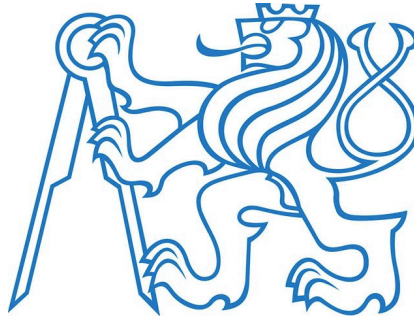


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ**



Bc. Tomáš Kulifaj

**PŘÍPADOVÁ STUDIE VLIVU VYUŽITÍ SYSTÉMU WHEELTUG NA LETIŠTI
PRAHA**

CASE STUDIES OF THE EFFECT OF THE USE WHEELTUG
AT PRAGUE AIRPORT

Diplomová práce

Praha 2016

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Eva Endrizalová, Ph.D.

doc. Ing. Stanislav Szabo, Ph.D., MBA, dr. h. c.



K621..... **Ústav letecké dopravy**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Tomáš Kulifaj

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Případová studie vlivu využití systému WheelTug na letišti Praha**

Název tématu (anglicky): **Case Studies of the Effect of the Use WheelTug at Prague Airport**

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Systém WheelTug
- Vzletové a přistávací dráhy, pojezdové dráhy na letišti V.H. Praha
- Strategie využívání WheelTug
- Analýza využití systému WheelTug
- Predikce časové a finanční úspory

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: <http://www.wheeltug.gi/>
Čapková: Analýza technologie WheelTug.
PernersContacts. 2013
<http://airinsight.com/2011/11/07/elal-launches-wheeltug/>


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Stanislav Szabo, PhD. MBA**
Ing. Eva Endrizalová, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: **30. července 2015**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

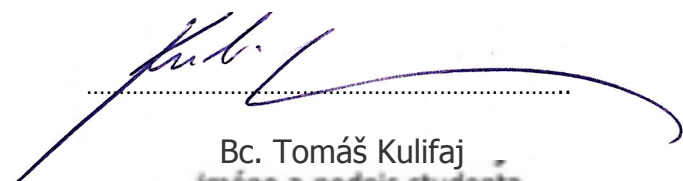
Datum odevzdání diplomové práce: **30. listopadu 2016**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia


doc. Ing. Stanislav Szabo, PhD. MBA
vedoucí
Ústavu letecké dopravy


L.S.


prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.


Bc. Tomáš Kulifaj
jméno a podpis studenta

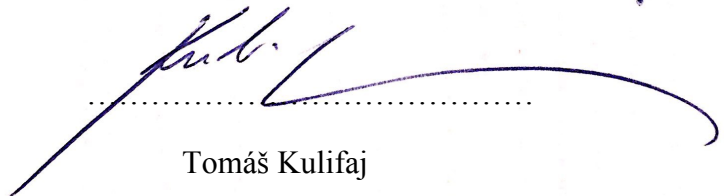
V Praze dne..... 1. července 2016

Čestné prohlášení:

Já, Tomáš Kulifaj, student Fakulty dopravní ČVUT v Praze prohlašuji, že jsem svojí diplomovou práci vypracoval samostatně a veškeré materiály, z nichž jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu literatury.

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

V Praze dne



Tomáš Kulifaj

Pod'akovanie

Na tomto mieste by som chcel poďakovať ľuďom, ktorí sa podieľali na tejto diplomovej práci. Veľká vďaka patrí Ing. Janovi Váňovi za jeho pomoc s problematikou a ďalej vedúcim diplomovej práce Ing. Eve Endrizalovej, PhD. a Doc. Ing. Stanislavovi Szabovi, Ph.D., MBA, LL.M, dr.h.c.. Veľká vďaka patrí rovnako mojej rodine a priateľom, za ich podporu počas celej doby štúdia.

Abstrakt

Autor: Bc. Tomáš Kulifaj

Název diplomové práce: Případová studie vlivu využití systému WheelTug na letišti Praha.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Eva Endrizalová, Ph.d.

Supervizor diplomové práce: doc. Ing. Stanislav Szabo, Ph.D., MBA, dr. h. c.

Škola: České vysoké učení technické v Praze,
Fakulta dopravní, Ústav letecké dopravy

Místo a rok vydání: Praha 2016

Počet stran: 69

Klíčová slova:

Parkovacia stojánka, WheelTug, elektrické taxovanie, čas Taxi In, čas Taxi out, čas na stojánke, čas push back, palivová úspora

Tato diplomová práce zachycuje využití systému společnosti WheelTug pro urychlení odbavení letadel. Byla provedena analýza, jak by daný systém ovlivnil rychlost odbavení letadel na Letišti Václava Havla Praha. Mimo jiné byli vypočítány možné finanční úspory a možné navýšení kapacity parkovacích stojánek.

Abstract

Author: Bc. Tomáš Kulifaj

Title of bachelor thesis: Case study of the effect of the use WheelTug
at Prague Airport

Thesis mentor: Ing. Eva Endrizalová, Ph.d.

Thesis supervisor: doc. Ing. Stanislav Szabo, Ph.D.,MBA, dr. h. c.

University: Czech Technical University in Prague,
Faculty of Transportation Sciences,
Department of Air Transport

Place and year of issue: Prague 2016

Number of pages: 69

Key terms: WheelTug, electric taxi, Taxi in time, Taxi out time, Gate time, Push back time, Fuel saving

In this master thesis I have tried to show the possibility of usage the system of WheelTug company, which helps to speed up turnaround process. It was also made the analysis, how this system can influence the speed of aircraft turnaround at Vaclav Havel Airport Prague. Beside this, there were made also calculations of financial saves and possibility to increase the capacity of parking stands.

Zoznam skratiek

AIP	Aeronautical Information Publication (Letecká informačná príručka)
APU	Auxiliary Power unite (Záložný spúšťací motor)
CBT	Computer Based Training (Počítačový tréning)
ELM	Electrical Load Measurement
FWD	Forward (Vpred)
FOD	Foreign object debris (Poškodenie cudzím predmetom)
GPS	Global Position System (Globálny pozičný systém)
IATA	International Air Transport Association (Medzinárodná asociácia leteckých dopravcov)
ICAO	International Civil Aviation Organization (Medzinárodná organizácia pre civilné letectvo)
LVHP	Letisko Václava Havla v Prahe
MVT	Movement (Pohyb)
MTOW	Maximal Take Off Weight (Maximálne vzletová hmotnosť)
NG	Next Generation (Nasledujúca generácia)
PWR	Power (Napájanie)
REV	Reverse (Vzad)
RWY	Runway (Vzletovo – pristávacia dráha)
SD	Secure Digital
TCO	Turnaround Coordinator (Koordinátor odbavenia)
TWY	Taxi way (Pojazdová dráha)

OBSAH

Úvod	10
1. WheelTug	11
1.1 Systém WheelTug	11
1.1.1 WheelBack	12
1.1.2 Twirl	13
1.1.3 Twist	14
1.2 Kompozícia systému WheelTug	14
1.2.1 Elektromotory	14
1.2.2 APU (Auxiliary Power Unit)	15
1.2.3 Menič napätia	16
1.2.4 Ovládací panel	17
1.2.5 Káblové vedenie	18
1.2.6 Software	18
1.3 Environmentálne aspekty systému WheelTug	19
1.4 Analýza prínosu systému WheelTug	21
1.5 Spoločnosti zaoberajúce sa technológiou e-taxi	22
2. Letisko Václava Havla Praha	23
2.1 História	23
2.2 Súčasný prehľad letiska a dráhového systému	25
2.3 Parkovacie stojánky na letisku Praha	26
2.4 Pojazdové dráhy na letisku Praha	28
2.5 Spolupráca Letiska Praha a spoločnosti WheelTug	30
2.6 Postupy pre obmedzenie hluku	32
3. Cieľ diplomovej práce	34
4. Stratégia využívania systému WheelTug	35
4.1 Koncepcia operatívneho leasingu WheelTug	35
4.2 Investície spojené so systémom WheelTug	36
5. Vyhodnotenie dát získaných z meraní	37
5.1 Metóda merania dát	37
5.2 Čas Taxi – in	42
5.3 Čas na stojánke	42
5.4 Čas Push – backu	43

5.5 Čas Taxi – out	44
5.6 Porovnanie situácie na Letisku Václava Havla a výrobcu bez systému WheelTug	45
5.7 Modelové porovnanie situácie na Letisku Václava Havla a výrobcu s využitím WheelTug	46
5.8 Lietadlo na Letisku Václava Havla bez využitia a s využitím systému WheelTug	47
5.9 Možnosť navýšenia kapacity parkovacích stojánok	48
5.10 Finančné úspory	49
5.10.1 Úspory spojené s taxovaním lietadla	50
5.10.2 Úspory WheelTug pre taxovanie	51
5.10.3 Odmrazovanie lietadla	52
5.10.4 Úspory spojené s časom na parkovacej stojánke	53
5.10.5 Celkové finančné úspory	57
6. Zhodnotenie využitia systému	59
6.1 Pozitíva systému	59
6.2 Negatíva systému	61
Záver	62

Úvod

Potreba neustálych inovácií v leteckej doprave a prinášanie nových technológií upriamili pozornosť na jeden z nových objavov, ktoré sa v súčasnej dobe testuje a certifikuje pre zavedenie do každodennej prevádzky lietadiel. Pretože práve inovácie a nové prostriedky napomáhajú celkovému zlepšeniu súčasnej situácie v leteckej doprave. Jedná sa o revolučnú novinku, ktorá sa zameriava na páľčivé problémy dnešnej doby a to možnosť finančnej úspory pre leteckých prepravcov, a zároveň pre zvýšenie ekologickosti leteckej prepravy. Pretože iba dobre hospodáriaca firma dokáže ustáť tlak na konkurenčnom poli leteckých prepravcov. Každá pozitívna zmena v oblasti nožnej cenotvorby pre finálneho spotrebiteľa hrá významnú úlohu. Spoločnosť WheelTug patrí medzi poprednú firmu v oblasti zaoberajúcej sa elektrickým taxovaním lietadiel, alebo skrátene etaxi. V dnešnej dobe, nie ešte tak známej medzi širokou verejnosťou. Dúfam, že pomocou tejto práce sa čitateľom podarí priblížiť možnosti tohoto systému a zvýšiť tak povedomie nielen o ekologickosti daného systému, ale aj o možnostiach finančných úspor. Hoci sa nejedná o systém, ktorý by bol bezplatný, rozhodne však je možné vidieť v analýze finančných úspor jeho výhodnosť. Každé jedno zredukovanie nákladov na prevádzku v leteckej doprave určite privítajú ako samotní prevádzkovatelia leteckých spoločností, tak aj samotní cestujúci.

Cieľom bolo zamerať sa na možnosť využitia daného systému lietadlami operujúcimi na Letisku Václava Havla v Prahe. Analýzovanie samotných časov strávených taxovaním lietadiel a časov strávených na parkovacích stojáňkach. Rovnako bola vyvinutá snaha o zachytenie doby, ktorá je nevyhnutá na manipuláciu s lietadlom, aby bolo možné lietadlo pripraviť na odlet. Jednotlivé časy sú pri každom lietadle v hodnotách pár minút, ale ak sa na celý problém pozrieme z dlhodobého hľadiska a z pohľadu celej flotily lietadiel, dostávame sa k časom a finančným hodnotám, ktoré začínajú byť zaujímavé a hodné bližšej analýzy.

1 WheelTug

Spoločnosť, ktorá ako jedna z prvých zareagovala na súčasné požiadavky, ktorými sú na jednej strane vzrastajúci dopyt po leteckej doprave typu „lietať viac za menej“ a na druhej strane „zelené projekty“ (zníženie spotreby paliva, emisií a hluku) je spoločnosť WheelTug zo skupiny Borealis. Spoločnosť WheelTug (dcérska spoločnosť Chorus Motors), ktorá sa dlhodobo zameriava na vývoj asynchrónnych elektrických motorov, prichádza s myšlienkou nahradiť pri taxovaní lietadla na zemi hlavnými motormi lietadla vysoko výkonným elektromotorom.

Systém sa skladá z dvoch elektromotorov umiestnených v prednom kolese podvozku a úplne nahraí pri taxovaní hlavné motory lietadla. Lietadlo je schopné taxovať do 50 kilometrov v hodine. WheelTug bude jednou z technológií, ktorá prispeje ku splneniu environmentálnych cieľov SESAR.^[17]

1.1 Systém WheelTug

Systém WheelTug môžeme popísať ako systém integrovaný do kolies predného podvozku lietadla, ktorý je navrhnutý tak, aby poháňal lietadlo vpred i vzad bez použitia push-backu resp. hlavných motorov.

Popri pohybe vzad, tento systém rovnako umožňuje aj pohyb vpred.

WheelTug systém nahrádza funkciu push-backu, ktorý je potrebný pre vytlačenie lietadla z parkovacej stojánky, a zároveň umožňuje taxovanie lietadla bez použitia samotných motorov lietadla.

Tento systém pozostáva z vicerých komponentov.

Poprvé zo samotného kolesa, elektronickej skriňe (meniča) a panelu v kokpíte. O prísun elektrickej energie pre systém WheelTug sa stará pomocná elektrická jednotka ďalej len ako „APU“ (auxiliary power unit) – turbínový motor nachádzajúci sa vo chvoste lietadla. Detajlnejší popis systému bude obsiahnutý v ďalšej podkapitole. Samotný systém je navrhnutý tak, aby dokázal uspokojiť nároky zákazníka a to jednoduchou montážou, ktorá môže byť uskutočnená počas jednej až dvoch nocí. Popritom, že systém môže byť namontovaný, jedná sa zároveň

aj o systém, ktorý môže byť odstránený na požiadanie klienta, podobne ako pri systéme Electronic flightbag.

Proces pozemného odbavenia lietadla bez použitia systému WheelTug:

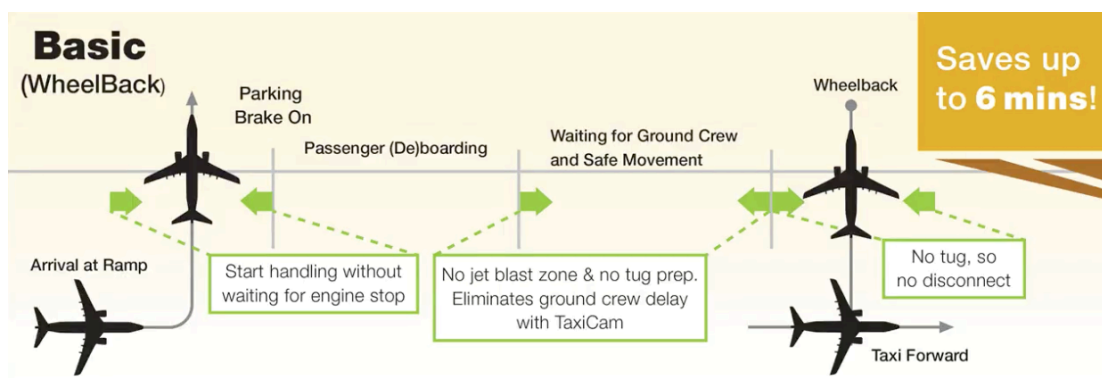
Po pristátí lietadla a príchode na stojánku, či už pri budove terminálu, alebo na vzdialenom státi, jeden z motorov, alebo obidva sú stále v chode. Za tohoto predpokladu sa nemôže uskutočniť nič z pozemného odbavovania. Musí byť zachovaná bezpečnosť pracovníkov pozemného odbavenia a eliminovať riziko nasatia predmetov do motoru. Pozemné odbavovanie musí počkať až do úplného vypnutia motorov. Následne môže začať pozemné odbavovanie ako vystúpenie a finálne znovu nastúpenie cestujúcich. Počas tohoto času sa vyžaduje veľké množstvo koordinácie medzi personálom pozemného odbavovania, pilotmi, riadením letovej prevádzky a iné, pokiaľ môže byť lietadlo opäť vytlačené z parkovacej stojánky. Následne ako je lietadlo vytlačené za pomoci push-back zariadenia a odpojené, môže začať štartovanie motorov a samotné kontroly. (Niekdedy začína štartovanie motorov už pri samotnom vytlačovaní lietadla, ale všetko záleží od metódy vytlačovania). Približne po 2 minútach od vytlačenia lietadla sa môže lietadlo pohnúť vpred. Celý tento čas je považovaný ako taxi-out time, ale v skutočnosti sa nejedná o taxovania.

Systém WheelTug poskytuje tri možnosti taxovania, podľa náročnosti na vybavenosť samotného letiska pre zefektívnenie pozemného odbavovania. Základného **WheelBack**, **Twirlu** a najlepšieho a zároveň najnáročnejšieho na vybavenosť letiskového terminálu a to **Twistu**.^[10]

1.1.1 WheelBack

Už pri samotnom príchode lietadla na parkovacu stojánku sú motory vypnuté a tým sa eliminuje čas potrebný na vypnutie motorov, aby mohol byť zahájený proces pozemného odbavovania, pričom predné a zadné dvere umožňujúce výstup cestujúcich môžu byť otvorené okamžite po pristavení patričnej mechanizácie (mobilných schodov alebo mostu). Po dokončení nástupu cestujúcich sme oslobodení od čakania na pracovníkov push-backu a samotný push-back, alebo ground marshala pretože lietadlo je vybavené Taxi Cam (TaxiCam je opčný systém k samotnému WheelTugu), ktorá dáva úplný prehľad pilotovi, či mu nič neprekáža v ceste a čaká iba na povolenie od riadenia letovej prevádzky. Samotný čas potrebný na odpojenie

push-back zariadenia je odstránený rovnako ako čas potrebný na čakanie na pozemný personál.

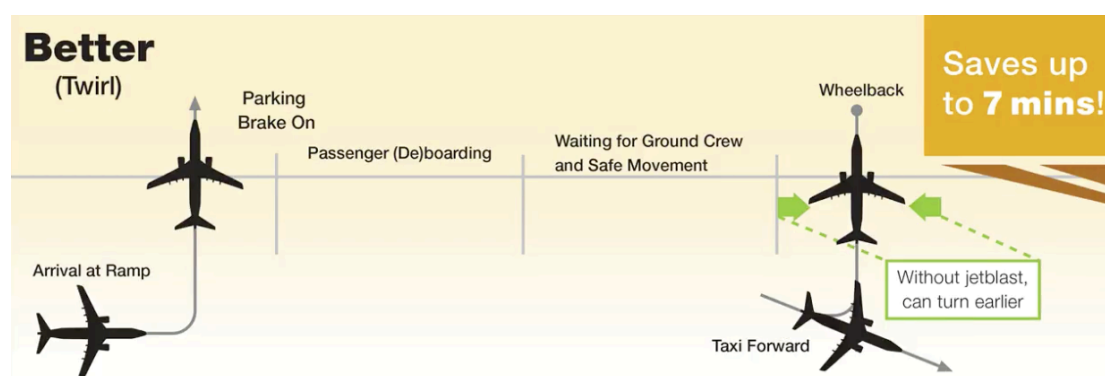


(01) Znáznorenie procesu WheelBack systému WheelTug [1]

Celková výhoda a časová **úspora** len za použitia tohoto manévru činí do **6 minút** pre jedno otočenie lietadla. [10]

1.1.2 Twirl

Táto metóda je menšie vylepšenie základného WheelBacku a redukuje nám to vzdialenosť ako ďaleko musí byť lietadlo z dôvodu produkovania motorových spalín, tzv. „jet blast“. Tento manéver pridáva ďalšiu ušetrenú minútu, čiže dohromady 7-minútová časová úspora.



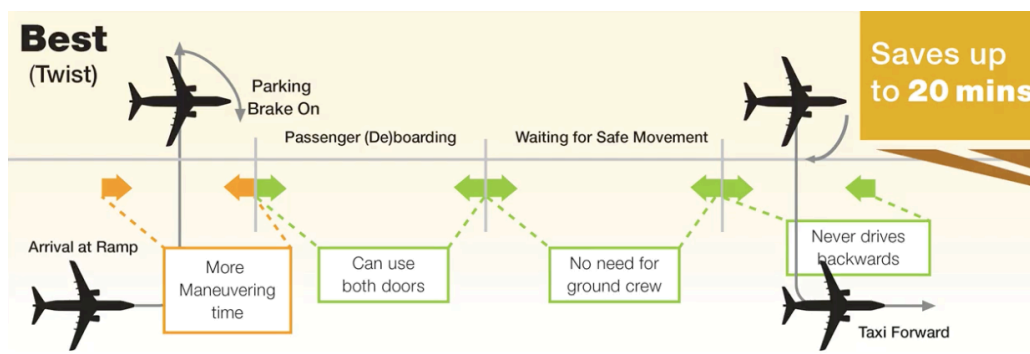
(02) Znáznorenie procesu Twirl systému WheelTug [1]

Najlepšia a najefektívnejšia cesta využitia systému WheelTug je, že lietadlo bude odbavované podobne ako loď, a to nie za státiť nosom k terminálu, ale stranou k terminálu, tak ako boli navrhnuté aj niektoré terminály v dobách minulých (50-te

a 60-te roky minulého storočia) za pomoci pripojenia oboch mostov. Jedného spredu a druhého zozadu lietadla. Najväčšia časová úspora prichádza z urýchlenia nastupovania a vystupovania cestujúcich z lietadla. [10]

1.1.3 Twist

Lietadlo po pristátí a následne vstupe na pojazdovú dráhu okamžite vypína motory a približuje sa k samotnej budove terminálu za pomoci systému WheelTug. Namiesto štandardnej parkovacej pozície „nosom vpred“ však lietadlo uskutočňuje otočku o 90 stupňov a zastavuje bokom k budove terminálu. Následne sú pripojené k lietadlu oba nástupné mosty. Tento proces prináša najväčšiu časovú úsporu, ktorá sa zaoberá nástupom a výstupom cestujúcich z lietadla. Práve táto časť (nástup a výstup cestujúcich) pozemného odbavovania lietadiel spôsobuje významné meškania v leteckej doprave. [10]

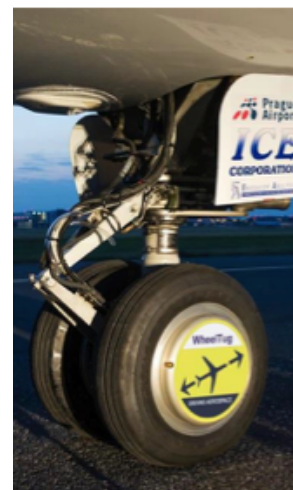
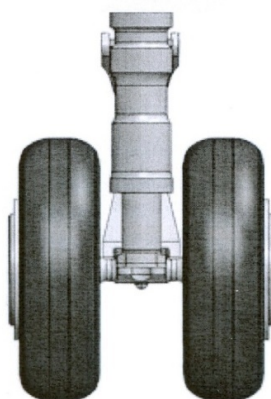
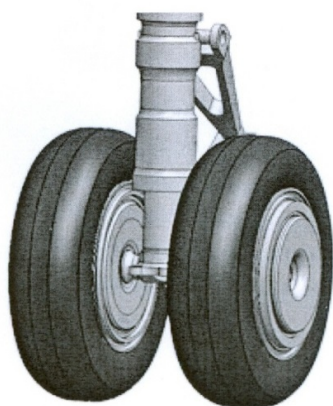


(03) Znáznornenie procesu Twist systému WheelTug [1]

1.2 Kompozícia systému WheelTug

1.2.1 Elektromotory

Základným prvkom celého systému sú dva asynchrónne elektromotory Chorus Meshcon namontované do kolies predného podvozku. Jedná sa o patentovaný elektromotor, ktorý napriek svojim malým rozmerom dokáže vyvinúť veľký krútiaci moment, a zároveň zabezpečiť dostatočnú trakciu. Vyvinutá technológia motorov dokáže meniť parametre striedavého prúdu. Vďaka tejto technológii motor zabezpečuje dostatočný ktútivý moment pri malých a rovanko aj vyšších rýchlostiach. To pri štandardnom elektromotore nie je možné. Elektromotory sú navrhnuté tak, že sú súčasťou predného podvozku.



(04) Predný podvozok lietadla a namontovaný systém WheelTug na prednom podvozku [1]

1.2.2 APU (Auxiliary power unit)

Pomocná elektrická jednotka (APU) je zariadenie, ktoré zabezpečuje dodávku elektrickej energie na palube lietadla, zatiaľ čo hlavné motory nie sú v chode. Jedná sa o turbohriadeľový motor, ku ktorému je cez reduktor otáčok pripojený generátor elektrickej energie a vo väčšine prípadov aj hydraulické čerpadlo. Základnou úlohou APU je zabezpečiť dostatočne veľké množstvo energie pre spustenie hlavných motorov, nakoľko palubné akumulátory nemajú dostatočnú kapacitu. Akonáhle sú hlavné motory v chode, tak sa APU vypína a všetky jeho funkcie preberajú hlavné motory.



(05) APU Boeingu 737 [1]

Ohľadne APU sa počas vývoja systému objavovali pochybnosti, či bude výkon APU dostatočný pre pohon elektromotorov a zároveň, či dokáže plniť funkciu, pre ktorú bolo toto zariadenie pôvodne navrhnuté. V januári 2010 na základe pripomienok, či je daný výkon APU dostačujúci, letecká spoločnosť *Delta Airlines* uskutočnila na Boeingu 737 NG oficiálnu záťažovú skúšku Electrical Load Measurement (ELM). Pre prevádzku systému je potrebná energia 40 – 45kV. Testovaný Boeing 737 NG je schopný vyvinúť maximálny výkon 90 kV plus 26 kV. Testy analyzujúce získané údaje preukázali viac než dostačujúci výkon APU pre pohon systému.

1.2.3 Menič napätia

Meniče napätia sú ďalšou veľmi dôležitou súčasťou systému. Ich úlohou je prispôbiť elektrickú energiu, ktorú poskytuje APU na takú, ktorú potrebujú pre svoj pohon elektromotory, a zároveň slúži ako riadiaca jednotka elektromotorov. Ďalšou ich úlohou je regulovanie výkonu v prípade prešmyku a rozpojenia statoru a rotoru na základe signálu od záťažového čidla umiestneného na podvozku. Vďaka tomu nemôže byť systém náhodne zapnutý, pokiaľ nebude podvozok lietadla v kontakte s prevádzkovými plochami letiska. Takisto sa predíde poškodeniu elektromotorov pri vyšších rýchlostiach, než je maximálna povolená rýchlosť systému. Vďaka malým rozmerom môžu byť meniče umiestnené v podvozokovej šachte (tzv. E-Bay) predného podvozku. Meniče napätia, ktoré sú súčasťou WheelTugu dodáva jedna z partnerských firiem, ktorou je ULTRA Electronics/ ICE Corporation. [10]



(06) Menič napätia systému WheelTug [1]

1.2.4 Ovládací panel

Celý systém WheelTug je ovládaný pilotom z kokpitu a to pomocou panelu, ktorý je v prípade Boeingu 737 NG umiestnený na stredovom paneli medzi pilotmi. Ovládací panel však nie je nijak závislý na ostatných palubných systémoch a ani ich neovplyvňuje. Partnerom pre vývoj a výrobu ovládacieho panelu je spoločnosť Aversan. [10]



(07) Ovládací panel systému WheelTug [1]

panel systému WheelTug je navrhnutý pre maximálnu jednoduchosť jeho používania.

1. **PWR** – (vypínač systému) – slúži na zapnutie resp. vypnutie ovládania systému WheelTug
2. **Ovládací páka** – slúži pre navolenie požadovaného manévru systému WheelTug s lietadlom a to buď v polohe **FWD** – pohyb lietadla vpred alebo **REV** – pohyb lietadla vzad
3. **OVERTEMP** – jedná sa o signalizáciu, ktorá indikuje pilotovi, že teplota motora sa blíži k bodu, kedy sa motor automaticky vypne, pokiaľ pilot bude pokračovať v používaní systému WheelTug.

Tento ovládací panel má navyše v sebe implementovaný slot pre vloženie SD karty. Na túto kartu sa ukladajú všetky potrebné dáta, ktoré slúžia pre potrebu technikov na vykonávanie údržby. Zároveň tieto dáta slúžia ako podklad pre účely vyhodnocovania používania systému a následnej fakturácii zákazníka.

Jedná sa o určitý typ zálohovania podkadov pre účely fakturácie, pretože ako bude spomenuté v nasledujúcich kapitolách, fakturácia za využívanie systému WheelTug je prepojená aj so systémom GPS. Tento systém pomáha k sledovaniu využitia daného systému na diaľku.

Nutnosťou, ktorú je potrebné implementovať pre používanie tohoto systému pilotmi je ich preškolenie. Pre tento účel je potrebné absolvovať CBT (Computer Based Training), ktorý má časové nároky pohybujúce sa od 45 minút po 1 hodinu.

1.2.5 Káblové vedenie

Všetky komponenty, ktoré WheelTug obsahuje, musia byť nejakým spôsobom prepojené, aby bol systém schopný fungovať. Preto je tu táto kabeláž, ktorá spája APU s meničom napätia, menič napätia s elektromotormi a menič napätia s ovládacím panelom.

1.2.6 Software

Okrem jednotlivých súčastí systému je správna funkcia úplne závislá od softwaru, ktorý riadi celý systém. Počíta sa s tým, že jednotlivé zdokonaľovania sa budú uskutočňovať za pomoci dát, ktoré sa budú získavať už z reálneho používania systému.

1.3 Environmenálne aspekty systému WheelTug

V súčasnej dobe sa leteckí prepravcovia okrem samotných postupov pre zachovanie bezpečnosti sústreďujú hlavne na efektivitu samotných nákladov na prevádzku, ale aj na environmentálne aspekty. Medzi tieto aspekty patria napríklad emisie vyprodukované leteckou dopravou, hlukové znečistenie a samotná spotreba paliva. Preto každá nová inovácia, ktorá prináša pozitívum, je vítaná a podrobená testovaniu.

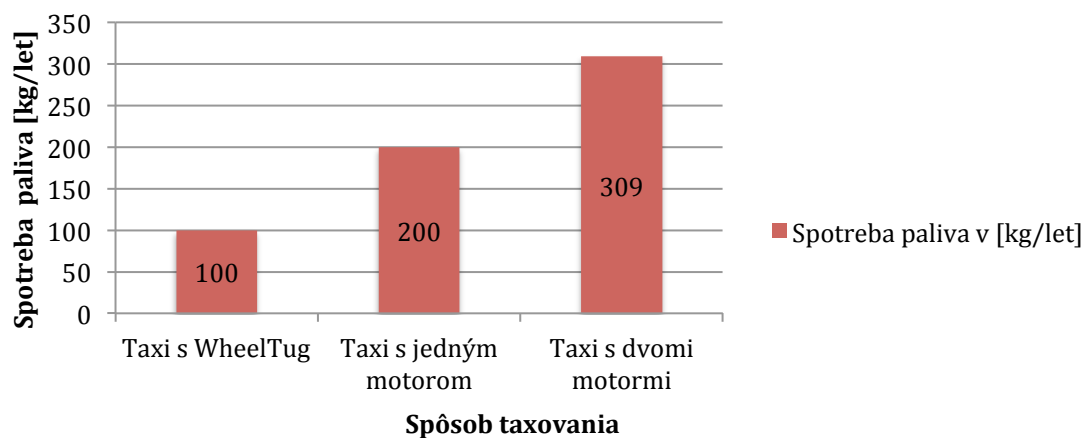
V súčasnej dobe patrí cena paliva medzi hlavné témy, ktoré ovplyvňujú letecký priemysel z pohľadu finančnej efektivity pre dopravcu a rovnako aj pre samotného konečného spotrebiteľa. Táto cena sa premieta do výslednej ceny, ktorú konečný spotrebiteľ (cestujúci) zaplatí za poskytované služby. Preto ak chce byť letecký prepravca konkurencie schopný, je potrebné, aby sledoval najnovšie trendy, ktoré mu pomôžu zefektívniť prevádzkové náklady.

Vo väčšine prípadov sa v leteckej doprave ako palivo používa letecký petrolej Jet A-1, na ktorý je kladený veľký dôraz hlavne z hľadiska kvality. Pre predstavu, spálením 1 kg leteckého paliva sa uvoľňuje do ovzdušia približne 3,123 kg CO₂, čo nie je zanedbateľná čiastka.

Samotná spotreba paliva lietadla - model Boeing 737-800 - činí približne 700-800 kg/hod v závislosti na výkone samotného motora. Pričom už len samotné taxovanie lietadla tvorí celkom nezanedbateľnú čiastku na výdavkoch za spotrebované palivo.

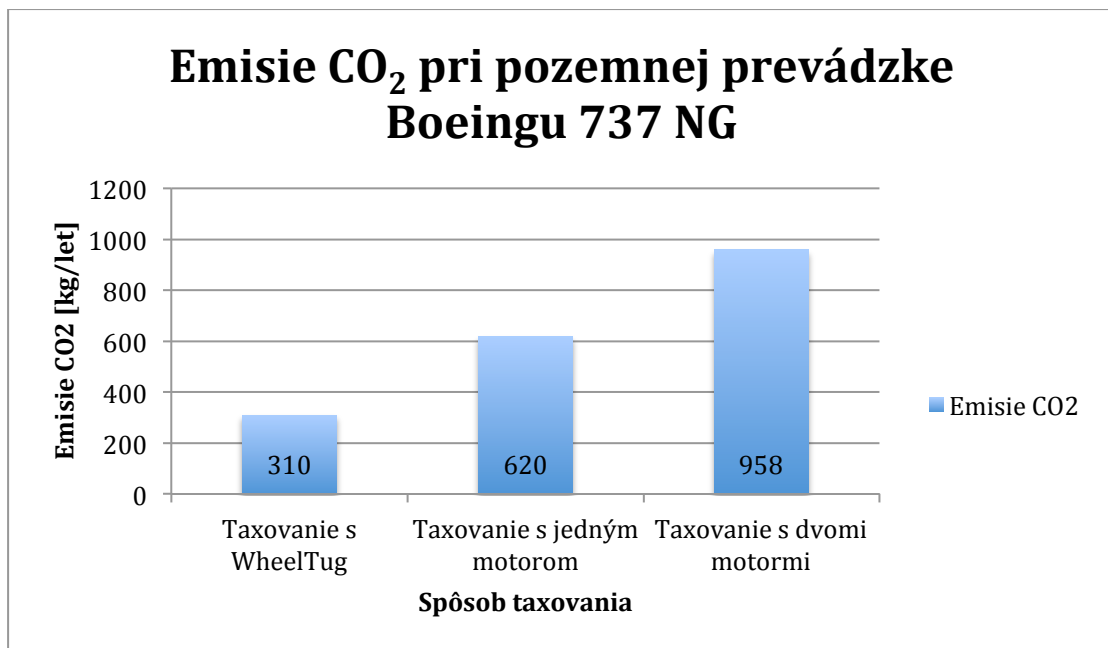
Spotreba paliva lietadla je úmerná aj samotnej hmotnosti lietadla, a preto sa naskytuje otázka, či pri navýšení hmotnosti externým systémom, ako je v našom prípade systém WheelTug, bude výsledný efekt priaznivý. Ako je možné vidieť z nasledujúceho grafu, aj napriek zvýšeniu hmotnosti lietadla, je táto zmena pozitívnym prínosom.

Pozemná prevádzka a spotreba paliva Boeing 737NG



(01) Porovnanie spotreby paliva pri taxovaní [1]

Ako uvádza firma WheelTug, zredukovanie emisií v dôsledku redukcie spotrebovaného paliva bude markantné. Pri využití systému WheelTug sa predpokladá zníženie emisií CO₂ o 66% ako pri taxovaní na oba motory. Rovnako sa predpokladá aj zredukovanie emisií uhl'ovodíka o 60 - 78% na jeden letový cyklus.



(02) Porovnanie množstva emisií pri taxovaní [1]

Medzi prikopníkov z radov letísk patrí aj letisko Praha, ktoré sa v roku 2010 ako prvé letisko na svete zapojilo do podpory vývoja nových technológií, ktoré umožňujú lietadlám používať pri taxovaní systém medzi parkovacími stojámkami a vzletovo-pristávacími dráhami zabudované elektrické motory.[11]

1.4 Analýza prínosu systému WheelTug

Podľa výrobcu WheelTug systém by mal priniesť nasledujúce výhody :

- Úspora paliva
- Ochrana životného prostredia
- Zvýšenie bezpečnosti prevádzky na letiskách
- Časové zefektívnenie pozemnej letovej prevádzky a zvýšenie flexibility lietadiel
- Zníženie opotrebovania motorov a brzd lietadla
- Zníženie poškodenia motorov cudzími predmetmi
- Efektívnejšie využitie pojazdových dráh
- Zredukovanie nákladov spojených s pozemným odbavením lietadiel [11]

1.5 Spoločnosti zaoberajúce sa technológiou e-taxi

Okrem spoločnosti WheelTug existujú v súčasnej dobe aj iné spoločnosti, zaoberajúce sa problematikou „zeleného“ elektrického taxovania lietadiel.

Lufthansa Technik (LHT) v spolupráci so spoločnosťou L-3 a CRANE umiestnila elektromotor do kolies hlavného podvozku pre pohon lietadla ako dopredu tak vzad. Elektromotory sú napájané za pomoci pohonnej jednotky APU. Tím odtestoval špeciálny motor na lietadle Airbus A320. Lietadlo je schopné taxovať až do maximálnej rýchlosti 25 kilometrov za hodinu. Ako ďalšia výhoda tohoto riešenia sa ukazuje veľmi dobrá manévrovateľnosť lietadla, ktoré je schopné sa otočiť o 180 stupňov na polomere 36 metrov. V súčasnosti spoločnosť analyzuje prevádzkové a ekonomické údaje pre potvrdenie rozhodnutí, či pokračovať s vývojom prototypu. Jednou z výziev, s ktorou sa musí v ďalšiom vývoji vyrovnáť je mimo iné aj chladenie motorov a komplexnosť celej konštrukcie. Pre účely testovania boli totižto odstránené brzdy z kolies, v ktorých boli nainštalované motory. Toto však nie je možné aplikovať v praxi. Termín certifikácie zatiaľ nie je oznámený.

Spoločnosť Safran a Honeywell sa zaoberajú rozvojom elektrického „zeleného“ taxovania systému EGTS. Tento systém je veľmi podobný systému od LHT. Predpokladá sa až 4% úspora z celkovej spotreby pohonnej hmoty vo výške niekoľko tisíc dolárov ročne na lietadlo. EGST mimo iné zvyšuje bezpečnosť a efektívnosť práce.

Okrem týchto spoločností je na trhu aj spoločnosť Israel Aerospace Industry (IAI), ktorá vyvinula robotické ťažné zariadenie Taxibot – ťahač bez oje. Výhodou tohoto zariadenia je, že u väčšiny lietadiel nie je potreba žiadnych úprav alebo zásahu do konštrukcie lietadla. Hlavným rozdielom oproti predchádzajúcim systémom je, že sa jedná čisto o pozemné pomocné zariadenie. Nie je preto možné očakávať takých časových úspor ako pri integrovaných zariadeniach.

2 Letisko Václava Havla - Praha

V tejto práci sa pojednáva a hodnotí situácia pojazdovej doby na Letisku Václava Havla Praha, a preto by bolo vhodné na začiatok uviesť aj základné informácie zo samotnej histórie letiska, riešenie parkovacích stojánok, pojazdových dráh a pohybových plôch letiska v súčasnej dobe.

Jedá sa o letisko strednej veľkosti s počtom pohybov 100-250 tisíc MVT/rok, a 2 RWY na ktorom boli uskutočnené všetky merania tejto práce.

2.1 História

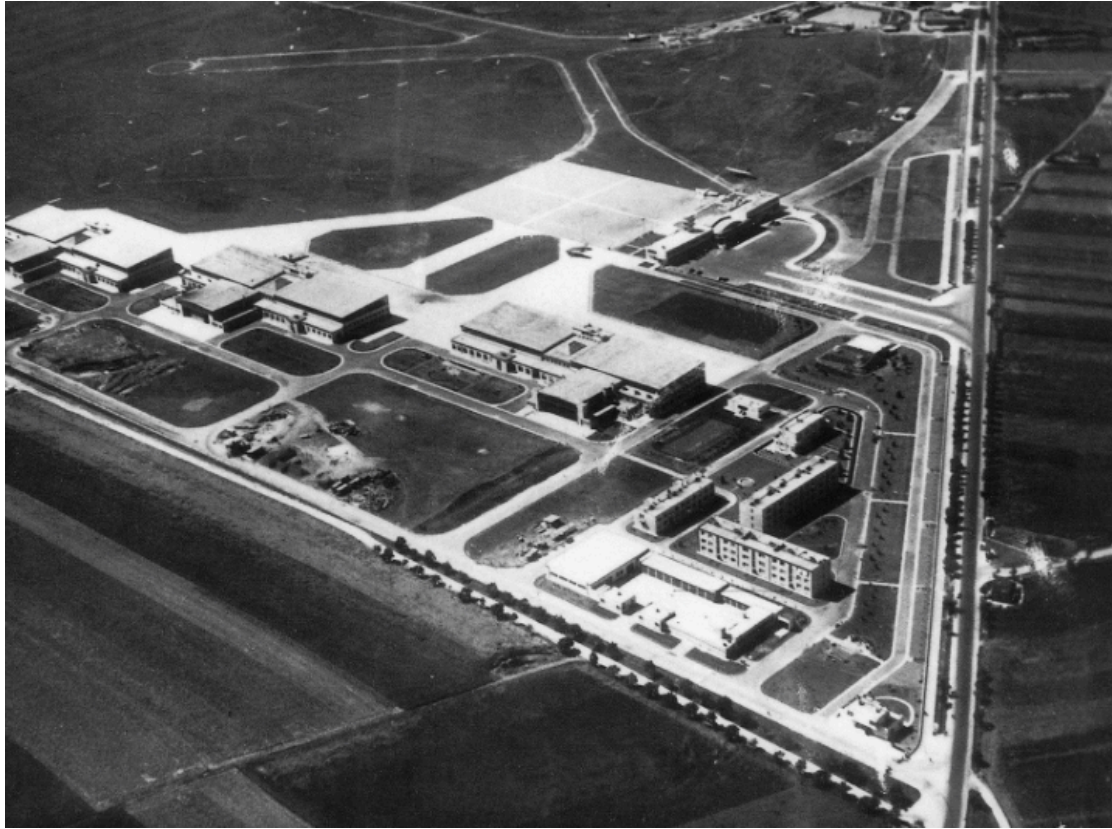
Prvý let na Letisku Praha sa uskutočnil v roku 1937. Za celú dobu svojej prevádzky zatiaľ letisko odbavilo viac ako 201 milóna cestujúcich a uskutočnilo sa viac ako 4 milióny civilných letov.

Počas svojej prevádzky letisko prešlo mnohými zmenami a v súvislosti s rozvojom leteckej dopravy zaznamenalo podstatný nárast kapacity prevádzky a počtu odbavených cestujúcich.

V roku 1937 letisko disponovalo celkom piatimi trávnatými vzletovými a pristávacími dráhami s dovedy unikátnou dĺžkou až 1200 metrov. K tomu jeden odbavovací terminál a rozlohu necelých 80 ha. Postupom času a modernizáciou dnes letisko Václava Havla Praha disponuje 2 vzletovo pristávacími dráhami s dĺžkou až 3 715 metrov, 3 terminálmi a celkovou rozlohou viac ako 1000 ha.

S novou výstavbou letiska súvisí tak isto aj nárast kapacity letiska, ktorá bola v prvých rokoch prevádzky okolo 250 tisíc odbavených cestujúcich ročne. Reálne však bolo v prvom roku prevádzky odbavených 13 tisíc pasažierov. V priebehu času kapacita letiska postupne narastala až na konci 70tych rokov sa zvýšila na 2,3 milióna odbavených cestujúcich za rok.

Dnes je celková kapacita letiska 15,5 milióna cestujúcich a v niektorých obľúbených časoch už letisko naráža na svoje limity. Ďalšie navýšenie kapacity bude možné až s výstavbou plánovanej paralelnej dráhy, ktorá umožní odbaviť až 21,2 milióna cestujúcich ročne. [13]



(08) Historický obrázok Letiska Václava Havla [2]

2.2 Súčasný prehľad letiska a dráhového systému

Letisko Václava Havla Praha

ICAO kód: LKPR

IATA kód: PRG



(08) Súčasná situácia na letisku Václava Havla [3]

V súčasnej dobe disponuje Letisko Praha dvojicou vzletovo-pristávacích dráh. Sú to dráhy s označením **06-24** a **12-30**. V nasledujúcej tabuľke sú uvedené samotné fyzikálne vlastnosti vzletovo-pristávacích dráh.

Označenie	Zemepisný a magnetický smer	Rozmery RWY (m)
06	065° GEO	3715 x 45
	061° MAG	
24	245° GEO	3715 x 45
	241° MAG	
12	127° GEO	3250 x 45
	123° MAG	
30	307° GEO	3250 x 45
	303° MAG	

(03) Fyzikálna charakteristika vzletovo – pristávacích dráh na letisku Václava Havla [4]

2.3 Parkovacie stojánka na Letisku Praha

Pre porozumenie a lepšiu orientácie v prípadovej štúdiu využitia systému WheelTug na Letisku Praha, je potrebné, aby bol na začiatku urobený aj stručný prehľad samotných parkovacích stojánok a pojazďových ciest, ktorými disponuje Letisko Praha. V nasledujúcej kapitole bude prinesený prehľad parkovacích stojánok a rovnako aj prehľad ciest pre taxovanie lietadiel.

Letisko Praha v súčasnej dobe disponuje parkovacími stojánkami s označením:

1-31, 50-58, 60-65, 70-75 pričom niektoré stojánky majú aj alternatívne státi A a B ako stojánky 3A,3B, 4A, 14A, 19A, 21A, 22A, 22B, 24A, 24B, 50A, 57A, 58A,58B. Stojánky 50-58B,60-65 a 70-75 sú vzdialené státi, čiže nie sú umiestnené pri budove terminálu a pre nástup a výstup cestujúcich je potrebné použitie schodov. Rovnako cestujúci musia byť na tieto stojánky dopravení za pomoci letiskových autobusov, aby bola zabezpečená bezpečnosť na letiskových plochách.^[14]

V našej štúdiu boli dáta zbierané na rozličných stojánkach, počas celej doby zberu dát. Nakoľko vzdialenosť jednotlivých stojánok od vzletovo-pristavacej dráhy je rozličná, budú sa líšiť aj jednotlivé časy taxovania lietadiel. Rovnako sa bude líšiť aj spôsob taxi out, nakoľko pri niektorých stojánkach nie je potrebné použitie mechanizácie push-backu na vytlačenie lietadla od budovy terminálu letiska.



(09) Zobrazenie parkovacích stojánok na Letisku Václava Havla [4]

2.4 Pojazdové dráhy na letisku Praha

Rovnako ako rozmiestnenie parkovacích stání pre lietadlá na letisku, je dôležité poskytnúť aj stručný prehľad pojazdových dráh, ktorými disponuje Letisko Praha. V tejto práci sa pracuje s časmi taxovania lietadiel, čiže s časmi, kde strávi lietadlo najviac času na zemi so zapnutými motormi.

Letisko disponuje nasledujúcimi pojazdovými dráhami s označením:

TWY: **A, A1, B, B1, B2, C, D, E, F, G, H, H1, J, K, L, M, N, P, R, RR, S, Z.** Pre lepšiu orientáciu a umiestnenie v perimetri letiska je priložená mapa pojazdových dráh. V závislosti na používanej vzletovo - pristávacej dráhe sa líšia aj pojazdové trasy lietadiel a tým sa líši aj doba taxovania lietadiel. [14]

2.4.1 Taxovanie

Taxovanie lietadiel s využitím vlastných motorov je povolené iba na pohybovej ploche letiska. Taxovanie mimo pohybovú plochu letiska je zakázané.

2.4.2 Riadenie lietadiel pohybujúcich sa na pohybovej ploche

Na stojánkach 1 až 7, 9 až 24 a 26 až 31 sa neposkytuje služba riadenia. Lietadlam je poskytnutá služba riadenia v mieste státia v prípade poruchy Visual Docking Guidance System alebo na vyžiadanie. Na stojánkach 25, 50 až 75 a E1 až E7 sa lietadla vozidlom FOLLOW ME nezavádzajú a bude im poskytnutá služba riadenia v mieste státia.

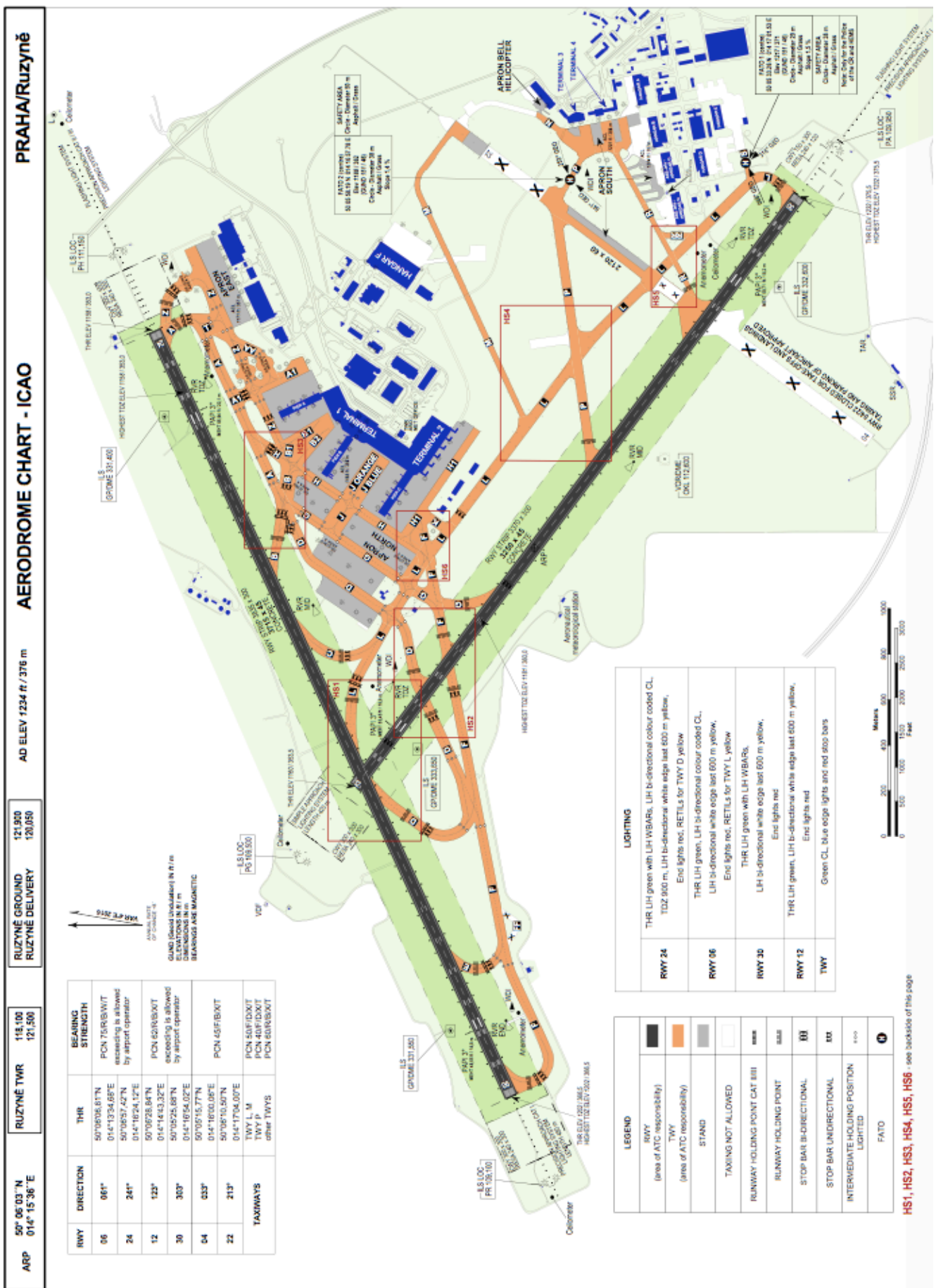
Vjazd lietadla na stojánku s vlastným pohonom je povolený iba za predpokladu, že Visual Guidance System je v prevádzke, ale je na stojánke prítomná služba riadenia.

V prípade prevádzky za nízkej dohľadnosti musia lietadla po pristátí zastaviť pred vjazdom na odbavovaciu plochu na príslušnej TWY a vyčkať na vozidlo FOLLOW ME, ktorým budú zavedené na príslušnú stojánku a bude im poskytnutá služba riadenia v mieste stojánky.

Služba riadenia lietadiel na odbavovacej ploche pri výjazde zo stojánky je poskytnutá iba na vyžiadanie.

Počas taxovania po odbavovacej ploche zodpovedá veliteľ lietadla sám za zabránenie stretu s inými lietadlami, vozidlami, osobami alebo predmetmi.

Z dôvodu zvýšenia priepustnosti odbavovacích plôch SEVER je prevádzkovateľ letiska (Letisko Praha, a.s.) oprávnený nariadiť uvoľnenie stojánky a pretiahnutie lietadla na im určenú náhradnú odstavnú / odbavovaciu stojánku v prípadoch, kedy doba státia lietadla na odbavovacej ploche prekročí 180 minút.^[14]



(10) Pojazdové plochy na Letiska Václava Havla [4]

2.5 Spolupráca Letiska Praha a spoločnosti WheelTug

Letisko Praha sa stalo prvým letiskom na svete, ktoré podporuje vývoj novej technológie ,ktorá umožňuje lietadlám používať pri taxovaní medzi terminálom a vzletovo – pristávacími dráhami zabudované elektrické motory. Nový systém WheelTug má podľa očakávaní znížiť emisie lietadla, spotrebu paliva a úroveň hluku na letiskách. Ďalej má zvýšiť bezpečnosť, pravidelnosť letov a pohodlie ako pre aerolínie, tak pre cestujúcich.

Medzinárodné letisko Praha, vyhlásené ako Najlepšie letisko strednej a východnej Európy, sa stalo prvým predstaviteľom systému WheelTug v Európe a postavilo sa tak do čela iniciatívy za čistejší vzduch, nižší hluk, vyššiu palivovú hospodárnosť, bezpečnosť a prevádzkovú ekonomickosť na letiskách. Systém WheelTug bol navrhnutý tak, aby umožňoval zníženie spotreby paliva a emisií CO₂ pri taxovaní o 66% a aby došlo k zníženiu uhl'ovodíkových emisií o 75% za jeden letový cyklus.

Na základe dohody medzi Letiskom Praha, a.s., prevádzkovateľom pražského letiska, a WheelTug pls, spoločnosti vyvíjajúcej systém WheelTug, bude Letisko Praha, a.s. aktívne prispievať podporou vývoja systému WheelTug pri jeho testovaní a certifikácii. Táto podpora zahŕňa všetku potrebnú súčinnosť, sprostredkovanie spolupráce medzi spoločnosťou WheelTug a inými organizáciami na letisku vrátane poskytovateľov služieb pre odbavovanie lietadiel a riadenie letovej prevádzky. Tým Prague Airport Consulting so spoločnosťou WheelTug zároveň spolupracuje na úprave súčasných prevádzkových postupov , kontrolných zoznamoch (checklistoch) a prevádzkových poriadkoch s cieľom maximálne využiť výhody systému WheelTug v Prahe a na iných letiskách. [16]

2.6 Postupy pre obmedzenie hluku

Ako bolo spomenuté, systém WheelTug do značnej miery ovplyvňuje aj hlukové požiadavky kladené na prevádzku lietadiel. V nasledujúcej časti sú uvedené podmienky, ktoré platia na prevádzku lietadiel na Letisku Praha. Zároveň text pojednáva o časových možnostiach odletu lietadiel. Z pohľadu využiteľnosti systému WheelTug to znamená, že ako náhle prestanú platiť hlukové obmedzenia na letisku, lietadlo už na pozemnej dráhe vie byť pripravené k naštartovaniu motorov a odletu. Tým pádom by sa vedel odlet prvého ranného lietadla dňa posunúť viac k časovej hranici obmedzenia. Eliminovalo by sa tak strácanie času potrebného k prvému rannému odletu. Tým pádom, by dané lietadlo malo k dispozícii extra čas pre svoj denný plán.

Lietadla certifikované podľa ICAO Annex 16/I, časť II, Hlava 2 alebo lietadla bez certifikácie podľa ICAO Annex 16/I, časť II – vzlety a pristátia nie sú povolené.

Prúdové lietadla certifikované podľa ICAO Annex 16/I, časť II, Hlava 3 a 4 a vrtulové lietadla certifikované podľa ICAO Annex 16/I, časť II, Hlava 5.

Vzlety a pristátia lietadiel s MTOW väčšiou ako 45 ton s výnimkou lietadiel, ktoré boli zaradené do Bonus listu, nie sú v dobe od 2100 (2000) do 05(0400) povolené.

Pre lietadlá zaradené do Bonus listu sú v dobe od 2100 (2000) do 0500 (0400) povolené vzlety a pristátia iba v rozsahu stanovenej hlukovej kvóty pre nočnú prevádzku.

Vzlety a pristátia lietadiel s MTOW menšiou alebo rovnou 45 ton, sú v dobe od 2100 (2000) do 0500 (0400) povolené iba v rozsahu stanovenej hlukovej kvóty pre nočnú prevádzku, s podmienkou, že budú splňovať zaradenie do hlukovej kategórie 1 alebo 2. Výnimku pre lietadla hlukovej kategórie 1 a 2, ktoré nie sú zaradené v Bonus liste môžu, na základe žiadosti prevádzkovateľa lietadla, udeliť iba prevádzkovateľ letiska.^[14]

BONUS LIST: (lietadla podľa IATA kódov) 141, 142, 143, 146, 14F, 14X, 14Y, 14Z, 318, 319, 320, 321, 32A, 32B, 32C, 32D, 332, 333, 342, 343, 345, 346, 359, 380, 733, 734, 735, 736, 738, 739, 73C, 73E, 73G, 73H, 73J, 73W, 74H, 74N, 752, 753, 75M, 75T, 75W, 763, 764, 76W, 772, 773, 77L, 77W, 783, 788, 789, AB6, AR1, AR7, AR8, ARJ, CCX (iba jedna verzia nad 45t MTOW), E90, E95, GJ6.

Oneskorené vzlety a pristátia lietadiel sú povolené do 2200 (2100).

3 Cieľ diplomovej práce

V mojej diplomovej práci by som sa chcel zamerať na prípadné zavedenie systému WheelTug do každodennej prevádzky lietadiel vybraných leteckých spoločností. Za modelové letisko som si zvolil Letisko Václava Havla Praha, kde boli všetky potrebné dáta na štúdiu merané.

Cieľom tejto práce je teoreticky určiť, koľko by bolo možné ušetriť z hľadiska časových a finančných prostriedkov, ak by sa jednotlivé letecké spoločnosti rozhodli pre využívanie samotného systému WheelTug pre Letisko Václava Havla, a zároveň, či by bolo možné navýšiť kapacitu parkovacích stojánok na letisku.

Zbierané dáta boli na úzkotrupých lietadlách pre ktoré je systém navrhnutý, primárne lietadlá typu Airbus A320 family a Boeing B737.

Celé meranie sa uskutočnilo v časovom rozmedzí júl- september 2016, čiže počas letenej prevádzkovej špičky, kedy je letisko najviac vyťažné.

Celá práca je čisto teoretická, nakoľko daný systém je v štádiu testovania a certifikácie. V reálnej leteckej prevádzke sa ešte nepoužíva. Všetky kalkulácie ušetreného času a finančných prostriedkov sú podložené na základe informácií od samotného výrobcu. I keď sa jedná zatiaľ iba čisto o teoretickú štúdiu, práve prebieha jedna z posledných fáz certifikácie a čoskoro sa daný systém začne využívať v reálnej prevádzke.

4 Stratégia využívania systému WheelTug

Koncepcia spoločnosti WheelTug je založená na poskytovaní systému leteckému prepravcovi formou operatívneho leasingu.

Táto koncepcia je navrhnutá systémom, ktorý je výhodný ako pre samotného výrobcu systému, tak pre používateľa, čiže leteckého prepravcu.

4.1 Koncepcia operatívneho leasingu WheelTug

Letecká doprava je odvetvie, ktoré je veľmi úzko previazané so štatistikou, predikciami a analýzami. Rovnako je to aj v prípade systému WheelTug.

Pred samotným uzatvorením kontraktu s leteckou spoločnosťou sa uskutočňujú rokovania s leteckým prepravcom (potencionálnym záujemcom o systém) a sú uskutočnené analýzy.

Letecký prepravca poskytne spoločnosti WheelTug svoje časové dáta z vybraných letísk, pre ktoré by chcel aplikovať flotilu vybavenú týmto systémom.

Tieto časové dáta zahŕňajú informácie, ktoré som analyzoval aj v mojej diplomovej práci a sú to: čas potrebný na taxi - in k danej stojánke, čas taxi - out zo stojánky, časové zdržanie spôsobené manipuláciou push-back mechanizácie a iné (v zimnom období čas strávený na odmrázovacej stojánke).

Následne sa z týchto dát vypracováva finančná kalkulácia, kde sa priamo premietne, koľko samotné fázy finančne stáli leteckého prepravcu.

Spoločnosť a samotný systém WheelTug je založená na princípe, že poskytuje systém za odplatu polovice kalkulovaných nákladov. Avšak nie je to záväzné, ako môže stručný popis naznačovať. Keďže sa jedná iba o odhad pre letiská, kam by daná spoločnosť plánovala lietať. V skutočnej prevádzke sa však flotila musí využívať flexibilne a operatívne. To znamená, že lietadlo so systémom WheelTug môže lietať aj na iné letiská, pre ktoré nebola kalkulácie predikovaná.

Pre tento prípad je celý systém prepojený so systémom GPS, ktorý presne a v reálnom čase sleduje využívanie systému WheelTug. To znamená, že sa v zúčtovacom období fakturuje leteckému prepravcovi iba reálna prevádzka systému WheelTug, kde minutová sadzba pochádza z dohodnutých cien vypočítaných pri prvotnej kalkulácii.

Rovnako, ak sa letecký prepravca rozhodne daný systém nevyužívať z určitých dôvodov, nie je mu účtované využívanie systému.

O veľkom potenciále daného systému hovorí aj samotné množstvo zákazníkov, ktorý podpísali zmluvu o spolupráci so systémom WheelTug. Medzi leteckých prepravcov, ktorí sa rozhodli pre využívanie systému WheelTug patria napríklad KLM, AirBerlin, Al Italia, El Al, Icelandair a iné. [11]

4.2 Investície spojené so systémom WheelTug

Ako bolo spomenuté v predchádzajúcej kapitole, celý systém WheelTug je riešený systémom operatívneho leasingu. To znamená, že vstupné náklady pre prepravcu sú nulové. Finančnou investíciou pre leteckého prepravcu je iba údržba systému – line maintenance, ktorá zahŕňa aj výmenu kolesa pri výmene pneumatiky. To je však normálna súčasť údržby. Naopak samotný systém prináša finančné úspory pre leteckých prepravcov. Či už z hľadiska ušetreného času, nákladov na spotrebované palivo, poplatky za pozemné odbavenie, ale aj z hľadiska technickej úspory pre určité časti lietadla.

5 Vyhodnotenie dát získaných z meraní

Dáta na vytvorenie tejto diplomovej práce boli merané na **Letisku Václava Havla v Prahe** v časovom období **jún až september 2016** na vzorke 70 lietadiel. Merané dáta boli v bežnej prevádzke. Pri niektorých dátach je možné, že boli časové údaje málo skreslené, bola snaha zaznamenať sled postupov, ktoré nasledujú v rýchlom čase po sebe. Preto je možné, že v niektorých časových záznamoch sa vyskytujú menšie časové odchýlky od skutočnosti. Pre popísanie a vyhodnotenie našich dát, tieto časové odchýlky však neznamenia markantný význam a neovplyňujú relevantnosť dát.

V dátach, ktoré sú súčasťou tejto diplomovej práce, je možné nájsť nasledujúce informácie: označenie použitej parkovacej stojánky, čas pristátia lietadla, čas dorazenia na stojánku a vypnutie beaconu lietadla, zapnutie beaconu lietadla, odpojenie ťahača push back, samotný pohyb lietadla vpred, vzlet lietadla. Okrem iného sú zaznamenané aj registrácie lietadiel, pre ktoré boli dáta merané a aj označenie dráhy na ktorú pristávali a odlietali. Vo všetkých meraných prípadoch bolo označenie dráhy pre pristátie a vzlet totožné.

5.1 Metóda merania dát

Dáta, ktoré slúžili ako podkladový materiál na túto prácu boli merané na Letisku Václava Havla v Prahe. Meraným obdobím boli mesiace jún až september 2016.

Všetky dáta, ktoré boli použité ako podklad boli merané pomocou pracovníka pozemného odbavenia handling agenta resp. Turnaround Coordinators (TCO). Tento pracovník zaznamenal všetky potrebné časy do pripraveného formulára. Všetky časy boli zaznamenávané ručne, takže mohlo nastať niekoľko odchýliek od skutočného času, kedy bol daný úkon vykonaný.

TCO bol oboznámený so všetkými časmi, ktoré sú potrebné pre vypracovania daných podkladov pre túto prácu. Rovnako mu bolo vysvetlené, čo dané pole v dodanom formuláre znamenajú, nakoľko sa jednalo o množstvo dát. Ten potvrdil, že daným údajom rozumie. Formulár pre zaznamenávanie údajov (vzor) je súčasťou diplomovej práce, rovnako ako spracované merané údaje v elektronickej podobe. Rovnako bol

TCO poučený, na ktoré typy lietadiel je potrebné sa zamerať. Jednalo sa o úzkotrupé lietadlá, nakoľko systém WheelTug je primárne navrhnutý na tento typ lietadiel. Rovnako som sa snažil zadať kritérium nízkonákladového prepravcu, pretože práve tento typ prepravcov je kľúčový typ zákazníka. V tejto práci však boli zachytené aj lietadlá bežných prepravcov. Medzi najčastejšie sa vyskytujúci prepravcov v tejto práci patria (EasyJet, Travel Service, Eurowings, WizzAir), okrem týchto prepravcov je možné podľa registrácie lietadiel aj vidieť lietadlá spoločnosti British Airways, El Al a iné.

Typy lietadiel na ktorých boli merané dáta:

Boeing: 717- 200, 737-300, 737-500, 737-800, 737-900

Airbus A319, A320

Rovnako je za potreby uviesť typy parkovacích stojánok na ktorých boli údaje získavané. Jednalo sa o stojánky ktoré boli pri budove terminálu, kde lietadla boli odbavované za pomoci nástupného mostu. Takáto stojánka je rovnako aj označovaná ako stojánka Nose In, kde pre zaparkovanie lietadla konkrétne na letisku Praha slúži dockovací navádzací systém.



(11) Parkovacia stojánka s nástupným mostom [5]

Okrem stojánok pri budove terminálu boli merané údaje aj na odlúčených stojánkach a to konkrétne stojánkach **52, 53 a 57**. Tieto stojánky boli použité viackrát. Merané údaje na týchto stojánkach sú aj farebne odližené v nameraných dátach, nakoľko niektoré časové údaje neboli aplikované. Lietadlo nebolo potrebné z tejto parkovacej stojánky vystlačiť za pomoci mechanizačného prostriedku push back, ale lietadlo vyšlo samo, za pomoci motorov, nakoľko sa mohlo pohybovať aj vpred (nebránila tomu budova terminálu)



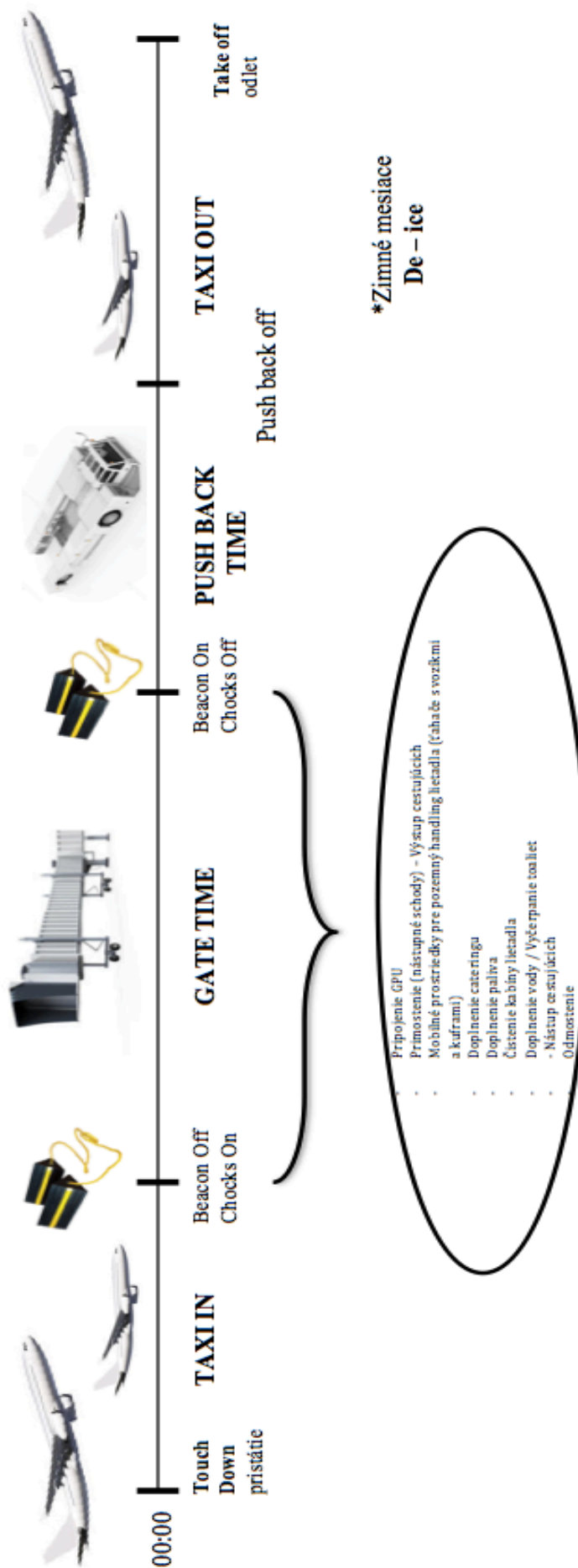
(12) Odlúčená parkovacia stojánka (foto: autor)

Okrem iného je nutné aj podotknúť, že práve tieto stojánky v celkovom priemere časov znížili výslednú hodnotu niektorých meraní. V týchto prípadoch bol čas push back vždy nulovej hodnoty. Nebolo potrebné využitie tohoto manipulačného prostriedku.

Všetky kalkulácie, ktoré boli uskutočnené v tejto práci počítali s využitím systému WheelTug pre najjednoduchšiu verziu použitia systému a to WheelBack.

Preto sú časové úspory skôr rezervovanejšie ako zbytočne optimistické.

Bola však vypracovaná aj štúdia, či by bolo možné na Letisku Václava Havla možné aplikovať spôsob odbavovania systémom Twist. Z tejto štúdie vyplynulo, že na tento systém odbavenie sú vhodné iba parkovacie stojánky na Terminále 1. To by však znamenalo podľa koncepcie letiska, že by tu mohli byť odbavované iba lety mimo Schengenský priestor. To by bol dosť obmedzujúci faktor. Zároveň je potrebné si uvedomiť, že ak by sa to aplikovalo na Letisku Václava Havla, lietadlo by zabralo dva odletové východy, čo by na jednej strane síce urýchlilo rýchlosť odbavenie cestujúcich, ale na druhej strane by to zredukovalo kapacitu parkovacích stojánok z dvoch na jednu.



Obrázok lietadla: <http://cdn.xl.thumbs.canstockphoto.com/canstock5847410.jpg>

špalky: http://www.northernrtool.com/images/product/2000x2000/293/29370_2000x2000.jpg

push back : <https://thumbs.dreamstime.com/z/airport-tow-truck-isolated-white-background-d-render-38804388.jpg>

jet bridge: <http://cdn.xl.thumbs.canstockphoto.com/canstock19904387.jpg>

(13) Znáozornenie procesu odbavenia lietadla [6]

5.2 Čas Taxi – in

Tento čas, je časový interval od pristátia lietadla až po zaparkovanie na stojánke a vypnutie samotného beaconu lietadla. Pohyboval sa v časovom rozmedzí **3 až 10 minút**. Tento čas bol meraný pre pristátie zo všetkých smerov na obe dráhy **06 – 24** a **12 – 30**. Musíme zohľadniť aj vybranú pojazdovú trasu lietadla a parkovaciú stojánku ku ktorej muselo lietadlo dotaxovať. Priemerný čas pre naše merané dáta činí **5 minút**. Tento čas samotný systém WheelTug neovplyvní. Čo však ovplyvní systém WheelTug, je čas, kedy môže byť zahájené samotné pozemné odbavovanie lietadla.

Po zaparkovaní lietadla na stojánke je potrebné počkať určitý čas, približne 15 až 30 sekund, aby mohol začať proces pozemného odbavovania. Je to z dôvodu zachovania bezpečnosti pracovníkov a rovnako aby nedošlo k nasatiu cudzích predmetov do vypínajúcich sa motorov. Pri systéme WheelTug, lietadlo prichádza na parkovaciú stojánku už s vypnutými motormi, čiže nevzniká žiadne časová strata a rovnako ani nebezpečenstvo pre pracovníkov i lietadlo.

5.3 Čas na stojánke

Nakoľko merané dáta boli uskutočnené pri rôznych leteckých spoločnostiach, tento čas sa líšil. Každá letecká spoločnosť má nastavenú inú dobu, za ktorú musí lietadlo opätovne opustiť parkovaciú stojánku. V niektorých prípadoch bol tento čas predĺžený aj z dôvodu technickej poruchy na lietadle a nutnosti zásahu technikov na odstránenie závady.

Priemerný čas lietadla strávený na stojánke činí **1 hodinu a 6 minút**, avšak vo väčšine prípadov sa tento čas pohyboval okolo hodnoty **45 minút**. Sú však letecké spoločnosti, ktoré majú tento čas nastavený ešte nižšie a to na hodnotu 30 minút.

Tento čas je priamo ovplyvnený aj rýchlosťou nastupovania a vystupovania cestujúcich. Čiže schopnosťou pozemného personálu uskutočniť nástup cestujúcich

do lietadla. Niekedy sa tento čas predĺži z dôvodu nadmerného počtu kufrov, ktoré musia byť dodatočne doobavené do batožinového priestoru lietadla, ale nutnosťou vyloženie kufrov cestujúcich, ktorí sa nestihli dostaviť do odletového východu v čas. Tento proces je nutný k zachovaniu bezpečnosti leteckej prepravy a súvisí s rekonziliáciou batožiny s cestujúcimi. Zjednodušene povedané, kufor bez svojho majiteľa nemôže letieť.

5.4 Čas Push – backu

Práve tento čas ma významný vplyv na efektivitu systému WheelTug. Pri tomto časovom úseku vie systém WheelTug ušetriť významnú časť potrebného času.

Jedná sa konkrétne o čas od zapnutia beaconu lietadla až po odpojenie mechanizačného prostriedku.

Práve v tejto časti by som chcel zmieniť, že na Letisku Václava Havla Praha ešte nie je situácia tak vážna, že by sa vyskytol nedostatok mechanizačných prostriedkov na push – back lietadla, ale na veľkých svetových letiskách (JFK, Frankfurt nad Mohanom) sa tento jav už vyskytuje. Znamená to ďalšiu časovú stratu pre samotné lietadlo, kedy všetko je pripravené, ale lietadlo nie je schopné opustiť stojánku, lebo nedisponuje mechanizačným prostriedkom, ktorý by bol schopný ho vytlačiť z parkovacej stojánky.

Nakoľko zbierané dáta boli merané aj na odlúčených stojánkach od budovy terminálu, tento čas má široké rozpätie. Lietadla odstavené na týchto parkovacích stojánkach nepotrebujú mechanizačný prostriedok na vytlačenie, takže sú schopné opustiť stojánku v podstatne kratšom čase ako lietadla na stojánkach pri budove samotného terminálu. Preto tieto časy sa pohybujú v časovom rozmädzí od necelej

1 minúty po 4 minúty.

5.5 Čas Taxi – Out

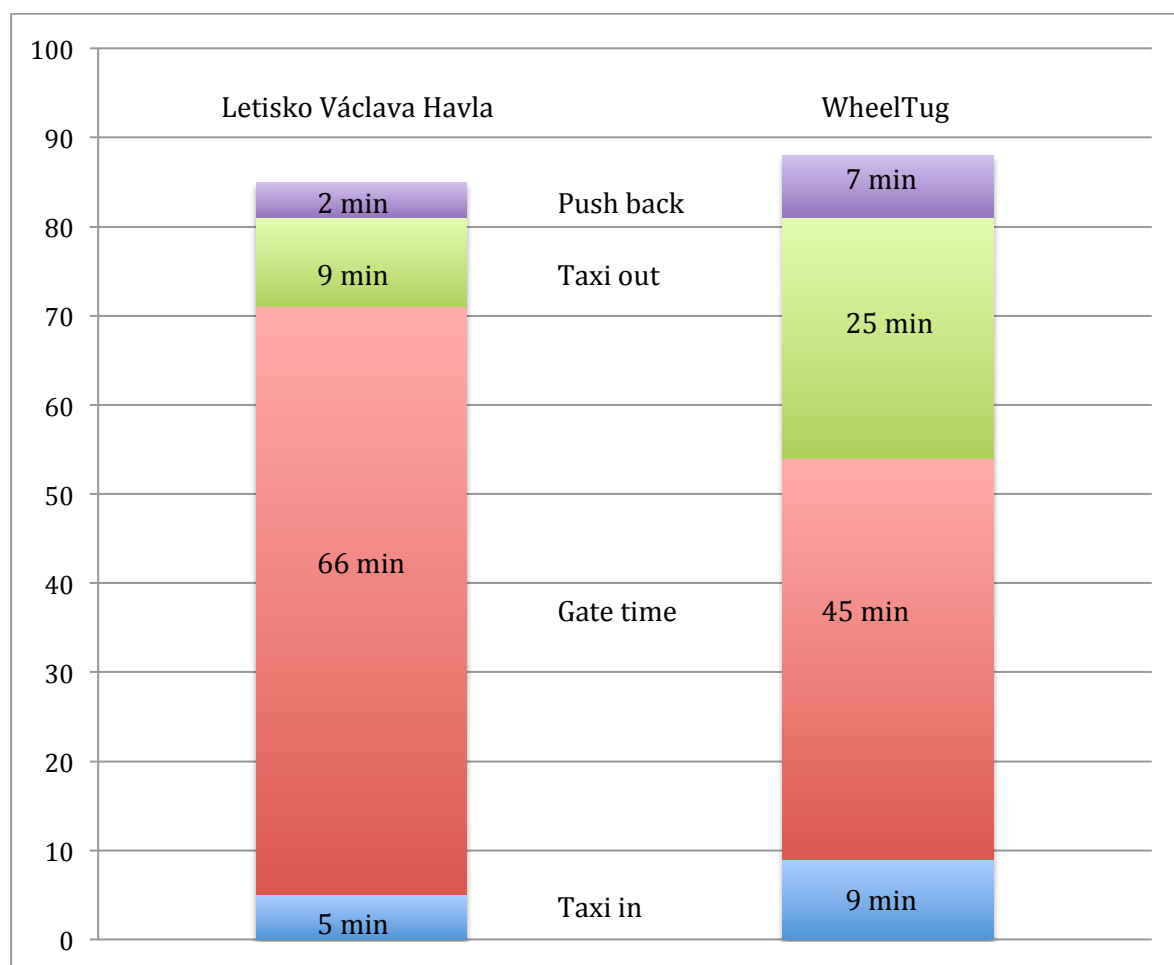
Tento čas je meraný od zapnutia beaconu lietadla až po vstup lietadla na vzletovo – pristávaciu dráhu a zahájenie vzletu. V tomto čase je zahrnutý aj čas push backu. Preto je čas taxi – out dlhší ako čas taxi – in. Práve rozdiel týchto časov nám môže názorne ukázať ako sa odzrkadluje vytlačovanie lietadla z parkovacej stojánky mechanizačným prostriedkom na časovej dobe potrebnej na odlet. V meraných dátach sa vyskytuje časové rozmädzie od **5 minút** po **19 minút**. Časový prímer meraných dát činí **9 minút**. Samozrejme rovnako ako čas taxi- in, tak aj čas taxi – out je ovplyvnený parkovacíou stojankou, kde bolo lietadlo zaparkované, ale konkrétne pre Letisko Václava Havla sa tieto časy líšia len veľmi málo. Ako je možné vidieť časový interval okolo 5 minút je spôsobený hlavne dátami lietadiel zaparkovanými na vzdialených parkovacích státiach, kde nebola potrebná mechanizačná technika push - back na vytlačenie lietadla.

Do tohoto času sa nám premieta aj časová doba dňa, kedy lietadlo odlietalo. Nakoľko v špičkových časoch, keď je plánovaných veľa odletov, dochádza k vytvoreniu poradia lietadiel na odlet na pojazdových dráhach a tým sa predlžuje aj taxi – out čas.

Taxi out môže byť za pomoci jedného motoru, alebo oboch. Avšak po naštartovaní motoru musí byť uskutočnené ešte zahriatie motorov a check listy. Samotné zahrievanie motorov trvá približne rovnako ako chladenie 3 minúty a pre prvý let lietadla v daný deň asi o jednu minútu dlhšie.

Ďalšiou výhodou pri vytlačovaní lietadla za pomoci využitia systému WheelTug je, že za samotným lietadlom sa nevyskytuje jetblast, čiže výfukové plyny z motorov. Tieto výfukové plyny znemožňujú zaradenie ďalšieho lietadla v tesnej blízkosti za vytlačované lietadlo, a zároveň môžu spôsobiť zranenie pre pracovníkov na odbavovacej ploche letiska. Aj samotné zranenie prináša negatívny finančný vplyv.

5.6 Porovnanie situácie na Letisku Václava Havla a výrobcu bez systému WheelTug



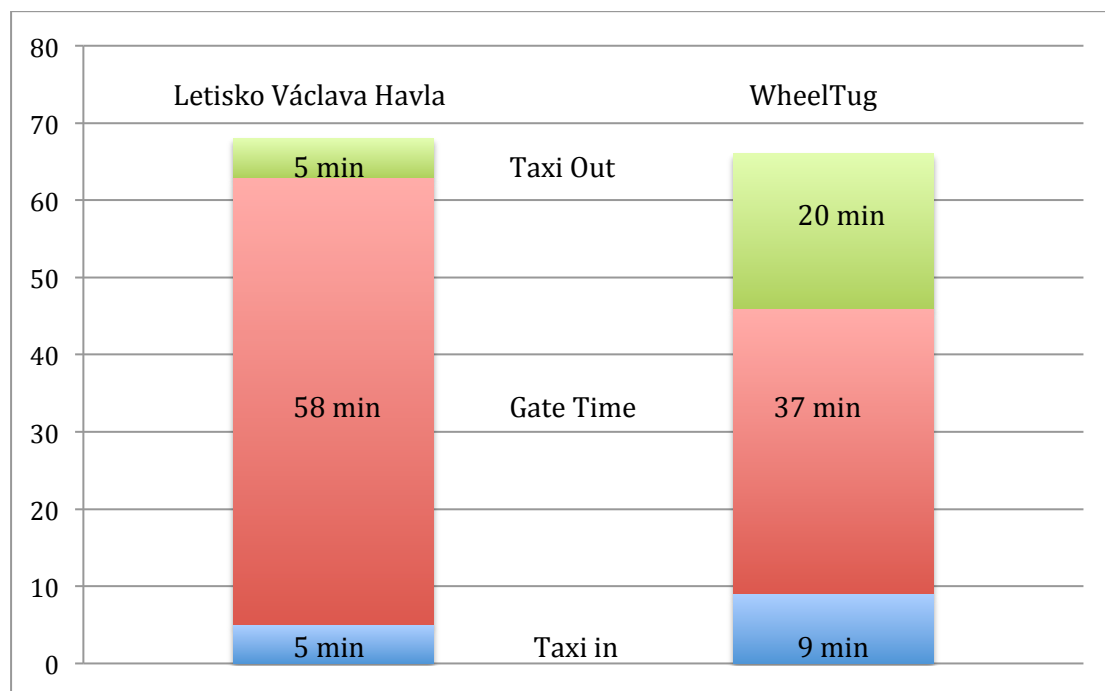
(04) Porovnanie potrebnej doby pre systém WheelTug [1,]

Ako je možné vidieť z grafu, dáta namerané na Letisku Václava Havla Praha a dáta poskytnuté od samotného výrobcu WheelTug (časový prímer z letísk v USA) sa líšia hlavne v oblasti času stráveného na parkovacej stojánke. Tento rozdiel je spôsobený hlavne širokým spektrom leteckých prepravcov, na ktorých boli dáta merané a samozrejme už vyššie spomenutými technickými poruchami na určitých lietadlách, ktoré boli odbavované.

Porovnanie výrobcu WheelTug vychádza z prímeru amerických letísk kde bolo uskutočnené merania.

Kalkulácie pre LVHP pochádzajú z dát meraných pre túto prácu

5.7 Modelové porovnanie situácie na Letisku Václava Havla a výrobcu s využitím WheelTug



(05) Porovnanie potrebnej doby pre systém WheelTug [1,6]

Ako je možné vidieť z grafu (05), najviditeľnejšou časovou úsporou oproti grafu (04) je odstránenie času potrebného na vytlačenie lietadla za pomoci mechanizácie push back. Kalkulácie sú len teoretické uskutočnené na základe podkladov výrobcu. Ak by sme aplikovali tento systém na Letisko Václava Havla v Prahe, boli by sme schopní len na tomto kroku ušetriť v priemere **2 minúty**. Nejedná sa o veľké číslo, ale ak urobíme predikciu pre celý rok, vieme ušetriť významnú časť finančných prostriedkov. Musíme však brať do úvahy aj veľkosť letiska a samotnú vybavenosť handlingových spoločností. V Prahe momentálne nie je situácia v takom stave, že by handlingové spoločnosti nedisponovali dostatočným počtom mechanizačných prostriedkov.

Porovnanie výrobcu WheelTug vychádza z prímeru amerických letísk kde bolo uskutočnené merania. Kalkulácie pre LVHP pochádzajú z dát meraných pre túto prácu

5.8 Lietadlo na LVHP bez využitia a s využitím systému WheelTug



(06) Situácia na Letisku Václava Havla pre využitie systému WheelTug [6]

Na tomto grafe (06) sú porovnané jednotlivé časy, ako by za pomoci systému WheelTug bolo možné ušetriť čas pre odbavované lietadlo. Ako je možné vidieť, hlavnou zložkou, ktorá sa nám odstráni, je čas potrebný na push back. Rovnako je vidieť aj časová úspora pri taxi out a času strávenom v gate. Čas ušetrený na taxi out je hlavne z dôvodu, že potrebné checklisty pre naštartovanie a kontrolu motorov sa môžu uskutočňovať už počas samotného taxovania lietadla. Piloti tak nemusia čakať na uskutočnenie všetkých kontrolných bodov po odpojení mechanizácie push back. V prípade že by nastal určitý problém s motorom, lietadlo sa jednoducho môže vrátiť na parkovacu stojánku a vyriešiť vzniknutú technickú závadu. Nakoľko systém WheelTug poskytuje až tri možnosti pozemného odbavenie v tejto práci sa jedná o porovnanie klasického konvenčného odbavenie lietadla a prípadové odbavenie lietadla vybevného systémom Wheeltug. Odbavenie uskutočnené pomocou

systemu WheelTug by bolo za pomoci Wheelback manipulácie, ktorej princíp je popísaný v kapitole 1.1.1

5.9 Možnosť navýšenia kapacity parkovacích stojánok

Ak by sme obsluhovali na určitých stojánkach iba lietadlá, ktoré by boli vybavené systémom WheelTug a využívali tento systém, bolo by možné navýšiť aj kapacitu parkovacích stání. Jedná sa iba o čisto teoretický výpočet za predpokladu **24 hodinovej prevádzky** letiska. Letisko z dôvodu hlukových obmedzení však neodbavuje lety neobmedzene. Preto je nutné výsledné číslo získané kalkuláciou zredukovať.

Pri našom primerenom čase strávenom na parkovacej stojánke, ktorý činí **66 minút**, by bolo letisko schopné odbaviť na jednej stojánke približne **21 lietadiel**. Ak by tieto lietadla boli vybavené systémom WheelTug, boli by sme schopní ušetriť iba čisto na Čase strávenom na stojánke **8 minút** na každom lietadle.

Týchto ušetrených 8 minút by nám vedelo priniesť možnosť umiestnenia ďalších **3 lietadiel za jeden deň**. Nakoľko sa však jedná o prevádzku s obmedzenou možnosťou a nie 24 hodinovú nepretržitú prevádzku, predpokladalo by sa iba s **1 extra odbaveným lietadlom** za jeden deň na jednu parkovaciú stojánku. Ak sa to však premietne do celoročného primeru, znamenalo by to až **365 dodatočných odbavených lietadiel** pre jednu parkovaciú stojánku. Toto číslo až tak zanedbateľné nie je.

Keďže sa jedná o štúdiu a reálna prevádzka je aj o náhodných zmenách, toto číslo môže byť aj nižšie. V tejto práci sa totižto predpokladá, že každé lietadlo, ktoré by bolo odbavované na tejto stojánke by bolo vybavené systémom WheelTug, čo v skutočnosti je málo pravdepodobné, aby každé jedno lietadlo bolo vybavené týmto systémom. Jedná sa však o úplnú novinku vo svete letectva a až reálna prevádzka by ukázala skutočné možnosti tohoto systému a reálne dáta.

5.10 Finančné úspory

V tejto časti by som sa chcel zamerať na finančné úspory, ktoré by letecká spoločnosť mohla ušetriť, ak by sa rozhodla pre vybavenie svojej flotily lietadiel so systémom WheelTug. Kalkulácia finančných úspor bude rozdelená na **Úspory úšetrené za taxovnia, Úspory za čas strávený na stojánke a Celkové úspory.**

Pre kalkulácie bol použitý software poskytnutý spoločnosťou WheelTug. Do tohoto systému boli zanesené dáta, ktoré boli získané meraním na Letisku Václava Havla, a zároveň aktuálne ceny leteckého paliva.

Ako je známe, ceny leteckého paliva sú ovplyvňované mnohými vonkajšími faktormi a preto je nemožné urobiť takúto kalkuláciu na dlhú dobu dopredu. Jedná sa o aktuálny stav. Rovnako aj ceny za poskytovanie handlingových služieb sa menia pri každom podpise novej zmluvy medzi leteckou spoločnosťou a handlingovou spoločnosťou. V rámci týchto kalkulácií sa objavia aj nepriame úspory ako úspora za emisie a podobne.

Kalkulácie boli modelované pre leteckú spoločnosť, ktorá by vybavila **30 lietadiel** systémom WheelTug. Všetky hodnoty zobrazené v kalkulácii sú v mene **USD – americký dolár**, nakoľko sa jedná o americkú spoločnosť a je použitý software tejto firmy.

5.10.1 Úspory spojené s taxovaním lietadla

Per Cycle Savings			
	Dual Engine Taxi	Single-Engine Taxi	WheelTug
Taxi Out & Flight (min)			
Average Taxi Time	9	9	9
Dual Engine Time (for warmup)	9	2,75	2,75
Single Engine Time	0	6,25	1
APU Time	0	6,25	6,25
Taxi In (min)			
Average Taxi Time	5	5	5
Dual Engine Time (for cool-down)	5	3	3
Single Engine Time	0	2	0
APU Time	0	2	2
Time Totals			
Average Flight Time (min)	120	120	120
Taxi Dual Engine Time/Cycle (min)	14	5,75	5,75
Taxi Single Engine Time/Cycle (min)	0	8,25	1
Taxi APU Time/Cycle (min)	0	8,25	8,25
Taxi Fuel Burn/Cycle (lbs)	350	294	192
Engine Maintenance			
Engine Taxi Time (min)	28	19,75	12,5
Total Taxi + Flight Engine Time (min)	268	259,75	252,5
Total Engine Time/Year (hours)	7638	7403	7196
Total Cost (USD)			
Taxi Fuel Cost/Cycle	180	151	99
Taxi APU Maintenance Cost/Cycle	0	2	2
Taxi Emissions Cost/Cycle	16	14	9
Total Cost	197	167	110

(07) Kalkulácia úspor pre taxi time [8]

V prvej časti tabuľky je možné vidieť dáta pre čas Taxi – out. Rovnako je táto tabuľka rozdelená aj na tri možnosti taxovania a to na: oba motory, jeden motor, alebo samotný systém WheelTug.

Ako bolo získané z meraní na Letisku Václava Havla, priemerný čas Taxi – out sa pohybuje okolo hodnoty **9 minút**. Ako je možné vidieť, APU je v prevádzke pri taxovaní na jeden motor a rovnako pri taxovaní na systém WheelTug ale aj pri taxovaní na oba motory, avšak hodnoty pre oba motory neovplyvňuje. Pri taxovaní na systém WheelTug, sa jedná o zdroj elektrickej energie pre samotný systém a pri taxovaní na jeden motor o dodávku klimatizácie do lietadla.

Ďalšia časť tabuľky je určená pre čas Taxi – in, ktorý rovnako patrí do jedného leteckého cyklu lietadla (čas medzi zatvorením dverí lietadla na odlet až po otvorenie dverí po pristátí). Pri zbieraní dát a ich následom vyhodnotení, sme získali hodnotu **5 minút** pre priemrný čas Taxi – in na Letisku Václava Havla. Rovnako aj táto hodnota bola zanesená do softwaru pre výpočet nákladov. I keď sa jedná o malé hodnoty ako pre čas Taxi – out a čas Taxi – in, aj tieto malé hodnoty nám vedia ovplyvniť výsledné náklady.

Tretou časťou tabuľky je prehľad času, koľko je potrebného pri dennom nálete 120 hodín. Zároveň je poskytnutý prehľad spotrebovaného paliva na jeden cyklus.

Táto časť nám poskytuje najnázornejšiu predstavu o možnosti úspory, čo sa týka nákladov na palivo. Ako je možné vidieť pri taxovaní na oba motory sa spotreba paliva pohybuje okolo hodnoty **350 libier za cyklus**, zatiaľ čo pri taxovaní na systém WheelTug sa táto hodnota pohybuje len okolo hodnoty **190 libier za cyklus**.

Ďalšiou časťou je hodnota nákladov na údržbu motorov. Tým, že by neboli motory používané na taxovaní, bolo by možné predĺžiť interval kontorly a zároveň ušetriť náklady na údržbu. Konkrétne pre našu kalkuláciu činí táto úspora viac ako 440 hodín za rok .

Pre najjednoduchšiu predstavu o možných úsporach je posledná časť tabuľky kde sú všetky predchádzajúce parametre premenené na finančnú hodnotu. Ako je možné vidieť pre taxovanie na oba motory sa náklady pohybujú okolo hodnoty **197 USD** zatiaľ čo náklady pri taxovaní na systém WheelTug sa pohybujú okolo hodnoty **110 USD**. To znamená úsporu viac ako **87 USD**.

Savings Variables		
	Value	Units
Fuel		
Dual-Engine Fuel Burn/min	25	lbs
Single-Engine Fuel Burn/min	14	lbs
APU Fuel Burn/min	4,2	lbs
Fuel Cost/Gallon	3,50	USD
<i>Fuel Cost/Pound</i>	<i>0,52</i>	<i>USD</i>
Engine Maintenance and Fuel Efficiency		
Engine Maintenance Cost/Block Hour	175	USD
Engine Maintenance Cost/Minute/Engine	1,46	USD
Engine Taxi Maintenance Ratio	100%	
<i>Adj. Maintenance Cost/min Taxi Time</i>	<i>1,46</i>	<i>USD</i>
Fuel efficiency loss over 8 years	4%	
Percent attributable to taxi	80%	
Efficiency loss due to taxi	3,20%	
Annual Loss	0,40%	
Annual fuel usage/engine	3 600 000	USD
Efficiency loss/engine due to year of taxi	14 400	USD
Avg. Years Remaining until Overhaul	4,0	years
Discount Rate	8%	
NPV of efficiency loss	51 510	USD
Average Annual Taxi Minutes	35 910	min
<i>Fuel Efficiency Value/Min</i>	<i>1,43</i>	<i>USD</i>
<i>Total Engine Cost/Min</i>	<i>2,89</i>	<i>USD</i>
Other		
APU Maintenance Costs per Block Hour	15	USD
<i>APU Maintenance Costs per Minute</i>	<i>0,25</i>	<i>USD</i>
CO2 emissions/lb of fuel used	3,1	lbs
Carbon Taxes for CO2 emissions per 1000lbs	15	USD
<i>Emissions cost/lb of fuel used</i>	<i>0,05</i>	<i>USD</i>

(08) Kalkulácia pre taxi time [8]

Ďalšia tabuľka nám ukazuje variabilne úspory ak sa pozrieme na kapitolu úspor spojenú s taxovaním lietadla. Ako bolo spomenuté, cena paliva je jedným z významných faktorov ovplyvňujúcich náklady leteckých spoločností. Pre moju kalkuláciu bola použitá hodnota **3,50 USD/galon**.^[15] Ceny sa pohybujú v súčasnosti aj pod touto hodnotou, ale v niektorých prípadoch môžu byť aj mierne nad. Všetko je spôsobené rozličným daňovým zaťažením v rozličných krajinách sveta.

V prvej časti tabuľky je výpočet spotreby paliva pre spotrebu oboch motorov, jedného motoru a samotného APU za jednu minútu.

Nasledujúca časť pojednáva o cenách spojených s údržbou motorov a palivovou účinnosťou. Hodnoty pre údržbu motorov boli použité od výrobcu WheelTug.

Posledná časť tabuľky sa zaoberá skupinou Iné (Others) náklady/úspory.

V tejto časti sú náklady na údržbu APU a environmentálne poplatky. Tieto environmentálne poplatky zahŕňajú poplatky a dane za emisie CO₂.

5.10.2 Úspory WheelTug pre taxovanie

WheelTug Taxi Time Savings/Cycle (USD)		
vs.	Dual Engine Taxi	Single Engine Taxi
Engine Use Eliminated (minutes)	16	7
Engine Savings	45	21
Fuel Savings	81	52
APU Maintenance	-2	0
Emissions Savings	7	5
Total Savings	131	78

(09) Kalkulácia pre taxovania [8]

V tejto záverečnej tabuľke je porovnané, koľko by bolo možné ušetriť pri použití systému WheelTug v porovnaní s taxovaním na oba motory a na jeden motor.

V tomto prehľade sú zahrnuté obe predchádzajúce tabuľky, čiže ako náklady na palivo, tak aj samotné úspory za údržbu a poplatky za emisie. Pri využití systému WheelTug oproti taxovaniu na oba motory by činila úspora **131 USD** a pri využití systému WheelTug a taxovaniu na jeden motor je úspora **78 USD** na jeden cyklus lietadla.

5.10.3 Odmrazovanie lietadla

Kalkulácia finančných úspor nezahŕňa časovú a finančnú úsporu, ktorá je spojená s odmrávaním lietadla. Táto časť sa však tiež týka skúmaného letiska, pretože v zimných mesiacoch je nutné lietadla odmrázovať.

Ak je lietadlo na stojánke, kde prebieha odmrázovanie, je potrebné, aby malo našarované motory, pretože táto stojánka sa nenachádza pri budove terminálu, ale pred vzletovo – pristávacou dráhou. Lietadlo tam musí prísť samo za využitia motorov, alebo spomínaného systému WheelTug. Ak je už lietadlo na odmrázovacej stojánke, motory sú spustené a pracujú na voľnobeh. To znamená ďalšiu spotrebu paliva. Ak by bol využitý systém WheelTug pre odmrázovanie, motory nemusia byť zapnuté, čiže nie je horzba výfukových plynov a možného zranenia pozemného personálu alebo hrozba nasatia predmetu do motoru. V prevádzke je jedine APU.

Práve čas strávený na odmrázovacej stojánke, ktorý je približne **8 minút**, by hral významnú úlohu pri kalkuláciách využitia systému WheelTug na Letisku Václava Havla.



(14) Lietadlo na odmrázovacej stojánke [7]

5.10.4 Úspory spojené s časom na parkovacej stojánke

Per Cycle Savings		
	Lift Tug	WheelTug Pushback
Time Savings/Cycle		
Engine Spin Down for safety on arrival	2	0
Doors-Open to Doors-Closed	66	66
Wait for Pushback/Marshalling (inc. delay avg.)	2	0
Tug/Towbar Disconnect Time (inc. delays avg.)	2	0
<i>Total Time</i>	72	66
<i>Net Turnaround Time Savings/Cycle</i>		6

(10) Kalkulácie pre čas na stojánke [8]

V tejto časti som sa zamerlal na možnosť úspory času stráveného na parkovacej stojánke. Z dát meraných na Letisku Václava Havla nám vyšiel priemerný čas strávený na stojánke **66 minút**. Ako boli spomenuté v predchádzajúcich kapitolách, jedná sa o pesimistickejší predpoklad času stráveného na parkovacej stojánke. V priemere sa tento čas, hlavne pre nízkonákladové spoločnosti pohybuje v rozsahu 30 – 45 minút, avšak tento systém budú využívať aj iné ako nízkonákladové spoločnosti, ktoré majú tento čas nastavený na približne 60 minút, čo sa blíži času, ktorý bol nameraný.

K tomuto času musíme pripočítať ešte čas potrebný na vychladenie motorov po pristátí, aby bolo možné zahájiť pozemné odbavovanie. Ďalší čas, ktorý je nutné zahrnúť je čas potrebný na odpojenie push – back zariadenia.

Ako bolo odprezentované pre systém WheelTug, tento systém nevyžaduje chladenie motorov na stojánke po pristátí, nakoľko môžu byť vychladené už počas samotného Taxi – in a pozemné odbavovanie môže byť zahájené okamžite po zaparkovaní na parkovacej stojánke. Rovnako tento systém odbreňuje čas potrebný na manipuláciu s mechanizáciou push – back. Lietadlo sa vytlačí samo z parkovacej stojánky a všetky potrebné kontroly motov môžu byť uskutočnené počas taxovania na odletovú dráhu.

Ak by sme aplikovali všetky tieto časové úspory, vedeli by sme pri odbavení jedného lietadla ušetriť čas približne **6 minút**.

Ďalšia finančná hodnota, ktorú musíme zahrnúť je poplatok handlingovej spoločnosti za využitie mechanizácie push – back. Táto suma nie je vôbec zanedbateľnou, pretože sa pohybuje okolo hodnoty **100 USD** za jedno vytlačenie lietadla z parkovacej stojánky. Rovako môže práve nedostatok mechanizačných prostriedkov na niektorých letiskách spôsobiť časovú stratu pre odbavované lietadlo. To by so systémom WheelTug nehrozilo, nakoľko lietadlo vybavené týmto systémom je úplne nezávislé na mechanizačnom prostriedku push – back.

WheelTug Gate Benefits/Cycle (\$)	
Pushback Savings/Cycle	100
Extra Time	8
Fare Benefits/Cycle	531
Personal Injury Savings/Cycle	31
Total	670

(11) Celková kalkulácia pre čas na stojánke [8]

Medzi ďalšie možné náklady, ktoré by bolo možné eliminovať je riziko zranenia pracovníka a tým by bol daný systém schopný ušetriť ďalších **31 USD** na jeden cyklus lietadla.

Ak by sme spravili celkový možný prehľad úšetrených nákladov za čas strávený na parkovacej stojánke, vedeli by sme sa dostať k hodnote **670 USD**.

5.10.5 Celkové finančné úspory

Pre modelovanie finančných úspor som sa rozhodol zadať flotilu 30 lietadiel dopravcu, ktoré by operovali na letisku Václava Havla v Prahe. Pre celkový prehľad boli započítané jednotlivé časti ako úspory spojené s taxovaním, tak úspory spojené s časom stráveným na odbavovacej stojánke. Každá z týchto častí bola podrobnejšie rozpísaná, aké úspory by priniesla. V tomto celkovom prehľade nie je započítaný úžitok získaný pre použitie systému v zimných mesiacoch a využitím na odmrazovanie lietadla.

Summary of Results (USD)				
		Per Cycle	Per Aircraft	Total Fleet
Total Value/Year		850	1 453 686	43 610 566
Overall Variables		Savings Utilization Rates		
Variable	Value	Variable	Value	
Flights/Day	4,75	Captured % of Future Fuel Efficiency	100%	
Days/Year	360	% of WheelTug flights	100%	
Cycles/Year (flights)	1710	% of Twist capable flights	0%	
Fleet Size (aircraft)	30	Current % Single Engine Taxi	0%	
Average Flight Time (min)	3500			
Fuel Cost/Gallon (USD)	3,50			

(12) Celkové finančné úspory pre flotilu [8]

V tejto kalkulácii ako je možné vidieť je predpoklad pre flotilu 30 lietadiel, pričom každé z nich v priemere urobí 4,75 letov denne. Kalkulácia bola na 360 dní v roku s priemerným letovým náletom 3500 hodín (predpokladá sa s kalkuláciou využitia lietadla nízkonákladovým prepravcom). Cena paliva je 3,50 USD/gallon.

Pri tejto kalkulácii je iba využitie systému WheelTug na taxovanie, čo zahŕňa iba cenu paliva spotrebovaného APU. Nebolo počítané s taxovaním na jeden motor a rovnako nebol zahrnutý systém WheelTug Twist, nakoľko letiská nie sú prispôbolené tomuto typu pozemného odbavenia lietadiel.

Samozrejme v reálnej prevádzke by sa tieto lietadla nenachádzali iba na tomto letisku, uskutočňovali by svoje lety aj na Letisko Václava Havla. Ak by sme chceli,

aby všetky tieto lietadla lietali práve z nášho pozorovaného letiska, muselo by toto letisko byť ich bázou. Preto kalkulované zisky by boli viac pesimistické ako odhad.

	/Aircraft/Cycle	/Aircraft/Yr	/Fleet/Yr
Gate Benefits			
Pushback Savings	100	171 000	5 130 000
Time Savings	8	13 359	400 785
Delay Savings	531	908 523	27 255 690
Personal Injury	31	52 500	1 575 000
Gate Benefits Total	670	1 145 382	34 361 475
Taxi Benefits			
Engine Savings	45	76 673	2 300 177
Fuel Savings	81	138 915	4 167 464
APU Maintenance	(2)	(3 527)	(105 806)
CO2 Cost	7	12 532	375 947
Taxi Benefits Total	131	224 593	6 737 781
Other			
Carry Savings (Cost)	(24)	(41 134)	(1 234 021)
Early Morning & Late Night Curfew	48	82 192	2 465 753
Brakes	22	38 400	1 152 000
Maintenance Towing	2	4 253	127 577
Other Total	49	83 710	2 511 310

(13) Celkové úspory času taxi a času na stojánke [8]

V tejto tabuľke je zobrazený prehľad možných úspor času stráveného taxovaním, času stráveného na parkovacej stojánke a iné. Prepočet je pre zadanú modelovanú flotilu 30 lietadiel s približným letovým náletom 3500 leteckých hodín na lietadlo. Rovnako je modelovaná kalkulácia rozdelená na prepočet úspory za jeden cyklus lietadla, jedno lietadlo za rok a celú flotilu za rok.

Už samotné čísla pre jeden cyklus lietadla sú zaujímavé, nehovoriac o prepočtoch pre celú flotilu lietadiel za jeden rok.

Grand Total			
Grand Total Savings	850	1 453 686	43 610 566

(14) Celkový prehľad možných úspor pre jedno lietadlo a flotilu [7]

Ako je možné vidieť celková predpokladaná úspora po zahrnutí všetkých podskupín môže činiť hodnotu ušetrovaných **850 USD/cyklus** na lietadlo a pre celú 30 člennú flotilu by činila ročná úspora viac ako **53 miliónov USD/rok**.

6 Zhodnotenie využitia systému

Systém WheelTug pre elektrické taxovanie lietadiel je určite prínosným systémom pre celý letecký segment, pretože práve toto odvetvie je závislé na nových nápadoch a inováciách. Každá inovácia, ktorá pomáha leteckým prepravcom eliminovať ich náklady, otvára nové možnosti pre samotných cestujúcich. A práve cestujúci, ktorí chcú využívať leteckú dopravu sú zdrojom financií pre letecké spoločnosti. Ak sa pomôže leteckému dopravcovi priniesť nižšie náklady na prevádzku určitej linky, určite vie pomocou cenotvorby prilákať viac potencionálnych cestujúcich. Ako každý systém, aj tento má svoje výhody a nevýhody, ktoré je potrebné analyzovať. Keďže sa jedná o nový produkt na trhu leteckej prepravy, musíme vychádzať iba z predpokladov, pretože až samotná realita ukáže skutočné výhody a nevýhody daného systému.

6.1 Pozitíva systému

Medzi najväčšie pozitíva daného systému patrí jeho financovanie. Ako bolo spomenuté, celá forma financovania je na báze operatívneho leasingu. Vstupné náklady pre leteckého prepravcu sú nulové.

Čo sa týka možnosti navýšenia kapacity parkovacích stojánok, rozhodne by sa zlepšila kapacitná možnosť odbavených lietadiel. Podľa prepočtu by sme vedeli navýšiť kapacitu stojánky, kde by boli odbavované lietadlá vybavené iba systémom WheelTug o **jedno odbavené lietadlo denne na danú stojánku**. Ale opäť je tu faktor, že nie všetky lietadlá by boli vybavené daným systémom. Letisko Václava Havla však v súčasnosti disponuje zatiaľ dostačujúcou kapacitou parkovacích stojánok. Táto situácia by sa však mohla zmeniť s vybudovaním ďalšej vzletovo – pristávacej dráhy. V súčasnosti práve kapacita dráhového systému (ktorá však už často dosahuje svoje maxima) umožňuje držať množstvo odbavovaných lietadiel na únosnej hranici.

Ak by došlo v budúcnosti k vybudovaniu ďalšej vzletovo – pristávacej dráhy na Letisku Václava Havla, určite by sa predĺžili aj doby taxovania lietadiel, a zároveň by sa zefektívnilo využívanie systému elektrického taxovania.

Určite treba medzi veľké pozitívum tohoto systému spomenúť zníženie poškodenia lietadla cudzími predmetmi na zemi tzv. FOD , ktoré často nastáva práve počas taxovania. Rovnako aj zvýšenie bezpečnosti samotných pracovníkov elimináciou výfukových plynov, alebo riziko nasatia do motoru.

Medzi výhody spojené so systémom WheelTug na Letisku Václava Havla by patrilo hlavne zredukovanie nákladov potrebných za pozemné odbavenie lietadiel, kde by vedel letecký prepravca ušetriť na nákladoch spojených za vytlačenie lietadla.

Okrem iného by boli ušetrené náklady spojené s nutnosťou údržby motorov a predĺžením ich životnosti.

Medzi výhody, ktoré ocení každý jeden letecký prepravca je možnosť ušetreného času a redukcia meškania. Práve zredukovaním meškania je schopný letecký prepravca zlepšiť svoje výsledky v časovej výkonnosti (tzv. On Time Performance). Práve tento parameter je kľúčový pre každého prepravcu, nakoľko napomáha v udržaní časového harmonogramu celej flotily lietadiel. Rovnako z pohľadu cestujúcich dokáže práve tento aspekt zlepšiť reputáciu danej firmy.

Ďalšie výhody sú z pohľadu environmentálnej stránky, a to ako z hlučkovej tak emisnej. Pri otázke hlučkovej obmedzenosti, sa prevádzkovateľom využívajúcim systém WheelTug otvára nová možnosť pre odlet lietadla. Nakoľko na Letisku Václava Havla platia hlučkové obmedzenia pre nočnú prevádzku. Prevádzkovateľ by vedel docieľiť odlet svojeho prvého lietadla hneď po uplynutí zákazu, nakoľko by lietadlo vedelo opustiť parkovaciu stojánku a taxovať po pojazdovej dráhe bez pomoci hlavných motorov. Lietadlo by dotaxovalo za pomoci systému ku vzletovo – pristávacej dráhe a tak by sa uskutočnilo spúšťanie motorov tesne pred vzletom.

Na Letisku Václava Havla zatiaľ nie sú vystavený meškaniam spôsobenými nedostatkom mechanizačných prostriedkov, ale na veľkých letiskách kde k tomu už v dnešnej dobe dochádza by mal tento systém nenahraditeľnú časovú úsporu.

Neposlednou a významnou výhodou sú finančné úspory, ktoré podľa kalkulácii by vedeli dosiahnuť viac ako **850 USD** pre lietadlo za jeden cyklus. Tieto prepočty ako bolo spomenuté sú však silo previazané s cenou paliva.

6.2 Negatíva systému

Ako je možné vidieť, z meraní ktoré prebehli, časy na taxovanie lietadiel na skúmanom letisku (Letisko Václava Havla v Prahe) sú pomerne krátke. V primere sa tieto časy pohybujú v intervale **5 - 10 minút**, čo nie je až taká výrazná doba taxovania, ako pri veľkých medzinárodných letiskách (napr. London Heathrow, Frankfurt am Main, JFK) .Avšak táto doba sa navyšuje v zimných mesiacoch z dôvodu nutnosti odmrazovania lietadiel. Práve v tomto prípade by mohol daný systém začať hrať významnú úlohu pri rozhodovaní sa leteckého dopravcu zaviesť daný systém pre lietadla operujúce na tomto letisku.

Medzi ďalšie nevýhody systému patrí jeho doba na trhu. Jedná sa o úplne nový systém v segmente leteckej dopravy a všetky kalkulácie sú založené iba čisto na teoretických podkladoch, rovnako ako v tejto práci. Je preto nutnosť počkať na prvé dáta, kedy bude systém nasadený do reálnej prevádzky.

Záver

V práci je snaha čitateľa oboznámiť s koncepciou novovznikajúceho systému WheelTug. Tento systém slúži na elektrické taxovanie lietadiel a môžeme ho zaradiť medzi jeden zo „zelených“ prostriedkov modernej doby. Vďaka jednotlivým analýzám, ktoré sú zamerané na finančné úspory a rovnako na úspory v oblasti environmentálnej stránky bolo cieľom priniesť názornosť v potenciále využitia tohoto systému. Zároveň pri analýzach boli predpoklady menej optimistické a zdržanlivý pri zadávaní parametrov pre výpočet možných úspor (ako finančných tak kapacitných), aby bola analýza viac prispôbená reálnej prevádzke. Určite je snaha hlavne v leteckej preprave o dodržovanie časových plánov, avšak častokrát je potrebné urobiť určité výnimky. Letecké preprava sa správa v prenesenom slovazmysle ako živý organizmus, do ktorého vstupujú mnohé nepredvídateľné faktory, ktoré však ovplyvňujú dopredu nastavené časové harmonogramy.

V prvej časti som sa snažil priblížiť koncepciu možností pozemného odbavenia lietadla či už klasickým spôsobom, alebo jedným zo spôsobov poskytujúcich systémom WheelTug. Rovnako bola zachytená aj kompozícia systému WheelTug so samotnými komponentami. To malo priniesť do pozornosti jednoduchosť koncepcie samotného systému. V druhej časti je zachytená historická a súčasná situácia na Letisku Václava Havla. Nakoľko sa celé meranie uskutočňovalo práve na tomto letisku, považoval som za potrebu oboznámiť čitateľa aj práve s koncepciou tohoto letiska. Mapy, ktoré sú súčasťou tejto práce poskytujú stručný prehľad o jednotlivých častiach letiska. Rovnako si čitateľ môže na základe týchto máp vytvoriť predstavu o postavení jednotlivých parkovacích stojánok a pojazdových dráh, ktoré k týmto parkovacím stojánkam vedú. Tretia časť je zameraná na skúmaného cieľu diplomovej práce, kde som sa zameril na Využitie systému WheelTug.

Vo štvrej časti tejto diplomovej práce som sa zameril na samotnú koncepciu výrobcu WheelTug a popísania metódy merania. Ako boli získavané jednotlivé dáta merania a kde sa odohrávalo merania. V tejto časti boli popísané aj druhy stojánok na ktorých prebiehalo samotné meranie.

Piata časť tejto diplomovej práce je zameraná na smotnú kalkuláciu finančných úspor a kapacitnej možnosti navýšenia parkovacích stojánok spojených so systémom WheelTug. Všetky kalkulácie spojené s finančnou stránkou systému boli kalkulované

za pomoci softwaru poskytnutého výrobcou WheelTug. Práve za pomoci tohoto softwaru môžu potencionálnemu budúcemu zákazníkovi predstaviť koncepciu možných úspor, a zároveň budúcich poplatkov spojených s využívaním systému WheelTug.

V poslednej šiestej kapitole je zhrnutie predpokladaných výhod a nevýhod využitia daného systému na Letisku Václava Havla, nakoľko pri každom skúmanom vynáleze, alebo koncepcii vynálezu je potrebné priniesť a vyzdvihnúť výhody, ale rovnako aj zdôrazniť možné nevýhody.

Zdroje Obrázkov a Tabuliek:

- [1] Wheeltug: WheelTug webinar [online]. [cit. 2016-06-15]. Dostupné z :
<http://media.wheeltug.com>
- [2] iDnes: [online]. [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: http://praha.idnes.cz/galerie-pred-osmdesati-lety-se-zacalo-stavet-letiste-vaclava-havla-1dd-/metro.aspx?c=A130723_114618_co-se-deje_ava
- [3] Ortofotomapy letiska – *Google earth* [online]. [cit. 2016-06-21]. Dostupné z:
<http://www.google.com/intl/cs/earth/>
- [4] Aeronautical Information Publication (AIP) :AD [online]. [cit. 2016-07-02].
Dostupné z: http://lis.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aip.htm
- [5] Airport stand with jet bridge [online]. [cit. 2016-10-17]. Dostupné z :
<http://media.gettyimages.com/videos/small-passenger-jet-parked-at-airport-stand-with-people-boarding-jet-video-id151832501?s=640x640>
- [7] Aircraft de iceing [online]. [cit. 2016-11-08]. Dostupné z:
http://jakub.visual.cz/foto/letiste4_12_05/DeIce-B737-400-OK-VGZ.jpg
- [8] grafika softwareu spoločnosti WheelTug

Zoznam použitej literatúry:

- [11] Wheeltug [online]. [2016-05-07] dostupné z : <http://www.wheeltug.com>
- [12] ČAPKOVÁ, M. Emise v letecké dopravě, Perner's Contacts, 2009. ISSN: 1801-674X
- [13] Letiště Praha [online]. [2015-06-25] dostupné z: <http://www.prg.aero/cs/o-letisti-praha/tiskove-centrum/tiskove-zpravy/75-let-historie-letiste-praharuzyne-v-cislech/>
- [14] Aeronautical Information Publication (AIP) :AD [online]. [cit. 2016-07-02]. Dostupné z: http://lis.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aip.htm
- [15] Sme [online]. [cit. 2016-10-05] dostupné z : <http://ekonomika.sme.sk/c/4022214/cena-leteckeho-benzinu-klesla-v-usa-o-23-percent.html>
- [16] Letisko Praha [online] [2016-11-25] dostupné z : <http://www.prg.aero/cs/aktuality/aktuality/letiste-praha-podporuje-vyvoj-leteckeho-elektrickeho-pohonneho-systemu-wheeltug/>
- [17] ČAPOKOVÁ, M.: Model provozní efektivity technologie WheelTug. Pardubice : UNIVERZITA PARDUBICE DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA KATEDRA TECHNOLOGIE A ŘÍZENÍ DOPRAVY, 2014. 147 s.

Zoznam príloh:

Príloha A: Tabuľka nameraných hodnôt

Príloha B: Tabuľka na meranie hodnôt