

Korištenje smanjenog potiska mlaznog motora pri polijetanju zrakoplova

Dragičević, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:023319>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-12**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

Marko Dragičević

**KORIŠTENJE SMANJENOG POTISKA MLAZNOG
MOTORA PRI POLIJETANJU ZRAKOPLOVA**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 4. rujna 2023.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**
Predmet: **Zrakoplovni pogonski sustavi II**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 7246

Pristupnik: **Marko Dragičević (0135257826)**
Studij: **Aeronautika**
Smjer: **Pilot**
Usmjerenje: **Civilni pilot**

Zadatak: **Korištenje smanjenog potiska mlaznog motora pri polijetanju zrakoplova**

Opis zadatka:

U radu je potrebno opisati zahtjeve za polijetanje sa smanjenim potiskom u pogledu certifikacije zrakoplova te objasniti razliku između smanjenog nominalnog potiska polijetanja te smanjenog potiska polijetanja, koje se ne smatra operativnim ograničenjem. Potrebno je obrazložiti utjecaj vanjske temperature na polijetanje zrakoplova, odnosno, na koji način se dobiva temperatura flex potiska. U središnjem dijelu rada potrebno je prikazati konkretan primjer određivanja smanjenog potiska za polijetanje na zrakoplovu Airbus A320. Primjer je potrebno detaljno razraditi, u skladu s operativnim postupcima pilota prije leta, prilikom određivanja potiska za polijetanje. Zaključno, potrebno je dati osvrt na pozitivne učinke korištenja smanjenog potiska polijetanja.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

izv. prof. dr. sc. Anita Domitrović

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**KORIŠTENJE SMANJENOG POTISKA MLAZNOG MOTORA
PRI POLIJETANJU ZRAKOPLOVA**

**AIRPLANE OPERATION WITH REDUCED AND DERATED
JET ENGINE TAKE OFF THRUST**

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

Student: Marko Dragičević

JMBAG: 0135257826

Zagreb, kolovoz 2023.

Sažetak

Upotreba smanjenog potiska kod polijetanja mlaznog zrakoplova omogućava zrakoplovnim prijevoznicima kontrolu performansi motora, kao i smanjenje troškova održavanja. Također, polijetanje sa smanjenim potiskom omogućava smanjenje buke, što je jako bitno u urbanim područjima, također smanjuje se količina štetnih plinova koji izlaze iz motora te se povećava sigurnost operacija koja je povezana sa dužim trajanjem motora. Prilikom korištenja smanjenog potiska, duljina staze potrebna za zatrčavanje je veća, a s tim i potrošnja goriva ostaje približno jednaka kao i polijetanje sa TOGA potiskom. U ovom završnom radu opisani su zahtjevi za polijetanje sa smanjenim potiskom sa aspekta zrakoplovnih propisa, opisano je utjecaj vanjske temperature na polijetanje zrakoplova, na koji način se dobiva temperatura FLEX potiska, opisano je kako se polijetanje mlaznog zrakoplova sa smanjenim potiskom izvodi na eksploatacijskom primjeru Airbus A320. Proizvođač zrakoplova izradio je procedure smanjenog potiska polijetanja u skladu sa zahtjevima od strane EASA-e koji se nalaze u dokumentu CS-25 i preporučio za korištenje tijekom eksploatacije zrakoplova. Prilikom primjene procedure, piloti moraju biti svjesni kako smanjenje potiska utječe na upravljivost zrakoplova i na propisane brzine prilikom polijetanja.

Ključne riječi: Zrakoplov; Airbus A320; Smanjeni nominalni potisak mlaznog motora; Smanjeni potisak polijetanja; CS-25; mlazni motor

Summary

The use of reduced take off thrust allows airlines to have greater control of engine performance and also to reduce costs of engine maintenance. Also, take off with reduced thrust reduces noise, what is very important in urban cities, also it reduces exhaust emissions which go out of engine and it increases safety of operation which is connected with longer lifespan of engines. Using reduced take-off thrust, take off run required increases, and with that fuel consumption remains almost the same as take off with TOGA thrust. The final thesis describes the regulatory requirements for reduced take off, it describes the influence of outside air temperature on take off, on which way we get the temperature for flex thrust and it describes how is reduced take off thrust used in real life on example of Airbus A320. The aircraft manufacturer has developed reduced takeoff thrust procedures in accordance with the requirements of EASA contained in document CS-25 and recommended for use during the operation of the aircraft. When applying the procedure, pilots must be aware of how the reduction in thrust affects the maneuverability of the aircraft and the prescribed takeoff speeds.

Key words: Airplane, Reduced take off thrust, CS-25, Airbus A320, Jet engine

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. ZAHTJEVI ZRAKOPLOVNIH PROPISA VEZANIH UZ PERFORMANSE I CERTIFIKACIJU MLAZNIH MOTORA	2
2.1. Karakteristične brzine prilikom polijetanja	2
2.2. Karakteristične duljine staze prilikom polijetanja	8
3. SMANJENI POTISAK	11
3.1 Reduced thrust Take – off.....	11
3.2 Derated take – off thrust	17
4. KORIŠTENJE SMANJENOG POTISKA POLIJETANJA ZRAKOPLOVA NA PRIMJERU IZ PRAKSE OPERACIJA ZRAKOPLOVA AIRBUS A320.....	18
4.1 Računanje temperature za smanjeni potisak na kompanijskom primjeru Airbus FlySmart aplikacije.....	19
4.2 Utjecaj konfiguracije zrakoplova i vremenskih uvjeta na smanjeni potisak prilikom polijetanja	23
5 ZAKLJUČAK	31
POPIS SLIKA	Error! Bookmark not defined.
POPIS KRATICA	33
LITERATURA	35

1. UVOD

Procedura polijetanja zrakoplova sa smanjenim potiskom koristi se svakodnevno na zrakoplovima koji imaju tu mogućnost. Proizvođač zrakoplova, bio to Boeing, Airbus, Embraer ili neki drugi, propisuje zahtjeve koje je potrebno ispuniti, kao i proračune koje je potrebno provesti, prije korištenja procedure sa smanjenim potiskom.

Završni rad opisuje uvjete i procedure smanjenja potiska prilikom polijetanja zrakoplova. U radu je opisano koji su uvjeti koji moraju biti ispunjeni prilikom polijetanja sa smanjenim potiskom, koje prednosti donosi procedura smanjenog potiska te kada se može i ne može koristiti. Svrha završnog rada je pokazati koje pozitivne utjecaje ima polijetanje mlaznog zrakoplova sa smanjenim potiskom, što se mora učiniti prije nego što je moguće koristiti smanjeni potisak, kako očuvati okoliš sa smanjenim potiskom zbog štetnih plinova te povećati sigurnost zračne plovidbe.

Rad je podijeljen u pet poglavlja. Prvo poglavlje je uvod, a nakon uvoda, drugo poglavlje se bavi preduvjetima koji moraju biti ispunjeni prije korištenja smanjenog potiska. U drugom poglavlju su opisane karakteristične brzine prilikom polijetanja, brzina odluke, brzina rotacije, kao i brzina sigurnog polijetanja. Također će biti propisani zahtjevi za certifikatima održavanja (CMR) koje propisuje Europska agencija za sigurnost zračnog prometa. Treće poglavlje opisuje utjecaj vanjske temperature i tehničkog stanja motora na smanjenje potiska za polijetanje. U trećem poglavlju će biti opisano što je FLEX polijetanje, kako se izvodi, te za što je FLEX certificiran. Također će biti dani neki primjeri koji pokazuju da nije uvijek moguće koristiti FLEX potisak, u slučaju da motor ima neki problem. Četvrto poglavlje se fokusira na praktični dio te kako se u stvarnosti, u aviokompanijama izvodi računanje koja je to temperatura FLEX, što sve utječe na nju, ali i kako duljina staze i konfiguracija zrakoplova utječu na smanjeni potisak. U zaključku su dana zaključna razmatranja o temi.

2. ZAHTJEVI ZRAKOPLOVNIH PROPISA VEZANIH UZ PERFORMANSE I CERTIFIKACIJU MLAZNIH MOTORA

Najbitnija komponenta u cijeloj zrakoplovnoj industriji je zasigurno sigurnost. Prije nego što se krene koristiti procedura smanjenog potiska na bilo kojem zrakoplovu, zrakoplov prije svega treba biti certificiran za operacije sa smanjenim potiskom, kao i što moraju biti zadovoljeni uvjeti propisani od Europske agencije za sigurnost zračnog prometa (eng. *European Aviation Safety Agency – EASA*) koji se nalaze u dokumentu pod imenom CS-25. U slučaju da uvjeti koji su propisani od EASA-e, nisu zadovoljeni, nije dopušteno korištenje procedura sa smanjenim potiskom. Ukoliko su uvjeti zadovoljeni, tada je proizvođač zrakoplova onaj koji postavlja ograničenja.

2.1. Karakteristične brzine prilikom polijetanja

Polijetanje, taksiranje i slijetanje, tri su najkritičnije faze leta u kojima su se dogodile mnoge nesreće. Kako bi se rizici doveli na minimum, piloti izračunaju određene brzine pri kojima smiju napraviti određenu radnju. Brzine koje se računaju prilikom polijetanja ovise o duljini uzletno-sletne staze, tlaku zraka, vjetru, temperaturi zraka, stanju uzletno sletne staze, korištenje sustava za odleđivanje, masi zrakoplova, centru teže zrakoplova, korištenju sustava za klimatizaciju te konfiguraciji zrakoplova.

Brzine je jako bitno računati zbog sila koje utječu na zrakoplov. Brzina V_1 definirana je kao brzina odluke, brzina V_R definirana je kao brzina rotacije, a ona se događa u onom trenutku kada sila uzgona, generirana od strane zrakoplova postane veća od njegove težine. Ukoliko dođe do otkaza nekog sustava na zrakoplovu prije brzine odluke, pilot mora imati dovoljno preostale uzletno-sletne staze da sigurno zaustavi zrakoplov, kao i ako dođe do otkaza nakon brzine odluke, pilot mora imati dovoljno potiska s ispravnim motorom kako bi zrakoplov sigurno poletio. Prilikom ulaska u pilotsku kabinu, tijekom pripreme za let, piloti računaju brzine potrebne za polijetanje, kako bi znali mogu li uopće poletjeti s obzirom na uvjete taj dan, a kada dobiju konačne podatke o prtljazi, računaju finalne vrijednosti koje unose u upravljačko računalo (eng. *Multipurpose Control Display Unit – MCDU*) na stranici za performanse prikazano na slici 1 [1].

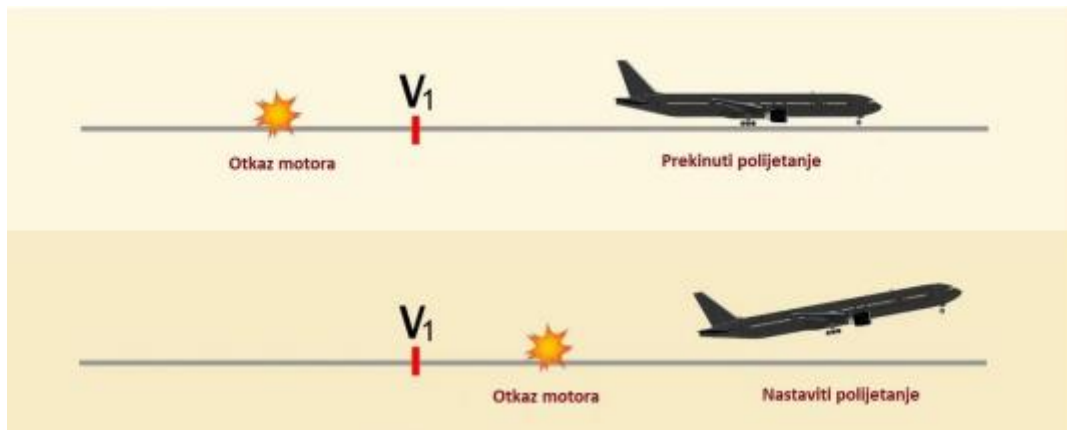


Slika 1. Prikaz stranice za performanse na MCDU u zrakoplovu Airbus A320, [2]

Brzina odluke (eng. *Decision speed* – V_1) je brzina nakon koje se polijetanje više ne smije prekinuti. U slučaju bilo kojeg otkaza ili kvara prije 100 čvorova pilot će zaustaviti polijetanje, a između 100 čvorova i brzine V_1 pilot će za bilo koji veći kvar zaustaviti (kao npr za otkaz motora, bilo koji master warning, itd.). To znači da u slučaju bilo kojeg kvara prije brzine odluke, polijetanje može biti sigurno zaustavljeno uz pomoć maksimalnog kočenja, koje u slučaju Airbusa A320 odradi samokočioni sustav, uz pomoć obrnutog potiska te zračnih kočnica. Ako dođe do otkaza nakon brzine odluke, pilot mora nastaviti polijetanje, budući da sigurno zaustavljanje na USS više nije zagarantirano. Prilikom polijetanja procedura je da kapetan drži ruku na ručici potiska dok se ne dostigne brzina V_1 , a kada se dostigne brzina V_1 , kapetan pomiče ruku da slučajno ne bi zaustavio polijetanje [3]. Na slici 2 prikazano je kako se pilotska odluka mjenja sa brzinom V_1 .

Odnos brzine V_1 [4]:

- Ne smije biti veća od V_R ,
- Ne smije biti veća od V_{MBE} ,
- Ne smije biti manja od V_{MCG}



Slika 2. Pilotska reakcija ovisno o brzini odluke V_1 , [5]

Brzina rotacije (eng. *Rotation speed* – V_R) je definirana brzina pri kojoj pilot počinje povlačiti bočnu palicu ili volan na sebe, kako bi podigao nos zrakoplova tako što diže kraj horizontalnog stabilizatora. Procedura je da pilot koji nadgleda (eng. *Pilot monitoring* – PM) zove na glas brzinu od 100 čvorova, nakon čega brzinu V_1 te onda brzinu rotacije V_R , a pilot koji leti (eng. *Pilot flying* – PF) je fokusiran isključivo na održavanje zrakoplova na središnjici uzletno-sletne staze i na polijetanje [3] .

V_R ne smije biti manja od [4]:

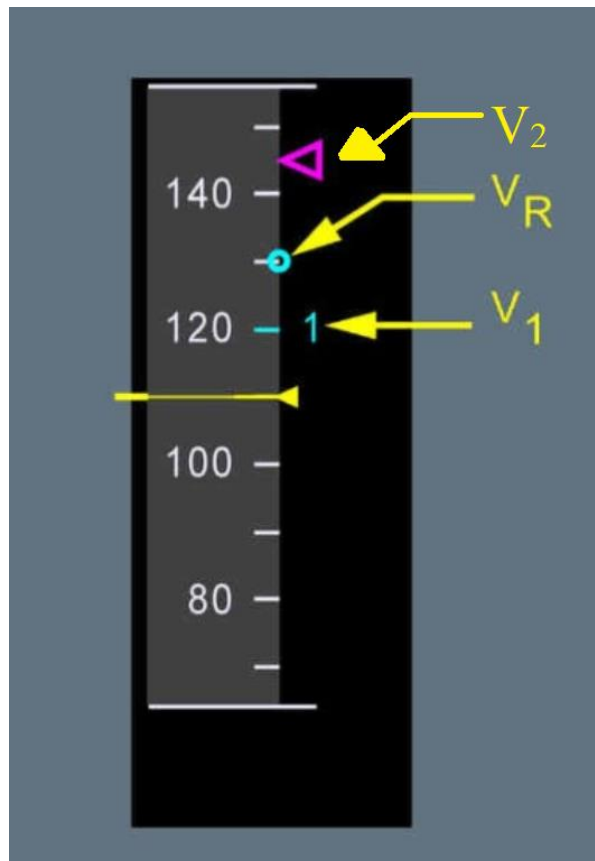
- V_1 ,
- $1,05 V_{MC}$,
- Brzine da se dostigne V_2 prije 35 ft.

Sigurnosa brzina pri polijetanju (eng. *Take-off safety speed*) je definirana brzina pri kojoj zrakoplov može sigurno penjati u slučaju otkaza jednog ili više motora (u slučaju zrakoplova sa više od 2 motora). Brzina V_2 mora biti dostignuta do visine od 35 stopa (eng. *Feet* – ft) iznad površine uzletno-sletne staze. Zrakoplov mora biti u stanju, u slučaju otkaza motora, biti u mogućnosti penjati sa minimalnom brzinom penjanja od 200 ft/min [3] .

V_2 ne smije biti manja od [4]:

- $1,1 V_{MCA}$ i
- V_R plus brzina da se dostigne do 35 ft.

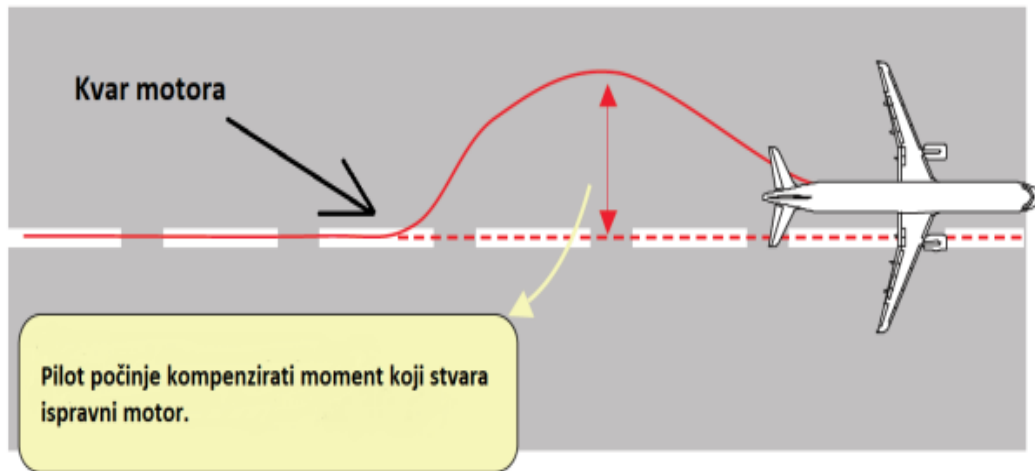
Na primjeru zrakoplova Airbus A320, informacije o karakterističnim brzinama su pilotu prikazane na Primarnom prikazniku za letenje (eng. *Primary Flight Display* – PFD). Brzina V_1 je prikazana kao određena brzina sa oznakom broja 1 kraj iste, dok je brzina V_2 prikazana kao neka izabrana brzina od strane pilota, kao kada se postavi bilo koja brzina na jedinici kontrole leta (eng. *Flight Control unit* – FCU), samo u rozoj (eng. *Magenta*) boji. Brzina rotacije V_R prikazana je kao plavi (eng. *Cyan*) kružić koji se može vidjeti prilikom polijetanja. Sve brzine su prije i tijekom polijetanja vidljive na upravljačkom računalu, na stranici performansi, koju pilot koji leti mora imati otvorenu na svom MCDU prilikom polijetanja. Prikaz brzina na PFD se vidi na slici 3.[7] .



Slika 3. Prikaz karakterističnih brzina prilikom polijetanja na PFD-u, [7]

Minimalna brzina upravljanja na zemlji (eng. *Minimum control speed on ground* – V_{MCG}) definirana je kao najmanja brzina na zemlji, pri kojoj, prilikom zaleta zrakoplova pilot može održati direkcionalnu kontrolu nad zrakoplovom unatoč poremećaju izazvanim zbog otkaza motora, dok je ispravni motor i dalje na postavci snage za polijetanje i stvara veliku asimetričnu silu. Direkcionalnu stabilnost pilot održava sa nogama, pomoću kormila smjera (eng. *Rudder*),

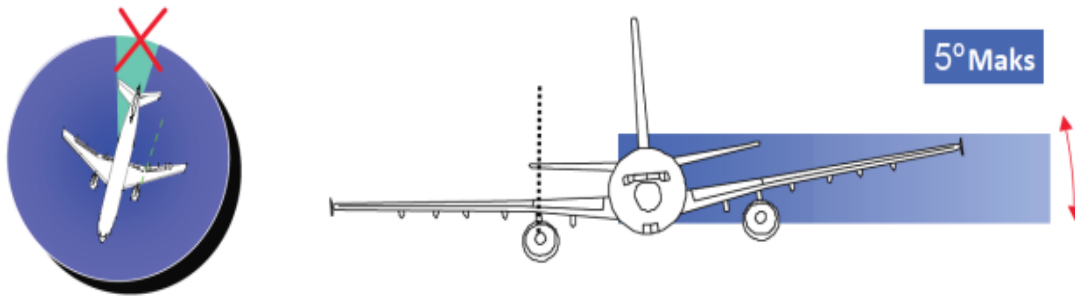
pritiskajući nogu na strani radećeg motora (Dead foot – Dead engine) . Na slici 4 vidljiv je prikaz kompenzacije momenta nastalog zbog otkaza motora.



Slika 4. Prikaz kompenziranja momenta nastalog zbog otkaza motora prilikom zatrčavanja, [7]

Prilikom zatrčavanja, sila koju stvori otkaz motora je poprilično velika, posebice ako se radi o polijetanju sa postavkom potiska na TOGA. Sila koju pilot može kompenzirati ovisi o površini kormila smjera, što je veća, to je moguće kompenzirati veću silu za otkaz motora. Ukoliko se radi o polijetanju sa smanjenim potiskom, onda je automatski i sila koju je potrebno kompenzirati otkazom motora manja, što omogućava pilotima veću i bržu kontrolu nad zrakoplovom ukoliko dođe do otkaza motora. Prilikom polijetanja, ukoliko dođe do otkaza motora nakon brzine odluke V_1 pilot mora jako brzo reagirati, inače se može vrlo lako dogoditi da dođe do toga da zrakoplov završi van staze, što može imati opasne posljedice i po ljudske živote kao i na uništenje zrakoplova [8] .

Minimalna brzina upravljanja u zraku (eng. *Minimum control speed in the air* – V_{MCA}) definirana je kao minimalna brzina prilikom polijetanja, na kojoj pilot može održati kontrolu nad zrakoplovom u zraku, ako jedan ili više (u slučaju zrakoplova sa više od 2 motora) otkaze, a ostali ostanu na postavci snage za polijetanje. Minimalna brzina upravljanja u zraku je ona pri kojoj zrakoplov može održati nagib od 5 stupnjeva nagnjanja ili bez skretanja prilikom polijetanja, kao što je prikazano slici 5 [9] .



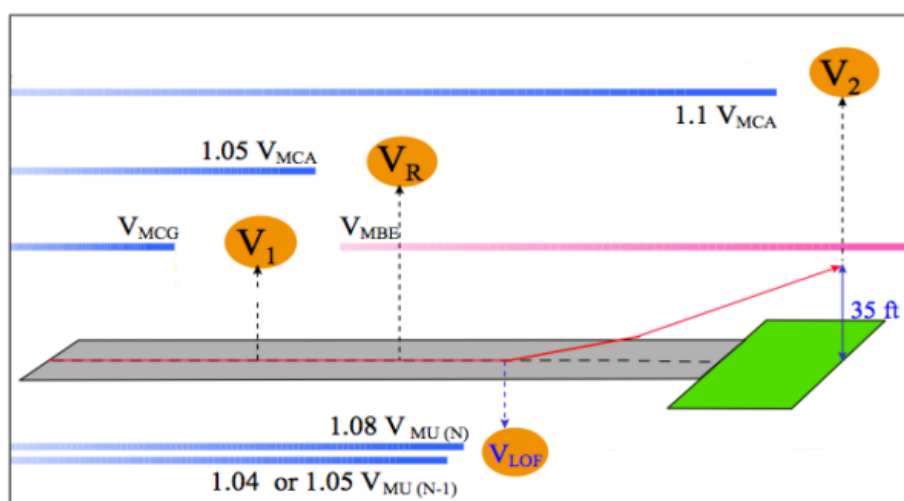
Slika 5. Uvjeti minimalne brzine upravljanja u zraku, [8]

Minimalna brzina odljepljenja (eng. *Minimum unstick speed* – V_{MU}) je minimalna kalibrirana brzina (eng. *Calibrated airspeed* – CAS) iznad koje zrakoplov može početi sigurno uzlijetanje. Ukoliko se desi da pilot povuče palicu na sebe prije dostizanja minimalne brzine odljepljenja, može se dogoditi da zrakoplov repom dođe u kontakt s uzletno sletnom stazom. Ta pojava je izazvana nedostatkom sile uzgona u odnosu na gravitaciju, koju pilot pokušava nadomjestiti većim napadnim kutom: Na slici 6 je prikazano kako izgleda kada nema dovoljno uzgona, tj. kada se palica povuče prije V_{MU} [10] .



Slika 6. Povlačenje palice prije dostizanja V_{MU} na primjeru zrakoplova Airbus A350-1000, [11]

Brzina maksimalne količine apsorpcije kinetičke energije kočnica (eng. *Maximum brake energy speed* – V_{MBE}) definirana je kao maksimalna brzina pri kojoj, u slučaju prekinutog polijetanja, kočnice kojima je zrakoplov opremljen mogu sigurno zaustaviti zrakoplov. Svake kočnice na svim zrakoplovima imaju svoj maksimum kinetičke energije koji mogu apsorbirati. Brzina pri kojima kočnice mogu sigurno zakočiti je obrnuto proporcionalna sa masom zrakoplova, što bi značilo da, što je masa veća, to je brzina pri kojima kočnice mogu zakočiti manja. Zrakoplov mora biti u skladu sa maksimalnom brzinom kočnica prije svakog polijetanja [1]. Na slici 7 prikazan je propisani odnos brzina prilikom polijetanja zrakoplova.



Slika 7. Propisani odnos brzina prilikom polijetanja zrakoplova, [8]

2.2. Karakteristične duljine staze prilikom polijetanja

Polijetanjem sa smanjenim potiskom, smanjuju se performanse zrakoplova na tom istom polijetanju. One utječu na zahtjeve zrakoplova za potrebnom stazom za zatrčavanje, polijetanje te zaustavljanje u slučaju prekinutog polijetanja. Piloti prije svakog leta, moraju unijeti točan aerodrom, točnu stazu i intersekciju, kao i vjetar i ostale parametre, kako bi dobili točne izračune za potrebnim duljinama staze [1].

Raspoloživa duljina za zalet (eng. *Take-off run available* – TORA) definirana je duljina uzletno-sletne staze koja je prikladna za zalet zrakoplova, u slučaju normalnih operacija [4].

Raspoloživa duljina za uzlijetanje (eng. *Take-off distance available* – TODA) definirana je duljina uzletno sletne staze za uzlijetanje, a dobiva se zbrajanjem duljine uzletno-sletne staze i duljine čistine poslije uzletno-sletne staze. Čistina je definirana kao područje izvan uzletno-sletne staze, minimalne širine od 152 metra, sa središtem na središnjici uzletno-sletne staze i pod nadzorom zračne luke. Izražena je kao ravnina koja se proteže od kraja piste s nagibom

prema gore koji ne prelazi 1,25% iznad kojeg nijedan predmet ili bilo kakav teren ne strše, osim svjetla praga koja su postavljena na lako lomljivim nosačima [4] .

Duljina za uzlijetanje (suha uzletno-sletna staza) [4]:

- udaljenost od početka zaleta, sve dok zrakoplov ne dostigne visinu od 35 ft, u slučaju otkaza kritičnog motora,
- 115% udaljenosti od početka zaleta, sve dok zrakoplov ne dostigne visinu od 35 ft, u slučaju da svi motori ispravno rade.

Duljina za uzlijetanje (mokra uzletno-sletna staza) [4]:

- udaljenost od početka zaleta, sve dok zrakoplov ne dostigne visinu od 15 ft iznad površine uzletno-sletne staze, ako će dostići brzinu V_2 prije visine od 35 ft, u slučaju otkaza motora,
- 115% udaljenosti od početka zaleta, sve dok zrakoplov ne dostigne visinu od 35 ft, u slučaju da svi motori ispravno rade

$$TODA = TORA + CWY$$

Raspoloživa duljina za ubrzavanje i zaustavljanje (eng. *Accelerate-Stop distance available* – ASDA) definirana je duljina u slučaju prekinutog polijetanja zrakoplova (otkaz nekog sustava prije brzine V_1), a dobiva se zbrajanjem raspoložive duljine za zalet i raspoložive duljine za zaustavljanje (eng. *Stopway* – SWY) [4] .

Duljina za ubrzavanje i zaustavljanje (suha uzletno-sletna staza) [4]:

- suma udaljenosti potrebne da zrakoplov ubrza od stanja mirovanja do brzine V_1 , ubrzavajući slijedeće 2 sekunde i udaljenost da se zrakoplov zaustavi nakon te 2 sekunde (svi motori ispravno rade)
- suma udaljenosti potrebne da zrakoplov ubrza od stanja mirovanja do brzine otkaza motora, nastavi ubrzavati do brzine V_1 , ubrzavajući slijedeće 2 sekunde i udaljenost da se zrakoplov zaustavi nakon te 2 sekunde (otkazao motora).

$$ASDA = TORA + SWY$$

Na slici 8 su prikazane karakteristične duljine uzletno-sletne staze.



Slika 8. Karakteristične duljine uzletno-sletne staze, [12]

3. SMANJENI POTISAK

Operacije polijetanja koje se izvode s postavkama potiska manjima od maksimalnog dostupnog potiska (snage) polijetanja mogu pružiti značajne prednosti u pogledu pouzdanosti motora, troškova održavanja i rada. Ove operacije polijetanja općenito spadaju u dvije kategorije [20]:

- one s određenom smanjenom nominalnom razinom potiska (eng. *Derated take off thrust*),
- one koje koriste koncept smanjenog potiska uz ograničavanje prema vanjskim uvjetima (eng. *Reduced take off thrust*) - koji osigurava nižu razinu potiska (snage) koja može varirati za različite operacije polijetanja, poput različitih aerodroma te različitih uvjeta. Obje metode mogu se odobriti za uporabu uz poštivanje određenih ograničenja. Predmeti o kojima se ovdje govori ne odnose se na postupke smanjenja potiska u letu koji se mogu koristiti u svrhu smanjenja buke.

Polijetanje sa smanjenim potiskom se koristi najviše zbog produljenog vijeka trajanja motora, s obzirom da se kritični dijelovi motora znatno manje troše, a uz to, također je smanjena i potrošnja goriva prilikom polijetanja, iako to ne mora biti nužno. [15]

Porastom vanjske temperature smanjuje se raspoloživi potisak zrakoplova, a s time se smanjuje i mogućnost smanjenja potiska, odnosno, smanjenje potiska pri većoj vanjskoj temperaturi je manje nego pri nižoj vanjskoj temperaturi. [7]

Da bi smanjenje potiska bilo moguće, motor mora biti redovito održavan, bez grešaka zbog kojih proizvođač zrakoplova može ograničiti polijetanje samo na ono sa maksimalnim potiskom. [7]

3.1 Reduced thrust Take – off

Polijetanje sa smanjenim potiskom (eng. *Reduced thrust take-off - FLEX Take – off*) dopušteno je samo ako zrakoplov ima višak snage pri određenoj masi polijetanja. Temperatura smanjenog potiska je ona temperatura pri kojoj bi motori davali maksimalnu snagu (eng. *Flex temperature*). [20]

Polijetanje sa smanjenim potiskom dopušteno je s bilo kojim neispravnim elementom koji utječe na performanse samo ako je taj neispravni elemenat uračunat u izračunavanje performansi za polijetanje. Polijetanje sa smanjenim potiskom nije dopušteno na kontaminiranim uzletno – sletnim stazama, a maksimalno je dopušteno smanjivanje potiska od 25%. [20]

Staza se smatra kontaminiranom ukoliko je po karakteristikama [14]:

- Staza sa nakupljenim snijegom
- Staza sa suhim snijeg (5-100 mm)
- Staza sa bljuzgavicom (6-13 mm)
- Staza sa stajaćom vodom (6-13 mm)
- Ledena staza.

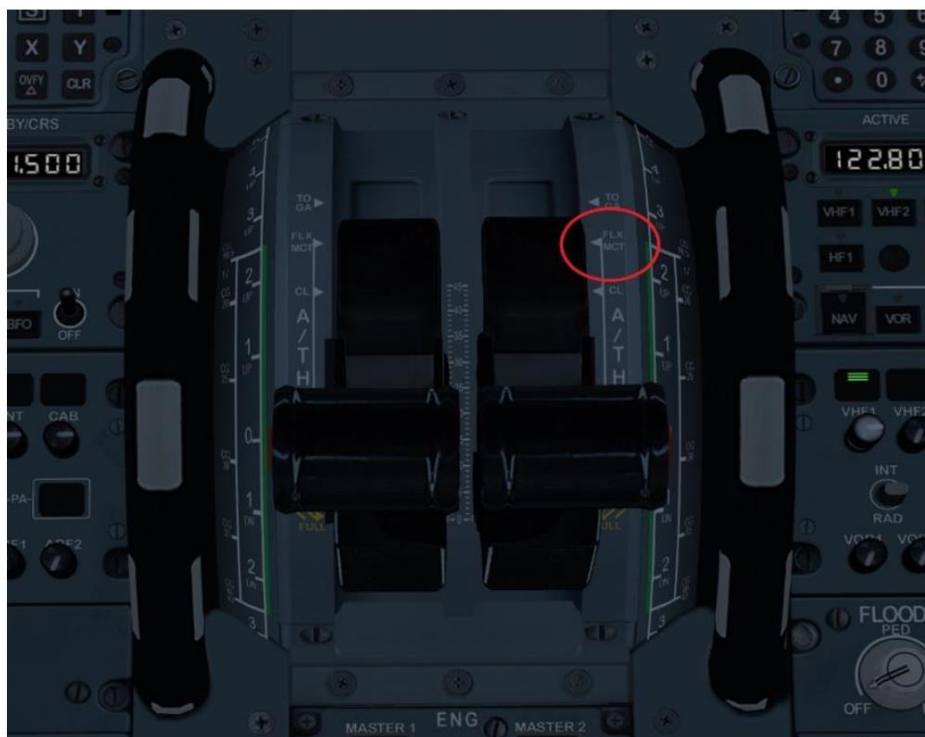
Temperatura smanjenog potiska ne smije biti [14]:

- Veća od temperature maksimalnog smanjenja potiska (TMAXFLEX) , koja je kod većine zrakoplova Airbus A320 ISA +53°C.
- Manja od trenutne vanjske temperature

Produljenje životnog vijeka motora znači produljivanje vremena između dva remonta. Polijetanje sa smanjenim potiskom također pomaže pri zadovoljavanju zahtjeva određenih aerodroma za smanjivanjem buke (eng. NADP – Noise abatement departure procedure) . [15]

Temperatura za smanjeni potisak se danas uglavnom izračunava pomoću računala (eng. EFB – Electronic flight bag), a ona ovisi o duljini uzletno – sletne staze, vjetru, vanjskoj temperaturi, konfiguraciji zrakoplova, sustavima za odleđivanje te samoj masi zrakoplova prilikom polijetanja. Nakon izračunate temperature za polijetanje zrakoplova, ista se unosi u upravljačko računalo u zrakoplovu. [15]

Nakon određivanja temperature za smanjeni potisak te unošenja iste u MCDU, sve što pilot prije polijetanja treba napraviti jest postaviti poluge potiska (eng. *Thrust Levers*) na “FLX MCT”. Nakon postavljanja poluge, računalo zrakoplova će automatski podesiti potisak, a pilot nastavlja sa normalnim polijetanjem. Na slici 9 su prikazane poluge potiska na primjeru jednog zrakoplova iz obitelji Airbus A320. [16]



Slika 9. Postavke poluge potiska na jednom od zrakoplova iz Airbus A320 obitelji, [16]

Temperatura smanjenog potiska se također može izračunati i grafički, što je u prošlosti bio češći način računanja, dok nije bilo računala. Tablice za izračunavanje smanjenog potiska se nalaze u pilotskom priručniku za letenje (eng. *Pilot Operating Handbook* – POH), ali se danas ta metoda gotovo nikako ne koristi. Tablice su jako šture, limitirane, vanjska temperatura, vjetar i slični parametri su zaokružene vrijednosti pa tako na primjer ako je čeonu vjetar jačine 12 čvorova, mora se koristiti 10 jer u tablici ne postoji vrijednost 12, a budući da je to najbliža vrijednost, dok aplikacija može uzeti točnu jačinu vjetra. Ukoliko pilot bez obzira na sve mora izračunati vrijednost pomoću tablice, do točnog broja može doći interpolacijom, odnosno izračunavanjem promjene između dvije vrijednosti pa dodavanje ili oduzimanje od prvobitne vrijednosti, a sami taj proces, još uvelike povećava mogućnost pogreške. [8]

Na slici 10 je prikazana tablica preko koje piloti tablično mogu odrediti temperaturu smanjenog potiska polijetanja, ali ona vrijedi samo u slučajevima kada je prisutan standardni tlak zraka koji iznosi 1013 hPa ili 29.92 inHg, uzletno sletna staza je suha, sustav protiv zaleđivanja je ugašen te klimatizacijski sustav, odnosno sustav nadtlučivanja kabine je ugašen. Budući da je tlak zraka rijetko jednak standardnom te da su svi ostali parametri kao navedeni, piloti bi gotovo uvijek morali koristiti tablicu za korekciju parametara, koja je prikazana na slici 11. [7]

U nastavku su navedena 2 primjera koja pokazuju ručno računanje T_{FLEX} , bez upotrebe računala.

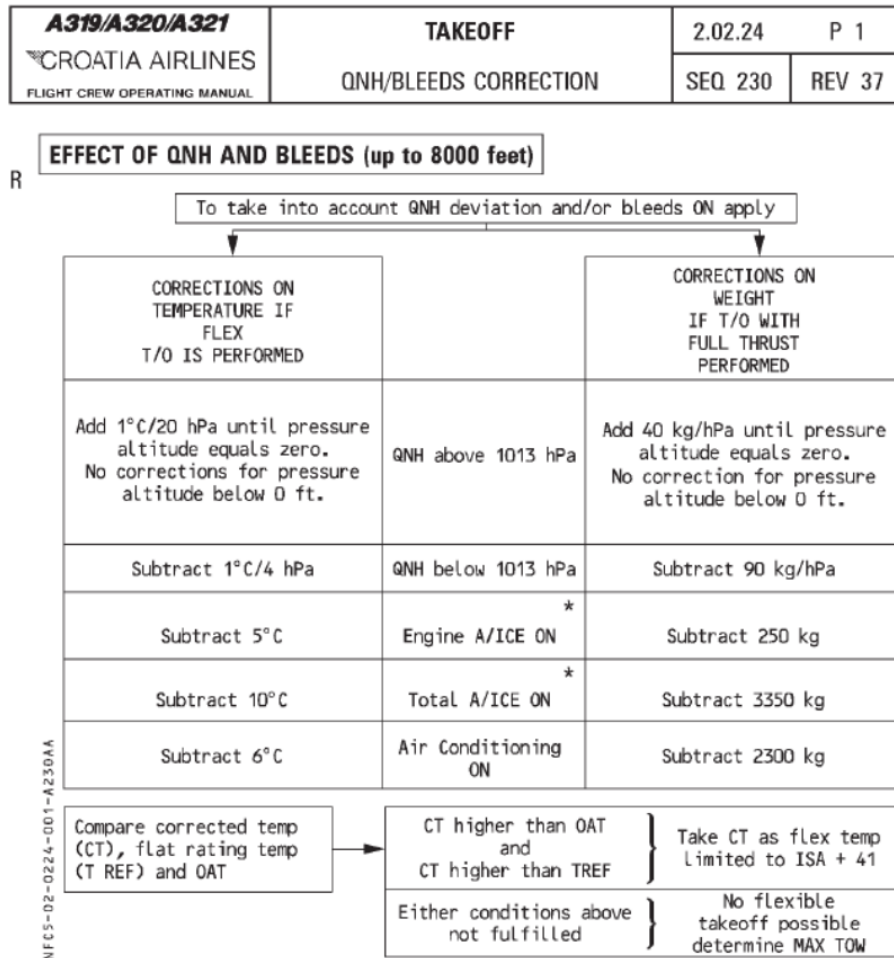
1.Primjer (crvena boja) :

- Vrsta zrakoplova : Airbus A319
- Karakteristike aerodroma: uzletno – sletna staza: 15L, suha
- Konfiguracija zrakoplova: 1 + F
- Masa polijetanja zrakoplova: 56 t
- Vjetar: 10 kt, čeon
- Tlak: 1013 hPa
- Sustav za klimatizaciju: isključen
- Sustav protiv zaleđivanja: isključen

A319/A320/A321		TAKEOFF				2.02.16	P 6		
CROATIA AIRLINES		GENERAL (WEIGHT ENTRY)				SEQ 105	REV 25		
FLIGHT CREW OPERATING MANUAL									
A319XXX		ENGINES		AIRPORT NAME			VERSION DATE		
1013.00 HPA				15L			AXXXXXX V10		
Air cond. AC OFF		Elevation 489 FT		TORA 3000 M			4 obstacles		
Anti-icing AI OFF		ISA temp 14 C		TODA 3100 M					
All reversers operating		rwy slope .08 %		ASDA 3000 M					
No reversers on dry runway							DRY		
WEIGHT 1000 KG	CONF 1+F				CONF 2				
	TAILWIND -10 KT	TAILWIND -5 KT	WIND 0 KT	HEADWIND 10 KT	TAILWIND -10 KT	TAILWIND -5 KT	WIND 0 KT	HEADWIND 10 KT	
76	6 3/3 .0	25 3/3 .0	37 3/3 .0	38 3/3 .2	0 3/3 .1	18 3/3 .0	35 3/3 .0	37 3/3 .0	
	148/52/55	149/53/56	151/54/57	152/57/60	150/53/56	150/54/57	152/56/58	155/58/60	
72	40 3/3 .2	42 3/3 .5	44 3/3 .5	46 3/3 .1	40 3/3 .1	42 3/3 .1	43 3/3 .5	44 3/3 .4	
	142/46/49	146/49/52	150/52/55	153/54/57	143/47/49	147/50/52	151/53/55	154/56/58	
68	48 3/3 .3	50 3/3 .3	52 3/3 .2	53 3/3 .0	48 3/3 .1	49 3/3 .5	51 3/3 .1	51 2/3 .4	
	141/43/46	145/47/49	149/50/52	152/53/55	142/44/46	146/48/50	151/52/53	153/54/56	
64	56 3/3 .3	58 3/7 .0	58 3/7 .0	58 3/7 .0	56 3/3 .1	57 3/3 .2	57 2/3 .6	57 2/3 .6	
	141/42/44	143/44/46	140/44/46	137/44/46	142/43/45	147/47/48	149/50/51	148/50/51	
60	58 3/7 .0	58 3/7 .0	58 2/7 .0	58 2/7 .0	58 3/7 .0	58 3/7 .0	58 2/7 .0	58 2/7 .0	
	118/30/33	113/30/33	111/30/33	111/30/33	117/30/32	113/31/32	111/31/32	111/31/32	
56	58 7/9 .0	58 7/9 .0	58 7/9 .0	58 7/9 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	
	111/21/24	111/21/24	111/21/24	111/21/24	111/19/21	111/19/21	111/19/21	111/19/21	
52	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	
	111/19/22	111/19/22	111/19/22	111/19/22	111/19/21	111/19/22	111/19/21	111/19/21	
48	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	
	111/18/22	111/18/22	111/18/22	111/18/22	111/18/21	111/18/22	111/18/21	111/18/21	
46	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	
	111/18/22	111/18/22	111/18/22	111/18/22	111/18/21	111/18/22	111/18/21	111/18/21	
40	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	58 7/7 .0	
	112/18/22	112/17/22	112/17/22	112/17/22	112/18/21	112/18/21	112/18/21	112/18/21	
DO NOT USE FOR OPERATIONAL PURPOSE									
GRAD1/GRAD2 (KG/C)									
	40/****	40/****	40/400	40/400	40/****	40/****	30/****	30/410	
INFLUENCE OF RUNWAY CONDITION									
WET	-5/ -2 -9/ -1/ -1 (+58)-.5/ -2 -9/ 0/ 0	-5/ -1 -9/ -1/ -1 (+58)-.5/ -1 -9/ 0/ 0	-5/ -1 -8/ -1/ -1 (+58)-.5/ -1 -8/ 0/ 0	-3/ -1 -6/ 0/ 0 (+58)-.3/ -1 -6/ 0/ 0	-7/ -2 -11/ -1/ -1 (+58)-.7/ -2 -11/ 0/ 0	-6/ -2 -10/ -1/ -1 (+58)-.6/ -2 -10/ 0/ 0	-4/ -1 -7/ 0/ 0 (+58)-.4/ -1 -7/ 0/ 0	-1/ -1 -4/ 0/ 0 (+58)-.3/ -1 -4/ 0/ 0	
INFLUENCE OF DELTA PRESSURE									
D QNH HPA	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	
	-9/ -2 0/ 0/ 0 (+58)-.9/ -2 0/ 0/ 0	-5/ -1 0/ 0/ 0 (+54)-.5/ -1 0/ 0/ 0	-6/ -2 -1/ -1/ -1 (+54)-.6/ -2 -1/ 0/ 0	-5/ -1 -1/ -1/ -1 (+54)-.5/ -1 -1/ 0/ 0	-5/ -1 -1/ 0/ 0 (+54)-.5/ -1 -1/ 0/ 0	-6/ -2 -2/ -1/ -1 (+54)-.6/ -2 -2/ 0/ 0	-6/ -2 -1/ -1/ -1 (+54)-.6/ -2 -1/ 0/ 0	-5/ -1 -1/ 0/ 0 (+54)-.5/ -1 -1/ 0/ 0	
	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	
	+3/ 0 +1/ +1/ +1 (+58)+.3/ 0 +1/ +1/ +1	+2/ 0 +1/ +1/ +1 (+58)+.2/ 0 +1/ +1/ +1	0/ 0/ 0 0/ 0/ 0 (+58)0/ 0 0/ 0/ 0	0/ 0 0/ +1/ +1 (+58)0/ 0 0/ +1/ +1	+1/ 0 0/ 0/ 0 (+58)+.1/ 0 0/ 0/ 0	+1/ 0 0/ 0/ 0 (+58)+.1/ 0 0/ 0/ 0	+2/ 0 0/ 0/ 0 (+58)+.2/ 0 0/ 0/ 0	+2/ 0 0/ 0/ 0 (+58)0/ 0 0/ 0/ 0	
LABEL FOR INFLUENCE DW (1000 KG) DTFLEX DV1-DVR-DV2 (KT)		OAT C DW CODES V1min/VVR/V2 (kt) * LIMITATION		* VMC Iref (OAT) = 36 C Tmax (OAT) = 54 C		Min acc height 515 FT Min acc height 1725 FT Min V1/VR/V2 = 111/16/21			
LIMITATION CODES 1-1st segment 2-2nd segment 3-runway length 4-obstacles DW (1000 KG) DTFLEX DV1-DVR-DV2 (KT)		5-tire speed 6-brake energy 7-max weight 8-final take-off 9-VMU		CHECK VMU LIMITATION Correct. V1/VR/V2 = 1.0 KT/1000 KG					

Slika 10. Tablica iz pilotskog priručnika za letenje, [7]

Postupak izračunavanja je takav da se izvuče masa zrakoplova prilikom polijetanja, koja je u ovom slučaju 56 t te se spoji sa vjetrom koji je u ovom slučaju 10 kt čeonu. Iz tablice je vidljivo da je temperatura smanjenog potiska 58°C, a brzine su $V_1 = 111$ kt, $V_R = 121$ kt, a $V_2 = 124$ kt.[7]



Slika 11. Tablica korekcije vanjskog tlaka, sustava za odleđivanje i klimatizacijskog sustava, [7]

Za drugi navedeni primjer potrebno je koristiti u tablicu za korekciju sa slike 11, budući da tlak i ostali parametri nisu kao u primjeru br. 1.

2. Primjer (plava boja):

- Vrsta zrakoplova: Airbus A319
- Karakteristike aerodroma: uzletno-sletna staza 15L, mokra
- Konfiguracija zrakoplova: 2
- Masa polijetanja zrakoplova: 62 t
- Vjetar: 10 kt, čeon
- Tlak: 1009 hPa
- Sustav za klimatizaciju: uključen
- Sustav protiv zaleđivanja: isključen

Rješenja 2. primjera se ne mogu iščitati nego se mora koristiti interpolacija. Temperatura smanjenog potiska T_{FLEX} dobiva se pomoću postupka:

$$64t - 60t = 4t = X$$

$$62t - 60t = 2t = Y$$

$$57\text{ }^{\circ}\text{C} - 58\text{ }^{\circ}\text{C} = -1\text{ }^{\circ}\text{C} = Z$$

$$Y/X * Z + \text{podatak} = 2t/4t * (-1\text{ }^{\circ}\text{C}) + 58\text{ }^{\circ}\text{C} = \mathbf{57,5\text{ }^{\circ}\text{C}}$$

Temperatura koja je dobivena proračunom mora biti korigirana zbog ulaznih parametara koristeći tablicu na slici 12. Korekcija vezana uz nestandardni tlak zraka je $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, korekcija zbog sustava klimatizacije je $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$, a korekcija zbog mokre uzletno sletne staze je $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$57,5\text{ }^{\circ}\text{C} - 1\text{ }^{\circ}\text{C} - 6\text{ }^{\circ}\text{C} - 1\text{ }^{\circ}\text{C} = \mathbf{49,5\text{ }^{\circ}\text{C}}$$

Temperatura T_{FLEX} iznosi **$49,5\text{ }^{\circ}\text{C}$** .

Postupak koji je korišten za izračunavanje temperature smanjenog potiska koristi se i za izračunavanje karakterističnih brzina prilikom polijetanja.

$$148\text{ kt} - 11\text{ kt} = 37\text{ kt} = Z$$

$$Y/X * Z + \text{podatak} = 2t/4t * 37\text{ kt} + 111\text{ kt} = \mathbf{129,5\text{ kt}}$$

Brzina $V_1 = \mathbf{129,5\text{ kt}}$

$$150\text{ kt} - 131\text{ kt} = 19\text{ kt} = Z$$

$$Y/X * Z + \text{podatak} = 2t/4t * 19\text{ kt} + 131 = \mathbf{140\text{ kt}}$$

Brzina V_R iznosi **140 kt** .

$$151\text{ kt} - 132\text{ kt} = 19\text{ kt} = Z$$

$Y/X * Z + \text{podatak} = 2t/4t * 19kt + 132 = 141,5 \text{ kt} .$

Brzina V_2 iznosi **141,5 kt**. [7]

Polijetanje mlaznog zrakoplova sa punim potiskom (eng. TOGA – *Take off – Go around*) radi veća toplinska opterećenja turbine, a ograničenje je „metalurška granica, što uzrokuje povećano trošenje odnosno degradaciju performansi motora. S obzirom na to da nekada polijetanje sa punim potiskom može smanjiti potrošnju goriva zbog toga što se do optimalnih parametara dolazi većom brzinom, ipak dugoročno je puno veća ušteda sa smanjenim potiskom. Kada se gleda na duži period, polijetanje s punim potiskom će prije dovesti do istrošenog motora, a on ujedno troši i više goriva pa će svi letovi sa skoro dotrajalim motorom trošiti više goriva.

3.2 Derated take – off thrust

Smanjeni nominalni potisak pri polijetanju, za avion, je potisak polijetanja manji od maksimalnog dostupnog potiska za koje u AFM-u postoji skup odvojenih i neovisnih, ili jasno prepoznatljivih, ograničenja polijetanja te podaci o performansama koji su u skladu sa svim zahtjevima CS-25. Kod rada sa smanjenim potiskom pri polijetanju, vrijednost postavke potiska se smatra radnom granicom polijetanja, odnosno, operativnim ograničenjem. [20]

Prije samog korištenja *Derated take – off* potiska, motori moraju biti točno ispitani koliko snage su sposobni dati, kako bi se prema tome odredio određeni smanjeni potisak. Nakon ispitivanja, sve procedure za *Derated* potisak moraju biti opisane u procedurama kompanije. [20]

Nakon ispitivanja motora, odobravanja procedura za *derated take-off*, piloti mogu koristiti smanjeni potisak samo u slučaju da značajno ne povećava njihove zadatke te smanjuje situacijsku svijesnost u kritičnim fazama leta poput polijetanja.

Prednosti *Derated* potiska je značajno produljenje radnog vijeka motora, smanjenje troškova, a nedostaci su povećanje potrebne uzletno – sletne staze za polijetanje te početne faze penjanja zrakoplova.

4. KORIŠTENJE SMANJENOG POTISKA POLIJETANJA ZRAKOPLOVA NA PRIMJERU IZ PRAKSE OPERACIJA ZRAKOPLOVA AIRBUS A320

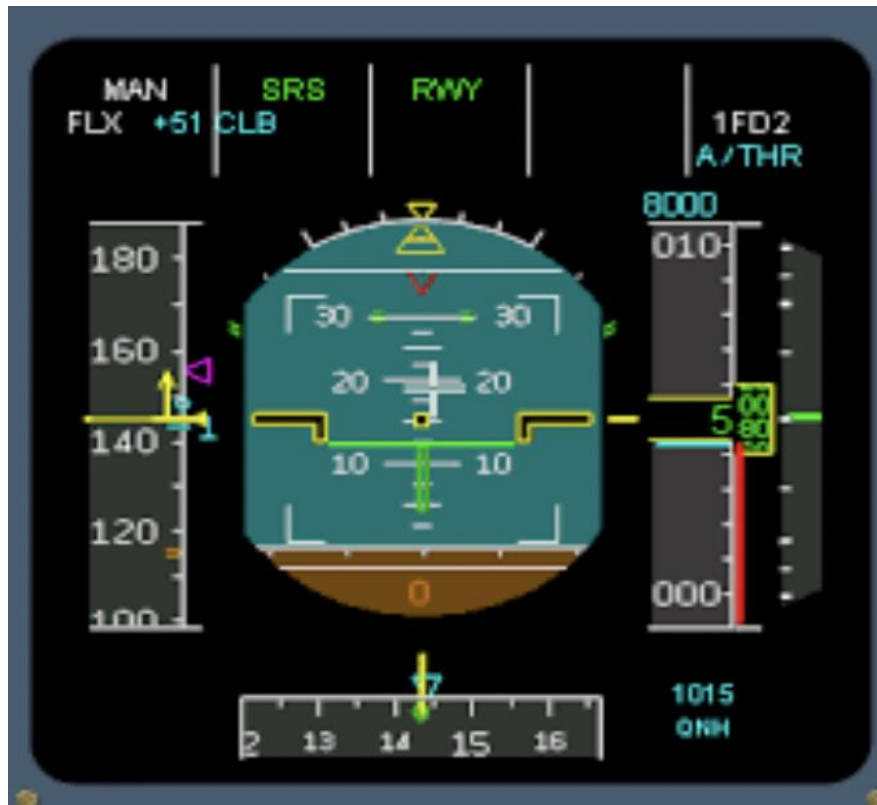
Korištenje smanjenog potiska u komercijalnim operacijama zrakoplova Airbus A320 i mnogih drugih nezaobilazan je događaj kod svih zračnih prijevoznika. Piloti su dužni prije samog paljenja motora zrakoplova napraviti preliminarni proračun potrebnog potiska za polijetanje, kako bi znali mogu li taj dan poletiti sa pretpostavljenom masom zrakoplova za taj dan. Nakon dobivanja konačnih vrijednosti utovara zrakoplova sa prtljagom te finalne vremenske prognoze, piloti ponovno unose dobivene vrijednosti te na taj način dobivaju konačnu temperaturu za smanjeni potisak.[18]

Nakon finalnog izračuna performansi polijetanja, od izuzetne je važnosti da piloti neovisno jedan o drugom računaju temperaturu za smanjeni potisak pa potom usporede dobivene rezultate. Ukoliko su rezultati jedanki, pilot koji ne leti taj let čita dobivene rezultate pilotu koji leti te ih on nakon toga unosi u MCDU. [7]

Ukoliko dođe do promjene staze u zadnji čas ili prilikom taksiranja te ukoliko kontrola zatraži polijetanje sa neke druge intersekcije, piloti su dužni ponovno napraviti kalkulaciju, budući da će možda zbog kraće duljine uzletno – sletne staze biti manja temperatura za smanjeni potisak, a možda će morati koristiti i puni potisak. [7]

Nakon izlaska na stazu, piloti zaustavljaju zrakoplov te prvo postavljaju snagu na 50% N1 (ukoliko se radi o CFM-56B motorima koji imaju indikaciju potiska u N1), kako bi se stabilizirali motori te nakon toga pilot koji leti postavlja poluge potiska u položaj „FLX MCT“, nakon čega je dužan to isto pročitati na oglasniku načina leta (eng. Flight mode annunciator – FMA), na kojem bi trebalo biti prikazano „MAX FLX +XX“ pri čemu XX označava temperaturu za smanjeni potisak. Ukoliko nije prikazana navedena indikacija, piloti su dužni poluge potiska staviti u „TOGA“ kako se ne bi narušila sigurnost prilikom polijetanja. Nakon čitanja oglasnika načina leta, kapetan stavlja ruku na poluge potiska te ih drži sve do brzine V_1 , u slučaju prekinutog polijetanja. Kada se dosegne brzina V_1 kapetan pomiče ruke sa poluga potiska da ne bi došlo do slučajnog prekida polijetanja nakon brzine odluke. [7]

Na slici 12 prikazano je kako bi FMA trebao izgledati nakon postavljanja poluga potiska u poziciju „FLX MCT“.



Slika 12. Izgled FMA prilikom polijetanja, [19]

4.1 Računanje temperature za smanjeni potisak na kompanijskom primjeru Airbus FlySmart aplikacije

Potrebni podaci za računanje temperature za smanjeni potisak su duljina uzletno – sletne staze, stanje uzletno – sletne staze, vjetar, vanjska temperatura, tlak zraka, korištenje sustava za odleđivanje kao i sustava za nadtlaćivanje kabine te sama masa zrakoplova. Nakon dobivanja konačne vremenske prognoze, podaci se unose u FlySmart aplikaciju koju je napravio sam proizvođač modernih putničkih zrakoplova Airbus. [14]

Na slici 13 je prikazan izgled same aplikacije prije unošenja svih podataka, kada je potrebno prvenstveno odabrati vrstu zrakoplova za koji se računaju performanse. [14]



Slika 13. Početni prikaz Airbus Flysmart+ aplikacije, [14]

Nakon odabira vrste zrakoplova, upisivanja broja leta te unošenja aerodroma polijetanja i aerodroma slijetanja, sama aplikacija void do izbornika u kojem je potrebno unijeti podatke i prema tome izračunati temperaturu smanjenog potiska. [14]

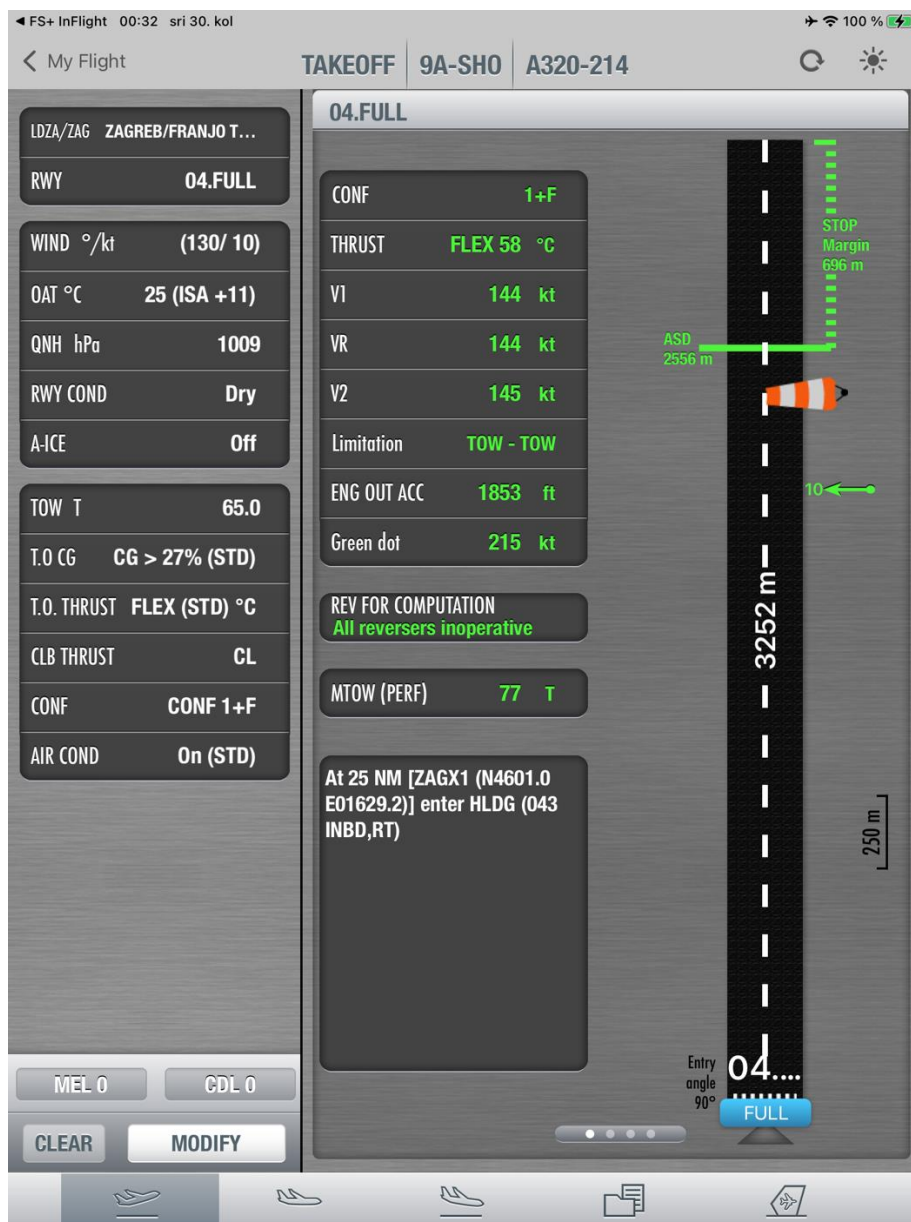
Na slici 14 prikazan je izbornik u kojem se unosi vremenska prognoza koja je dobivena te sve ostale parametre o letu. [14]



Slika 14. Prikaz izbornika za unošenje podataka o letu u aplikaciji FlySmart+, [14]

Na slici 15 prikazano je kako izgleda jedno računanje smanjenog potiska koje traje maksimalno 30 sekundi, a za primjer su uzeti sljedeći parametri:

- Vrsta zrakoplova: Airbus A320-214, mase 65 t
- Aerodrom: Zagreb, 04, suha staza
- Vjetar: smjer 130, jačina 10 kt
- Vanjska temperatura: 25°C
- Tlak zraka: 1009 hPa
- Sustav za odleđivanje: isključen
- Sustav za klimatizaciju: uključen



Slika 15. Primjer izračuna performansi polijetanja, [14]

Na slici 15 također je vidljivo da se putem aplikacije izračunavaju karakteristične brzine uzimajući u obzir korekcije koje su potrebne za određene vremenske uvjete. Karakteristične brzine za navedeni primjer su [14] :

- $V_1 = 144$ kt
- $V_R = 144$ kt
- $V_2 = 145$ kt

Temperatura smanjenog potiska je 58 °C. Brzina odluke i brzina rotacije su jednake, što je vrlo čest primjer u praksi letenja zrakoplova Airbus A320. [14]

4.2 Utjecaj konfiguracije zrakoplova i vremenskih uvjeta na smanjeni potisak prilikom polijetanja

U nastavku su navedeni primjeri kako bi pokazali koliko temperatura smanjenog potiska puno ovisi o vjetru, masi zrakoplova, sustavu za odleđivanje dok nešto manje ovisi o vanjskoj temperaturi, tlaku zraka te sustavu klimatizaciju. [14]

Na slici 16 pokazan je primjer broj 1 te će se na temelju njega vršiti promjene i tako pratiti promjena temperature smanjenog potiska. [14]

Primjer 1. [14] :

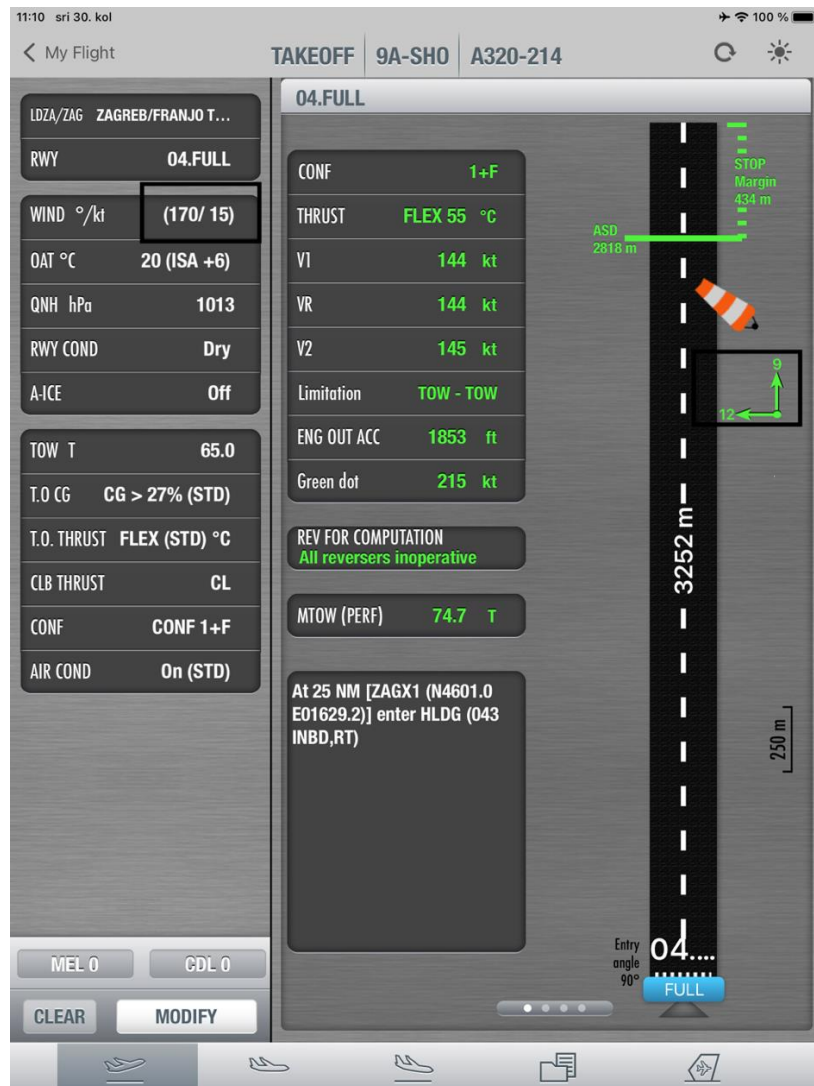
- Vrsta zrakoplova: Airbus A320
- Aerodrom: Zagreb, Franjo Tuđman, 04, suha
- Vanjska temperatura: 20°C
- Tlak zraka: 1013 hPa
- Sustav za odleđivanje: isključen
- Masa zrakoplova: 65 t
- Sustav za klimatizaciju: uključen



Slika 16. Primjer izračunate temperature i karakterističnih brzina, [14]

Na slici 16 vidljivo je kako je temperatura smanjenog potiska dosta visoka iz razloga što je uzletno – sletna staza duga, puno čeonog vjetra te pogodnu temperaturu, a masa zrakoplova je 65 tona što je daleko od maksimalne mase za polijetanje. [14]

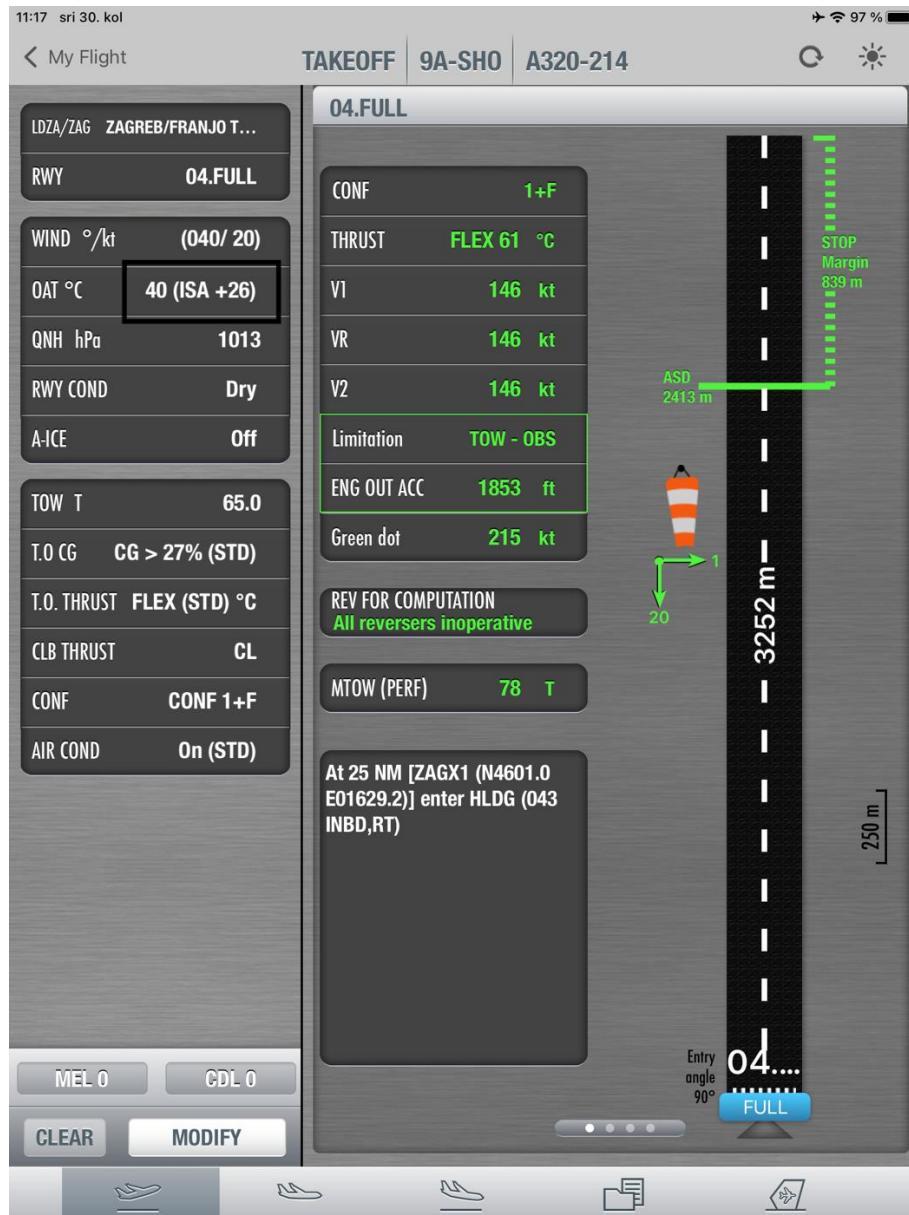
Na slici 17 je prikazana promjena vjetra iz čeonog u kombinaciju bočnog i dio leđnog, što znatno mjenja temperaturu smanjenog potiska.



Slika 17. Prikaz promjene temperature smanjenog potiska zbog promjene smjera vjetra, [14]

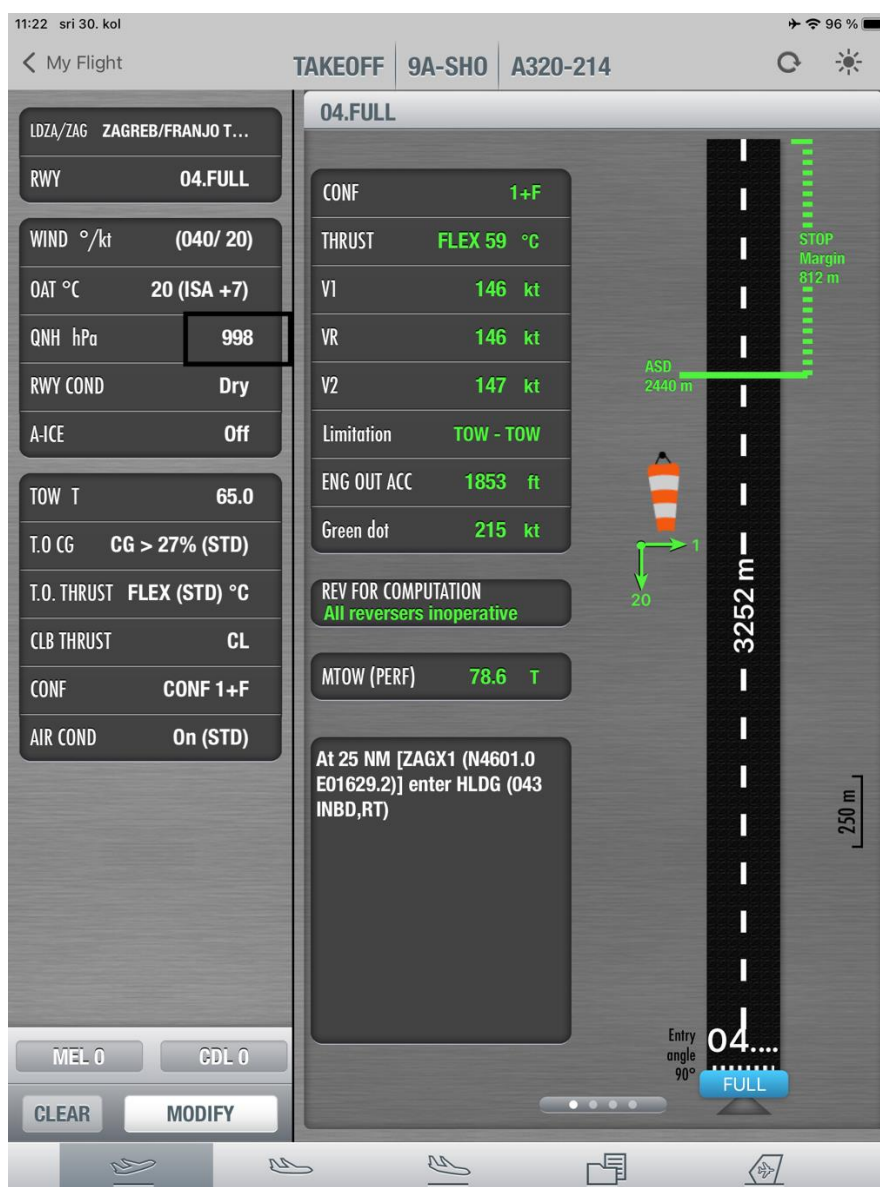
Iz slike 17 vidljivo je kako se temperatura promjenila za velikih 6°C, što bi značilo da bi polijetanje u obrnutu stranu omogućilo veću temperaturu, odnosno bolje očuvanje motora, što nažalost nekada nije moguće, mora se ići sa leđnim vjetrom, a razlozi za to mogu biti mnogobrojni.[14]

Na slici 18 prikazan je porast temperature od 20°C, dok se promjena temperature nije dogodila, što znači da je potrebna dosta velika razlika u vanjskoj temperaturi da bi došlo do promjene temperature smanjenog potiska.



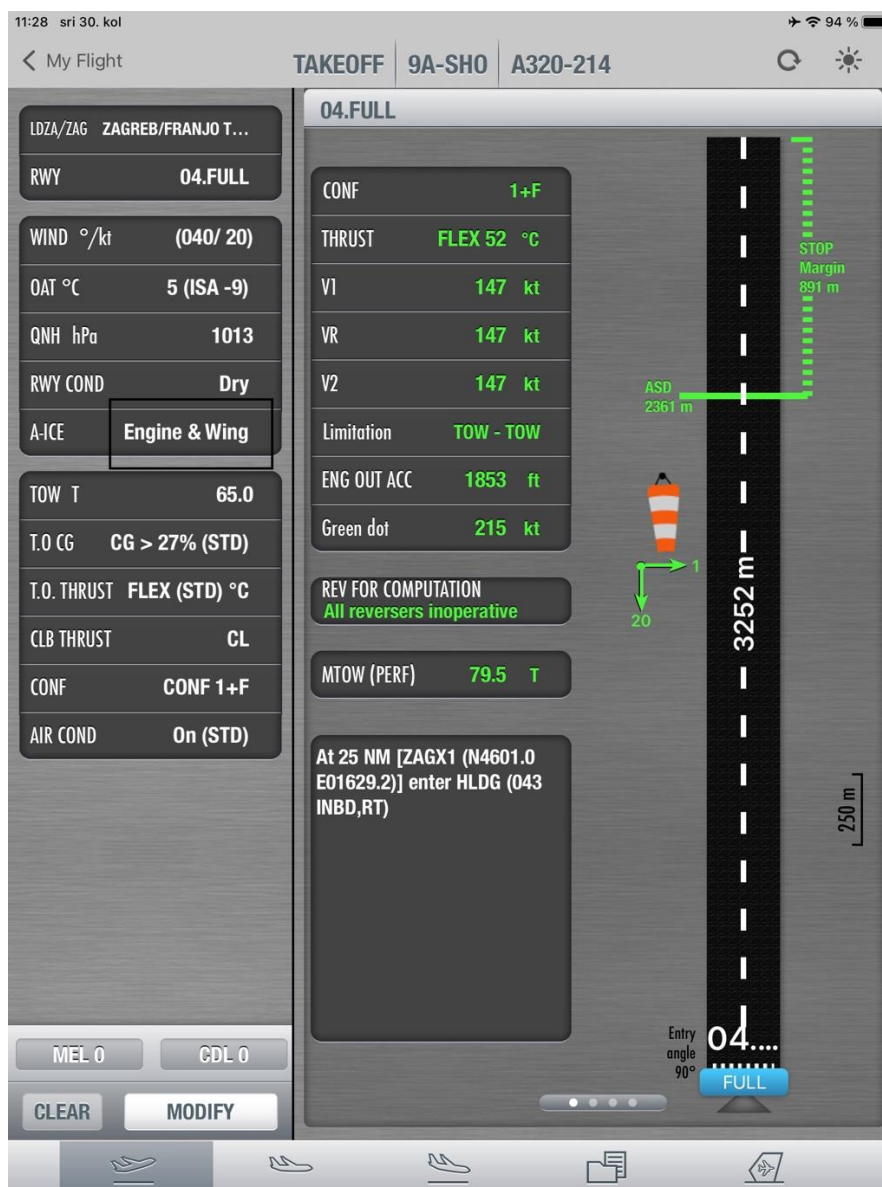
Slika 18. Prikaz male ovisnosti vanjske temperature o temperaturi smanjenog potiska, [14]

Na slici 19 prikazana je ovisnost temperature smanjenog potiska o vanjskom tlaku zraka, koji u nekim lošijim vanjskim uvjetima može biti dosta nizak. Vidljivo je da se promjena od 15 hPa može očitovati u smanjenu temperature smanjenog potiska za 2°C, odnosno potreban je veći potisak pri nižem tlaku zraka. [14]



Slika 19. Prikaz ovisnosti temperature smanjenog potiska o vanjskom tlaku zraka, [14]

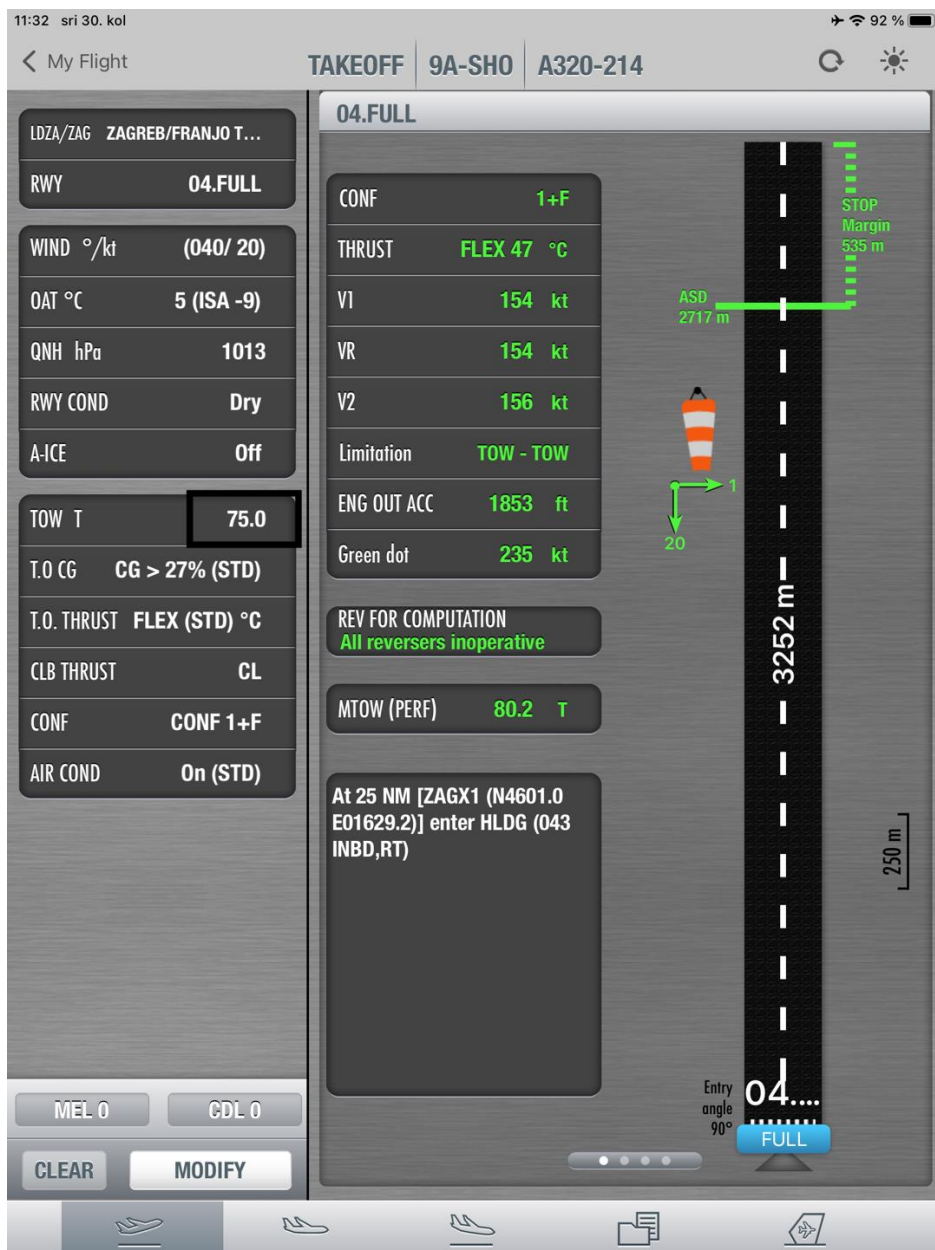
Na slici 20 prikazan je izračun ovisnosti temperature smanjenog potiska o sustavu za odleđivanje. Može se primjetiti kako uključivanje sustava za odleđivanje za motore i krila smanjuje temperaturu potiska čak za 9°C, što bi značilo da je puno više snage potrebno ukoliko koristimo sustav protiv zaleđivanja i za motore i za krila, a koristi se samo u slučaju teških zaleđivanja (eng. Severe icing). Kada je prisutna vlaga i temperatura je ispod 10°C obično se koristi samo sustav protiv zaleđivanja motora, koji bi u ovom slučaju značio promjenu temperature potiska za 4°C u odnosu na inicijalne vrijednosti. [14]



Slika 20. Prikaz velike ovisnosti sustava protiv zaleđivanja u odnosu na temperaturu smanjenog potiska, [14]

Na primjeru sa slike 20 također je temperatura morala biti smanjena, budući da su uvjeti zaleđivanja prisutni samo ispod temperature od $+10^{\circ}\text{C}$.

Na slici 21 vidljivo je kako promjena mase zrakoplova za 10 tona mijenja temperaturu smanjenog potiska za 14°C u odnosu na inicijalne vrijednosti.

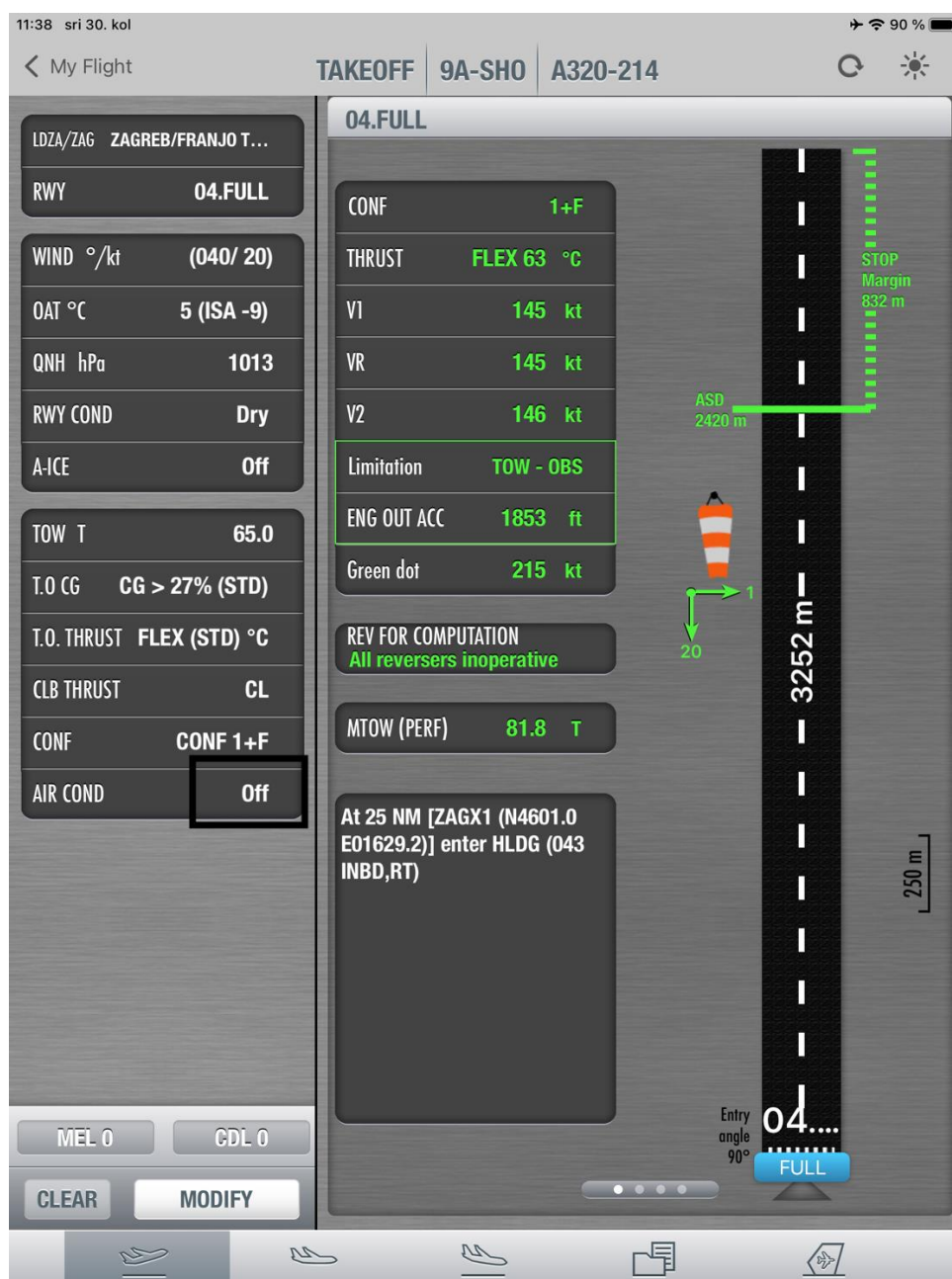


Slika 21. Prikaz ovisnosti temperature smanjenog potiska o masi polijetanja zrakoplova, [14]

Temperatura smanjenog potiska ovisi o konfiguraciji zrakoplova samo u slučaju kratkih staza, kada bi polijetanje sa većim stupnjem zakrilaca i pretkrilca značilo ujedno i znatno smanjenje potrebne staze za zatrčavanje i polijetanje. [14]

Na slici 22 prikazana je ovisnost korištenja sustava za klimatizaciju i nadtlučivanje kabine o temperaturi smanjenog potiska. Vidljivo je da bez korištenja tog sustava temperatura smanjenog potiska raste, odnosno potrebno je manje snage, ali u tom slučaju putnici ostaju bez sustava klimatizacije što u vrućim ljetnim danima nije pogodna opcija. [14]

Kod većine zrakoplova, u slučaju nemogućnosti polijetanja sa upaljenim sustavom za klimatizaciju zbog svakakvih razloga, može se iskoristiti polijetanje sa upaljenom pomoćnom pogonskom jedinicom (eng. Auxiliary power unit – APU). Polijetanje sa upaljenom pomoćnom jedinicom omogućuje polijetanje zrakoplova sa upaljenim sustavom za klimatizaciju, a uz to omogućuje polijetanje sa performansama kao kod ugašenog sustava za klimatizaciju. [7]



Slika 22. Prikaz ovisnosti temperature smanjenog potiska o sustavu za klimatizaciju, [14]

Na prethodno navedenim primjerima vidljivo je kako pojedini vanjski uvjeti te uvjeti na zrakoplovu mogu utjecati na temperaturu smanjenog potiska te kako mogu zahtjevati veće duljine same uzletno – sletne staze. Flysmart omogućava da se, u slučaju kratke uzletno – sletne staze, piloti mogu pripremiti na razne uvjete prilikom polijetanja ili u najgorem slučaju na čekanje pada temperature, smanjivanja mase ili otkaza leta zbog nedovoljno duge uzletno – sletne staze. Korištenje FlySmarta ili bilo koje druge aplikacije za računanje smanjenog potiska znatno olakšava pilotima računanje smanjenog potiska te znatno smanjuje stres u cockpitu zbog znatno smanjenje mogućnosti za pogreškom.

5 ZAKLJUČAK

Korištenje smanjenog potiska postala je uobičajena procedura koju piloti koriste prilikom polijetanja. Da bi korištenje smanjenog potiska bilo dopušteno, zrakoplovi te zrakoplovni prijevoznici moraju biti certificirani za izvođenje istih. Prije polijetanja piloti su dužni izračunati karakteristične brzine zrakoplova te temperaturu smanjenog potiska koja mora biti unesena u računalo zrakoplova. Ako postoje mogućnosti za korištenje smanjenog potiska, računalna torba će to izračunati i prema tome će piloti znati što trebaju učiniti.

Smanjeni potisak ne smanjuje nužno potrošnju goriva, ali znatno smanjuje potrošnju unutarnjih dijelova mlaznog motora, što se kroz godine može vidjeti kroz sporije povećanje specifične potrošnje goriva nego što bi to bilo sa punim potiskom. Smanjenje potiska kod polijetanja također znatno doprinosi i smanjenju zagađenja okoliša, budući da je danas zagađenja sve više, na to prijevoznici trebaju paziti.

Temperatura smanjenog potiska najviše ovisi o samoj masi zrakoplova kao i prisutnom vjetru te vanjskim uvjetima. Ukoliko su prisutni uvjeti zaleđivanja, potrebno je koristiti sustave protiv zaleđivanja što dodatno smanjuje temperaturu smanjenog potiska, ali se može polijetati bez sustava za klimatizaciju, što donekle može zamjeniti korištenje sustava provi zaleđivanja, budući da, kada su prisutni uvjeti zaleđivanjam, obično u zrakoplovu vlada niža temperatura te nije potrebna klimatizacija.

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz stranice za performanse na MCDU u zrakoplovu Airbus A320, [2]	3
Slika 2. Pilotska reakcija ovisno o brzini odluke V1, [5].....	4
Slika 3. Prikaz karakterističnih brzina prilikom polijetanja na PFD-u, [7].....	5
Slika 4. Prikaz kompenziranja momenta nastalog zbog otkaza motora prilikom zatrčavanja, [7]	6
Slika 5. Uvjeti minimalne brzine upravljanja u zraku, [8]	7
Slika 6. Povlačenje palice prije dostizanja VMU na primjeru zrakoplova Airbus A350-1000, [11]	7
Slika 7. Propisani odnos brzina prilikom polijetanja zrakoplova, [8]	8
Slika 8. Karakteristične duljine uzletno-sletne staze, [12]	10
Slika 9. Postavke poluge snage na jednom od zrakoplova iz Airbus A320 obitelji, [16]	13
Slika 10. Tablica iz pilotskog priručnika za letenje, [7].....	14
Slika 11. Tablica korekcije vanjskog tlaka, sustava za odleđivanje i klimatizacijskog sustava, [7]	15
Slika 12. Izgled FMA prilikom polijetanja, [19].....	19
Slika 13. Početni prikaz Airbus Flysmart+ aplikacije, [14]	20
Slika 14. Prikaz izbornika za unošenje podataka o letu u aplikaciji FlySmart+, [14]	21
Slika 15. Primjer izračuna performansi polijetanja, [14]	22
Slika 16. Primjer izračunate temperature i karakterističnih brzina, [14].....	23
Slika 17. Prikaz promjene temperature smanjenog potiska zbog promjene smjera vjetra, [14]	24
Slika 18. Prikaz male ovisnosti vanjske temperature o temperaturi smanjenog potiska, [14].	25
Slika 19. Prikaz ovisnosti temperature smanjenog potiska o vanjskom tlaku zraka, [14]	26
Slika 20. Prikaz velike ovisnosti sustava protiv zaleđivanja u odnosu na temperaturu smanjenog potiska, [14]	27
Slika 21. Prikaz ovisnosti temperature smanjenog potiska o masi polijetanja zrakoplova, [14]	28
Slika 22. Prikaz ovisnosti temperature smanjenog potiska o sustavu za klimatizaciju, [14] ...	29

POPIS KRATICA

MCDU	Multipurpose Control Display Unit) Višenamjenski upravljački zaslon
V_I	(Decision speed) Brzina odluke
V_R	(Rotate speed) Brzina rotacije
V_{LOF}	(Lift-off speed) Brzina polijetanja
V_2	(Take-off safety speed) Sigurna brzina pri polijetanju
PFD	(Primary Flight Display) Primarni prikaznik za letenje
V_{MCG}	(Minimum control speed on ground) Minimalna brzina upravljanja na zemlji
V_{MCA}	(Minimum control speed in the air) Minimalna brzina upravljanja u zraku
V_{MU}	(Minimum unstick speed) Minimalna brzina odlijepljena
V_{MBE}	(Maximum brake energy speed) Maksimalna brzina zrakoplovnih kočnica
TORA	(Take-off Run Available) Raspoloživa duljina za zalet
RWY	(Runway) Uzletno-sletna staza
TODA	(Take-off Distance Available) Raspoloživa duljina za uzlijetanje
CWY	(Clearway) Čistina
ASDA	(Accelerate-Stop Distance Available) Raspoloživa duljina za ubrzanje i zaustavljanje
SWY	(Stopway) Zaustavna staza
FLX MCT	(Flex – Maximum continuous thrust) Postavka snage za polijetanje sa smanjenim potiskom
TOGA	(Take off – Go around) Postavka stange za polijetanje sa punim potiskom
PF	(Pilot Flying) Pilot koji leti

PM

(Pilot Monitoring) Pilot koji ne leti

POH

(Pilot Operating Handbook) Priručnik za letenje

LITERATURA

- [1] <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/certification-specifications/cs-25-initial-issue> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
- [2] <https://www.airliners.net/forum/viewtopic.php?t=1472931> [Pristupljeno: lipanj 2023.]
- [3] <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/493.pdf> [Pristupljeno: lipanj 2023.]
- [4] Franjković D. ACFTB 7. Airplane Performance, Autorizirana predavanja, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu: 2020.
- [5] <https://www.100knots.com/why-do-pilots-say-rotate-take-off-speeds-explained/> [Pristupljeno: lipanj 2023.]
- [6] <https://www.jetphotos.com/photo/10837513> [Pristupljeno: lipanj 2023.]
- [7] Airbus Flight Crew Operating Manual (FCOM) , 16. studeni 2022.
- [8] Airbus Flight Crew Techniques Manual (FCTM), 16. studeni 2022.
- [9] <https://www.skybrary.aero/articles/minimum-control-speed-air-vmca> [Pristupljeno: lipanj 2023.]
- [10] https://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2004/PAPERS/015.PDF [Pristupljeno: lipanj 2023.]
- [11] <https://www.flugrevue.de/zivil/startversuche-mit-minimaler-geschwindigkeit-a350-1000-im-testprogramm/> [Pristupljeno: lipanj 2023.]
- [12] <https://www.picuki.com/media/2245727635782873949> [Pristupljeno: lipanj 2023.]
- [13] <https://www.casa.gov.au/aircraft/airworthiness/airworthiness-bulletins/certification-maintenance-requirement-and-airworthiness-limitations-terminology-explained> [Pristupljeno : kolovoz 2023.]
- [14] Airbus Flysmart+, kolovoz 2023.
- [15] <https://aviationinfo.net/airbus-flex-to-takeoff-temperature/> [Pristupljeno : kolovoz 2023.]
- [16] <https://docs.flybywiresim.com/pilots-corner/a32nx-briefing/flight-deck/pedestal/thrust-pitch-trim/> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
- [17] https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/handle/1826/9156/Venediger_B_Thesis_2012.pdf?sequence=1 [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
- [18] Quick Reference Handbook (QRH), 16. studeni 2022.
- [19] <https://www.theairlinepilots.com/forumarchive/a320/a320-fma.pdf> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je **završni rad** isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi. Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom **Korištenje smanjenog potiska mlaznog zrakoplova pri polijetanju zrakoplova**, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, 07.09.2023

Student/ica:

Marko Dragičević
(ime i prezime, potpis)

