

Izbor metode planiranja radnog rasporeda tehničkog osoblja u linijskom održavanju zrakoplova

Horvat, Yvonne

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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:119:373308>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-07**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Yvonne Horvat

**IZBOR METODE PLANIRANJA RADNOG RASPOREDA
TEHNIČKOG OSOBLJA U LINIJSKOM ODRŽAVANJU
ZRAKOPLOVA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 27. ožujka 2018.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br. 4616

Pristupnik: **Yvonne Horvat (0135229595)**
Studij: **Aeronautika**

Zadatak: **Izbor metode planiranja radnog rasporeda tehničkog osoblja u linijskom održavanju zrakoplova**

Opis zadatka:

Opisati organizacijske sustave za održavanje zrakoplova sukladno zrakoplovnim propisima. Objasniti metode koje se mogu primijeniti za planiranje radnog rasporeda osoblja prema literaturi s naglaskom na metode za zrakoplovno osoblje. Izabrati pogodnu metodu za planiranje radnog rasporeda zrakoplovno tehničkog osoblja u održavanju zrakoplova. Primijeniti izradu rasporeda za potrebe radnog rasporeda osoblja u linijskom održavanju konkretne organizacije za održavanje koja djeluje u sastavu zračnog prijevoznika.

Mentor:



doc. dr. sc. Anita Domitrović

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**IZBOR METODE PLANIRANJA RADNOG RASPOREDA
TEHNIČKOG OSOBLJA U LINIJSKOM ODRŽAVANJU
ZRAKOPLOVA**

**Selection of Aircraft Line Maintenance Staff Rostering
Method**

Mentor:
izv. prof. dr. sc. Anita Domitrović

Student:
Yvonne Horvat
JMBAG: 0135229595

Zagreb, studeni 2018.

SAŽETAK

U eksploataciji zrakoplova veliki značaj ima održavanje zrakoplova, a posebno je važna uloga licenciranog zrakoplovno - tehničkog osoblja.

Kvaliteta i djelotvornost rada osoblja između ostalog ovisi i o njihovom rasporedu rada.

U ovom diplomskom radu analiziran je problem izrade optimalnog rasporeda zrakoplovno - tehničkog osoblja u linijskom održavanju. Cilj rada je ustanoviti koja metoda je najprikladnija za rješavanje ovog problema.

Opisane su dvije metode izrade rasporeda za tehničko osoblje linijskog održavanja, genetski algoritmi i iskustvena metoda izrade rasporeda kao najčešće korištena metoda. Pomoću navedenih metoda izrađena su dva rasporeda koji su analizirani i uspoređeni.

KLJUČNE RIJEČI: linijsko održavanje zrakoplova, licencirani zrakoplovni tehničari, metode izrade rasporeda rada, genetski algoritmi, iskustvena metoda

SUMMARY

Aircraft maintenance and the licenced staff who is maintaining the aircraft pay an important role in aviation.

The quality of the staffs' work is influenced by their work schedule.

This diplomathesis analyzes the problem of designing the optimal schedule for line maintenance technical personnel. The goal of the thesis is to find out which method is most appropriate for solving this kind of problem.

Two methods for scheduling for line maintenance technical personnel are described, genetic algorithms and an experiential method of scheduling as the most commonly used method. Using both methods, two schedules were made and later analyzed and compared.

KEYWORDS: line maintenance, licenced technical personnel, methods used for making a schedule, genetic algorithms, experiential method

SADRŽAJ

SADRŽAJ.....	5
1. UVOD	1
2. PROGRAM ODRŽAVANJA ZRAKOPLOVA.....	3
2.1. Vrste održavanja.....	3
2.1.1. Preventivno održavanje.....	3
2.1.2. Održavanje "prema stanju"	4
2.1.3. Stalno praćenje stanja sustava	5
2.2. Pregledi koji čine program održavanja	5
2.2.1. Planirano održavanje	5
2.2.2. Neplanirano održavanje	7
2.3. Linijsko i bazno održavanje.....	7
3. ORGANIZACIJSKI SUSTAVI U ODRŽAVANJU ZRAKOPLOVA	9
3.1. Izrada programa održavanja.....	9
3.2. Propisi za održavanje zrakoplova	10
3.3. Organizacija za održavanje zrakoplova i organizacija za vođenje plovidbenosti zrakoplova	11
4. MODELI I METODE ZA PLANIRANJE RASPOREDA OSOBLJA.....	14
4.1. Karakteristike i tipovi problema raspoređivanja u uslužnim djelatnostima.....	15
4.2. Vrste metoda za rješavanje problema raspoređivanja	16
5. PLANIRANJE RASPOREDA ZA TEHNIČKO OSOBLJE U LINIJSKOM ODRŽAVANJU ZRAKOPLOVA	17
5.1. Genetski algoritmi	17
5.2. Iskustvena metoda izrade rasporeda	18
6. USPOREDBA METODE IZRADE RASPOREDA KORIŠTENJEM GENETSKIH ALGORITAMA S ISKUSTVENOM METODOM IZRADE RASPOREDA	19
6.1. Raspored napravljen pomoću genetskih algoritama	21
6.1.1. Analiza rasporeda izrađen genetskim algoritmima	23
6.2. Raspored napravljen iskustvenom (ručnom) metodom	24
6.2.1. Analiza rasporeda izrađen iskustvenom (ručnom) metodom.....	25
6.3. Usporedba metoda.....	25
7. ZAKLJUČAK.....	27
Popis kratica	28
Popis literature	29
Popis tablica	30
PRILOZI	31

Prilog 1. Raspored izrađen pomoću genetskih algoritama	31
Prilog 2. Raspored izrađen iskustvenom metodom - ručnim načinom izrade	32

1. UVOD

Razne tvrtke koje se bave određenim djelatnostima suočavaju se sa svakodnevnim problemom oko izrade optimalnog rasporeda rada osoblja koji će biti zadovoljavajući kako osoblju, tako i tvrtki. Primjerice, osoblje treba biti zadovoljno u smislu ravnomjernog rasporeda rada po svakom zaposleniku. Rukovodstvu tvrtke također je bitno zadovoljstvo zaposlenika, a postoji i interes optimiranja troškova rada.

Problem određivanja optimalnog rasporeda rada osoblja prisutan je i u zrakoplovstvu. Modeli izrade rasporeda naročito su potrebni tamo gdje je izražen smjenski rad, odnosno, kod letačkih posada, kabinskog osoblja i osoblja za održavanje zrakoplova.

U ovom diplomskom radu analizira se problem izrade rasporeda rada tehničkog osoblja koje provodi linijsko održavanje zrakoplova.

Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Program održavanja zrakoplova
3. Organizacijski sustav u održavanju zrakoplova
4. Modeli i metode za planiranje rasporeda osoblja
5. Planiranje rasporeda za tehničko osoblje u linijskom održavanju zrakoplova
6. Usporedba metode izrade rasporeda korištenjem genetskih algoritama s iskustvenom metodom
7. Zaključak

Nakon uvoda, u drugom poglavlju dan je kratak osvrt na povijesni razvoj održavanja zrakoplova i njegov napredak kroz primjenu. Opisan je program održavanja zrakoplova te su navedeni pregledi koje sadrži program. Pojašnjeni su pojmovi linijskog i baznog održavanja.

U trećem poglavlju opisan je postupak izrade programa održavanja te koji se propisi moraju slijediti prilikom održavanja zrakoplova. Objašnjena je struktura organizacije koja se bavi održavanjem zrakoplova.

Metode koje se mogu koristiti za izradu rasporeda predstavljene su i pojašnjene u četvrtom poglavlju.

U petom poglavlju opisane su dvije odabrane metode za izradu rasporeda čiji se rezultati nadalje u radu analiziraju i uspoređuju.

Osnovni parametri i ograničenja koje je potrebno odrediti prije izrade rasporeda navedeni su u šestom poglavlju. Također se opisuju, analiziraju i uspoređuju rasporedi dobiveni pomoću obje metode.

U sedmom poglavlju navedene su bitne stavke iz rada te zaključak rada.

2. PROGRAM ODRŽAVANJA ZRAKOPLOVA

S obzirom da je zrakoplovstvo grana prometa koja iz godine u godinu sve više raste te je broj sudionika sve veći, sigurnost je vrlo bitna značajka. Za ostvarenje sigurnosti leta, veliku ulogu ima održavanje zrakoplova.

Postoji više definicija pojma održavanja no najjednostavnije se može reći: „Održavanje (*engl. Maintenance*) je skup aktivnosti s ciljem da se sredstvo u eksploataciji održi ispravnim“ [1].

Svi radovi koji se izvršavaju na zrakoplovu tijekom njegove eksploatacije, bilo oni na samoj strukturi zrakoplova, njegovoj pogonskoj grupi ili nekom drugom njegovom dijelu, opisani su u programu održavanja. Osim toga, u programu održavanja jasno su definirani postupci održavanja, način izvršenja radova održavanja te intervali održavanja pojedinog dijela, komponente ili sustava.

2.1. Vrste održavanja

U prvim godinama razvoja zrakoplovstva nije postojao način održavanja kao što je to danas. Prikupljanjem iskustava, razvojem tehnologije te učenjem na vlastitim greškama, uslijed nesreća ili nezgoda, razvilo se održavanje kakvo se primjenjuje danas.

Postoji nekoliko podjela održavanja, primjerice, na preventivno i korektivno, planirano i neplanirano, linijsko i bazno, i slično.

U nastavku rada, daju se objašnjenja vrsta održavanja.

2.1.1. Preventivno održavanje

Prvi model održavanja zrakoplova koji se temelji na prikupljenim iskustvima o resursima zrakoplovnih motora zasniva se na modelu preventivnog održavanja. Za sve dijelove zrakoplova prethodno je određen i postavljen u skladu s preporukama proizvođača zagarantirani fiksni životni vijek (*engl. Hard Time*) [2]. Ovaj model održavanja nalaže da se dijelovi ili komponente zrakoplova moraju zamijeniti nakon isteka fiksnog radnog vijeka.

Preventivno održavanje provodi se nakon određenog fiksnog intervala za pojedini dio, komponentu ili sustav zrakoplova. Interval zamjene može biti izražen u satima leta (*engl. flight hours, FH*), u ciklusima leta (*engl. flight cycles, FCY*), brojem slijetanja (*engl. number of landings*) ili kalendarski, odnosno u danima, mjesecima ili godinama [3].

Ovaj model koristio se za sve dijelove ili komponente zrakoplova u početku razvoja zrakoplova i sustava održavanja. Pokazao se kao neefikasan s obzirom da bi rasklapanje komponenata i sklopova često bilo nepotrebno zbog preostalog vremena mogućeg ispravnog rada. Takvim načinom održavanja došlo bi do smanjene pouzdanosti¹komпоненata i sustava zrakoplova te povećanja intenziteta otkaza zbog problema uhadavanja ponovno sklopljenih dijelova komponenata ili sustava. [2]

Bez obzira na neefikasnost modela, održavanje sukladno fiksnom radnom vijeku (engl. *hard time*) danas se i dalje primjenjuje za dijelove komponenata ili sustava koji imaju veliki utjecaj na sigurnost operacije zrakoplova, primjerice za zrakoplovne motore. Zrakoplovni klipni motor ima određeno vrijeme između dva generalna poporavka motora izraženo u satima leta (engl. *Time Between Overhaul, TBO*²) [4], dok dijelovi modula mlaznog motora s ograničenim radnim vijekom (engl. *Life Limited Parts, LLPs*) imaju ograničeni radni vijek izražen u ciklusima motora, nakon kojeg vremena se dijelovi moraju zamijeniti novim.

2.1.2. Održavanje "prema stanju"

Nakon drugog svjetskog rata iz preventivnog održavanja razvija se novi sustav održavanja pod nazivom održavanje prema (zatečenom) stanju (engl. *On Condition*). [2]

Prema ovom modelu održavanje se provodi u odnosu na stanje sredstva umjesto nakon određenog radnog vijeka. Pregledom stanja sredstva određuju se određeni parametri. Akcija održavanja će se provesti ukoliko se vrijednosti približe kritičnim vrijednostima prije nego što dođe do otkaza.

U odnosu na prijašnju opisanu metodu, ova metoda se pokazala efikasna s obzirom da je izbjegnuta prijevremena razmjena komponenti te je time postignuto ekonomičnije održavanje. [5]

1 Pouzdanost (engl. *reliability*) - vjerojatnost da će sredstvo izvršiti zadanu funkciju u zadanim uvjetima i u tijeku zadanog vremena

2 TBO (engl. *Time Between Overhaul*) - ograničeni radni vijek - preporučeno radno vrijeme od strane proizvođača nakon kojeg je motoru ili komponenti zrakoplova potreban remont

2.1.3. Stalno praćenje stanja sustava

Na temelju programama pouzdanosti³ početkom šezdesetih godina prošloga stoljeća razvijaju se sustavi održavanja koji u obzir uzimaju veći broj čimbenika kako bi se odredile preventivne akcije održavanja različite za isti tip motora.

Ovaj model održavanja, za razliku od preventivnih modela, nije pojedinačna aktivnost nego čini kompletan proces.

Stalno praćenje stanja sustava (*engl. Condition Monitoring*) omogućeno je razvojem tehnologije senzora koji stalno pružaju informaciju o radu zrakoplova, a naročito se primjenjuju za praćenje rada zrakoplovnih mlaznih motora. Ovaj koncept pruža mogućnost stalnog uvida u stanje sredstva i primjenu odgovarajućih aktivnosti održavanja. [2]

2.2. Pregledi koji čine program održavanja

U programu održavanja nalaze se upute koje se moraju slijediti kako bi zrakoplov zadržao kontinuiranu plovidbenost⁴. Svaki zrakoplov mora se održavati po pravilima napisanima u programu održavanja kojeg je odobrila nadležna zrakoplovna vlast.

Program održavanja sadrži plan i sadržaj pregleda koji su u sklopu preventivnog tj. planiranog održavanja (*engl. Planned maintenance*) te preglede izvanrednog održavanja tj. neplaniranog (*engl. Unscheduled maintenance*), koje se moraju provesti na zrakoplovu ili komponenti nakon nekih nepredviđenih događaja u eksploataciji, primjerice sudara sa stranim objektom, tvrdog slijetanja, i slično. [6]

2.2.1. Planirano održavanje

Planirano održavanje je preventivno održavanje koje se sastoji od radnih naloga. Cilj mu je održati ispravno stanje zrakoplova. Radni zadaci su unaprijed određeni intervalima. Za različite komponente zrakoplova postoje različiti intervali:

- po satima naleta (*engl. Flight Hours*),

³ Program pouzdanosti (*engl. Reliability Programmes*) - program po kojem je operator pod određenim uvjetima obavezan pratiti pouzdanost zrakoplova u eksploataciji, a koji je definiran zahtjevima za plovidbenost zrakoplova, odnosno PART M zrakoplovnim pripisima.

⁴ Kontinuirana plovidbenost (*engl. Continuing Airworthiness*) - svi procesi koji osiguravaju da zrakoplov u bilo koje vrijeme tijekom svog radnog vijeka udovoljava važećim zahtjevima za plovidbenost te da je u stanju za sigurno izvođenje operacija.

- po broju slijetanja,
- po broju ciklusa⁵,
- kalendarsko vrijeme (mjeseci/godine).

Različite komponente zrakoplova se održavaju prema različitim intervalima. Npr. podvozje zrakoplova se održava u odnosu na broj slijetanja, motori se održavaju prema broju ciklusa, a provjera korozije se obavlja u odnosu na kalendarsko vrijeme.

Također se razlikuju pregledi koji se održavaju s obzirom na određeni interval. Intervali provjere zrakoplova podijeljeni su u četiri kategorije te su ti pregledi nazvani glavnim pregledima. Glavni pregledi velikih zrakoplova obično se dijele na sljedeće:

- glavna provjera (*engl. D - check*),
- među-provjera (*engl. C-check*) - provjeravaju se komponente koje se ne mogu planirati u glavnu provjeru,
- servisni pregled (*engl. B-check*),
- pregled na platformi (*engl. A-check*). [2]

U tablici 1. prikazani su glavni pregledi s obzirom na intervale prema kojima se odrađuju te s obzirom na vrijeme trajanja samog pregleda.

Tablica 1. Glavni pregledi

Pregled	Interval	Vrijeme trajanja pregleda
Glavna provjera - D check	15 000 - 18 000 sati naleta (ili 4 -5 godina prosječne eksploatacije)	25 do 30 dana
Među-provjera - C check	3 500 - 4 500 sati naleta	7 do 10 dana
Servisni pregled - B check	800 - 3 000 sati naleta (ili svakih 6 mjeseci)	2 do 3 dana
Pregled na platformi - A check	125 - 500 sati naleta	3 do 10 sati

Izvor: [1]

Program održavanja općenito sadrži preglede koji se mogu razvrstati na sljedeće preglede:

- servisni pregledi - predpoletni, tranzitni, dnevni pregledi (pregled nakon zadnjeg leta u danu) te pregledi namijenjeni obilnijim servisima i preventivnim radovima, uključujući i otklanjanje kvarova,

⁵ Ciklus - interval od pokretanja do gašenja motora.

- povremeni pregledi - radovi redovitog održavanja, preventivno održavanje, otklanjanje kvarova i obavljanje manjih modifikacija,
- radovi velike obnove, tj. blok pregledi - radovi obnove (*engl. overhaul*),
- posebni pregledi - pregled nakon izvanredne situacije u kojoj se zrakoplov našao pri kojoj je mogla biti ugrožena sigurna plovidbenost zrakoplova,
- pregledi tj. provjere u letu - pregled cjelokupnog zrakoplova sa svim njegovim komponentama i sustavima u svim fazama leta,
- pregledi za utvrđivanje plovidbenosti⁶ zrakoplova - pregled kojim se utvrđuje sposobnost zrakoplova za sigurnu zračnu plovidbu,
- ostale provjere - specijalni pregledi koji se obavljaju u pauzama reda letenja te traju 5 do 6 sati,

Osim navedenih pregleda u plan održavanja uvrštavaju se i radovi kao što su:

- bojanje - poduzima se tijekom glavnog pregleda ili svake 4 godine ukoliko nije obavljeno na glavnom pregledu. Za bojanje velikog zrakoplova potrebno je oko 18 dana,
- pranje - također se planira periodično s obzirom da nakupine prljavštine na zrakoplovu mogu povećati aerodinamički otpor te promijeniti izgled zrakoplova. [1]

2.2.2. Neplanirano održavanje

Neplanirano održavanje je potpuno različito od planiranog. Ono ne ovisi o određenom intervalu već se izvodi kao korektivna mjera kada dođe do kvara neke komponente ili sustava zrakoplova. [1] Može se smatrati korektivnim održavanjem.

Do neplaniranog održavanja dolazi također nakon što je zrakoplov bio u nekoj izvanrednoj situaciji kao npr. nakon tvrdog slijetanja, nakon što je zrakoplov letio brzinom koja je veća od preporučene, nakon udara groma i drugo. [6]

2.3. Linijsko i bazno održavanje

Osim navedenih vrsta održavanja u programu održavanja također se mogu naći pojmovi linijsko i bazno održavanje. Ne postoji jasna podjela između linijskog i baznog održavanja, već operater zrakoplova ovisno o uvjetima eksploatacije i

⁶ Plovidbenost (*engl. Airworthiness*) - sposobnost zrakoplova ili neke druge letjelice za obavljanje sigurne zračne plovidbe bez ugrožavanja sigurnosti posade, zemaljske posade, putnika ili drugih.

održavanja, određuje do koje razine pregleda je linijsko, a od koje bazno održavanje. Nazivi održavanja, linijsko i bazno (engl. *line and base maintenance*) ukazuju na vrste održavanja. U slučaju linijskog održavanja, obično se odnosi na aktivnosti održavanja koje je moguće provesti „na liniji“, tj. u okolini mjesta parkiranja zrakoplova, na otvorenom prostoru, pa obično sadrži manji opseg pregleda i popravaka zrakoplova. U slučaju baznog održavanja, radi se o svim ostalim pregledima koji se obavljaju „u bazi zrakoplova“, tj. u hangaru za održavanje.

Definirano prema literaturi JAA TGL (engl. *Joint Aviation Authority Temporary Guidance Leaflet*), linijsko održavanje može se definirati kao bilo koje održavanje koje je napravljeno prije leta zrakoplova kako bi se osigurala spremnost zrakoplova za namijenjeni let. Aktivnosti koje se provode u okviru linijskog održavanja su[3]:

- detekcija i otklanjanje kvarova,
- zamjena komponenti,
- zamjena motora i propelera,
- redovni servisni pregledi,
- manji popravci i modifikacije.

Bazno održavanje, za razliku od linijskog, obuhvaća aktivnosti koje su zahtjevnije i dugotrajnije, no zbog toga je učestalost ovakvog tipa održavanja manja. Obuhvaća radove planiranog (A, B, C i D preglede) i neplaniranog održavanja (manji popravci konstrukcije, otklanjanje kvarova, posebni pregledi i slično.). Može se reći da u bazno održavanje spadaju svi radovi koji se ne obavljaju u linijskom održavanju, a to su opsežni pregledi strukture i komponenti zrakoplova. Zbog svega navedenog radovi baznog održavanja izvode se u hangaru. [6]

3. ORGANIZACIJSKI SUSTAVI U ODRŽAVANJU ZRAKOPLOVA

S obzirom da se jednim letom može prevesti veći broj putnika nego što se to može uobičajenim prijevoznih sredstvima, sigurnost zračnog prijevoza mora biti vrlo visoka. Jedan od načina održavanja visoke sigurnosti zračnog prijevoza je poštivanje strogih pravila tijekom održavanja zrakoplova.

U ovom poglavlju opisuju se organizacijski sustavi unutar kojih se odvijaju procesi održavanja, odnosno organizacije za vođenje i produljenje plovidbenosti zrakoplova i organizacije koje provode aktivnosti održavanja zrakoplova.

3.1. Izrada programa održavanja

Program održavanja izrađuje operater ili vlasnik zrakoplova, ili organizacija koja izrađuje dokumentaciju za program održavanja, posebno za svaki tip zrakoplova. Ono mora biti u skladu sa:

- zahtjevima za održavanje definiranim od nadležnih zrakoplovnih vlasti zemlje proizvođača,
- zahtjevima za održavanje definiranim od nadležnih zrakoplovnih vlasti zemlje registracije zrakoplova
- tehničkim uputama proizvođača za održavanje tipa zrakoplova, pogonske grupe, zrakoplovnih sustava i opreme.

Početak izrade programa održavanja novog zrakoplova temelji se na dokumentu ATA Priručnik MSG-3. Nadalje je potrebno izraditi prijedlog programa održavanja. Njega izrađuje Odbor za ocjenjivanje održavanja (*engl. Maintenance Review Board - MRB*). Odbor čini radna grupa stručnjaka, sačinjena od predstavnika proizvođača, operatera te zrakoplovnih vlasti proizvođača zrakoplova.

Izrađeni prijedlog pregledava Upravni odbor MRB te ga nadopunjuje ukoliko je to potrebno. Pregledani prijedlog se nadalje šalje zrakoplovnim vlastima proizvođača koji ga također pregledava, ispravlja i nadopunjuje.

Nakon ovjere izdaje ga kao svoj dokument MRBR (*engl. Maintenance Review Board Report*) za izradu programa održavanja u kojem su definirani osnovni i minimalni zahtjevi za početno održavanje strukture, sustava i komponenti zrakoplova.

Na temelju MRBR dokumenta proizvođač zrakoplova nastavlja s nadopunom programa održavanja te izrađuje dokument za planiranje održavanja (*engl. Maintenance Planning Document - MPD*). MPD dokument sastoji se od:

- svih radnih zadataka iz dokumenta MRBR,

- dodatnih zahtjeva od proizvođača zrakoplova,
- dodatnih zahtjeva zbog modifikacija i posebnih susatava ugrađenih po dodatnim zahtjevima.

MPD dokument predaje se korisniku zrakoplova koji ga koristi pri izradi programa održavanja.

Korisnik zrakoplova ili ovlaštena organizacija za izradu programa održavanja izrađuje dokument na temelju MPD dokumenta pod nazivom Zahtjevi za održavanje zrakoplova (*engl. Maintenance Requirements - MRQ*). MRQ dokument mora biti odobren od CAA zemlje gdje je zrakoplov u registru a sastoji se od:

- zahtjeva za specifične uvjete eksploatacije,
- zahtjeva za ekonomičnije poslovanje,
- zahtjeva za izgled,
- zahtjeva glede čistoće enterijera i drugo.

Tek nakon usvajanja MRQ dokumenta započinje izrada početnog programa održavanja zrakoplova koji se naknadno i kontinuirano nadopunjuje na temelju:

- naredbi o plovidbenosti (*engl. Airworthiness Directives - AD*),
- zahtjevima CAA gdje je zrakoplov registriran,
- servisnih biltena⁷ (*engl. Service Bulletins - SB*),
- servisnih pisama⁸ (*Service Letters - SL*),
- zahtjeva korisnika,
- modifikacija. [1]

3.2. Propisi za održavanje zrakoplova

U zemljama Europske unije su na snazi dva propisa koja su najvažnija prilikom regulacije održavanja zrakoplova. To su:

- EASA⁹ Part M: Kontinuirana plovidbenost (*engl. Continuing Airworthiness*) - opisani su tehnički zahtjevi i način osiguranja kontinuirane plovidbenosti,

⁷ Servisni bilteni (*engl. Service Bulletins*) - dokument izdan od strane proizvođača u kojem se nalaze prijedlozi o modifikacijama na zrakoplovu i njegovim sustavima. Servisni bilteni se ne moraju izvršiti osim kada se radi o povećanju sigurnosti i utjecaja na plovidbenost.

⁸ Servisna pisma (*engl. Service Letters*) - dokument izdan od strane proizvođača u kojem se nalaze informacije kako poboljšati njihov proizvod te na koji način ga modificirati da mu se poveća sigurnost, pouzdanost te smanje troškovi. Za razliku od servisnih biltena, servisna pisma nikada nisu naredbeni dokumenti.

- EASA Part 145: Odobrena organizacija za održavanje (*engl. Approved Maintenance Organisation*) - opisani su zahtjevi za izdavanje ili produljenje ovlaštenja organizacije za održavanje zrakoplova i njegovih komponenti.

Također su na snazi dodatna dva propisa vezano za školovanje tehničkog osoblja:

- PART 66 - opisani su zahtjevi koje tehničko osoblje mora ispuniti za stjecanje licence,
- PART 147 - opisani su kriteriji koje mora imati ustanova za teoretsko i praktično školovanje tehničkog osoblja.

Navedeni propisi su detaljno objašnjeni u dokumentu pod nazivom *Commission Regulation (EC) No. 2024/2003 of 20th November 2003. on the continuing airworthiness of aircraft and aeronautical products, parts and appliances, and on the approval of organisations and personnel involved in these tasks.* [1]

Prije primjenjivanja EASA-inih regulativa na snazi su bile JAA regulative. JAA (*engl. Joint Aviation Authority*) je udruženje zrakoplovnih vlasti sa 38 država članica. Djelovala je od 1970. godine do 2002. godine, kada EASA u potpunosti preuzima poslovanje JAA-a. [3]

3.3. Organizacija za održavanje zrakoplova i organizacija za vođenje plovidbenosti zrakoplova

Da bi neka organizacija za održavanje zrakoplova postala certificirana sukladno PART-u 145, odnosno odobrena organizacija za održavanje (*engl. Approved Maintenance Organisation, AMO*) mora ispuniti slijedeće osnovne uvjete:

- imati odgovarajući prostor u kojem će se održavanje odvijati ovisno o veličini i tipu zrakoplova koje održava,
- posjedovati propisani alat i opremu odgovarajuću za opseg radova i aktivnosti održavanja koje organizacija provodi,
- imati zaposleno licencirano tehničko osoblje,
- posjedovati tehničku dokumentaciju (priručnike za održavanje)
- izraditi organizacijsku dokumentaciju, prvenstveno Organizacijski priručnik (*engl. Maintenance organization exposition, MOE*), odnosno priručnik u kojem je opisano kako organizacija ispunjava zahtjeve PART 145 standarda.

9 EASA (*engl. European Aviation Safety Agency*) - Europska agencija za zrakoplovnu sigurnost; agencija osnovana od strane Europske Unije sa svrhom održavanja velike razine sigurnosti civilnog zračnog prometa.

Tehničko osoblje zaposleno u organizaciji za održavanje zrakoplova mora imati licencu koju izdaju zrakoplovne vlasti. Organizacija mora imati zaposleno i certificirano osoblje, koje uz licencu posjeduje internu autorizaciju koju izdaje menadžer kvalitete organizacije.

Licence, tj. dozvole zrakoplovnih tehničara prema PART-u 66 dijele se na sljedeće kategorije:

- kategorija A - dozvola za linijsko održavanje i otklanjanje manjih kvarova,
- kategorija B1 - dozvola za strukturu i mehaničke i električke sustave, (tzv. „ZIM“)
- kategorija B2 - dozvola za električke i elektronske uređaje i sustave (tzv. „IRE“)
- kategorija C - dozvola ovlaštenog inženjera u bazi vlasnika zrakoplova (najčešće u CAMO organizaciji gdje izvodi pripremu i planiranje radova). Može biti ovlašten za potpisivanje radova zrakoplova u cjelini.

Zrakoplovni tehničari koji imaju licencu kategorije B1 i B2 imaju ovlaštenje za otklanjanje kvarova tijekom neplaniranog održavanja te sudjeluju u izvršenju radova tijekom planiranog održavanja, a ako su ujedno i certificirano osoblje, nakon linijskih i baznih radova imaju pravo izdati i potpisati Potvrdu o vraćanju zrakoplova u uporabu, (*engl. Certificate of Release to Service* , CRS), tj. dokument kojim se zrakoplov ili dio zrakoplova ili njegova komponenta vraća u uporabu nakon održavanja). [1], [3]

Nakon ispunjavanja navedenih uvjeta organizacija postaje odobrena organizacija za održavanje zrakoplova prema PART-u 145 (*engl. Approved Maintenance Organization - AMO*).

Organizacija za održavanje zrakoplova može biti samostalna ili u sklopu operatera, tj. operater može imati svoju službu za održavanje zrakoplova.

Ukoliko je organizacija za održavanje posluje samostalno na tržištu, tada operator ugovara aktivnosti održavanja te u ugovoru opisuje odnos s operaterom.

Svaki operater zrakoplova mora osnovati ili ugovoriti organizaciju za vođenje kontinuirane providbenosti zrakoplova prema PART-u M, pododjeljak G (*engl. subpart G*) - CAMO (*engl. Continuing Airworthiness Managemet Organization*). CAMO organizacija mora imati priručnik CAME (*engl. Continuing Airworthiness Management Exposition*) koji opisuje na koji način organizacija ispunjava zahtjeve PART M propisa, pododjeljka G. U priručniku je također definirano kako će se voditi, izdavati i produljivati kontinuirana plovidbenost zrakoplova. [1]

Ukoliko operater ima vlastitu organizaciju za vođenje plovidbenosti zrakoplova i vlastitu organizaciju za održavanje zrakoplova, tada se ispunjavanje zahtjeva prema PART-u 145, odnosno PART-u M mogu opisati u priručniku CAME/MOE. Takav, integrirani priručnik, tada obično opisuje organizacijsku shemu operatera te načine

vođenja i produljenja plovidbenosti zrakoplova, ospeg i načine provođenja aktivnosti održavanja te procedure sustava sigurnosti i kvalitete. [5]

4. MODELI I METODE ZA PLANIRANJE RASPOREDA OSOBLJA

Problemi s kojima se zračni prijevoznici svakodnevno susreću mogu se pronaći u raznim područjima rada zračnog prijevoznika. Problemi se uglavnom svode na balansiranje odnosa sigurnosti i troškova eksploatacije i održavanja zrakoplova. Za određene probleme, rješenja se traže u svakodnevnoj praksi zračnog prijevoznika, a pretraživanjem literature može se zaključiti da se analizom problema i prijedlozima rješenja bave i akademski i znanstveni radovi, odnosno, završni i diplomski radovi, magistarski i doktorski radovi, znanstveni radovi objavljeni u zbornicima radova sa konferencija i članci u znanstvenim časopisima te udžbenici.

Jedan od problema kojim se bavi predmetna literatura je određivanje i izrada plana osoblja, i to planiranje zrakoplovnog letačkog, kabinskog i tehničkog osoblja. S obzirom da se u ovom slučaju radi o raspoređivanju koje je povezano s čovjekom, postoji veliki broj varijabli i ograničenja koja se moraju uzeti u obzir prilikom izrade plana.

Osim tog problema postoji i problem kako na učinkoviti način odrediti plan leta za što manji broj zrakoplova a da pri tome svi letovi budu pokriveni s najmanje jednim zrakoplovom. Iz područja održavanja, obrađuju se problemi optimiranja zamjene dijelova zrakoplova ili flote obzirom na istek životnog vijeka dijela ili komponente zrakoplova te problemi određivanja optimalne zalihe rezervnih dijelova.

Kako u zrakoplovstvu, tako i u drugim djelatnostima postoje slični problemi, no način na koji se dolazi do njegovih rješenja se uvelike razlikuje. Kako je način dolaska do rješenja drugačiji, tako je i kompleksnost nalaženja rješenja drugačija. Rješenja ponajviše ovise o vrsti problema te o broju ograničenja koja se ne bi trebala prekršiti, a koja se postavljaju prilikom definiranja problema.

Postoje različite metode pomoću kojih se dolazi do cilja: u praksi, organizacije i poduzeća uglavnom pribjegavaju iskustvenim metodama, odnosno ručnoj izradi plana i rasporeda, ili upotrebom gotovih programskih računalnih sustava (*software-a*), dok se akademski i znanstveni radovi bave izradom rasporeda pomoću matematičkih proračuna i algoritama, odnosno primjenom metoda optimiranja.

U nastavku ovog poglavlja daje se kratki pregled podjele problema te vrsta metoda koje se susreću u literaturi za rješavanje problema raspoređivanja.

4.1. Karakteristike i tipovi problema raspoređivanja u uslužnim djelatnostima

Autor Michael L. Pinedo, matematičar koji se bavi područjem planiranja i izrade rasporeda, u svojoj knjizi *“Planning and Scheduling in Manufacturing and Services”*, izdavača *Springer (Science&Business Media)* iz 2005. godine, objašnjava specifičnosti uslužnih zanimanja (u koje se ubraja i usluga održavanja zrakoplova), gdje se aktivnosti provode za naručitelja (korisnika) usluge, koji uslugu želi dobiti „na vrijeme“. Primjer za to su aktivnosti usluge održavanja zrakoplova u vlasništvu nekog operatera zrakoplova, koji definira rok za održavanje zrakoplova, zbog planirane eksploatacije nakon održavanja zrakoplova.

Problem izvođenja aktivnosti održavanja u roku definiranom od strane operatera zrakoplova značajno ovisi o raspoloživosti i rasporedu tehničkog osoblja za održavanje zrakoplova.

Sljedeća specifičnost uslužnih zanimanja, koje autor navodi, je to da u uslužnim djelatnostima resursi nisu fiksni, nego mogu varirati s vremenom. Problem raspoređivanja tehničkog osoblja za održavanje također se uklapa u to, jer broj raspoloživih tehničara može varirati tijekom održavanja, zbog npr. bolovanja ili odljeva osoblja iz organizacije.

Prema istom autoru, postoji nekoliko klasa modela planiranja i raspoređivanja aktivnosti u području uslužnih djelatnosti. U klasama modela, mogu se izdvojiti modeli primjenjivi u zrakoplovstvu:

- klasa modela planiranja i raspoređivanja aktivnosti projektiranja, koja se u području zrakoplovstva primjenjiva primjerice kod izgradnje nosača zrakoplova,
- klasa modela za rezervacijske sustave i redove vožnje, koje se u području zrakoplovstva susreću na primjer kod izrade reda letenja,
- klasa modela raspoređivanja transportnih aktivnosti, koje je značajno za letove zrakoplova, ali je primjenjivo na željezničke i pomorske linije. Prilikom postavljanja modela definira se aktivnost koja se realizira prijevoznim sredstvom (npr. zrakoplov ili brod). Dio puta ili leta mora se realizirati tijekom zadanog vremenskog okvira, što predstavlja zadano ograničenje procesa te može biti realiziran u kombinaciji s drugim letom, odnosno drugim zrakoplovom. Cijela operacija (let) stvara određeni prihod i generira trošak. Optimiranje se definira u skladu sa zadanom funkcijom cilja, koja može biti postizanje maksimalnog profita ili najkraćeg vremena za let,
- klasa modela raspoređivanja radne snage, u koje spada planiranje rasporeda rada zrakoplovnog osoblja. Modele karakteriziraju razna ograničenja, primjerice razina potrebne kvalifikacije, potrebno vrijeme za obavljanje zadatka, ograničenje vremena rada u smjenama, i slično.

4.2. Vrste metoda za rješavanje problema raspoređivanja

Za rješavanje problema raspoređivanja, koriste se različite metode koje su prilagođene problemima. Prema pregledu metoda danim u magistarskom radu [8], neke od metoda za rješavanje općenitih problema raspoređivanja, a koje su pogodne za ugradnju na računalu su:

- nasumične i iscrpljujuće metode pretraživanja,
- dinamičko programiranje,
- tehnike mrežnog toka,
- logičko programiranje ograničenjima,
- sustav zasnovan na pravilima,
- genetski algoritmi,
- cjelobrojno programiranje i postupak grananja i ograđivanja.

Navedene metode su samo jedne od mnogih koje se koriste za izradu rasporeda. Prema dostupnoj akademskoj literaturi, najviše korištena metoda za rješavanje ove vrste problema pokazala se metoda izrade rasporeda pomoću genetskih algoritama.

S obzirom da je iskustvena metoda, tj. ručna izrada rasporeda najkorištenija metoda u praksi, u radu će se usporediti s metodom izrade pomoću genetskih algoritama.

5. PLANIRANJE RASPOREDA ZA TEHNIČKO OSOBLJE U LINIJSKOM ODRŽAVANJU ZRAKOPLOVA

U ovom poglavlju biti će opisane dvije metode izrade rasporeda koje će se nadalje u radu analizirati i usporediti. Spomenute metode su genetski algoritmi i iskustvena metoda izrade rasporeda.

5.1. Genetski algoritmi

Genetski algoritmi pripadaju vrsti evolucijskih algoritama zajedno sa genetskim programiranjem, evolucijskim programiranjem, evolucijskim strategijama i drugo. Evolucijski algoritmi pripadaju u područje umjetne inteligencije koji rješavaju složene zadatke i probleme imitirajući proces evolucije.

Genetski algoritmi su metoda pretraživanja i optimiranja. S obzirom da pripadaju vrsti evolucijskih algoritama lako se dolazi do zaključka da genetski algoritmi simuliraju proces evolucije kako bi došli do traženog rješenja. [9]

Genetski algoritmi sastoje se od populacije jedinki koje su opisane svojom sposobnošću preživljavanja tj. dobrotom. Jedinke s manjom dobrotom izumiru dok jedinske s većom dobrotom prelaze u novu generaciju gdje se križaju i na taj način stvaraju novu jedinku. Proces se ponavlja određeni broj ponavljanja kojim se dolazi do sve optimalnijeg rješenja.

Izvođenje algoritma započinje određivanjem parametara kao što su veličina populacije, duljina stagnacije, vrijeme izvođenja, itd.

Nadalje slijedi inicijalizacija – postupak slučajnog stvaranja populacija jedinki koje naknadno prolaze kroz selekciju. Selekcijom se odabiru jedinke roditelji čijom kombinacijom nastaje jedinka dijete. Svrha selekcije je očuvati dobre jedinke i na taj način ih prenijeti u sljedeću generaciju. Selekcija može biti jednostavna, turnirska ili eliminacijska.

Nakon selekcije jedinke prolaze kroz križanje – postupak u kojem iz dvije jedinke nastaje jedna ili dvije nove jedinke u idućoj generaciji. Križanje može biti s jednom, dvije ili sa N točki prekida te uniformno.

Mutacijom se dolazi do slučajne promjene jednog ili više gena, ovisno o postavljenoj vjerojatnosti. Ukoliko nije moguće doći do optimalnog rješenja zbog previše sličnih jedinki unutar generacije, mutacijom se stvara nova jedinka koja inicira nastavak pretrage u drugom smjeru. Razlikuju se jednostavna, invertirajuća, rubna i miješajuća mutacija.

Kako bi raspored bio valjan potrebno je odrediti ograničenja koja mogu biti čvrsta ili laka. Čvrsta ograničenja su ona ograničenja koja se ne smiju prekršiti dok se

laka ograničenja smiju prekršiti ali se to ne preporuča s obzirom da ona služe za optimizaciju rasporeda. Ukoliko se određena jedinka ne pridržava čvrstih ograničenja imat će vrlo male izgleda opstanka i prelaska u novu generaciju.

Raspored u algoritmu prikazuje se u nizu nula i jedinica. Za primjer je uzet raspored za period od četiri tjedna za 20 osoba koje trebaju biti raspoređene u tri smjene po danu. U tom slučaju u nizu će biti 1680 znamenki što predstavlja umnožak broja tjedana (četiri), broja dana u tjednu (sedam), broja osoba za koje se raspored radi (20) i broja smjena u danu (tri). Prve 84 znamenke odnositi će se na raspored za prvog radnika, iduće 84 znamenke na drugog itd. Jedan dan biti će prikazan u obliku tri znamenke zbog rada u tri smjene. Na taj način lako se prepoznaje da zapis „100“ označava rad u prvoj smjeni, „010“ rad u drugoj, a „001“ rad u trećoj smjeni.

Za implementaciju algoritma moguće je koristiti razne programske jezike kao što su *Java*, *Eclipse*, *C++*, *MatLab*, *Python* i sl. [10]

5.2. Iskustvena metoda izrade rasporeda

Većina organizacija koja imaju potrebu za planiranje rasporeda rada zaposlenika, osnivaju organizacijsku jedinicu koja se bavi izradom rasporeda. Pri tome se za praktičnu izradu rasporeda rada zaposlenika, najčešće koriste iskustvene metode, tj. metode ručne izrade rasporeda.

Razlozi za to mogu biti razni: mali broj zaposlenika što rezultira jednostavnim dolaskom do rješenja, visoka cijena izrade ili nabavke programskog rješenja za izradu rasporeda, financijska neisplativost korištenja takvog programa i drugo.

Kao i kod genetskih algoritama, prije izrade rasporeda bitno je odrediti početne parametre te čvrsta i laka ograničenja kojih se treba pridržavati.

Za primjenu obje metode, početni parametri i ograničenja će biti jednaki.

Početni parametri za definiranje problema izrade rasporeda rada su:

- broj osoba za koje se raspored radi,
- period rasporeda,
- broj smjena po danu.

Za potrebe definiranja problema, postavlja se:

- neka je M broj osoba za koje se raspored radi, $m = 1, \dots, M$,
- neka je planirani period rasporeda za K dane, gdje je $k = 1, \dots, K$,
- neka svaki dan bude raspoređen u četiri smjene $S = \{s_1, s_2, s_3, s_4\}$, gdje s_1 označava dnevnu smjenu, s_2 popodnevnu smjenu, s_3 noćnu smjenu, a s_4 slobodni dan.

6. USPOREDBA METODE IZRADE RASPOREDA KORIŠTENJEM GENETSKIH ALGORITAMA S ISKUSTVENOM METODOM IZRADE RASPOREDA

Problem koji se opisuje u ovom radu je koja metoda bi bila najprikladnija za izradu rasporeda tehničkog osoblja u linijskom održavanju zrakoplova. Za analizu i usporedbu, odabrane su dvije: metoda izrade pomoću genetskih algoritama i iskustvena metoda ručne izrade rasporeda.

U ovom poglavlju biti će prikazan raspored izrađen pomoću obje metode, navest će se prednosti i mane metoda te njihove sličnosti i razlike.

Prije same usporedbe bitno je odrediti početne parametre.

Pretpostavljaju se sljedeći početni uvjeti:

- u linijskom održavanju zračnog prijevoznika zaposleno je 20 zrakoplovnih tehničara (oznaka M),
- od zaposlenih 20, samo pet zrakoplovnih tehničara ima ovlaštenje za potpisivanje Potvrde o vraćanju zrakoplova u upotrebu, tj. CRS dokumenta (oznaka M_c),
- broj ostalih 15 zrakoplovnih tehničara označava se sa M_o ,
- zrakoplovni tehničari biti će raspoređeni u tri odnosno četiri smjene po danu kroz period od četiri tjedna (28 dana).

Prema navedenim početnim uvjetima, slijedi zapis:

$M = 20$,	M – ukupan broj zrakoplovnih tehničara zaposlenih u linijskom održavanju zrakoplova,
$M_c = 5$,	M_c – broj zrakoplovnih tehničara koji imaju ovlaštenje za potpisivanje CRS dokumenta,
$M_o = 15$,	M_o – broj ostalih zrakoplovnih tehničara,
$K = \text{četiri tjedna (28 dana)}$,	K – period za koji se raspored radi,
$S = 4$,	S – broj smjena po danu.

Bitno je znati da je dan podijeljen u tri smjene: dnevna, popodnevna i noćna, od kojih svaka smjena traje osam sati. Slijedi:

Dnevna smjena (D tj. s_1):	07:00 h – 15:00 h
Popodnevna smjena (P tj. s_2):	15:00 h – 23:00 h
Noćna smjena (N tj. s_3):	23:00 h – 07:00 h

Nakon utvrđivanja parametara, a prije izrade rasporeda važno je znati ograničenja kojih se treba pridržavati. Ograničenja se dijele na čvrsta i laka.

Čvrsta ograničenja:

1. ne smije postojati smjena u kojoj nitko ne radi,

$$\sum_{S \in \{s_1, s_2, s_3, s_4\}} D_{K,M,S} = 1 \quad (1)$$

2. jedna osoba smije raditi najviše jednu smjenu u danu,

$$\sum_{S \in \{s_1, s_2, s_3, s_4\}} D_{K,M,S} \leq 1 \quad (2)$$

Laka ograničenja podijeljena su u tri kategorije s obzirom na njihovu težinu

A) Kategorija:

1. jedna osoba ne smije tjedno raditi manje od pet smjena,

$$\sum_{j=k}^{k+4} D_{M,j,S} \geq 5 \quad (3)$$

2. jedna osoba ne smije tjedno raditi više od sedam smjena,

$$\sum_{j=k}^{k+6} D_{M,j,S} \leq 7 \quad (4)$$

3. u dnevnoj smjeni (D) mora biti najmanje jedan zrakoplovni tehničar ovlašten za potpisivanje CRS dokumenta,

$$\sum_{k=1}^{28} D_{M_c,k,s_1} \geq 1 \quad (5)$$

B) Kategorija:

1. jedna osoba može imati najviše dva uzastopna slobodna dana,

$$D_{M,K,s_4} + D_{M,k+1,s_4} \leq 2 \quad (6)$$

2. u dnevnoj smjeni (D) mora biti najmanje četiri osobe,

$$\sum_{k=1}^{28} D_{M,K,s_1} \geq 4 \quad (7)$$

3. u popodnevnoj smjeni (P) mora biti najmanje tri osobe,

$$\sum_{k=1}^{28} D_{M,K,s_1} \geq 3 \quad (8)$$

4. u noćnoj smjeni (N) mora biti najmanje dvije osobe,

$$\sum_{k=1}^{28} D_{M,K,s_1} \geq 2 \quad (9)$$

C) Kategorija:

1. nakon noćne smjene (N) osoba mora imati najmanje jedan slobodan dan,

$$D_{M,K,s_3} + D_{M,k+1,s_3} \leq 1 \quad (10)$$

2. osoba smije raditi najviše dvije noćne smjene (N) tjedno [10],

$$\sum_{k=1}^7 D_{M,K,s_3} \leq 2 \quad (11)$$

Zbog bolje usporedbe u obje metode korišteni su isti parametri i ista ograničenja.

6.1. Raspored napravljen pomoću genetskih algoritama

Za primjer rasporeda koji je napravljen pomoću genetskih algoritama uzet je izvor [10], završni rad pod brojem 3313 naziva *Rješavanje problema raspoređivanja radne snage uporabom evolucijskih algoritama*. Raspored u radu je namijenjen za izradu rasporeda rada medicinskih sestara u bolnici. Problem iz izvora [10] te problem opisan u ovom radu, usporedivi su, obzirom da je riječ o smjenskom radu određenog broja djelatnika za određeni period.

Jednako kako se razlikuju ostali zrakoplovni tehničari M_o od tehničara koji imaju ovlaštenje za potpisivanje CRS dokumenta M_c , tako se u radu izvora [10] razlikuju više medicinske sestre od nižih.

Kako bi se došlo do željenog rezultata potrebno je odabrati određene parametre (osim početnih parametara: broj zaposlenika, period, broj smjena po danu). U radu izvora [10] korišteni su slijedeći parametri prikazani u Tablici 2.

Tablica 2. Korišteni parametri pri izradi rasporeda pomoću metode genetskih algoritama

maksimalan broj generacija	10 000
veličina populacije	500
duljina stagnacije	400
vrsta algoritma	turnirski s eliminacijskom selekcijom
vrsta križanja	uniformno križanje
vrsta mutacija	jednostavna
vjerojatnost mutacije	0,45
maksimalan broj sekundi izvođenja programa	3 000

Izvor: [10]

Razlozi korištenja upravo tih parametara su:

- veličina populacije = 500

Rješenje može biti bolje ili gore s obzirom na odabir veličine populacije. Jednako tako o broju populacije ovisi vrijeme koje je potrebno da se dođe do rješenja. Ovaj iznos od 500 je odabran između 5 vrijednosti (100, 200, 300, 500 i 1000) te se pokazao kao najbolja opcija za ovaj problem.

- duljina stagnacije = 400

Duljina stagnacije označava broj generacija bez poboljšanja vrijednosti dobrote (sposobnost preživljavanja). Što je duljina stagnacije veća to je potrebno više vremena da se dođe do rezultata, no rezultat će biti to bolji što je duljina stagnacije veća. Između vrijednosti od 50, 100, 200, 300, 400 te 500 optimalan izbor bila je vrijednost koja iznosi 400.

- vrsta algoritma = turnirski s eliminacijskom selekcijom

Za svaku generaciju pokrenut je određen broj turnira te svakom turniru pristupa određeni broj jedinki, najčešće tri. Između jedinki se bira najlošija te se ona izbacuje, a umjesto nje dolazi nova jedinka iz preostalih jedinki.

- vrsta križanja = uniformno križanje

Uniformno križanje je križanje između dvije jedinke roditelja određeno postotkom naslijeda. Ukoliko je postotak 50% tada će dijete jedinka naslijediti 50% gena od jednog roditelja i 50% gena od drugog. Križanje za ovu vrstu problema je moglo biti uniformno ili križanje s jednom točkom prekida, no izabrano je uniformno s obzirom na bolje rezultate.

- vrsta mutacija = jednostavna

Odabir je bio moguć između jednostavne i miješajuće mutacije. Odabrana je jednostavno zbog boljih rezultata. Jednostavna mutacija je mutacija jedne jedinke u kojoj bitovi mutiraju s određenom vjerojatnošću.

- vjerojatnost mutacije = 0,45

Kako bi jedinka mogla mutirati potrebno je odabrati vjerojatnost mutacije. Izbor vjerojatnosti bio je između šest vrijednosti (0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,45 i 0,5). Vrijednost od 0,45 odabrana je bez obzira što veća vrijednost od 0,5 pokazuje bolje rezultate. Razlog tome je što vrijednost od 0,5 znači da će često dolaziti do mutacije a optimalno rješenje bi se svelo na generiranje nasumičnih jedinki. Time mutacija gubit svoj smisao. [10]

Za dolazak do optimalnog rješenja bilo je nužno testirati svaki navedeni parametar te izabrati onaj pri kojem je rezultat najoptimalniji. Program je za svaku vrijednost svakog parametra pokrenut 20 puta. S obzirom da se u radu izvora [10] bira između 18 različitih parametara, to znači da je program pokrenut sve ukupno 360 puta.

Kao maksimalni broj sekundi izvođena programa odabrana je vrijednost od 3000 sekundi. Ako se pretpostavi da je za svako pokretanje programa potreban maksimalan broj sekundi da bi program došao do rješenja, može se zaključiti da je ukupno utrošeno 1 080 000 sekundi tj. 18 000 minuta, tj. 300 h, tj. 12,5 dana.

Nakon odabira svih potrebnih parametara i nakon pokretanja program je za dvije i pol minute kreirao raspored koji se nalazi u Prilogu 1.

6.1.1. Analiza rasporeda izrađen genetskim algoritmima

Raspored je prikazan tako da prvih pet mjesta u tablici čine više a ostalih 15 niže medicinske sestre. Slovom „D“ označena je dnevna smjena, slovom „P“ popodnevna smjena, slovom „N“ noćna smjena a crveno polje označava slobodan dan. Na kraju tablice ispisan je broj koliko je medicinskih sestara raspoređeno po smjeni u danu.

Analizirajući raspored primijećeno je da je došlo do kršenja ograničenja. Čvrsta ograničenja nisu prekršena, no lako ograničenje iz kategorije C) 1 – nakon

noćne smjene (N) osoba mora imati najmanje jedan slobodan dan, prekršeno je osam puta.

Primijećeno je da broj medicinskih sestara po smjenama nije ujednačen što se najbolje vidi po tome što dolazi do pojave smjena u kojima nema niti jedne više medicinske sestre.

Tek nakon izrade rasporeda može se primijetiti da navedena ograničenja nisu dovoljna. U ograničenjima je navedeno da jedna osoba ne smije raditi više od sedam smjena u jednom tjednu, no nije navedeno da jedna osoba ne smije raditi više od n dana za redom. Zbog nedostatka takvog ograničenja dolazi do pojave rada sedam odnosno osam dana za redom (viša medicinska sestra pod brojem 5, od petka drugog tjedna do petka trećeg tjedna; niža medicinska sestra pod brojem 9, od četvrtka drugog tjedna do četvrtka trećeg tjedna; niža medicinska sestra pod brojem 14, od subote trećeg tjedna do nedjelje četvrtog tjedna).

Također još jedan nedostatak u ograničenjima je manjak slobodnih dana nakon noćne smjene. U ograničenjima je napisano da je potrebno najmanje jedan slobodan dan nakon noćne smjene te je iz tog razloga rijetko kada stavljeno više od jednog slobodnog dana. Broj slobodnih dana nakon noćne smjene trebao bi biti dva s obzirom da radnik odlazi na posao u 23:00 h no smjena mu završava u 07:00 h slijedećeg dana koji predstavlja slobodan dan. Ukoliko je radnik raspoređen da nakon slobodnog dana ima dnevnu smjenu koja započinje u 07:00 h to znači da će radnik imati točno 24 h između dvije smjene. Ukoliko se takav način raspoređivanja često ponavlja može doći do akumuliranog umora kod radnika što može naštetiti radnikovom zdravlju.

6.2. Raspored napravljen iskustvenom (ručnom) metodom

Pri iskustvenoj (ručnoj) izradi rasporeda korišteni su jednaki parametri (broj osoba tj. zrakoplovni tehničari, broj smjena, period za koji se raspored radi, čvrsta i laka ograničenja) kao kod metode izrade pomoću genetskih algoritama.

Raspored je prikazan tako da prvih pet mjesta u tablici čine zrakoplovni tehničari koji imaju ovlaštenja za potpisivanje CRS dokumenta M_c a ostalih 15 mjesta čine ostali tehničari M_o . Slovom „D“ označena je dnevna smjena, slovom „P“ popodnevna smjena, slovom „N“ noćna smjena a crveno polje označava slobodan dan. Na kraju tablice ispisan je broj koliko je tehničara raspoređeno po smjeni u danu. Raspored je prikazan u Prilogu 2.

Razlika kod ovog rasporeda i već prikazanog je ta što je kod zrakoplovnih tehničara bitno da u svakoj smjeni bude barem jedan M_c tehničar koji ima ovlaštenje za potpisivanje CRS dokumenta.

Za iskustvenu metodu izrade rasporeda bitno je znati kako krenuti s izradom. Ovaj raspored napravljen je na način da su prvo raspoređene noćne smjene te

slobodni dani koji slijede nakon noćne smjene. Na taj način je vidljivo s kojim brojem djelatnika se raspolaže za daljnje raspoređivanje smjena. U slučaju da je broj radnih dana više od četiri tada bi djelatnik prvog dana radio dnevnu smjenu, a ukoliko je prvi dan popodnevna smjena ostale dane djelatnik će također raditi popodnevnu smjenu.

Za izradu rasporeda na navedeni način potrebno je oko 5 sati.

6.2.1. Analiza rasporeda izrađen iskustvenom (ručnom) metodom

Analizirajući raspored primjećeno je da čvrsta niti laka ograničenja nisu niti jednom prekršena.

Raspored je napravljen na način da sve smjene uvijek imaju barem jednog M_c zrakoplovnog tehničara te da što više smjena ima isti broj tehničara.

Bez obzira što u rasporedu ograničenja nisu prekršena, raspored za M_c tehničare nije ugodan za rad. U svakoj smjeni potreban je barem jedan M_c tehničar, a s obzirom na mali broj M_c tehničara, raspored nije moguće drugačije napraviti. Ovakvim rasporedom M_c tehničari rade šest dana tjedno tj. nakon četiri radna dana imaju jedan slobodni dan. Vidljivo je da je pet M_c tehničara minimalan broj takvih tehničara za „pokrivanje“ svih smjena u periodu od četiri tjedna bez kršenja iti jednog ograničenja.

S obzirom na veliki broj ostalih M_o tehničara moguće je napraviti raspored u kojem u svim smjenama ima dovoljan broj tehničara. Za razliku od rasporeda za M_c tehničare, M_o tehničari najčešće imaju pet radnih dana tjedno te dva dana odmora. Radni dani kroz mjesec najčešće su raspoređeni na način da jedan tjedan rade pet dana za redom nakon čega slijede dva slobodna dana. Nakon dva slobodna dana slijedeći tjedan će raditi šest dana za redom te opet imati dva slobodna dana.

6.3. Usporedba metoda

Zbog lakše usporedbe dviju izabranih metoda koristili su se jednaki parametri. U Tablici 3 prikazane su sličnosti i razlike u metodama.

Tablica 3: Razlike i sličnosti dviju metoda izrade rasporeda

GENETSKI ALGORITMI	RUČNA IZRADA
Razlike:	
prekršeno lako ograničenje	nije prekršeno lako ograničenje

vrijeme potrebno za izradu rasporeda = dvije i pol minute	vrijeme potrebno za izradu rasporeda = oko pet sati
potrebno veliko predznanje	nije potrebno veliko predznanje
vrlo kompleksna izrada rasporeda	jednostavna izrada rasporeda
Sličnosti:	
nema prekršenih čvrstih ograničenja	
nakon izrađenog rasporeda primijećena potreba za više ograničenja	
zbog nesavršenosti u rasporedima vidljiv je nedostatak iskustva	
moguća nadogradnja s više ograničenja i/ili zahtjevima radnika	

Kao što je navedeno u Tablici 3., za izradu rasporeda preko genetskih algoritama potrebno je veliko predznanje u programiranju dok je za ručnu izradu potrebna vještina kombinatorike.

Iako se do rasporeda načinjenog preko algoritama dolazi u kraćem vremenu (dvije i pol minute) zbog same pripreme i kompleksnosti izrade programa u konačnici ono traje dulje od iskustvene metode izrade rasporeda.

Raspored je to bolji što je manje ograničenja prekršeno. S obzirom da pri iskustvenoj metodi izrade niti jedno ograničenje nije prekršeno ono se u ovom slučaju smatra boljim rasporedom.

Kao što se može primijetiti, ograničenja koja su korištena pri izradi rasporeda nisu dovoljna. Pri ručnoj izradi lako se uočavaju nedostaci te se korekcije mogu napraviti odmah. Pri izradi rasporeda koristeći genetske algoritme nedostaci u rasporedu mogu se uočiti tek nakon što program napravi raspored te naknadnim pregledavanjem cijelog rasporeda.

Iz tog razloga može se zaključiti da je iskustvo jedan od ključnih uvjeta izrade dobrog i održivog rasporeda.

U obje metode izrade postoji mogućnost napretka kao što je dodavanje više ograničenja i/ili uzimanje u obzir zahtjeve djelatnika. Time se izrada samog rasporeda otežava te je potrebno još veće iskustvo i znanje u izradi.

7. ZAKLJUČAK

Jedan od čimbenika koji osigurava sigurnost zračnog prometa je održavanje zrakoplova na propisani način. Kvaliteta održavanja zrakoplova ovisi o planu i izvedbi rada, tj. rasporeda rada licenciranih zrakoplovnih tehničara. Njihova izvedba ne ovisi samo o njihovom znanju i vještini nego i o koncentriranosti i odmornosti na što najviše utječe njihov raspored rada.

U radu su izabrane, opisane, analizirane i uspoređene dvije metode koje se koriste za izradu rasporeda – genetski algoritam kao najbolja metoda izrade preko programskog jezika, te iskustvena metoda izrade rasporeda kao najrasprostranjenija metoda izrade.

Kako bi se metode mogle usporediti korišteni su jednaki parametri i ograničenja.

Metoda izrade pomoću genetskih algoritama vrlo je složena. Potrebno je predznanje i iskustvo kako bi se došlo do željenog rezultata.

Za korištenje iskustvene metode izrade rasporeda nije potrebno predznanje nego samo iskustvo. Kod ove metode bitna je vještina kombinatorike koja se može izvježbati.

Ograničenja koja su postavljena prije izrade rasporeda nisu dovoljna kako bi raspored bio održit tj. pogodan za rad bez uzrokovanja akumuliranog umora kod zrakoplovnih tehničara.

Lakoća izrade rasporeda pomoću iskustvene metode, odnosno ručne izrade također ovisi o broju zaposlenika koji se raspoređuju za određeni period.

U ovom slučaju, zbog malog broja zaposlenika za koje je raspored rađen, iskustvena metoda izrade pokazala se uspješnijom od metode pomoću genetskih algoritama. Manje vremena je potrebno za izradu iskustvenom metodom te predznanje nije nužno. U slučaju povećanja broja zaposlenika koje je potrebno rasporediti te povećanje broja ograničenja, značajnu prednost ima metoda genetskih algoritama.

Popis kratica

TBO	(Time Between Overhaul) Vrijeme između obnove
MSG	(Maintenance Steering Group) Upravljačka grupa za održavanje
MRB	(Maintenance Review Board) Odbor za ocjenjivanje održavanja
CAA	(Civil Aviation Agency) Agencije za civilno zrakoplovstvo
MRBR	(Maintenance Review Board Report) Izvješće Odbora za ocjenu održavanja (zrakoplova)
MPD	(Maintenance Planning Document) Dokument za planiranje održavanja
MRQ	(Maintenance Requirements) Zahtjevi za održavanje zrakoplova
AD	(Airworthiness Directives) Naredbe o plovidbenosti
SB	(Service Bulletins) Servisni bilteni
SL	(Service Letters) Servisna pisma
EASA	(European Aviation Safety Agency) Europska agencija za sigurnost zrakoplova
MOE	(Maintenance organization exposition) Priručnik organizacije za održavanje
AMO	(Approved Maintenance Organization) Odobrena organizacija za održavanje zrakoplova
CAMO	(Continuing Airworthiness Management Organization) Organizacija za vođenje kontinuirane plovidbenosti
CAME	(Continuing Airworthiness Management Exposition) Priručnik organizacije za vođenje kontinuirane plovidbenosti
CRS	(Certificate of Release to Service) Potvrda o vraćanju zrakoplova u uporabu

Popis literature

- [1] Domitrović, Anita: Nastavni materijali iz kolegija Održavanje zrakoplova; Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2017.
- [2] Bazijanac, E., Galović, B.: Tehnička eksploatacija i održavanje zrakoplova, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2002.
- [3] URL:https://www.skybrary.aero/index.php/Main_Page, (pristupljeno: kolovoz 2018.)
- [4] Bazijanac, E.: Zrakoplovni klipni motori, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2005.
- [5] Bazijanac, E.: Tehnička eksploatacija i održavanje zrakoplova, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2007.
- [6] CMMS sustavi u održavanju zrakoplova, Fakultet strojarstva i brodogradnje: Zagreb 2016.
- [7] URL:http://www.ccaa.hr/hrvatski/naslovnica_1/ (pristupljeno: kolovoz 2018).
- [8] Križanović, Krešimir: Cjelobrojno programiranje pri nekim problemima raspoređivanja, Magistarski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu, 2005. godine.
- [9] Fakultet elektrotehnike i računarstva: Evolucijski algoritmi, Zagreb 2007.
- [10] Feliks, Josip: Rješavanje problema raspoređivanja radne snage uporabom evolucijskih algoritama; Završni rad br. 3313, Zagreb 2013.

Popis tablica

Tablica 1. Glavni pregledi	6
Tablica 2. Korišteni parametri pri izradi rasporeda pomoću metode genetskih algoritama	22
Tablica 3: Razlike i sličnosti dviju metoda izrade rasporeda	25

PRILOZI

Prilog 1. Raspored izrađen pomoću genetskih algoritama

više medicinske sestre	PON	UTO	SRI	ČET	PET	SUB	NED	PON	UTO	SRI	ČET	PET	SUB	NED	PON	UTO	SRI	ČET	PET	SUB	NED	PON	UTO	SRI	ČET	PET	SUB	NED
1	D	P	N		P		D	N			D	D	D	P	N		N		D	D	P	P		D	D	P	P	P
2	N		P	P		D	P		D	D	P	P	N		N	N	N		P	P		D	P	P		D	P	P
3	D		D	D	D	P		D	N		P	P	P		D	D	D	D	D	D	N		P	P		P		D
4	N		P		N		D		D	D	N		P	P	P		D	D	D	P	N		D	D	N		D	P
5	D	D		D	D	D		P		D		D	D	D	D	D	P	P	P		D	D		D	D	P		D
D	3	1	1	2	2	2	2	1	2	3	1	2	2	1	2	2	2	2	3	2	1	2	1	3	2	1	1	2
P	0	1	2	1	1	1	1	1	0	0	2	2	2	2	1	0	1	1	2	2	1	1	2	2	0	3	2	3
N	2	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	2	1	2	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0

niže medicinske sestre	PON	UTO	SRI	ČET	PET	SUB	NED	PON	UTO	SRI	ČET	PET	SUB	NED	PON	UTO	SRI	ČET	PET	SUB	NED	PON	UTO	SRI	ČET	PET	SUB	NED
1	D	P	N		N		D	N		N		D	D	D	D		D	N	N		P	P		P	N		D	P
2	P	N		D	D	D	N		D	N		N		D		D	P		D	D	D	D	N		D	D	D	N
3	D	P	P	P	P	P		D		D	D		P		D	D	P	P	P		D		D	D	N			D
4	D	P	P	P	P	N		P	P		D		D	D	P	P		N		D	N		P	P	P	P	N	
5	N		P	N		D	D	D	D	P	P		N		P	N		P	P	N		P	N		P	N		D
6	D	D	P	P	P	P	N		N	N		P	P		D	P	P	P	P	P		N		D	D	D	D	D
7	D	D	P	P	P	N			D	N		N		D	D	D	N		P	P	P	N		P	P	N		
8		D	P	N		P	N		D	D	P	P	P	N	N		P	P	N		D	D	D	N		D	N	
9	P	P	P		D	P	N		N		P	P	P	P	P	P	P	N		N		N		N		N		D
10	D	D	N	N		P	P	P	N		D	D	P		D	D	N		P	P	P	P		N		N		N
11	P		D	D	P		D	D	P		D		P	N	D	D	N		P	P	P	P		N		N		N
12	P		D	D	P		D		D	D	P	P	N		P	P		D	D	P	P		D	P		D	D	D
13	N		D	D	N			D	D	P	N		D	P	N		D	D	D	P		D	D	N	N		P	N
14		N		D	P	P	P	P	P	P		N			D	D	D	P		D	D	P	P	P	P	P	P	P
15	D	P	N		P		D	N			D	D	D	P	N		N		D	D	P	P		D	D	P	P	P
D	7	4	3	5	2	2	5	4	6	3	5	3	4	4	7	6	3	2	4	4	4	3	4	3	3	4	4	5
P	4	5	7	4	8	6	2	3	3	3	4	4	6	3	4	4	5	5	6	6	6	6	2	5	4	3	3	3
N	2	2	3	3	2	2	4	2	3	4	1	3	2	2	3	1	4	3	2	2	1	3	2	5	3	5	2	4

Prilog 2. Raspored izrađen iskustvenom metodom - ručnim načinom izrade

Mc mehaničar i	PON	UTO	SRI	ČET	PET	SUB	NED	PON	UTO	SRI	ČET	PET	SUB	NED	PON	UTO	SRI	ČET	PET	SUB	NED	PON	UTO	SRI	ČET	PET	SUB	NED
1	N		P	P	P	N		P	P	P	N		D	D	D	N		P	P	P	N		P	P	P	N		D
2	P	N		D	D	D	N		P	P	P	N		P	P	P	N		D	D	D	N		P	P	P	N	
3	D	P	N		P	P	P	N		D	D	D	N		P	P	P	N		P	P	P	N		D	D	D	N
4	P	P	P	N		P	P	P	N		P	P	P	N		D	D	D	N		P	P	P	N		P	P	P
5	D	D	D	P	N		D	D	D	N		P	P	P	N		P	P	P	N		D	D	D	N		P	P
D	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
N	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Mo mehaniča ri	PON	UTO	SRI	ČET	PET	SUB	NED	PON	UTO	SRI	ČET	PET	SUB	NED	PON	UTO	SRI	ČET	PET	SUB	NED	PON	UTO	SRI	ČET	PET	SUB	NED
1	N			D	D	P	P	N			D	D	P	P	P	N			D	D	P	P	N			D	D	P
2	N			D	D	P	P	P	N			D	D	P	P	N			D	D	P	P	P	N			D	D
3	P	N			D	D	P	P	N			D	D	P	P	P	N			D	D	P	P	N			D	D
4	P	N			D	D	P	P	P	N			D	D	P	P	N			D	D	P	P	P	N			D
5	P	P	N			D	D	P	P	N			D	D	P	P	P	N			D	D	P	P	N			D
6	P	P	N			D	D	P	P	P	N			D	D	P	P	N			D	D	P	P	P	N		
7	D	P	P	N			D	D	P	P	N			D	D	P	P	P	N			D	D	P	P	N		
8	D	P	P	N			D	D	P	P	P	N			D	D	P	P	N			D	D	P	P	P	N	
9	D	P	P	P	N			D	D	P	P	N			D	D	P	P	P	N			D	D	P	P	N	
10	D	D	P	P	N			D	D	P	P	P	N			D	D	P	P	N			D	D	P	P	P	N
11		D	D	P	P	N			D	D	P	P	N			D	D	P	P	P	N			D	D	P	P	N
12		D	D	P	P	N			D	D	P	P	P	N			D	D	P	P	N			D	D	P	P	P
13		D	P	P	P	P	N			D	D	P	P	N			D	D	P	P	P	N			D	D	D	P
14			D	D	P	P	N			D	D	D	P	P	N			D	D	P	P	N			D	D	P	P
15			D	D	P	P	P	N			D	D	P	P	N			D	D	P	P	P	N			D	P	P
D	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
P	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2



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 **Izbor metode planiranja radnog rasporeda tehničkog osoblja u**

linijskom održavanju zrakoplova

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

U Zagrebu, 24. 11. 2018.

Student/ica:

Gjovane Horvat
(potpis)