

Operacije produženog doleta (ETOPS) za zrakoplov Boeing 777

Tufegdžić, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

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:119:460322>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-06-30**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Marko Tufegdžić

OPERACIJE PRODUŽENOG DOLETA (ETOPS) ZA
ZRAKOPLOV BOEING 777

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 26. svibnja 2015.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**
Predmet: **Planiranje letenja i performanse I**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 1976

Pristupnik: **Marko Tufegdžić (0135228993)**
Studij: **Aeronautika**
Smjer: **Pilot**
Usmjerenje: **Civilni pilot**

Zadatak: **Operacije produženog doleta (ETOPS) za zrakoplov Boeing 777**

Opis zadatka:

Uvod.

Objasniti smisao operacija produženog doleta i njihov učinak na planiranje rute leta i troškove operacije zrakoplova. Prikazati razvoj operacija produženog doleta. Ograničenja i uvjeti za odobravanje operacija produženog doleta.

Na primjeru zrakoplova Boeing 777 za odabrane rute pokazati primjenu operacija produženog doleta. Izračunati podatke za različite vrijednosti odobrenog produženja doleta. Grafički prikazati i usporediti dobivene rezultate.

Zaključak.

Zadatak uručen pristupniku: 17. ožujka 2015.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



mr. sc. Davor Franjković, v. pred.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**OPERACIJE PRODUŽENOG DOLETA (ETOPS) ZA
ZRAKOPLOV BOEING 777**

***EXTENDED RANGE OPERATIONS (ETOPS) FOR
BOEING 777***

Mentor: mr. sc. Davor Franjković
Student: Marko Tufegdžić, 0135228993

Rujan, 2015.

SAŽETAK

Operacije produženog doleta odnose se na svaki let u kojemu je dvomotorni zrakoplov udaljen od alternativnog aerodroma na ruti za više od 60 minuta pri brzini krstarenja s jednim motorom u otkazu. Današnji zrakoplovi imaju mogućnost biti i po 3, pa čak i 5,5 sati u zraku u slučaju otkaza motora ili nekih od glavnih sustava na zrakoplovu, a što se razvojem još efikasnijih mlaznih motora može produžiti. Glavne prednosti operacija produženog doleta očituju se u skraćivanju postojećih ruta, manjoj potrošnji goriva i emisiji stakleničkih plinova te manjim operativnim troškovima. Otvaraju se i rute između gradova koji prije nisu mogli biti povezani zbog nedovoljnog broja alternacija na ruti. Proizvođači zrakoplova i motora te zrakoplovne kompanije moraju ispuniti stroge zahtjeve kako bi dobili odobrenje za operacije produženog doleta. Prilikom analize učinkovitosti na odabranim rutama koristio se zrakoplov Boeing 777, kao takav i dizajniran za operacije produženog doleta, gdje su prikazane uštede i učestalost otkaza motora u letu za različite vrijednosti odobrenog produženja doleta.

KLJUČNE RIJEČI: operacije produženog doleta (ETOPS); izdavanje ETOPS odobrenja; alternativni aerodrom na ETOPS ruti; Boeing 777; učestalost otkaza motora u letu

SUMMARY

Extended time operations apply on twin engine aircraft on routes with diversion time more than 60 minutes from alternate airport at one engine inoperative speed. Modern aircraft have possibilities to fly at least 3, even 5,5 hours after experiencing engine failure or main aircraft systems failure, which can be increased by developing more efficient jet engines. The main advantages of extended time operations can be seen by shorter routes, decreased fuel consumption, less greenhouse gas emissions and decrease in operating costs. New routes are being opened between places that could not be connected before due to insufficient number of alternate airports on these routes. Aircraft and engine manufacturers and airlines have to meet strict requirements to get their extended time operations approval. Boeing 777, which was designed for extended time operations, was used when analyzing efficiency on selected routes where savings and in-flight shutdown rate for various extended time operations approvals were presented.

KEYWORDS: extended time operations (ETOPS); issuing ETOPS approval; ETOPS alternate airport; Boeing 777; in-flight shutdown rate

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. RAZVOJ OPERACIJA PRODUŽENOG DOLETA (ETOPS)	3
3. UČINCI OPERACIJA PRODUŽENOG DOLETA	8
3.1. Prednosti ETOPS-a.....	8
3.2. Nedostatci ETOPS-a.....	14
4. ETOPS REGULATIVA I ZAHTJEVI ZA IZDAVANJE ETOPS ODOBRENJA	15
4.1. Operacije dvomotornih zrakoplova bez ETOPS odobrenja	15
4.2. Operacije dvomotornih zrakoplova s ETOPS odobrenjem	17
4.3. Izbor alternativnog aerodroma na ETOPS ruti	17
4.4. Zahtjevi za izdavanje ETOPS odobrenja.....	19
4.4.1. Certificiranje zrakoplova.....	19
4.4.2. Operativno odobrenje	22
5. OPĆENITO O ZRAKOPLOVU BOEING 777	24
5.1. Modeli zrakoplova Boeing 777	24
5.2. Boeing 777 i ETOPS	26
6. PRIMJENA ETOPS-a NA ZRAKOPLOVU BOEING 777	28
6.1. IFSD <i>rate</i> za različita ETOPS odobrenja	28
6.2. Primjena ETOPS operacija na odabranim rutama	30
6.2.1. Analiza rute <i>Auckland – Los Angeles</i> na primjeru zrakoplova Boeing 777-300ER i Airbus 340-300	30
6.2.2. Primjena ETOPS-a na polarnim rutama.....	32
6.2.3. Analiza različitih ETOPS odobrenja na ruti <i>Pariz – Santiago de Chile</i>	35
7. ZAKLJUČAK	37
LITERATURA.....	38
POPIS ILUSTRACIJA.....	41

1. UVOD

Današnji komercijalni zrakoplovi svojim performansama omogućuju letenje na većim udaljenostima što u prošlosti nije bilo moguće zbog manje efikasnih i manje pouzdanih klipnih motora. Drugi razlog je bila stroga regulativa koja je ograničavala da zrakoplov mora biti unutar 100 nautičkih milja od alternativnih aerodroma tijekom leta na ruti. Zbog toga su i rute postale duže što je dodatno povećalo operativne troškove, ali i sigurnost. Uvođenjem prekoceanskih letova taj se problem morao riješiti, u početku korištenjem velikih višemotornih klipnih zrakoplova, a kasnije razvojem efikasnijih mlaznih motora. Kako su se zrakoplovi i motori brzo razvijali, stare regulative su postale neprimjerene, te je došlo do potrebe za razvojem operacija produženog doleta (eng. *Extended Time Operations*, ETOPS) koje su uvedene kako bi se skratile postojeće rute i otvorile nove, a uz navedeno i smanjili operativni troškovi bez ugrožavanja sigurnosti.

Postoje različite vrijednosti odobrenja produženog doleta, ovisno o potrebama i mogućnosti zrakoplovnih prijevoznika i kombinacije zrakoplov/motor. Uz veću vrijednost odobrenja zrakoplov može letjeti na duljim rutama, a da se pritom ostvaruju uštede u potrošnji goriva, emisiji stakleničkih plinova i vremenu putovanja. Svrha završnog rada je prikazati prednosti operacija produženog doleta u odnosu na ostale operacije na primjeru zrakoplova Boeing 777. Cilj završnog rada je analizirati učinak takvih operacija na primjerima odabranih ruta. Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Razvoj operacija produženog doleta (ETOPS)
3. Učinci operacija produženog doleta
4. ETOPS regulativa i zahtjevi za izdavanje ETOPS odobrenja
5. Općenito o zrakoplovu Boeing 777
6. Primjena ETOPS-a na zrakoplovu Boeing 777
7. Zaključak

U drugom poglavlju prikazan je razvoj operacija produženog doleta od uvođenja pravila 100 nautičkih milja do prve pojave modernog ETOPS-a.

Treće poglavlje definira učinke operacija produženog doleta, kao što su na primjer šire područje iznad kojega zrakoplov smije letjeti i uštede u potrošnji goriva, te njegove

nedostatke koji su vezani uz zrakoplovne kompanije pred koje su postavljeni strogi zahtjevi za izdavanjem odobrenja produženog doleta.

Regulativa koja prati ETOPS i zahtjevi koje moraju ispuniti proizvođači zrakoplova i motora i zrakoplovne kompanije objašnjeni su u četvrtom poglavlju, kao i faktori koji se moraju uzeti u obzir prilikom odabira alternativnog aerodroma.

U petom poglavlju se prikazuju opći podaci o zrakoplovu Boeing 777, različitim modelima i usporedbe nekih karakteristika tih modela te početak uporabe zrakoplova u operacijama produženog doleta.

Šesto poglavlje obuhvaća prikaz operacija produženog doleta na primjeru zrakoplova Boeing 777 na odabranim rutama (Auckland – Los Angeles, polarne rute i Pariz – Santiago de Chile), te uštede koje su pritom ostvarene, kao i učestalost otkaza motora u letu za različite vrijednosti odobrenja produženog doleta.

Prilikom analiziranja pojedinih ruta u obzir su uzeti uvjeti letenja bez vjetra, te najkraće udaljenosti između polaznog i odredišnog aerodroma za te uvjete uz brzinu krstarenja za određeni zrakoplov, kao i prosječna potrošnja zrakoplova. Navedene rute se u stvarnosti, među ostalim, mogu razlikovati i u ovisnosti o meteorološkim čimbenicima što za potrebe ovoga rada nije bilo potrebno dodatno analizirati.

2. RAZVOJ OPERACIJA PRODUŽENOG DOLETA (ETOPS)

Nakon povijesnog leta braće Wright 1903. godine zrakoplovstvo se počelo nezaustavljivo razvijati, pa tako i potreba za povećanjem sigurnosti uvođenjem novih pravila i regulativa. Tridesetak godina kasnije (točnije 1936.) uvedeno je pravilo „100 nautičkih milja“ koje je kasnije poslužilo kao temelj za razvoj ETOPS-a. Prema tome pravilu operator ili korisnik zrakoplova je morao osigurati da tijekom leta zrakoplov bude unutar 100 nautičkih milja (NM)¹ od alternativnog aerodroma (ili više njih) na ruti, a koji je prikladan za sigurno obavljanje operacija slijetanja i uzlijetanja, u protivnom mu se ne bi izdalo odobrenje za let. Razlog uvođenja samoga pravila je osiguravanje sigurnog slijetanja u slučaju opasnosti u bilo kojem trenutku na ruti (npr. pri otkazu motora). Do stupanja na snagu, zrakoplovni prijevoznici su mogli letjeti između dvije točke i to rutom koja im je bilanajekonomičnija, ne uzimajući u obzir sigurnosne faktore koji su im nametnuti pravilom „100 nautičkih milja“. Za njih je to značilo dulje putovanje, a time i veća potrošnja goriva te manja frekvencija zrakoplova na pojedinoj ruti zbog duljeg trajanja leta.

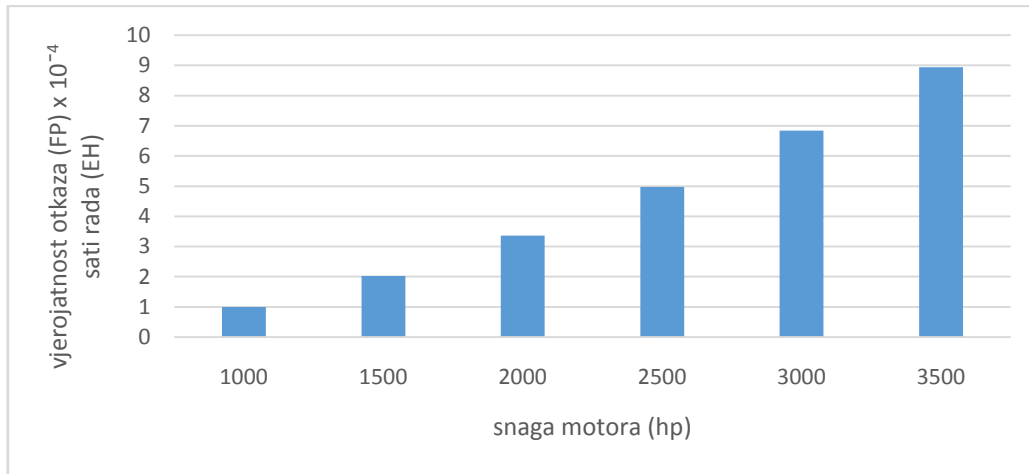
U kasnim tridesetima obavljeni su i prvi komercijalni letovi produženog doleta preko Tihog (1936.) i Atlantskog oceana (1939.). Takvi letovi zahtijevali su velike višemotorne zrakoplove, ponajviše zbog smanjene pouzdanosti i lošijih performansi dvomotornih klipnih zrakoplova [1].

Zbog prethodno navedenih nedostataka, Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva (eng. *International Civil Aviation Organization*, ICAO) je 1953. napravila analizu pouzdanosti klipnih motora (dijagram 1.), te usporedbu pouzdanosti dvomotornih i četveromotornih klipnih zrakoplova (dijagram 2.). Na apscisi oba dijagrama prikazana je snaga jednog motora izražena u konjskim snagama (eng. *Horsepower*, hp)² pri konstantnom broju okretaja u minuti (eng. *Revolutions per minute*, RPM), dok je na ordinati vjerojatnost otkaza (eng. *Failure probability*, FP) klipnog motora u jednom satu rada motora (eng. *Engine*

¹ 1 NM = 1852 m

² Konjska snaga (KS) je naziv za više starih mjernih jedinica za snagu izvan SI sustava. Oznaka KS kod nas podrazumijeva konjsku snagu prema njemačkom standardu (DIN) koja se definira kao snaga potrebna da se masa od 75 kilograma podigne (djelujući silom od 75 kiloponda) na visinu od 1 metra u vremenu od 1 sekunde. 1 KS = 0,735 kW

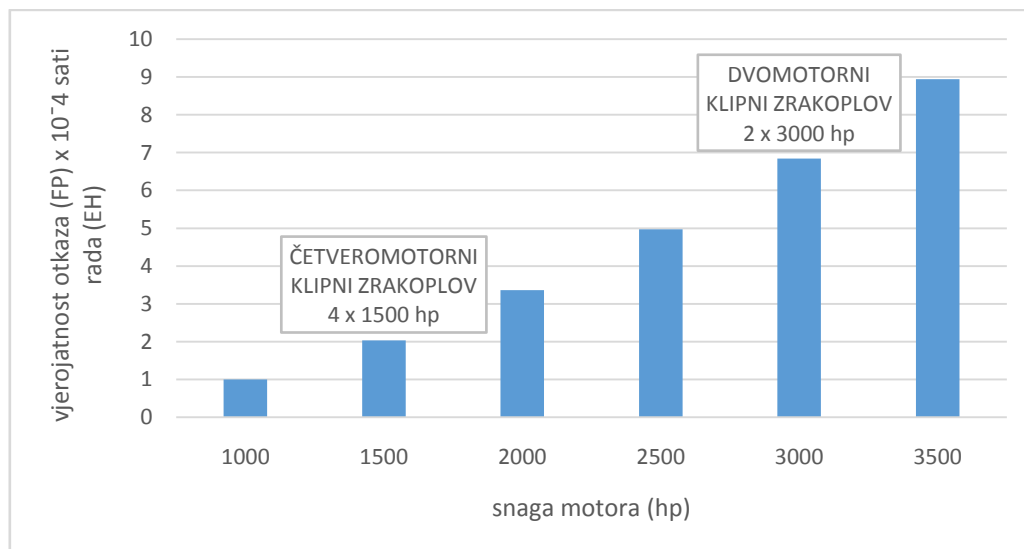
hours, EH) izražena u obliku „vjerovatnost otkaza x 10^{-4} sati rada“ (npr. ako je na ordinati očitana vrijednost 2, to znači da je vjerovatnost otkaza u jednom satu rada motora 0,0002).



Dijagram 1. Vjerovatnost otkaza klipnog motora u odnosu na snagu (RPM=konst.)

IZVOR: [2]

Iz prethodnog dijagrama vidljivo je da se vjerovatnost otkaza klipnog motora povećava s povećanjem snage radi većeg radnog volumena motora.

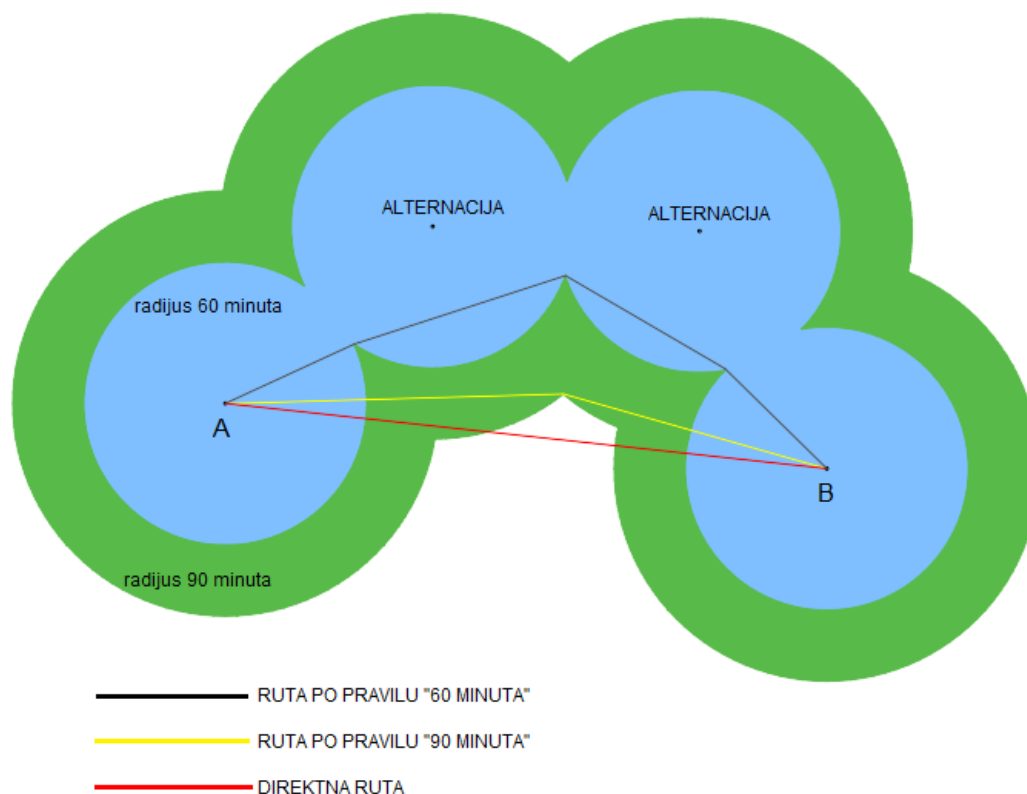


Dijagram 2. Usporedba vjerovatnosti otkaza jednog motora dvomotornog i četveromotornog klipnog zrakoplova (RPM=konst.)

IZVOR: [2]

Uspoređujući klipni zrakoplov sa 2 i 4 motora, pri čemu je pretpostavljeno da motori svakog zrakoplova razvijaju ukupnu snagu 6000 hp, vidljivo je da je vjerovatnost otkaza jednog motora kod dvomotornog zrakoplova približno 3 puta veća nego kod četveromotornog zrakoplova zbog većeg radnog volumena pojedinog motora.

Nakon objavljenog izvještaja ICAO-a o pouzdanosti klipnih motora, Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo (eng. *Federal Aviation Administration, FAA*)³ je iste godine izdala pravilo „60 minuta“ koje je vrijedilo za dvomotorne i tromotorne (do 1964. za tromotorne) zrakoplove, te mogućnost izdavanja specijalnog odobrenja za letačkeoperacije izvan ograničenjanavedenog pravila. To je značilo da se zrakoplov u svakom trenutku tijekom leta morao nalaziti unutar radijusa od 60 minuta leta od alternativnih aerodroma na ruti [3]. Za neke rute se javio problem prevelike neizravnosti u odnosu na početnu i završnu točku zbog nedostataka alternacija na ruti što bi dodatno povećalo troškove kao i samo trajanje leta. U isto vrijeme ICAO je počeo izdavati preporuke za pravilo „90 minuta“ u kojemu je bilo navedeno da zrakoplov tijekom leta ne smije biti izvan radijusa od 90 minuta od alternativnog aerodroma na ruti dok svi motori rade, osim ako se ruta može odletjeti sa dva motora u otkazu. U vrijeme izdavanja navedenih preporuka, opće mišljenje je bilo da tadašnji dvomotorni zrakoplovi mogu zadovoljiti pravilo „90 minuta“ bez narušavanja sigurnosti [1]. Na slici 1. prikazana je direktna putanja zrakoplova koji leti po pravilu „60 minuta“ i „90 minuta“.



Slika 1. Usporedba direktne putanje leta zrakoplova (pravilo "60 minuta" i "90 minuta")

³ Agencija američkog Ministarstva prometa (eng. *United States Department of Transportation*) nadležna za reguliranje i nadziranje svih aspekata civilnog zračnog prometa u Sjedinjenim Američkim Državama

Samim pogledom na sliku 1. očigledna je prednost pravila „90 minuta“ u pogledu udaljenosti koju zrakoplov treba prijeći od točke A – B (u odnosu na „60 minuta“), pri čemu dolazi do značajne uštede goriva i vremena putovanja. Veličina radijusa od alternativnog aerodroma razlikuje se od zrakoplova do zrakoplova, ovisno o njegovim performansama. Let zrakoplova direktno između točke A i B nije moguć, iako bi bio najučinkovitiji, jer bi se time prekršilo pravilo i ugrozila sigurnost. U slučaju da zrakoplovu motor otkáže izvan krugova radijusa po čijem pravilu leti, zrakoplov možda ne bi stigao sletjeti na alternativni aerodrom, što bi moglo imati katastrofalne posljedice. Operacije produženog doleta funkcioniraju na istom principu kao i prethodno navedena pravila, a sama duljina rute ovisi o ETOPS odobrenju za određeni zrakoplov.

Do 1952. godine svi komercijalni letovi su se obavljali zrakoplovima na klipni pogon (tadašnji klipni motori su bili oko 100 puta manje pouzdani u odnosu na mlazne motore danas [2]). Nakon te godine mlazni motori se počinju sve više koristiti, te se od 1960. godine težilo prelasku na zrakoplove sa mlaznim motorima i to na svim dugim rutama, te na većini regionalnih ruta [1]. Za razliku od klipnih motora, intenzitet otkaza mlaznih motora ne ovisi o potisku, odnosno veličini motora (radnom volumenu) i samim time su mlazni motori u prednosti zbog mogućnosti letenja na većim visinama (manja potrošnja goriva) i većim udaljenostima.

Tijekom 1980-ih godina prošloga stoljeća, razvojem dvomotornih zrakoplova sa modernim i efikasnim turboventilatorskim motorima (Airbus A310 i Boeing 767) stara pravila „60 minuta“ i „90 minuta“ su postala neprimjereni mogućnostima tih zrakoplova. FAA je 1985. izdao prvo ETOPS odobrenje od 120 minuta i to za zrakoplov Boeing 767 kompanije TWA (*Trans World Airlines*) na ruti između Bostona i Pariza [4].

Zbog pozitivnih rezultata prethodnog ETOPS odobrenja od 120 minuta, ono se 1988. produžuje na 180 minuta. Daljnim razvojem tehnologije izrade zrakoplovnih motora javila se potreba za povećanjem ETOPS odobrenja na više od 180 minuta što je i ostvareno 2007. godine jer su performanse optočnih ili ventilatorskih motora sa visokim stupnjem optočnosti⁴ (eng. *High-bypass engine*) to omogućavale, a i težilo se skraćivanju ruta i samim time i ukupnih troškova operacija zrakoplova.

⁴ Optočni ili ventilatorski motor – motor kod kojega se jedan dio zraka potiskuje ventilatorom (eng. *Fan*) i ne prolazi kroz komoru izgaranja (tzv. hladna struja zraka), dok druga struja zraka prolazi kroz komoru izgaranja (tzv. topla struja zraka). Potisak se generira od „tople“ i „hladne“ struje zraka. Omjer hladne i tople struje zraka naziva se stupanj optočnosti (eng. *Bypass ratio*, BPR) i za današnje motore iznosi 5 do 6, a oko 80% potiska i više se stvara „hladnom“ strujom zraka

Prvi zrakoplov koji je dobio ETOPS odobrenje veće od 180 minuta bio je Airbus A330 u studenom 2009. godine. Time mu je omogućeno da tijekom leta bude udaljen 1700 NM od alternativnih aerodroma na ruti, što odgovara ETOPS-u od nešto više od 240 minuta. Zrakoplovi Boeing 777 (777-200LR, 777-300ER, 777F, 777-200ER) i 787su od 2011. i 2014. godine certificirani za ETOPS do 330 minuta.

Današnji dvomotorni zrakoplovi namijenjeni za duge rute imaju ETOPS odobrenje koje prelazi 180 minuta (npr. Airbus A350 je certificiran za operacije od 180 minuta, uz mogućnost povećanja na 300 minuta (2000 NM) i na 370 minuta (2500 NM)) [4].

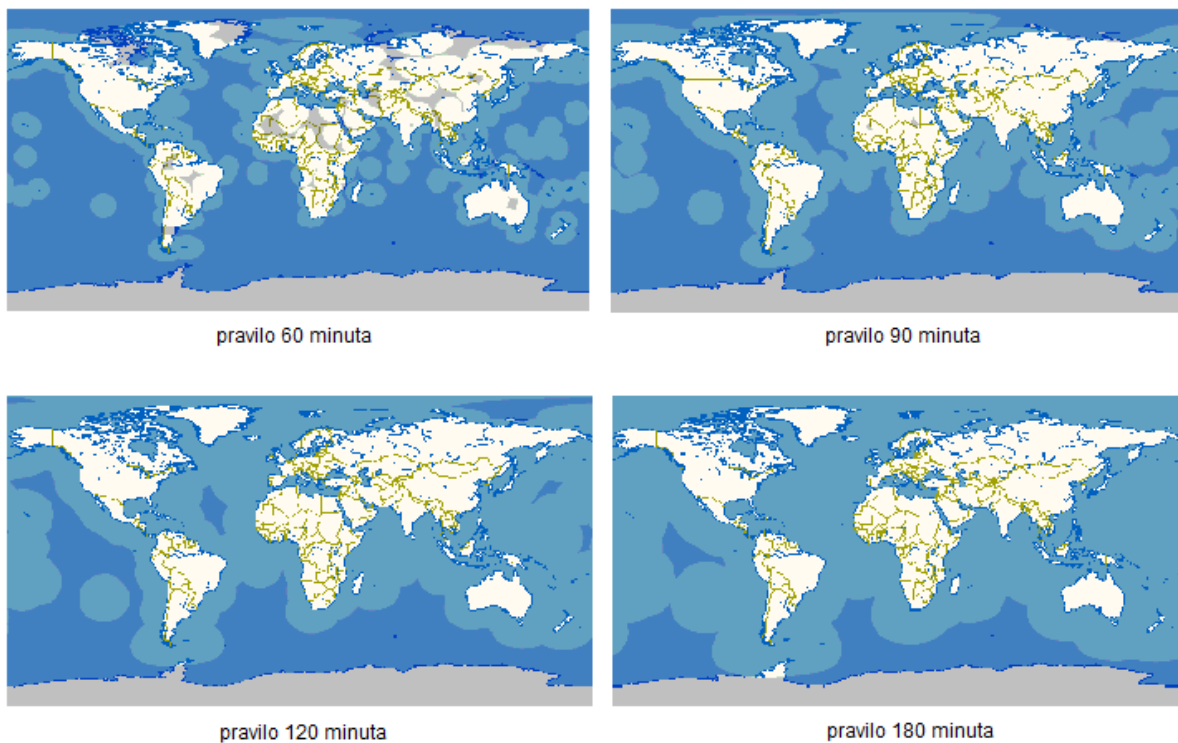
ICAO je 2012. godine ETOPS preimenovao u EDTO (eng. *Extended Diversion Time Operations*) koji uz dvomotorne uključuje i tromotorne i četveromotorne zrakoplove za operacije izvan 180 minuta. Dvomotorni zrakoplovi koji su certificirani za operacije po starim ETOPS regulativama mogu obavljati ETOPS operacije do 180 minuta. Također, ICAO naglašava da se pojam ETOPS i dalje može koristiti umjesto pojma EDTO [5].

3. UČINCI OPERACIJA PRODUŽENOG DOLETA

Operacije produženog doleta imaju svoje prednosti i nedostatke. Dakako da je prednosti više što je dokazano kroz povijesni razvoj i današnju masovnu upotrebu takvih operacija. ETOPS podiže sigurnost na višu razinu, što je i glavna zadaća i cilj svih sudionika u zračnom prometu.

3.1. Prednosti ETOPS-a

Uvođenjem operacija produženog doleta dvomotorni zrakoplovi prestaju biti ograničeni područjem iznad kojega smiju letjeti. To se područje proširuje ovisno o odobrenom ETOPS-u za pojedini zrakoplov. Na slici 2. prikazana su područja iznad kojega zrakoplov smije letjeti ovisno o pravilu (ETOPS odobrenju) po kojemu leti.

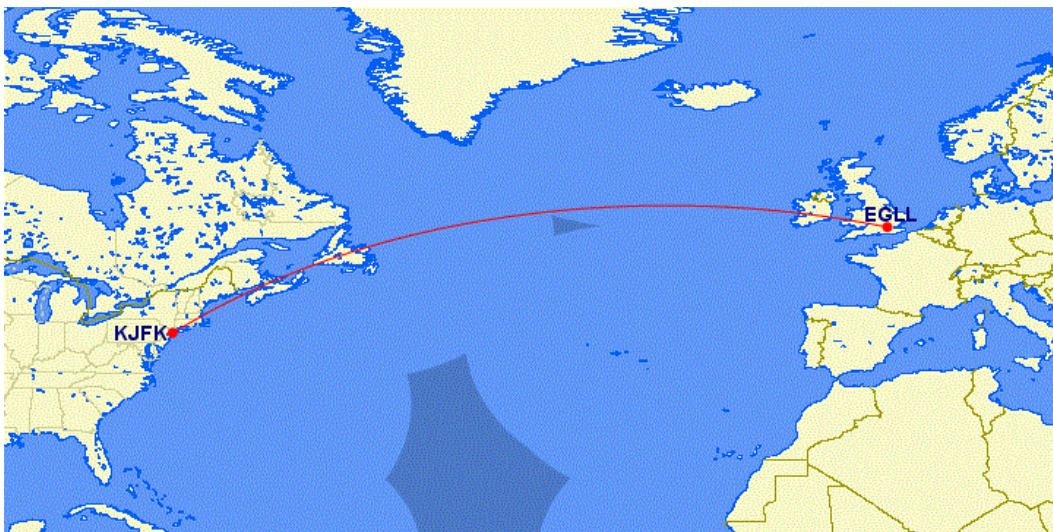


Slika 2. Područja letenja u ovisnosti o dozvoljenoj udaljenosti od alternativnog aerodroma

IZVOR: [6]

Kao što je vidljivo na slici, povećanjem maksimalne dopuštene udaljenosti od alternativnog aerodroma na ruti povećava se i područje iznad kojega zrakoplov smije letjeti (područje označeno svijetlo plavom bojom).

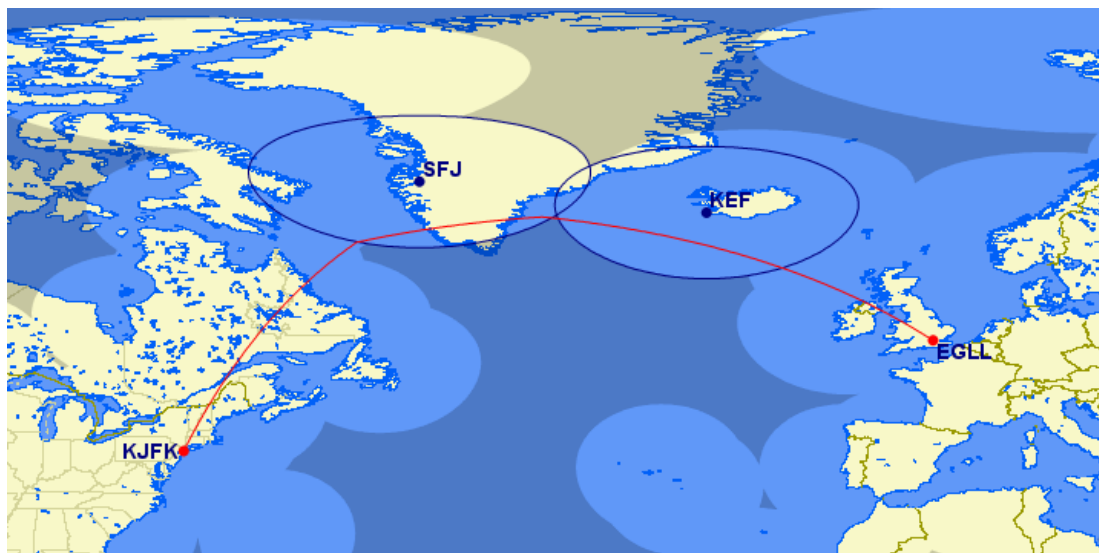
Glavne prednosti operacija produženog doleta su vidljive kod duljine samih ruta, trajanja leta, uštede goriva, operativnih troškova i utjecaja na okoliš. Današnji dvomotorni zrakoplovi su takvih performansi da je moguće letjeti direktno između Londona i New Yorka uz ETOPS od 120 minuta (slika 3.).



Slika 3. Let između Londona i New Yorka uz ETOPS od 120 minuta, [6]

Područje na slici 3. označeno svijetlo plavom bojom je područje iznad kojega zrakoplov smije letjeti uz ETOPS odobrenje od 120 minuta. Crvenom linijom označena je direktna i najefikasnija ruta između Londona i New Yorka (linija nije ravna zbog Zemljine zakrivljenosti u stvarnosti) i to u dužini od oko 3450 NM [6]. Prolaskom zrakoplova kroz područje označeno tamno plavom bojom moglo bi biti rizično za sigurnost u slučaju izvanredne situacije (otkaz motora, kvar glavnih sustava, itd.) unutar toga područja. U toj „crnoj zoni“ zrakoplov nema garanciju da će sigurno sletjeti na alternativni ili odredišni aerodrom jer je to zona izvan 120 minuta za koju taj zrakoplov nema odobrenje.

Usporedno sa prethodnom slikom, na slici 4. prikazana je ista ruta, no u ovom slučaju zrakoplov nema ETOPS odobrenje. To znači da mu je „kretanje“ ograničeno na područja radijusa 60 minuta od alternativnih aerodroma na ruti (crna boja). Udaljenost koju zrakoplov mora prijeći u ovom slučaju bez ETOPS odobrenja iznosi oko 3807NM.



Slika 4. Let između Londona i New Yorka bez ETOPS odobrenja

IZVOR: [6]

Crvena boja na slici 4. označava najkraću rutu bez ETOPS odobrenja.

Uspoređujući prethodne dvije situacije, razlika u udaljenosti je oko 357 NM. U ovom slučaju uzeto je u obzir da je prosječna potrošnja goriva zrakoplova Boeing 777 otprilike 7000 kg/h [7]. Pri prosječnoj brzini krstarenja od oko 510 čvorova (eng. *Knots*, kts⁵), na direktnom letu London – New York uz ETOPS od 120 minuta (3450 NM) zrakoplov leti oko 5,88 sati (utjecaj vjetera je zanemaren). U tom vremenu, uz poznatu potrošnju, izračunom je dobiveno da zrakoplov na letu potroši oko 41160 kg goriva. Na letu bez ETOPS-a zrakoplov provede u zraku oko 6,5 sati pri čemu potroši oko 45500 kg goriva. Razlika u odnosu na let uz ETOPS od 120 minuta je 4340 kg više potrošenoga goriva. Uz poznatu gustoću korištenoga goriva (JET A-1) od 0,804 kg/l [8], volumen potrošenoga goriva iznosi oko 5398 litara⁶ više nego na letu uz ETOPS. Poznavajući cijenu JET A-1 goriva koja iznosi oko 0,5 eura po litri (EUR/l)⁷, uočava se da let bez ETOPS-a ima dodatni trošak goriva u iznosu od oko 2700 EUR za jedan let u jednom smjeru. Ako jedan zrakoplov godišnje izvrši oko 500 operacija na ruti London – New York – London uz ETOPS od 120 minuta, tada je ušteda goriva po jednom avionu na godišnjoj razini približno 1350000 EUR, tj. 10%.

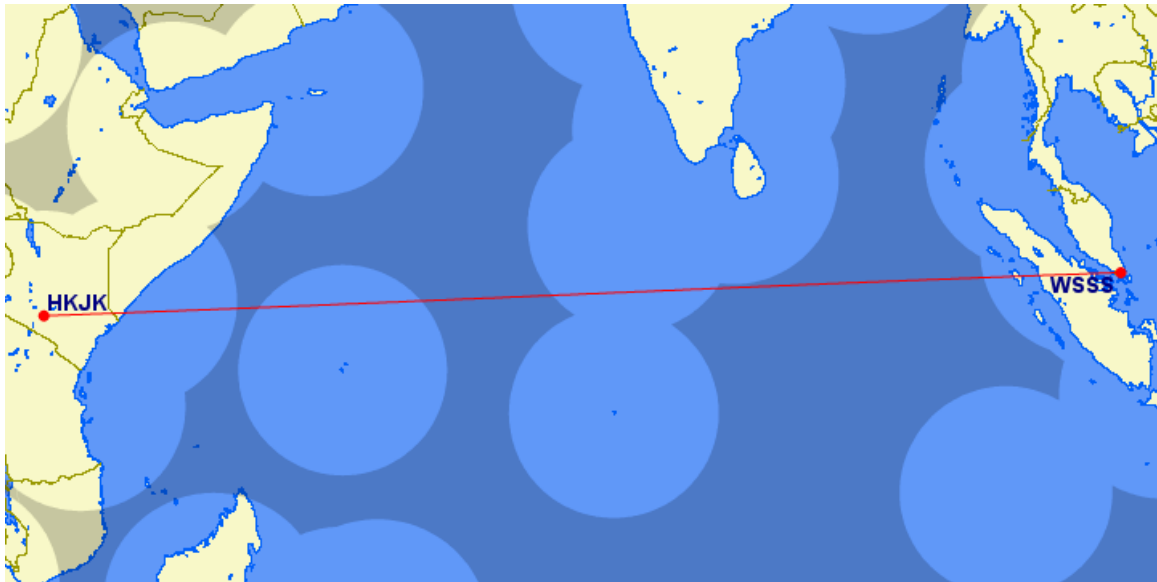
⁵ 1 kts = 1,852 km/h

⁶ 1 l = 0,264 USGal

⁷ Cijena JET A-1 goriva (uz PDV) prema podacima iz INA – Industrija nafte d.d. na lokaciji Aeroservis Zagreb na dan 3.9.2015. (srednji tečaj HNB-a) – cijena varira iz dana u dan ovisno o aerodromu, dobavljaču goriva i državi gdje se gorivo kupuje

Bitno je naglasiti i da zrakoplovi imaju veliku ulogu u onečišćivanju okoliša jer se izgaranjem goriva oslobađaju staklenički plinovi (eng. *Greenhouse gases*): ugljični dioksid (CO₂), dušikovi oksidi (NO_x) i vodene čestice (H₂O). Emisija takvih plinova ima negativan utjecaj na okoliš (klimatske promjene, smanjivanje ozonskog omotača, utjecaj na biljni svijet, itd.). U zrakoplovstvu najveći efekt ima CO₂, ujedno i najštetniji staklenički plin. Procjena je da zrakoplovna industrija sudjeluje u 2% globalne emisije CO₂[9]. Povećanjem broja letova neizbježna je i veća količina ispušnih plinova. Izradom efikasnijih motora i zrakoplova nastoji se smanjiti potrošnja goriva, a time i količina ispušnih plinova. Na prethodnom primjeru rute London – New York, uz ETOPS od 120 minuta, potrošeno je 5400 kg manje goriva nego na letu bez ETOPS-a. Zbog uštede goriva od približno 9% i količina ispušnih plinova će se smanjiti. U ovom slučaju doći će do smanjenja emisije ugljičnog dioksida (CO₂) za oko 9%. Sukladno tome, uz veće ETOPS odobrenje smanjuje se i duljina rute, a time i količina potrošenoga goriva što je direktno povezano sa količinom ispušnih plinova.

ETOPS odobrenje omogućava operatorima zrakoplova letove na rutama na kojima to prije nije bilo moguće. Za primjer je prikazana ruta između Nairobija i Singapura (slika 5.).

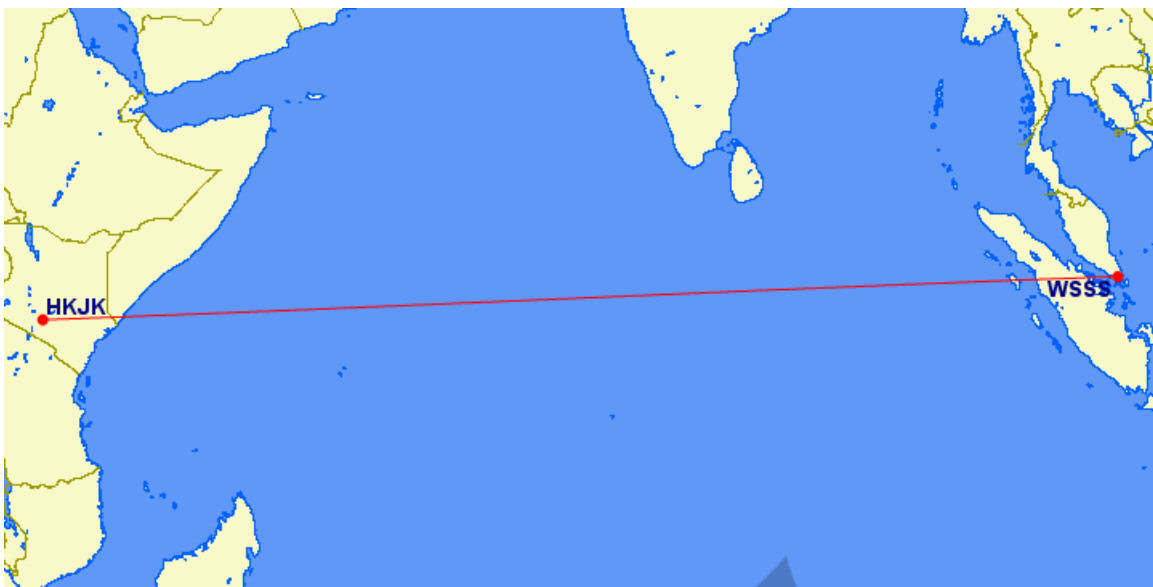


Slika 5. Ruta Nairobi - Singapur bez ETOPS odobrenja, [6]

Specifičnost ove rute je da dvomotornim zrakoplovima bez ETOPS odobrenja (pravilo „60 minuta“) nije dozvoljeno letjeti direktno između te dvije točke jer ne postoji potreban broj alternativnih aerodroma na samoj ruti, stoga zrakoplovne kompanije moraju koristiti

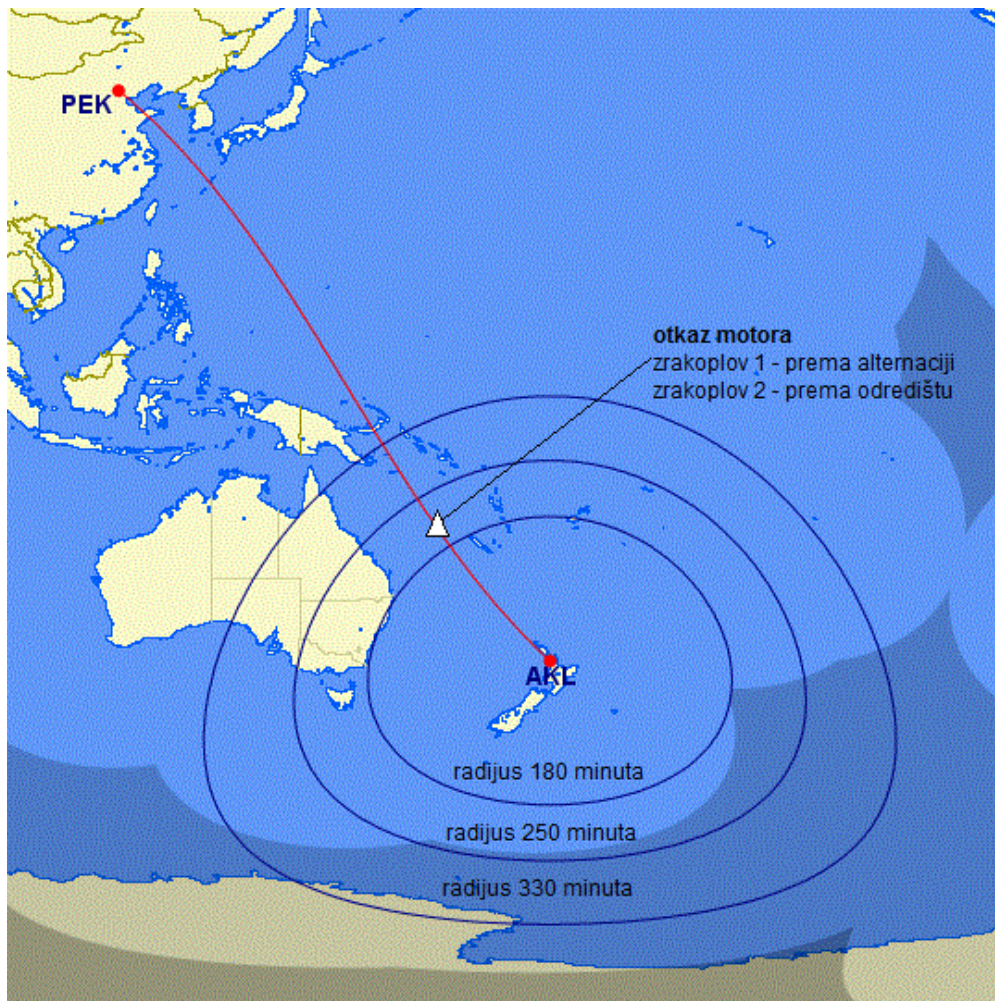
tromotorne ili četveromotorne zrakoplove koji su ekonomski neisplativiji (veća potrošnja goriva).

Uz ETOPS odobrenje od 120 minuta, upotreba dvomotornih zrakoplova na ruti Nairobi – Singapur postaje moguća (slika 6.). Prednost upotrebe dvomotornih zrakoplova zadovoljava i putnike jer se otvaraju nove rute na kojima se mogu koristiti takvi zrakoplovi koji su ekonomski isplativiji zračnim prijevoznicima u odnosu na velike tromotorne i četveromotorne zrakoplove, čime sui cijene zrakoplovnih karata niže.



Slika 6. Ruta Nairobi - Singapur uz ETOPS od 120 minuta, [6]

Sa većim ETOPS odobrenjem povećava se i udaljenost od alternativnog aerodroma na ruti, što u slučaju otkaza motora znači da, ako jedan zrakoplov ima ETOPS od 180 minuta, a drugi 330 minuta i otkaz se dogodi na udaljenosti koja odgovara 250 minuta od određižnog aerodroma, prvi zrakoplov mora ići na alternaciju što stvara dodatne troškove zbog daljnjeg transporta putnika i troškova slijetanja, dok drugi može nastaviti prema odredištu sa jednim motorom bez ugrožavanja sigurnosti (slika 7.).



Slika 7. Situacija otkaza motora na ruti za 2 zrakoplova s različitim ETOPS odobrenjima

IZVOR: [6]

Između ostaloga, prednosti ETOPS-a se očituju i u tome da zrakoplovne kompanije, kako bi zadržale ETOPS odobrenja, moraju provoditi dodatna održavanja i nadgledanja zrakoplova koji se koriste za ETOPS operacije što bitno povećava sigurnost. Također, proizvođači zrakoplova i motora moraju zadovoljiti visoke standarde u pogledu sigurnosti i pouzdanosti. Uz to, svaki događaj koji se dogodi na takvom letu (odlazak na alternaciju ili povratak na polazni aerodrom zbog kvara) mora se bez odgode prijaviti kako bi se analizirali uzroci u svrhu unaprijeđenja budućih operacija.

Tijekom godina je dokazano da su dvomotorni zrakoplovi pouzdaniji od četveromotornih i što je najvažnije, da su efikasniji i ekonomičniji u pogledu potrošnje goriva, količine ispušnih plinova i težine motora [10].

3.2. Nedostatci ETOPS-a

Svi nedostatci usmjereni su na operatora zrakoplova. Jedan od glavnih nedostataka ETOPS-a je certificiranje zrakoplova za takve operacije. Kako bi se certifikat izdao za pojedini zrakoplov, moraju se proći određene faze koje nisu kratkotrajan proces (u početku se za Boeing 777 ETOPS odobrenje od 180 minuta čekalo 2 godine). Također, dolazi do povećanja operativnih troškova zbog potrebe dodatnog školovanja letačkog i ostalog potrebnog osoblja.

Dodatno održavanje zrakoplova, što je ranije navedeno kao prednost ETOPS-a, istovremeno je i mana zbog toga što uzrokuje dodatne financijske troškove. Operator može vrlo lako izgubiti ETOPS odobrenje ukoliko se kontinuirano ne pazi na potrebne zahtjeve koji se moraju ispuniti, a koje nadgledaju nadležne zrakoplovne vlasti kao i proizvođači zrakoplova i motora. Upravo se iz tog razloga svaki kvar mora prijaviti i nadležnim vlastima i proizvođaču zrakoplova i motora. [11]

4. ETOPS REGULATIVA I ZAHTJEVI ZA IZDAVANJE ETOPS ODOBRENJA

Operacije dvomotornih zrakoplova sa i bez ETOPS odobrenja unutar Europske agencije za sigurnost zračnog prometa (eng. *European Aviation Safety Agency, EASA*) definirane su regulativom Europske komisije pod nazivom *Commission Regulation (EC) No 965/2012; Subpart B - Operating Procedures; Section 1 (Motor-powered aircraft); CAT.OP.MPA.140* i *Subpart F - Extended Range Operations with Two-Engined Aeroplanes (ETOPS)*.

4.1. Operacije dvomotornih zrakoplova bez ETOPS odobrenja

Otkaz jednog motora ili kvar na nekom od glavnih sustava zrakoplova tijekom leta iznad oceana ili zabačenih mjesta mogu uzrokovati velike probleme u odnosu na slične događaje kod tromotornih ili četvermotornih zrakoplova. Upravo iz tog razloga potrebno je ograničiti udaljenost takvih zrakoplova od odgovarajućeg aerodroma na ruti.

Unutar *CAT.OP.MPA.140* određena je maksimalna udaljenost na kojoj se dvomotorni zrakoplov bez ETOPS odobrenja može nalaziti od alternativnog aerodroma na ruti:

(a) Ako operator zrakoplova nema posebno odobrenje nadležnih zrakoplovnih vlasti u skladu sa *Annex V (Part-SPA, Subpart F)*, tada ne smije izvršavati operacije dvomotornih zrakoplova na rutama sa točkama preleta koje su udaljene od odgovarajućeg aerodroma (u standardnim uvjetima i u mirnom zraku) na ruti za više od, u slučaju:

1. Zrakoplova klase A performansi sa:

- (i) maksimalnim dozvoljenim kapacitetom putničkih sjedala od 20 ili više; ili
- (ii) maksimalnom masom u polijetanju od 45 360 kg ili više,

udaljenosti koja se preleti za 60 minuta pri brzini krstarenja sa jednim motorom u otkazu u skladu sa (b);

2. Zrakoplova klase A performansi sa:
- (i) maksimalnim dozvoljenim kapacitetom putničkih sjedala od 19 ili manje; ili
 - (ii) maksimalnom masom u polijetanju manjom od 45 360 kg,

udaljenosti koja se preleti za 120 minuta ili, uz posebno odobrenje nadležnih zrakoplovnih vlasti, do 180 minuta za turbo-mlazne zrakoplove, pri brzini krstarenja sa jednim motorom u otkazu u skladu sa (b);

3. Zrakoplova klasi B i C performansi:

- (i) udaljenosti koja se preleti za 120 minuta pri brzini krstarenja sa jednim motorom u otkazu u skladu sa (b); ili
- (ii) 300 NM, što je manje.

- (b) Operator zrakoplova mora utvrditi brzine za izračun maksimalne udaljenosti od odgovarajućeg aerodroma za svaki dvomotorni zrakoplov, a koja ne prekoračuje maksimalnu operativnu brzinu (eng. *Maximum operating speed, V_{MO}*) koja se temelji na stvarnoj brzini (eng. *True airspeed, TAS*) koju zrakoplov može održavati u slučaju otkaza jednog motora.
- (c) Operator zrakoplova mora navesti slijedeće podatke u operativnom priručniku, i to posebno za svaki tip ili varijantu zrakoplova:
 - (1) utvrđenu brzinu krstarenja sa jednim motorom u otkazu; i
 - (2) utvrđenu maksimalnu udaljenost od odgovarajućeg aerodroma.
- (d) Ako operator zrakoplova želi ishoditi odobrenje za operacije zrakoplova navedeno pod (a) (2), potrebno je dokazati da:
 - (1) kombinacija zrakoplov/motor ima odobrenja za projekt tipa (eng. *Type Design Approval*) i pouzdanost, potrebna za operacije produženog doleta za dvomotorne zrakoplove;
 - (2) su zrakoplov i motori održavani kako bi zadovoljili potrebne kriterije pouzdanosti kroz implementaciju zadanih uvjeta; i
 - (3) su letачka posada i ostalo operativno osoblje prošli odgovarajuću obuku i da imaju propisane kvalifikacije za izvršavanje takvih operacija. [12]

4.2. Operacije dvomotornih zrakoplova s ETOPS odobrenjem

Unutar *SPA.ETOPS.100* ETOPSpropisano je da u operacijama komercijalnog zračnog prometa, dvomotorni zrakoplovi mogu biti na većoj udaljenosti od odgovarajućeg aerodroma na ruti od one propisane u *CAT.OP.MPA.140* i to ukoliko je operator zrakoplova od nadležnih vlasti ishodio ETOPS operativno odobrenje [13].

Uvjeti izdavanja ETOPS operativnog odobrenja propisani su u dijelu *SPA.ETOPS.105 ETOPS operational approval*:

Ukoliko operator zrakoplova želi ishoditi ETOPS operativno odobrenje od nadležnih zrakoplovnih vlasti, mora dokazati:

- (a) da kombinacija zrakoplov/motor ima ETOPS odobrenja za projekt tipa i pouzdanost, za takve operacije;
- (b) da je izvršena odgovarajuća obuka članova letačke posade i drugog operativnog osoblja uključenog u ove operacije te da su navedene osobe kvalificirane za izvršavanje takvih operacija;
- (c) sposobnost podrške takvih operacija temeljenih na organizaciji i iskustvu; i
- (d) da su utvrđene operativne procedure. [13]

4.3. Izbor alternativnog aerodroma na ETOPS ruti

Kod planiranja ETOPS ruta bitno je odabrati odgovarajuće alternativne aerodrome koji mogu zadovoljiti potrebe zrakoplova. Izbor odgovarajućeg aerodroma (eng. *Adequate airfield*) propisan je unutar regulative Europske komisije pod nazivom *Commission Regulation (EC) No965/2012*, i to u dijelu *Subpart F - Extended Range Operations with Two-Engined Aeroplanes (ETOPS)*, *SPA.ETOPS.110 ETOPS en-route alternate aerodrome*:

- (a) alternativni aerodrom na ETOPS ruti smatra se odgovarajućim, ako je u očekivanom vremenu korištenja otvoren i opremljen određenom opremom i službama: jedinica nadležna za pružanje operativnih usluga u zračnom prometu (eng. *Air Traffic Services, ATS*), potrebno osvjetljenje, komunikacijska oprema, izvještaji o vremenu,

navigacijska sredstva, službe u slučaju opasnosti i ako ima najmanje jednu proceduru za instrumentalni prilaz;

- (b) prije izvršavanja ETOPS leta, operator mora osigurati da je alternativni aerodrom na ETOPS ruti dostupan i to unutar vremena za koje operator ima ETOPS odobrenje, ili vremena koje je zrakoplovu potrebno da u slučaju otkaza jednog motora dođe do alternativnog aerodroma, a koje se temelji na MEL⁸ statusu uporabljivosti zrakoplova, što je kraće;
- (c) operator mora navesti potencijalne alternativne aerodrome na ETOPS ruti u operativnom i ATS planu leta. [13]

Općenito se uz pojam odgovarajući aerodrom koristi i pojam prikladni aerodrom (eng. *Suitable airfield*). Zapovjednik zrakoplova na dan leta mora, koristeći kriterije zrakoplovnog prijevoznika, osigurati odabir odgovarajućih alternativnih aerodroma ruti, uzimajući u obzir vremenske uvjete i ispravnost navigacijskih i ostalih sredstava na tom aerodromu, a koji su prikladni za predviđenu operaciju. Aerodrom se neće koristiti kao alternacija na ETOPS ruti, osim ako su vremenska izvješća takva da pokazuju da će tijekom perioda koji započinje 1 sat prije i završava 1 sat poslije očekivanog vremena dolaska (eng. *Expected Time of Arrival*, ETA) vremenski uvjeti biti isti ili iznad propisanih minimuma [14]. U tablici 1. prikazani su minimumi koji se moraju zadovoljiti pri odabiru alternativnog aerodroma na ETOPS ruti. Važno je naglasiti da se vrijednosti niže navedenih minimuma dodaju na već izračunate vrijednosti minimuma za alternativni aerodrom koji se potencijalno namjerava koristiti.

VRSTA PRILAZA	PLANIRANI MINIMUMI
precizni prilaz	DA/H + 200 ft RVR/VIS + 800 m (*)
neprecizni prilaz ili prilaz kruženjem	MDA/H + 400 ft (*) RVR/VIS + 1500 m
(*) VIS – vidljivost (eng. <i>Visibility</i>); MDA/H – minimalna apsolutna visina snižavanja (eng. <i>Minimum Descent Altitude</i>) / minimalna visina snižavanja (eng. <i>Minimum Descent Height</i>)	

⁸ Lista minimalne opreme (eng. *Minimum Equipment List*) je lista koja omogućuje operaciju zrakoplova, prema specifičnim uvjetima, s određenim instrumentima, dijelovima opreme ili funkcijama, neispravnima na početku leta

Tablica 1. Planirani minimumi na alternativnom aerodromu na ETOPS ruti

IZVOR: [15]

Prema istraživanju kompanije Boeing, odlazak na ETOPS alternativni aerodrom se u prosjeku, zbog otkaza motora dvomotornog zrakoplova, dogodi jednom na 70000 letova na ETOPS ruti, što pokazuje pouzdanost takvih zrakoplova [16].

4.4. Zahtjevi za izdavanje ETOPS odobrenja

Kako bi zrakoplov mogao izvršavati operacije produženog doleta potrebno je ispuniti dva zahtjeva. Prvi zahtjev je vezan uz proizvođača koji treba certificirati zrakoplov (eng. *Aircraft certification*) za takve operacije, te drugi vezan uz operatora zrakoplova koji mora ishoditi operativno odobrenje (eng. *Operational approval*). Regulative koja prate certificiranje zrakoplova su *Annex 8 – Airworthiness of aircraft* (izdaje ICAO) i AMC⁹ 20-6 rev. 2 (izdaje EASA), dok su uz operativno odobrenje vezani AMC 20-6 rev. 2, *Annex 6 – Operation of aircraft*, EASA OPS - dio CAT-OP¹⁰, te pravila koja izdaje nadležna zrakoplovna vlast¹¹.

4.4.1. Certificiranje zrakoplova

Kod certificiranja zrakoplova potrebno je ishoditi ETOPS odobrenje za projekt tipa zrakoplova (eng. *Type design approval*). Zadaća proizvođača zrakoplova je projektiranje i osiguravanje potrebne razine pouzdanosti zrakoplova za operacije produženog doleta u skladu sa strogim zahtjevima za izdavanje ETOPS certifikata. Kako bi se lakše ispunili ti zahtjevi, ETOPS odobrenje za projekt tipa zrakoplova se može podijeliti u dva dijela:

- a) Prikladnost/prihvatljivost projekta tipa za izvršavanje ETOPS operacija (eng. *ETOPS type design eligibility*)

⁹ Prihvatljivi načini udovoljavanja (eng. *Acceptable Means of Compliance*) su tzv. „meka pravila” (*Non Binding Standards*) prilagođena od strane EASA-e na način kojim je objašnjen (mogući) drugačiji pristup u primjeni EC Uredbi 216/2008 i 1108 /2009 (*Basic Rule*) i pripadajućih *Implementing Rules*

¹⁰ Operacije u komercijalnom zračnom prometu (eng. *Commercial Air Transport Operations*)

¹¹ U Republici Hrvatskoj nadležna zrakoplovna vlast je Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo (eng. *Croatian Civil Aviation Agency, CCAA*)

Proizvođač zrakoplova mora pokazati da je zrakoplov projektiran u skladu s ETOPS kriterijima i da je prihvatljiv za izvršavanje ETOPS operacija. Pri tome se u obzir uzima slijedeće (detaljniji zahtjevi su opisani unutar AMC 20-6 rev.2):

- Pouzdanost pogonskog sustava

Ovo je najbitniji dio prilikom certificiranja za ETOPS odobrenje. Mora se dokazati da je vjerojatnost dvostrukog otkaza motora od dva nezavisna uzroka manja od definiranih granica (maksimalni IFSD *rate*¹² iznosi 0,02/1000 sati rada motora za ETOPS od 180 minuta).

- Redundancija izvora električne energije

Kako bi se osigurale osnovne funkcije u zrakoplovu: komunikacija, navigacija i rad osnovnih letačkih instrumenata (visinomjer, brzinomjer, pokazivač položaja i pokazivač smjera), potrebna su minimalno tri pouzdana, nezavisna i vremenski neograničena izvora električne energije.

Električni generatori za pogon motora i pomoćnog pogonskog sustava (eng. *Auxiliary Power Unit*, APU) moraju biti dostatan izvor električne energije za cijelo vrijeme trajanja leta u normalnim uvjetima. Svaki ETOPS zrakoplov mora biti opremljen sa pomoćnim generatorom/ima u slučaju nepredviđenih okolnosti na ETOPS ruti.

- Projektiranje APU-a

APU mora biti tako projektiran da može pokrenuti motore u zraku tijekom normalnih uvjeta leta i omogućiti hladan start pri svim certificiranim operativnim temperaturama prilikom trajanja leta.

- Projektiranje pomoćnih električnih generatora

Pomoćni električni generator/i mora/ju osigurati opskrbu električnom energijom za napajanje bitne opreme u slučaju kvara ili niza kvarova. Također, informacije koje se prikazuju posadi moraju biti u propisanim granicama preciznosti za namjeravane operacije.

- Minimalno radno opterećenje posade

¹² Učestalost gašenja motora u letu (eng. *In-flight shutdown rate*, IFSD*rate*); IFSD označava događaj koji dovodi do gašenja motora namjerno (od strane posade), zbog požara, udara ptice, zaleđivanja, unutarnjeg kvara, itd.

U slučaju kvara ili niza kvarova letачka posada mora imati indikacije rada sustava u granicama preciznosti kako bi imali potrebne informacije za lakše donošenje odluka iznad bilo koje točke na ruti. Radno opterećenje posade mora se održavati na prihvatljivoj razini.

- Redundancija sustava

Tijekom jednomotornih operacija zbog otkaza drugog motora, preostala električna energija te hidraulički i pneumatski sustav moraju biti na takvoj razini da osiguravaju sigurno nastavljanje leta i slijetanje.

- Oprema s vremenskim ograničenjem

Svaka oprema za sigurno obavljanje leta s vremenskim ograničenjem se može koristiti na ETOPS rutama, ako trajanje te opreme nije kraće od ETOPS odobrenja (npr. 120 minuta) plus dodatak od 15 minuta potrebnih za prilaz i slijetanje (npr. proutpožarni sustav u *cargo* odjeljcima).

Važan dio certificiranja je i testiranje zrakoplova u letu. Ono se obavlja u prisustvu nadležnih zrakoplovnih vlasti zaduženih za plovidbenost zrakoplova i ti se testovi najčešće obavljaju iznad oceana. Tijekom testnoga leta testiraju se performanse zrakoplova sa jednim motorom u otkazu, ETOPS procedure te radno opterećenje posade tijekom skretanja od namjeravane putanje leta uz simuliranje različitih otkaza.

- b) Sposobnost projekta tipa za izvršavanje ETOPS operacija (eng. *ETOPS type design capability*)

Nakon što je proizvođač pokazao da je zrakoplov uspješno projektiran za ETOPS operacije, također mora demonstrirati da je kombinacija zrakoplov/motor na potrebnoj razini pouzdanosti na temelju iskustva u eksploataciji. Nadležne zrakoplovne vlasti zahtijevaju 100000 sati rada motora u letu i eksploataciju u periodu od 12 mjeseci za nove motore (u svjetskoj floti, na tipu zrakoplova i sa motorima za koje se traži ETOPS odobrenje) i 50000 sati rada motora u letu i eksploataciju u periodu od 12 mjeseci koji su posebno modificirani za ETOPS operacije (u svjetskoj floti, na tipu zrakoplova i sa motorima za koje se traži ETOPS odobrenje) kako bi se mogla provesti odgovarajuća analiza pouzdanosti. Ako su motori bili korišteni na zrakoplovu s ETOPS odobrenjem, onda se navedeni zahtjevi mogu smanjiti. Uz to se analizira i IFSD

rate pogonskog sustava zrakoplova i ostali događaji tijekom rada na zemlji i u zraku vezani uz motor i pripadajuću opremu te zrakoplovne sustave. [15], [17]

Sve analize se vrše od strane nadležnih zrakoplovnih vlasti za kontrolu plovidbenosti koje pri ocjenjivanju u obzir uzimaju i korektivne akcije koje se poduzimaju tijekom testiranja (promjene konfiguracije, radni zadaci i procedure). ETOPS odobrenje koje će određena kombinacija zrakoplov/motor dobiti ovisi o rezultatima analize, procjeni inženjera nadležnih zrakoplovnih vlasti i predviđenoj razini pouzdanosti [17].

4.4.2. Operativno odobrenje

Prvi zahtjev koji se mora ispuniti pri traženju operativnog odobrenja je da zrakoplov ima ETOPS odobrenje za projekt tipa. Pri tome je glavna zadaća operatora zrakoplova definiranje operativnih procedura i plana održavanja. Zrakoplovni prijevoznik mora poslati prijavu za ETOPS nadležnim zrakoplovnim vlastima, zajedno s ciljevima korištenja (planirane rute, tražena vrijednost ETOPS odobrenja – 120 min., 180 min...), flota, područje izvršavanja operacija, planirani datum prvog ETOPS leta, itd.) Prijavu je potrebno poslati najmanje 3 mjeseca prije planiranog datuma ETOPS leta ili 6 mjeseci u slučaju ubrzane metode (eng. *Accelerated method*) za dobivanje ETOPS operativnog odobrenja [18].

Drugi zahtjev vezan je uz postupke koji se moraju utvrditi i implementirati, a to su:

- a) Postupci u letačkim operacijama: izrada priručnika za ETOPS operacije, planiranje ETOPS ruta / odabir alternativnih aerodroma, planiranje letenja (gorivo, aerodromi, sustavi s vremenskim ograničenjem...), meteorološki podaci i procedure u letu (komunikacija, nadziranje parametara leta, donošenje odluka tijekom otkaza motora ili sustava);
- b) Postupci održavanja: izrada priručnika za ETOPS operacije, ETOPS program održavanja, procedure dvostrukog održavanja, praćenje potrošnje goriva, praćenje pouzdanosti i izvještaji o kvarovima i otkazima, praćenje radnih parametara.
- c) Obuka osoblja – obuhvaća sve postupke. [18]

ETOPS operativno odobrenje se može ishoditi na dva načina: metodom „u eksploataciji“ (eng. *In-service method*) koja zahtijeva da kombinacija zrakoplov/motor ima

prethodnu aktivnost u eksploataciji i ubrzanom metodom koja ne zahtijeva prethodnu aktivnost u eksploataciji.

Kod metode „u eksploataciji“ potrebne su sljedeće prethodne aktivnosti:

- za ETOPS od 120 minuta, jednogodišnja eksploatacija,
- za ETOPS od 180 minuta, jednogodišnja eksploatacija s ETOPS odobrenjem od 120 minuta,
- za ETOPS iznad 240 minuta, dvogodišnja eksploatacija s ETOPS odobrenjem od 180 minuta. [18]

Nisu potrebne nikakve druge aktivnosti jer se izdavanje odobrenja temelji samo na prethodnom radu s ETOPS odobrenjem.

Ubrzana metoda za dobivanje ETOPS odobrenja zahtijeva sljedeće:

- definiranje strategije za suradnju između operatora zrakoplova i nadležnih zrakoplovnih vlasti,
- osnova za dobivanje odobrenja su kompenzirajući faktori: prethodno iskustvo sa sličnom konstrukcijom zrakoplova ili motorima slične tehnologije izrade, prethodno ETOPS iskustvo, trening za izvršavanje ETOPS operacija i simulacija ETOPS operacija – količina tih faktora ovisi o traženom ETOPS odobrenju i prethodnom iskustvu s ETOPS-om,
- sposobnost za izdavanje ETOPS odobrenja se temelji na procjeni inženjera i analiziranih podataka. [18]

5. OPĆENITO O ZRAKOPLOVU BOEING 777

Boeing 777 (slika 7.) je širokotrupni dvomotorni zrakoplov dugog doleta. To je ujedno i prvi zrakoplov koji je kompletno dizajniran pomoću trodimenzionalne računalne tehnologije. Program za razvoj ovog modela započeo je u listopadu 1990. godine, a prva narudžba je bila od kompanije United Airlines. U lipnju 1995. je prvi model pušten u eksploataciju (Boeing 777-200), a u isto vrijeme je počela proizvodnja naprednijeg modela 777-300 [20].

Ovo je i najveći zrakoplov među grupom dvomotornih i tromotornih zrakoplova. Boeing 777 je imao znatna poboljšanja aerodinamičnosti, dizajna interijera i pilotske kabine u odnosu na svoje prethodnike [21].



Slika 8. Boeing 777, [21]

5.1. Modeli zrakoplova Boeing 777

Boeing 777 dostupan je u 6 modela: 777-200, 777-200ER (eng. *Extended Range*), 777-300, 777-300ER, 777-200LR (eng. *Long range*) Worldlineri teretni zrakoplov 777F (eng. *Freighter*) [21]. U tablici 2. prikazane su neke karakteristike komercijalnih putničkih verzija Boeing-a 777.

Tablica 2. Prikaz nekih karakteristika različitih modela putničkog zrakoplova Boeing 777

	Maksimalan dolet [NM]	Praktični vrhunac leta ¹³ [ft]	Brzina krstarenja [Ma]	Maksimalna masa pri polijetanju [lbs] (MTOW)	Broj putničkih sjedala
777-200	5240	43100	0,84	545000	305
777-200ER	7725			656000	301
777-300	6005			660000	368
777-300ER	7930			775000	365
777-200LR Worldliner	9395			766000	301

IZVOR: [6], [19]

U prethodnoj tablici uspoređene su neke karakteristike različitih modela putničkih verzija zrakoplova Boeing 777. Prikazane su vrijednosti maksimalnog doleta u nautičkim miljama, maksimalne visine krstarenja u stopama (eng. *Feet*, ft), brzine krstarenja izražene preko Mahovog broja (eng. *Mach*, Ma)¹⁴, maksimalne mase pri polijetanju (eng. *Maximum Take-Off Weight*, MTOW) u librama (eng. *Pound*, lbs)¹⁵ i broja putničkih sjedala (varira ovisno o modifikaciji putničke kabine). Vidljivo je da najveći dolet ima 777-200LR *Worldliner*, ujedno i komercijalni zrakoplov s najvećim doletom na svijetu. Uspoređujući taj zrakoplov sa 777-300ER, veći dolet postignut je smanjivanjem broja putničkih sjedala i MTOW čime *Worldliner* ima manju masu od 777-300ER i to za oko 9,2 tone (u obzir je uzeto da je prosječna masa putnika 80 kg), što mu daje dodatni prostor za veći dolet.

Na zrakoplovima 777-300ER, 777-200LR *Worldliner* i 777F koristi se motor GE90-115B (*General Electric*), koji trenutno drži rekord za stvaranje najvećeg potiska od svih komercijalnih mlaznih motora. Tijekom testiranja je postignuto 127900 lbs potiska (predviđeno je da razvija 115000 lbs potiska) unutar 60 sati rada pri ekstremnim uvjetima (maksimalna brzina ventilatora, maksimalna brzina vrtnje visokotlačnog kompresora (N2) i maksimalna temperatura ispušnih plinova). Taj motor je posebno razvijan za ovu seriju zrakoplova [22]. Samo za usporedbu, motor Rolls Royce Trent 900 koji se koristi na danas najvećem putničkom zrakoplovu na svijetu, četveromotornom Airbusu A380, razvija 70000-80000 lbs potiska [23]. Na ostalim varijantama zrakoplova koriste se i druge verzije motora

¹³ Praktični vrhunac (plafon) leta (eng. *Service ceiling*) je maksimalna visina leta zrakoplova na kojoj može održavati gradijent penjanja od 100 ft/min. Zrakoplov može penjati i iznad te visine, ali uz lošije performanse i to do apsolutnog plafona leta što je maksimalna visina svakog zrakoplova

¹⁴ Ma = omjer stvarne brzine zrakoplova (TAS) i brzine zvuka

¹⁵ 1 lbs = 0,453592 kg

GE (GE90-76B, GE90-85B,...), motori kompanije *Pratt and Whitney* (PW4077, PW4098,...) i *Rolls Royce Trent* modeli motora (RR Trent 875, RR Trent 895,...) [24].

Trenutno je u razvoju i serija 777X, čija se proizvodnja planira za početak 2017., a prva isporuka 2020.godine. Glavni zadatak ove serije je proizvesti najveći i najefikasniji dvomotorni zrakoplov, sa 12% manjom potrošnjom goriva i 10% manjim operativnim troškovima u odnosu na konkurenciju [21].

5.2. Boeing 777 i ETOPS

Boeing 777 je bio prvi zrakoplov dizajniran s ciljem da zadovoljava zahtjeve za izdavanje ETOPS odobrenja, uključujući sposobnost za izvršavanje operacija produženog doleta s jednim motorom u otkazu u trajanju od minimalno 180 minuta [25].

Zrakoplovu je prvo ETOPS odobrenje izdano 1990. godine. Iako je kompanija Boeing uspjela uvjeriti FAA da zadovoljava kriterije za ETOPS od 180 minuta za šta je i bio odobren, pri dolasku u Europu tadašnje Zajedničke zrakoplovne uprave (eng. *Joint Aviation Authorities*, JAA), koje su prethodile EASA-i, se s time nisu složile i zrakoplovu je odobren ETOPS od 120 minuta. Stroga regulativa JAA-a je zahtijevala da se 777 pusti u eksploataciju godinu dana uz ETOPS od 120 minuta, kako bi se dokazala pouzdanost za prelazak na 180 minuta. Današnji propisi u Europi i SAD-u daju tom zrakoplovu ETOPS od 180 minuta pri incijalnom ulasku u upotrebu [5].

U 2011. godini B777 je od FAA dobio ETOPS odobrenje za operacije do 330 minuta (unutar EASA-e 207 minuta, čeka se odobrenje za 330 minuta) i to za modele 777-200LR, 777-300ER, 777F i 777-200 ER sa GE motorima ili u slučaju 777-200 ER i *Rolls Royce*, te *Pratt and Whitney* motorima. To im omogućuje najdirektnije letove preko južnog dijela Tihog oceana, sjevernog pola i od Australije do Južne Amerike [26].

Rekord za najduži let na svijetu drži zrakoplov Boeing 777-200LR *Worldliner*. Let je bio dugačak 21602 km (11664 NM) i trajao je 22 sata i 22 minute na ruti između Hong Konga (aerodrom Chek Lap Kok) i Londona (aerodrom Heathrow), a zrakoplov je bio kompanije Pakistan International Airlines. Tijek samoga leta odvijao se u smjeru istoka (preko otoka Midwayu Tihom oceanu, Los Angelesa i New Yorka te preko Atlantskog oceana do Londona), dok se obično na ovoj ruti ide zapadno zbog kraće udaljenosti (5209 NM) [27].

Time se zapravo htjelo dokazati da *Wordliner* ima izrazite mogućnosti za letove bez zaustavljanja na ultra-dugim rutama.

6. PRIMJENA ETOPS-a NA ZRAKOPLOVU BOEING 777

Kao što je navedeno u prethodnom poglavlju, B777 ima ETOPS odobrenje od 330 minuta (207 minuta unutar EASA-e). Prva zrakoplovna kompanija koja je dobila to odobrenje je Air New Zealand i to za model 777-300ER. Povećanjem ETOPS odobrenja povećava se i fleksibilnost ruta koje mogu koristiti prijevoznici, što dovodi do bitnih ušteda u potrošnji goriva i emisiji CO₂.

Prema podacima iz 2011., od 1985. godine dvomotorni zrakoplovi kompanije Boeing izvršili su 7 milijuna ETOPS operacija, a više od 120 zrakoplovnih kompanija koje imaju Boeing u floti mjesečno izvrše preko 50000 ETOPS operacija. Glavninu tih ruta su izvršili upravo modeli 777 (93% zrakoplova B777 leti na ETOPS rutama). Pri tome se u obzir uzimaju sve ETOPS operacije koje uključuju radijus veći od 60 minuta od alternativnog aerodroma. Od 1995., kada je dobio prvo ETOPS odobrenje, B777 je izvršio 2 milijuna ETOPS operacija. Danas se više od 22000 ETOPS operacija na mjesec izvrši na raznim modelima tog zrakoplova unutar 53 prijevoznika koji ga koriste u svojoj floti [28].

U nastavku teksta će se analizirati učestalost otkaza motora (*IFSD rate*) za B777 na primjeru različitih ETOPS odobrenja. Nadalje, prikazat će se uštede u gorivu i emisiji CO₂, operativnim troškovima i općenito prednostima ETOPS-a na primjeru B777.

6.1. IFSD rate za različita ETOPS odobrenja

Jedna od bitnih prednosti operacija produženog doleta je i veća pouzdanost motora, ponajprije zbog većih zahtjeva prilikom izdavanja ETOPS odobrenja vezanih uz održavanje, ali i zbog kraćih ruta. Učestalost otkaza mlaznog motora se iskazuje formulom kako slijedi:

$$IFSD\ rate = \sqrt{\frac{10^{-8} \times (0.6 + 0.4 \times T)}{T \times Y}}$$

gdje su: IFSD *rate* = učestalost otkaza jednog motora u jednom satu rada [h^{-1}],

T = trajanje leta u satima [h],

Y = odobreni ETOPS u satima [h].

U tablici 3. prikazat će se IFSD *rate* na 1000 sati rada motoraza različite vrijednosti ETOPS odobrenja na ruti London – Mexico City.

Tablica 3. IFSD *rate* za različite vrijednosti ETOPS-a na ruti London - Mexico City

	ETOPS odobrenje	Udaljenost [NM]	Trajanje leta [h]	Brzina krstarenja [kts]	IFSD <i>rate</i> /1000EH
London – Mexico City	bez ETOPS-a (60 min)	5036	9,87	510	0,068
	90 min	4869	9,55		0,055
	120 min	4815	9,26		0,048
	207 min	4815	9,26		0,037
	330 min	4815	9,26		0,029

IZVOR: [6]

Iz prethodne tablice se može očitati da IFSD *rate* ovisi o trajanju leta i ETOPS odobrenju. Što je ruta kraća, a ETOPS odobrenje veće, i učestalost otkaza motora je manja. Iako je u navedenom primjeru izabrana ruta koja se može direktno letjeti s ETOPS odobrenjem od 120 minuta, prikazane su i IFSD *rate* vrijednosti za operacije unutar 207 i 330 minuta zbog prikaza pada učestalosti otkaza s povećanjem ETOPS-a. U stvarnosti IFSD *rate* (prosječni, za svjetsku flotu, unutar 12 mjeseci) za kombinaciju zrakoplov/motorkod ETOPS odobrenja do 120 minuta ne smije biti veći od 0,05/1000 EH, za ETOPS do 180 minuta (uključujući i 207 minuta) 0,02/1000 EH i za ETOPS preko 180 minuta 0,01/1000 EH [29].

Zanimljivo je da motor GE90-115B, koji se koristi na nekim modelima B777 ima 1 IFSD na svakih 1000000 sati rada motora [30], što dodatno potvrđuje njegovu nadmoć u svijetu mlaznih motora.

6.2. Primjena ETOPS operacija na odabranim rutama

U početku su se na preokoceanskim letovima koristili tromotorni ili četveromotorni zrakoplovi koji su neekonomični u odnosu na dvomotorne zrakoplove. Uvođenjem ETOPS-a, dvomotorni zrakoplovi počinju preuzimati glavnu ulogu na dugim i ultra dugim letovima zbog znatnih ušteda u količini potrošenoga goriva, emisiji CO₂i trajanju letova. S većim odobrenjem veće su i uštede jer se takvi zrakoplovi mogu koristiti na rutama koje prije nisu bile izravno povezane.

6.2.1. Analiza rute *Auckland – Los Angeles* na primjeru zrakoplova

Boeing 777-300ER i Airbus 340-300

U ovom primjeru analizirat će se učinak rute Auckland, AKL(Novi Zeland) - Los Angeles, KLAX (SAD) (slika 9.). Trenutno na ovoj ruti direktnu vezu nudi jedino Air New Zealand na zrakoplovima 777-300ER, 777-300 i 777-200, dok postoji i nekoliko indirektnih veza drugih kompanija uz jedno ili dva presjedanja.



Slika 9. Ruta AKL - KLAX na primjeru zrakoplova Boeing 777-300ER, [31]

Uz trenutne vrijednosti odobrenja produženog doleta (180 i 330 minuta), 777 je idealan za ovu rutu koju bi inače direktno mogli letjeti jedino četveromotorni zrakoplovi, a za koje je

kroz istraživanja dokazano da su manje pouzdani i manje učinkoviti od dvomotornih zrakoplova. Između ove dvije točke postoji još nekoliko kompanija koje neizravno (preko Tahitija) povezuju Auckland i Los Angeles. Među njima je i četveromotorni zrakoplov Airbus A340-300. Ukupno trajanje leta sa zrakoplovom Boeing 777-300ER iznosi oko 11,5 sati, dok s A340-300 let do Los Angelesa uz stajanje na Tahitijutraje oko 12,5 sati (bez presjedanja) [32].

Navedena ruta je uspoređena uz pretpostavku da su polazni i odredišni aerodrom povezani direktnom vezom, na primjerima zrakoplova Boeing 777-300ER i Airbus A340-300 (tablica 4).

Tablica 4. Analiza rute Auckland - Los Angeles na zrakoplovima 777-300ER i A340-300

	Najkraća udaljenost [NM]	Brzina krstarenja [kts]	Trajanje leta [h]	Broj putnika	Potrošnja goriva po sjedalu [L/100 km]
777-300ER	5652 (10468 km)	510	11,08	365	2,84
A340-300		475	11,90	277	3,30

IZVOR: [6], [33]

Kao što je vidljivo u tablici 4., u zrakoplov 777-300ER stane više putnikanog u A340-300 (ovisno o konfiguraciji sjedala), dok je potrošnja po putničkom sjedalu manja za 14%. Uz to, 777-300ER krstari na većoj brzini, stoga je i trajanje leta manje i to za oko 50 minuta u uvjetima bez vjetra. Ako bi se računala ukupna potrošnja goriva na ovom letu za oba zrakoplova, dobije se da 777-300ER potroši 108511 litara goriva, a Airbus A340-300 potroši 95688 litara goriva. Razlika je 12823 litara, što uz cijenu od 0,5 EUR/l iznosi 6412 EUR manje troškova goriva za Airbus A340-300. No, bez obzira na manji trošak goriva, u A340-300 stanje manje putnika, veća je potrošnja goriva po putničkom sjedalu i manja brzina krstarenja, a samim time i dulje putovanje. Uz sve navedene čimbenike, 777-300ER je isplativiji za let na ovoj, a i sličnim rutama. Za dodatnu usporedbu, u pretpostavku je uzeto da je prosječna cijena povratne karte za oba zrakoplova 1800EUR. S navedenim brojem putnika i uz navedenu potrošnju goriva, zarada na ovom letu bi na temelju ta dva čimbenika iznosila oko 603000 EUR za 777-300ER, tj. oko 451000 USD za Airbus 340-300, čime 777-300ER ostvaruje 25% veći profit.

6.2.2. Primjena ETOPS-a na polarnim rutama

ETOPS operacije su našle svoju primjenu i na polarnim rutama. Razlog letenja preko polova je dodatno smanjivanje udaljenosti između gradova, naročito između gradova u Sjevernoj Americi i Aziji. Kako potražnja za tim letovima raste, zrakoplovne kompanije teže smanjenju ukupnih troškova što se može postići efikasnim dvomotornim zrakoplovima s ETOPS odobrenjem. Upravo je Boeing 777 idealan za ovakve operacije, što će se i prikazati na primjerurute preko Sjevernog polagdje trenutno ne postoji izravnih letova, a primjenom polarnih ruta bi se napravile značajne uštede. Glavne prednosti polarnih ruta istovjetne su učincima ETOPS-a, a to su manja potrošnja goriva, manja količina ispušnih plinova i skraćivanje ruta.

Analizirat će se trimoguće polarne rute iz Londona prema destinacijama Fiji, Honolulu i Anchorage uz ETOPS odobrenje od 330 minuta (tablica 6.) na temelju stvarnih letova uz jedno presjedanje (tablica 5.). Prilikom analize koristio se zrakoplov 777-300ER s kapacitetom od 365 putničkim sjedala.

Tablica 5. Stvarni letovi iz Londona uz jedno presjedanje

	Ukupna udaljenost [NM]	Ukupno trajanje leta [h]	Uk. količina potrošenoga goriva [USGal]	Ukupna emisija CO ₂ [t]
London – Fiji (Los Angeles)	9536	19,07	48368	464
London – Honolulu (Chicago)	7122	14,25	36124	347
London – Anchorage (Seattle)	5430	10,85	27541	264

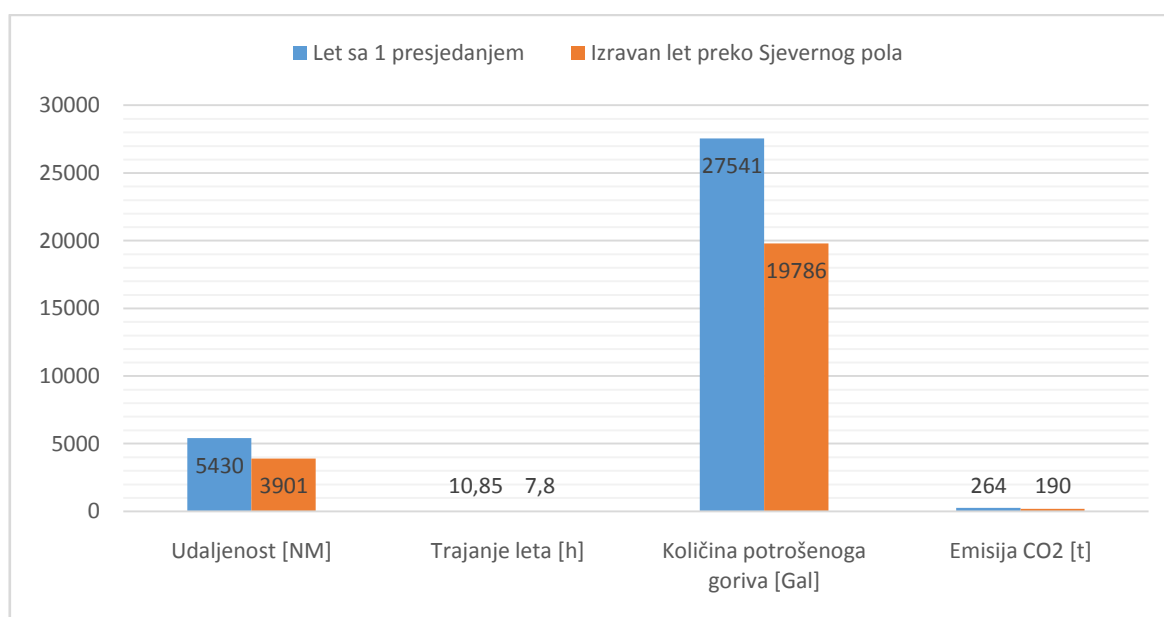
IZVOR: [6]

Tablica 6. Direktni letovi iz Londona preko Sjevernog pola uz ETOPS 330 minuta

	Udaljenost [NM]	Trajanje leta [h]	Količina potrošenoga goriva [USGal]	Emisija CO ₂ [t]
London – Fiji	8779	17,55	44528	428
London – Honolulu	6289	12,58	31898	306
London – Anchorage	3901	7,8	19786	190

IZVOR: [6]

U prethodne dvije tablice uspoređene su vrijednosti udaljenosti, trajanja leta, količine potrošenoga goriva i emisije CO₂ na rutama iz Londona do navedenih destinacija uz jedno presjedanje, s izravnim rutama preko Sjevernog pola uz ETOPS od 330 minuta. Navedene vrijednosti prikazane su zajedno u dijagramu 3. na primjeru rute gdje su najveće uštede (London - Anchorage). Usporedbom se došlo do zaključka da uštede za svaki analizirani segment iznose oko 28%. Za zrakoplovne kompanije su najbitniji podaci vezani uz trajanje leta i količinu potrošenoga goriva, što direktno utječe na operativne troškove.

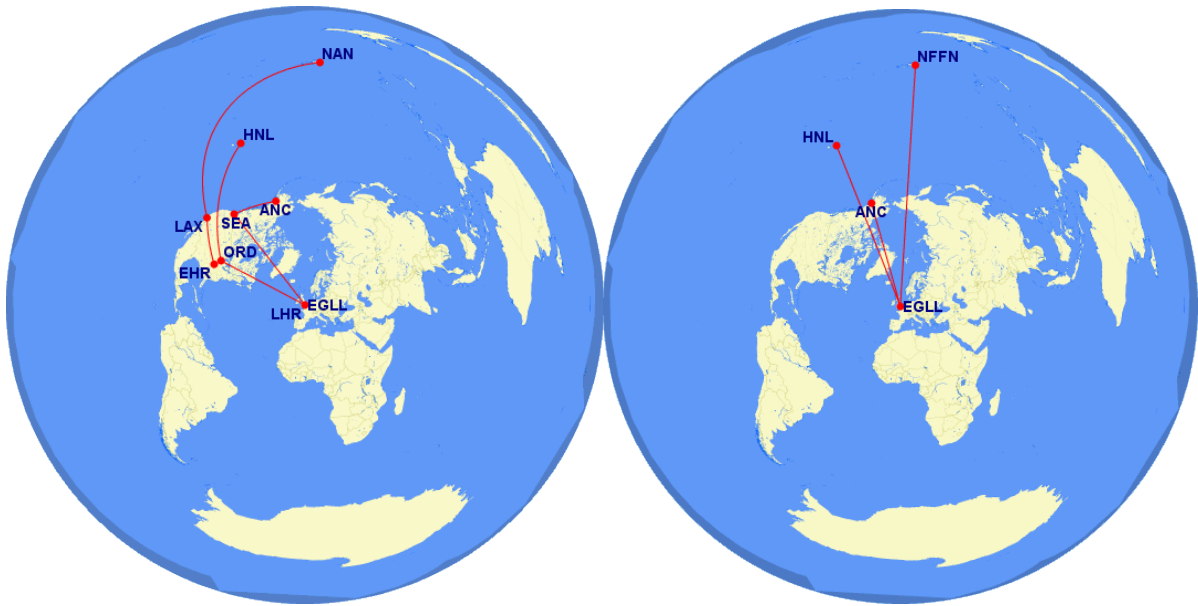


Dijagram 3. Usporedba direktne rute London – Anchorage i rute s jednim presjedanjem (Seattle)

IZVOR: [6]

Na samo jednom letu bi zrakoplovna kompanija mogla uštedjeti na gorivu minimalno 15000 EUR, što na godišnjoj razini ispadne nekoliko milijuna.

Na slici 10. predočene su rute iz tablica 5. i 6.



Slika 10. Putanje ruta uz jedno presjedanje i direktnih ruta iz Londona

IZVOR: [6]

Globalno, bitan podatak su potrošnja goriva i emisija CO₂ (za svaki galon izgorenoga goriva oslobodi se 9,6 kg CO₂[34]), koja je u slučaju polarnih ruta znatno manja. Prema procjeni ICAO-a do 2020. godine će se emisija stakleničkih plinova povećati za 70% u odnosu na 2005., a do 2050. za visokih 300-700%. Iako se potrošnja goriva razvojem efikasnijih motora i zrakoplova iz godine u godinu smanjuje za oko 2%, rast emisije stakleničkih plinova je neizbježan [35]. Zbog toga je glavna zadaća usporiti rast emitiranja tih plinova, što se može postići smanjivanjem potrošnje goriva.

Kod polarnih ruta preko Sibira (primjer rute Toronto – Hong Kong) može se javiti problem ukoliko se leti zrakoplovom s ETOPS odobrenjem od 180 minuta jer se pri izradi takvih ruta koriste alternativni aerodromi u Sibiru. S obzirom na vremenske uvjete u tom dijelu svijeta, može doći do iznenadnog zatvaranja aerodroma, zbog čega se mora planirati veća količina goriva ukoliko bi u trenutku otkaza motora na ruti aerodrom bio zatvoren. Iz tog se razloga na takvim rutama preporuča letenje uz ETOPS od 330 minuta kako bi se za alternaciju mogli koristiti manje „rizični“ aerodromi. Slika 11. prikazuje rutu Toronto (CYYZ) – Hong Kong (VHHH) uz ETOPS 180 minuta i jednom od „rizičnih“ alternacija u Sibiru (Irkutsk).



Slika 11. Polarna ruta Toronto - Hong Kong preko Sibira

IZVOR: [6]

6.2.3. Analiza različitih ETOPS odobrenja na ruti Pariz – Santiago de Chile

Na primjeru rute Pariz (LFPG) – Santiago de Chile (SCEL) analizirat će se primjena ETOPS odobrenja od 90, 120 i 180 minuta (tablica 7.) prema podacima za zrakoplov Boeing 777-300ER sa 365 putničkih sjedala.

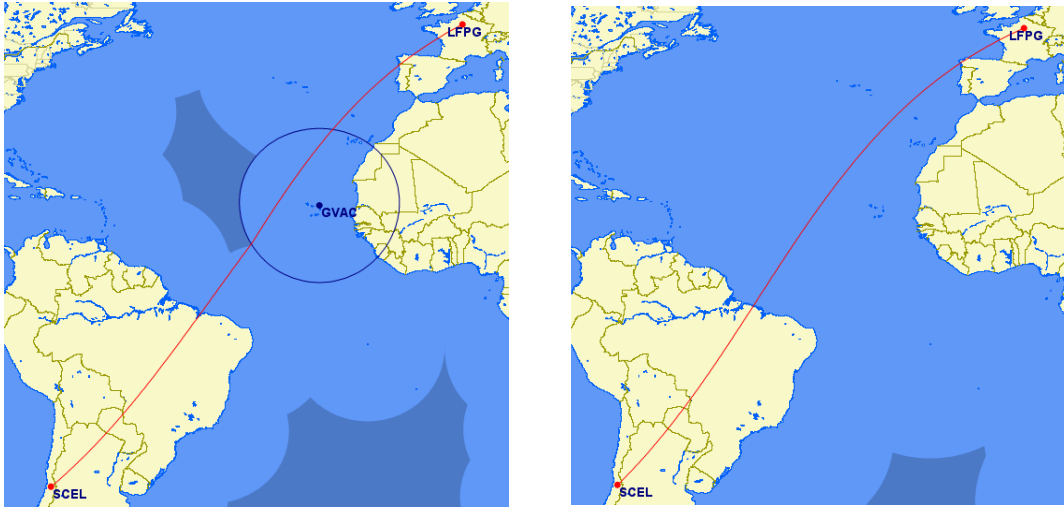
Tablica 7. Primjena različitih ETOPS odobrenja na ruti Pariz - Santiago de Chile

ETOPS odobrenje	Udaljenost [NM]	Trajanje leta [h]	Količina	
			potrošenoga goriva [USGal]	Emisija CO ₂ [t]
90 min	6649	13,3	33724	324
120 min	6300	12,6	31954	307
180 min	6291	12,58	31909	306

IZVOR: [6]

Prema analiziranim podacima može se uočiti da nema prevelike razlike između ETOPS odobrenja od 120 i 180 minuta (slika 12.) niti u jednom analiziranom segmentu, dok je ruta uz ETOPS od 90 minuta (slika 13.) dulja za otprilike 300 NM. Na većini ruta koje su otprilike

slične udaljenosti kao ruta Pariz – Santiago de Chile već uz ETOPS od 120 minuta mogu se postići uštede uz minimalno odstupanje od najkraće rute.



Slika 12. Ruta Pariz - Santiago de Chile uz ETOPS od 120 i 180 minuta, [6]

Zrakoplovi s ETOPS odobrenjem od 90 minuta mogu se bolje iskoristiti na kraćim rutama gdje se mogu postići uštede u odnosu na zrakoplove bez ETOPS-a koji moraju ostati unutar kruga radijusa 60 minuta od alternativnih aerodroma na ruti. Na ovom primjeru bi se operatoru zrakoplova sa odobrenjem 90 minuta više isplatilo letjeti na jednu od destinacija između gradova Pariz i Santiago de Chile gdje bi se presjedalo na drugi zrakoplov, nego ići direktno do krajnje destinacije jer bi se gomilali gubici koji su se mogli izbjeći uštedom s većim ETOPS odobrenjem.



Slika 13. Ruta Pariz-Santiago de Chile uz ETOPS od 90 minuta, [6]

7. ZAKLJUČAK

Relativno brzim razvojem zrakoplovstva podigla se razina svijesti o potrebi povećanja sigurnosti. Upravo se uvođenjem operacija produženog doleta sigurnost podigla na veću razinu. Kroz stroge regulative od samih početaka (uvođenje pravila „100 nautičkih milja“, certificiranje zrakoplova, operativno odobrenje, itd.) nastojalo se u potpunosti „zaštititi“ svaki let u slučaju nepredviđenih okolnosti tako da se osigura sigurno slijetanje na neki od alternativnih aerodroma. Dolaskom mlaznih motora koji su po performansama učinkovitiji od klipnih motora, počela se javljati potreba za rutama na većim udaljenostima. Do uvođenja operacija produženog doleta u današnjem obliku, te su rute bile neizravne jer je zrakoplov morao biti na određenoj udaljenosti od alternacija na ruti. S vremenom su rute postajale sve izravnije, a glavni cilj kojem teže zrakoplovne kompanije je smanjenje operativnih troškova.

Temeljem svih promatranih čimbenika, operacije produženog doleta su velika promjena u zrakoplovstvu jer su današnje ETOPS rute znatno kraće od ostalih ruta. Na primjeru zrakoplova Boeing 777 prikazani su učinci ETOPS operacija na odabranim rutama. Analizom su utvrđene uštede u potrošnji goriva, emisiji stakleničkih plinova i vremenu trajanja leta u odnosu na rute bez ETOPS-a, što promatrano na godišnjoj razini uvelike smanjuje operativne troškove. Ti pomaci idu i u korist putnika u zračnom prometu jer su i cijene zrakoplovnih karata proporcionalno tome niže. Također, u slučaju većeg ETOPS odobrenja, ako je zrakoplov unutar ograničenja za koje ima odobrenje, pri otkazu motora motora može sigurno nastaviti put prema destinaciji, što kod manjeg odobrenja za istu situaciju nije moguće već se odabire alternacija. Uz sve navedeno, ETOPS je doveo i do otvaranja novih ruta koje su prije mogle biti otvorene jedino za četveromotorne zrakoplove (koji su dokazano manje ekonomični u odnosu na dvomotorne) zbog nedostatnog broja alternacija. Velika prednost ETOPS operacija su i mogućnost letenja izravno preko polova čime se mogu postići još značajnije uštede. Rutama preko Sjevernog pola uz ETOPS od 330 minuta Sjeverna Amerika i Azija imaju ogroman potencijal za još bolju povezanost, što vrijedi i za rute preko Južnog pola između Australije i Oceanije i Južne Amerike.

Može se zaključiti da Boeing 777 zadovoljava visoke standarde za izvršavanje operacija produženog doleta jer uz same prednosti ETOPS ruta dodatno pruža visokoefikasne parametre u pogledu brzine krstarenja, potrošnje goriva i emisije CO₂.

LITERATURA

- [1] European Academy for Aviation Safety: *ETOPS Briefing*; Delhi, 1999; slide 9, 14, 15
- [2] ICAO: *EDTO Workshop; Module No. 2 – Basic Concepts*;
<http://www.icao.int/SAM/Documents/2014EDTO/EDTO%20Module%20%202%20E2%80%9320Basic%20concepts.pdf>; p.14, 19, 20
- [3] Boeing: *ETOPS history*;
http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_04/fo/fo01/side1.html
- [4] Wikipedia: *ETOPS*; <https://en.wikipedia.org/wiki/ETOPS>
- [5] ICAO: *EDTO Workshop; Module No. 9 – Summary*;
<http://www.icao.int/SAM/Documents/2014EDTO/EDTO%20Module%20%209%20E2%80%9320Summary.pdf>; p. 12
- [6] Great Circle Mapper; <http://www.gcmap.com/>
- [7] Alessandro Bruno: *Swiss airline orders three more Boeing 777 aircraft for US\$990 mln*; 13th Mar 2015;
<http://www.proactiveinvestors.com/companies/news/60417/swiss-airline-orders-three-more-boeing-777-aircraft-for-us990-mln-60417.html>
- [8] STATOIL: *Jet A-1 – Product information*;
http://www.statoilaviation.com/en_EN/pg1332347009500/ar1334072083204/SFRAviation/fuel_jeta1.html
- [9] Aviation: Benefits Beyond Borders and enviro.aero: *Aviation and climate change*;
<http://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/aviation-and-climate-change/>
- [10] Tinseth R.: *Extended twin-engine operations*; 17 March 2005.;
http://www.boeingblogs.com/randy/archives/2005/03/extended_twinengine_operations.html
- [11] DutchOps: *Extended Range Twin Engine Operations – ETOPS*;
http://www.dutchops.com/Portfolio_Marcel/Articles/Flight_Operations/ETOPS.htm

- [12] Official Journal of the European Union: *Commission regulation (EU) No 965/2012 of 5 October 2012, Subpart B – Operating procedures, Section 1 – Motor-powered aircraft, CAT.OP.MPA.140*;p.72
- [13] Official Journal of the European Union: *Commission regulation (EU) No 965/2012 of 5 October 2012, Subpart F – Extended range operations with two-engined aircraft (ETOPS)*; p.141
- [14] *Flight Planning*; Nordian AS; šesto izdanje, 2010.; str. 9-2
- [15] EASA: AMC 20-6 rev. 2 Effective: 23/12/2010 Annex II to ED Decision 2010/012/R of 16/12/2010: *Extended Range Operation with Two-Engine Aeroplanes ETOPS Certification and Operation*; p. 32, 55
- [16] Pandey M., Smith B.: *ETOPS: Expansion in the North Pacific Market*;
http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_04/textonly/fo01txt.html
- [17] Airbus: *Getting to grips with ETOPS*; issue V, October 1998; p. 22, 29
- [18] ICAO: *EDTO Workshop; Module No. 3 – Approval*; p. 33, 35, 36, 38
- [19] AxleGeeks: *Airplanes*; <http://planes.axlegeeks.com/>
- [20] Wikipedia: *Boeing 777*; https://en.wikipedia.org/wiki/Boeing_777
- [21] Boeing: *Boeing 777*; <http://www.boeing.com/commercial/777>
- [22] GE Aviation: *The GE90 Engine*;
<http://www.geaviation.com/commercial/engines/ge90/>
- [23] Rolls-Royce: *Trent 900*; <http://www.rolls-royce.com/customers/civil-aerospace/products/civil-large-engines/trent-900.aspx#overview>
- [24] SMARTCOCKPIT: *B777 Engines and APU*;
<http://www.smartcockpit.com/plane/BOEING/B777.html>
- [25] GlobalSecurity: *Extended Range Operation with Two-Engine Airplanes*;
<http://www.globalsecurity.org/military/world/civil-aircraft-etops.htm>
- [26] Mecham M.: *FAA Extends 777 ETOPS Approval*; Dec 12, 2011;
<http://aviationweek.com/awin/faa-extends-777-etops-approval>

- [27] Patterson T.; *The longest flight in the world*; October 19, 2013;
<http://edition.cnn.com/2013/10/19/travel/worlds-longest-flight>
- [28] Boeing: *Boeing to Offer up to 330-Minute ETOPS on 777*; Dec. 12, 2011;
<http://boeing.mediaroom.com/2011-12-12-Boeing-to-Offer-up-to-330-Minute-ETOPS-on-777>
- [29] FAA: *Advisory Circular/Extended Operations (ETOPS and Polar Operations)*;
6/13/08; http://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/120-42B.pdf
- [30] GE Aviation: *Record Year For The World's Largest, Most Powerful Jet Engine*;
January 19, 2012; http://www.geaviation.com/press/ge90/ge90_20120119.html
- [31] Flightaware: *Live flight tracking*;
<http://flightaware.com/live/flight/ANZ6/history/20150829/0715Z/NZAA/KLAX>
- [32] Flightaware: *Live flight tracking*; <http://flightaware.com/live/>
- [33] SAS: *Airbus A330-300 and A340-300*; <http://www.sasgroup.net/en/airbus-a330-300-and-airbus-a340-300/>
- [34] U.S. Energy Information Administration: *Carbon Dioxide Emissions Coefficients*;
February 14, 2013; http://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.cfm
- [35] European Commission: *Reducing emissions from aviation*;
http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/aviation/index_en.htm

POPIS ILUSTRACIJA

Slika 1. Usporedba direktne putanje leta zrakoplova (pravilo "60 minuta" i "90 minuta")	5
Slika 2. Područja letenja u ovisnosti o dozvoljenoj udaljenosti od alternativnog aerodroma ...	8
Slika 3. Let između Londona i New Yorka uz ETOPS od 120 minuta	9
Slika 4. Let između Londona i New Yorka bez ETOPS odobrenja	10
Slika 5. Ruta Nairobi - Singapur bez ETOPS odobrenja	11
Slika 6. Ruta Nairobi - Singapur uz ETOPS od 120 minuta.....	12
Slika 7. Situacija otkaza motora na ruti za 2 zrakoplova s različitim ETOPS odobrenjima....	13
Slika 8. Boeing 777.....	24
Slika 9. Ruta AKL - KLAX na primjeru zrakoplova Boeing 777-300ER.....	30
Slika 10. Putanje ruta uz jedno presjedanje i direktnih ruta iz Londona	34
Slika 11. Polarna ruta Toronto - Hong Kong preko Sibira	35
Slika 12. Ruta Pariz - Santiago de Chile uz ETOPS od 120 i 180 minuta	36
Slika 13. Ruta Pariz - Santiago de Chile uz ETOPS od 90 minuta.....	36
Tablica 1. Planirani minimumi na alternativnom aerodromu na ETOPS ruti	19
Tablica 2. Prikaz nekih karakteristika različitih modela putničkog zrakoplova Boeing 777 ..	25
Tablica 3. IFSD rate za različite vrijednosti ETOPS-a na ruti London - Mexico City	29
Tablica 4. Analiza rute Auckland - Los Angeles na zrakoplovima 777-300ER i A340-300..	31
Tablica 5. Stvarni letovi iz Londona uz jedno presjedanje	32
Tablica 6. Direktni letovi iz Londona preko Sjevernog pola uz ETOPS 330 minuta	33
Tablica 7. Primjena različitih ETOPS odobrenja na ruti Pariz - Santiago de Chile.....	35
Dijagram 1. Vjerojatnost otkaza klipnog motora u odnosu na snagu (RPM=konst.).....	4
Dijagram 2. Usporedba vjerojatnosti otkaza jednog motora dvomotornog i četveromotornog klipnog zrakoplova (RPM=konst.).....	4
Dijagram 3. Usporedba direktne rute London – Anchorage i rute s jednim presjedanjem (Seattle)	33



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

METAPODACI

Naslov rada: Operacije produženog doleta (ETOPS) za zrakoplov Boeing 777

Autor: Marko Tufegdžić

Mentor: mr. sc. Davor Franjković

Naslov na drugom jeziku (engleski):

Extended Range Operations (ETOPS) for Boeing 777

Povjerenstvo za obranu:

- izv. prof. dr. sc. Doris Novak, predsjednik
- mr. sc. Davor Franjković, mentor
- dr. sc. Karolina Krajček, član
- doc. dr. sc. Anita Domitrović, zamjena

Ustanova koja je dodjelila akademski stupanj: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

Zavod: Zavod za aeronautiku

Vrsta studija: sveučilišni

Naziv studijskog programa: Aeronautika

Stupanj: preddiplomski

Akademski naziv: univ. bacc. ing. aeronaut.

Datum obrane završnog rada: 15.9.2015.



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4


IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ završni 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 _____ završnog rada
pod naslovom **Operacije produženog doleta (ETOPS) za zrakoplov Boeing 777**

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

U Zagrebu, 5.9.2015

Student/ica:


(potpis)