih zaliha na tjednoj bazi. Na mjesečnoj razini se preispituju količine rezervnih dijelova za B kategoriju, a rezervni

⁶⁸<http://www.investopedia.com/terms/p/pareto-analysis.asp>, rujan 2017.

dijelovi kategorije C ukoliko su jeftiniji skladište se u većoj količini, ali ukoliko su skupi i ukoliko je mala potražnja, njih se ne skladišti.

Na slici 16 je prikazana primjena ABC analize zamijenjenih rezervnih dijelova u redovitom održavanju za 9A-DAD/C-172, prema grafičkom prikazu, A zalihe odnosno zalihe koje imaju najveću vrijednost su motor, usmjereni žiro-autopilot, motorno ulje, transponder, magneti, indikator brzine i servo.



Slika 16. ABC analiza zamijenjenih rezervnih dijelova u redovnom održavanju

6.3. Izračun EOQ modela zaliha rezervnih dijelova

Kao što je objašnjeno u poglavlju 5.6.1. EOQ model optimizira količinu nabave rezervnih dijelova u cilju smanjenja troškova. Formula za izračun EOQ modela je:

$$Q = \sqrt{\frac{2DC_o}{ch}},$$

gdje su potrebni podaci za izračun EOQ analize za rezervne dijelove koji u ABC analizi zauzimaju najveću vrijednost:

- D – potražnja u određenom vremenskom periodu (5 godina);
- C_o – trošak po nabavi;
- C_h – $C \cdot H$ (trošak držanja zaliha);
- H – godišnja stopa troška držanja zaliha (%);
- Q – količina rezervnih dijelova koja se nabavlja.

Kao što je objašnjeno prethodno u tekstu troškovi skladištenja su minimalni zbog posjedovanja vlastitog skladišnog prostora. Osim troškova režija i održavanja skladišta HZNS nema dodatnih troškova za skladište kao što je najam ili kredit.

U tablici 4 prikazani su podaci analiziranih rezervnih dijelova prilikom redovitog održavanja, koji su prethodno prikazani pomoću ABC analize.

Tablica 4. EOQ zaliha analiziranih rezervnih dijelova

NAZIV DIJELA	D	C ₀	C _h	EOQ
Motor	1	210	28.880,5656	0,1204= 1 kom.
Usmjereni žiro-autopilot	3	210	2.097,702	0,77502=1 kom.
Motorno ulje	531	210	8,874	5,01317=6 kom
Transponder	2	210	1.594,95	0,8888=1 kom.
Magneti	6	210	443,1996	2,3845 =3 kom.
Indikator brzine	1	210	1.789,0452	0,4845=1 kom.
Servo	1	210	1.591,2	0,51376=1 kom.

Za analizirane rezervne dijelove HZNS određuje minimalnu zalihi, dok se za neke rezervne dijelove čeka zadnja godina ciklusa da se naruče kako ne bi stajali u skladištu.

EOQ služi kako bi se smanjili troškovi naručivanja, a s time i troškovi skladišta jer se ne bi stvarale veće količine rezervnih dijelova ukoliko za tim nema potrebe.

7. Zaključak

Modeli upravljanja zalihama rezervnih dijelova se u praksi zrakoplovnih kompanija i ne koriste najčešće, jer se zrakoplovne kompanije vode podacima iz prethodnih vremena, te na temelju njih naručuju rezervne dijelove. Tehnička služba, na primjeru HZNS-a, pohranjuje podatke u sustavu za svako održavanje, bilo izvanredno ili redovno, pa prema tome odlučuje koliko će dijelova naručiti i u kojem vremenskom intervalu.

Također, kako se ne bi rezervni dijelovi gomilali u skladištu u prekomjernim količinama, tehnička služba naručuje najčešće u zadnjoj godini ciklusa većinu dijelova koji se prema arhiviranim podacima mijenjaju u redovitom održavanju zrakoplova.

Unatoč neučestalom korištenju modela, obrađeni EOQ model je dokaz kako se troškovi nabave i skladištenja mogu optimizirati i svesti na minimum pravovremenom narudžbom. Troškovi nabave su povezani s kontinuiranim praćenjem rezervnih dijelova na zrakoplovu, a troškovi skladištenja se minimaliziraju ne pohranjujuću velike količine rezervnih dijelova. U HZNS-u su troškovi skladišta neznatni, jer posjeduju vlastiti prostor, čime osiguravaju veliku uštedu za najam.

Modeli planiranja zaliha rezervnih dijelova klipnih motora su također i usko povezani s logistikom i samim održavanjem zrakoplova. Logistika omogućava povezivanje tehničkog osoblja i dokumentacije u svrhu pravovremenog održavanja zrakoplova, a održavanje zrakoplova je važno zbog njegove plovidbenosti i mogućnosti za sigurno korištenje u svrhu prijevoza.

U konkretnom slučaju HZNS-a, primjenjivanje EOQ modela bi doprinijelo dodatnom smanjenju troškova nabave jer bi se naručivali dijelovi po potrebi i ne bi postojala velika količina rezervnih dijelova koji u određenom vremenskom intervalu nisu potrebni. Za sve specijalne preglede ili zamjenu velikih komponenti, HZNS bi se mogao obratiti radionicama drugog zrakoplovnog operatera kako ne bi trebao imati dodatne troškove opreme, pohrane i ugradnje jednog takvog rezervnog dijela.

Literatura

Popis knjiga

1. Beker, I.: *Upravljanje zalihama*, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, 2011.
2. Manić, A., Razumenić, S.: *Održavanje vazduhoplova*, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2003.
3. Matijašić, Z.: *Logističko inženjerstvo*, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, 2012.

Ostali izvori

1. Bačani, I.: *Analiza ključnih pokazatelja učinkovitosti u procesu održavanja zrakoplova*, Diplomski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013.
2. Bazijanac, E.: *Tehnička eksploatacija i održavanje zrakoplova*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2007.
3. Božić, D.: *Upravljanje zalihama*, Auditorne vježbe, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb
4. Božić, D.: *Obrtaj zaliha*, Auditorne/laboratorijske vježbe, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb
5. Domitrović, A.: *Eksploatacija i održavanje zrakoplova, Program održavanja zrakoplova*, Auditorna predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.
6. Jurić, Ž.: *Izračun troškova eksploatacije školskog zrakoplova*, Diplomski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2009.
7. Pita, O.: *Održavanje zrakoplova II, Logistika održavanja zrakoplova*, Autorizirana predavanja, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, 2015.
8. Šafran, M.: *Upravljanje zalihama*, Auditorna predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

Internet izvori

1. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/ATA_100 (pristupljeno: rujan 2017.)
2. URL: <https://www.slideshare.net/southernregionfaasteam/172-preflight-checklist> (pristupljeno: rujan 2017.)
3. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/what-ata-chapters-he-asked-me-bruce-miller> (pristupljeno: rujan 2017.)
4. URL: http://www.fpz.unizg.hr/zan/wp-content/uploads/2015/07/HZNS-7661_resize.jpg (pristupljeno: rujan 2017.)
5. URL: <http://www.fpz.unizg.hr/zan/> (pristupljeno: rujan 2017.)

6. URL: <http://www.eccaa.aero/images/stories/docs/acs/aw/AAC%20020%20-%20Storage%20Conditions%20for%20Aeronautical%20Supplies.pdf>
(pristupljeno: rujan 2017.)
7. URL: http://www.fpz.unizg.hr/zan/wp-content/uploads/2016/02/CAME_MOE-Rev.13-cjelovita-verzija-potpisana.pdf (pristupljeno: rujan 2017.)
8. URL: <http://www.investopedia.com/terms/p/pareto-analysis.asp>
(pristupljeno: rujan 2017.)

Popis slika

Slika 1. Konceptija tehničkog sredstva (TS).....	5
Slika 2. Faze projekta ugradnje konceptije tehničkog sredstva PKP - propisi o kvaliteti proizvoda	6
Slika 3. Prijeletni pregled (Preflight check) za C172N	11
Slika 4. Odnos troškova, pouzdanosti i pogodnosti za održavanje	13
Slika 5. Podjela materijala u zrakoplovstvu.....	16
Slika 6. Dijagram zavisne i nezavisne potražnje	19
Slika 7. Klasifikacija zaliha.....	22
Slika 8. Model upravljanja zalihama (s, S, $\lambda=0$) i trenutačnom nabavom.....	27
Slika 9. Model upravljanja zalihama (s, S, $\lambda>0$) i realno vrijeme nabave	28
Slika 10. Model upravljanja zalihama (S,S, $\lambda>0$) i realno vrijeme nabave.....	29
Slika 11. Model upravljanja zalihama (s, Q, $\lambda>0$) i realno vrijeme nabave.....	30
Slika 12. Troškovi C-172 u jednoj godini	36
Slika 13. Cessna 172 N	38
Slika 14. Cessna 172 R	38
Slika 15. Airworthiness Advisory Circular AAC – 020	39
Slika 16. ABC analiza zamijenjenih rezervnih dijelova u redovnom održavanju	41

Popis tablica

Tablica 1. ATA specifikacije	23
------------------------------------	----

Tablica 2. Osnovne karakteristike Cessna 172 N i Cessna 172 R.....	37
Tablica 3. Letne karakteristike Cessna 172 N i Cessna 172 R.....	37
Tablica 4. EOQ zaliha analiziranih rezervnih dijelova	42



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ diplomski rad
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako 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 _____ diplomskog rada
pod naslovom **MODELI PLANIRANJA ZALIHA REZERVNIH DIJELOVA ZA**
POTREBE ODRŽAVANJA KLIPNIH ZRAKOPLOVA

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 17.9.2017 _____

Student/ica:

Mateja Pavic
(potpis)