



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Bc. Jan Cejnar

Návrh doporučení pro použití postupu Single-engine

Taxi-out pro flotilu A320

Diplomová práce

**2021**



**K621** ..... **Ústav letecké dopravy**

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Jan Cejnar**

Studijní program (obor/specializace) studenta:

**navazující magisterský – PL – Provoz a řízení letecké dopravy**

Název tématu (česky): **Návrh doporučení pro použití postupu Single-engine Taxi-out pro flotilu A320**

Název tématu (anglicky): Recommended Practices for A320 Fleet Single-engine Taxi-out Procedures Usage

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je poskytnout posádkám návod pro rozhodování o využití postupu Single-engine Taxi-out v provozu
- Postup Single-engine taxi a jeho specifika
- Návrh úpravy checklistu pro Single-engine taxi flotily A320
- Stanovení podmínek použití postupu Single-engine taxi a určení rizik z toho vyplývajících
- Rozhodovací proces pro využití Single-engine taxi
- Odhad úspory paliva v konkrétním provozu aerolinky



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Letová a provozní dokumentace A320 (FCOM, FCTM)  
Optimizing the Single-engine Taxi at Lisbon's Airport  
The Impact of Single Engine Taxiing on Aircraft Fuel Consumption and Pollutant Emissions

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Karel Mündel**  
**doc. Ing. Jakub Hospodka, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **17. července 2020**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **1. prosince 2021**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.  
vedoucí  
Ústavu letecké dopravy



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Jan Cejnar  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 17. května 2021

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Karlu Mündelovi za odborné vedení práce a cenné rady při konzultacích, které mi pomohly při zpracování. Zároveň bych rád poděkoval panu doc. Ing. Jakubu Hospodkovi Ph.D. za konzultování obsahu a konečné podoby práce. Poděkování patří také všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce.

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o autorském právu, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

**V Praze dne 24. 10. 2021**

  
.....

Podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

# Návrh doporučení pro použití postupu Single-engine Taxi-out pro flotilu A320

diplomová práce

2021

Bc. Jan Cejnar

## **Abstrakt**

Úvod této diplomové práce je zaměřen na seznámení čtenáře s postupy single-engine taxi, a s tím souvisejícími provozními a ekonomickými aspekty. Cílem práce je návrh provozní dokumentace sloužící posádce k zjednodušení rozhodovacího procesu a provádění jednotlivých úkonů v každodenním provozu. Závěr práce je zaměřen na studii pro vybrané letiště, kde je postup demonstrován a doplněn o ekonomickou úvahu.

## **Abstract**

The introduction of the diploma thesis is focused to familiarization of the reader with single-engine taxi procedures and respective operational and economical aspects. The goal of the thesis is operational documentation preparation, which is supposed to simplify decision-making process of the flight crew and their procedural tasks in everyday operations. The final part of the thesis is focused to the case study of selected airport. Following procedures are demonstrated and extended by economical consideration.

## **Klíčová slova**

A320family, single-engine taxi, EOT, SETO, postup pojíždění, úspora paliva, snížení emisí, letiště MXP, komerční letecká doprava

## **Key words**

A320family, Single-engine Taxi, EOT, SETO, Taxi Procedures, Fuel Saving, Emission Reduction, MXP Airport, Commercial Aviation

# Obsah

Seznam použitých zkratk	7
1 Úvod	9
2 Single-engine taxi	11
3 Airbus A320family	12
3.1 A320ceo a A321ceo	13
3.2 A320neo a A321neo	14
3.3 CFM56	15
3.4 IAE V2500	17
3.5 PW1100G	19
3.6 CFM LEAP-1A	21
4 Legislativa související se single-engine taxi	22
4.1 IFALPA	22
4.2 Eurocontrol (Network Manager)	22
4.3 Letištní regulace	23
5 Ekonomické a ekologické aspekty	24
5.1 Ekonomické studie	24
5.1.1 Studie single-engine taxi-in na letišti LHR	25
5.1.2 Airbus single-engine taxi-out	26
5.1.3 Studie single-engine taxi-out na letišti LIS	26
5.2 Ekologie provozu	27
5.2.1 Hlukové emise	27
5.2.2 Emise skleníkových plynů	28
6 Single-engine taxi-in	28
6.1 Po přistání	29
6.2 Pojíždění na stání	29
6.3 Na stání	30
7 Standartní postup pojíždění pro vzlet	31
7.1 Opuštění stojánky	31

7.2	Spouštěcí sekvence pohonných jednotek .....	32
7.3	Po spuštění pohonných jednotek .....	34
7.4	Pojíždění pro vzlet .....	35
7.5	Na vyčkávacím místě .....	37
8	Zohlednění faktorů ovlivňujících single-engine taxi-out .....	38
8.1	Vlastnosti letounu .....	38
8.1.1	Aktuální hmotnost letounu.....	38
8.1.2	Rozložení pohonných hmot v nádržích .....	39
8.1.3	Položky na seznamu MEL.....	41
8.1.4	Cooling time a spuštění pohonné jednotky.....	41
8.2	Vlastnosti letiště.....	43
8.2.1	Konfigurace dráhového systému.....	43
8.2.2	Podélný sklon provozních ploch.....	44
8.2.3	Komplexnost pohybových ploch.....	44
8.2.4	Ostré zatáčky.....	46
8.2.5	Doba pojíždění.....	46
8.2.6	Proud vzduchu za motorem .....	48
8.3	Okolní podmínky.....	49
8.3.1	Provoz za snížené dohlednosti (LVO).....	49
8.3.2	Kontaminace pohybových ploch .....	49
8.3.3	Směr a rychlost větru .....	49
8.3.4	Omezení letiště a ATC.....	51
8.4	Single-engine taxi-out summary.....	51
9	Návrh provádění postupu single-engine taxi-out .....	53
9.1	Spouštění pohonné jednotky.....	53
9.2	Po spouštění.....	54
9.3	Single-engine taxi-out segment.....	55
9.4	Spouštění ENG 2.....	56
9.5	Segment pojíždění po spuštění pohonných jednotek .....	58

9.6	Single-engine taxi-out checklist.....	59
10	Ukázka realizace pro letiště.....	60
10.1	Výběr letiště.....	60
10.2	Provozní studie letiště MXP .....	61
10.2.1	Trasa poježdění pro RWY 35R .....	63
10.2.2	Trasa poježdění pro RWY 35L.....	65
10.2.3	Trasa poježdění pro RWY 17L a 17R .....	67
10.3	Srovnání se studií letiště LIS.....	69
11	Ekonomická analýza postupu .....	70
11.1	Teoretický odhad úspory paliva .....	70
11.2	Odhad úspor paliva v reálném provozu.....	72
11.2.1	Zohlednění využitelnosti postupu.....	72
11.2.2	Využívání dráhového systému letiště.....	75
11.2.3	Předpokládaná úspora paliva v provozním modelu dopravce .....	76
12	Závěr.....	78
13	Seznam obrázků .....	79
14	Seznam tabulek.....	81
15	Seznam grafů.....	82
16	Použité zdroje .....	83



## Seznam použitých zkratek

ACJ.....	Airbus corporate jets
AGC.....	Airport ground chart
AIC.....	Aeronautical information circular
AIP SUP.....	Aeronautical information publication supplement
AMC.....	Acceptable means of compliance
AOC.....	Air operator´s certificate
AOI .....	Airport operational information
APN .....	Apron
APU .....	Auxiliary power unit
ATC .....	Air traffic control
BAH .....	Bahrain International Airport
CAA .....	Civil aviation authority
CAE .....	Canadian Aviation Electronics
CEO.....	Current engine option
DOH.....	Hamad International Airport
E/WD .....	Engine/warning display
EASA.....	European Union Aviation Safety Agency
ECAM .....	Electronic centralized aircraft monitor
EEC .....	Electronic engine control
EGT .....	Exhaust gas temperature
EOT .....	Engine-out taxi
EPNdB.....	Effective perceived noise in decibels
EPR .....	Engine pressure ration
FAA.....	Federal Aviation Administration
FADEC .....	Full authority digital engine control
FCOM .....	Flight crew operating manual
FDR .....	Flight data recorder
GE .....	General Electric
GM.....	Guidance material
IAE.....	International Aero Engines
IATA.....	International Air Transport Association
ICAO.....	International Civil Aviation Organisation
IFALPA .....	International Federation of Air Line Pilots Associations
ISA.....	International standard atmosphere
IST .....	Istanbul Airport

ITT .....	Interstage turbine temperature
LGA .....	LaGuardia Airport
LHR .....	Heathrow Airport
LIS .....	Lisbon Portela Airport
LVO .....	Low visibility operations
LVP .....	Low visibility procedures
LVTO .....	Low visibility take-off
MCO .....	Orlando International Airport
MEL .....	Minimum equipment list
MLW .....	Maximum landing weight
MZFW .....	Maximum zero fuel weight
VMO .....	Maximum operating speed
MMO .....	Maximum operating Mach number
MTOW .....	Maximum take-off weight
MTW .....	Maximum taxi weight
MXP .....	Milan Malpensa Airport
N/A .....	Not applicable
NEO .....	New engine option
NIL .....	No items listed
OM .....	Operational manual
P&W .....	Pratt & Whitney
PF .....	Pilot flying
PM .....	Pilot monitoring
RFFS .....	Rescue and firefighting services
RPM .....	Revolutions per minute
RVR .....	Runway visual range
RWY .....	Runway
SARPs .....	Standard and recommended practices
SD .....	System display
SESAR .....	Single European Sky ATM Research
SET .....	Single engine taxi
SETO .....	Single-engine taxi-out
SNECMA .....	Safran Aircraft Engines
SOP .....	Standard operating procedures
TET .....	Total engine taxi
TWY .....	Taxiway
ZRH .....	Zurich Airport

# 1 Úvod

Cílem leteckých společností působících v obchodní letecké dopravě je snaha o dosažení maximálního ekonomického výkonu při zachování vysoké úrovně bezpečnosti. Stále rostoucí tlak na snižování cen letenek však vede dopravce k přeměně struktur společností, investicím do nových technologií a optimalizaci provozu. Jednou z možností, jak zvýšit efektivitu provozu je zavedení dodatečných opatření nad rámec standartních provozních postupů. Tato opatření jsou aplikována v závislosti na typu provozu, vybavení letišť a složení flotily dopravce. Při rostoucích cenách pohonných hmot a stále výraznějším tlaku veřejnosti na snížení ekologické zátěže letecké dopravy, jsou dopravci nuceni k těmto postupům přistupovat ve vyšší míře.

Převážná většina pozornosti optimalizace provozu byla v minulosti věnována letovým fázím, kde lze s ohledem na spotřebu paliva a dobu letu dosáhnout nejvýraznějších úspor. Prostor pro další zefektivnění provozu v těchto fázích je tak již značně omezený. V reakci na to se pozornost leteckých dopravců začala zaměřovat na pozemní část provozu. Jednou z možností, jak dosáhnout dalších úspor je postup single-engine taxi.

Právě teoretická část práce bude věnována popisu postupu single-engine taxi, včetně ekonomických a ekologických aspektů. Součástí bude popis vybraných variant flotily letounů A320, které jsou jedněmi z celosvětově nejrozšířenějších letounů, nejen mezi klasickými, ale i nízkonákladovými dopravci a jsou vhodným typem pro využití tohoto postupu. Významnou součástí teoretické části bude popis standartního postupu pojiždění za využití obou pohonných jednotek a postupu single-engine taxi-in.

Praktická část práce je zaměřena převážně na provozní aspekty postupu single-engine taxi-out. V první fázi budou definovány faktory ovlivňující možnost provedení postupu single-engine taxi-out, kde výstupem bude přehledný souhrn usnadňující rozhodovací proces posádky o možnosti aplikovatelnosti postupu. Následující fáze se zaměří na provádění daného postupu v praxi, založeném na standartních provozních postupech společnosti Airbus. Závěr praktické části se zaměří na jedno vybrané letiště, kde bude tento postup demonstrován, včetně provedení ekonomické analýzy.

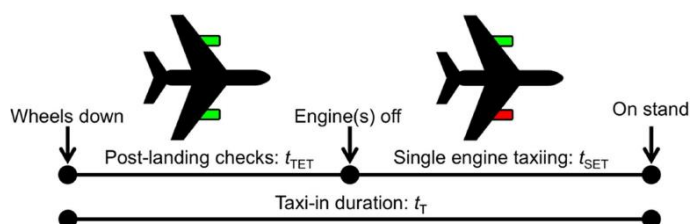
Hlavní motivací pro výběr tohoto tématu je jeho provozní využitelnost a aktuálně rostoucí tlak leteckých dopravců na aplikování postupu v provozu. Dále pak rozšíření mých znalostí z provozu letounu A320 a postupů souvisejících s danou problematikou nad rámec standartního provozu. V neposlední řadě, nový pohled na rozhodovací proces a prvky s tím související, které mi pomohou přistupovat k fázi pojiždění jiným způsobem než doposud.

Cílem této diplomové práce je vytvoření komplexního návrhu pro provádění postupu single-engine taxi-out včetně provozní dokumentace. Hlavním cílem je příprava takové dokumentace, která pomůže posádce s prováděním postupu v každodenním provozu. V první řadě se jedná o dokumentaci, která zjednoduší rozhodovací proces posádky a poskytne oporu při briefingu. Následně pak podporu při provádění postupu posádkou v provozu ve formě checklistu a mapové dokumentace. Dílčím cílem je realizace pro vybrané letiště a s tím související ekonomická úvaha.

## 2 Single-engine taxi

Single-engine taxi je nestandartní postup poježdění letounu za využití pouze jedné pohonné jednotky v případě dvoumotorových letounů. Obdobný postup lze aplikovat i pro třímotorové a čtyřmotorové letouny. V případě třímotorového letounu se typicky nevyužívá prostřední pohonná jednotka a v případě čtyřmotorového letounu se nevyužívá jedna nebo obě vnější pohonné jednotky. Naopak výrobci některých typů letounů takový postup vůbec neumožňují. Důvodem může být nedostatečný výkon zbývající pohonné jednotky, zhoršení říditelnosti letounu související s nesouměrným tahem nebo architektura systémů, která by při jednom nepracujícím motoru nezajistila dostatečné zálohování systémů letounu. [1]

Single-engine taxi lze aplikovat při poježdění pro odlet, kdy je postup označován jako single-engine taxi-out nebo pro poježdění po přistání, takzvaný postup single-engine taxi-in viz. – Obrázek 1. Ačkoliv se na první pohled jedná o stejný postup, kdy je využívána pouze jedna pohonná jednotka, provozní postupy a omezení se značně liší. V současném provozu je výrazněji rozšířen postup single-engine taxi-in, tedy až v 50 % případů dle dat SESAR. Naopak podíl single-engine taxi-out tvoří v Evropě méně než 10 %. [1]



Obrázek 1 – Single-engine taxi-in [2]

Moderní dopravní letouny jako A320 typicky disponují dostatečným přebytkem tahu, který dovoluje využití postupu single-engine taxi. Hlavním důvodem, proč je tento postup v praxi využíván při pozemní činnosti, je snížení celkové spotřeby pohonných hmot a s tím související snížení emisí produkovaných pohonnými jednotkami. [1]

Právě letouny A320family jsou vhodnými typy pro postup single-engine taxi, díky jejich přebytečnému výkonu a relativně vysoké spotřebě paliva. V rámci dokumentace FCOM jsou publikovány „supplementary procedures“ pro obě varianty single-engine taxi, označované jako „one engine taxi – at departure“ a „one engine taxi – at arrival“. [3] Vyšší míru uplatnění pak lze očekávat zejména na krátkých letech, kde vzletová hmotnost letounů je výrazně nižší a pozemní pohyby představují významný podíl celkové doby letu.

### 3 Airbus A320family

Název A320family je souhrnné označení pro varianty letounů A318, A319, A320 a A321 společnosti Airbus Industries. Práce je zaměřena na varianty A320 a A321, které dominují současným objednávkám. Dle dat výrobce bylo ke konci ledna 2021 objednáno přes 7000 kusů letounů těchto variant viz. – Tabulka 1. Jak je patrné z tabulky uvedené níže, s nejkratší variantou, tedy A318 se již ani nepočítá v podobě nové generace A318neo. [4]

Tabulka 1 – Objednávky A320family k lednu 2021 [4]

Varianty	Objednávky	Dodáno
A319neo	78	3
A320neo	3907	1157
A321neo	3466	469

V současné době je v provozu stále více než 6000 kusů letounů původních variant A320ceo a A321ceo. Proto je součástí práce srovnání technických parametrů obou generací A320 a A321, včetně jejich hlavních odlišností. Porovnání je tak prováděno současně mezi jednotlivými variantami a generacemi letounů, které jsou dnes nejčastěji nasazovány v komerčním provozu. Ačkoliv A319ceo je s přibližně 1400 kusy rozšířenou variantou v současném provozu, s ohledem na nižší potenciál do budoucna, není v práci dále uvažována. [4] Hlavní technické parametry pro vybrané varianty jsou uvedeny níže, viz. – Tabulka 2. Pro potřeby práce jsou rozhodujícími parametry zejména hmotnosti jednotlivých variant, které se výrazně liší. [5]

Tabulka 2 – Technické parametry vybraných variant A320family [3], [5]

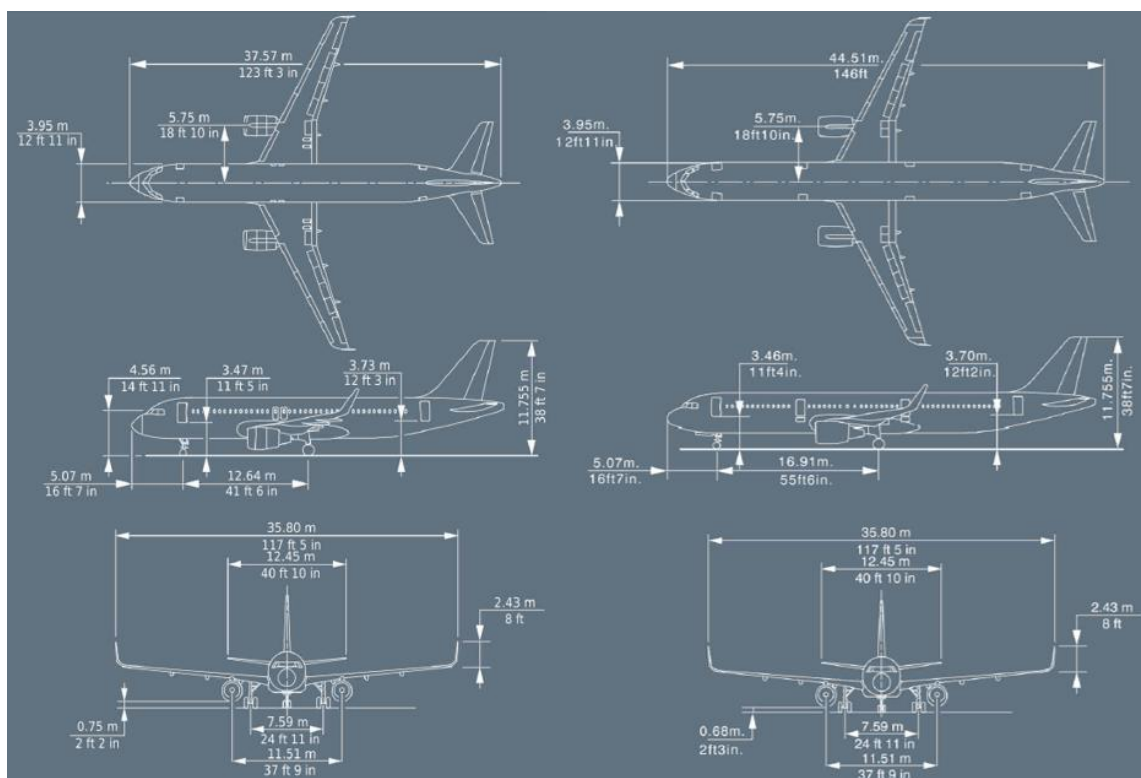
Varianta letounu	A320ceo	A321ceo	A320neo	A321neo
MTW	73 900 kg	89 400 kg	73 900 kg	89 400 kg
MTOW	73 500 kg	89 000 kg	73 500 kg	89 000 kg
MLW	64 500 kg	75 500 kg	66 000 kg	77 300 kg
MZFW	61 000 kg	71 500 kg	63 000 kg	73 300 kg
VMO/MMO	350 kt/ .82M	350 kt/ .82M	350 kt/ .82M	350 kt/ .82M
Dostup	39 000 ft	39 000 ft	39 000 ft	39 000 ft
Dolet	6 200 km	5 950 km	6 300 km	6 480 km
Kapacita nádrží	18 729 kg	18 605 kg	18 623 kg	18 511 kg
Počet sedadel	180Y	230Y	186Y	239Y
RFF	6	7	6	7

### 3.1 A320ceo a A321ceo

Letoun A320ceo je historicky vlajkovou variantou A320family, kde označení CEO odkazuje na původní generaci letounu (Current Engine Option). Jedná se o dvoumotorový úzkotrupý letoun středního doletu vybavený ve své době inovativním systémem řízení fly-by-wire s kapacitou v konfiguraci economy 180 míst. [5] Letoun byl představen roku 1984. O 3 roky později byl proveden první let a k provoznímu nasazení došlo v roce 1988. [6]

Po úspěšném uvedení letounu A320ceo následovala prodloužená varianta A321ceo. Komerčního nasazení se dočkala verze A321-100 6 let po původní variantě A320ceo a později následovala A321-200. [5] Uvažovanou verzí v této práci je A321-200, která vznikla prodloužením konstrukce pomocí vsazení 8 sekcí o délce 4,26 m v přední části trupu a 5 sekcí o délce 2,67 m v zadní části trupu, čímž bylo dosaženo celkové délky 44,51 m, viz. – Obrázek 2. To umožnilo navýšení celkové kapacity letounu. Zároveň došlo k modifikaci nouzových východů a úpravě některých palubních systémů, například technického řešení nádrží a palivového systému. [3]

Obě tyto varianty využívají 2 různé typy pohonných jednotek – CFM56 a IAE V2500, které jsou podrobněji popsány v následující kapitole práce. [5]



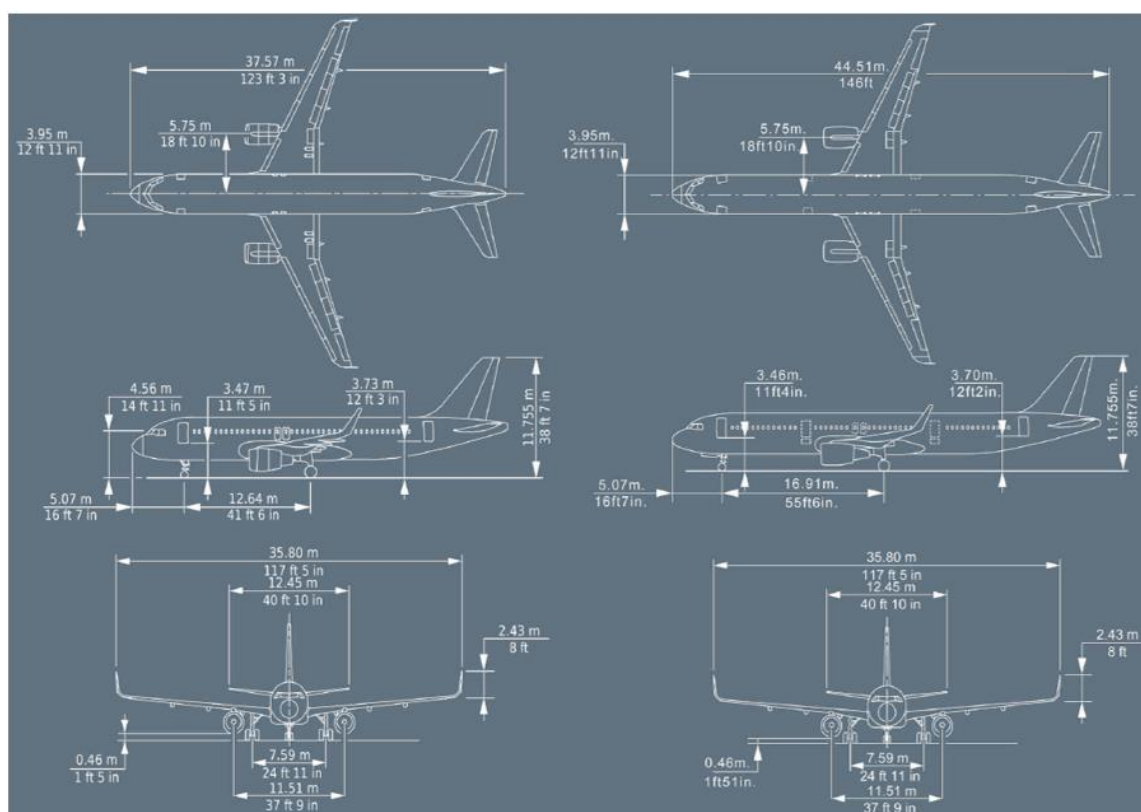
Obrázek 2 – Fyzické rozměry letounů A320ceo a A321ceo (upraveno autorem) [3]

### 3.2 A320neo a A321neo

Prvním zástupcem druhé generace je varianta A320neo, odkazující označením NEO na novou generaci pohonných jednotek (New Engine Option). Letoun byl poprvé uveden do provozu v roce 2016. Kromě inovací v podobě modernějších pohonných jednotek, dosáhla tato varianta změn také v celé řadě palubních systémů. [7] Příkladem mohou být změny na pneumatickém a palivovém systému, systémech klimatizace a přetlakování nebo automatizace letu. Výraznou výhodou je snížení hlukové zátěže, díky novým pohonným jednotkám a dokonalejšímu odhlučnění kabiny letounu, což zvyšuje komfort pasažérů a posádky během letu. [3]

Prodloužená varianta, tedy letoun A321neo byl uveden do provozního nasazení v dubnu 2017. [5] Letoun je stejně jako v předchozí verzi prodloužen pomocí 13 nových trupových sekcí. Změnou v konstrukci trupu oproti A321ceo je ponechání nouzových východů nad křídlem a doplnění o nouzový východ v zadní části trupu viz. – Obrázek 3. [3]

Varianty A320neo a A321neo využívají 2 různé typy pohonných jednotek nové generace – PW1100G-JM a CFM LEAP-1A, které jsou podrobněji popsány v samostatné kapitole diplomové práce. [5]



Obrázek 3 – Fyzické rozměry letounů A320neo a A321neo (upraveno autorem) [3]



### 3.3 CFM56

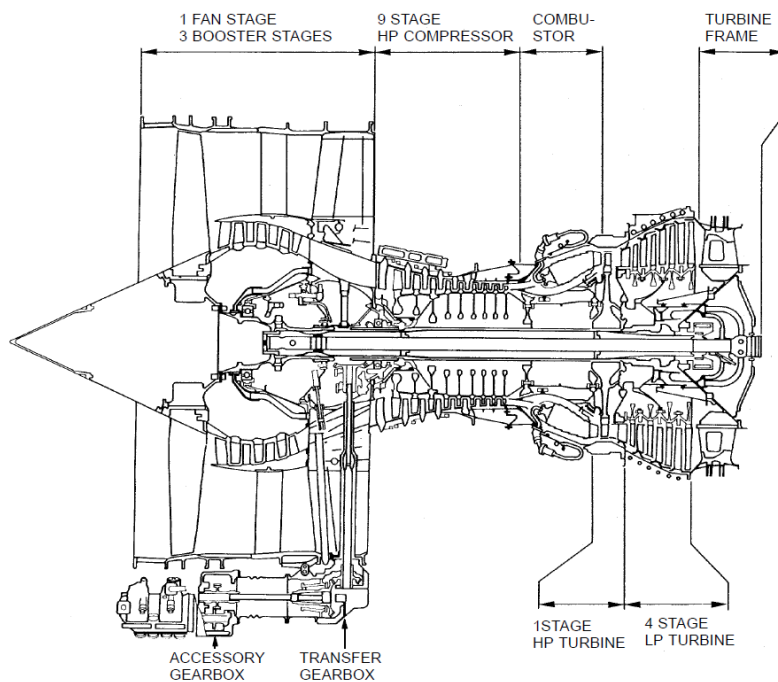
První pohonnou jednotkou pro letouny A320ceo a A321ceo je řada motorů CFM56 vyráběná americko-francouzským konsorciem CFMI (Comercial Fan Motor International), kterou tvoří společnosti GE a SNECMA, existující dnes pod názvem Safran Aircraft Engines. [8]

Pohonné jednotky jsou dodávány ve 3 variantách pro letoun A320ceo a 2 variantách pro letoun A321ceo. Jednotlivé varianty jednotek se liší zejména nastavením maximálního dostupného tahu, viz. – Tabulka 3. [5]

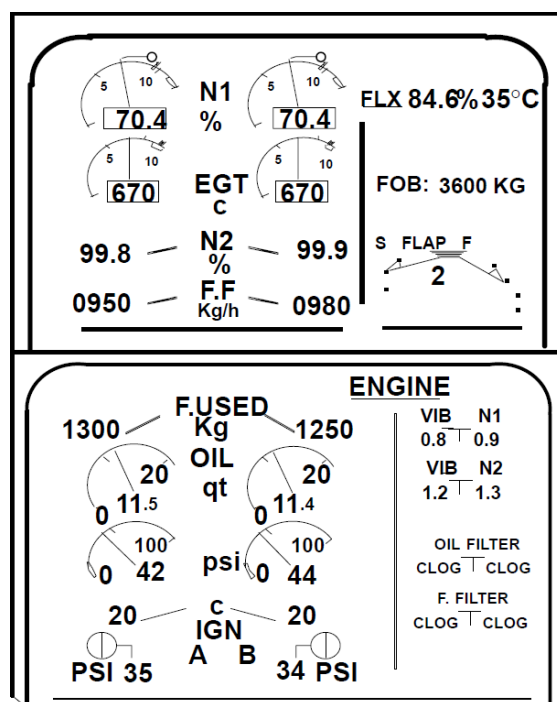
*Tabulka 3 – Parametry pohonných jednotek CFM56 (upraveno autorem) [8]*

Engine model	CFM56-5A1	CFM56-5A3	CFM56-5B4	CFM56-5B1	CFM56-5B2
Aircraft type	A320	A320	A320	A321	A321
Thrust	25000 lb	26500 lb	27000 lb	30000 lb	31000 lb
Flat rated temperature	30 °C	30 °C	45 °C	30 °C	30 °C
Bypass ratio	6:1	6:1	5,7:1	5,5:1	5,5:1
Mass flow	852 lb/sec	876 lb/sec	897 lb/sec	943 lb/sec	956 lb/sec
Overall pressure ratio	31,3	31,3	32,6	35,5	35,5
EGT (°C)	890/915	915	950	950	950
N1 (RPM)	5100	5100	5200	5200	5200
N2 (RPM)	15183	15183	15183	15183	15183
<b>Dimensions</b>					
Length (inch)	95,4	95,4	102,4	102,4	102,4
Fan diameter (inch)	68,3	68,3	68,3	68,3	68,3
Basic dry weight (lb)	4995	4995	5250	5250	5250
Fan/LP/HP stage numbers	1+3+9	1+3+9	1+4+9	1+4+9	1+4+9
HP/LP turbine stage numbers	1+4	1+4	1+4	1+4	1+4

Samotná jednotka se skládá z nízkotlaké části kompresoru včetně dmyhadla s celkovým počtem 36 lopatek z titanové slitiny, následovaných vysokotlakým kompresorem a spalovací komorou. Na spalovací komoru navazuje vysokotlaká turbína a 4 fáze nízkotlaké turbíny viz. – Obrázek 4. [8]



Obrázek 4 – Průřez sekcí pohonnou jednotkou řady CFM56-5A1 [8]



Obrázek 5 – Indikace motorových parametrů ECAM pro CFM56 [8]

Na následujícím obrázku je znázorněna indikace parametrů pohonné jednotky v pilotní kabině. Jedná se o starší verzi zobrazení, odpovídající dané řadě, kde jsou prezentovány informace z horního displeje (E/WD) a dolního displeje (SD) systému ECAM. [8]

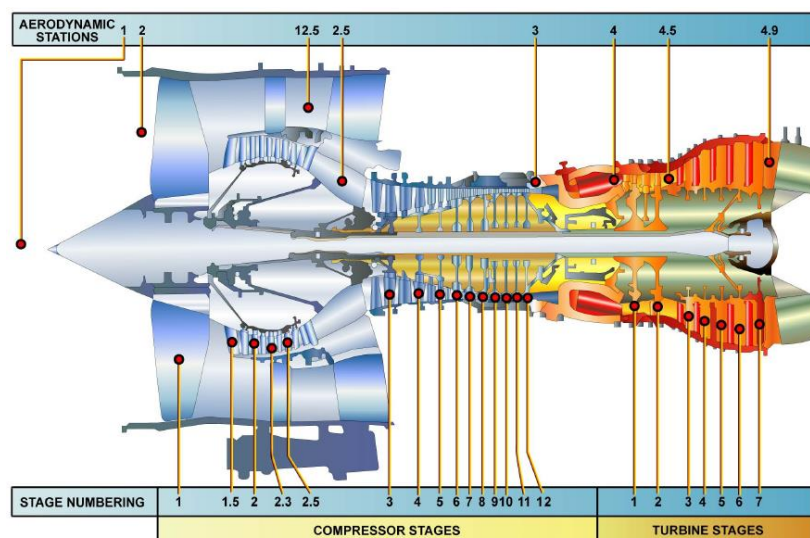
### 3.4 IAE V2500

Řada pohonných jednotek V2500 je druhou možností pohonu letounů A320ceo a A321ceo, vyráběná konsorciem IAE (International Aero Engines), tvořenou společnostmi P&W, Japanese Aero Engine Corporation a MTU Aero Engines. K prvnímu provoznímu nasazení došlo o několik let později oproti CFM56, a to v květnu roku 1989. [9]

Stejně jako u pohonných jednotek CFM, tak i V2500 jsou dodávány v několika variantách. Konkrétně 2 varianty pro letoun A320ceo a 2 varianty pro A321ceo. [9]

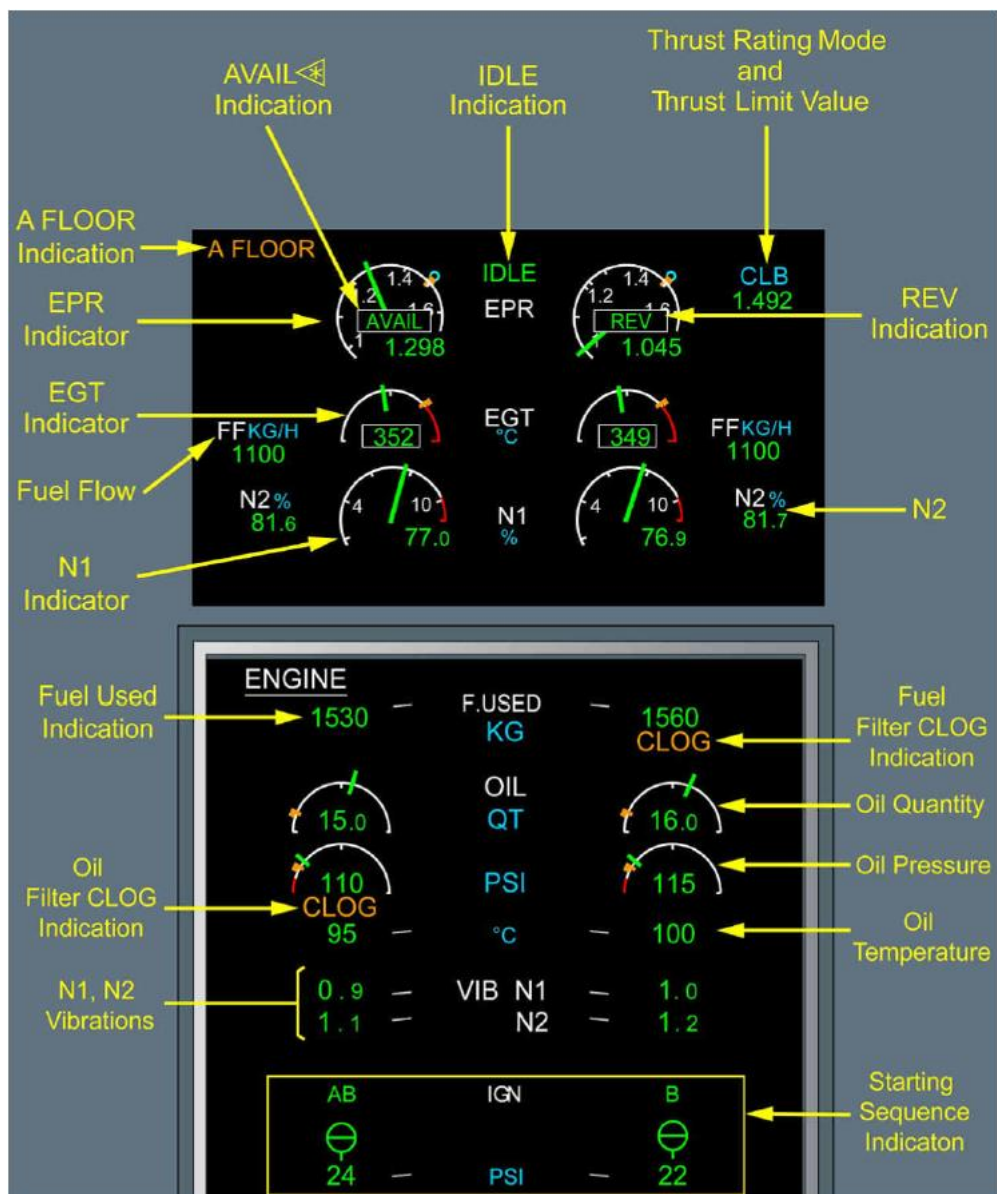
Tabulka 4 – Parametry pohonných jednotek V2500 (upraveno autorem) [10], [11]

Engine model	V2500-A1	V2527-A5	V2530-A5	V2533-A5
Aircraft type	A320	A320 <sup>1</sup>	A321	A321
Thrust	24800 lb	24800 lb	29900 lb	31600 lb
Flat rated temperature	30 °C	46 °C	30 °C	30 °C
Bypass ratio	5,4	4,8	4,6	4,5
Overall pressure ratio	29,8	27,5	32,1	33,4
EGT (°C)	625	645	650	670
N1 (RPM)	5650	5650	5650	5650
N2 (RPM)	14950	14950	14950	14950
<b>Dimensions</b>				
Length (inch)	126	126	126	126
Fan diameter (inch)	63	63,5	63,5	63,5
Basic dry weight (lb)	5300	5300	5300	5300
Fan/LP/HP stage numbers	1+3+10	1+4+10	1+4+10	1+4+10
HP/LP turbine stage numbers	2+5	2+5	2+5	2+5



Obrázek 6 – Průřez sekci pohonnou jednotkou řady V2530-A5 [12]

<sup>1</sup> pohonná jednotka V2527-A5 je specializovaná varianta pro letouny ACJ a pro provoz na letištích s vysokou nadmořskou výškou [10]



Obrázek 7 – Indikace motorových parametrů ECAM pro V2500 [3]

Významným provozním rozdílem oproti pohonným jednotkám CFM56 je požadavek motoru na delší termální stabilizaci po spuštění – 5 min. Dalším rozdílem je indikace požadovaného a dodávaného výkonu, viditelná na E/W/D, která je udávána jako EPR. Parametr EPR udává poměr tlaku proudu vzduchu vystupujícího z nízkotlaké turbíny (P4.9) vůči tlaku proudu vzduchu vstupujícího do motoru (P2) viz. – Obrázek 7. [12] V případě selhání některého z tlakových senzorů, lze využít záložní indikace parametru N1. [3]

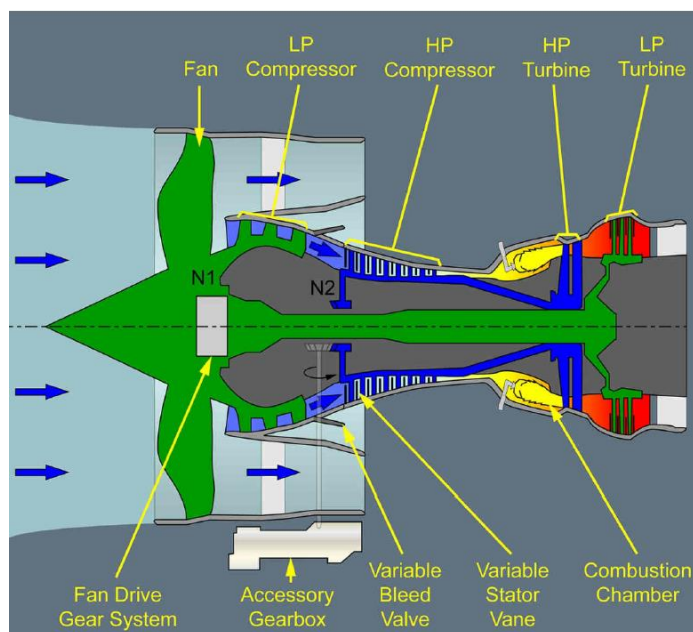
### 3.5 PW1100G

Nástupcem pohonných jednotek V2500 je nová generace řady PW1100G určená pro letouny A320neo a A321neo. Zásadním rozdílem oproti předchůdcům je samotná velikost pohonných jednotek, která snižuje vzdálenost mezi gondolou motoru a povrchem země z 0,75 m na 0,46 m viz. – Obrázek 3. Zvětšení průměru pohonné jednotky umožnilo výrazné zvýšení obtokového poměru viz. – Tabulka 5. [3], [13]

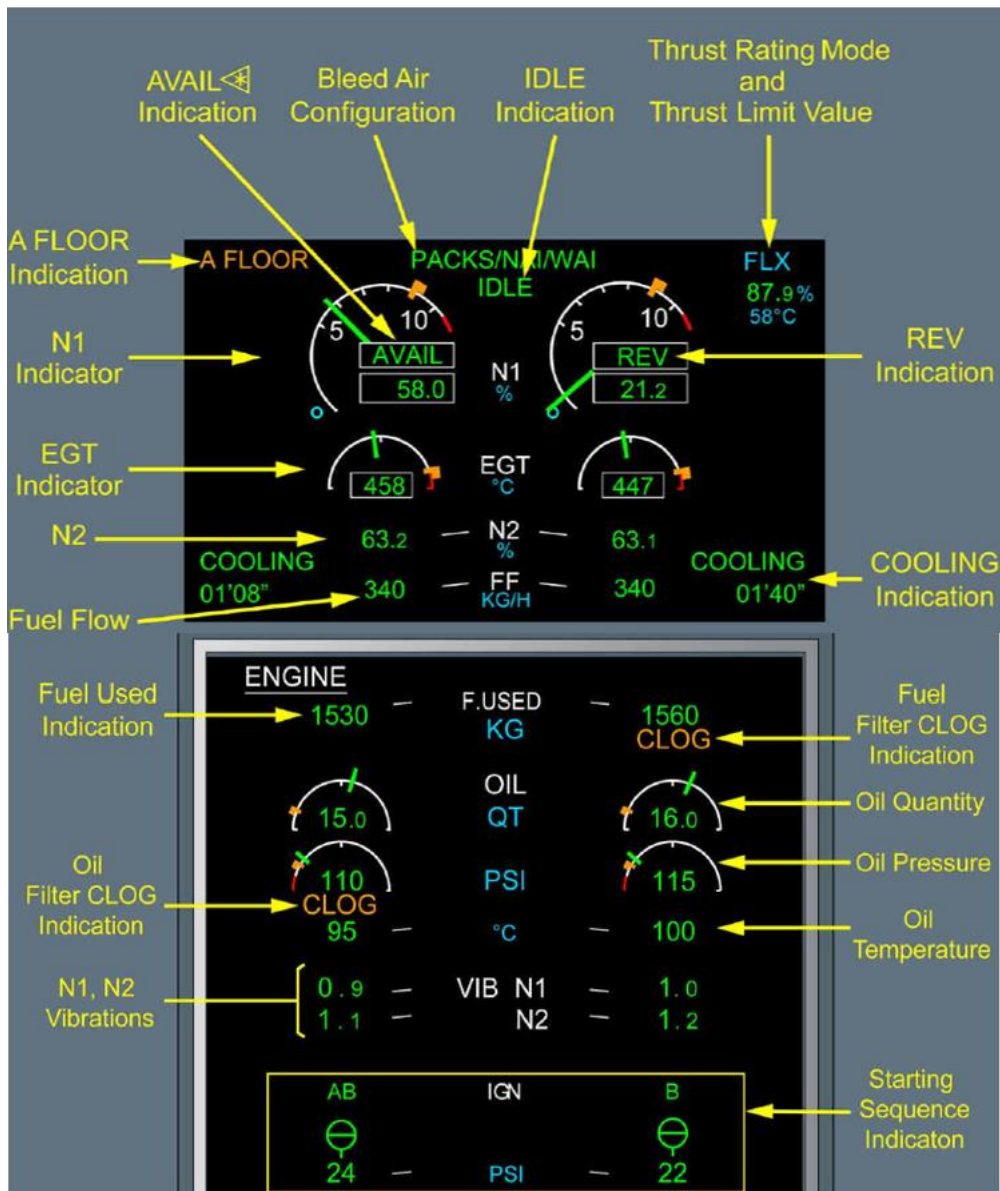
V současné době jsou dodávány 1 varianta pro A320neo a 1 varianta pro A321neo. [13]

Tabulka 5 – Parametry pohonných jednotek PW1100G (upraveno autorem) [13], [14]

Engine model	PW1127G-JM	PW1133G-JM
Aircraft type	A320	A321
Thrust	27000 lb	33000 lb
Flat rated temperature	47 °C	30 °C
Bypass ratio	12:1	12:1
ITT (°C)	1083	1083
N1 (RPM)	10047	10047
N2 (RPM)	22300	22300
<b>Dimensions</b>		
Length (inch)	129	129
Fan diameter (inch)	81	81
Basic dry weight (lb)	6300	6300
Fan/LP/HP stage numbers	1+3+8	1+3+8
HP/LP turbine stage numbers	2+3	2+3



Obrázek 8 – Průřez sekcí pohonnou jednotkou PW1100G [3]



Obrázek 9 - Indikace motorových parametrů ECAM pro řadu PW1100G [3]

Specifikem nové generace pohonných jednotek řady PW1100G a CFM LEAP-1A je perioda před samotným spuštěním motoru označovaná jako „cooling“. V případě PW1100G je indikace potřebného času zobrazena po aktivaci jednotky FADEC a posádce prezentována poznámkou **COOLING** ve spodní části E/WD. S ohledem na časovou náročnost tohoto procesu, který ovlivňuje celkový čas potřebný pro spuštění a poježdění je této problematice věnována pozornost v podkapitole 7.2. [3]



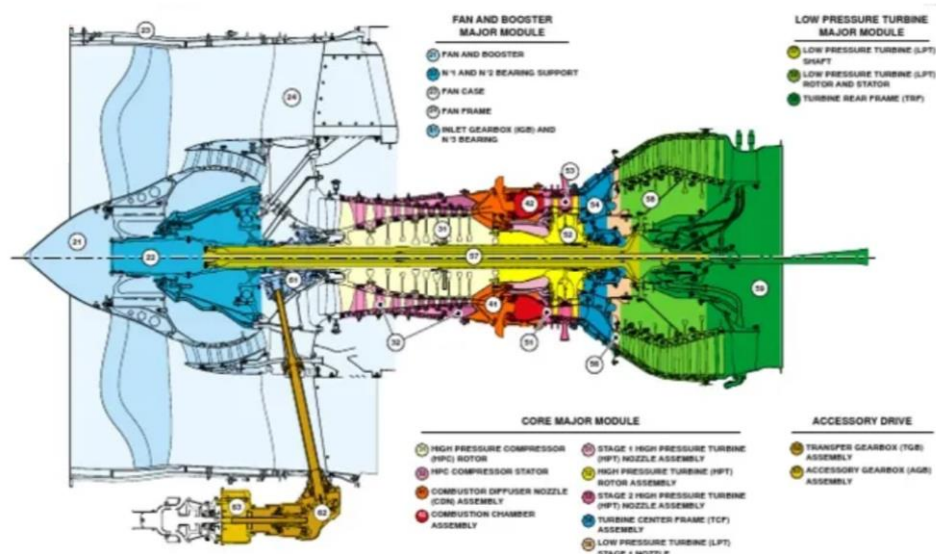
### 3.6 CFM LEAP-1A

Druhou pohonnou jednotkou pro varianty A320neo a A321neo je LEAP-1A, která byla do komerčního provozu dodána 6 měsíců po konkurenčním PW1100G. [7] Také LEAP-1A se vyznačuje větším průměrem motoru, čímž dosahuje vyššího obtokového poměru oproti generaci pohonných jednotek CFM56 viz. – Tabulka 6. [15]

Pohonné jednotky LEAP-1A jsou dodávány v 1 variantě pro A320neo a 1 variantě pro A321neo s variabilním nastavením maximálního tahu dle požadavků provozovatele, zástupce každé varianty je uveden níže viz. – Tabulka 6. [15]

Tabulka 6 – Parametry pohonných jednotek LEAP-1A (upraveno autorem) [15], [16]

Engine model	LEAP-1A23	LEAP-1A30
Aircraft type	A320	A321
Thrust	24010 lb	32160 lb
Bypass ratio	11:1	11:1
Overall pressure ration	40:1	40:1
EGT (°C)	1060	1060
N1 (RPM)	3894	3894
N2 (RPM)	19391	19391
<b>Dimensions</b>		
Length (inch)	131	131
Fan diameter (inch)	78	78
Basic dry weight (lb)	6590	6950
Fan/LP/HP stage numbers	1+3+10	1+3+10
HP/LP turbine stage numbers	2+7	2+7



Obrázek 10 – Průřez sekci pohonnou jednotkou řady LEAP-1A [17]

## 4 Legislativa související se single-engine taxi

Provozní postupy single-engine taxi nejsou předmětem legislativní úpravy na úrovni organizace ICAO, například pomocí ICAO SARPs. [18] Stejně tak neexistuje legislativní úprava postupů na úrovni EASA pro evropský region, například v podobě AMC nebo GM. [19] Oblastí, kde jsou postupy single-engine taxi nejčastěji využívány jsou Spojené státy, avšak ani FAA legislativně neupravuje dané postupy. [20]

Existuje však několik subjektů, které vydávají doporučení a omezení využívání postupu single-engine taxi. Na celosvětové úrovni je to organizace IFALPA, která vydala v roce 2016 dokument nazvaný „*Engine-Out Taxi*“. [21] Na evropské úrovni existuje doporučení organizace Eurocontrol, v rámci Network Manager, vydaná publikace „*European Action Plan for the Prevention of Runway Incursions*“. [22] V převážné většině jsou však postupy single-engine taxi upravovány v rámci jednotlivých letišť a schvalovány příslušným dozorcujícím úřadem. Příkladem mohou být letiště „*Bahrain International Airport*“ (BAH), „*Hamad International Airport*“ (DOH) nebo „*Zurich Airport*“ (ZRH). [23], [24], [25]

### 4.1 IFALPA

V rámci výše zmíněného dokumentu je kladen důraz zejména na aspekty bezpečnosti provozu a nadměrné zatížení posádek. Ačkoliv asociace souhlasí s využíváním tohoto postupu s ohledem na ekonomické a ekologické benefity, nelze jej nadřazovat bezpečnosti. Zejména při postupu single-engine taxi-out jsou požadavky na výkonnost posádky značně zvýšeny. Základním požadavkem je právo konečného rozhodnutí o provedení postupu náležící veliteli letadla. Dále je doporučeno uvedení podrobného návodu pro tento postup v provozním manuálu dopravce s ohledem na jeho SOP při pojiždění a operované typy letounů. [21] Právě vytvoření takového návodu je cílem této diplomové práce.

### 4.2 Eurocontrol (Network Manager)

Podobný obsah a doporučení lze nalézt také v dokumentu vydaném organizací Eurocontrol. Stejně jako doporučení asociace IFALPA, odkazuje daný dokument na nutnost popisu postupů single-engine taxi v OM dopravce za schválení dozorcujícím úřadem, včetně odpovídajícího výcviku letových posádek. Je však třeba zmínit, že postup single-engine taxi není předmětem provozní specifikace k AOC. Pozornost doporučení je zaměřena na jednoznačné rozdělení činností posádky a provádění požadovaných úkonů ve vhodné fázi pojiždění tak, aby bylo minimalizováno riziko nepovoleného vstupu na vzletovou dráhu nebo pozemní kolize při pojiždění, kdy je pozornost posádky věnována úkonům souvisejícím s postupem EOT. [22]



### 4.3 Letištní regulace

Nejčastějším případem je regulace single-engine taxi provozovateli letišť, kteří mohou stanovit konkrétní podmínky, za kterých lze daný postup realizovat. Případně je takový postup úplně zakázán. V současné době není v Evropě postup SETO výrazně rozšířen, tudíž ani není letišti často regulován. V poslední době se však začíná postup prosazovat zejména mezi nízkonákladovými dopravci.

Příkladem vydání podmínek stanovujících využitelnost postupu single-engine taxi je AIP SUP vydaný v roce 2014 pro letiště BAH. [23] O rok později byl katarským CAA vydán AIC pro letiště DOH. [24] Pro švýcarské letiště ZRH bylo v roce 2017 vydáno doporučení, které konkrétně specifikuje, pro které dráhy je single-engine taxi-in doporučeno. Single-engine taxi-out pak dovoleno není vůbec. [25] Jednotlivé podmínky, kdy nelze postup EOT aplikovat jsou přehledně shrnuty viz. – Tabulka 7.

*Tabulka 7 – Omezení pro postup single-engine taxi [23], [24], [25]*

	BAH	DOH	ZRH
Visibility	less than 5 km	less than CAT II <sup>2</sup>	NIL
Wind (gusts)	25 kt (10 kt) +	25 kt (10 kt) +	NIL
Manoeuvres	180° turn +	180° turn +	specific pattern
RWY operations	active RWY	active RWY	any RWY
ATC compliance	mandatory	mandatory	mandatory

Právě na výše zmíněných letištích jsou provozovateli publikovány limity, které omezují využití single-engine taxi-out. V první řadě se jedná o omezující meteorologické podmínky, kdy zohledňované faktory jsou dohlednost a vítr. Právě zhoršená dohlednost snižuje orientaci v prostoru, zejména pak na letištích s komplexní sítí pojezděcích drah. Dalším prvkem je rychlost větru, kdy limitující hodnotou je stabilní vítr o síle 25 kt, případně vítr v nárazech 10 kt a více. Důvodem omezení je působení větru na svislé ocasní plochy, což v kombinaci s asymetrickým tahem motoru může vést ke ztrátě kontroly nad řízením. [23], [24] Dále není možné využívat postup EOT v situacích, kdy je předpokládáno provádění ostrých zatáček nebo na pojezdových plochách definovaných provozovatelem letiště. Na to nepřímou navazuje zákaz využití postupu na aktivní vzletové a přistávací dráze, kdy pro letiště ZRH je postup zakázán na všech RWY bez ohledu na dráhu v používání. Nezbytnou podmínkou pro použití postupu single-engine taxi-in je 100 % plnění příkazů služby řízení letového provozu tak, aby byla zajištěna plynulost provozu. [25], [26] Podrobněji jsou jednotlivé faktory rozebrány v praktické části diplomové práce.

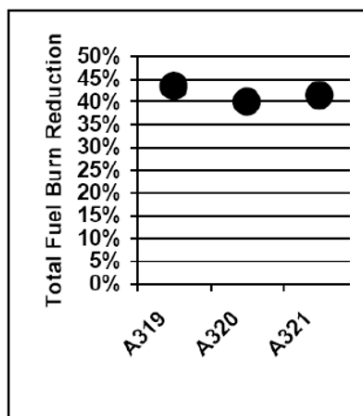
<sup>2</sup> dohlednost pro přiblížení CAT II je vyjádřena jako RVR, ne menší než 300 m [26]

## 5 Ekonomické a ekologické aspekty

### 5.1 Ekonomické studie

Následující kapitola popisuje ekonomické a současně ekologické důvody, proč letecké společnosti aplikují v rámci svých postupů single-engine taxi. Z doporučení asociace IFALPA je zřejmé, že samotný postup, zejména pak single-engine taxi-out, výrazně zvyšuje zatížení posádky a v určitých situacích může snižovat bezpečnost provozu. [21]

Hlavním důvodem pro zařazení tohoto postupu do komerčního provozu jsou ekonomické úspory související se snížením spotřeby paliva a nákladů na údržbu letounů. Konkrétně snížení spotřeby paliva je dosaženo omezením provozu jedné pohonné jednotky pro pozemní pohyby letounu. Teoreticky by tedy měla úspora pohonných hmot v danou dobu představovat 20–40 % celkové spotřeby v závislosti na době poježdění. S rostoucím časem poježdění roste i ekonomická úspora. [27] Do výpočtu je zahrnuta také spotřeba APU a čas potřebný pro dosažení provozní teploty druhého motoru, čímž celková efektivita postupu klesá. Pro představu, spotřeba APU se pohybuje v rozmezí 100–290 kg/h v závislosti na typu instalovaném na letounu. [28], [40] Teoretická studie organizace IATA z roku 2005 stanovila odhadovanou úsporu paliva při použití postupu single-engine taxi pro letouny A320family následovně, viz. – Graf 1. [27]



Graf 1 – Předpokládané snížení spotřeby paliva (upraveno autorem) [27]

Sekundární úsporou je snížení nákladů na údržbu pohonných jednotek, kdy se prodlužuje životnost pohonné jednotky jako letadlového celku. [28] Zároveň využíváním pouze jedné pohonné jednotky při poježdění se snižuje celkový tah, kdy tah generovaný zbývajícím motorem při volnoběhu odpovídá přibližně 7 % maximálního dostupného tahu. [2] To znamená nižší rychlost při poježdění a nižší počet aplikací brzd v porovnání se standardním poježděním. Ve výsledku dochází k nižšímu opotřebení brzd a zároveň nedochází k jejich ohřívání. [28] Snížením ohřevu brzd při poježdění pro odlet lze zkrátit i celkový čas potřebný pro ochlazení brzd pod limit 300 °C. [3]

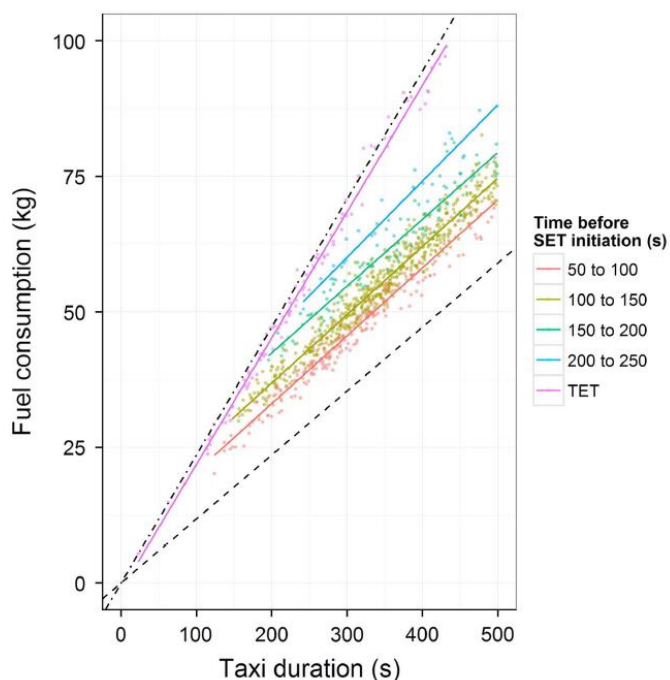
### 5.1.1 Studie single-engine taxi-in na letišti LHR

V rámci dříve provedených studií, na které londýnská studie navazuje, se předpokládá snížení spotřeby pohonných hmot během poježdění až o 50 %. V listopadu 2012 však byla provedena rozsáhlá studie na letišti „Heathrow Airport“ (LHR), která zahrnuje data FDR z 3510 letounů různých typů a pohonných jednotek. Pro zachování kontinuity práce jsou proto použita vybraná data 2842 pohybů letounů A319ceo, A320ceo a A321ceo viz. – Tabulka 8. [2]

Tabulka 8 – Přehled letounů studie (upraveno autorem) [2]

Aircraft ID	Aircraft type	Engine type	No. of engines	Activity count
A319	Airbus A319	V2522-A5	2	1,345
A320	Airbus A320	V2527-A5	2	1,086
A321	Airbus A321	V2533-A5	2	411

Na základě zpracování vyhodnocených dat z palubních zapisovačů při zohlednění spotřeby paliva jednotlivých motorů, nastavení jejich výkonu a celkové doby poježdění byla zjištěna úspora paliva 33,2 % s odchylkou +/- 2,1 % na hladině pravděpodobnosti 95 % pro postup single-engine taxi-in na letišti LHR. Na základě delších poježděcích časů předpokládá studie vyšší potenciál úspory paliva pro postup single-engine taxi-out, který doposud nebyl proveden. [2]



Graf 2 – Spotřeba paliva vztahovaná k době poježdění pro letoun A319ceo [2]

### 5.1.2 Airbus single-engine taxi-out

V roce 2004 publikovala společnost Airbus Industries dokument zabývající se ekonomikou provozu v jednotlivých fázích letu. Součástí zvýšení efektivity pozemního provozu je odhad úspory paliva při EOT pro různé typy letounů. V práci jsou použity hodnoty pro A320family. [29]

Tabulka 9 – Přehled spotřeby paliva [29]

Aircraft type	12 minutes taxi (TET)	12 minutes taxi (SET)	Savings	Percentage
A319ceo	120 kg	80 kg	40 kg	33,3 %
A320ceo	138 kg	92 kg	46 kg	
A321ceo	162 kg	108 kg	54 kg	

Předpokládaná úspora dle dat společnosti Airbus je 33,3 % viz. – Tabulka 9. Je třeba zmínit, že při výpočtu spotřeby paliva byl uvažován čas pro dosažení provozní teploty 4 minuty, místo 5 minut doporučených v dokumentu FCOM viz. - Tabulka 12. Výpočet v tabulce pro SET tedy uvažuje prvních 8 minut pojiždění na 1 motor a zbývajících 4 minuty za využití obou pohonných jednotek. [29]

### 5.1.3 Studie single-engine taxi-out na letišti LIS

Poslední studií zaměřenou na postup single-engine taxi-out je podrobná analýza dat 1026 pohybů letounů A320ceo z letiště „Lisbon Portela Airport“ (LIS) z roku 2019. Cílem studie byla optimalizace času spouštění druhé pohonné jednotky, tak aby bylo dosaženo maximální efektivity postupu SETO. Tedy nalezení takového časového úseku, kdy je zajištěno včasné spuštění a teplotní stabilizace pohonné jednotky a zároveň by nedocházelo ke spouštění příliš brzy, což bylo hlavním důvodem snížení celkové efektivity postupu. Studie ukázala, že pouze spouštěním pohonné jednotky ve vhodném časovém intervalu 90 s by bylo možné zvýšit úspory pohonných hmot o 5 % viz. – Tabulka 10. Přitom průměrná doba pojiždění pro vzlet byla změřena na 9 minut, SETO byl u většiny letů uplatňován v průměru 1 minutu. [30]

Tabulka 10 – Úspory paliva pro letiště LIS [30]

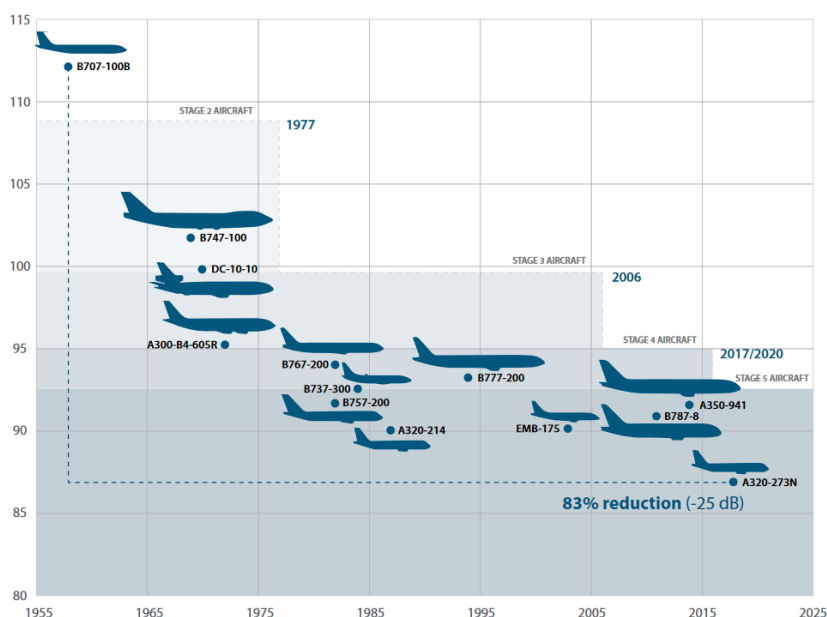
	Current situation	Potential
Average savings	21 kg	27,6 kg
Percentage savings	19 %	24 %

## 5.2 Ekologie provozu

Podobně jako ekonomika provozu, i ekologie začíná být stále citlivějším tématem zejména v Evropě. Neustále rostoucí požadavky na snižování emisí skleníkových plynů a hluku jsou jedním z hlavních směrů definujících současné civilní letectví. Podíl letecké dopravy na globální produkci oxidu uhličitého jsou 2–3 % a 12 % z pohledu světové dopravy. [31] Jedním z evropských nástrojů pro naplňování cílů snižování emisí je program SESAR. V rámci výzkumu zaměřeného na ekologickou udržitelnost bylo zjištěno, že letecký provoz jako takový zodpovídá za 50 % produkovaných emisí, kdy zbylých 50 % připadá na provoz letiště a pozemní obsluhu. [32]

### 5.2.1 Hlukové emise

Jedním z aspektů ochrany životního prostředí je dodržování hlukových limitů a jejich další redukce. Tato problematika je legislativně upravována nařízením Evropského Parlamentu a Rady EU č. 598/2014. Zároveň dochází k důslednému monitorování limitů, zejména v blízkosti letišť. [33] Moderní pohonné jednotky letounů A320ceo a A321ceo tyto limity v současné době splňují, lze však pozorovat snahu výrobců emise hluku dále snižovat. Důkazem je snížení hluku u pohonných jednotek PW1100G a LEAP-1A splňující budoucí standard „Chapter 14 Noise Regulation“. [13], [15] Dalšího snížení hluku pak lze dosáhnout právě využitím postupu single-engine taxi, kdy je využívána pouze jedna pohonná jednotka a APU generující nižší hlukové zatížení. Krátkodobé zvýšení hluku však může být způsobeno pracující pohonnou jednotkou v situacích, kdy je potřebný vyšší výkon nad úrovní volnoběhu.



Obrázek 11 – Srovnání úrovně hlukového zatížení (EPNdB) [34]

### 5.2.2 Emise skleníkových plynů

Emise produkované leteckými motory se skládají z oxidů dusíku (NOx), oxidů síry (SOx), oxidů uhlíku (COx) a uhlovodíků (CH). Tyto plyny mají škodlivý vliv na životní prostředí a lidské zdraví. Snižování emisí je proto jedním z hlavních cílů leteckého průmyslu. V rámci měření emisí na letišti LHR se ukázalo, že fáze pojíždění na stojánku po přistání představuje 4 % NOx, 30 % COx, a 31 % CH z celého letu. [2] Dále data programu SESAR udávají možné snížení emisí COx o 20–40 % a emisí NOx o 10–30 % při využití single-engine taxi. [35]

Rozsáhlejší studie byly provedeny na amerických letištích „Orlando International Airport“ (MCO) a „LaGuardia Airport“ (LGA) v červenci 2007. Na amerických letištích je postup SETO častěji využívaný a pojížděcí časy výrazně delší, kdy studie poukazuje na 96 % zpožděných letů. Pro evropský region tak lze předpokládat konzervativnější data z důvodu kratších pojížděcích časů. Analýza americké univerzity „George Mason University“ nabízí srovnání snížení emisí aplikací postupu single-engine taxi-out a britské studie z letiště LHR pro postup single-engine taxi-in viz. – Tabulka 11. [2], [35]

Tabulka 11 – Snížení emisí využitím single-engine taxi [2], [35]

	COx	NOx	SOx	CH
MCO single-engine taxi-out	27,0 %	26,0 %	22,0 %	24,0 %
LGA single-engine taxi-out	46,0 %	45,0 %	43,0 %	44,0 %
LHR single-engine taxi-in	31,6 %	33,0 %		18,1 %

Důvodem téměř dvojnásobného snížení emisí pro letiště LGA oproti letišti MCO za využití postupu EOT je delší celkový čas pojíždění. Pojížděcí časy pro letiště MCO v průměru dosahovaly maximálně 15 minut, zatímco časy pro pojíždění na vzlet pro letiště LGA byly v průměru delší než 15 minut. Lze tedy konstatovat, že s rostoucím časem, kdy je využíván postup single-engine taxi-out roste efektivita postupu. Stejný trend lze pozorovat u spotřeby pohonných hmot a s tím souvisejícím množstvím produkovaných emisí. [35] U postupu single-engine taxi-in měřeném na letišti LHR lze pozorovat vyšší účinnost postupu, jestliže průměrná doba pojíždění pro letoun A320ceo odpovídá přibližně 7 minutám. [2]

## 6 Single-engine taxi-in

Pro úplnost práce je součástí teoretické části postup single-engine taxi-in dle SOP výrobce. V porovnání se single-engine taxi-out je tento postup výrazně jednodušší, a proto častěji využívaný v současném provozu. Ačkoliv je třeba také zohlednit okolní faktory a dodržet publikovaná omezení viz. – Tabulka 7, provedení a zatížení posádky je nižší.

## 6.1 Po přistání

V okamžiku uvolnění vzletové a přistávací dráhy je proveden „AFTER LANDING FLOW“, jehož součástí je mimo jiné spuštění APU. Následně je proveden „AFTER LANDING CHECKLIST“ viz. – Obrázek 12. Po přistání je definován potřebný čas pro snížení teploty pohonné jednotky, který je stanoven na 3 minuty od okamžiku dosažení tahu blízkého volnoběhu. Jestliže doba spuštění APU trvá přibližně 1 minutu, pak 2 minuty od začátku měření času dochází ke spuštění, aby se maximalizovala efektivita postupu. [3]

AFTER LANDING	
FLAPS.....	RETRACTED
SPOILERS.....	DISARMED
APU.....	START
RADAR.....	OFF
PREDICTIVE WINDSHEAR SYSTEM.....	OFF

Obrázek 12 – „AFTER LANDING CHECKLIST“ [36]

## 6.2 Pojždění na stání

Po uplynutí potřebných 3 minut a nachází-li se letoun na přímé pojížděcí dráze jsou provedeny následující úkony, typicky jako „*read and do checklist*“, jelikož se nejedná o standartní postup v závislosti na provozovateli.

PM (naznačeno zelenou barvou): [3]

- STRAIGHT TWY ..... CONFIRMED
- ENGINE COOLING TIME..... CONSIDER
- APU..... AVAIL
- ENG MASTER 2..... OFF
- Y ELEC PUMP ..... ON



Obrázek 13 – Úkony single-engine taxi-in (upraveno autorem) [37]



### 6.3 Na stání

Samotné úkony při vypínání ENG 2 trvají řádově desítky sekund a následně se mohou oba členové posádky plně věnovat samotnému pojíždění. Po úplném zastavení letounu na stání dokončí posádka činnosti související s postupem single-engine taxi-in na stání viz. – Obrázek 14. Následně je proveden „PARKING FLOW“, následovaný „PARKING CHECKLIST“ a „SECURING THE AIRCRAFT CHECKLIST“, které již nejsou předmětem práce. [3]

PF (naznačenou červenou barvou): [3]

- PARK BRAKE handle.....ON
- ENG MASTER 1.....OFF
- Y ELEC PUMP .....OFF



Obrázek 14 – Úkony single-engine taxi-in na stání (upraveno autorem) [37]



## 7 Standartní postup pojiždění pro vzlet

Následující kapitola popisuje vlastní proces pojiždění pro vzlet letounu A320 při použití 2 pohonných jednotek na základě dokumentu FCOM publikovaného výrobcem. Této fázi letu předchází celá řada postupů provedených posádkou od příchodu k letounu, provedení přípravy, vizuální inspekce technického stavu, nastavení systémů, získání odletového povolení, provedení briefingu až po dokončení „BEFORE START CHECKLIST below the line“. [3]

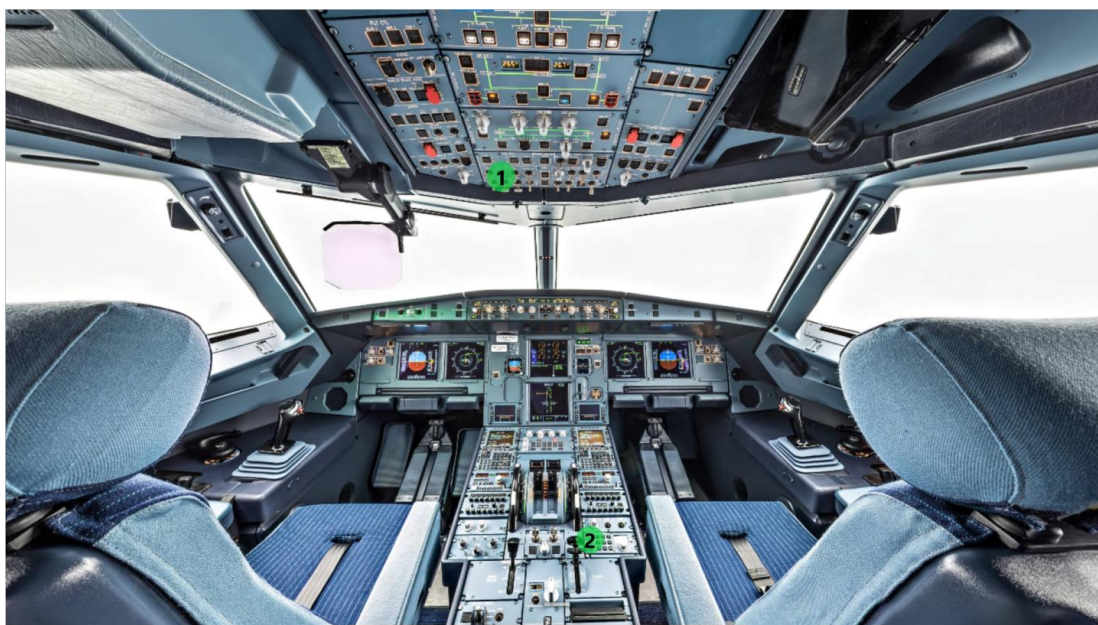
### 7.1 Opuštění stojánky

Před přečtením „BEFORE START CHECKLIST below the line“ viz. – Obrázek 15, jsou posádkou provedeny následující úkony a poté přečten příslušný checklist. [3]

- WINDOWS/DOORS ..... CLOSED/ARMED
- OUTSIDE AREA..... CLEAR
- PUSHBACK/START UP CLEARANCE..... RECEIVED
- BEFORE START FLOW..... PERFORM

PM FLOW (naznačeno zelenou barvou):

- BEACON ..... ON
- XPDR ..... AUTO



Obrázek 15 – BEFORE START FLOW (upraveno autorem) [37]

WINDOWS/DOORS.....	CLOSED (BOTH)
BEACON.....	ON
THR LEVERS.....	IDLE
PARKING BRAKE.....	AS RQRD

Obrázek 16 – „BEFORE START CHECKLIST below the line“ [36]

V závislosti na typu stojánky pak dochází k vytlačení letounu nebo rovnou ke spouštění pohonných jednotek v případě průjezdných stání a stání typu push-in. Obě činnosti probíhají za oboustranného spojení s pozemním personálem, primárně za využití interkomu, případně pomocí vizuální signalizace.

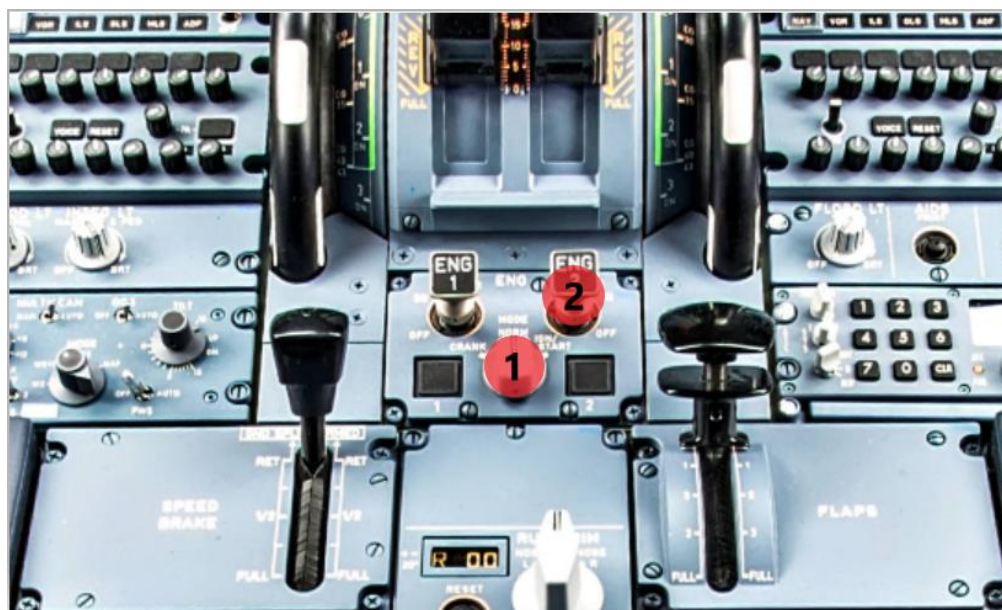
## 7.2 Spouštěcí sekvence pohonných jednotek

Spouštění pohonné jednotky může probíhat na samotném stání, jak je uvedeno výše. Dále lze zahájit sekvenci v průběhu vytlačování, po dokončení vytlačování nebo po vytlačení na stání příslušné ke spouštění v závislosti na ATC povolení a letištních omezeních.

Sekvence spouštění pohonných jednotek při postupu standartního poježdění u letounů A320family probíhá v pořadí ENG 2 a následně ENG 1. Důvodem prioritního spouštění ENG 2 je napojení žluté hydraulické větve k danému motoru, ta potom přivádí tlak do parkovací brzdy a záložního brzdového systému letounu. [3]

Automatickou sekvenci zahajuje PF (naznačeno červenou barvou), viz. – Obrázek 17: [3]

- ENG MODE selector .....IGN/START
- ENG MASTER 2.....ON



Obrázek 17 – Postup spouštění ENG 2 (upraveno autorem) [37]

Spouštění pohonné jednotky je řízeno plně automaticky jednotkou EEC a FADEC, která v případě překročení definovaných parametrů informuje posádku. Současně jsou vybrané parametry poskytovány posádce na E/WD a SD, viz. – Obrázek 7 pro pohonnou jednotku IAE V2500, pro kterou platí níže uvedené kroky:

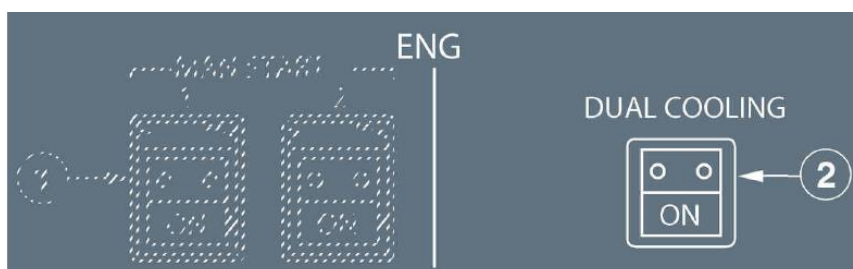
- otevření START VALVE a nárůst otáček N2
- při dosažení 16 % N2 aktivace IGNITION A/B
- při dosažení 18 % N2 otevření FUEL METERING VALVE a přívodu paliva
- růst EGT
- při dosažení 43 % N2 odpojení START VALVE a IGNITION A/B

Následně dojde ke stabilizaci parametrů, připojení systémů k danému motoru a indikaci **AVAIL** na E/WD. Tím je sekvence ukončena a lze opakovat stejný postup pro ENG 1. [3], [12]

### COOLING a funkce DUAL COOLING

Specifikem motorů PW1100G je indikace **COOLING** na E/WD, viz. – Obrázek 9, a s tím související funkce DUAL COOLING. [3] Pohonné jednotky LEAP-1A využívají cooling před samotným spouštěním také, avšak bez funkce DUAL COOLING. [39] Cooling je v podstatě termální stabilizace motoru v požadovaném rozsahu teplot tak, aby se předešlo tření mezi jednotlivými částmi. Před spuštěním tak dochází k tzv. DRY CRANK motoru, kdy otáčky N2 jsou limitovány na 10 % pomocí jednotky FADEC. Ta zároveň provádí výpočet potřebného času v závislosti na teplotě motoru při jeho vypnutí, času od předchozího vypnutí, aktuální venkovní teplotě a aktuální teplotě oleje. [3]

Funkce DUAL COOLING byla představena za účelem zkrácení potřebného času pro termální stabilizaci obou motorů. Toho je dosaženo spuštěním DRY CRANK na obou motorech současně, čímž se potřebný čas sníží. Typicky se potřebný čas pohybuje v rozmezí 0:20 – 1:30 min pro každou pohonnou jednotku. Spuštění této funkce je provedeno manuálně posádkou stisknutím tlačítka DUAL COOLING v pravé části Overhead panelu před zahájením spouštěcí sekvence viz. – Obrázek 18. [38]



Obrázek 18 – Tlačítko DUAL COOLING na Overhead panelu [3]



### 7.3 Po spuštění pohonných jednotek

Po úspěšném spuštění obou pohonných jednotek a stabilizaci motorových parametrů dojde k odpojení pozemního vybavení, pokud bylo použito pro vytlačení letounu ze stání a je proveden „AFTER START FLOW“:

PF FLOW (naznačeno červenou barvou): [3]

- ENG MODE selector .....NORM
- APU BLEED .....OFF
- ANTI-ICE.....AS RQRD
- APU.....OFF (if not RQRD)
- DUAL COOLING .....OFF (if applicable)
- ECAM STS.....CHECK
- N/W STEERING DISC MEMO.....NOT DISPLAYED

PM FLOW (naznačeno zelenou barvou): [3]

- GROUND SPOILERS.....ARM
- RUDDER TRIM .....CHECK ZERO
- FLAPS lever .....SET FOR TAKEOFF
- PITCH TRIM.....SET
- ECAM STS.....CHECK



Obrázek 19 – „AFTER START FLOW“ (upraveno autorem) [37]

Následně je proveden „AFTER START CHECKLIST“ viz. – Obrázek 20.

AFTER START	
ANTI ICE.....	AS RQRD
ECAM STATUS.....	CHECKED
PITCH TRIM.....	____ % SET
RUDDER TRIM.....	ZERO

Obrázek 20 – „AFTER START CHECKLIST“ [36]

## 7.4 Pojždění pro vzlet

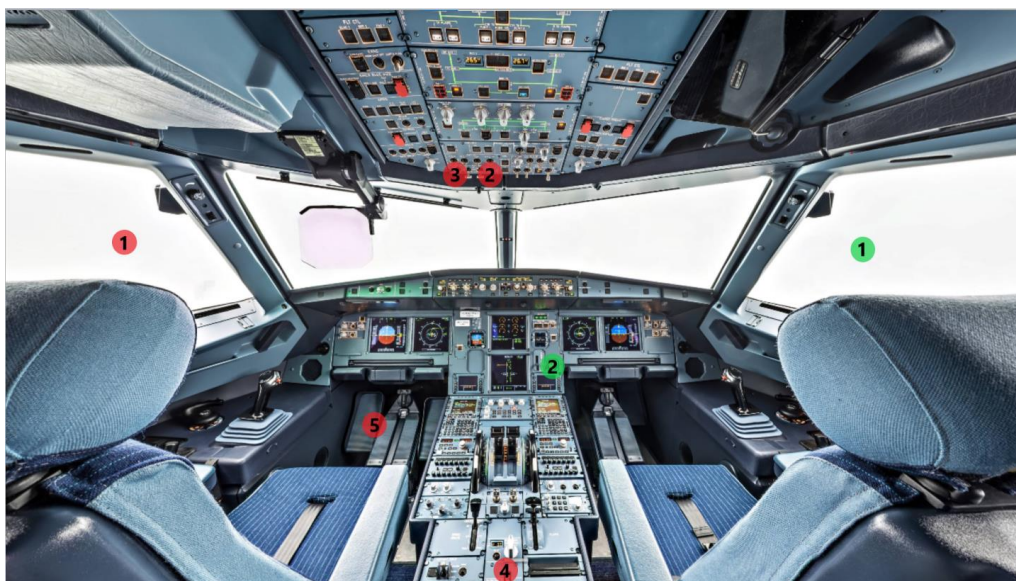
V závislosti na předpokládané době pojíždění může být provedena kontrola řídicích ploch na stojánce, při pojíždění, případně na vyčkávacím místě. V práci je uvažována standardní situace, kdy je provedena kontrola řídicích ploch v průběhu pojíždění. Doba pojíždění se může lišit od několika minut po řádově desítky minut v závislosti na velikosti letiště a hustotě provozu. Po získání ATC povolení posádka provede následující úkony:

PF (naznačeno červenou barvou): [3]

- OUTSIDE AREA..... CLEAR
- NOSE LIGHT..... TAXI
- RWY TURN OFF LIGHT..... ON
- PARK BRAKE handle..... OFF
- BRAKE PEDALS ..... PRESS

PM (naznačeno zelenou barvou): [3]

- OUTSIDE AREA..... CLEAR
- BRAKES..... CHECK



Obrázek 21 – Úkony pro pojíždění (upraveno autorem) [37]

Následující činností posádky je provedení „TAXI FLOW“:

PF (naznačeno červenou barvou): [3]

- FLIGHT CONTROLS.....CHECK
- T.O MEMO .....CHECK NO BLUE


PM (naznačeno zelenou barvou): [3]

- FLIGHT CONTROLS.....CHECK
- PWS.....ON
- AUTO BRK MAX .....ON
- T.O CONFIG .....TEST



Obrázek 22 – „TAXI FLOW“ (upraveno autorem) [37]

Po provedení výše uvedených úkonů je proveden „BEFORE TAKEOFF CHECKLIST down to the line“, viz. – Obrázek 23.

BEFORE TAKEOFF	
FLIGHT CONTROLS.....	CHECKED (BOTH)
FLT INST.....	CHECKED (BOTH)
BRIEFING.....	CONFIRMED
FLAP SETTING.....	CONF ____ (BOTH)
V1. VR. V2/FLX TEMP.....	____ (BOTH)
ATC.....	SET
ECAM MEMO.....	TO NO BLUE
- AUTO BRK MAX	
- SIGNS ON	
- CABIN READY (  )	
- SPLRS ARM	
- FLAPS TO	
- TO CONFIG NORM	

Obrázek 23 – „BEFORE TAKEOFF CHECKLIST down to the line“ [36]



## 7.5 Na vyčkávacím místě

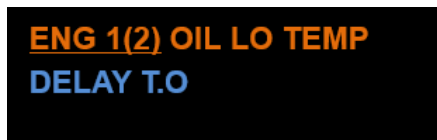
Po příjezdu letounu na vyčkávací místo vzletové dráhy je proveden „BEFORE TAKEOFF FLOW“ a na něj navazující „BEFORE TAKEOFF CHECKLIST below the line“. [3], [36] V tento okamžik je posádka plně připravena k odletu. Tato fáze je však již shodná pro standartní postup pojíždění i pro postup single-engine taxi, a proto není podrobněji rozebrána. [3]

Podstatným faktorem, který bude třeba zohlednit při postupu SETO je stabilizace pohonných jednotek na provozní teplotu. Čas potřebný pro dosažení minimální provozní teploty závisí na čase od posledního vypnutí motoru, aktuální venkovní teplotě a aktuální teplotě oleje. Na základě doporučení dokumentu FCOM je nutné dodržet příslušný časový interval mezi spuštěním poslední pohonné jednotky do okamžiku nastavení vysokého výkonu tak, aby se předešlo teplotnímu stresu konstrukce motoru. Tento interval se liší nejen dle typu pohonné jednotky, ale také dle doby od vypnutí poslední pohonné jednotky. Přehledně je tato problematika popsána viz. – Tabulka 12. [3], [39] Požadavek na dosažení provozní teploty nijak nesouvisí s funkcí „cooling“, která souvisí striktně se spuštěním pohonné jednotky.

Tabulka 12 – Doba teplotní stabilizace pohonné jednotky [3], [39]

Engine type	CFM56	IAE V2500	PW1100G	CFM LEAP-1A
Cold engine	2 min	5 min	5 min	5 min
Warm engine <sup>3</sup>		2 or 3 min <sup>4</sup>	3 min	3 min

Další bariérou, která souvisí s dosažením provozní teploty a má významný vliv na možnost využití single-engine taxi-out, je výše uvedený „T.O CONFIG TEST“ viz. – kapitola 7.4. Jedním z několika prvků monitorovaných v autonomním testu letounu je teplota oleje, která může být limitujícím faktorem, zejména při delším stání na zemi v kombinaci s nízkými teplotami. V případě, že je teplota oleje pod stanoveným limitem, posádka dostane indikaci systému ECAM na E/WD: [3]



Obrázek 24 – Indikace ECAM nízké teploty oleje (upraveno autorem) [3]

<sup>3</sup> pohonná jednotka je označována jako „warm engine“, pokud doba mezi vypnutím a opětovným spuštěním nepřesáhne 2 hodiny [3]

<sup>4</sup> pro pohonné jednotky IAE V2500 se může čas lišit v závislosti na konkrétní řadě [3]

## 8 Zohlednění faktorů ovlivňujících single-engine taxi-out

Úvod praktické části diplomové práce je zaměřen na identifikaci provozních podmínek ovlivňujících proveditelnost postupu single-engine taxi-out v provozu. Současně jsou tyto podmínky vyhodnoceny a konfrontovány s doporučeními a omezeními uvedenými v kapitole 4. V konečné fázi je vytvořen takový souhrn provozních podmínek, jehož účelem je usnadnění rozhodovacího procesu velitele letounu o případném využití daného postupu v reálném provozu.

### 8.1 Vlastnosti letounu

První skupinou jsou provozní podmínky, které přímo souvisí s technickým stavem letounu a jeho aktuálními parametry. Může se jednat jak o časově neměnné faktory, které se liší s danou variantou letounu nebo o provozní faktory, které závisí na aktuálně operovaném letounu či uvažovaném letu.

#### 8.1.1 Aktuální hmotnost letounu

Jedním z nejpodstatnějších faktorů rozhodujících o možnosti využití postupu single-engine taxi-out je předpokládaná, respektive aktuální hmotnost letounu na stání. Ačkoliv letouny A320family disponují přebytkem tahu, není typicky dostačující pro hmotnosti blížící se MTW, potažmo MTOW viz. – Tabulka 2, při použití SETO. Zároveň však pohonné jednotky letounů A320neo a A321neo dosahují vyššího tahu na volnoběh, díky většímu obtokovému poměru a umožňují lepší využitelnost v provozu v porovnání se starší generací motorů. [39]

Je tedy třeba určit takové hmotnosti, u kterých je zajištěno, že letoun bude schopen pojíždět na vzlet při využití tahu blízkému volnoběhu. Zkušenosti z provozu při provádění single-engine taxi-in ukazují, že hmotnosti okolo MLW jsou při kombinaci s dalšími faktory, jako jsou ostré zatáčky nebo mírné podélné stoupání, často nevhodné a ekonomicky ztrácí význam. Z toho důvodu není doporučeno aplikovat single-engine taxi-in v takových situacích. MLW pro A320family se pohybuje mezi 85–90 % MTOW dle jednotlivých variant letounů. [3] Hodnoty při horní hranici připadají na varianty A320 a spodní hodnoty přísluší letounům A321ceo a A321neo. Aby se minimalizovala pravděpodobnost nevhodné aplikace EOT, podobně jako při single-engine taxi-in, je doporučeno snížení maximální hmotnosti pro aplikaci postupu. Sjednocená doporučená hmotnost je 80 % MTOW, což odpovídá redukci pohybující se v rozsahu 5–10 % v závislosti na variantě letounu, tak, aby nedocházelo k pochybení posádky při střídání variant letounů v rámci flotily dopravy a neekonomické aplikaci EOT.



Podobně jako u single-engine taxi-in je třeba podrobit nastavené doporučení provoznímu ověření. Stejně tak, může dopravce dále specifikovat hmotnostní omezení v případě využívání jediné varianty letounu v rámci flotily. Pro potřeby práce bylo provedeno provozní ověření na simulátoru CAE 7000XR Series, letounu A320neo s hmotností 59 000 kg, což přibližně odpovídá 80 % MTOW.

### 8.1.2 Rozložení pohonných hmot v nádržích

Jedním z dalších faktorů, které je třeba zohlednit při využití postupu single-engine taxi-out, je distribuce paliva před vzletem. Palivový systém všech variant A320family je navržen tak, že daná strana palivových nádrží umístěných v křídle zásobuje příslušnou pohonnou jednotku bez ohledu na odlišnosti konstrukce nádrží mezi jednotlivými variantami. Zároveň levá strana palivového systému zásobující ENG 1, zásobuje také APU. Spotřeba APU na rozdíl od pohonných jednotek není přímo měřena, tudíž se jedná o určení odhadované spotřeby dle palubních počítačů. Hlavní nádrž umístěná v trupu letounu rovnoměrně zásobuje obě nádrže v křídlech a nemá na problematiku symetrického rozložení paliva zásadní vliv. [3]

Maximální přípustná nerovnoměrnost rozložení paliva v nádržích při vzletu se liší pro jednotlivé varianty. Řešení palivových nádrží variant A320ceo a A320neo se skládá z vnitřních a vnějších nádrží, zatím co varianty A321ceo a A321neo mají pouze jednu palivovou nádrž umístěnou v každém křídle. Omezení pro jednotlivé varianty jsou popsána níže viz. – Tabulka 13 a Tabulka 14. [3]

Tabulka 13 – Omezení rozložení paliva A320ceo, A320neo (upraveno autorem) [3]

	Tank Fuel Quantity (Heavier Tank)	Maximum Asymmetry
Inner Tanks (Outer Tanks Balanced)	Full	500 kg
	3000 kg	1050 kg
	1450 kg	1450 kg
Outer Tanks (Inner Tanks Balanced)		370 kg

Tabulka 14 – Omezení rozložení paliva A321ceo, A321neo [3]

Tank Fuel Quantity (Heavier Tank)	Maximum Asymmetry
Full	400 kg
3000 kg	400 kg
700 kg	700 kg

V obou tabulkách jsou mimo jiné hmotnosti nižší než 1500 kg, což je minimální množství paliva pro vzlet. Důvodem je možnost interpolace maximální přípustné asymetrie. [3]

Z výše uvedených hodnot je zřejmé, že posádka musí věnovat pozornost také distribuci paliva, jedná-li se o single-engine taxi-out přesahující určitý čas. Časové omezení lze stanovit na základě součtu celkové spotřeby ENG1 a APU tak, aby se předešlo překročení přípustných limitů pro daný letoun. Přibližná spotřeba pohonných jednotek A320family se při volnoběhu pohybuje okolo 5 kg/min a spotřeba APU je v rozsahu 1,5–4 kg/min dle typu a zatížení. Ačkoliv pohonné jednotky PW1100G a LEAP-1A mají nižší spotřebu paliva oproti starší generaci, pro tah blízký volnoběhu jsou rozdíly zanedbatelné. Na základě níže uvedeného výpočtu lze stanovit orientační čas, který zajistí, že nedojde k překročení limitů asymetrického rozložení paliva v nádržích při vzletu. [28], [29]

$$Time\ limit = \left( \frac{maximum\ asymmetry}{ENG1\ consumption + APU\ consumption} \right) \times 0,75$$

kde:

- *maximum asymmetry* – povolený rozdíl množství paliva v křídelních nádržích
- *ENG1 consumption* – spotřeba paliva při single-engine taxi-out v minutách
- *APU consumption* – celková spotřeba APU na stání a při pojíždění v minutách

Koeficient 0,75 je použit pro zajištění dostatečné časové rezervy, která kompenzuje odchylky od teoretických hodnot spotřeby pohonných jednotek, okolní podmínky odlišné od ISA, přechodné využití vyššího tahu, nežli volnoběhu a spotřebu APU na stání po dobu 15 minut, což odpovídá přibližně 30 kg paliva. Výsledné časy pro jednotlivé varianty letounů jsou shrnuty viz. – Tabulka 15. Tyto hodnoty jsou pouze orientačním odhadem, který nezbavuje velitele letounu povinnosti provést kontrolu rozložení pohonných hmot před vzletem.

Tabulka 15 – Časový limit pro zohlednění distribuce paliva [3], [28]

Aircraft type	Affected Tanks	Tank Fuel Quantity (Heavier Tank)	Maximum Asymmetry	Time limit
A320ceo A320neo	Inner Tanks	Full	500 kg	46 min
		3000 kg	1050 kg	98 min
		1450 kg	1450 kg	135 min
	Outer Tanks		370 kg	N/A <sup>5</sup>
A321ceo A321neo	Wing Tanks	Full	400 kg	37 min
		3000 kg	400 kg	37 min
		700 kg	700 kg	65 min

Je třeba zdůraznit, že výše uvedené časy jsou výrazně vyšší, než je standard pro evropská letiště. Jedinou situací, kdy se lze k časům okolo 40 minut přiblížit je využití SETO při pojíždění na odmrazování letounu.

<sup>5</sup> asymetrická distribuce paliva pro vnější křídelní nádrže není v rámci single-engine taxi-out uvažována vzhledem k tomu, že k takové situaci by při standardním provozu nemělo dojít

### 8.1.3 Položky na seznamu MEL

Jednou z prvních činností po příchodu velitele letounu na palubu je kontrola seznamu MEL. Existují-li odložené závady na daném letounu je třeba ověřit potřebné kroky nad rámec standardních úkonů, jako úkony údržby a provozní omezení. V rámci provozních omezení by mělo být zohledněno využití postupu single-engine taxi. Typicky se jedná o závady související s jednotkou APU, hydraulickým systémem, požární ochranou a spouštěním pohonných jednotek. Zároveň kdykoliv je předpokládán manuální start pohonných jednotek, SETO nelze aplikovat. Příklady některých závad, které neumožňují provedení postupu single-engine taxi-out jsou uvedeny níže viz. – Tabulka 16. [40]

Tabulka 16 – Příklady odložených závad pro letoun A320ceo [40]

Referenční číslo	Závada
26-22-01	APU Automatic Fire Extinguishing Control on Ground
29-24-01	Yellow System Electric Pump
32-51-01	Nose Wheel Steering Control System
36-11-01	Engine Bleed Air Supply System
49-10-01	APU
49-10-02	APU Air Inlet Flap
74-31-01/02	Ignition System A/B

### 8.1.4 Cooling time a spouštění pohonné jednotky

Jak již bylo uvedeno v kapitole 7.2, specifikem pohonných jednotek PW1100G a LEAP-1A je potřebná termální stabilizace a vymezení vůlí vnitřní části před spuštěním motoru. Časový interval potřebný pro cooling zásadně ovlivňuje využitelnost postupu single-engine taxi-out s ohledem na termální stabilizaci pohonné jednotky po spuštění viz. – Tabulka 12 a celkovém pojížděcím čase. Samotná doba spouštění jedné pohonné jednotky se výrazněji neliší pro jednotlivé typy motorů a trvá přibližně 50–70 sekund při podmínkách ISA. Pro další kalkulace je použita konzervativnější varianta. [3]

Tabulka 17 – Časy spouštění pohonných jednotek [3], [39]

Engine variant	1 engine start	2 engine start	1 engine cooling
CFM56, V2500	~1:10	2:20	
PW1100G	~1:10	2:20	0:20 - 1:30
LEAP-1A	~1:10	2:20	0:00 - 0:45

Níže jsou uvedeny možné situace, které porovnávají standardní dobu spouštění pro jednotlivé varianty pohonných jednotek s možností využití funkce DUAL COOLING a dobu spouštění při využití postupu single-engine taxi-out, viz. – Tabulka 18.

*Tabulka 18 – Časové scénáře spouštění pohonných jednotek v minutách [3], [39]*

Engine variant	STD start no DUAL	STD start DUAL	SETO start
CFM56, V2500	2:20		1:10
PW1100G	3:00 - 5:20	2:40 - 3:50	1:10 - 2:40
LEAP-1A	2:20 - 3:50		1:10 - 1:55

V tabulce výše jsou popsány 3 scénáře spouštění, které mohou v provozu nastat při zohlednění typu využívané pohonné jednotky. V prvním případě je uvažována spouštěcí sekvence pro obě pohonné jednotky, kdy funkce DUAL COOLING není dostupná, protože okolní podmínky jsou mimo provozní obálku. V druhém případě se jedná o standardní spouštěcí sekvenci obou jednotek za využití funkce DUAL COOLING. Poslední scénář popisuje spouštění pouze jedné pohonné jednotky pro single-engine taxi-out.

Při využití SETO není využití funkce DUAL COOLING výrazným benefitem, avšak může poskytnout větší flexibilitu při spouštění druhé pohonné jednotky. Není-li funkce využívána, pak lze čas potřebný pro spuštění zbývající pohonné jednotky dopočítat, jako indikovaný čas na E/WD a čas samotného spouštění, tedy přibližně 1:10 min. Pokud se posádka rozhodne využít funkce DUAL COOLING při SETO, pak musí být zajištěno spuštění zbývajícího motoru do 20 minut od zahájení spouštění první pohonné jednotky. [38] Provozní aplikace pro konkrétní letiště je představena v kapitole 10.

## 8.2 Vlastnosti letiště

Další skupina faktorů, které výrazně ovlivňují využitelnost postupu single-engine taxi-out se týká fyzických vlastností letiště. Jedná se o konfiguraci vzletových drah, podélné sklony stojánek a pojezdových drah a celkovou komplexnost pohybových ploch.

### 8.2.1 Konfigurace dráhového systému

Samotná konfigurace vzletových drah letiště a stojánek rozhoduje o celkovém pojížděcím čase. Na letištích s více vzletovými dráhami v různých konfiguracích často dochází ke křížování aktivních či neaktivních vzletových drah. To obecně není při využití postupu SETO zakázáno, avšak v takovém okamžiku musí oba členové posádky soustředit plnou pozornost na křížování dráhy. Tedy počítá-li se s křížováním dráhy, pak musí být spouštění zbývajících pohonné jednotky dokončeno dříve nebo odloženo na pozdější fázi pojíždění.

Zároveň je třeba brát v úvahu situaci, kdy bude letoun nutné zastavit při vyčkávání na povolení křížování dráhy. Následné uvedení letounu do pohybu může být problematické s ohledem na vyžadovaný příčný sklon vzletové dráhy zajišťující odtok vody z RWY. „Příčný sklon musí být nejlépe 1,5 % pro RWY, kde kódové písmeno je C, D, E, F a G a 2 %, kde kódové písmeno je A nebo B. Příčný sklon nesmí být menší než 1 % s výjimkou křížovatky s RWY nebo s pojezdovou dráhou, kde může být zmenšení sklonu nezbytné“ [41] S tím souvisí také doba potřebná k uvedení letounu do pohybu a doba pro křížování aktivní RWY, tak aby nedocházelo k omezení okolního provozu.

Protože křížování RWY je považováno za kritickou fázi pojíždění a s ohledem na výše uvedené, některá letiště zakazují využití single-engine taxi-out. Takové omezení se může týkat pouze aktivní dráhy nebo všech drah letiště v závislosti na provozovateli. V takovém případě musí být informace o omezení postupu dostupná posádce viz. – Obrázek 25.

<b>BAH-OBBI</b>	<b>1-20</b>	<b>AOI</b>
<b>GENERAL</b>		
<b>Single ENG Taxi Operations</b>		
Single ENG Taxi Operations allowed by multi-engine ACFT if following conditions are met:		
<ul style="list-style-type: none"><li>- PIC is familiar with AD layout</li><li>- Taxiing time expected to be 5min or more</li><li>- PIC should comply with ATC instructions without delay</li></ul>		
Prohibited during following conditions:		
<ul style="list-style-type: none"><li>- VIS less than 5km</li><li>- Wind speed on GND is more than 25KT or gusts more than 10KT</li><li>- If taxi or parking involve a turn of 180° or more</li><li>- If the ACFT is on the active RWY or requesting to cross it</li></ul>		

Obrázek 25 – Omezení pro letiště BAH (upraveno autorem) [42]

### 8.2.2 Podélný sklon provozních ploch

„Podélný sklon pojezdové dráhy nesmí přesáhnout 1,5 % tam, kde kódové písmeno je C, D, E, F a G a 3 % tam, kde kódové písmeno je A nebo B.“ Dále platí, že „Na stání letadla nesmí maximální sklon přesáhnout 1 %“ [41]

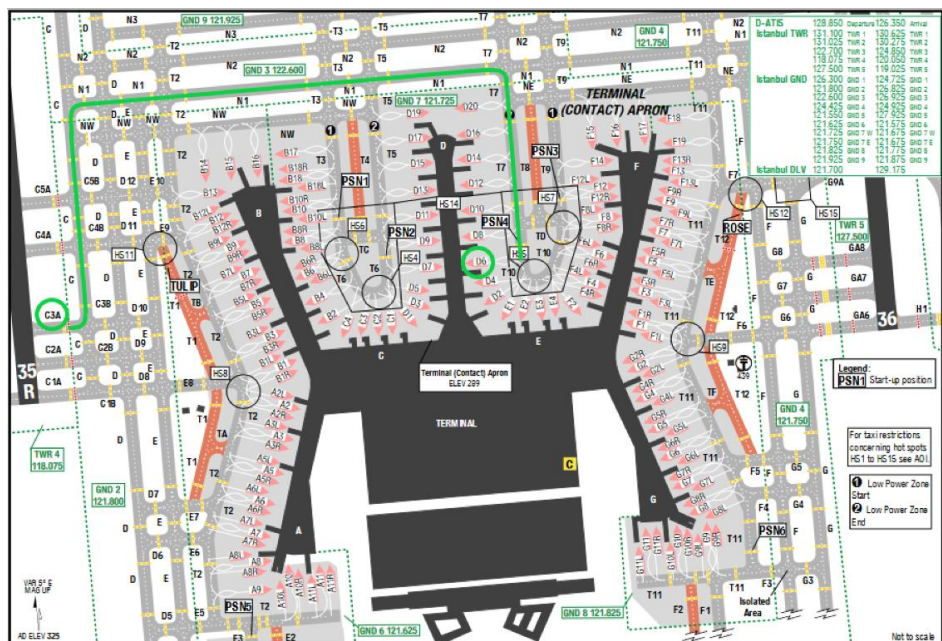
Kladný podélný sklon v kombinaci s vyšší hmotností letounu může znemožnit provedení postupu SETO. Posádka by měla věnovat zvýšenou pozornost podélnému sklonu, zejména v místě odkud je předpokládáno zahájení pojíždění, tak, aby bylo zajištěno, že pracující pohonná jednotka poskytne dostatečný výkon k uvedení letounu do pohybu bez překročení limitů tahu. Pokud podélný sklon překračuje výše uvedené hodnoty a podléhá zvláštnímu schválení příslušného úřadu, pak postup SETO není doporučován.

Záporný podélný sklon může naopak usnadnit provedení single-engine taxi-out. Avšak není doporučeno využívat takových podmínek k navýšení maximální doporučené hmotnosti pro SETO. Ačkoliv v některých fázích lze využít záporného sklonu, nelze s tím počítat pro celý úsek pojíždění.

### 8.2.3 Komplexnost pohybových ploch

Na úvod je třeba uvést, že složitý systém pojezdových drah klade vyšší nároky na posádku i při standardním pojíždění pro vzlet. Ačkoliv se právě velká mezinárodní letiště s dlouhými pojížděcími časy jeví jako nejvhodnější pro provádění single-engine taxi-out, je třeba zohlednit také rizika s tím související. Velkou roli pak hraje také hustota provozu, konkrétní stání letounu, aktivní RWY nebo například kvalita ATC. V návaznosti na využití postupu SETO jsou identifikovány 2 faktory, které významně ovlivňují efektivní provedení postupu.

Prvním faktorem je předpokládaná trasa pojíždění pro vzlet z daného stání, která může být dána přímo letištěm jako „*standard taxi routes*“ nebo založena na zkušenostech posádky s konkrétním letištěm. [42] V rámci takové trasy je třeba identifikovat části vedoucí v blízkosti stání, kde může být letoun zastaven z důvodu vytlačování jiného letounu a mezilehlá vyčkávací místa při křížení pojezdových drah. Na trasách pojíždění, které obsahují více zmíněných prvků může v kombinaci s hustým provozem dojít k několika zastavením letounu v průběhu pojíždění. Opětovné uvedení letounu do pohybu může vyžadovat navýšení tahu, což vede k celkové ztrátě ekonomického a ekologického významu provedení SETO.



Obrázek 26 – AGC Area East letiště IST (upraveno autorem) [42]

Příkladem výše uvedeného komplexního pojiždění pro vzlet může být „Istanbul Airport“ (IST), které se řadí mezi letiště s nejdelším pojižděcím časem pro vzlet v Evropě, viz. - Obrázek 26. Jako ukázka byla vybrána trasa ze stání „D6“ na vzletovou dráhu „RWY 35R C3A“, která vede po jezdových drahách „T7-N1-C“. [42] Uvedená trasa protíná celou řadu dalších jezdových drah vedoucích od budovy terminálu a obsahuje množství mezilehlých vyčkávacích stání, která jsou naznačena žlutou barvou.

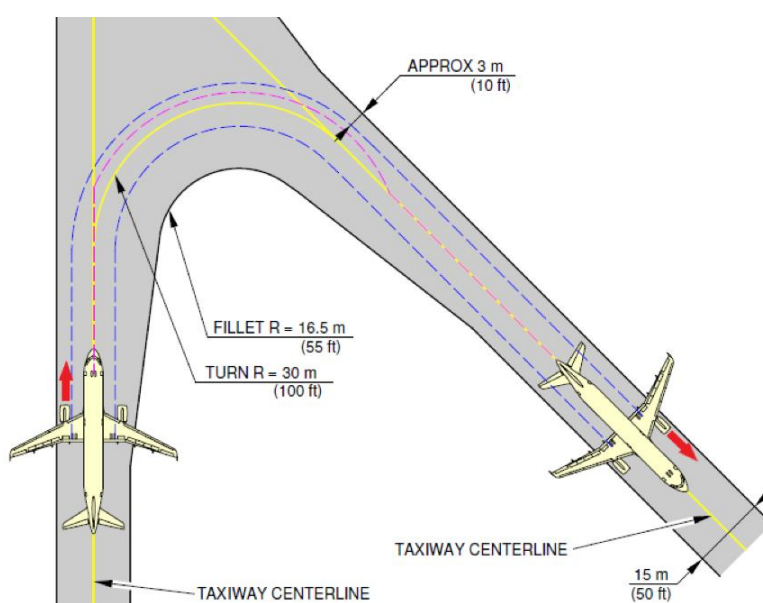
Druhým faktorem, který souvisí se složitostí trasy pojiždění je nadměrné zatížení posádky vznikající při pojiždění. V první řadě je nutná vyšší úroveň monitorování okolních pohybů a dodržení trasy dle ATC povolení oběma členy posádky. Následně výrazně roste zatížení PM, jehož činností při pojiždění je právě sledování pojižděcí trasy dle výše uvedené mapy, komunikace s ATC, čtení příslušných checklistů a spouštění pohonné jednotky při SETO. Proto je třeba zvážit také zkušenosti posádky včetně znalosti daného letiště, což má významný vliv na efektivní provedení postupu a dodržení veškerých povolení.

Jak již bylo uvedeno výše, vzorová trasa pojiždění pro dráhu 35R je riziková ve smyslu celé řady mezilehlých vyčkávacích míst, avšak samotné pojiždění není příliš komplikované. Proto je třeba posuzovat oba faktory odděleně a přistupovat k problematice s ohledem na provoz a další okolní aspekty, kdy i na první pohled složitá pojižděcí trasa může být pro SETO vhodná a naopak.

## 8.2.4 Ostré zatáčky

Konstrukce oblouku pojezdových drah a napojení křižovatek nepředstavuje při provádění zatáček výraznější problém. Avšak specifické případy průjezdných stání, odbočení na stání mohou představovat komplikace. Příkladem takové situace je provedení zatáčky o 135° na pojezdové dráze viz. – Obrázek 27. [43]

Stejně jako v případě single-engine taxi-in využívají letouny A320family při single-engine taxi-out ENG1. [3] Na obrázku níže je naznačen vektor tahu ENG1 červenou šipkou. Je zřejmé, že při provádění zatáčky vpravo pracující pohonná jednotka pomáhá ve směru zatáčky. Navíc pro zachování dopředné rychlosti pomáhá navýšení tahu v daném manévru.



Obrázek 27 – Zatáčka 135° letounu A320ceo (upraveno autorem) [43]

Naopak, pokud by byla prováděna zatáčka vlevo, pak tah pracující jednotky působí proti směru pohybu a brání provedení manévru. Následně zvýšení tahu pro udržení rychlosti v průběhu zatáčky vpravo musí být výrazně vyšší než v opačném případě. V takovém případě je nutné vstupovat do zatáčky s dostatečnou dopřednou rychlostí, což může ovlivnit bezpečnost provozu a je třeba důkladně zhodnotit proveditelnost takového manévru s ohledem na limity rychlosti při pojíždění, komfort pasažérů a palubního personálu provádějícího bezpečnostní demonstraci a okolní provoz. Obecně je výhodnější provádění zatáček vpravo při single-engine taxi-out.

## 8.2.5 Doba pojíždění

Celková doba pojíždění určuje aplikovatelnost postupu SETO v provozu. Doba je dána v první řadě velikostí letiště a jeho konfigurací včetně dráhy v používání. Ta často výrazně ovlivňuje dobu pojíždění na vzlet. Dalším faktorem je pak hustota provozu na letišti.



Pro krátké pojížděcí časy nedává SETO ekonomický a ekologický význam. Z hlediska provedení postupů a splnění požadovaných limitů pak není ani reálně proveditelný bez odložení vzletu. Proto je třeba zohlednit čas spouštění pohonných jednotek a dobu termální stabilizace tak, aby bylo možné určit minimální čas pro single-engine taxi-out. Časy se budou lišit v závislosti na variantě letounu, respektive používané pohonné jednotce a jejím termálním stavu. Pro nastavení minimálních časů poslouží shrnutí údajů, viz. Tabulka 12 a Tabulka 18, které jsou uvedené výše.

*Tabulka 19 – Čas potřebný pro spuštění a stabilizaci [3], [39]*

Engine type	EOT start	Cold engine	Warm engine	Cold time required	Warm time required
CFM56	1:10 min	2 min	2 min	<b>3:10 min</b>	<b>3:10 min</b>
V2500	1:10 min	5 min	2 or 3 min	<b>6:10 min</b>	<b>3:10 or 4:10 min</b>
PW1100G	1:10 - 2:40 min	5 min	3 min	<b>6:10 - 7:40 min</b>	<b>4:10 - 5:40 min</b>
LEAP-1A	1:10 - 1:55 min	5 min	3 min	<b>6:10 - 6:55 min</b>	<b>4:10 - 4:55 min</b>

Hodnoty uvedené výše popisují minimální požadované časy pro spouštění a následnou termální stabilizaci v závislosti na typu pohonných jednotek. Hodnoty označované jako **Cold time required** odpovídají časům pro studený motor, naopak hodnoty pod označením **Warm time required** platí pro situace, kdy doba od vypnutí poslední pohonné jednotky nebyla delší než 2 hodiny. [3] Z hlediska časové náročnosti se nejvýhodněji jeví pohonné jednotky CFM56, kde jsou požadované časy nejkratší. Pro pohonné jednotky V2500 se liší požadované časy v závislosti na konkrétní řadě. Pro motory PW1100G platí standardně časy při spodní hranici v případě, kdy je využívána funkce DUAL COOLING. Pokud DUAL COOLING dostupný není, platí celé časové rozmezí, avšak cold engine má typicky minimální dobu potřebnou pro cooling. [38] Hodnota 7:40 min je tedy velmi nepravděpodobná. Pro pohonné jednotky LEAP-1A, které nedisponují funkcí DUAL COOLING platí celé rozmezí časů pro spouštění. V případě cold engine, stejně jako u jednotek PW1100G, je cooling time minimální, tudíž hodnota 6:55 min je extrémní situací.

Podrobně rozpracovaná situace pro konkrétní letiště na základě výše uvedených hodnot je uvedena v kapitole 10. Na základě hodnot uvedených v tabulce výše jsou stanoveny minimální doporučené časy pojíždění pro využití postupu EOT, viz. – Tabulka 20.

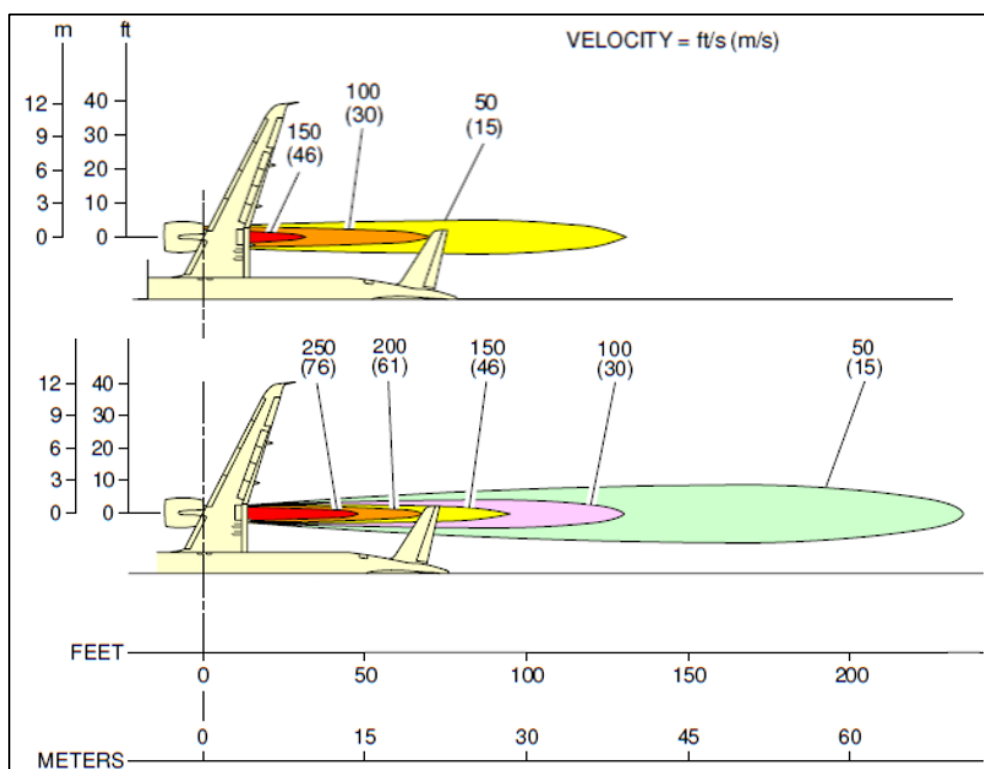
*Tabulka 20 – Minimální pojížděcí časy pro provádění SETO [3]*

Engine type	Cold engine taxi time	Warm engine taxi time
CFM56	5 min	5 min
V2500	8 min	5 or 6 min
PW1100G DUAL	8 min	6 min
PW1100G No DUAL	> 8 min	> 6 min
LEAP-1A	> 8 min	> 6 min

### 8.2.6 Proud vzduchu za motorem

Konfigurace stojánek a vybraných stání některých letišť mohou být nevhodné pro provedení SETO z důvodu požadavku na nastavení minimálního tahu při opuštění stání či stojánky. V takovém případě nemusí být tah generovaný zbylou pohonnou jednotkou dostačující k uvedení letounu do pohybu na stáních s výraznějším podélným sklonem a/nebo při vysokých hmotnostech letounu, jak je podrobněji uvedeno v příslušných kapitolách výše.

Postup single-engine taxi-out by měl být používán tak, aby nedocházelo k ohrožení osob a pozemní techniky proudem vzduchu vystupujícího z motoru při uvádění letounu do pohybu. Omezení tohoto rizika je dosaženo stanovením maximálního nastavení tahu na zbývající pohonné jednotce na 1,02 EPR/ 40 % N1 a omezením aplikace postupu na stojánkách, kde je doporučeno minimální nastavení tahu s výjimkou situací, kdy volnoběh nebo tah blízky volnoběhu je dostatečný k uvedení letounu do pohybu. [3]



Obrázek 28 – Proud vzduchu za motorem PW1100G (upraveno autorem) [43]

Na obrázku výše je znázorněn proud vzduchu vystupující z pohonné jednotky PW1100G ve dvou nastaveních tahu. Horní náčrt odpovídá proudu vzduchu při chodu motoru na volnoběh, tedy okolo 7 % dostupného tahu. Dolní náčrt pak znázorňuje nastavení tahu na 12 % dostupného tahu. [43] Z toho je patrné, že s poměrně malým nárůstem tahu dochází k výraznému zvýšení rychlosti vzduchu vystupujícího z pohonné jednotky.

### **8.3 Okolní podmínky**

Následující část je zaměřena na podmínky, které ovlivňují využitelnost postupu single-engine taxi-out a je třeba je zohlednit v rozhodovacím procesu posádky. Jedná se zejména o aspekty související s počasím.

#### **8.3.1 Provoz za snížené dohlednosti (LVO)**

Dohlednost významně ovlivňuje schopnost orientace v prostoru a omezuje tak kapacitu posádky při pojiždění. Určující pro vyhlášení LVP je dráhová dohlednost stanovená na hranici 550 m, což odpovídá minimům přiblížení CAT I. Pro vzlet, aby byl uvažován jako LVTO je hranice RVR stanovená na 400 m. [26] Jsou-li LVP vyhlášeny letištěm, pak jsou některé standardní úkony vykonávané v průběhu pojiždění prováděny na stání, případně na vyčkávacím místě, tak aby byla plná pozornost obou členů posádky věnována pojiždění.

Je tedy zřejmé, že při LVO není postup SETO doporučený, aby nebyla snížena bezpečnost provozu. Limit pro minimální dohlednost, za které lze SETO provádět, může být zvýšen při zvážení komplexnosti pohybových ploch letiště, zkušeností posádky a omezení stanovených letištěm viz. - Obrázek 25. [42]

#### **8.3.2 Kontaminace pohybových ploch**

Kontaminace jakéhokoliv typu snižuje tření mezi povrchem pohybové plochy a koly letounu, což má za následek snížení říditelnosti. V kombinaci s asymetrií tahu při provádění postupu single-engine taxi-out je riziko ztráty říditelnosti letounu výrazně vyšší. Dalším faktorem ovlivňujícím říditelnost na kontaminovaném povrchu je rychlost větru, který působením na svislé ocasní plochy vytváří sílu vychylující letoun z osy pojiždění.

Postup SETO by tedy měl být omezen na podmínky, kdy je stav pojezdových drah označován jako DRY, DAMP nebo WET. Za podmínek, kdy jsou pojezdové dráhy označovány jako DAMP nebo WET by posádka měla zohlednit udávanou rychlost větru a omezit rychlost pojiždění na 10 kt. Při jakékoliv vyšší úrovni kontaminace pohybových ploch není provádění SETO doporučeno.

#### **8.3.3 Směr a rychlost větru**

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, je nezbytné zohlednit také vliv větru. Tedy nejen jeho rychlost, ale také směr. Působení větru ovlivňuje pojiždění samotné ve smyslu říditelnosti letounu, stejně jako spouštění pohonných jednotek.

Při působení bočního větru dochází ke vzniku síly na svislých ocasních plochách, což vede k tendenci vybočení letounu a je třeba tento efekt kompenzovat pomocí směrového kormidla nebo protichůdným vybočením předového kola. Při provádění SETO v kombinaci

s bočním větrem nabíhajícím na ocasní plochy zprava ve směru pojíždění je výsledný efekt výraznější. Jestliže je při SETO využíván ENG1, pak generovaný tah podporuje tendenci vybočení vpravo při působení větru zprava. Výsledkem je pak snížení říditelnosti a v extrémním případě také ztráta kontroly nad letounem. Proto je třeba stanovit limit pro rychlost větru, která zajistí bezpečný limit pro říditelnost letounu. Limit je převzat z doporučení dříve zmiňovaných letišť, a to vítr o rychlosti 25 kt nebo nárazy větru o rychlosti 10 kt. [23], [24]

V případě spouštění pohonných jednotek je třeba zohlednit spouštění ENG2 v průběhu pojíždění. Čelní vítr vstupující do motoru nemá na spouštění negativní vliv. Naopak boční a zadní vítr musí být minimalizován. Pro boční vítr je, v příslušné sekci dokumentu FCOM, stanovena maximální přípustná hodnota 35 kt. [3] Takový limit je vyšší než dříve doporučená hodnota pro pojíždění v předchozím odstavci, tudíž 35 kt není z tohoto pohledu limitující.

Zadní limit větru pro spouštění pohonných jednotek není součástí zmiňované kapitoly, protože výrobce důvěřuje systému FADEC, který v případě nepříznivých podmínek spouštěcí sekvenci automaticky přeruší. [3] To však není uspokojivým řešením v případě SETO. Právě v úseku na pojezdové dráze, paralelně se vzletovou dráhou, lze totiž zadní vítr předpokládat. V takové situaci je třeba dosahovat vysoké pravděpodobnosti úspěšného spuštění pohonné jednotky tak, aby nedocházelo ke zpoždění letu, stejně jako okolního provozu. Proto je stanoven limit pro zadní vítr nepřesahující 10 kt nebo musí být pohonná jednotka spuštěna do okamžiku, kdy by měla být vystavena působení větru vyššímu, než je stanoveno. Jedná se o doporučenou hodnotu výrobcem, kdy při jejím překročení je posádce doporučeno využít manuálního startu pohonné jednotky viz. – Obrázek 29. [3]

**When expecting a start abort, because of :**

- Degraded bleed performance, due to hot conditions, or at a high-altitude airfields.
- An engine with a reduced EGT margin, in hot conditions, or at a high-altitude airfields.
- Marginal performance of the external pneumatic power group.
- Tailwind greater than 10 kt

Starting in tailwind may fail due to N1 counterrotation, hot gas back flow. Fuel should be set to ON at N2 max motoring speed, provided N1 has stopped, and turn clockwise. (confirmation by the ground crew).

*Obrázek 29 – Případy neúspěšné automatické spouštěcí sekvence [3]*

#### **8.3.4 Omezení letiště a ATC**

Specifickým aspektem, na který je třeba brát ohled jsou omezení konkrétních letišť jako takových. Jak již bylo zmíněno výše, pokud jsou taková omezení uvedena v platnost je povinností letiště publikovat konkrétní podmínky viz. – Obrázek 25. Dále je třeba odlišit, zda se jedná o omezení postupu v souvislosti s limitujícími provozními podmínkami viz. – Tabulka 7 či o úplný zákaz aplikace EOT. Jedná-li se pouze o omezení, je povinností posádky dodržet takový limit, který je v daném okamžiku restriktivní. Tedy v případě, kdy má dopravce v rámci svých SOP stanovený limit pro minimální dohlednost odpovídající podmínkám CAT I a uvažované letiště uvádí limit dohlednost 5 km, pak je limitující omezení letiště.

Zákaz provádění single-engine taxi může být vydán pro vybranou část letiště, případně pro letiště jako celek. Jedná-li se pouze o částečný zákaz, pak musí být jednoznačně definováno v jakých částech postup provádět lze.

ATC omezení souvisí primárně s dodržením vydaných povolení. Na dodržení těchto povolení je kladen důraz zejména při slotové koordinaci provozu a na letištích s hustým provozem. Převážně jde o odletová povolení, kdy nesmí docházet ke zpožděním v souvislosti s SETO. Jedná se například o situace, kdy ENG2 po spuštění nedosahuje provozních parametrů nebo posádka nemá dokončené potřebné úkony, které jsou detailně rozepsány v kapitole 9.5.

#### **8.4 Single-engine taxi-out summary**

V předchozích kapitolách bylo pojednáváno o jednotlivých faktorech ovlivňujících provedení postupu single-engine taxi-out. Výstupem problematiky týkající se omezení postupu SETO v rámci praktické části je přehled označený jako „Single-engine taxi-out summary“, který vychází z výše popsanych faktorů. Jedná se o jednoduché schéma, jehož účelem je poskytnutí orientace a usnadnění rozhodovacího procesu souvisejícího s provedením SETO v každodenním provozu.

Tento přehled je navržen jako vzor tak, aby mohl být modifikován dle potřeb konkrétní letecké společnosti. Předpokladem je vložení „Single-engine taxi-out summary“ do provozního manuálu (OM-B) dopravce v příslušné kapitole. Jako součást manuálu je pak tento přehled předmětem schválení příslušným dozorcím úřadem leteckého provozovatele.

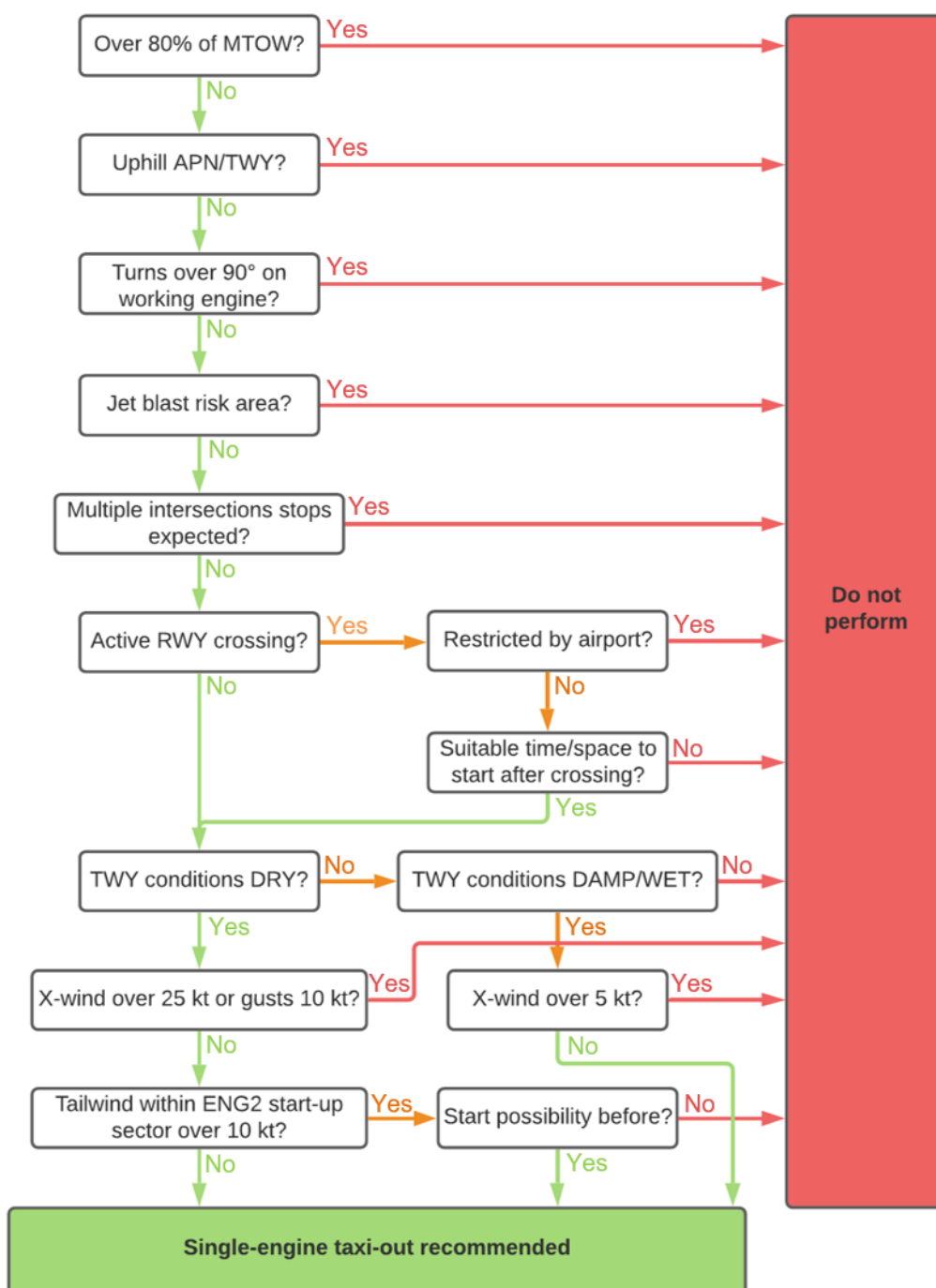
**Warning:** Do not perform single-engine taxi-out, when:

- Airport restriction applies
- LVO in force
- Contaminated TWY
- Respective MEL/manual engine start expected

**Caution:** Not recommended, when:

- Crew is not familiar with the airport
- ATC compliance not assured

*Note: When single-engine taxi longer than 30 mins, check for fuel imbalance.*



Obrázek 30 – Single-engine taxi-out summary [3], [21], [22], [23]

## 9 Návrh provádění postupu single-engine taxi-out

Tato kapitola je zaměřena na provádění konkrétních úkonů posádky v provozu, podobně jako byl v kapitole 7 popsán standartní postup pojíždění pro vzlet za využití obou pohonných jednotek. Postupy jsou založeny na základě „Airbus Supplementary procedures“. [3] Výstupem je pak checklist viz. - Obrázek 39, který je prováděn formou „read and do“, jehož cílem je zajistit dodržení nestandardních postupů popsaných níže.

Úvodní část, kdy se letoun nachází na stání, se nijak neliší od standartního pojíždění pro vzlet viz. – kapitola 7.1. V dalším kroku dochází ke spouštění pohonné jednotky, které je již odlišné od standartního postupu.

### 9.1 Spouštění pohonné jednotky

Sekvence spouštění pohonných jednotek při postupu SETO u letounů A320family probíhá v pořadí ENG1 a následně ENG2. Stejně jako u single-engine taxi-in je tak využíván ENG1, který zajišťuje napojení zelené hydraulické větve. [3]

Automatickou sekvenci zahajuje PF (naznačeno červenou barvou), viz. – Obrázek 31: [3]

- BRAKE ACCU PRESS ..... CHECK
- ENG MODE selector ..... IGN/START
- ENG MASTER 1 ..... ON



Obrázek 31 – Postup spouštění ENG1 (upraveno autorem) [37]

Samotné spouštění se nijak neliší od standartní automatické sekvence a lze využít také funkce DUAL COOLING, je-li k dispozici a předpokládaný SETO segment je kratší než 20 minut. [38]



## 9.2 Po spuštění

Po úspěšném spuštění ENG1 a stabilizaci motorových parametrů dojde k odpojení pozemního vybavení, pokud bylo použito. Je-li spuštění motoru prováděno při vytlačování ze stání, pak je minimalizována doba, kdy letoun blokuje příslušnou TWY, protože již nedochází ke spuštění druhé pohonné jednotky. V tuto chvíli PM přečte příslušnou část checklistu, kdy úkony provádí PF a následně PM pokračuje standartním „AFTER START FLOW“:

PF (naznačeno červenou barvou): [3]

- ENG MODE selector .....NORM
- X BLEED .....OPEN
- APU BLEED .....OFF
- DUAL COOLING .....OFF (if applicable)
- N/W STEERING DISC MEMO.....NOT DISPLAYED

PM (naznačeno zelenou barvou): [3]

- GROUND SPOILERS.....ARM
- RUDDER TRIM .....CHECK ZERO
- FLAPS lever .....SET FOR TAKEOFF
- PITCH TRIM.....SET



Obrázek 32 – Modifikovaný „AFTER START FLOW“ (upraveno autorem) [37]



### 9.3 Single-engine taxi-out segment

Jsou-li provedeny výše popsané postupy a je získáno ATC povolení pro poježdění, PF provede úkony na základě příslušné části checklistu čteného PM, na které naváže standardními úkony před poježděním:

PF (naznačeno červenou barvou): [3]

- OUTSIDE AREA..... CLEAR
- NOSE LIGHT..... TAXI
- RWY TURN OFF LIGHT..... ON
- Y ELEC PUMP ..... ON
- PARK BRAKE handle..... OFF
- BRAKE PEDALS ..... PRESS

PM (naznačeno zelenou barvou): [3]

- OUTSIDE AREA..... CLEAR
- BRAKES..... CHECK



Obrázek 33 – Úkony pro poježdění SETO (upraveno autorem) [37]

## 9.4 Spouštění ENG 2

V odpovídajícím úseku pojíždění dochází ke spuštění ENG2 tak, aby byly splněny podmínky termální stabilizace pohonné jednotky viz. - Tabulka 19. Spouštění je provedeno na úseku TWY, který je identifikován příslušnou dokumentací dopravce viz. – Obrázek 41 a je předmětem briefingu posádky.

PM (naznačeno zelenou barvou): [3]

- Y ELEC PUMP .....OFF
- APU BLEED .....ON
- ENG MODE selector .....IGN/START
- ENG MASTER 2.....ON



Obrázek 34 – Úkony spouštění ENG2 (upraveno autorem) [37]

Po úspěšném spuštění ENG2 jsou provedeny následující úkony:

PM (naznačeno zelenou barvou): [3]

- ENG MODE selector ..... NORM
- APU BLEED ..... OFF
- APU ..... OFF (if not RQRD)
- X BLEED ..... AUTO
- ANTI-ICE ..... AS RQRD
- ECAM STS ..... CHECK



Obrázek 35 – Úkony po spuštění ENG2 (upraveno autorem) [37]

Následně je proveden již standardní „AFTER START CHECKLIST“ viz. – Obrázek 36. Ten byl pozdržen do okamžiku spuštění obou pohonných jednotek. Od zahájení poježdění až do tohoto okamžiku byly veškeré úkony spojené se spuštěním ENG2 prováděny PM tak, aby PF mohl věnovat plnou pozornost řízení letounu. „AFTER START CHECKLIST“ je už prováděn standardním způsobem. Pro úplnost jsou níže pospány následující úkony až do okamžiku dosažení vyčkávacího místa. Avšak ty jsou již plně shodné se standardním postupem poježdění pro vzlet.

<b>AFTER START</b>	
ANTI ICE.....	AS RQRD
ECAM STATUS.....	CHECKED
PITCH TRIM.....	_____% SET
RUDDER TRIM.....	ZERO

Obrázek 36 – „AFTER START CHECKLIST“ [36]



## 9.5 Segment pojíždění po spuštění pohonných jednotek

Po přečtení „AFTER START CHECKLIST“ je proveden již standartní „TAXI FLOW“:

PF (naznačeno červenou barvou): [3]

- FLIGHT CONTROLS.....CHECK
- T.O MEMO .....CHECK NO BLUE


PM (naznačeno zelenou barvou): [3]

- FLIGHT CONTROLS.....CHECK
- PWS.....ON
- AUTO BRK MAX .....ON
- T.O CONFIG .....TEST



Obrázek 37 – „TAXI FLOW“ (upraveno autorem) [37]

Po provedení výše uvedených úkonů je proveden „BEFORE TAKEOFF CHECKLIST down to the line“, viz. – Obrázek 38.

BEFORE TAKEOFF	
FLIGHT CONTROLS.....	CHECKED (BOTH)
FLT INST.....	CHECKED (BOTH)
BRIEFING.....	CONFIRMED
FLAP SETTING.....	CONF (BOTH)
V1. VR. V2/FLX TEMP.....	(BOTH)
ATC.....	SET
ECAM MEMO.....	TO NO BLUE
- AUTO BRK MAX	
- SIGNS ON	
- CABIN READY (  )	
- SPLRS ARM	
- FLAPS TO	
- TO CONFIG NORM	

Obrázek 38 – „BEFORE TAKEOFF CHECKLIST down to the line“ [36]

## 9.6 Single-engine taxi-out checklist

EMERGENCY EVACUATION	
AIRCRAFT/PARKING BRAKE .....	STOP/ON
ATC (VHF1) .....	NOTIFY
CABIN CREW (PA) .....	ALERT
ΔP (ONLY IF MAN CAB PR USED) .....	OFF
IF NOT ZERO, MODE SEL MAN, V/S CTL FULL UP	
ENG MASTER 1 AND 2 .....	OFF
FIRE P/Bs (ENG AND APU) .....	PUSH
AGENTS (ENG AND APU) .....	AS RQRD
<ul style="list-style-type: none"> <li>IF EVACUATION REQUIRED EVACUATION..... INITIATE</li> <li>IF EVACUATION NOT REQUIRED CABIN CREW AND PAX (PA)..... NOTIFY</li> </ul>	
SINGLE-ENGINE TAXI-OUT	
<ul style="list-style-type: none"> <li>AFTER ENGINE START</li> </ul>	
ENG MODE selector.....	NORMAL PF
X BLEED.....	OPEN PF
APU BLEED .....	OFF PF
DUAL COOLING .....	OFF (if applicable) PF
N/W STEERING DISC MEMO .....	NOT DISPLAYED PF
<ul style="list-style-type: none"> <li>BEFORE TAXI</li> </ul>	
TAXI LIGHTS .....	ON PF
Y ELEC PUMP .....	ON PF
<ul style="list-style-type: none"> <li>ENG 2 START (Engine start segment)</li> </ul>	
Y ELEC PUMP .....	OFF PM
APU BLEED .....	ON PM
ENG MODE selector.....	IGN/START PM
ENG MASTER 2 .....	ON PM
<ul style="list-style-type: none"> <li>AFTER ENG 2 START</li> </ul>	
ENG MODE selector.....	NORM PM
APU BLEED .....	OFF PM
APU.....	OFF (if not RQRD) PM
X BLEED .....	AUTO PM
ANTI-ICE .....	AS RQRD PM
ECAM STS.....	CHECK PM
PERFORM "AFTER START CHECKLIST" AND RESUME NORMAL OPS	
SINGLE-ENGINE TAXI-IN (Straight TWY)	
COOLING TIME (3 MINS) .....	ELAPSED PM
APU .....	AVAILABLE PM
ENG 2 MASTER SWITCH.....	OFF PM
YELLOW ELEC PUMP .....	ON PM
EQUIVALENT RWY CONDITIONS (FCOM)	
CONTAMINANT	IS EQUIVALENT TO
SLUSH	s3 mm (1/8 in)  WET
WATER	
WET SNOW	
DRY SNOW	
LOW VISIBILITY BRIEFING GUIDE	
TAKE-OFF	Minimum RVRs FLEX/TOGA Take-off ALTN – as required Taxi pattern Specials Questions
APPROACH	Crew qualification and currency Serviceability (aircraft-aids-airport) Authorization (LVO MINIMA TABLE) Weather (DEST and ALTN) Fuel – holding, minimum for diversion APP briefing (ABRK MED/LO recommended) Failures – actions (above/below 1000 AAL) Downgrading – options and actions Review – LVO calls and R/T Taxi pattern Specials Questions Advise SCA about autoland (PEDs must be off)

Obrázek 39 – Návrh zadní strany checklistu (upraveno autorem) [3]

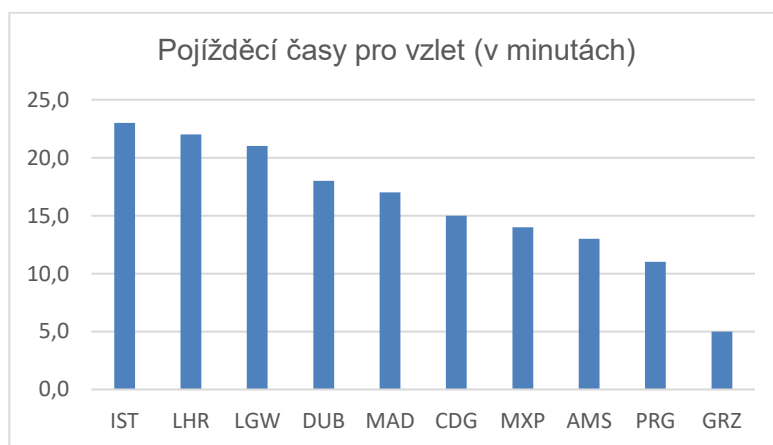
## 10 Ukázka realizace pro letiště

V závěrečné kapitole diplomové práce je realizována provozní studie postupu single-engine taxi-out v reálném prostředí vybraného letiště včetně ekonomické rozvahy. Součástí je grafická příloha poskytující informace posádce pro usnadnění rozhodování o provádění postupu na daném letišti. Takový grafický výstup je vzorem, jakým způsobem lze doplnit dokumentaci v souvislosti s SETO pro jednotlivá letiště dle destinací dopravce.

### 10.1 Výběr letiště

Výběr vzorového letiště vychází z několika základních parametrů. V první řadě se bude jednat o evropské letiště, protože celá práce je zaměřena na evropský region. Zároveň budou vzaty v potaz provozní faktory pro jednotlivá letiště, které vychází z úvodu praktické části viz. – kapitola 8.2. Rozhodujícím parametrem, který má největší vypovídající hodnotu ve smyslu využitelnosti a možné ekonomické úspory je pojížděcí čas pro vzlet.

V grafu uvedeném níže je 10 vybraných evropských letišť s mediánem pojížděcích časů pro vzlet z letní sezóny 2019<sup>6</sup> dle dat organizace Eurocontrol. Prvních 5 letišť jsou ta, s nejdelšími pojížděcími časy v Evropě, následována průřezem dalších letišť až po nejkratší časy pod 5 minut. Na základě dostupných dat lze říct, že nejčastěji se pojížděcí časy pro evropská letiště pohybují v rozmezí 8–14 minut. [44]



Graf 3 – Pojížděcí časy pro vzlet vybraných evropských letišť [44]

Jedním z letišť, které se nachází ve zmíněném rozmezí je letiště Milan Malpensa (MXP), pro které bude studie provedena. Letiště bylo identifikováno jako vhodné z důvodu naplnění výše uváděných provozních faktorů. Osobní zkušenost autora práce s postupy letiště přiblíží studii reálnému provozu. Svým průměrným časem pojíždění bude letiště zároveň reprezentovat reálné možnosti úspor při využití postupu single-engine taxi-out.

<sup>6</sup> letní letový řád pro rok 2019 byl zvolen s ohledem na relevantnost dat, kdy data z roku 2020 budou značně zkreslena sníženým počtem pohybů způsobených krizí v letecké dopravě

Italské letiště Milan Malpensa se zařadilo na 15. místo v žebříčku evropských letišť dle délky pojezděcího času pro vzlet v letní sezóně 2019. Průměrný pojezděcí čas odpovídal hodnotě 14,7 min a medián pojezděcích časů je 14,0 min. [44] Letiště je vhodným příkladem pro demonstraci postupu SETO díky paralelnímu dráhovému uspořádání, přehlednému systému pojezdových drah a jejich minimálním podélným sklonům. Zásadní výhodou pro potřeby diplomové práce je značná variabilita pojezdových časů pro jednotlivé dráhy, což umožní demonstrovat různé scénáře single-engine taxi-out.

## 10.2 Provozní studie letiště MXP

Jak bylo uvedeno výše, letiště MXP využívá dvou paralelních drah, kdy v typické konfiguraci jedna slouží pro odlety a druhá pro přílety. Preference pro jednotlivé dráhy se mění v čase a je podrobněji vysvětlena v letištní dokumentaci viz. – Obrázek 40. [42]

Preferential RWY	
RWY use for DEP:	
"First day" scheme:	
- RWY35L:	01 JAN - 31 MAY and 01 SEP - 31 DEC: 0530-1430± 01 JUN - 31 AUG 0430- 1300;
- RWY 35R :	01 JAN - 31 MAY and 01 SEP - 31 DEC: 1430-2230±, 01 JUN - 31AUG: 1300 - 2130.
"Second day" scheme:	
- RWY35R:	01 JAN - 31 MAY and 01 SEP - 31 DEC: 0530-1330± 01 JUN - 31 AUG: 0430-1300;
- RWY35L:	01 JAN - 31 MAY and 01 SEP - 31 DEC: 1330-2230± 01 JUN - 31 AUG: 1300- 2130.
"First day" and "Second day" schemes alternate each other.	

Obrázek 40 – MXP AOI: General (upraveno autorem) [42]

Na základě preferovaných drah 35L a 35R pro odlety a znalosti využívaných stojánek vybranou leteckou společností, kterými jsou stání v blízkosti budovy Terminal 1, lze pro posouzení využít primárně používané pojezděcí trasy. Následně jsou posouzeny také pojezděcí trasy pro dráhy 17L a 17R. [42]

Všechny trasy jsou hodnoceny na základě předchozí znalosti požadavků letounů s odlišnými variantami pohonných jednotek a jejich omezení viz. – Tabulka 19 a minimálních stanovených časů pro využití SETO, viz. – Tabulka 20. Referenční průměrné rychlosti pro výpočet potřebného času pro pojezdění byly stanoveny následovně:

- 10 kt (5,14 m/s) – zatáčky o 90° a více, komplexní úseky včetně úseků v blízkosti vyčkávacího místa vzletové dráhy
- 15 kt (7,71 m/s) – zatáčky o méně než 90° a přímé úseky

Veškeré výpočty v dalších částech práce jsou prováděny s uvedenými průměrnými rychlostmi, které představují přiměřený prostor pro odchylku výpočtu od skutečné pojezděcí rychlosti.

V první řadě jsou identifikovány jednotlivé úseky předpokládané trasy pojiždění, které jsou následně rozděleny dle rychlostních kritérií uvedených výše. Délka jednotlivých úseků je změřena z mapové dokumentace, tj. AGC MXP, která disponuje měřítkem mapy. [42] Na základě znalosti průměrné rychlosti a délky jednotlivých úseků je dopočítán předpokládaný pojižděcí čas dané trasy. Výsledný čas je porovnán s minimálními pojižděcími časy viz. – Tabulka 20.

Vždy, je-li daná vzletová dráha identifikována pro EOT, pak je jako první vytvořen „warm-engine scenario“, kdy je uvažována doba 3 min po spuštění druhé pohonné jednotky. Jedná se o konzervativnější hodnotu oproti 2 min a zároveň dává čas posádce na provedení potřebných úkonů. Je-li celkový pojižděcí čas v závislosti na referenčních rychlostech delší než hodnoty viz. – Tabulka 20, pak je vytvořen i „cold-engine scenario“, kdy je uvažována doba 5 min po spuštění druhé pohonné jednotky. [3], [39]

Zároveň je třeba zohlednit další faktory, které mohou ovlivnit časová okna 3 a 5 minut, která jsou minimální možná. Příkladem mohou být zatáčky v úseku, kdy by mělo docházet ke spouštění pohonné jednotky, což však FCOM nedovoluje. [3] Dalším omezením je například spouštění pohonné jednotky v okamžiku křižování dráhy, které klade extrémní nároky na posádku a s ohledem na bezpečnost provozu není doporučeno. [21] V takových případech je třeba příslušné časy upravit tak, aby byla pohonná jednotka spuštěna před nebo za problematickým úsekem.

Je-li takovýmto způsobem zhodnocena předpokládaná pojižděcí trasa zohledňující zmíněná omezení, pak je zanesena do upravené AGC pomocí takzvaných segmentů. Jednotlivé segmenty jsou barevně odlišeny a popsány legendou příslušné mapy. Výsledná mapa je grafickým výstupem daného procesu a slouží jako návod pro posádku při rozhodování o provádění SETO pro danou dráhu.

Postup popsany v další podkapitole pro RWY 35R „CA via H“ byl demonstrován na plně pohyblivém simulátoru CAE 7000XR Series, letounu A320neo osazený pohonnými jednotkami PW1127G-JM, viz. – Tabulka 5. Pro demonstraci byl použit příslušný checklist, viz. – Obrázek 39 a provádění jednotlivých postupů odpovídalo daným segmentům trasy pojiždění, viz. – Obrázek 41.



### 10.2.1 Trasa poježdění pro RWY 35R

Pro RWY 35R jsou analyzovány 2 varianty, kdy první počítá s poježděním okolo RWY 35L po TWY H, což je často využívaná varianta při hustém provozu. Druhá varianta předpokládá křížení RWY 35L přes TWY GW, kdy ATC využívá této možnosti při nižší hustotě provozu. Obě varianty umožňují „cold-engine scenario“, avšak pro 2. variantu je postup proveditelný pouze při poježdění ze stání obsluhovaných TWY R a P.

Tabulka 21 – SETO RWY 35R 1. varianta [42]

35R "CA via H"				
Úsek TWY	Vzdálenost (m)	Rychlost (m/s)	Čas (s)	Kumulovaný čas (min)
CA – C1	364,1	5,14	70,78	1,18
C1 – V	2972,8	7,71	385,58	7,61
V – T <sup>7</sup>	576,1	7,71	74,72	8,85
T – S	353,3	7,71	45,82	9,62
S – R	347,8	7,71	45,11	10,37
R – P	358,7	7,71	46,52	11,14

Tabulka 22 – SETO RWY 35R 2. varianta [42]

35R "CA via 35L GW"				
Úsek TWY	Vzdálenost (m)	Rychlost (m/s)	Čas (s)	Kumulovaný čas (min)
CA – GE	524,6	5,14	102,06	1,71
GE – J	399,9	5,14	77,80	3,00
J – V	825,8	7,71	107,11	4,78
V – T	576,1	7,71	74,72	6,03
T – S	353,3	7,71	45,82	6,79
S – R	347,8	7,71	45,11	7,54
R – P	358,7	7,71	46,52	8,32
W – Y	185,4	5,14	36,07	8,92

Tabulka 23 – Segmenty SETO RWY 35R [42]

Trasa poježdění	35R "CA via H"		35R "CA via GW"	
	Vzdálenost (m)	Čas (min)	Vzdálenost (m)	Čas (min)
Single-engine taxi <sup>8,9</sup>	898,8 - 1906,7	1,94 - 4,13	0 - 891,9	0 - 2,13
Engine start (5 min) <sup>10</sup>	1039	2,24	929,4	2,01
Engine start (3 min)	565,2	1,22	825,8	1,78
Dual-engine taxi	1461,9	3,55	924,5	3,00

<sup>7</sup> tučně označené písmeno odpovídá příslušné pojezdové dráze a stáním, která obsluhuje

<sup>8</sup> minimální vzdálenost a čas odpovídá stáním nejbližší k RWY (pro 35R se jedná o TWY T), nejdelší pak odpovídá stáním u TWY P

<sup>9</sup> je-li indikován čas 0, pak nelze provádět „cold-engine scenario“ pro všechny pojezdové dráhy (v tomto případě pro TWY T, S)

<sup>10</sup> jedná-li se o „warm engine scenario“, příslušný segment není aplikován, přičemž vzdálenost a čas jsou přičteny k single-engine taxi (pro 35R „CA via H“ odpovídá v takovém případě maximální vzdálenost 2945,7 m a maximální čas 6,37 minuty)



### 10.2.2 Trasa pojiždění pro RWY 35L

Pro analýzu pojiždění k RWY 35L bylo zvoleno vyčkávací místo WB, které je často pro vzlety z dané dráhy využíváno a časy pro výpočet jsou tak konzervativnější v porovnání s vyčkávacím místem GW. Jelikož celkový čas pojiždění nedosahuje stanovených 8 minut viz. – Tabulka 24, je uplatňován pouze „warm-engine scenario“.

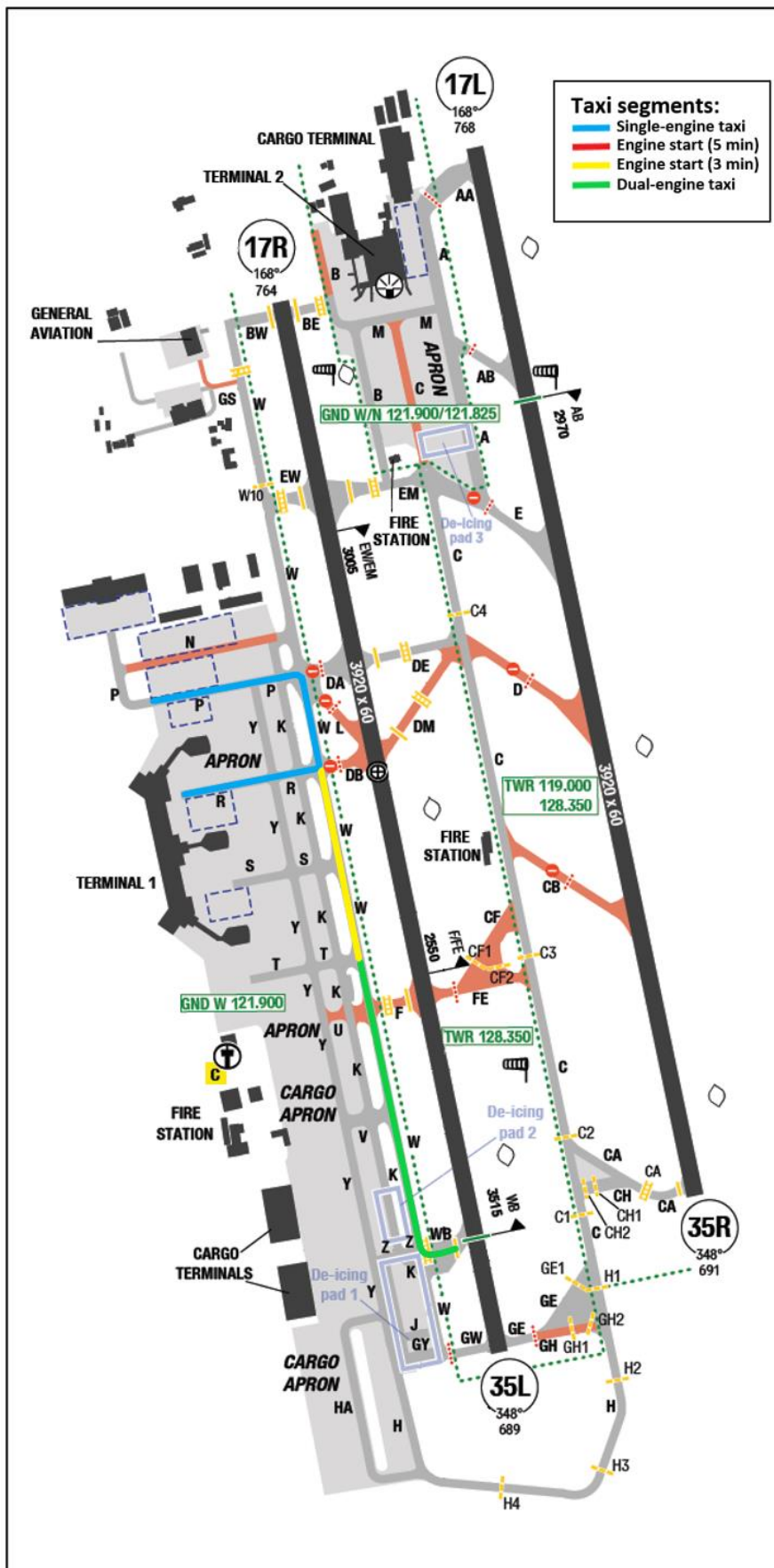
Tabulka 24 – SETO RWY 35L [42]

35L "WB"				
Úsek TWY	Vzdálenost (m)	Rychlost (m/s)	Čas (s)	Kumulovaný čas (min)
WB – Z	213,4	5,14	41,49	0,69
Z – T	1089,9	7,71	141,36	3,05
T – S	353,3	7,71	45,82	3,81
S – R	347,8	7,71	45,11	4,56
R – P	358,7	7,71	46,52	5,34
W – Y	185,4	5,14	36,07	5,94

Tabulka 25 – Segmenty SETO RWY 35L [42]

35L "WB"		
Fáze	Vzdálenost (m)	Čas (min)
Single-engine taxi	0 - 544,1	0 - 1,38
Engine start (5 min)		
Engine start (3 min)	701,1	1,51
Dual-engine taxi	1303,3	3,05

Neexistuje-li čas pro „cold-engine scenario“, přičemž vzdálenost a čas odpovídají hodnotě 0, viz. – Tabulka 25, pak se jedná o omezení pro „warm-engine scenario“. V tomto konkrétním případě lze SETO provádět pouze při pojiždění ze stání obsluhovaných pojezdovými drahami R a P, což je přehledněji zobrazeno na příslušné mapě, viz. – Obrázek 42. Pojiždění z obou těchto pojezdových drah trvá okolo 6 minut, a tudíž lze postup aplikovat. V tomto případě se jedná o pojezdové časy na kritické hranici 6 minut, kdy je doporučeno single-engine taxi-out provádět. Při konkrétním provádění postupu je třeba zohlednit aktuální stání, protože veškeré časy jsou počítány z TWY Y, jako konzervativní hodnoty.



Obrázek 42 – SETO instrukce RWY 35L (upraveno autorem) [42]

### 10.2.3 Trasa poježdění pro RWY 17L a 17R

Stejným způsobem jako pro předchozí poježděcí trasy byla spočítána varianta pro RWY 17L, přičemž tato trasa slučuje výpočet pro obě vyčkávací místa AA a AB viz. – Obrázek 43. Kratší úsek představuje trasa pro vyčkávací místo AB, a tedy tyto hodnoty jsou použity jako konzervativnější pro další výpočet.

Tabulka 26 – SETO RWY 17L [42]

17L "AA/AB"				
Úsek TWY	Vzdálenost (m)	Rychlost (m/s)	Čas (s)	Kumulovaný čas (min)
AB – M	174,5	5,14	33,92	0,57
M – B	404,5	7,71	52,46	1,44
B – BW	539,3	5,14	104,92	3,19
BW – P	1314,6	7,71	170,51	6,03
P – R	358,7	7,71	46,52	6,81
R – S	347,8	7,71	45,11	7,56
S – T	353,3	7,71	45,82	8,32
W – Y	185,4	5,14	36,07	8,92

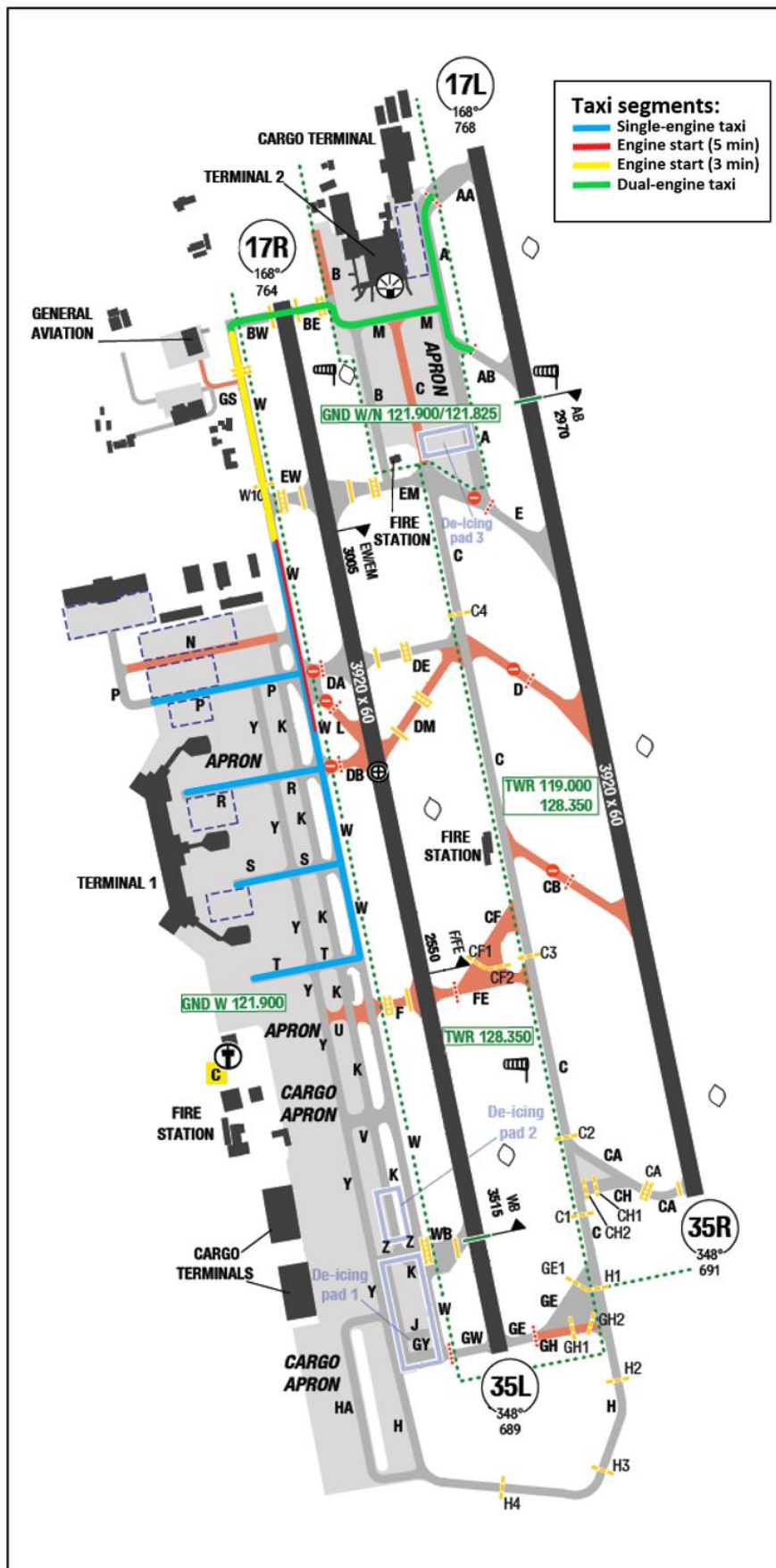
Tabulka 27 – Segmenty SETO RWY 17L [42]

17L "AA/AB"		
Fáze	Vzdálenost (m)	Čas (min)
Single-engine taxi	0 - 1051,3	0 - 2,47
Engine start (5 min)	693,9	1,50
Engine start (3 min)	814,6	1,76
Dual-engine taxi	1118,3	3,19

Pro dráhu 17L je počítán také „cold-engine scenario“ pro stání obsluhovaná pojezdovými drahami S a T, kde čas přesahuje hranici 8 minut.

Vzletová dráha 17R se nachází v blízkosti Terminálu 1 a příslušných stání. [42] Vypočítané poježděcí časy tak nedosahují požadovaných 6 minut, a proto není pro danou vzletovou dráhu single-engine taxi-out uvažován ani ve variantě „warm-engine scenario“.





Obrázek 43 – SETO instrukce RWY 17L (upraveno autorem) [42]

### 10.3 Srovnání se studií letiště LIS

V teoretické části práce byla v rámci ekonomických aspektů zmíněna studie zaměřená na ekonomiku provozu flotily A320 při provádění single-engine taxi-out na letišti LIS. Ačkoliv autor přistupuje k problematice odlišným způsobem a využívá jiné metodiky, existuje několik úvah shodných s touto diplomovou prací. [30]

Podstatným předpokladem, kde se práce shodují je stanovení času nutného po spuštění pohonné jednotky, kdy při uvažování intervalu 2-3 minuty je zvolena kritická vzdálenost založená na 3 minutách. Zmiňovaná studie pracuje s dopravcem poskytnutými pojížděcími časy a rychlostmi pojíždění na vzlet, avšak pro výpočty úspor paliva využívá průměrné pojížděcí rychlosti. Jde o hodnotu, která je dostatečně konzervativní, ale nereflektuje reálný provoz a pro provozní analýzu provedenou v této práci pro letiště MXP by tak byla nevhodná. [30]

Výrazným rozdílem, který je do značné míry způsoben rozdílnými cíli prací, je identifikace bodu spouštění druhé pohonné jednotky. Lisabonská studie se podrobně zabývá předčasným spouštěním druhé pohonné jednotky a možnostmi souvisejících úspor paliva. Neuvádí však konkrétní řešení, pouze uvažuje označení bodu spouštění v závislosti na vzdálenosti od vzletové dráhy nebo významného bodu pojížděcí dráhy (křížení s TWY...). Naopak detailně je k této problematice přistupováno v této práci, kde jsou jednotlivé úseky založené na měřené vzdálenosti označeny barevnými segmenty v příslušných mapách a z uživatelského hlediska řeší tuto problematiku. Jedná se o významné doplnění lisabonské studie ve smyslu návrhu provozního doporučení. [30]

Hlavní problém, se kterým se potýkal autor lisabonské studie je shodný s touto diplomovou prací. Jedná se o variabilitu používaných parkovacích stání ve vztahu k RWY v používání. V porovnání s letištem LIS jsou stání na MXP poměrně koncentrovaná, avšak výsledný rozdíl je díky velikosti stojánek výraznější. [42] V případě lisabonské studie byly nejdelší a nejkratší časy vyloučeny. Takové řešení nebylo přijatelné pro provozní analýzu této práce, proto je vždy uvažována nejkratší možná varianta. Pro ekonomickou úvahu jsou pak použity průměrné časy, kdy vyloučení dat nebylo možné, protože přesná místa stání nebyla dopravcem poskytnuta, stejně jako tomu bylo v případě lisabonské studie. [30]



## 11 Ekonomická analýza postupu

Ekonomická studie je založena na 2 souborech dat vztažených k letišti MXP. V první řadě jsou využita výstupní data provozní studie, konkrétně pojízďecí časy „cold-engine scenario“ a „warm-engine scenario“. Druhým souborem dat, který přiblíží teoretické výpočty reálnému provozu letiště, jsou pojízďecí časy a počty pohybů v jednotlivých letech u osloveného leteckého dopravce.

### 11.1 Teoretický odhad úspory paliva

Teoretický odhad pracuje s výsledky provozní studie pro jednotlivé vzletové dráhy. Získané hodnoty jsou uvažovány jako průměrné časy, čímž je zohledněna variabilita parkovacích stání v blízkosti Terminálu 1. Přehledné rozdělení nabízí Tabulka 28 v závislosti na využívané dráze a termálním stavu pohonné jednotky.

Tabulka 28 – Průměrné časy pro SETO [3], [42]

RWY	35R "CA via H"	35R "CA via 35L GW"	35L "WB"	17R "BW"	17L "AA/AB"
Cold-engine scenario	3,03 min	1,07 min			1,24 min
Warm-engine scenario	5,27 min	3,08 min	0,69 min		2,74 min

Časy uvedené v tabulce odpovídají čistému pojízďecímu času za využití jedné pohonné jednotky z TWY Y do příslušného 3 nebo 5 min segmentu pro spouštění druhé pohonné jednotky. Aby bylo dosaženo reálného odhadu je třeba příslušné časy navýšit o dobu od spuštění ENG1 do okamžiku zahájení pojíždění. Úkony prováděné v daném časovém okně jsou popsány v kapitolách 9.2 a 9.3. Na základě zkušeností z provozu je tato doba stanovena na 2 minuty, které jsou stále konzervativní hodnotou, zejména pak pro letiště s tak hustým provozem jako Milan Malpensa.

S využitím výše uvedených časů a při znalosti přibližné spotřeby paliva pohonných jednotek a APU lze dopočítat teoretickou úsporu pohonných hmot pro jednotlivé scénáře. Problematika spotřeby paliva již byla rozebrána v kapitole 8.1.2 při stanovování limitu nerovnoměrného rozložení paliva v nádržích. Jak bylo ve zmíněné kapitole uvedeno, spotřeba pohonných jednotek A320family při volnoběhu odpovídá přibližně 5 kg/min. Spotřeba APU závisí na instalované jednotce. [3]

Jelikož FCOM neuvádí informace o spotřebě APU, byla použita data z MEL, kde je uvedena spotřeba ve vybraných letových hladinách. Hodnoty v tabulce níže počítají se zatížením APU s provozem elektrického generátoru. Pro potřeby práce je použita spotřeba 100 kg/h, což odpovídá 1,66 kg/min. [40]

Tabulka 29 – Spotřeba APU (upraveno autorem) [40]

FL	GND	200	250	300	335	390
KG/H	100	63	57	54	49	42
LB/H	220	139	126	119	108	93

Úspora paliva je tedy spočítána jako rozdíl spotřeby při využití obou motorů a SETO pro příslušnou trasu pojíždění s navýšením o 2 minuty.

$$Fuel = \{[(ENG1 + ENG2 \text{ consump.}) - (ENG1 + APU \text{ consump.})] \times Taxi \text{ time}\} + 2 \text{ min}$$

Vzorec popisuje výpočet úspory paliva, kde:

- *ENG 1/ ENG 2 consump.* – spotřeba pohonné jednotky 5 kg/min
- *APU consump.* – spotřeba APU 1,66 kg/min
- *Taxi time* – pojížděcí čas pro daný scénář (Tabulka 28)

Konkrétní úspory paliva pro jednotlivé konfigurace reprezentuje Tabulka 30. Jedná se o průměrné úspory pro konkrétní dráhové konfigurace a scénáře 3 nebo 5 minut. Takto získané teoretické hodnoty budou dále použity pro odhad celkové úspory v provozu reálného dopravce za využití jeho letového řádu z letiště MXP.

Tabulka 30 – Průměrná úspora paliva při SETO [3], [42]

RWY	35R "CA via H"	35R "CA via 35L GW"	35L "WB"	17R "BW"	17L "AA/AB"
Cold-engine scenario	16,80 kg	10,25 kg			10,82 kg
Warm-engine scenario	24,28 kg	16,97 kg	8,98 kg		15,83 kg

## 11.2 Odhad úspor paliva v reálném provozu

Za tímto účelem byla získána data nízkonákladového dopravce operujícího lety z letiště MXP obsluhované letouny A320family. Data byla poskytnuta pod podmínkou, že budou anonymizována, protože se z pohledu společnosti jedná o interní informace. Konkrétně se jedná o FDM data, kde jednotlivé časy představují průměrnou dobu poježdění od zahájení pohybu letounu při vytlačení až po samotný vzlet. Soubor dat dopravce obsahuje celkem 10 332 provedených letů v rozmezí let 2012 až 2021 viz. –Tabulka 31. [45]

Tabulka 31 – Přehled poježděcích časů pro vzlet MXP [45]

Rok	Počet letů	Poježděcí čas pro vzlet (min)
2012	418	13,41
2013	820	12,71
2014	960	13,95
2015	855	13,65
2016	803	14,28
2017	902	14,57
2018	1178	15,52
2019	1724	15,78
2020	2104	14,50
2021	568	14,60
Celkem	10332	14,30

Jak již bylo uvedeno dříve, pro získání nejreálnějšího odhadu budou použita data z roku 2019, kdy poježděcí čas představoval v průměru 15,78 min, což přibližně odpovídá času 15 min 47 sec. V rámci zimního letového řádu bylo provedeno 814 letů, tedy 47,2 %. Na letní letový řád pak připadá 910 letů (52,8 %). [45] Rozložení letů v průběhu roku tak lze považovat za přibližně rovnoměrné.

### 11.2.1 Zohlednění využitelnosti postupu

V kapitole věnované provozní studii pro letiště MXP byly zohledněny faktory související s fyzickými parametry letiště a charakteristikami letounů A320family. Pro dosažení realistického odhadu ekonomických úspor je třeba zohlednit také v čase proměnné faktory, které mají rozhodující vliv na provedení postupu, viz. - Obrázek 30. Výsledný odhad by měl poskytnout přibližné procento letů, které mohou postup single-engine taxi-out využít.

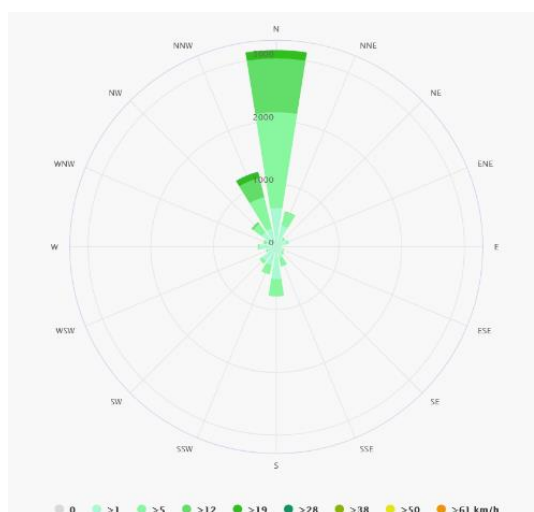
Nejvýraznějším omezením je hmotnost letounu na stání, které byla věnována pozornost v příslušné kapitole a byla omezena na 80 % MTOW. Taková hmotnost odpovídá téměř plné kapacitě letounu s dobou letu okolo 1:20 pro všechny varianty A320family. Stále větší procento letů zmíněného dopravce operovaných z letiště MXP představují vnitrostátní lety,

které danou podmínku splňují. Na základě letového řádu dopravce lze přibližně 35 % všech letů považovat za vhodné pro SETO. [45]

Dalším omezením, které je třeba zohlednit je vliv počasí, konkrétně pak srážky a s tím spojená kontaminace pojezdových drah. Data získaná mezi lety 1985–2010 udávají průměrný úhrn srážek 945 mm/rok rovnoměrně rozložených po celý rok s celkovým počtem 86 dní. [46]

Se srážkami a oblačností úzce souvisí provoz za nízké dohlednosti, který také omezuje aplikaci SETO. Letištní data poskytnutá organizaci Eurocontrol ukazují, že postupy spojené s LVO jsou aplikovány v průměru 150 hodin/rok v průběhu 30 dní/rok. [47]

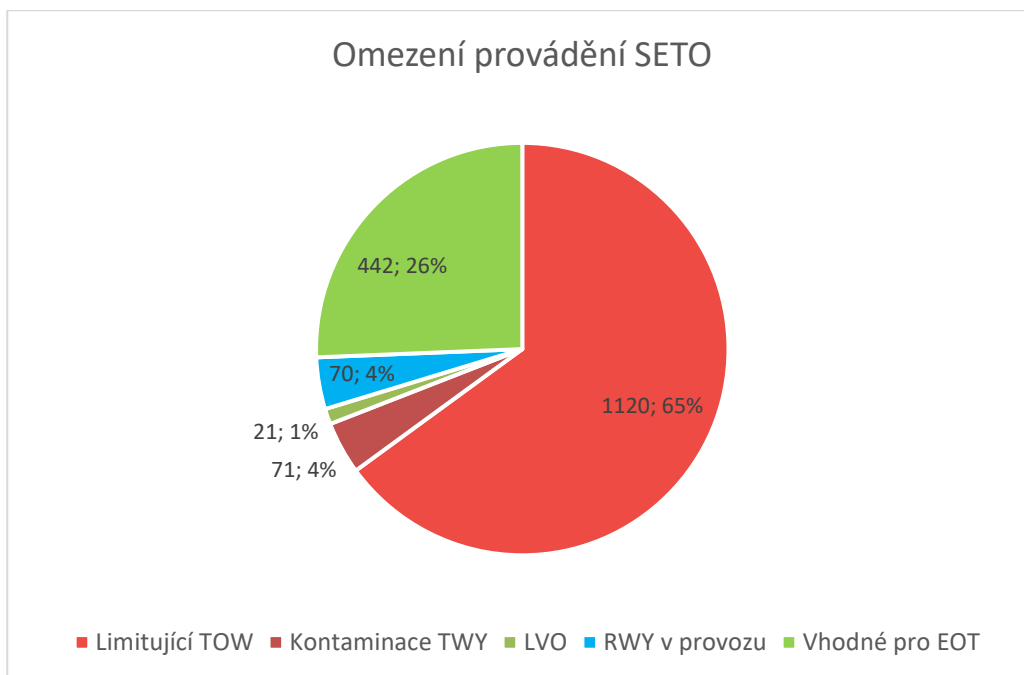
Posledním meteorologickým jevem, který výrazně ovlivňuje potenciální úspory paliva vzhledem k pojezdovým časům pro jednotlivé RWY, je směr větru. Data rychlosti a směru větru měřená na letišti MXP v letech 1991–2021 jsou přehledně zobrazena větrnou růžicí, viz. – Obrázek 44. [48] Z převládajícího směru větru plyne prioritizace drah 35L a 35R, jak je uvedeno v AOI MXP. [42] Zároveň kapacitní informace letiště udávají, že využití drah 17L a 17R odpovídá 10 dní/rok. [47]



Obrázek 44 – Větrná růžice letiště MXP [48]

Na základě informací uvedených výše je vytvořen souhrn faktorů působících na proveditelnost postupu SETO, viz. – Graf 4. Jednotlivé faktory spolu úzce souvisí, a proto je nelze brát jako izolované vstupy, ale spíše jako kombinaci jevů, které společně ovlivňují využitelnost postupu. Způsob, jakým je řešena provázanost jednotlivých vstupů, je naznačen níže.

V prvním kroku jsou z celkového počtu 1724 letů uvažovány lety splňující hmotnostní omezení, což představuje 604 letů. [45] Následně je zohledněna kontaminace pojezdových drah, kdy 86 dní srážek z 365 dní představuje 23,5 %. [46] Tato hodnota je snížena díky skutečnosti, že EOT lze provozovat na pojezdových drahách s úrovní kontaminace „WET“ za stanovených podmínek, viz. – Obrázek 30. Zároveň nelze předpokládat, že doba srážek bude aplikovatelná 24 hodin denně. Proto je uvažováno 11,75 % jako kompenzace kontaminace RWY z počtu 604 letů, což představuje 71 pohybů. Se srážkami a oblačností úzce souvisí provoz za nízkých dohledností, který je zahrnut do úvahy jako kombinovaná hodnota mezi 30 dny a 150 hodinami ročně, což je přibližně 6 dní. [47] Pro dosažení reálného odhadu jsou kombinovány hodnoty 6 dní z období 86 dní srážek a 30 dní z celkových 365 dní, což odpovídá 7–8 %. Jelikož část letů je již ovlivněna v předchozí redukci, připadá na LVO snížení o 3,5 % z 533 letů, což přibližně odpovídá 21 pohybům. Výsledný počet letů vhodných pro SETO a vstupující do další fáze úvahy je tak 512 letů. Tento počet je však dále snížen o lety využívající RWY 17R a RWY 35L „WB“ cold-engine scenario, kde SETO není aplikovatelné. V závislosti na využívání dráhového systému na MXP, viz. – Graf 5, připadá na zmíněné dráhy 70 letů, viz. – Tabulka 32. Shrnutí všech omezení pro SETO identifikovaných na letišti Malpensa znázorňuje graf uvedený níže.

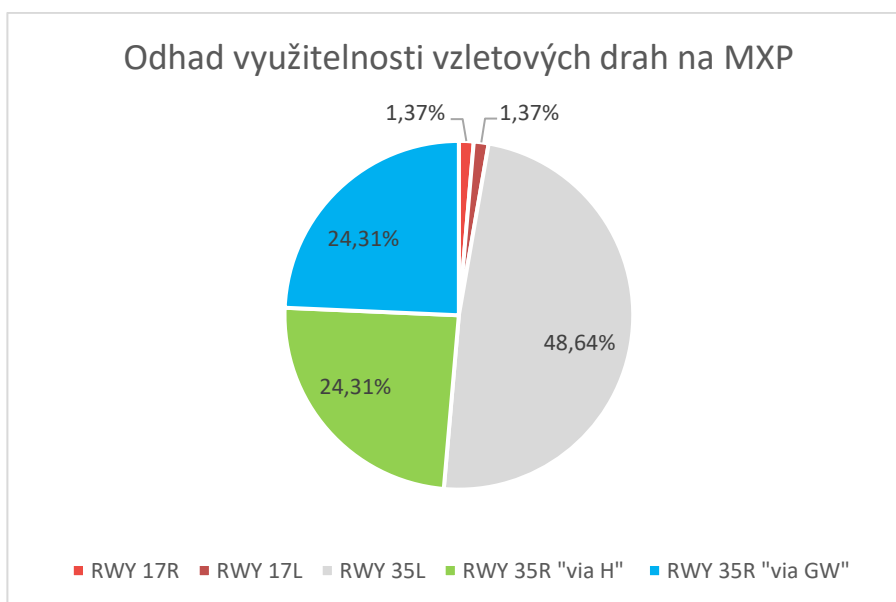


Graf 4 – Omezení provádění SETO [42], [45], [46], [47]

### 11.2.2 Využívání dráhového systému letiště

Konfigurace letiště umožňuje značnou míru variability využívání vzletových drah. Z předchozí části práce je zřejmé, že to významně ovlivňuje využitelnost postupu single-engine taxi-out. Z toho důvodu je vytvořen odhad rozložení provozu na jednotlivé dráhy založený na informacích publikovaných letištěm, datech Eurocontrolu a osobní zkušenosti s provozem.

Z dostupných dat lze uvažovat rovnoměrné využívání drah 35L a 35R. Stejně tak pro dráhu 35R je počet pohybů rovnoměrně rozdělen na trasu okolo 35L a trasu křížující 35L. Na základě dat uvedených výše jsou dráhy 17L a 17R využívány pouze 10 dní v roce. [47] I pro tyto dráhy byly počty pohybů rozděleny rovnoměrně. Procentuální zastoupení reprezentuje Graf 5 a počty pohybů připadající na jednotlivé trasy pojiždění s ohledem na termální stav pohonné jednotky, obsahuje Tabulka 32, z celkového počtu 512 letů.



Graf 5 – Odhad využitelnosti vzletových drah na MXP [42], [47]

Počty letů pro „cold-engine scenario“ a „warm-engine scenario“ jsou rozděleny v poměru 1:3. Tento poměr vychází z předpokladu 3 rotací letounů bázovaných na MXP denně, kdy 1 odlet je „cold-engine“ a následující 2 „warm-engine“. Zbylá část letů je operována z jiných bází, tedy také „warm-engine scenario“ vyjádřených 25 % všech letů. [45]

Tabulka 32 – Rozložení letů vhodných pro SETO dle jednotlivých variant [45], [47]

RWY	35R "CA via H"	35R "CA via 35L GW"	35L "WB"	17R "BW"	17L "AA/AB"
Cold-engine scenario	31	31	62	2	2
Warm-engine scenario	93	93	186	6	6

### 11.2.3 Předpokládaná úspora paliva v provozním modelu dopravce

V závěru praktické části práce je představena předpokládaná roční úspora paliva dopočítaná na základě dříve zjištěných úspor pro jednotlivé trasy pojiždění na letišti MXP pro letouny A320family. Součástí je zhodnocení aspektů každodenního provozu, tak aby se predikce blížila reálným možnostem úspor paliva. Výsledná data jsou aplikována na model dopravce provozujícího lety z letiště MXP.

Výsledkem takového zhodnocení je Tabulka 33 vycházející z úspor paliva pro jednotlivé trasy, viz. – Tabulka 30 a počtu pohybů dopravce v závislosti na provozních omezeních, viz. – Tabulka 32.

Tabulka 33 – Odhadovaná roční úspora paliva dopravce [3], [45], [47]

RWY	35R "CA via H"	35R "CA via 35L GW"	35L "WB"	17R "BW"	17L "AA/AB"
Cold-engine scenario	520,80 kg	317,75 kg			21,64 kg
Warm-engine scenario	2258,04 kg	1578,21 kg	1670,28 kg		94,98 kg

Výsledná úspora vypočítaná z dat dopravce pro rok 2019 při provedení 1724 letů z čehož 442 bylo identifikováno jako vhodné, je přibližně 6462 kg paliva. To odpovídá přibližně 14,6 kg paliva na každý provedený let. Při zohlednění prudké expanze dopravce na letišti a otevírání dalších vnitrostátních linek, lze do budoucna predikovat ještě výraznější úspory. I v krizovém roce 2020 provedl dopravce z letiště 2104 letů, což je meziroční nárůst téměř 17 %. Jsou-li zachovány veškeré podmínky, pak odhadovaná úspora pro rok 2020 odpovídá bezmála 8000 kg paliva.

Na základě výsledných úspor paliva lze také zohlednit ekologické vlivy při zavedení postupů SETO na letišti MXP daným dopravcem. Tabulka níže udává informace o produkovaných emisích, CO a NO<sub>x</sub> pro vybrané pohonné jednotky obou generací letounů A320 a A321.

Tabulka 34 – Emise CO a NO<sub>x</sub> (upraveno autorem) [49]

A320ceo/neo			A321ceo/neo		
Typ pohonné jednotky	Emise CO (g/kg)	Emise NO <sub>x</sub> (g/kg)	Typ pohonné jednotky	Emise CO (g/kg)	Emise NO <sub>x</sub> (g/kg)
CFM56-5A1	17,60	4,00	CFM56-5B2	27,40	4,70
V2500-A1	7,76	5,91	V2530-A5	10,95	5,00
PW1127G-JM	21,47	6,55	PW1133G-JM	17,89	6,98
LEAP-1A23	23,79	4,45	LEAP-1A30	18,69	4,85



Pro výpočet snížení emisí byla pro zjednodušení vybrána kombinovaná flotila v rovnoměrném zastoupení, jak variant letounů, tak typů pohonných jednotek. Pohonné jednotky PW1100G a LEAP-1A produkují při volnoběhu vyšší množství emisí oproti starší generaci. Při zohlednění minimálních rozdílů při spotřebě paliva na volnoběh se jedná o rozdíl přibližně 50 %. V letových fázích však zmíněné moderní motory produkují výrazně nižší procento emisí. [49] Na druhou stranu tím narůstá význam využívání postupů EOT s rostoucím počtem těchto pohonných jednotek v provozu.

*Tabulka 35 – Hodnoty úspor paliva a snížení emisí [45], [47], [49]*

Průměrná úspora paliva na let	14,6 kg
Procentuální úspora paliva na let	21,1 %
Roční úspora paliva	6 462 kg
Snížení emisí CO <sub>2</sub> <sup>11</sup>	20 420 kg
Snížení emisí CO	118 kg
Snížení emisí NO <sub>x</sub>	34 kg

Odhadovaná úspora 21,1 % tak nepatrně překonává 19 % lisabonské studie, kde limit byl nastavený dle požadavků dopravce na 15 %, tak aby bylo možné prohlásit studii za úspěšnou. Ačkoliv tato diplomová práce není primárně zaměřena na ekonomickou stránku, odhadované úspory překonávají tuto hranici. Významným rozdílem pak byl počet letů vhodných pro provádění SETO, kde výsledky studie z letiště LIS posuzují vhodných 42 % letů na základě historických dat provádění tohoto postupu. Naopak predikovaná využitelnost postupu pro MXP se pohybuje okolo 26 %, což je nezanedbatelný rozdíl. To může být ovlivněno geografickou polohou letiště LIS a s tím souvisejícími podmínkami. Ještě zásadnější rozdíl pak může tvořit hmotnost, při které je postup prováděn. Tuto hmotnost ovlivňuje jednak rozložení destinací společnosti TAP, nižší kapacita letounu způsobená více třídami pro pasažéry a obecně nižší load factor v porovnání s nízkonákladovým dopravcem. [30] Obecně konzervativní přístup v rámci provozní studie pro letiště MXP mohl celkovou využitelnost také ovlivnit. Primárním cílem je ale zajistit bezpečné provedení letu a na základě toho jsou nastavena související omezení.

Další potenciál úspory paliva, který nebyl doposud zcela zohledněn a nezabývá se jím žádná citovaná studie, je doba práce a spotřeba prvního spuštěného motoru během spouštění druhé pohonné jednotky před zahájením pojiždění. Pro single-engine taxi-out je doba spouštění prakticky totožná s dobou vytlačování, čímž se minimalizuje čas mezi vytlačováním a zahájením pojiždění. Uvažujeme-li zkrácení této doby v průměru o 30 sekund, úspora paliva dosahuje 1102 kg paliva při provedení 442 pohybů. [3] Postup SETO, tak mimo jiné zvyšuje propustnost stojánek.

<sup>11</sup> snížení emisí CO<sub>2</sub> závisí na koeficientu pro palivo JET A1 využívaný pohonnými jednotkami, který odpovídá 3,6 kg CO<sub>2</sub> na 1 kg paliva JET A1 dle dat ICAO [50]

## 12 Závěr

Tato diplomová práce komplexně shrnuje teoretický základ související s prováděním postupů single-engine taxi včetně legislativy, ekonomických a ekologických aspektů vztahených k flotile letounů A320family. Součástí teoretické části je popis jednotlivých variant letounů A320family včetně používaných pohonných jednotek, které mají podstatný vliv na provádění postupu. Následně je představena aplikace postupů single-engine taxi-in a standartního pojiždění pro vzlet založené na dokumentaci výrobce letounu.

Úvod praktické části práce řeší podmínky využívání postupu single-engine taxi-out. V dalším kroku představuje provozní aplikaci postupu v kombinaci se standartními úkony posádky při pojiždění pro vzlet. Na základě dosavadních výstupů práce je provedena provozní studie pro letiště Malpensa včetně ekonomické úvahy založené na datech poskytnutých leteckým dopravcem. Současně byla pro letiště MXP provedena demonstrace postupu založená na provozní dokumentaci popsané níže.

Cílem práce bylo vytvoření provozní dokumentace, která usnadní posádkám rozhodování o provádění postupu single-engine taxi-out v maximálním možném rozsahu. Výstupem jsou 3 základní dokumenty, které naplňují daná očekávání. V první řadě se jedná o dokument označený jako „Single-engine taxi-out summary“, jenž provádí posádku rozhodovacím procesem o možnosti provedení daného postupu. Následně je představen „Single-engine taxi-out checklist“, který vznikl extrakcí jednotlivých úkonů z dokumentu FCOM a přináší tak přehlednější a časově nenáročné řešení. Klíčovým výstupem je představení pojezdových map s vyznačenými segmenty, které zásadním způsobem sníží pracovní zatížení posádky a zefektivní celý postup. Nad rámec původní definice práce vznikl při tvorbě výše zmíněného checklistu materiál, který lze využít pro školení posádek dopravců aplikujících postup single-engine taxi-out.

Na základě poznatků získaných při tvorbě práce by bylo vhodné dané téma blíže specifikovat pro jednotlivé typy letounů, včetně jejich pohonných jednotek, tak, aby se maximalizoval potenciál využívání postupu pro dopravce využívající vybraný typ letounu. Rozsah práce však nedovoloval takto detailní rozbor, který by pokryl všechny existující kombinace. Významným přínosem pro letecké dopravce je nastínění metodiky pro identifikaci letišť vhodných pro provádění postupu single-engine taxi, což by zvýšilo pravděpodobnost aplikace postupů v praxi. Zásadním přínosem by byla užší spolupráce s ATC a poskytování aktuálních informací o předpokládaném pojižděním čase, což by mohlo výrazně zvýšit efektivitu postupu.

## 13 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Single-engine taxi-in [2] .....	11
Obrázek 2 – Fyzické rozměry letounů A320ceo a A321ceo (upraveno autorem) [3] .....	13
Obrázek 3 – Fyzické rozměry letounů A320neo a A321neo (upraveno autorem) [3] .....	14
Obrázek 4 – Průřez sekcí pohonnou jednotkou řady CFM56-5A1 [8] .....	16
Obrázek 5 – Indikace motorových parametrů ECAM pro CFM56 [8] .....	16
Obrázek 6 – Průřez sekcí pohonnou jednotkou řady V2530-A5 [12] .....	17
Obrázek 7 – Indikace motorových parametrů ECAM pro V2500 [3] .....	18
Obrázek 8 – Průřez sekcí pohonnou jednotkou PW1100G [3] .....	19
Obrázek 9 - Indikace motorových parametrů ECAM pro řadu PW1100G [3] .....	20
Obrázek 10 – Průřez sekcí pohonnou jednotkou řady LEAP-1A [17] .....	21
Obrázek 11 – Srovnání úrovně hlukového zatížení (EPNdB) [34] .....	27
Obrázek 12 – „AFTER LANDING CHECKLIST“ [36] .....	29
Obrázek 13 – Úkony single-engine taxi-in (upraveno autorem) [37] .....	29
Obrázek 14 – Úkony single-engine taxi-in na stání (upraveno autorem) [37] .....	30
Obrázek 15 – BEFORE START FLOW (upraveno autorem) [37] .....	31
Obrázek 16 – „BEFORE START CHECKLIST below the line“ [36] .....	32
Obrázek 17 – Postup spouštění ENG 2 (upraveno autorem) [37] .....	32
Obrázek 18 – Tlačítko DUAL COOLING na Overhead panelu [3] .....	33
Obrázek 19 – „AFTER START FLOW“ (upraveno autorem) [37] .....	34
Obrázek 20 – „AFTER START CHECKLIST“ [36] .....	35
Obrázek 21 – Úkony pro pojíždění (upraveno autorem) [37] .....	35
Obrázek 22 – „TAXI FLOW“ (upraveno autorem) [37] .....	36
Obrázek 23 – „BEFORE TAKEOFF CHECKLIST down to the line“ [36] .....	36
Obrázek 24 – Indikace ECAM nízké teploty oleje (upraveno autorem) [3] .....	37
Obrázek 25 – Omezení pro letiště BAH (upraveno autorem) [42] .....	43
Obrázek 26 – AGC Area East letiště IST (upraveno autorem) [42] .....	45
Obrázek 27 – Zatáčka 135° letounu A320ceo (upraveno autorem) [43] .....	46
Obrázek 28 – Proud vzduchu za motorem PW1100G (upraveno autorem) [43] .....	48
Obrázek 29 – Případy neúspěšné automatické spouštěcí sekvence [3] .....	50
Obrázek 30 – Single-engine taxi-out summary [3], [21], [22], [23] .....	52
Obrázek 31 – Postup spouštění ENG1 (upraveno autorem) [37] .....	53
Obrázek 32 – Modifikovaný „AFTER START FLOW“ (upraveno autorem) [37] .....	54
Obrázek 33 – Úkony pro pojíždění SETO (upraveno autorem) [37] .....	55
Obrázek 34 – Úkony spouštění ENG2 (upraveno autorem) [37] .....	56
Obrázek 35 – Úkony po spuštění ENG2 (upraveno autorem) [37] .....	57

Obrázek 36 – „AFTER START CHECKLIST“ [36] .....	57
Obrázek 37 – „TAXI FLOW“ (upraveno autorem) [37] .....	58
Obrázek 38 – „BEFORE TAKEOFF CHECKLIST down to the line“ [36].....	58
Obrázek 39 – Návrh zadní strany checklistu (upraveno autorem) [3] .....	59
Obrázek 40 – MXP AOI: General (upraveno autorem) [42] .....	61
Obrázek 41 – SETO instrukce RWY 35R (upraveno autorem) [42] .....	64
Obrázek 42 – SETO instrukce RWY 35L (upraveno autorem) [42].....	66
Obrázek 43 – SETO instrukce RWY 17L (upraveno autorem) [42].....	68
Obrázek 44 – Větrná růžice letiště MXP [48].....	73

[42] – Veškeré použité mapové podklady mají pouze informační charakter – nelze je využít pro navigační účely.

## 14 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Objednávky A320family k lednu 2021 [4].....	12
Tabulka 2 – Technické parametry vybraných variant A320family [3], [5] .....	12
Tabulka 3 – Parametry pohonných jednotek CFM56 (upraveno autorem) [8].....	15
Tabulka 4 – Parametry pohonných jednotek V2500 (upraveno autorem) [10], [11] .....	17
Tabulka 5 – Parametry pohonných jednotek PW1100G (upraveno autorem) [13], [14] .....	19
Tabulka 6 – Parametry pohonných jednotek LEAP-1A (upraveno autorem) [15], [16].....	21
Tabulka 7 – Omezení pro postup single-engine taxi [23], [24], [25] .....	23
Tabulka 8 – Přehled letounů studie (upraveno autorem) [2] .....	25
Tabulka 9 – Přehled spotřeby paliva [29] .....	26
Tabulka 10 – Úspory paliva pro letiště LIS [30] .....	26
Tabulka 11 – Snížení emisí využitím single-engine taxi [2], [35].....	28
Tabulka 12 – Doba teplotní stabilizace pohonné jednotky [3], [39] .....	37
Tabulka 13 – Omezení rozložení paliva A320ceo, A320neo (upraveno autorem) [3] .....	39
Tabulka 14 – Omezení rozložení paliva A321ceo, A321neo [3] .....	39
Tabulka 15 – Časový limit pro zohlednění distribuce paliva [3], [28].....	40
Tabulka 16 – Příklady odložených závad pro letoun A320ceo [40].....	41
Tabulka 17 – Časy spouštění pohonných jednotek [3], [39] .....	41
Tabulka 18 – Časové scénáře spouštění pohonných jednotek v minutách [3], [39] .....	42
Tabulka 19 – Čas potřebný pro spuštění a stabilizaci [3], [39].....	47
Tabulka 20 – Minimální pojížděcí časy pro provádění SETO [3] .....	47
Tabulka 21 – SETO RWY 35R 1. varianta [42].....	63
Tabulka 22 – SETO RWY 35R 2. varianta [42].....	63
Tabulka 23 – Segmenty SETO RWY 35R [42] .....	63
Tabulka 24 – SETO RWY 35L [42].....	65
Tabulka 25 – Segmenty SETO RWY 35L [42].....	65
Tabulka 26 – SETO RWY 17L [42].....	67
Tabulka 27 – Segmenty SETO RWY 17L [42].....	67
Tabulka 28 – Průměrné časy pro SETO [3], [42] .....	70
Tabulka 29 – Spotřeba APU (upraveno autorem) [40].....	71
Tabulka 30 – Průměrná úspora paliva při SETO [3], [42] .....	71
Tabulka 31 – Přehled pojížděcích časů pro vzlet MXP [45].....	72
Tabulka 32 – Rozložení letů vhodných pro SETO dle jednotlivých variant [45], [47].....	75
Tabulka 33 – Odhadovaná roční úspora paliva dopravce [3], [45], [47] .....	76
Tabulka 34 – Emise CO a NOx (upraveno autorem) [49] .....	76
Tabulka 35 – Hodnoty úspor paliva a snížení emisí [45], [47], [49].....	77

## 15 Seznam grafů

Graf 1 – Předpokládané snížení spotřeby paliva (upraveno autorem) [27] .....	24
Graf 2 – Spotřeba paliva vztažená k době poježdění pro letoun A319ceo [2].....	25
Graf 3 – Pojížděcí časy pro vzlet vybraných evropských letišť [44] .....	60
Graf 4 – Omezení provádění SETO [42], [45], [46], [47].....	74
Graf 5 – Odhad využitelnosti vzletových drah na MXP [42], [47] .....	75

## 16 Použité zdroje

- [1] PILLIRONE, Giuseppe. Greener Aircraft Taxiing: Single-Engine Taxi-out Evaluations. SESAR digital academy, 2020. [online]. [cit. 2021-10-14]. Dostupné z: <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/webinars/Guiseeppe.pdf>
- [2] KOUDIS, G.S., HU, S.J., Majumdar A., Ochieng W.Y. a Stettler M.E.J. The impact of single engine taxiing on aircraft fuel consumption and pollutant emissions. The Aeronautical Journal. London, UK. Imperial College London, December 2018, (Volume 122 No 1258). [online]. [cit. 2021-10-14]. Dostupné z: <https://www.cambridge.org/core/journals/aeronautical-journal/article/impact-of-single-engine-taxiing-on-aircraft-fuel-consumption-and-pollutant-emissions/495FF8A62B2949D921456BC07BA68A64>
- [3] AIRBUS S.A.S. Flight Crew Operating Manual: A318/A319/A320/A321 FLEET FCOM. September 2019. [cit. 2021-10-14].
- [4] AIRBUS S.A.S. Orders and deliveries: Commercial aircraft. January 2021. [online]. [cit. 2021-10-14]. Dostupné z: <https://www.airbus.com/aircraft/market/orders-deliveries.html>
- [5] AIRBUS S.A.S. A320 Family Portfolio. 2021. [online]. [cit. 2021-10-14]. Dostupné z: <https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a320-family.html>
- [6] AMIR R. a WEISS, S. Airbus Industrie. Encyclopedia Britannica. [online]. [cit. 2021-10-14]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/topic/Airbus-Industrie#ref60786>
- [7] HENSEY, Rory a MAGDALINA Ana. A320 NEO vs. CEO comparison study. Dublin, Ireland. FPG Amentum Ltd. July 2018. [online]. [cit. 2021-10-14]. Dostupné z: <https://www.fpg-amentum.aero/wp-content/uploads/2018/07/180719-FPG-Amentum-research-A320-NEO-vs-CEO-comparison-study.pdf>
- [8] LUFTHANSA TECHNICAL TRAINING. Training Manual A319/A320/A321: ENGINE CFM56. Lufthansa GmbH. 2009. [cit. 2021-10-14].
- [9] PRATT & WHITNEY. V2500 Engine. Raytheon Technologies Corporation. 2020. [online]. [cit. 2021-10-14]. Dostupné z: <https://prattwhitney.com/products-and-services/products/commercial-engines/v2500>
- [10] INTERNATIONAL AERO ENGINES. Product card: V2500. June 2016. [online]. [cit. 2021-10-14]. Dostupné z: [https://links.prattwhitney.com/i-a-e/pdf/V2500\\_Product\\_Card\\_060716.pdf](https://links.prattwhitney.com/i-a-e/pdf/V2500_Product_Card_060716.pdf)
- [11] EASA. TYPE-CERTIFICATE DATA SHEET: V2500-A5, V2500-D5, V2500-E5 Series. 12 December 2019. No.IM.E.069. [online]. [cit. 2021-10-14]. Dostupné z: [https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/IM%20E%20069%20Issue04\\_20191212.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/IM%20E%20069%20Issue04_20191212.pdf)
- [12] AIRBUS S.A.S. Technical Training Manual: Power plant (V2500-A5). October 2005. [cit. 2021-10-14].
- [13] PRATT & WHITNEY. PurePower Engine: Family Specs Chart. [online]. [cit. 2021-10-14]. Dostupné z: <https://prattwhitney.com/products-and-services/products/commercial-engines/pratt-and-whitney-gtf>



- [14] EASA. TYPE-CERTIFICATE DATA SHEET: PW1100G-JM Series Engines. 09 December 2019. No. IM.E.093. [online]. [cit. 2021-10-14]. Dostupné z: [https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/TCDS%20EASA.IM\\_.E.093%20Issue%2007.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/TCDS%20EASA.IM_.E.093%20Issue%2007.pdf)
- [15] DOSOGNE T. a DROUIN E. LEAP. CFM. June 2017. [online]. [cit. 2021-10-14]. Dostupné z: [https://www.cfmaeroengines.com/wp-content/uploads/2017/09/Brochure\\_LEAPfiches\\_2017.pdf](https://www.cfmaeroengines.com/wp-content/uploads/2017/09/Brochure_LEAPfiches_2017.pdf)
- [16] EASA. TYPE-CERTIFICATE DATA SHEET: LEAP-1A & LEAP-1C series engines. 11 March 2016. No. E.110. [online]. [cit. 2021-10-14]. Dostupné z: [https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EASA%20E%20110%20TCDS%20Issue%202%20LEAP-1A\\_1C\\_20161103\\_1.0.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EASA%20E%20110%20TCDS%20Issue%202%20LEAP-1A_1C_20161103_1.0.pdf)
- [17] CFM. LEAP-1A: Modular Design. September 2016. Rev. 2-0. [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.scribd.com/document/392912135/LEAP-1A-A3-Modular-Design-Rev2-0>
- [18] International Civil Aviation Organization. Ipublishcentral. 2021. [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://elibrary.icao.int/explore;mainSearch=1>
- [19] EASA. Acceptable Means of Compliance and Guidance Materials: Air Operations. 2021. [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/regulations/air-operations>
- [20] FAA. FAA Regulations: Air Carriers & Operators. 2021. [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: [https://www.faa.gov/regulations\\_policies/faa\\_regulations/](https://www.faa.gov/regulations_policies/faa_regulations/)
- [21] THE INTERNATIONAL FEDERATION OF AIR LINE PILOTS' ASSOCIATIONS. Engine-Out Taxi. 16POS03. July 2016. [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.ifalpa.org/media/2093/16pos03-engine-out-taxi.pdf>
- [22] NETWORK MANAGER. European Action Plan for the Prevention of Runway Incursions. EAPPRI V3.0 – Released Issue, Edition No. 1.0. Eurocontrol. November 2017. [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.eurocockpit.be/sites/default/files/2017-12/EAPPRI%20v.3%2C%202017.pdf>
- [23] ICAO. Development of the Second MID Region Air Navigation Environmental Report: SINGLE ENGINE TAXI OPERATIONS AT BAHRAIN INTERNATIONAL AIRPORT. November 2014. APM TF/2. [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.icao.int/MID/Documents/2014/APM%20TF2/IP%203.pdf>
- [24] QATAR CIVIL AVIATION AUTHORITY. Aeronautical Information Circular: SINGLE ENGINE TAXI OPERATIONS AT HAMAD INTERNATIONAL AIRPORT. Doha, State of Qatar. Air Navigation Department. December 2015. AIC (07/2015). [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.aim.gov.qa/eaip/2015-12-10-AIRAC/pdf/eAIC-2015-07-A.pdf>
- [25] ZURICH AIRPORT. Single Engine Taxiing at ZRH Airport. Flughafen Zürich. 2017. [cit. 2021-10-18].
- [26] EASA. Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Part-SPA. August 2013. [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: [https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/04%20Part-SPA%20%28AMC-GM%29\\_Amdt1-Supplementary%20document%20to%20ED%20Decision%202013-020-R.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/04%20Part-SPA%20%28AMC-GM%29_Amdt1-Supplementary%20document%20to%20ED%20Decision%202013-020-R.pdf)

- [27] [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.sustainableaviation.co.uk/wp-content/uploads/2018/06/Aircraft-On-the-Ground-CO2-Reduction-Programme-Best-Practice-Guidance.pdf>
- [28] SUSTAINABLE AVIATION a CLINTON CLIMATE INITIATIVE. Aircraft on the Ground CO2 Reduction Programme. UK's Airport Operators Association. [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.sustainableaviation.co.uk/wp-content/uploads/2018/06/Aircraft-On-the-Ground-CO2-Reduction-Programme-Best-Practice-Guidance.pdf>
- [29] AIRBUS. Getting to grips with fuel economy. October 2004. Issue 4. [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://en.ppt-online.org/332000>
- [30] CARVALHO, Filipe Manuel Leal. Optimizing the Single-engine taxi at Lisbon's Airport: TAP Case Study. October 2019. Master Thesis. Técnico Lisboa. Vedoucí práce Vasco Domingos Moreira Lopes Miranda dos Reis Ph.D. [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjbt0S9hYvAhVBIYsKHUfmAyUQFjAAegQIAhAD&url=https%3A%2F%2Ffenix.tecnico.ulisboa.pt%2FdownloadFile%2F563345090417534%2FExtended.pdf&usg=AOvVaw3pal2mLUvK6BzeMBEFqgAO>
- [31] RANASINGHE, K., GUAN, K., GARDI, A. a SABATINI, R. Review of advanced low-emission technologies for sustainable aviation. Energy. Vol. 188. 1 December 2019. DOI: 10.1016/j.energy.2019.115945. [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/335196845\\_Review\\_of\\_Advanced\\_Low-Emission\\_Technologies\\_for\\_Sustainable\\_Aviation](https://www.researchgate.net/publication/335196845_Review_of_Advanced_Low-Emission_Technologies_for_Sustainable_Aviation)
- [32] SHOEFFMANN, Elisabeth, PLATTENAU, Eric. Delivering green results: A summary of European ARE project results in 2009. Brussels. SESAR Joint Undertaking. 2010. DOI 10.2829/11566. ISBN 978-92-9216-002-9. [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/air/sesar/doc/2009\\_aire\\_executive\\_summary\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/air/sesar/doc/2009_aire_executive_summary_en.pdf)
- [33] EU. NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) č. 598/2014: o pravidlech a postupech pro zavedení provozních omezení ke snížení hluku na letištích Unie v rámci vyváženého přístupu. Úřední věstník Evropské Unie. L 173. 2014. [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0598&from=EN>
- [34] FAA. Aircraft Effective Perceived Noise in Decibels (EPNdB) Levels. Advisory Circulars Title 14 Code of Federal Regulation. Parts 36-1H and 36-3H. [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: [https://www.flysfo.com/sites/default/files/media/sfo/community-environment/Aircraft\\_EPNdB\\_Levels\\_Chart\\_ADA.pdf](https://www.flysfo.com/sites/default/files/media/sfo/community-environment/Aircraft_EPNdB_Levels_Chart_ADA.pdf)
- [35] KUMAR, Vivek, Lance SHERRY a Terry THOMPSON. ANALYSIS OF EMISSIONS INVENTORY FOR "SINGLE-ENGINE TAXI-OUT" OPERATIONS. Fairfax, USA. 2014. George Mason University. [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/228969700\\_Analysis\\_of\\_Emissions\\_Inventory\\_for\\_Single-Engine\\_Taxi-out\\_Operations](https://www.researchgate.net/publication/228969700_Analysis_of_Emissions_Inventory_for_Single-Engine_Taxi-out_Operations)
- [36] AIRBUS S.A.S. A318/A319/A320/A321 Quick Reference Handbook. March 2018. [cit. 2021-10-18].
- [37] GOUSSE, H. A320: 360 cockpit view. AIRBUS S.A.S., 2014. [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: [https://ccntservice.airbus.com/apps/cockpits/a320/?\\_ga=2.23709562.1983506676.1556718534-668319520.1556718534](https://ccntservice.airbus.com/apps/cockpits/a320/?_ga=2.23709562.1983506676.1556718534-668319520.1556718534)

- [38] AIRBUS S.A.S. Dual Cooling Presentation for A320neo PW: Operational Aspects. AIRBUS Operations GmbH. [cit. 2021-10-19].
- [39] SEEL, Frédéric a Thomas PICOT. LEAP-1A EIS. CFM International. June 2016. [cit. 2021-10-19].
- [40] AIRBUS S.A.S. A320/A321 Fleet Minimum Equipment List. May 2021. [cit. 2021-10-19].
- [41] ČESKÁ REPUBLIKA. Letecký předpis L14: Letiště. MINISTERSTVO DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY. číslo jednací: 641/2009-220-SP/4. [online]. [cit. 2021-10-19]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [42] LIDO. LIDO/RouteManual. Lufthansa Systems. 2021. [cit. 2021-10-19].
- [43] AIRBUS S.A.S. AIRCRAFT CHARACTERISTICS AIRPORT AND MAINTENANCE PLANNING: A320. Issue: Sep 30/85. Blagnac Cedex, France. December 2020. [online]. [cit. 2021-10-19]. Dostupné z: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiH-5nv2KHwAhVmzoUKHQTZCdYQFjAAegQIAxAD&url=https%3A%2F%2Fwww.airbus.com%2Fcontent%2Fdam%2Fcorporate-topics%2Fpublications%2Fbackgrounders%2Ftechdata%2FAircraft\\_characteristics%2FAirbus-Commercial-Aircraft-AC-A320.pdf&usg=AOvVaw2NZQcLH1UIEq7autR6WVzZ](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiH-5nv2KHwAhVmzoUKHQTZCdYQFjAAegQIAxAD&url=https%3A%2F%2Fwww.airbus.com%2Fcontent%2Fdam%2Fcorporate-topics%2Fpublications%2Fbackgrounders%2Ftechdata%2FAircraft_characteristics%2FAirbus-Commercial-Aircraft-AC-A320.pdf&usg=AOvVaw2NZQcLH1UIEq7autR6WVzZ)
- [44] EUROCONTROL. Taxi-Out (TXO) IATA: Summer 2019. December 2019. [online]. [cit. 2021-10-19]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/publication/taxi-times-summer-2019>
- [45] Neveřejné (anonymizováno dle požadavků poskytovatele). MXP taxi-out times. April 2021.
- [46] Climate: Milan (Italy). Climatestotravel. 2020. [online]. [cit. 2021-10-19]. Dostupné z: <https://www.climatestotravel.com/climate/italy/milan>
- [47] PUBLIC AIRPORT CORNER. Milano Malpensa MXP / LIMC airport information. EUROCONTROL. September 2021. [online]. [cit. 2021-10-19]. Dostupné z: [https://ext.eurocontrol.int/airport\\_corner\\_public/LIMC#weathermanagement](https://ext.eurocontrol.int/airport_corner_public/LIMC#weathermanagement)
- [48] METEOBLUE. Climate Milano Malpensa Airport. 2021. [online]. [cit. 2021-10-19]. Dostupné z: [https://www.meteoblue.com/en/weather/historyclimate/climatemodelled/milano-malpensa-airport\\_italy\\_3174133](https://www.meteoblue.com/en/weather/historyclimate/climatemodelled/milano-malpensa-airport_italy_3174133)
- [49] EASA. ICAO Aircraft Engine Emissions Databank. July 2021. [online]. [cit. 2021-11-02]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/domains/environment/icao-aircraft-engine-emissions-databank>
- [50] ICAO. ICAO Carbon Emissions Calculator Methodology. Version 11. June 2018. [online]. [cit. 2021-11-02]. Dostupné z: [https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Documents/Methodology%20ICAO%20Carbon%20Calculator\\_v11-2018.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Documents/Methodology%20ICAO%20Carbon%20Calculator_v11-2018.pdf)