ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Alžběta Medová

VÝVOJ PALUBNÍHO PROSTORU V OSOBNÍ LETECKÉ DOPRAVĚ S DOPADEM NA EKONOMIKU LETU

Diplomová práce

2020

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta dopravní
děkan
Konviktská 20, 110 00 Praha 1

K617 ..... Ústav logistiky a managementu dopravy

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Alžběta Medová

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – LA – Logistika a řízení dopravních procesů

Název tématu (česky): **Vývoj palubního prostoru v osobní letecké dopravě s dopadem na ekonomiku letu**

Název tématu (anglicky): Development of cabin space in civil aviation with impact on flight economy

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Popis palubního prostoru v závislosti na úrovni poskytovaných služeb
- Historický vývoj palubního prostoru v osobní letecké dopravě
- Detailní analýza sedadel: velikost; materiály; comfort; technologie
- Ekonomicko-matematický model ekonomického výsledku letu v závislosti na rozmístění sedadel
- Nové trendy v palubním uspořádání letadel pro osobní leteckou dopravu

ČVUT FD

Rozsah grafických prací: podle charakteru tématu diplomové práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury:
Pruša, J. a kolektiv: Svět letecké dopravy, Galileo CEE Service ČR s.r.o., 2007

Bína, L., Šourek, D., Žihla, Z.: Letecká doprava II., VŠO, 2007

Plevný, M.: Modelování a optimalizace v manažerském rozhodování, ZČU, 2005

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petra Skolilová**

Datum zadání diplomové práce: **29. června 2019**
(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: **18. května 2020**
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

L. S.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE Fakulta dopravní

doc. Ing. Tomáš Horák, Ph.D.
vedoucí
Ústavu logistiky a managementu dopravy

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

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Alžběta Medová
jméno a podpis studenta

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí mé diplomové práce paní Ing. Petře Skolilové Ph.D. za odborné vedení práce a cenné rady při konzultacích, které mi pomohly při zpracování. Dále patří poděkování mé rodině a blízkým přátelům za podporu, kterou mi po celou dobu studií, a především v době zpracování diplomové práce poskytovali.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou 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 dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání 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 16.5.2020 .....

Podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

VÝVOJ PALUBNÍHO PROSTORU V OSOBNÍ LETECKÉ DOPRAVĚ S DOPADEM NA EKONOMIKU LETU

Diplomová práce

2020

Bc. Alžběta Medová

ABSTRAKT:

Předmětem této diplomové práce je popis vývoje palubního prostoru v osobní letecké dopravě a jeho dopad na ekonomiku letu. Teoretická část je věnována popisu a bližší analýze některých vstupních parametrů matematického modelu, především detailní analýze sedadel. V praktické části je popsána tvorba zjednodušeného modelu a jeho následná aplikace a ověření funkčnosti za specifických podmínek. Výsledky jednotlivých výpočtů jsou srovnány a následně posouzeny z ekonomického hlediska.

KLÍČOVÁ SLOVA: letecká osobní doprava, komfort cestujících, tarifní model, ekonomika letu

ABSTRACT:

The subject of this thesis is a description of the development of the cabin space in passenger air transport and its impact on the economy of flight. The theoretical part is devoted to the description and closer analysis of some of the input parameters of the mathematical model, especially detailed analysis of aircraft seats. The practical part describes the creation of a simplified model and its subsequent application and verification of functionality under specific conditions. The results of individual calculations are compared and subsequently assessed from an economic point of view.

KEY WORDS: Air passenger services, passenger's well-being, tariff model, flight economy

Obsah

Úvod 6

Teoretická část 7

1. Popis palubního prostoru v závislosti na úrovni poskytovaných služeb 8

1.1. Cestovní třídy 10

1.1.1. First Class 10

1.1.2. Business Class 10

1.1.3. Economy Class 11

2. Historický vývoj palubního prostoru v osobní letecké dopravě 12

2.1. Historie osobní letecké dopravy 12

2.2. Vývoj palubního prostoru 14

3. Detailní analýza sedadel 15

3.1. Velikost sedadla 16

3.2. Materiály 19

3.3. Komfort 19

3.4. Technologie 22

Praktická část 23

4. Ekonomicko-matematický model 24

4.1. Zjednodušený model 28

4.2. První fáze – *Light Economy Class* 30

4.2.1. Průměrná hodnota si 30

4.2.2. Minimální hodnota si 31

4.2.3. Maximální hodnota si 32

4.2.4. Srovnání 33

4.3. Druhá fáze – *Premium Economy Class* 36

4.3.1. Průměrná hodnota si 36

4.3.2. Minimální hodnota si 37

4.3.3. Maximální hodnota si 38

4.3.4. Srovnání 39

4.4. Srovnání první a druhé fáze 41

4.5. Třetí fáze – kombinace Light Economy Class a Premium Economy Class 44

4.5.1. První kombinace 44

4.5.2. Druhá kombinace 46

4.5.3. Třetí kombinace 48

4.5.4. Srovnání výsledků třetí fáze 51
5. Zhodnocení 54
6. Letecká ekonomika 55
7. Nové trendy v palubním uspořádání letadel pro osobní leteckou dopravu 58
7.1. Sky Rider 3.0 58
7.2. Bicycle seat 59
7.3. Sunrise projekt 59
7.4. Korona krize 60
8. Závěr 64
Seznam obrázků 67
Seznam grafů 68
Seznam tabulek 68
Seznam použité literatury 69

Úvod

Osobní letecká doprava prošla v uplynulém století rychlým vývojem a stala se jedním z nejbezpečnějších, nejrychlejších a nejpohodlnějších způsobů přepravy. Velký vliv na utváření současného modelu osobní letecké dopravy měla také deregulace trhu letecké dopravy v USA v roce 1978 a liberalizace evropského leteckého trhu počátkem 90. let. Tyto procesy změnily standardy v národním i globálním měřítku. Výsledkem bylo vytvoření neomezené svobody leteckých společností ve výběru tras, určení doby odletu, kapacity nebo ceny letenek, čímž se vytvořil prostor pro vznik a vývoj nízkonákladové letecké přepravy. Konkurence panovala nejen mezi státními a soukromými dopravci, ale také vznikla mezi společnostmi, které využívaly nízkonákladových obchodní model. Díky této situaci a také velké poptávce po letecké dopravě se začala velmi rychle rozšiřovat síť linek v Evropě i mezi kontinenty.

Nízkonákladové společnosti mají na evropském, severoamerickém i asijském trhu více jak třetinový podíl. Právě velký boom nízkonákladových společností a jejich rostoucí podíl na trhu osobní letecké dopravy do velké míry ovlivňuje přístup standartních leteckých společností k úrovni poskytovaných služeb. Současný trh osobní letecké dopravy je založen na maximalizaci výnosů a minimalizaci nákladů, bez většího ohledu na kvalitu přepravy a úroveň poskytovaných služeb. Pro dosažení vyšších zisků se letecké společnosti uchylují ke zvýšení kapacity letadel a omezení poskytovaných služeb zahrnutých již v ceně letenky. Cestujícím se je sice nabízena nízká ceny letenky, ovšem výměnou za zmenšený osobní prostor a omezený palubní servis. Běžnou praxí bývá, především u nízkonákladových dopravců, zpoplatnění dříve standartních služeb. Cena letenky je tedy jen zdánlivě nízká. především Tato skutečnost byla důvodem zpracování tohoto tématu v diplomové práci.

Cílem mé diplomové práce je popsat a vytvořit matematicko-ekonomický model pro určení optimálního rozvržení paluby letadla a rozdělení cestovních tříd za specifických vstupních podmínek. Model bude vytvořen s využitím informací a dat získaných v teoretické části práce a za pomoci ověření funkčnosti matematicko-ekonomického modelu publikovaného v disertační práci Ing. Petry Skolilové Ph.D.: *Dynamické cenové modely v osobní letecké dopravě* obhájené na FD ČVUT v prosinci 2019.

Teoretická část

První část diplomové práce uvádí fakta a informace o důležitých faktorech související s problematikou palubního uspořádání letadla v osobní letecké dopravě, která budou následně zpracována a blíže rozebrána v praktické části práce. Teoretická část je zpracována se zaměřením na komfort poskytnutý cestujícím a jeho úroveň.

V teoretické části jsou obsaženy popisy nebo analýzy následujících bodů:

- výběr letadla pro další analýzu
- popis cestovních tříd
- historie osobní letecké dopravy
- vývoj palubního prostoru
- detailní analýza sedadel z hlediska rozměrů, použitých materiálů, technologie konstrukce a jejich vliv na komfort cestujících

Cíle teoretické části práce: Informace popsané v této části a vycházející ze závěrů teoretické části budou následně použity v praktické části k ověření funkčnosti matematicko-ekonomického modelu definovaného v disertační práci Ing. Petry Skolilové Ph.D.

1. Popis palubního prostoru v závislosti na úrovni poskytovaných služeb

Dopravní letadla využívaná v osobní letecké dopravě můžeme podle následujících parametrů rozdělit do několika kategorií. Mezi tyto parametry řadíme způsob pohonu, kapacitu letadla a dolet, šířku trupu a také rychlost letu. Podle způsobu pohonu se dopravní letadla dělí na:

- vrtulová letadla,
- turbovrtulová letadla,
- proudová letadla.

Vzhledem k vlastnostem, kterými proudová letadla, oproti ostatním typům disponují, jako např. vyšší rychlost a nižší hluk v kabině, jsou tato letadla využívána pro většinu letů. Proto se v dalším dělení budu zabývat pouze proudovými letadly.

Jako další parametr kategorizace se uvádí kapacita a dolet letadla. Takto můžeme letadla dělit na:

- regionální letadla do kapacity cca 100 osob a doletem do cca 2 000 km (Bombardier, Embraer),
- letadla na střední tratě do kapacity cca 180 osob a doletem okolo 4 000 km (Boeing B737-xxx, Airbus A320, A321 apod.),
- letadla pro dálkové linky s kapacitou až 880 osob s možností přepravy na vzdálenost až 15 000 km (Boeing B767, B777, Airbus A340, A380).

Podle šířky trupu se letadla dělí na:

- úzkotrupá (narrow body) – jedná se o letadla s maximálně 6 sedačkami v jedné řadě, tzn. letadla regionální nebo na středně dlouhé tratě,
- širokotrupá (wide body) – tato letadla mohou mít až 12 sedadel v jedné řadě, charakteristickým znakem jsou také 2 uličky v kabině pro cestující, tzn. letadla na dálkových linkách.

Dále bychom mohli letadla dělit také podle rychlosti letu:

- letadla podzvuková – všechna dnes používaná dopravní letadla
- letadla nadzvuková – skupina dopravních letadel ekonomicky i ekologicky nevyhovujících a v dnešní době vyřazená z civilní letecké dopravy; jedná se především o typy Concorde a TU-144. [1]

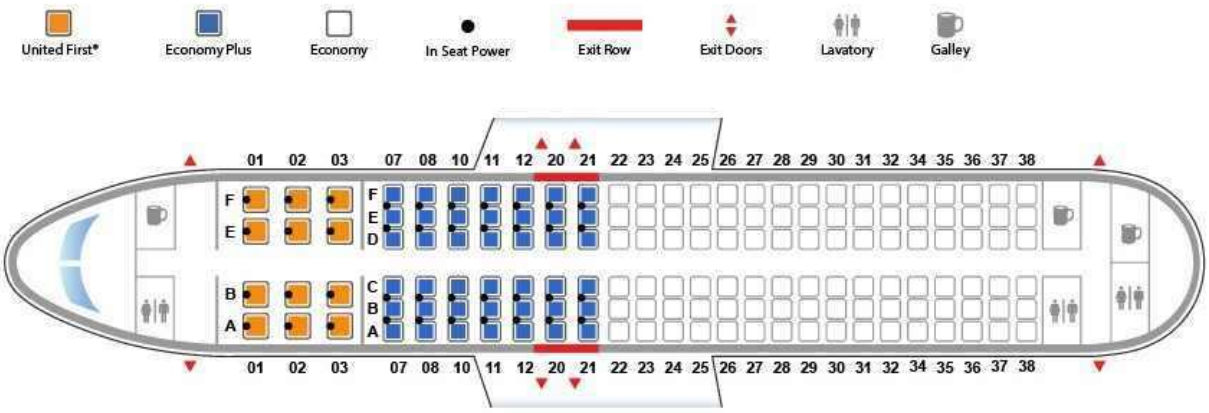
Z výše zmíněných rozdělení jsem pro bližší popis a následnou analýzu vybrala úzkotrupý letoun s proudovým pohonem pro středně dlouhé tratě. Bude se jednat o stroj společnosti Airbus A320, přesněji řečeno jeho finální verze A320-200 (obr. 1). Airbus A320 překonal v říjnu 2019 Boeing 737 a stal se tak nejprodávanějším dopravním letadlem. Je využíván více jak 330 provozovateli a najdeme

ho ve flotile jak standartních (Lufthansa, ČSA, British Airways), tak nízkonákladových leteckých společností (WizzAir, Vueling). Airbus A320 je navržen s rozložením sedadel systémem 3+3 pro *Light nebo Premium Economy Class* a 2+2 pro *Business Class* nebo *First Class*. Vnitřní šířka kabiny pro cestující činí 3,7 m, jedna sedačka je tedy široká cca 45 cm, tedy 18 palců (v případě sedadel *Economy Class*).

Obrázek 1: Letadlo A320 společnosti ČSA (zdroj:[2])

Kapacita letadla se pohybuje od 150 do 186 míst pro cestující. Kapacita 186 míst je také bezpečnostní limit pro letadlo A320. Vzhledem k novým trendům a možnostem zvýšení kapacity letadla bude v blízké době tento limit posunut.

Počet míst se odvíjí od konfigurace vnitřního prostoru. V případě rozvržení paluby do 2 tříd, *First Class* a *Economy Class (Premium Economy Class*), jak je znázorněno na obr. č. 2, je kapacita letadla 150 cestujících.



Obrázek 2: Schéma paluby letadla (zdroj:[3])

Pokud je paluba zaplněna pouze sedadly jedné třídy (Light *Economy Class*) po 6 sedačkách v jedné řadě může se celková kapacita letadla zvýšit až na 186 cestujících.

1.1. Cestovní třídy

Cestovní třídy slouží jak k prostorovému rozdělení kabiny letadla na jednotlivé segmenty, tak i k rozdělení kapacity letadla podle poskytnutých služeb. Cestovní třídy se základně dělí na *Economy Class*, *Business Class* a *First Class*. U některých leteckých společností se můžeme setkat ještě s jednou cestovní třídou, která tvoří mezistupeň mezi *Economy Class* a *Business Class*, obecně se nazývá *Upper* nebo *Premium Economy Class*. Můžeme se také setkat pouze se zkratkami F (*First Class*), C (*Business Class*) a Y (*Economy Class*).

1.1.1. First Class

First Class, tedy první třída, je nabízena jen některými leteckými dopravci, především na dálkových letech. Sedadla se nachází v oddělené části kabiny letadla. Nabízí největší komfort, dostatek prostoru, plně polohovatelná sedadla, soukromí zajišťující zástěny a spoustu dalších služeb jak na letiště (např. soukromý salonek), tak přímo během letu, např. individuální výběr z menu (viz obr.3). Místa *First Class* některých společností připomínají spíše salonky nebo dokonce ložnice, na palubě bývá cestujícím této třídy k dispozici například i bar. Tomuto luxusu samozřejmě odpovídá i velmi vysoká cena letenky.

Obrázek 3: Ukázka sedadla First Class (zdroj:[4])

1.1.2. Business Class

Business Class, obchodní třída, je k dispozici cestujícím většiny letů na dlouhých i středních tratích. Sedadla *Business Class* se nachází, podobně jako sedadla první třídy, v přední části letadla a jsou fyzicky

oddělena přepážkou od *Economy Class*. Nenabízí sice takový luxus a soukromí jako první třída, stále je zde ale dostatek prostoru, často i plně polohovatelná sedadla, rozsáhlý catering, k dispozici je salonek na letišti a cestující mohou využít přednostního odbavení. (viz. obr 4)

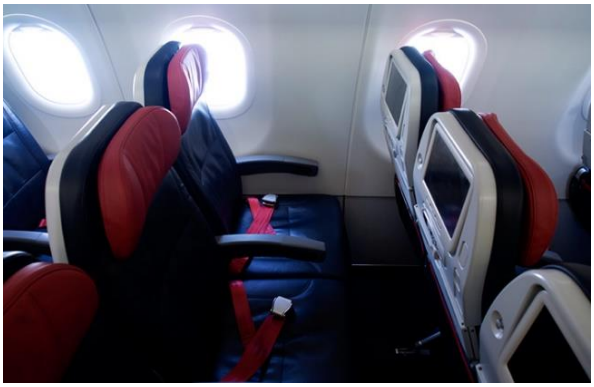
Obrázek 4: Ukázka sedadla Business Class (zdroj:[5])

1.1.3. Economy Class

Economy Class, tedy turistická třída, je základní a nejčastější cestovní třídu, která zabírá také většinou část letadla. V této třídě je na palubě k dispozici jen lehce sklopitelné sedadlo s vyklápěcím stolkem. Rozestup mezi sedadly se pohybuje od 28 do 34 palců (72 až 89 cm). V závislosti na délce letu mohou cestující obdržet deku, sluchátka, špunty do uší a další. U letů na dlouhé tratě mohou cestující na palubě nalézt individuální zábavní portál zabudovaný v zadní části sedadla předchozí řady nebo nad hlavami pro více cestujících dohromady. Sedadla mohou být umístěna několika způsoby. V úzkotrupých letadlech jsou rozmístěna systémem 3-3, 2-2 nebo výjimečně 3-2. V širokotrupých letadlech na dlouhé tratě se setkáváme s rozmístěním 2-3-2, 2-4-2, 3-3-3, nebo 3-4-3 v závislosti na šířce trupu i letecké společnosti.

U některých leteckých společností se můžeme setkat i s tzv. prémiovou *Economy Class* (*Premium Economy; Economy plus*). Oproti *Light Economy Class* (klasické turistické třídě) je zde většinou více prostoru pro nohy, polohovatelnější a ergonomičtější sedadla nebo připojení k elektrické síti. Rozdíly se liší společnost od společnosti a také v závislosti na typu letu. Sedadla *Premium Economy* bývají umístěna mezi *Business Class* a *Light Economy Class*. [7]

Obrázek 5: Ukázka sedadel Economy Class (zdroj:[6])



Obrázek 6: Ukázka sedadel Premium Economy Class (zdroj:[6])

2. Historický vývoj palubního prostoru v osobní letecké dopravě

2.1. Historie osobní letecké dopravy

V polovině 20. století, po 2. světové válce se znovu začala rozvíjet i osobní letecká doprava. Letecké společnosti, které nedisponovaly nijak rozsáhlým letovým parkem často využívaly armádních přebytků, tzv. surplusů. Na mnoha linkách se proto objevovaly Douglasy DC-3 Dakota a další klasické vrtulové letouny, které dříve využívala armáda. Nedlouho na to se interiéry letadel začaly měnit pro zvýšení pohodlí cestujících. Vzhledem k cenám letenek patřila letecká doprava ještě 20 let po válce k luxusu, který si mohla dovolit jen nejbohatší vrstva obyvatel. V zemích východního bloku omezovala cestující nejen cena letenek, ale také státní zřízení a zákazy cestování.

V roce 1949 zavedlo jako první na světě na svých dálkových linkách *First Class* anglická společnost BOAC (předchůdce British Airways). Paluba připomínala spíše luxusní hotel. Mohlo se zde kouřit, večeře se skládala ze 6 chodů a byla servírována na porcelánu. Úroveň těchto služeb byla samozřejmě znát na ceně letenek. Ovšem ani *Economy Class* nebyla výrazně horší. Cestující pro sebe měli opravdu hodně prostoru, a tak se i dvoumetrový pasažér mohl pohodlně usadit. K obědu bylo na výběr ze 3 jídel, včetně steaku. Zpáteční letenka Londýn-New York v roce 1949 v *Economy Class* stála 160 liber, letenka do první třídy byla až 5krát dražší (cca 800 liber) a to v době, kdy se průměrná mzda v Anglii pohybovala okolo 290 liber měsíčně.

V Československu se tehdy létalo hlavně v rámci republiky nebo nanejvýš Evropy. Zpáteční letenka z Prahy do Amsterodamu nebo Londýna stála okolo 3 000 Kčs. Lety na vnitrostátních linkách byly výrazně levnější, z Prahy do Brna a zpět se létalo za 700 Kčs, do Ostravy za 850 Kčs. Při průměrném platu 870 Kčs měsíčně, byly všechny tyto lety mimo dosah většiny obyvatel.

V padesátých letech začaly společnosti nakupovat nové stroje a začala se objevovat i proudová letadla typu Tupolev nebo Boeing. V této době už se ale také začíná měnit vnitřní prostor letadel. *First Class* a *Business Class*, co se týče prostoru a sedaček zůstala téměř stejná. Změnu ovšem pocítili cestující v *Economy Class*, kde se vzdálenost sedaček zmenšila o 6 až 9 cm. Cestování letadly se také výrazně zlevnilo. S ČSA se dalo letět z Prahy do Paříže a zpět za 740 Kčs.

Významný rozmach osobní letecké dopravy způsobil hlavně nástup velkokapacitních letounů na konci 60. let. Linky kratších a středních tratí byly obsluhovány z velké části turbovrtulovými letadly. Přibývalo vnitrostátních i mezinárodních linek a rostoucí konkurence snižovala ceny letenek. Na dálkových linkách převažovala proudový letadla s prodlouženým doletem. Na palubách se stále mohlo kouřit, v nabídce nápojů bychom našli i čepované pivo a pohodlí cestujících společnosti vylepšovaly sluchátky s hudbou nebo promítáním filmů.

V první polovině 70. let začaly létat velkokapacitní jumbo jety Boeing 747. V roce 1978 došlo k deregulaci letecké dopravy a na trhu se začaly velmi rychle objevovat nové letecké společnosti. To přispělo k značnému snížení cen letenek, ale také k velkému rozmachu letecké turistiky. Nově byly také nasazeny nadzvukové letouny TU-144 v Sovětském svazu a Concorde ve Francii a v Anglii. Cesta Boeingem 747 z Londýna do New Yorku a zpět stála 280 $. Díky zavedení velkokapacitních letounů se u řady společností opět zlepšil komfort pro cestující – zvětšily se vzdálenosti sedaček i jejich šířka. Nově byla kabinová zavazadla přepravována pouze v uzavíratelných boxech nad hlavami cestujících. Do té doby k tomu účelu sloužily např. síťované poličky u stropu.

Letecká doprava se dále rozvíjela, i když pomaleji, i v další dekádě. V této době ještě nebyla bezpečnostní opatření tak přísná, a tak stačilo být na letišti 30 minut před odletem. V Československu kvůli úspoře paliva došlo k redukci počtu vnitrostátních linek: z Prahy do Košic nebo Bratislavy. Ceny letenek na těchto linkách rostly (220-340 Kčs). Vytížené byly linky z Prahy do Montrealu, New Yorku, Havany i do Vietnamu. Letenka v ekonomické třídě stála z Prahy do New Yorku kolem 24 000 Kčs.

Celá devadesátá léta byla značně ovlivněna politickými změnami a novým uspořádáním Evropy. Nově se začaly objevovat nízkonákladové letecké společnosti. V roce 1995 vznikla nízkonákladová společnost EasyJet a společně s Ryanairem srazily cenu letenek krátkých letů téměř na stejnou úroveň jako jízdenky autobusových dopravců. Narostla konkurence i na dálkových letech. Řada společností zavedla zcela nekuřácké lety nebo sledování filmů na více obrazovkách. V *Economy Class* se začalo šetřit na prostoru a kvalita občerstvení se u mnohých společností rychle horšila.

Přelom tisíciletí znamenal pro leteckou dopravu velké změny především v oblasti bezpečnosti, především po událostech ze září 2001. Na dálkových letech se objevily nové sedačky s obrazovkami. Stále pokračuje expanze nízkonákladových společností. Jejich letenky se pohybují v řádech stokorun. Mnoho lidí si tak mohlo poprvé dovolit cestovat letadlem.

V posledních deseti letech postupně mizí čtyřmotorová letadla z důvodů velkých nákladů na provoz. Pohodlí na palubách se liší společnost od společnosti. Největší rozdíl je vidět mezi standartními a nízkonákladovými společnostmi. U low-cost dopravců jsou typické sedačky s krajními rozměry a minimem místa, stejně jako příplatky za zavazadla nebo občerstvení. Na palubách dálkových letů jsou standardem lehké sedačky většinou vybavené dotykovou obrazovkou se zábavním portálem a internetem. Začínají se také objevovat tzv. ultra dlouhé lety (např. nonstop let z Austrálie do New Yorku nebo Londýna). [8]

2.2. Vývoj palubního prostoru

Palubní prostor a jeho rozvržení se měnil především v závislosti na zpřístupnění letecké dopravy široké veřejnosti, jak jsem již naznačila výše. Od padesátých let se na dálkových letech nově objevily *First Class* s luxusním vybavením. Na dálkových letech se kapacita letadla pohybovala okolo 65 cestujících, na kratších trasách až 100 cestujících v závislosti na typu letounu. Nutno podotknout, že stroje jako Lockheed nebo Douglas byly jen o pár metrů kratší než Airbus A320, jehož maximální kapacita je 180 pasažérů. Z toho také vyplývá, že prostor pro cestující i v *Economy Class* byl podstatně větší než dnes.

Od 80. let se palubní prostor na dálkových linkách dělí už na tři cestovní třídy – *First Class, Business Class* a *Economy Class*. Na kratších trasách byla *First Class* nahrazena právě *Business Class*. Mezi leteckými společnostmi rostla konkurence a nově začaly vznikat i nízkonákladové společnosti, díky tomu došlo k výraznému snížení cen letenek a zpřístupnění letecké dopravy většímu množství cestujících. Také kvůli rostoucímu zájmu o leteckou dopravu začaly letecké společnosti zvyšovat kapacitu letadel. Nejvíce využívají palubní prostor právě nízkonákladové společnosti. Jejich lety jsou často v konfiguraci jedné (*Economy Class*) třídy, aby byla kapacita letadla maximálně využita. Také standartní společnosti navyšují kapacitu jak *Economy Class*, tak i *Business Class*. Navýšení kapacity je ovšem vždy spojeno se zmenšením prostoru pro každého cestujícího. Na dálkových letech je tento ukazatel kompenzován kvalitním servisem.

3. Detailní analýza sedadel

Na mezinárodním trhu působí několik desítek výrobců sedadel. Mezi významné společnosti lze zařadit Recaro, Zodiac (dnes patřící do skupiny Safran), Pitch Aircraft Seating Systems, Acro nebo Aviointeriors.

Recaro Aircraft Seating – dceřiná společnost Recaro Holding s hlavním sídlem v německém Schwäbisch Hall. Výroba sedaček do letadel započala v roce 1971. Další výrobní závody jsou dnes i v Polsku, Jižní Africe, USA a Číně. Původní společnost Recaro byla založena už v roce 1906 jako automobilová dílna a výrobce karosérií. V roce 1963 se společnost zaměřila především na vývoj a výrobu sedadel do sportovních aut. V roce 1971 přibyla výroba sedadel do letadel, v roce 1998 představili první dětskou autosedačku a v roce 2018 je založena další dceřiná společnost Recaro eGaming, tedy výrobce herních sedaček. Recaro nabízí zákazníkům sedačky pro Economy, Premium Economy i Business Class, krátké, střední i dlouhé tratě. [9]

Zodiac Aerospace byla francouzská letecká společnost založena v roce 1896, která především dodávala systémy a vybavení do komerčních i regionálních letadel, helikoptér nebo vesmírných lodí. Výroba sedadel byla pouze jedním z několika odvětví, kterými se společnost zabývala. Segment Zodiac Seats navrhovala a vyráběla sedadla pro cestující ve všech cestovních třídách, pro piloty letadel i helikoptér a také technická sedadla pro posádku letadla. Tento segment zahrnoval 4 hlavní divize ve Francii, Kalifornii, Texasu a Velké Británii. V roce 2018 se Zodiac Aerospace sloučila s francouzskou společností Safran pod jejíž značkou dnes vystupuje. [10]

Pitch Aircraft Seating Systems je menší relativně nová britská společnost založená v roce 2010. První model uvedla na trh v roce 2014 – jednalo se o sedadla určená pro turistickou třídu. Tento model využila společnost Monarch Airlines pro všechny letouny typu A321. Pitch Aircraft se při vývoji zaměřuje hlavně na nová tenčí sedadla z moderních materiálů, místo původních robustních. Dopravce díky tomu sníží celkovou hmotnost letadla a zároveň může navýšit kapacitu paluby.[11]

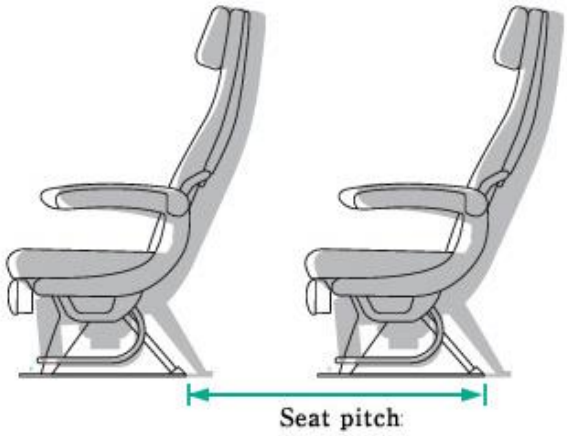
Acro Aircraft Seating je také britská společnost, která byla založena v roce 2007. Stejně jako Pitch Aircraft Seating Systems se ve vývoji a výrobě zaměřuje hlavně na nové technologie. Upřednostňuje nová „tenká“ sedadla jak v *Economy Class*, tak v *Premium Economy*. Na trhu jsou zatím 3 modely, vhodné do úzko – i širokotrupých letadel. Všechny typy sedadel jsou lehčí a mají jednodušší konstrukci než standartní. Dopravci si díky tenčí konstrukci mohou dovolit zvýšit kapacitu letadla. [12]

Aviointeriors S.p.A. je italský výrobce vnitřního vybavení pro paluby. Společnost byla založena v roce 1972. Z počátku se prosazovala hlavně na evropském trhu a dodávala vybavení např. Iberii, Alitalii nebo Air France. Díky rozšíření produktů o sedadla do *Businness Class* si společnost získala místo na trhu Severní i Jižní Ameriky a expandovala také na Dálný východ. V dnešní době může nabídnout vybavení a sedadla pro všechny cestovní třídy a také pro posádku letadla. Společnost se také zabývá vývojem nového typu sedaček, známé pod označením *SkyRider*. Jedná se o sedačku tvarem podobnou koňskému sedlu, která by díky novému tvaru měla snížit vzdálenost mezi sedadly až na 23 palců (58 cm). Díky této inovaci by mohla kapacita ekonomické třídy vzrůst až o 25 %. [13]

3.1. Velikost sedadla

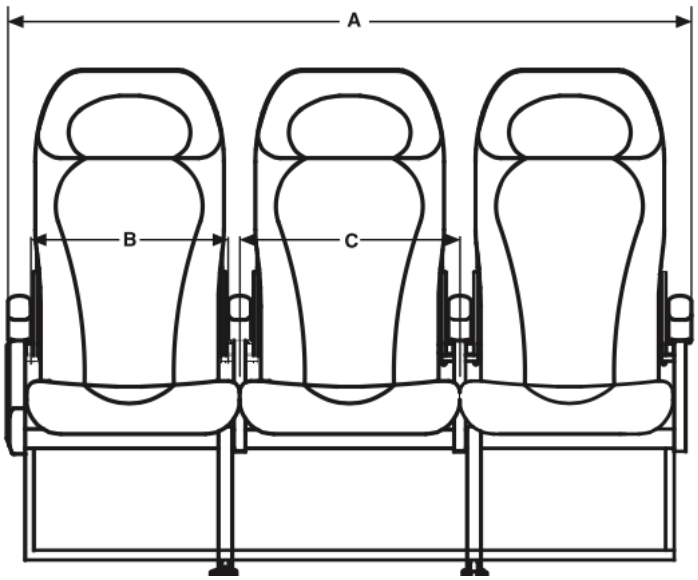
Při definici velikosti sedadla jsou důležité dva termíny: rozteč sedadla a šířka sedadla.

Rozteč sedadla je definována jako vzdálenost dvou řad sedadel měřená od jednoho bodu na předním sedadle, ke stejnému bodu na zadním sedadle (obr 7). Tento rozměr ovšem neoznačuje velikost prostoru pro nohy. Rozteč sedadla bývá jiná na dálkových a krátkých letech, liší se společnost od společnosti a také v závislosti na typu letadla a jeho vnitřní konfiguraci. [14]



Obrázek 7: Vyznačení velikosti rozteče sedadel (zdroj:[13])

Další ukazatel, šířka sedadla, může být měřena několika způsoby. Jednak se jedná o šířku celé sedačky, která je měřena od kraje levé područky ke kraji pravé područky (na obr. 8 rozměr A). Dále se měří šířka jednoho sedadla, jako vzdálenost mezi dvěma područkami (rozměr B), nebo vzdálenost od středu jedné područky ke středu druhé područky (rozměr C). Běžně se používá rozměr B, tedy „čistá“ šířka sedáku. Stejně jako rozteč sedadla se i jeho šířka liší v závislosti na délce letu, letecké společnosti, typu letadla a konfiguraci vnitřního prostoru.



Obrázek 8: Vyznačení šířka sedadla (zdroj:[15])

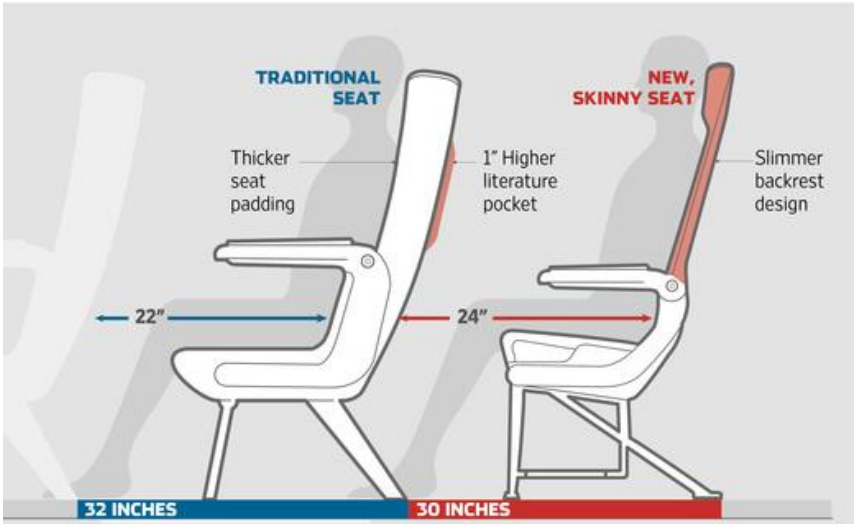
V roce 1985 nenabízela žádná z amerických leteckých společností sedadla užší jak 19 palců (48 cm). Od té doby klesla průměrná šířka letadla na cca 17 palců (43 cm). Také rozteč sedadel se značně změnila, a to nejenom v ekonomické třídě. Vzdálenost sedadel v obchodní třídě se před 30-40 lety pohybovala i okolo 60 palců, to je víc jak 150 cm. Dnes je velikost jedné z nejvelkorysejší obchodní třídy společnosti Qatar 45 palců, tedy 115 cm. V ekonomické třídě se rozteč sedadel zmenšila zhruba o 5-6 palců. Dnešní průměr se pohybuje od 28 do 32 palců. Čím menší je rozteč sedadel, tím větší kapacitu sedadel může dopravce využít. Vývoj velikostí (v palcích) roztečí i šířky sedadel je znázorněn v tab. 1.[15]

	Vzdálenost sedadel (in)		Šířka sedadla (in)	
Rok	**Min**	**Mix**	**Min**	**mix**
1970	32	36	17	18
1985	32	34	19	21
2000	31	33	17	18
2010	30	32	-	-
2020	28	32	16	18

Tabulka 1: Vývoj velikostí sedadel Economy Class (zdroj: autor)

Další parametr, který ovlivňuje prostor cestujících je i tloušťka (robustnost) sedadla. V posledních letech začínají některé letecké společnosti využívat nových typů sedadel. Díky nové konstrukci

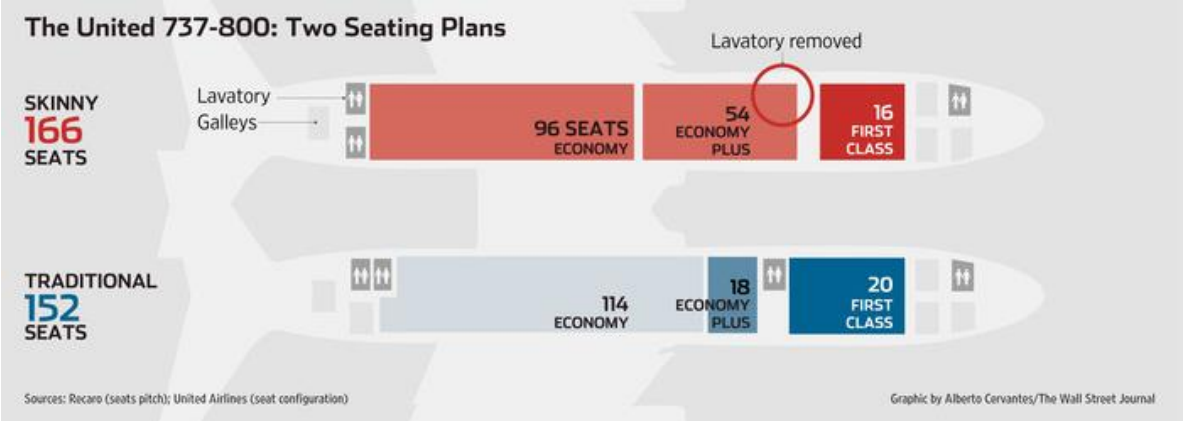
a designu jsou sedadla tenčí a lehčí. Oproti svým robustnějším předchůdcům jsou nové typy až o polovinu tenčí, zvláště v kolenní oblasti. Kapsa na literaturu byla přesunuta do horní poloviny zádové opěrky, která je také slabší, a tím uvolnila více místa pro nohy. Objem sedáku i područky byl také zredukován, navíc jsou nyní obě části až o 1 palec (2,5 cm) kratší, což dodává více prostoru jak při sezení, tak při pohybu okolo sedadla. Ztenčením sedáku se zvětšil i prostor pod sedačkou. Zjednodušení a ztenčení konstrukce mělo také dopad na váhu celého sedadla. Každá sedačka teď neváží více jak 11 kilogramů, což je o 30 % méně v porovnání s původní robustnější verzí. Výrobci sedadel i letecké společnosti se zaručují, že i v případě zmenšení rozteče sedadel prostor pro cestující, a především prostor pro nohy, bude stejný, ne-li větší. Ilustrativní ukázka je vidět na obrázku 9. [16]



Obrázek 9: Změna tloušťky sedadla a vliv na prostor cestujících (zdroj:[17])

V případě využití nové konstrukce tak dopravce získává další prostor pro cestující a může navýšit kapacitu letadla. Například u dopravců, kteří využívají užitnou plochu letadla pouze pro jednu třídu, může mít i změna o 1 palec zásadní vliv. Pokud bychom brali v úvahu velikosti, které zmiňuje společnost Recaro (Obrázek 9) a využití sedadel pouze pro *Economy Class*, může dopravce při zmenšení rozteče sedadel o 2 palce (5,08 cm) zvýšit kapacitu i o 2 řady sedadel, tedy o 12 míst. Při posunu o 1 palec vzroste kapacita o 6 míst. Všechny tyto konfigurace však zaberou stejnou plochu paluby letadla.

Další příklad využití „*skinny*“ sedadel a vlivu na počet míst je znázorněn na Obrázku 10. Příklad je uveden na konfiguraci 3 cestovních tříd společnosti United Airlines letounu B737-800. Celkový nárůst je 14 míst, při lehké redukci *First Class* a *Economy Class*, zato s velkým rozšířením *Economy Plus*, kde jsou rozteče sedadel až 35 palců.



Obrázek 10: Změna kapacity letadla při využití skinny seat (zdroj:[17])

3.2. Materiály

Sedadla letadel jsou navržena tak, aby byla, pokud možno lehká, ale zároveň pevná a žáruvzdorná a také byla ergonomicky vhodná pro cestující. Pro sedadla je typická konstrukce s hliníkovým rámem nebo z karbonového kompozitu, ke kterému jsou přidělány bloky z polyuretanové pěny. V některých případech může být další vrstvou ohnivzdorná tkanina, jako je například *Kevlar* nebo *Nomex*. Celé sedadlo je pokryto vrstvou látky nebo kůže.

Kožená sedadla jsou finančně nákladnější než látková sedadla, přesto se s nimi můžeme setkat v letadlech řady standartních, ale také nízkonákladových dopravců. Kožená sedadla nejen že vypadají luxusněji, ale především jsou jednodušší na úklid. Snadněji se čistí a zabraňují vsáknutí rozlitých tekutin do polstrování sedadla. Hlavové opěrky jsou nyní tvořeny tvarovanou pěnou, na níž je vrstva tzv. nylonového pletiva a na něm svrchní materiál. Tvarovaná pěna v kombinaci s nylonovým pletivem drží déle svůj tvar a je méně náchylná k opotřebení oproti tradiční pěnové výplni.

Barvy sedadel byly dříve více jednotné. Převažovaly spíše klidné a zemité barvy, světle hnědá nebo šedá. V sedmdesátých letech se dostaly do popředí i jasnější barvy jako červená nebo oranžová. V dnešní době většinou korespondují barvy sedadel s barvami a logem leteckého dopravce, přesto však některé aerolinky, jako Austrian Airlines, Emirates nebo Singapore Airlines stále užívají stejné jemné barvy. [18]

3.3. Komfort

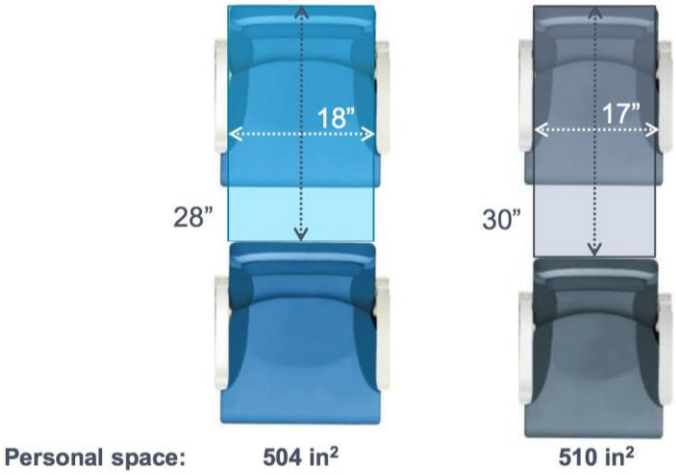
Komfort cestujících v osobní letecké dopravě je z velké části ovlivňován velikostí sedadla. Jak jsem již uvedla v předchozích kapitolách, velikosti sedadel zaznamenaly největší změnu po roce 1985 a postupně se dostávají až na kritickou hranici danou zdravotními normami.

V roce 2012 vznikla pod záštitou společnosti *Recaro* studie „*Aircraft seating comfort: the influence of seat pitch on passengers' well-being*" zkoumající vliv rozteče sedadel na komfort cestujících. Studie byla provedena v modelu letounu Airbus A340, kde byly umístěny 2 řady sedadel užívaných na krátkých nebo středních tratích. Celý model byl upraven tak, aby rozteče sedadel mohly být v průběhu testování upravovány od 28 do 43 palců. V hlavní studii bylo vybráno 30 subjektů, mužů i žen různého věku i konstituce těla, kteří hodnotili, jak lehce dokáží zaujmout či změnit pohodlnou polohu, nebo jak je vzdálenost sedadel omezuje. Rozteče byly měněny náhodně v průběhu 30 minut.

Z výsledků studie jasně vyplývá, že velikost osobního prostoru pro jednoho cestujícího má zásadní vliv na jeho celkový pocit z cesty. Závěry také ukazují, že závislost vzdálenosti sedadel a pohodlí není závislostí lineární. Největší změna je viditelná při zvětšení z 28 na 30 palců a z 30 na 32 palců, zde nastává bod zvratu a při dalším zvětšování rozteče nejsou změny tak výrazné. V současné době je rozteč mezi sedadly u většiny leteckých dopravců menší než výše zmíněný bod zvratu, tedy 32 palců. Nejmenší používaná rozteč sedadel je 28 palců, což je také absolutní doporučené minimum, které ve své výzkumech uvádí Evropská agentura pro bezpečnost letectví.

Na komfort cestujících nemá vliv samozřejmě jen rozteč sedadel, ale také jejich šířka, jejíž velikost se stále zmenšuje. Průměrná šířka sedadla v letadle A320 různých společností je 17,5 palce. Nejužší bývají sedadla v letadlech nízkonákladových dopravců, kteří jsou ekonomickými výsledky nuceni zaplnit co největší užitnou plochu letadla, často až k hranici snesitelnosti. Podle studie zaštítěné *The London Sleep Centre* má zvětšení šířky sedadla ze 17 na 18 palců velký vliv také na spánek cestujících. Širší sedadla zajišťují až o 50 % lepší kvalitu spánku a jednodušší usínání. Kombinaci různých šířek a roztečí zanalyzovala společnost Zodiac Aerospace. Výrobce sedadel ve spolupráci se společností Airbus chce zavést širší sedadla, ale s menší roztečí. Do letounu typu A320 by se pak mohlo vejít až o 15 cestujících více. Při nárůstu kapacity by ale nemělo dojít k omezení osobního prostoru cestujících.

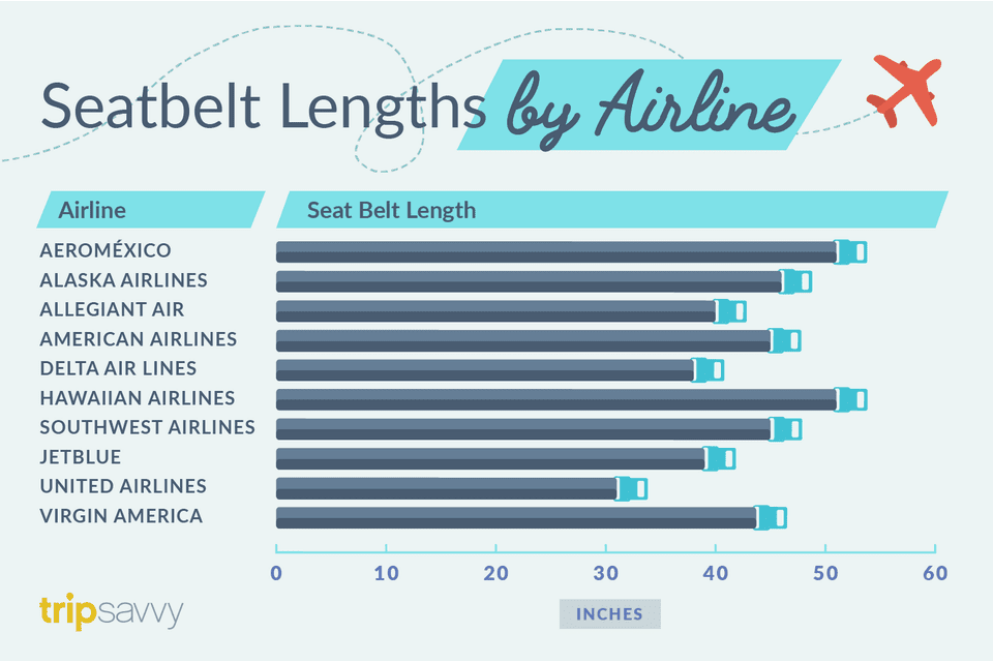
Jak je vidět na následujícím obrázku (obr 11) osobní prostor cestujícího v případě užšího sedadla s větší roztečí je srovnatelný s prostorem, který vytváří širší sedadlo, ale s menší roztečí. Takto hraničně malou rozteč sedadel lze aplikovat pouze v případě využití „*skinny*" sedadel, která i při malé rozteči nabízí dostatečný prostor pro nohy apod. [19]



Obrázek 11: Srovnání velikosti osobního prostoru (zdroj:[19])

Negativní vývoj velikostí sedadel má dopad na většinu cestujících. Můžeme přesto jmenovat 2 skupiny cestujících, kterých se tyto změny týkají nejvíce, a to jsou vysocí a obézní cestující. Komfort cestujících s výškou přes 190 cm je nejvíce omezen vzdáleností sedadel a prostorem pro nohy. V dnešní době je také běžnou praxí, že si extrémně vysocí lidé musí automaticky doplatit místo s větším prostorem pro nohy. U cestujících s nadváhou tyto poplatky prozatím zavedeny nejsou, už se o nich ale také diskutuje.

Pro obézní cestující je problémem hlavně šířka sedadla, což omezuje nejen jejich komfort, ale také komfort ostatních cestujících. Procento osob s nadváhou celosvětově roste, ve Velké Británii dosahuje 30 %, v Americe téměř 40 % populace a má stále rostoucí tendenci. Do budoucna se tedy nebude jednat pouze o výjimky. Obézní cestující neomezuje jen šířka sedadla, ale všech prostor určených pro cestující, ulička mezi sedadly nebo sociálního zařízení. Minimální šířka uličky u letadel do 10 míst v jedné řadě je 30 cm do úrovně kolen a 38 cm od kolen nahoru. Dalším problémem bývá také délka bezpečnostního pásu. Délka bezpečnostního pásu je u každé společnosti jiná, ale pohybuje se od 80 cm do 130 cm, což může některým cestujícím působit problémy. Na Obrázku 12 jsou znázorněny délky bezpečnostních pásů, některých amerických aerolinií. V takovém případě se používá tzv. *extender*, tedy prodlužovač. Jeho se délka se taktéž liší, americké letecké společnosti nabízí *extendry* od 30 cm do 65 cm. Některé letecké společnosti nejsou vybaveny dostatečným množstvím těchto *extendrů* a proto si cestující musí zajistit svůj vlastní. Jedná se tedy o další nekomfort ze strany letecké společnosti. Existují také koncepty na začlenění několika extra sedadel do konfigurace paluby. Jednou z možností je výroba speciálních „150 %“ sedadel, nebo úprava klasického 3sedadla zvednutím (složením) područek v případě nutnosti. [20, 21]



Obrázek 12: Délky bezpečnostních pásu u amerických leteckých dopravců (zdroj:[20])

3.4. Technologie

Hlavní technologickou inovací, která má dopad i na další aspekty letu, je odlehčení a změna konstrukce sedadla. V posledních letech se využívají především tzv. *skinny* sedadla, která šetří jak prostor na palubě, tak množství paliva. Konstrukce je vyrobena z hliníku nebo karbonu a sedadla váží méně jak 11 kg, což je ve většině případů úbytek o zhruba 30 % v porovnání s původními robustnějšími sedadly. Redukce váhy má pak vliv na celkovou váhu letadla a tím i na množství spotřebovaného paliva, a tedy i na finanční náklady na let.

V roce 2011 bylo ve Francii vyvinuto sedadlo *Expliseat*. Je vyrobeno z titanu a kompozitních materiálů a váží pouhé 4 kg, což je razantní rozdíl i oproti odlehčeným *skinny* sedadlům např. od společnosti *Recaro*. Sedadlo se skládá z pouhých 30 částí, má šířku 17 nebo 18 palců a je navrženo pro letadla Boeing 737 a Airbus A320, která jsou na krátkých a středních tratích nejpoužívanější.

Praktická část

V následující části budu několikrát aplikovat matematicko-ekonomický model za specifických podmínek a vstupních parametrů. Některé z nich byly detailněji pospány v teoretické části práce. Aplikace modelu je rozdělena do 3 částí, každá s jinými vstupními parametry. Výsledky těchto aplikací budou porovnány mezi sebou a model samotný, resp. jeho princip srovnán s reálnými postupy rozhodování leteckých společností a klíčovými faktory, které rozhodnutí ovlivňují.

V praktické části budu postupovat následovně:

- popis matematicko-ekonomického modelu
- vytvoření vlastního modelu
- série výpočtů a jejich vyhodnocení
- srovnání výsledků
- rozbor letové ekonomiky
- nové trendy v palubním uspořádání

Cíle praktické části: Mým cílem je ověřit funkčnost zjednodušeného lineárního modelu pro stanovení optimálního počtu sedadel za specifických podmínek a vstupních parametrů, který může v praxi pomoci leteckým společnostem při rozhodovacím procesu, s a také upozornit na tendenci snižování komfortu cestujících pro zvýšení příjmů dopravců.

4. Ekonomicko-matematický model

Ekonomicko-matematické modely jsou zobrazením reálného stavu, nikoli dokonalým odrazem skutečnosti, stačí však pro ověření našich stanovisek. Zároveň zde platí čím komplexnější model bude, tedy čím více reálných vlastností do modelu zahrneme, tím je model složitější a náročnější na vyřešení. Je také nutné definovat přesně všechny proměnné, které do modelu vstupují a cíl, který chceme pomocí ovlivňování jednotlivých položek dosáhnout. Z proměnných vstupujících do modelu určíme optimalizační kritéria, rozhodovací proměnné, koeficienty úlohy a omezující podmínky.

Základy současného trhu osobní letecké dopravy jsou založeny na minimalizaci nákladů a maximalizaci zisku bez ohledu na kvalitu přepravy, resp. úrovni poskytovaných služeb nebo pohodlí cestujících. Mnoho služeb, které byly dříve považovány za standartní, je dnes dostupných pouze za poplatek. Dopravci tak mohou snížit ceny letenek, ovšem na úkor komfortu cestujících. Podrobný rozbor ekonomiky letu zahrnuje analýzu poptávky a nabídky na trhu, nákladů leteckých dopravců, poskytovaného servisu, nákladů obětované příležitosti, zavazadlové politiky a mnoho dalších položek. Všechny tyto vlastnosti by musely být nadefinovány a zahrnuty do modelu, k vytvoření komplexního ekonomicko-matematického modelu. [23]

Teoretická část práce se zabývá komfortem cestujících, především rozvržením vnitřního prostoru letadla. Pro praktickou část bude využit pouze zjednodušený model, který využívá jen malý počet omezujících podmínek a orientuje se především na počet sedadel určité kategorie a cenu za letenku v té dané kategorii. Jako základní model bude využit **Lineární model pro stanovení optimálního počtu sedadel**, který je definován v disertační práci Ing. Petry Skolilové Ph.D. – *Dynamické cenové modely v osobní letecké dopravě* obhájené v roce 2019 na FD ČVUT v Praze:

[„Matematický model úlohy lze tedy možné obecně zapsat:

maximalizuj (minimalizuj)

$$z = F(x_1, x_2, \dots\ x_n) \qquad \textit{(II.9)}$$

za podmínek:

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \\ &\dots\dots\dots\dots \\ f_m(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \end{aligned} \qquad \textit{(II.10)}$$

$$x_j \geq 0, j = 1,2 \dots, n \qquad \textit{(II.11)}$$

kde:

n vyjadřuje počet rozhodovacích proměnných

m vyjadřuje počet omezujících podmínek

x_j $pro\ (j = 1{,}2 \dots n)$ jsou rozhodovací proměnné

$F(x)\ a\ f_i\ (x)$ jsou funkce n rozhodovacích proměnných

Výchozí proměnné pro lineární model ke stanovení optimálního počtu xi nabízených míst v jednotlivých kategoriích jsou:

x_i představuje optimální počet míst dané kategorie *(PEC vs. LEC)* - **hledaný výstup**

p_i vyjadřuje cenu letenky v dané kategorii

TS vyjadřuje celkový palubní prostor určený pro sedadla

s_i vyjadřuje prostor pro umístění jednoho sedadla dané kategorie

Prvním omezujícím kritériem je samotný počet sedadel xi na palubě letadla, které můžeme definovat jako:

$$F = \sum_{i=1}^{n} p_i x_i \qquad \textit{(II.12)}$$

za podmínek:

$$\sum_{i=1}^{n} s_i\, x_i \leq TS \qquad \textit{(II.13)}$$

$$x_i \geq 0, \qquad i = 1 \dots n \qquad \textit{(II.14)}$$

celočíselně

rozpis pro *Premium Economy (PEC)* a *Light Economy (LEC)*:

x_1 *počet letenek PEC*

x_2 *počet letenek LEC*

Z této rovnice následně vychází rovnice pro maximalizaci účelové funkce F s omezením sedačkové kapacity letu:

$$F = p_{PEC} * x_1 + p_{LEC} * x_2 \qquad \textit{(II.15)}$$

za podmínek:

$$s_{PEC} * x_1 + s_{LEC} * x_2 \leq TS \qquad \textit{(II.16)}$$

$$x_1, x_2 \geq 0 \quad \textit{celočíselně} \qquad \textit{(II.17)}$$

Následuje úprava pro zohlednění fixního počtu sedadel v jedné řadě, vycházející z omezení, že v jedné řadě nemohou být zároveň dvě různé kategorie sedadel, kde:

p_i	představuje cenu letenky (PEC, LEC)
s_i	vyjadřuje prostor pro sedadlo *(PEC, LEC)*
r_i	vyjadřuje počet sedadel v řadě dané kategorie
y_i	vyjadřuje počet řad sedadel v dané kategorii (PEC, LEC)
$x_i = r_i y_i$	substituce pro vyjádření hledaného výstupu

pak tedy vyjádříme maximalizaci účelové funkce *F*:

$$F = \sum_{i=1}^{n} r_i p_i y_i \qquad \textit{(II.18)}$$

za podmínek:

$$\sum_{i=1}^{n} r_i s_i \, y_i \leq TS \qquad \textit{(II.19)}$$

$$y_i \geq 0, \qquad i = 1 \ldots n \quad \textit{celočíselně} \qquad \textit{(II.20)}$$

za využití substituce $x_i = r_i y_i$

$$F = \sum_{i=1}^{n} p_i x_i \qquad \textit{(II.21)}$$

za podmínek:

$$\sum_{i=1}^{n} s_i \, x_i \leq TS \qquad \textit{(II.22)}$$

$$\begin{aligned} x_i &= r_i y_i, \qquad i = 1..n \\ y_i, x_i &\geq 0, \qquad i = 1..n \end{aligned} \qquad \textit{(II.23)“]}$$

celočíselně

V následující části bude vytvořena zjednodušená aplikace modelu již s konkrétními parametry. Jak bylo zmíněno v teoretické části práce, pro následnou aplikaci bude využit úzkotrupý letoun Airbus A320 a bude počítáno s jeho parametry. Jelikož se jedná o letoun na krátké a střední tratě, u kterých se objevuje převážně *Economy Class, Premium Economy* nebo *Business Class,* a stejně jako je uvedeno v modelu, rozlišovány budou pouze 2 kategorie sedadel – *Economy Class (Light Economy Clas*s) a *Premium Economy Class*. Každá kategorie disponuje jinou velikostí sedadel, přesněji řečeno roztečí sedadel, která vyjadřuje prostor pro umístění jednoho sedadla dané kategorie.

Rozteč sedadel je důležitým parametrem ovlivňujícím komfort cestujících a v průběhu počítání bude několikrát změněn a výsledky těchto variant navzájem srovnány. Rozteče sedadel se u leteckých společností liší, pro model proto budou použity celkem 3 hodnoty – průměrná, minimální a maximální vzdálenost. Cena letenek pro obě kategorie bude zvolena pro let, který odpovídá výše zmíněným kritériím, tedy krátký nebo středně dlouhý let uskutečňován letadlem Airbus A320 s konfigurací zahrnující jak *Light Economy Clas*s, tak i *Premium Economy Class.* [24]

Výše zmíněný lineární model Ph.D. Petry Skolilové je základem pro můj vlastní zjednodušený model, se kterým budu v praktické části pracovat a který je více popsán v další kapitole.

4.1. Zjednodušený model

V první fázi praktické části se zaměřím na jednotřídní konfiguraci palubního prostoru, která obsahuje pouze sedadla *Light Economy Class*. Druhá fáze bude aplikovat model také na konfiguraci pouze s jedním typem sedadel, tentokrát třídy *Premium Economy Class*. Ve třetí fázi praktické části budu kombinovat obě kategorie dohromady s různým poměrem zastoupení jednotlivých kategorií.

K získání proměnné y_i využijeme délku kabiny a rozteč sedadel. Přestože je délka kabiny letounu A320 1083 palců, nelze celou tuto délku využít jako plochu pro sedadla. Je třeba vzít v potaz také sociální zařízení, kuchyňku a zázemí pro posádku. Pro modelovou situaci bude počítáno s prostorem maximálně 930 palců, který může být využit pouze pro sedadla. V modelu je tato hodnota označena jako TS. Za normálních okolností je nutné uvažovat větší rozteč sedadel v případě řad, které se nacházejí u únikových východů. Zjednodušený model toto omezení nezahrnuje a počítá s tím, že jsou všechny řady od sebe ve stejné vzdálenosti.

Některé veličiny uvedené v původním modelu budou definovány odlišně, nezmění však význam rovnic zjednodušeného modelu. Tyto veličiny jsou vyznačeny níže.

x_i představuje optimální počet míst dané kategorie *(PEC vs. LEC)*

p_i vyjadřuje cenu letenky v dané kategorii (PEC, LEC)

TS vyjadřuje celkový palubní prostor určený pro sedadla = délka paluby určená pro sedadla

s_i vyjadřuje prostor pro umístění jednoho sedadla dané kategorie = rozteč jednoho sedadla

r_i vyjadřuje počet sedadel v řadě dané kategorie = konstantní veličina = 6

y_i vyjadřuje počet řad sedadel v dané kategorii (PEC, LEC)

$x_i = r_i y_i$ substituce pro vyjádření hledaného výstupu

Po těchto úpravách v definicích, je nutné upravit také několik rovnic původního modelu. Veličiny **TS** a $\mathbf{s_i}$ vyjadřují v lineárním modelu doktorky Skolilové prostor. Ve zjednodušeném modelu představují pouze vzdálenost, tedy délku paluby a vzdálenost sedadel. Z toho důvodu dojde k úpravě vzorců obsahujících tyto veličiny.

Prvním omezujícím kritériem je samotný počet sedadel xi na palubě letadla, které můžeme definovat jako:

$$F = \sum_{i=1}^{n} p_i x_i$$

za podmínek:

$$\sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{s_i\, y} \leq \boldsymbol{TS}$$

$$y \geq 0, \qquad i = 1 \ldots n$$
celočíselně

Z této rovnice následně vychází rovnice pro maximalizaci účelové funkce F s omezením sedačkové kapacity letu:

$$F = p_{LEC} * x_1 + p_{PEC} * x_2$$

za podmínek:

$$\boldsymbol{s_{LEC} * \ y_1 \ + \ s_{PEC} * y_2 \leq TS}$$

$$y_1, y_2 \geq 0$$
celočíselně

Následuje úprava pro zohlednění fixního počtu sedadel v jedné řadě, vycházející z omezení, že v jedné řadě nemohou být zároveň dvě různé kategorie sedadel, **pak tedy vyjádříme maximalizaci účelové funkce *F*:**

$$F = \sum_{i=1}^{n} r_i p_i y_i$$

za podmínek:

$$\sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{s_i\, y_i} \leq \boldsymbol{TS}$$

$$y_i \geq 0, \qquad i = 1 \ldots n$$
celočíselně

za využití substituce $x_i = r_i y_i$

$$F = \sum_{i=1}^{n} p_i x_i$$

za podmínek:

$$\sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{s_i\, y_i \leq TS}$$

$$x_i = r_i y_i, \qquad i = 1..n$$
$$y_i, x_i \geq 0, \qquad i = 1..n$$

celočíselně

Tento soubor rovnic lze označit za zjednodušený model a je výchozím prostředkem pro následnou aplikaci na konkrétní případy.

4.2. První fáze – *Light Economy Class*

První fáze praktické části aplikuje zjednodušený model na jednotřídní konfiguraci palubního prostoru, která obsahuje pouze sedadla *Light Economy Class.* Pro tento případ byl vybrán let společnosti Delta Airlines z Atlanty do New Yorku, datovaný na 14.7.2020. Let je uskutečňován letadlem Airbus A320 a trvá 2,5 hodiny. Jednosměrná letenka na tento let do *Light Economy Class* stojí 78,1 $. Ve všech případech je délka kabiny stanovena na maximálně 930 palců. Jak jsem již avizovala v úvodu praktické části, každá fáze výpočtů je rozdělena na 3 podskupiny podle velikosti rozteče sedadel – průměrnou, minimální a maximální.

4.2.1. Průměrná hodnota s_i

Společnost Delta Airlines používá v letadlech A320 rozteč *Light Economy Class* sedadel 30 palců, což je zároveň mezinárodní průměr běžný pro středně dlouhé lety. Ostatní vstupní parametry byly již popsány výše. Z toho vyplývá:

$p_1 = 78{,}1\$$

$TS = 930\ palc$ů

$s_1 = 30\ palc$ů

$r_1 = 6$

Z těchto údajů dále úpravou rovnice vypočítáme y_1 – počet řad v kabině letadla:

$$s_1 y_1 \leq TS$$

$$y_1 = \frac{TS}{s_1}$$

$$y_1 = \frac{930}{30} = 31\ řad$$

Dosazením y_1 do následujícího vzorce, zjistíme počet sedadel:

$$x = r_1 * y_1$$

$$x = 6 * 31 = 186\ místo$$

a následně maximalizujeme účelovou funkci F:

$$F = p_1 * x_1$$

$$F = 78{,}1 * 186 = 14.526{,}6\ \$$$

Do letadla A320 se při rozteči 30 palců vejde 31 řad. V každé řadě je 6 sedadel, celkově je to 186 sedadel. Pokud bychom počítali se 100 % obsazeností, byl by zisk za letenky z tohoto letu **14. 536,6 $** při ceně 78,1 $ za letenku.

4.2.2. Minimální hodnota s_i

Vstupní parametry pro další výpočty budou obdobné, jako u předchozího stavu, až na velikost rozteče sedadel. Ve výše popsané situaci je počítáno s roztečí 30 palců, což je reálná hodnota používaná společností Delta Airlines v letadlech A320 na středních tratích. Jak jsem již avizovala v úvodu praktické části, každá fáze výpočtů bude rozdělena na 3 podskupiny podle velikosti rozteče sedadel. První hodnota je rozteč reálně používaná na zvoleném letu. Pro následující výpočty použijeme druhou hodnotu, tedy minimální rozteč sedadel. Minimální v tom smyslu, jaká minimální hodnota rozteče sedadel se celosvětově vyskytuje u sedadel *Light Economy Class* na středně dlouhých tratích.

Stejně jako v prvním případě se jedná o let společnosti Delta z Atlanty do New Yorku letadlem A320. Cena zůstává také stejná – 78,1$. Vstupní parametr, který se mění je rozteč. Ve druhém případě počítám s velikostí rozteče sedadel pouze 28 palců (71 cm). Postup zůstává stejný. Z toho vyplývá:

$p_1 = 78{,}1\$$

$TS = 930\ palců$

$s_1 = 28\ palců$

$r_1 = 6$

Z těchto údajů dále vypočítáme y_1 – počet řad v kabině letadla.

$$s_1 y_1 \leq TS$$

$$y_1 = \frac{TS}{s_1}$$

$$y_1 = \frac{930}{28} = 33 \text{ řad}$$

Dosazením y_1 do následujícího vzorce, zjistíme počet sedadel:

$$x = r_1 * y_1$$

$$x = 6 * 33 = 198\, míst$$

a následně maximalizujeme účelovou funkci F:

$$F = p_1 * x_1$$

$$F = 78{,}1 * 198 = 15.463{,}6\ \$$$

Rozteč sedadel se zmenšila o 2 palce a díky tomu se do prostoru kabiny o délce 930 palců vejde 33 řad a tím pádem 198 sedadel, tedy o 12 míst více oproti prvnímu případu. Stále počítám se 100 % obsazeností. Na letenkách tak dopravce vydělá **15.463.6 $**.

4.2.3. Maximální hodnota s_i

Stejně jako u případu s minimální hodnotou s_i zůstávají všechny parametry vstupující do modelu stejné až na velikost rozteče sedadel. Ta je v tomto případě maximální, tedy největší vzdálenost mezi sedadly *Light Economy Class*, se kterou se lze na krátkých nebo středně dlouhých letech setkat. Pro třetí případ je použita velikost rozteče 32 palců. Z toho plyne:

$p_1 = 78{,}1\$$
$TS = 930\, palc$ů
$s_1 = 32\, palc$ů
$r_1 = 6$

Z těchto údajů dále vypočítáme y_1 – počet řad v kabině letadla.

$$s_1 y_1 \leq TS$$

$$y_1 = \frac{TS}{s_1}$$

$$y_1 = \frac{930}{32} = 29 \text{ řad}$$

Dosazením y_1 do následujícího vzorce, zjistíme počet sedadel:

$$x = r_1 * y_1$$

$$x = 6 * 29 = 174\ míst$$

a následně maximalizujeme účelovou funkci F:

$$F = p_1 * x_1$$

$$F = 78{,}1 * 174 = 13.589{,}4\ \$$$

Při použití největší rozteče 32 palců se na palubu letadla vejde „pouze“ 174 sedadel. To je rozdíl 24 míst oproti případu s nejmenší roztečí. Při konfiguraci s 29 řadami na palubě a teoretické 100 % obsazenosti je zisk dopravce z letenek **13.589,4** $. Téměř o 2.000 $ méně než v předchozím případě.

4.2.4. Srovnání

	Velikost s_1	***Počet řad***	***Počet sedadel***	***Zisk***
Průměrná hodnota s_1	30 palců	31	186	14.526,6 $
Minimální hodnota s_1	28 palců	33	198	15.463,8 $
Maximální hodnota s_1	32 palců	29	174	13.589,4 $

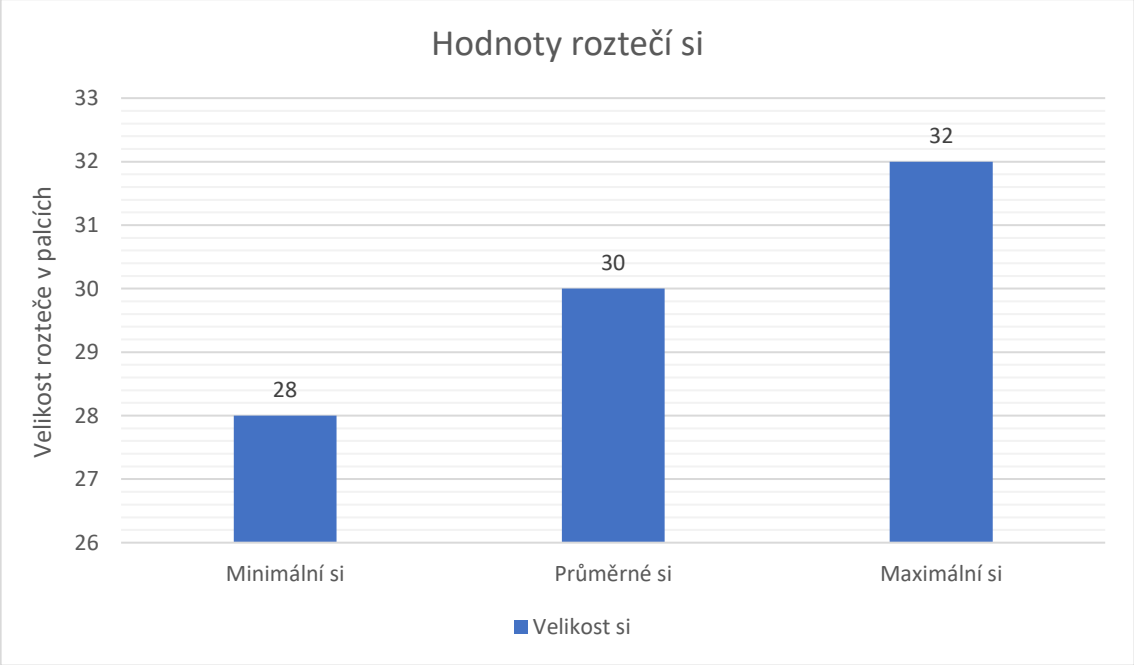
Tabulka 2: Srovnání výsledků První fáze (zdroj: autor)

V tabulce č. 2 je vidět srovnání proběhlých výpočtů – některých vstupních parametrů a výsledků. Hodnoty jsou srovnány v takovém pořadí, ve kterém byly na model aplikovány. Aplikace modelu byla použita ve třech variantách, kde jedinou proměnnou veličinou byla rozteč sedadel. Velikost 30 palců je průměrná hodnota, která je uvedena ve studiích zmiňovaných v teoretické části této práce a také hodnota, která vyšla při zprůměrování velikostí roztečí v *Light Economy Class* čtyřiceti leteckých společností, které jsem si pro tento účel náhodně vybrala. Podle výzkumů je to také vzdálenost sedadel nepříznivá pro komfort cestujících.

Další varianta modelu byla počítána ještě s menší roztečí – 28 palců. Je to minimální hodnota používaná v osobní letecké dopravě a také nejhorší hodnota z pohledu cestujících. Vzdálenost sedadel

minimalizuje prostor pro nohy a zaujmout pohodlnou pozici je pro většinu cestujících téměř nemožné. S touto velikostí rozteče by se na palubu letadla vešlo téměř 200 cestujících. V dnešní době může být kapacita A320 maximálně 186 cestujících, především z důvodů bezpečnosti. Tuto velikost rozteče používá například společnost Iberia nebo Cebu Pacific v jednotřídní konfiguraci na krátkých letech, ne však ve 33 řadách, ale maximálně 31.

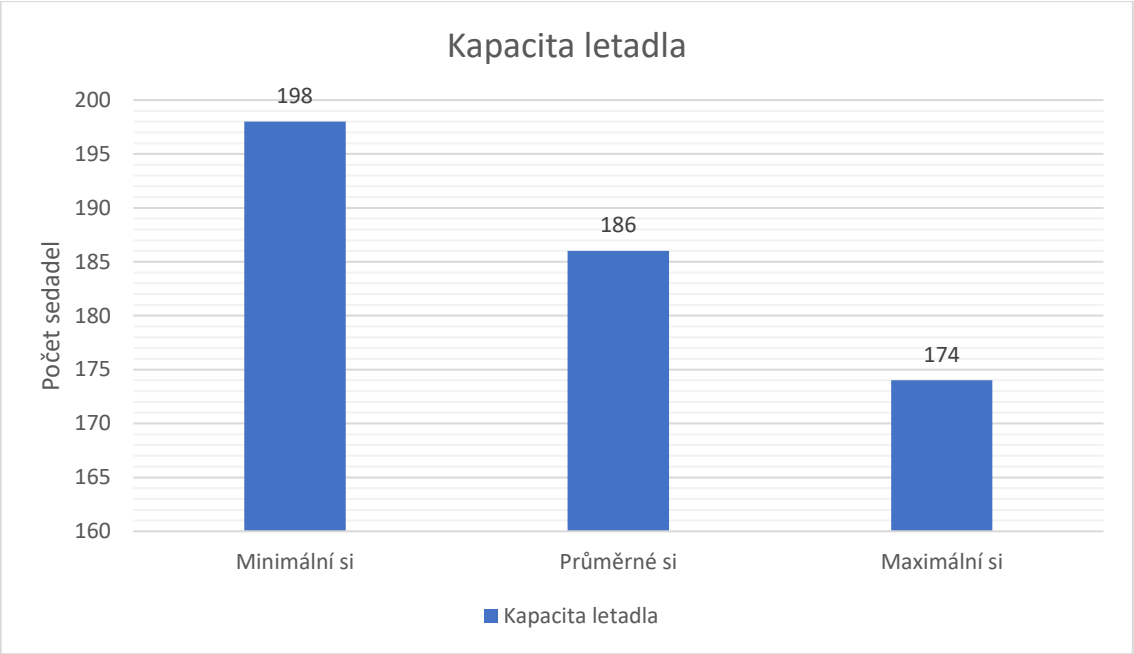
Třetí varianta počítá s hodnotou 32 palců, která je uživatelsky nejpříjemnější, nabízí cestujícím dostatek místa pro nohy a také se při této vzdálenosti snadněji zaujímá nebo mění pohodlná poloha. Na krátkých a středních letech se však vyskytuje jen zřídka a často se používá u sedadel v předních řadách nebo v řadách u nouzových východů.



Graf 1: Grafické srovnání použitých hodnot velikosti rozteče sedadel (zdroj: autor)

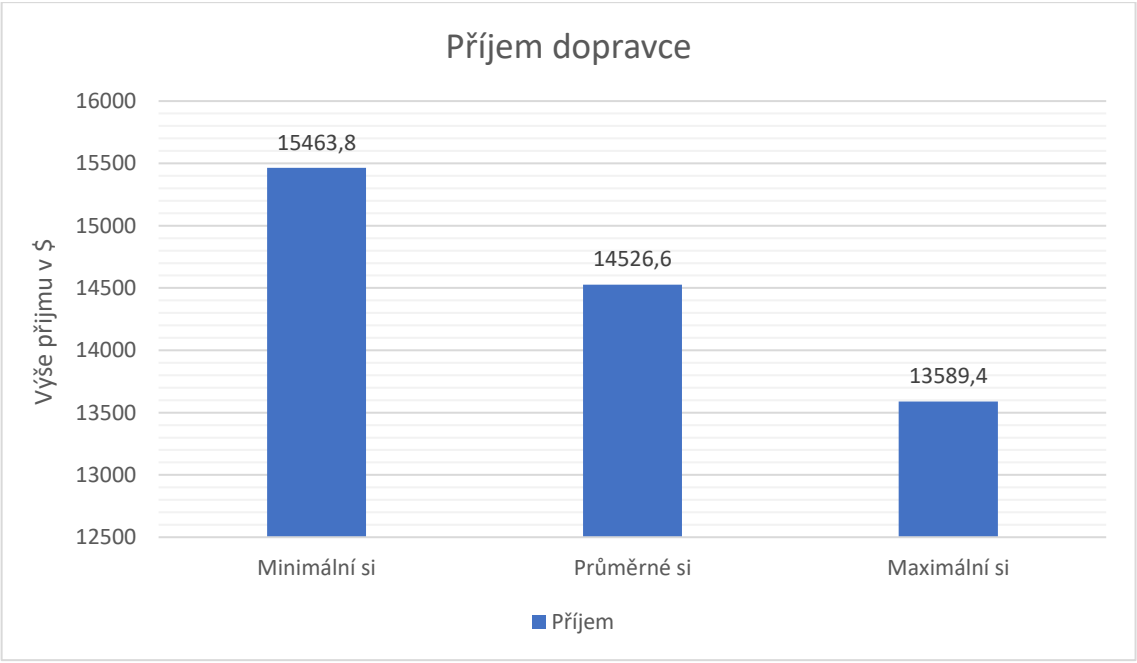
Při zvolené konstantní délce vnitřního prostoru letadla 930 palců, lze říci, že zmenšením rozteče sedadel o 1 palec vzroste počet řad v letadle právě o jednu. V případě výše uvedených výpočtů se rozteč sedadel zmenšuje i zvětšuje vždy o 2 palce od původní (průměrné) hodnoty. Stejně tak počet řad roste nebo klesá právě o dvě, počet sedadel je proto menší nebo větší o 12 míst.

Pro komfort cestujících by bylo nejvhodnější zvolit rozteč 32 palců. Z pohledu dopravce je pro maximální využití vnitřního prostoru letadla, a tedy celkovou kapacitu nejvýhodnější zvolit minimální hodnotu, tedy 28 palců. V tom případě by mohla kapacita letadla dosáhnout téměř 200 cestujících.



Graf 2: Grafické srovnání výsledné sedačkové kapacity letadla (zdroj: autor)

Jedná se o zjednodušený model, který zahrnuje jen omezené množství vstupních parametrů. Procento obsazenosti není reálně počítáno, ale pro výpočty je použita pouze teoretická hodnota 100 %. Takového čísla nelze v reálném provozu osobní letecké dopravy dosáhnout, pro model bylo využito pouze pro zjednodušení výpočtů. Díky tomu lze počítat zisk za letenky za plně obsazené letadlo. Jak jsem předpokládala, při zvětšení kapacity letadla roste i zisk dopravce z prodaných letenek. Tento nárůst ovšem není tam markantní, jak jsem si myslela, že by mohl být při rozdílu kapacit 24 míst. Zisk varianty s minimální hodnotou s_i je o 2.000 $ větší než u varianty s maximální hodnotou s_i.



Graf 3: Grafické srovnání výsledných příjmů dopravců (zdroj: autor)

4.3. Druhá fáze – *Premium Economy Class*

Druhá fáze praktické části má stejný základ jako fáze první. Model je aplikován na stejných principech, hlavním rozdílem je typ sedadel. První fáze počítala s modelem aplikovaným na jednotřídní konfiguraci vnitřního prostoru letadla s využitím sedadel pouze *Light Economy Class.* Výpočty druhé fáze jsou aplikovány také na jednotřídní uspořádání paluby, ovšem pouze se sedadly *Premium Economy Class.* Sedadla *Premium Economy Class* většiny leteckých dopravců jsou odlišná od sedadel *Light Economy Class* především velikostí, tedy vzdáleností jednotlivých řad a šířkou, někdy také materiálem čalounění nebo umístěným zábavním portálem.

Většina vstupních parametrů zůstává stejných jako v první fázi. Opět se jedná o let společnosti Delta Airlines z Atlanty do New Yorku, datovaný na 14.7.2020. Cena jednosměrné letenky na tento let do Premium Economy Class stojí 172,1 $. U všech variant je počítáno s konstantní velikostí paluby možnou využít pro umístění sedadel. Stejně jako v první fázi je to 930 palců. Konstantní zůstává i počet sedadel v jedné řadě – tedy 6. Měnit budu opět jen velikosti roztečí. V první variantě je hodnota s_i průměrná, v druhé variantě minimální a v poslední variantě maximální.

4.3.1. Průměrná hodnota s_i

Jako průměrnou hodnotu s_i jsem zvolila hodnotu 34 palců, kterou používá společnost Delta Airlines u sedadel *Premium Economy Class* v letadlech A320. Ostatní parametry byly zmíněny výše. Z toho plyne:

$p_2 = 172{,}1\ \$$

$TS = 930\ palc\text{ů}$

$s_2 = 34\ palc\text{ů}$

$r_2 = 6$

Z těchto údajů dále vypočítáme y_2 – počet řad v kabině letadla.

$$s_2 y_2 \leq TS$$

$$y_2 = \frac{TS}{s_2}$$

$$y_2 = \frac{930}{34} = 27\ \text{řad}$$

Dosazením y_2 do následujícího vzorce, zjistíme počet sedadel:

$$x = r_2 * y_2$$

$$x = 6 * 27 = 162\ míst$$

a následně maximalizujeme účelovou funkci F:

$$F = p_2 * x_2$$

$$F = 172{,}1 * 168 = 27.880{,}2\ \$$$

V první variantě druhé fáze bylo počítáno s velikostí rozteče 34 palců. Stejně jako v předchozí fázi i zde je počítáno s teoretickou obsazeností 100 %. Při zaplnění celého letadla je příjem dopravce, při ceně 172,1 $ za jednu letenku, $\mathbf{27.880{,}2}$ $.

4.3.2. Minimální hodnota s_i

Vstupní parametry zůstávají stejné jako v předchozích případech. Délka prostoru pro sedadla je opět 930 palců, cena za letenku 172,1 $ a v řadě se nachází 6 sedadel. Ke změně došlo pouze u velikosti rozteče sedadel, která se z průměrných 34 palců zmenšila na 32 palců, což je také maximální velikosti rozteče u sedadel *Light Economy Class.* Z těchto informací plyne:

$p_2 = 172{,}1\ \$$

$TS = 930\ palc$ů

$s_2 = 32\ palc$ů

$r_2 = 6$

Z těchto údajů dále vypočítáme y_2 – počet řad v kabině letadla.

$$s_2\, y_2 \leq TS$$

$$y_2 = \frac{TS}{s_2}$$

$$y_2 = \frac{930}{32} = 29\ \text{řad}$$

Dosazením y_2 do následujícího vzorce, zjistíme počet sedadel:

$$x = r_2 * y_2$$

$$x = 6 * 29 = 174\ míst$$

a následně maximalizujeme účelovou funkci F:

$$F = p_2 * x_2$$

$$F = 172{,}1 * 174 = 29.945{,}4\ \$$$

Druhá varianta má stejnou velikost rozteče jako maximální hodnota rozteče v první fázi, získáme tak tedy i stejný počet míst (174). Jelikož je cena jedné letenky 172,1 $, tak se výsledný příjem zásadně liší. V první fázi byl příjem dopravce 13.589,4 $. V této variantě je celkový příjem, díky ceně za letenky $\mathbf{29.945{,}4}$ **$.** Přestože je kapacita letadla stejná, u *Premium Economy Class* má dopravce o 16.000 $ větší příjem než v případě s *Light Economy Class.*

4.3.3. Maximální hodnota s_i

Poslední varianta druhé fáze, obdobně jako v první fázi, počítá s maximální hodnotou rozteče sedadel v *Premium Economy Class.* Stejně jako u *Light Economy Class* se velikosti roztečí u sedadel *Premium Economy Class* liší společnost od společnosti. Jako maximální hodnotu s_i jsem zvolila velikost 38 palců (společnost Aeroflot). Ostatní parametry zůstávají stejné. Z toho vyplývá:

$p_2 = 172{,}1\ \$$

$TS = 930\ palc$ů

$s_2 = 38\ palc$ů

$r_2 = 6$

Z těchto údajů dále vypočítáme y_2 – počet řad v kabině letadla.

$$s_2\ y_2 \leq TS$$

$$y_2 = \frac{TS}{s_2}$$

$$y_2 = \frac{930}{38} = 24\ \text{řad}$$

Dosazením y_2 do následujícího vzorce, zjistíme počet sedadel:

$$x = r_2 * y_2$$

$$x = 6 * 24 = 144\ míst$$

a následně maximalizujeme účelovou funkci F:

$$F = p_2 * x_i$$

$$F = 172{,}1 * 144 = 24.782{,}4\ \$$$

Ve třetí variantě jsem zvolila velikost s_2 38 palců. Nejedná se o obecně největší velikost u sedadel *Premium Economy Class*, např. společnost Qatar má na některých letech sedadla vzdálená 45 palců od sebe. S hodnotami nad 40 palců se setkáme především u dálkových letů. Hodnotu 38 palců používá společnost Aeroflot na středně dlouhých letech. Při takové vzdálenosti se do prostoru vejde 24 řad a tedy 144 sedadel – o 30 méně než v předchozí variantě. Příjem dopravce činí $\mathbf{24.782,4}$ **$.**

4.3.4. Srovnání

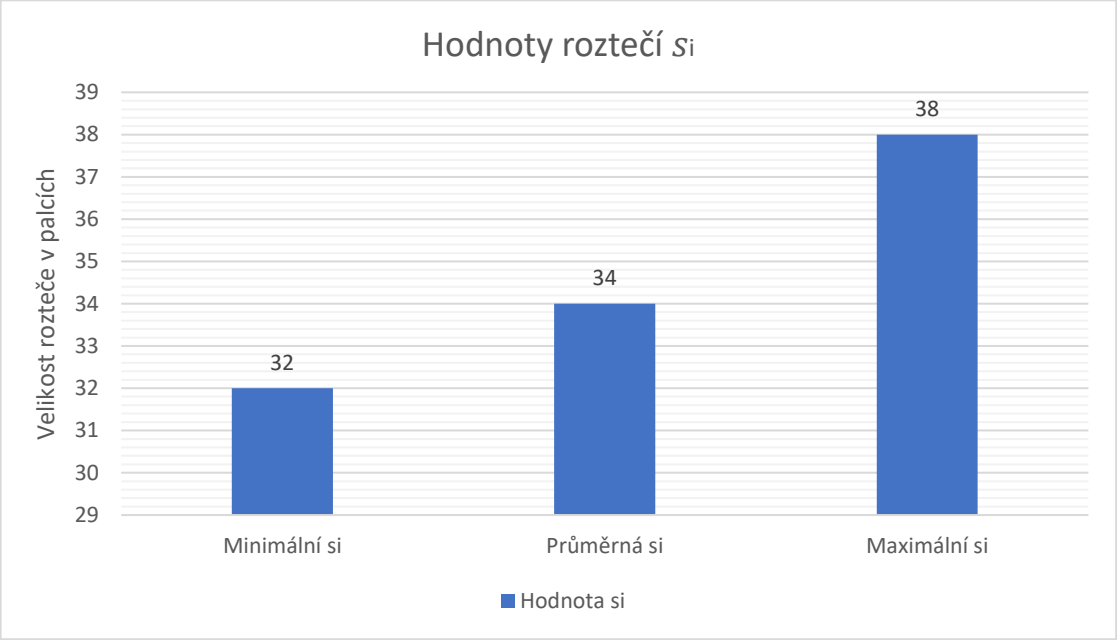
	Velikost s_2	***Počet řad***	***Počet sedadel***	***Zisk***
Průměrná hodnota s_2	34 palců	27	162	27.880,2 $
Minimální hodnota s_2	32 palců	29	174	29.945,4 $
Maximální hodnota s_2	38 palců	24	144	24.782,4 $

Tabulka 3: Srovnání výsledků Druhé fáze (zdroj: autor)

Výsledky z výpočtů všech variant druhé fáze jsou shrnuty výše v tabulce č 3. Vstupní parametry zůstaly po celou dobu výpočtu stejné, stejně jako v první fázi. Ke změně došlo jen při volbě velikosti rozteče sedadel. Jelikož se jedná o sedadla *Premium Economy Class* jsou všechny hodnoty s_2 větší než 32 palců. V tomto případě tedy nedochází v takové míře k omezení komfortu cestujících jako u variant první fáze, kdy se hodnoty pohybovaly do 28 do 32 palců.

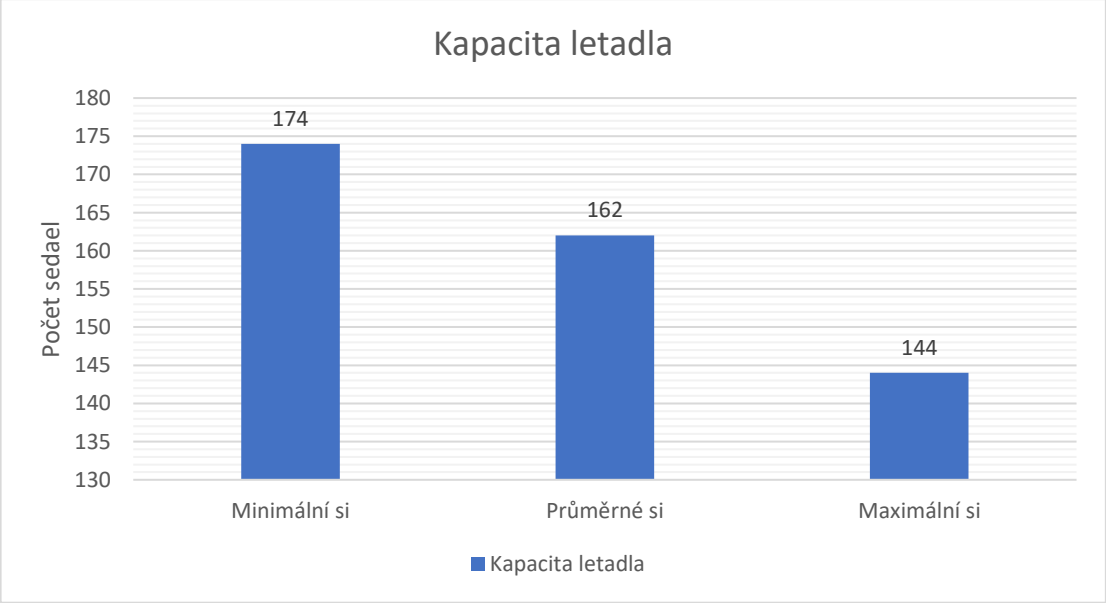
Velikost 34 palců byla zvolena jako průměrná hodnota s_2 jelikož se jedná o vzdálenost sedadel na výše zmíněném letu společnosti Delta Airlines v letadle A320. Z hlediska komfortu, je tato hodnota víceméně vyhovující a pro cestující vyhovující. Minimální hodnota s_2 – 32 palců je v této fázi shodná s maximální hodnotou ve fázi první. Tuto velikost můžeme také označit jako „bod zvratu“ z hlediska komfortu cestujících. Nejvíce roste míra komfortu mezi 28 a 32 palci, v tomto bodě se pomyslná rostoucí křivka láme a začíná pomalu stagnovat, tedy při dalším zvětšování rozteče sedadel nedochází už k tam razantnímu zlepšení pohodlí pasažérů, ale stále mírně roste. Maxima dosahuje pomyslná křivka při velikosti 40 palců. Maximální hodnota s_2 v této fázi byla stanovena na 38 palců. Z hlediska

komfortu cestujících je to nejlepší varianta ze všech dosud uvedených. Nikoliv však z pohledu dopravce, který tak sníží kapacitu letadla. Použité hodnoty s_2 jsou znázorněny v následujícím grafu.



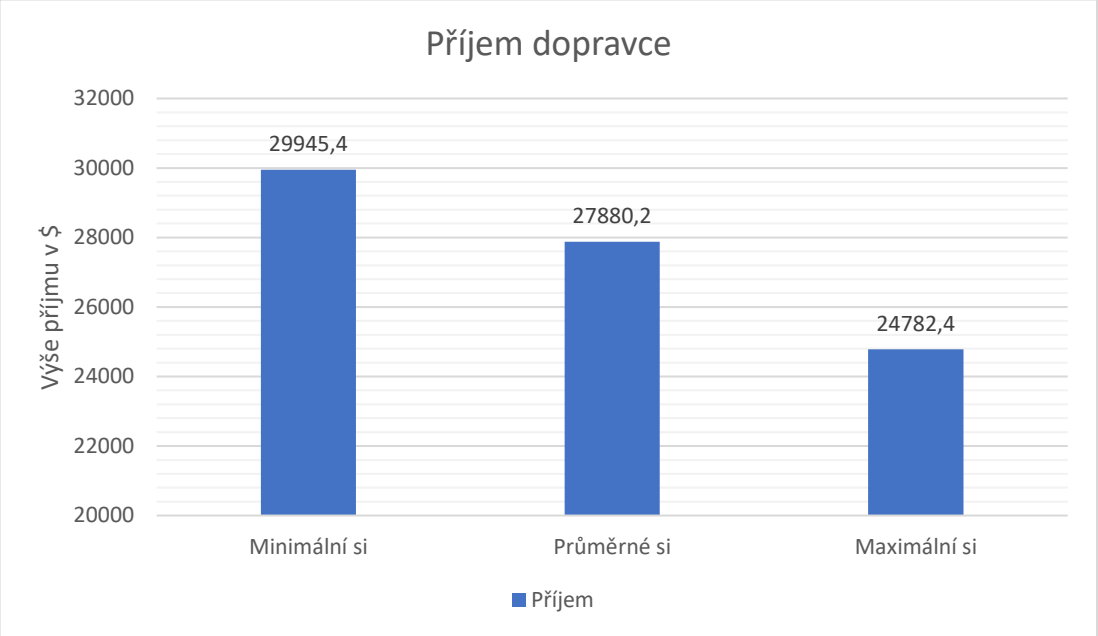
Graf 4: Grafické srovnání použitých hodnot velikosti rozteče sedadel (zdroj: autor)

Se změnou velikosti rozteče souvisí také změna výsledné kapacity letadla. Jelikož byla hodnota 32 palců využita v obou fázích, opakuje se ve výsledcích také stejná kapacita 174 míst vycházející z této rozteče. V první fázi se jednalo o nejmenší kapacitu, v tomto případě jde o kapacitu největší. Celkový rozdíl mezi roztečemi je 6 palců, což při objemu kapacity udělá celkový rozdíl 30 míst.



Graf 5: Grafické srovnání výsledné sedačkové kapacity letadla (zdroj: autor)

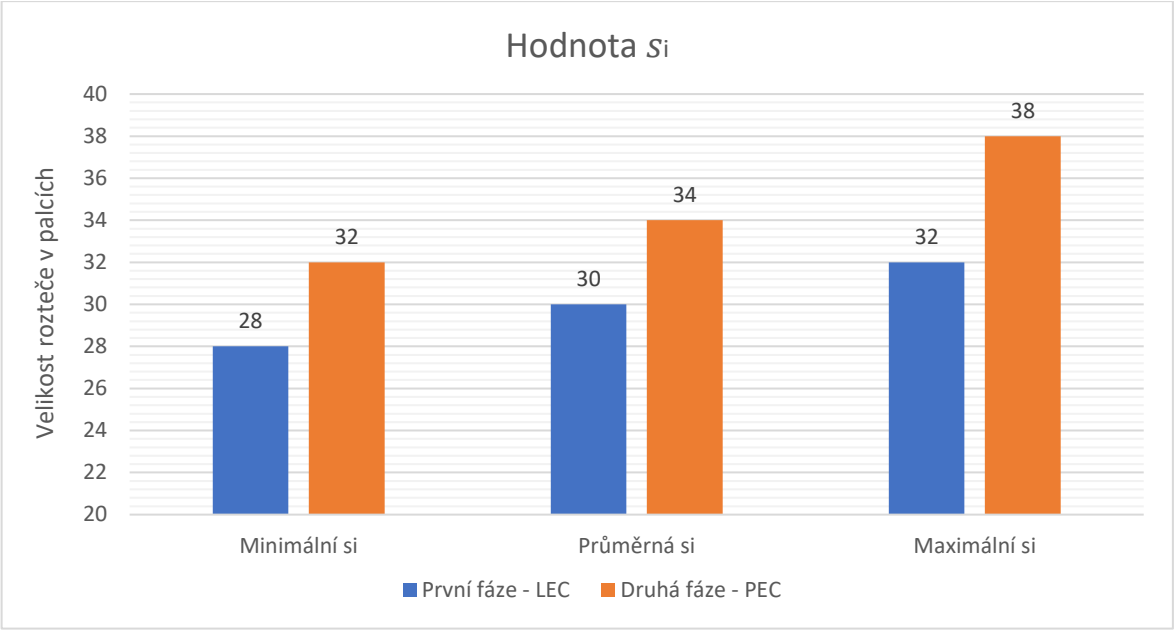
Vstupní parametry modelu jsou zvoleny tak, aby vytvářely laboratorní podmínky, které jsou v reálném světě těžko dosažitelné. Mezi tyto parametry můžeme počítat i procento obsazenosti letu. Ve všech variantách druhé fáze je počítáno s obsazeností 100 %. Příjem dopravce je v tomto případě značně vyšší díky ceně 172,1 $ za letenku v *Premium Economy Class,* a to ve všech třech variantách oproti první fázi. Celkový rozdíl mezi těmito variantami je víc jak 5.000 $, přičemž je kapacita první (minimální) varianty o 30 míst větší než kapacity varianty poslední (maximální).



Graf 6: Grafické srovnání výsledných příjmů dopravců (zdroj: autor)

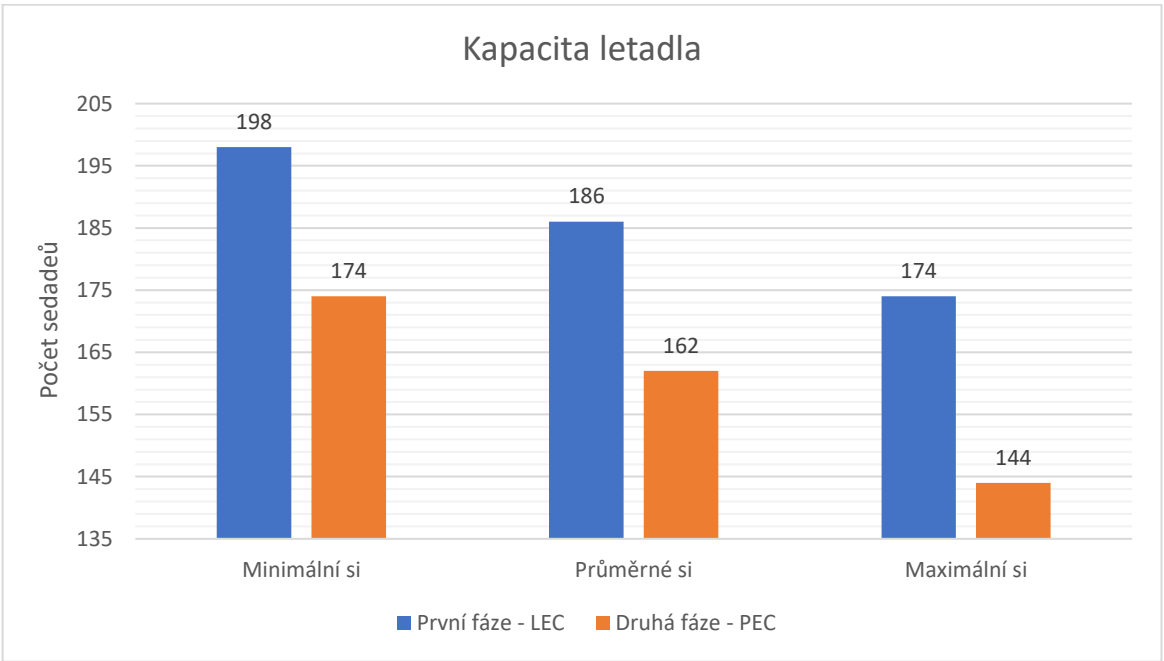
4.4. Srovnání první a druhé fáze

Pokud dojde ke srovnání výsledků obou výše zmíněných fází, největší rozdíl je vidět u příjmů dopravce za letenky. Velikosti roztečí se pohybují od 28 do 38 palců, což je celkový rozdíl 10 palců (25,4 cm). Sedadla *Premium Economy Class*, pokud jsou od sebe vzdálena alespoň 32 palců, jsou pohodlnější a samozřejmě prostornější než sedadla *Light Economy Class* většiny leteckých společností. Z toho důvodu jsou také vhodnější volbou pro zlepšení komfortu cestujících. V závislosti na hodnotách s_i jsou rozdílné i kapacity letadla v jednotlivých variantách – rozdíl mezi největší a nejmenší kapacitou je 54 sedadel. Výrazný rozdíl mezi příjmy za letenky v případě sedadel *Light Economy Class* a *Premium Economy Class*, při podobných kapacitách, je způsoben velkým rozdílem v ceně za jednu letenku dané kategorie. V následujících grafech je zobrazeno srovnání výsledků obou fází. Zkratka LEC je použita pro první fázi, tedy sedadla *Light Economy Class* (modrá osa), zkratka PEC pro sedadla *Premium Economy Class* (oranžová osa).



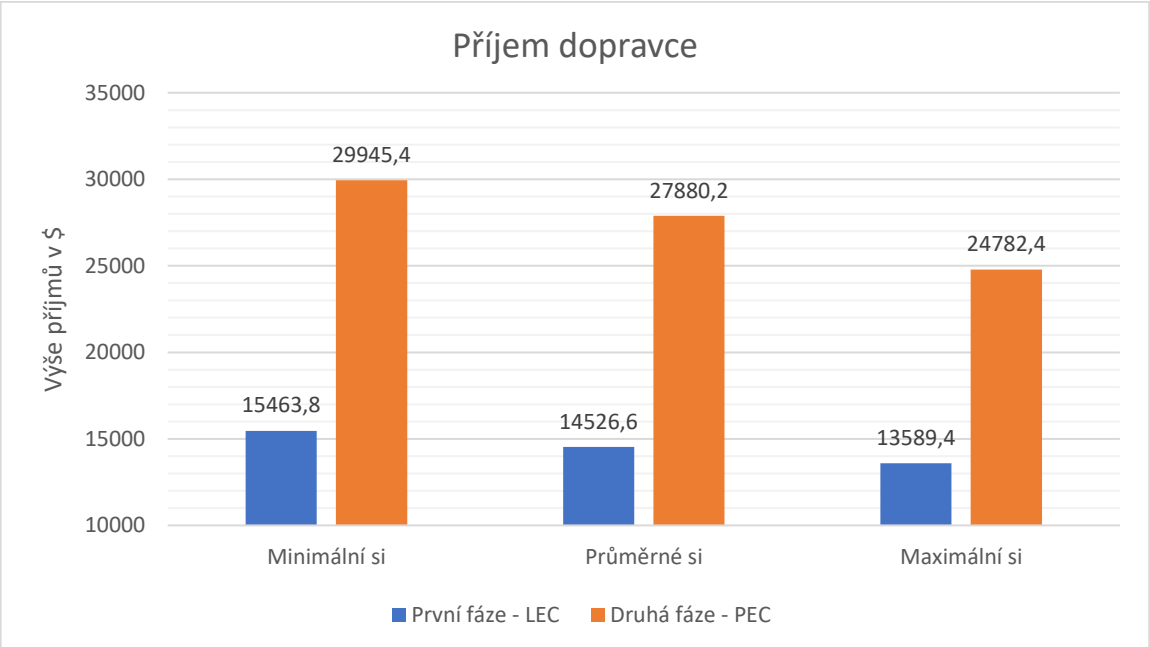
Graf 7: Grafické srovnání výsledků První a Druhé fáze – velikosti rozteče sedadel (zdroj: autor)

V grafu 7 jsou srovnány hodnoty s_i použité pro výpočty ve všech variantách jednotlivých fází. Pro minimální a průměrnou hodnotu rozteče je rozdíl roven 4 palcům, pouze u varianty maximální hodnoty je rozdíl 6 palců. Jak bylo zmíněno výše, tyto hodnoty mají značný vliv na využití prostoru paluby, maximální možný počet řad umístěných na palubě, a tedy celkovou kapacitu letadla. Srovnání kapacit je vidět níže v grafu č. 8. První fáze pro Light Economy Class je opět označena modře, druhá fáze Premium Economy Class oranžově.



Graf 8: Grafické srovnání První a Druhé fáze – kapacita letadla (zdroj: autor)

Jak jsem v úvodu práce předpokládala, pro dopravce je ekonomicky výhodnější využít celý palubní prostor pro sedadla *Premium Economy Class,* a to až do vzdálenosti 50 palců mezi řadami. Stále by byl jeho celkový příjem vyšší, než při použití rozteče jen 28 palců u sedadel *Light Economy Class*. Můžeme to říci v tomto konkrétním případě, kdy je cena za letenku v LEC 78,1 $ a v PEC stojí letenka 172,1 $. Konkrétní výsledky z provedených výpočtů jsou znázorněny v Grafu 9 níže.



Graf 9: Grafické srovnání První a Druhé fáze – příjmy dopravců (zdroj: autor)

Z výsledků předchozích výpočtů i z mých předpokladů vychází, že by dopravce mohl nabízet na tomto letu pouze sedadla *Premium Economy Class* s roztečí 32 palců a jeho příjem by byl o necelých 10.000 $ větší než při zařízení letadla sedadly *Light Economy Class* se stejnou roztečí. Pro dopravce by to byla ideální situace. V takovémto případě je ovšem nutné počítat s velmi důležitou „proměnnou“, kterou je ochota zákazníka (cestujícího) zaplatit vyšší cenu za letenku v *Premium Economy Class*. Poptávka po lepších místech s větším prostorem pro nohy stále stoupá, ale především na dálkových letech. Pokud let trvá přibližně 2 hodiny zákazník je za nízkou cenu spíše ochoten obětovat lepší komfort, který je mu v prémiové třídě nabízen, než u letů trvající víc jak 6 hodin. Existují ovšem i skupiny vyjímající se z tohoto „pravidla“ a to jsou obchodní cestující, kteří mnohdy rezervují let na poslední chvíli, letenku jim většinou platí zaměstnavatel a také je pro ně důležitá určitá úroveň cestování, protože dobu strávenou na palubě mohou aktivně věnovat svojí práci. Další výjimečnou skupinou jsou tzv. baťůžkáři, tedy obecně lidé, kteří chtějí svoje náklady na cestování co nejvíce minimalizovat. Na prvním místě je pro ně právě cena letenky a až po té úroveň cestování a komfort. Dopravce tedy nemůže mít jistotu, že bude poptávka po sedadlech *Premium Economy Class* dostatečně vysoká.

4.5. Třetí fáze – kombinace Light Economy Class a Premium Economy Class

V předchozích kapitolách je zjednodušený model aplikován pouze na jednotřídní konfigurace vnitřního prostoru letadla, tedy pouze s využitím sedadel jednoho typu cestovní třídy. V této fázi praktické části práce vytvořím několik kombinací obou cestovních tříd, *Light Economy Class* a *Premium Economy Class*, a následně porovnám jejich výsledky.

Vstupní parametry modelu budou opět stejné jako v přechozích výpočtech. Laboratorní podmínky, ve kterých s modelem pracuji, jsou vytvořeny na základě informací o letu společnosti Delta Airlines. Vybraný let je uskutečňován letadlem Airbus A320, plocha letadla využitelná pro umístění sedadel je omezena na 930 palců délky. Cena jednosměrné letenky do *Light Economy Class* je 78,1 $, letenka v *Premium Economy Class* stojí 172,1 $. Dále je počítáno s teoretickou stoprocentní obsazeností letu.

4.5.1. První kombinace

Velikost rozteče sedadel *Light Economy Class* je 30 palců, průměrná hodnota z první fáze a velikost rozteče pro sedadla *Premium Economy Class* je 34 palců, také průměrná hodnota z výpočtů druhé fáze. Ostatní vstupní informace byly již zmíněny v úvodu kapitoly. Z toho vyplývá:

$p_1 = 78{,}1\ \$$

$p_2 = 172{,}1\ \$$

$TS = 930\ palců$

$s_1 = 30\ palců$

$s_2 = 34\ palců$

$r_1, r_2 = 6$

Abych vytvořila poměr zastoupení sedadel *Light a Premium Economy Class*, musím nejprve spočítat počet řad v obou kategoriích dle následujícího vzorce:

$$s_{LEC} * y_1 + s_{PEC} * y_2 \leq TS$$

$$30 * y_1 + 34 * y_2 \leq 930$$

V tomto vzorci se vyskytují 2 neznámé veličiny, y_1 a y_2, vyjadřující počet řad v jednotlivých cestovních třídách, které chceme zjistit. Jednu z nich proto zvolím na začátek jako vstupní parametr a druhou následně dopočítám podle pravidel rovnice. V této kombinaci se pokusím vytvořit poměr sedadel zhruba 3:1. Tři čtvrtiny sedadel v *Light Economy Class* a jednu čtvrtinu pro *Premium Economy Class*.

Pro tuto variantu zvolím hodnotu $y_1 = 21$ řad, dosadím do výše uvedeného vzorce a základními matematickými úpravami získám hodnotu y_2.

$$s_{LEC} * y_1 + s_{PEC} * y_2 \leq TS$$

$$30 * 21 + 34 * y_2 \leq 930$$

$$34 * y_2 \leq 930 - (30 * 21)$$

$$y_2 \leq \frac{930 - (30 * 21)}{34}$$

$$y_2 \leq \frac{300}{34}$$

$$\boldsymbol{y_2 \leq 8,82 \text{ řad}}$$

Jelikož platí, že:

$$y_1, y_2 \geq 0$$

$$y_1, y_2 \in N$$

pak y_2 nemůže být rovno 8.82, ale musím hodnotu podle podmínek zaokrouhlit. Zaokrouhlovat mohu pouze směrem dolů, v opačném případě by bylo porušeno znamínko v rovnici. Proto:

$$\boldsymbol{y_2 = 8 \text{ řad}}$$

V *Light Economy Class* je 21 řad sedadel a v *Premium Economy Class* 8 řad. V každé řadě obou tříd se nachází 6 sedadel. Z těchto údajů vypočítám počet sedadel v každé z cestovních tříd.

$$x_1 = r_1 * y_1$$

$$x_1 = 6 * 21 = 126 \, místo$$

$$x_2 = r_2 * y_2$$

$$x_2 = 6 * 8 = 48 \, místo$$

I přes původní odhad hodnoty y_1 byla namodelována konfigurace s cca 75 % sedadel Light Economy Class a s 25 % sedadel Premium Economy Class. Celková kapacita letadla je v tomto případě 174 osob.

Zbývá tedy už jen spočítat příjem dopravce za letenky obou kategorií. Získané hodnoty dosadím do následujícího vzorce:

$$F = p_{LEC} * x_1 + p_{PEC} * x_2$$

$$F = 78{,}1\ \$ * 126 + 172{,}1\ \$ * 48$$

$$F = 9.840{,}6\ \$ + 8.260{,}8\ \$$$

$$\boldsymbol{F = 18.101{,}4\ \$}$$

První varianta kombinuje 126 míst v *Light Economy Class* s letenkou za 78,1 $ a 48 míst v *Premium Economy Class*, kde letenka stojí 172,1 $. Celková kapacita letadla je 174 osob a jelikož počítám s teoretickou stoprocentní obsazeností, je příjem dopravce u této varianty **18.101,4 $.**

4.5.2. Druhá kombinace

V druhé variantě budu postupovat obdobně jako v předchozím případě. Všechny vstupní parametry modelu zůstávají stejné. Rozteč sedadel je 30 a 34 palců, podle kategorie. Celková možná využitelná délka paluby je 930 palců, v každé řadě je vždy 6 sedadel, cena letenky do *Light Economy Class* je 78,1 $ a do *Premium Economy Class* stojí letenka 172,1 $. Z toho plyne:

$p_1 = 78{,}1\ \$$

$p_2 = 172{,}1\ \$$

$TS = 930\ palců$

$s_1 = 30\ palců$

$s_2 = 34\ palců$

$r_1, r_2 = 6$

Nyní chci vytvořit poměr sedadel *Light Economy a Premium Economy Class*, k tomu nejprve potřebuji vypočítat počet řad v obou kategoriích podle následujícího vzorce

$$s_{LEC} * y_1 + s_{PEC} * y_2 \leq TS$$

$$30 * y_1 + 34 * y_2 \leq 930$$

Jelikož se ve vzorci vyskytují 2 neznámé veličiny, y_1 a y_2, jednu z nich musím na začátku určit, tím snížím počet neznámých a rovnici mohu dopočítat. Pro tuto kombinaci se pokusím vytvořit poměr sedadel přibližně 1:1. Zhruba polovina sedadle by měla spadat do kategorie *Light Economy Class* a polovina

do *Premium Economy Class*. Jako první variantu odhadnu, že veličina $y_1 = 14$ řad a pokračuji v počítání.

$$s_{LEC} * y_1 + s_{PEC} * y_2 \leq TS$$

$$30 * 13 + 34 * y_2 \leq 930$$

$$34 * y_2 \leq 930 - (30 * 14)$$

$$y_2 \leq \frac{930 - (30 * 21)}{34}$$

$$y_2 \leq \frac{510}{34}$$

$$\boldsymbol{y_2 \leq 15 \text{ řad}}$$

Pro hodnotu y_1 a y_2 platí, že:

$$y_1, y_2 \geq 0$$

$$y_1, y_2 \in N$$

Obě hodnoty musí být celá čísla, hodnotu y_1 jsem jako celočíselnou zvolila již v počátku a v tomto případě vyšla veličina y_2 také celočíselně, není tedy nutné zaokrouhlovat.

$$\boldsymbol{y_2 = 15 \text{ řad}}$$

Nyní již mám potřebné informace ke zjištění počtu míst v jednotlivých kategoriích.

$$x_1 = r_1 * y_1$$

$$x_1 = 6 * 14 = 84 \, míst$$

$$x_2 = r_2 * y_2$$

$$x_2 = 6 * 15 = 90 \, míst$$

Můj původní odhad veličiny y_1 se ukázal jako správný a poměr sedadel vyšel téměř přesně v poměru 1:1. Celková kapacita letadla je v tomto případě 174 míst, z toho 84 je v *Light Economy Class* a 90 míst

je v *Premium Economy Class*. Z těchto výsledků následně spočítám příjem dopravce pouhým dosazením do následujícího vzorce.

$$F = p_{LEC} * x_1 + p_{PEC} * x_2$$

$$F = 78{,}1\ \$ * 84 + 172{,}1\ \$ * 90$$

$$F = 6.506{,}4\ \$ + 15.489\ \$$$

$$\boldsymbol{F = 22.049{,}4\ \$}$$

Druhá konfigurace je složena z poloviny sedadel *Light Economy Class* s cenou letenky 78,1 $ a z jedné poloviny sedadel *Premium Economy Class*, do které letenka stojí 172,1 $. Celková kapacita je 174 míst, je stejná jako u první varianty, ovšem příjem za letenky je jiný. Příjem dopravce u této kombinace při stoprocentní obsazenosti činí $\boldsymbol{22.049{,}4}$ $.

4.5.3. Třetí kombinace

Následující kombinace má opět stejné parametry jako předchozí varianty. Hodnoty veličiny s_i jsou 30 a 34 palců, stejná zůstává i hodnota TS, velikost palubního prostoru, 930 palců a v každé řadě je konstantně 6 sedadel. Cena za letenku do *Light Economy Class* je 78,1 $ a do *Premium Economy Class* stojí letenka 172,1 $. Z toho plyne:

$p_1 = 78{,}1\ \$$

$p_2 = 172{,}1\ \$$

$TS = 930\ palc$ů

$s_1 = 30\ palc$ů

$s_2 = 34\ palc$ů

$r_1, r_2 = 6$

Dalším krokem je stanovení veličin $y_1\ a\ y_2$ z následujícího vzorce, jelikož nemám soustavu rovnic a obě veličiny jsou neznámé, vytvořím odhad jedné z nich a druhou následně ze vzorce vyjádřím.

$$s_{LEC} * y_1 + s_{PEC} * y_2 \leq TS$$

$$30 * y_1 + 34 * y_2 \leq 930$$

V této kombinaci chci vytvořit poměr sedadel opačný k první variantě, kde byl poměr 3:1. Tentokrát chci vytvořit poměr 1:3, tedy 25 % sedadel kategorie *Light Economy Class* a 75 % sedadel *Premium Economy Class*. Jako první odhad zvolím hodnotu veličiny $y_1 = 10$ řad a vyzkouším správnost odhadu.

$$s_{LEC} * y_1 + s_{PEC} * y_2 \leq TS$$

$$30 * 10 + 34 * y_2 \leq 930$$

$$34 * y_2 \leq 930 - (30 * 10)$$

$$y_2 \leq \frac{930 - (30 * 10)}{34}$$

$$y_2 \leq \frac{630}{34}$$

$$\boldsymbol{y_2 \leq 18,53 \text{ řad}}$$

Jelikož platí, že:

$$y_1, y_2 \geq 0$$

$$y_1, y_2 \in N$$

nemůžu počítat s desetinným číslem a aby platila nerovnost $\leq TS$ musím výsledek zaokrouhlit směrem dolů. Proto:

$$\boldsymbol{y_2 \leq 18 \text{ řad}}$$

Získala jsem tak hodnoty potřebné k výpočtu veličin x_1 a x_2, výsledky dosadím do následujících vzorců a následně ověřím správnost odhadu vzhledem k zvolenému poměru sedadel.

$$x_1 = r_1 * y_1$$

$$x_1 = 6 * 10 = 60 \, míst$$

$$x_2 = r_2 * y_2$$

$$x_2 = 6 * 18 = 108 \, míst$$

Při počítání se zvoleným odhadem $y_1 = 10$ řad vyjde konfigurace vnitřního prostoru letadla v kombinaci 60 míst *Light Economy Class* a 108 míst v *Premium Economy Class*. Celková kapacita letadla činí 168 míst. Tato varianta není nesprávná, ovšem nevyhovuje požadavku na rozdělení sedadel v poměru 1:3. Z celkového čísla 168 míst je 25 % pouze 42 míst, nikoliv 60, jak v tomto případě vyšlo. Původní odhad se tedy ukázal jako nesprávný a je nutné jej změnit. Při hodnotě $y_1 = 10$ řad je k dispozici 60 míst této kategorie, o 18 více než je zamýšlená hodnota, tedy o 3 řady. Jako druhý odhad zvolím hodnotu $y_1 = 7$ řad a znovu ověřím správnost a opakuji postup výpočtů.

$$s_{LEC} * y_1 + s_{PEC} * y_2 \leq TS$$

$$30 * 7 + 34 * y_2 \leq 930$$

$$34 * y_2 \leq 930 - (30 * 7)$$

$$y_2 \leq \frac{930 - (30 * 7)}{34}$$

$$y_2 \leq \frac{720}{34}$$

$$\boldsymbol{y_2 \leq 21,17 \text{ řad}}$$

Jelikož platí, že:

$$y_1, y_2 \geq 0$$

$$y_1, y_2 \in N$$

a hodnota y_2 nevyšla jako celé číslo, musím výsledek zaokrouhlit. Pro dodržení platnosti rovnice zaokrouhluji směrem dolů, takže platí:

$$\boldsymbol{y_2 \leq 21 \text{ řad}}$$

Nově získané hodnoty veličin y_1 *a* y_2 dosadím do následujících vzorců a následně ověřím správnost odhadu, vzhledem k výsledkům.

$$x_1 = r_1 * y_1$$

$$x_1 = 6 * 7 = 42 \, míst$$

$$x_2 = r_2 * y_2$$

$$x_2 = 6 * 21 = 126\, míst$$

Jak jsem již dříve zmínila, 25 % ze 168 míst je 42 míst, což v tomto případě vyšlo naprosto přesně. Celkovou kapacitou 168 míst rozdělenou na 42 míst *Light Economy Class* a 126 míst v *Premium Economy Class* jsem dosáhla přesně poměru 3:1, jaký jsem si stanovila na začátku. Následuje výpočet příjmů dopravce za letenky.

$$F = p_{LEC} * x_1 + p_{PEC} * x_2$$

$$F = 78{,}1\ \$ * 42 + 172{,}1\ \$ * 126$$

$$F = 3.280{,}2\ \$ + 21.684{,}6\ \$$$

$$\boldsymbol{F = 24.964{,}8\ \$}$$

V třetí kombinaci sedadel v poměru 1:3 je celková kapacita letadla 168 míst o 6 míst menší než v předchozích variantách. Naprosto logicky je ale příjem dopravce vyšší oproti ostatním variantám vzhledem k vyššímu podílu sedadel *Premium Economy Class* a jejich vyšší ceně letenek. Příjem dopravce za letenky v třetí variantě je **$\boldsymbol{24.964{,}8\ \$}$.**

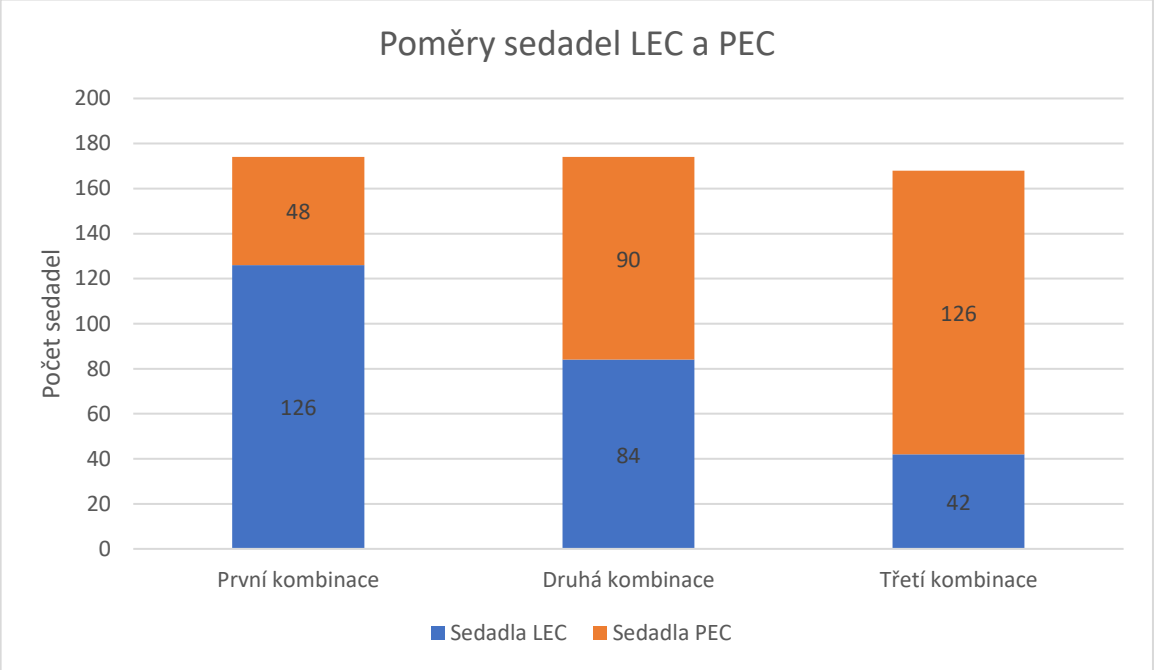
4.5.4. Srovnání výsledků třetí fáze

	Velikost s_1 a s_2	***Počet řad***	***Počet sedadel***	***Zisk***
První kombinace	30 + 34	29	174	18.101,4 $
Druhá kombinace	30 + 34	29	174	22.049,4 $
Třetí kombinace	30 + 34	28	168	24.964,8 $

Tabulka 4 : Srovnání výsledků Třetí fáze (zdroj: autor)

Výsledky třetí fáze aplikace modelu jsou uvedeny v tabulce č 4, kde jsou srovnány vstupní parametry (velikost rozteče, celkový počet řad, počet sedadel) a výsledek modelu (příjem dopravce). Velikosti roztečí byly pro všechny tři kombinace stejné, konstantní. Zvolila jsem hodnoty 30 a 34 palců, tedy

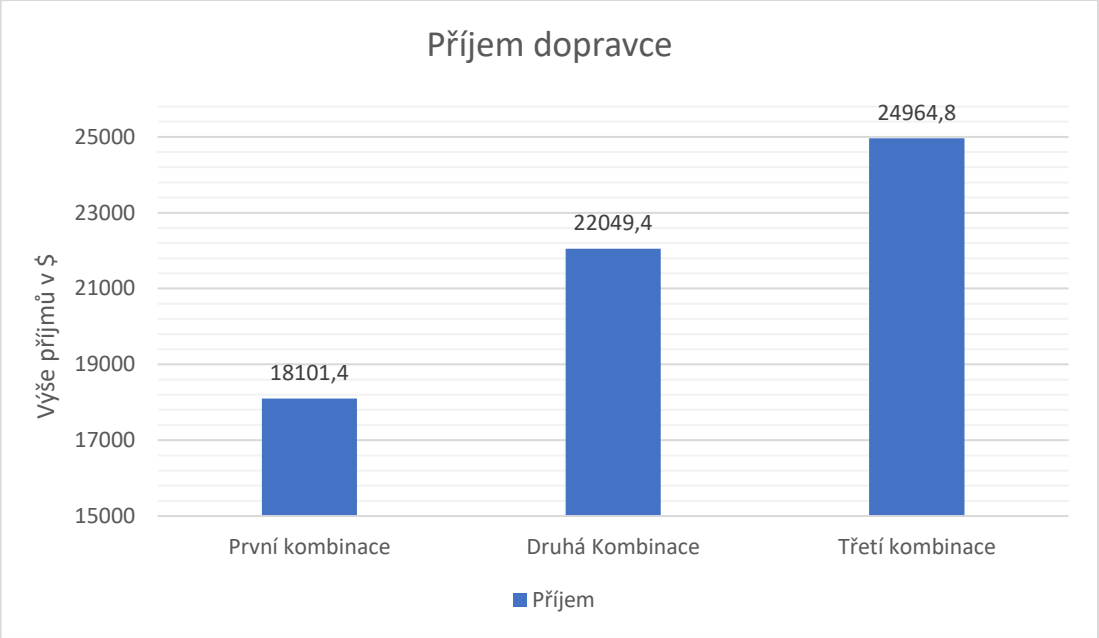
průměrné hodnoty z obou předchozích fází a také hodnoty reálně používané na letu společnosti Delta Airlines operovaným letadlem airbus A320. Počet řad sedadel nebyl stanoven konstantně, ale ve výsledku se hodnoty lišily minimálně. Stejně tak tomu bylo i u celkového počtu sedadel, jejichž výsledky jsou velmi podobné. Velký rozdíl je ovšem v poměru sedadel *Light Economy Class* a *Premium Economy Class*, které jsou znázorněny v následujícím grafu č 10. Oranžovou barvou jsou znázorněna sedadla *Premium Economy Class* a modrou sedadla *Light Economy Class*.



Graf 10: Grafické znázornění poměrů sedadel Light a Premium Economy Class (zdroj: autor)

Pro každou z kombinací jsem zvolila jiný poměr využití sedadel. V první kombinaci je počítáno s poměrem 3:1. Z celkového počtu sedadel 174 by v ideálním případě mělo být 130 sedadel (75 %) v *Light Economy Class* a 44 míst (25 %) v *Premium Economy Class*, výsledky první varianty se od těchto hodnot liší velmi málo. V další kombinace jsou sedadla rozdělena v poměru 1:1, jelikož celkový počet řad byl v tomto případě 29 a každá řada má 6 sedadel vždy stejné kategorie, nebylo možné dosáhnout přesného výsledku a rozdělení celkového počtu 174 míst na přesné poloviny. I tak se výsledky opět liší minimálně s odchylkou ± 3 sedadla od ideální hodnoty 87 míst. Třetí kombinace byla zvolena jako opačná k první variantě, tedy v poměru 1:3. Kvůli zvolení špatného prvního odhadu veličiny y_1 bylo nutné část výpočtů opakovat. Na druhý pokus již byly získány vhodné výsledky, které se přesně shodují s ideálními hodnotami. Z celkové kapacity tentokrát 168 míst tvoří právě 42 sedadel 25 % celku a 126 sedadel 75 % celku a přesně tyto hodnoty jsou i výsledkem výpočtů. Rozdíly počtu sedadel

jednotlivých kategorií v celkové kapacitě mají výrazný vliv na finanční stránku letu, respektive na příjem dopravce z letenek prodaných na daný let. Ve všech případech bylo počítáno s teoretickou stoprocentní obsazeností letu.

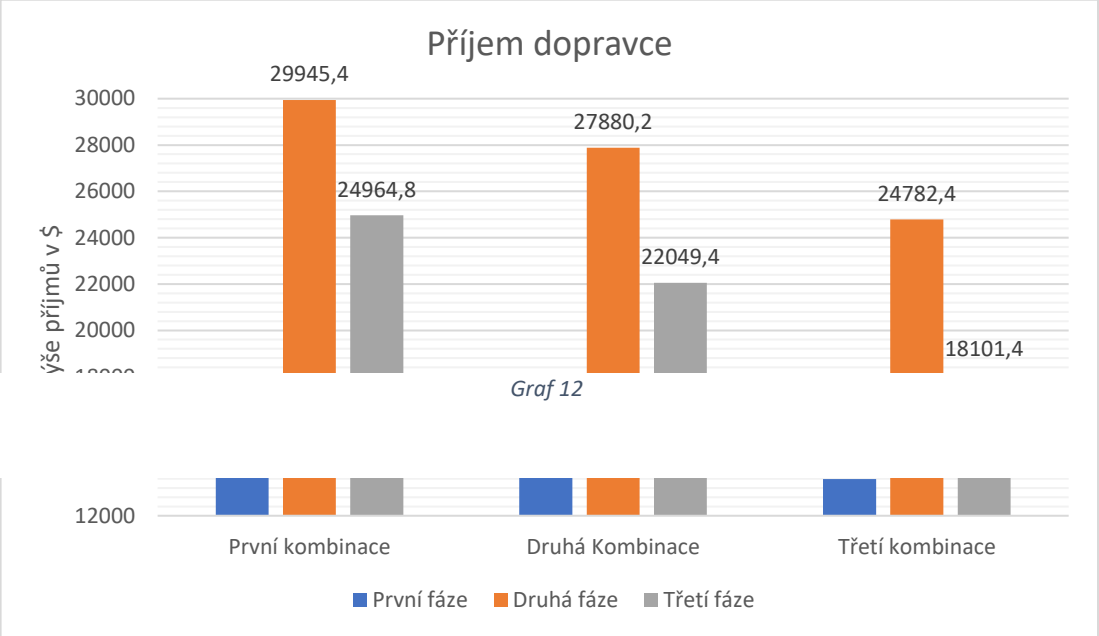


Graf 11: Grafické srovnání výsledných příjmů dopravců (zdroj: autor)

V grafu č 11 (výše) jsou zaneseny příjmy dopravce z letenek pro jednotlivé kombinace. Zásadní podíl na rozdílech mezi příjmy má poměr sedadel *Light Economy Class* a *Premium Economy Class* v rámci celkové kapacity a také cena za letenky do těchto cestovních tříd. Letenka do *Light Economy Class* stojí 78,1 $, zatímco letenka do vyšší třídy stojí 172,1 $. Z těchto výsledků logicky vyplývá, že čím více sedadel dražší kategorie bude na palubě letadla umístěno, tím vyšší bude pro dopravce příjem z daného letu. Výsledné hodnoty třetí fáze se pohybují od 18.000 $ do necelých 25.000 $. Vzhledem k rozdílným cenám letenek neroste výsledný příjem těchto kombinací lineárně, přestože pokles i nárůst počtu sedadel každé z kategorií bychom za lineární považovat mohli.

Pro všechny tři varianty jsou příjmy dopravce vyšší než nejvyšší příjem první fáze výpočtů, kdy byla kapacita letadla 198 míst kategorie *Light Economy Class.* Dopravci se tak spíše finančně vyplatí umístit alespoň na část paluby letadla sedadla vyšší třídy, než vyplnit celou kapacitu (i když vyšší) sedadly pouze nejnižší cestovní třídy. Na následujícím grafu (č. 12) jsou srovnány finanční výsledky ze všech tří fází a pro všechny vypočítané varianty. Výsledky jednotlivých fází jsou seřazeny od nejvyšších po nejnižší. Sloupec s názvem „První kombinace“ pro výsledky první a druhé fáze znamená příjem dopravce

pro konfiguraci s největší kapacitou, a tedy nejmenší vzdáleností mezi sedadly. Pro třetí fázi výpočtů je to poslední varianta s nejvyšší hodnotu příjmu a nejvyšším podílem sedadel *Premium Economy Class* v rámci celkové kapacity. Modře jsou v grafu označeny výsledky první fáze výpočtů pouze pro sedadla *Light Economy Class*, oranžově jsou znázorněny výsledky druhé fáze pro sedadla *Premium Economy Class* a šedivou barvou pak hodnoty příjmů z třetí kombinační fáze.



Graf 12: Grafické srovnání výsledných příjmů dopravců ze všech 3 fází (zdroj: autor)

5. Zhodnocení

V předchozích kapitolách jsem aplikovala matematický model na několik variant rozložení vnitřního prostoru letadla jak s jednotřídní, tak kombinovanou konfigurací sedadel. Ověřila jsem tím funkčnost matematického modelu definovaného v úvodu praktické části, což jsem také stanovila jako cíl praktické části diplomové práce. Základem praktické části práce byl ekonomicko-matematický model doktorky Skolilové, jejíž cílem bylo vytvořit aplikovatelnou metodiku pro vytvoření funkčního ekonomicko-matematického modelu pro vytvoření udržitelné tarifní struktury pro osobní leteckou dopravu. Tento model byl do určité míry zjednodušen a upraven pro potřeby této práce.

Výsledky všech aplikačních variant odpovídají původním odhadům, vzhledem ke zjednodušení modelu zobrazují pouze část reality, která je pro každou leteckou společnost i její let odlišná. Model byl aplikován na let společnosti Delta Airlines s použitím jejich tarifů a parametrů. Pokud by byl model aplikován na jiné prostředí s jinými vstupními informacemi, výsledky se budou samozřejmě více

či méně lišit od těchto původních. Vzhledem k faktu, že letenky do *Premium Economy Class* běžně stojí více než letenky do *Light Economy Class* budou příjmy dopravce za let v konfiguraci pouze vyšší třídy větší než za let v konfiguraci pouze nižší třídy. Rozdíly těchto příjmů budou u každé společnosti jinak vysoké.

Z mnoha ohledů byl matematický model aplikován v téměř laboratorních podmínkách, uměle nastavených a v reálném světě prakticky nedosažitelných. Především bylo počítáno se stoprocentní obsazeností letu. Takovou hodnotu lze dosáhnout na několika žádaných letech v atraktivní dobu, nikoliv však na celé lince. Dalším vstupem, který jsem do modelu nezahrnula, jsou všechny přímé i nepřímé náklady letecké společnosti na uskutečnění letu. Výsledky účelové funkce tedy ukazují pouze příjem za prodané letenky, nikoliv čistý zisk společnosti. Všechny tři fáze výpočtů byly omezeny těmito, výše popsanými, podmínkami.

Funkčnost modelu byla za stanovených podmínek ověřena a tím splněn cíl práce. Bylo by tedy možné pomocí původního modelu vytvořit stabilní tarifní strukturu v osobní letecké dopravě. V reálném prostředí bude volbu konfigurace sedadel a jejich složení ovlivňovat například ochota cestujících zaplatit za vyšší kategorii. Pokud bychom do modelu zařadili tuto proměnnou, dopravce získá přesnější odhad o tom, kolik sedadel vyšší cestovní třídy může umístit na palubu. Dalším důležitým parametrem, podle kterého se v konečném důsledku bude dopravce řídit především, je bod zvratu, tzv. *break even point*. Klíčem pro většinu leteckých společností je najít správnou rovnováhu, aby uspokojil maximum zákazníků a udržel tak ziskovost. Tyto vlivy a další ekonomické aspekty osobní letecké dopravy stručně rozeberu v následující kapitole.

6. Letecká ekonomika

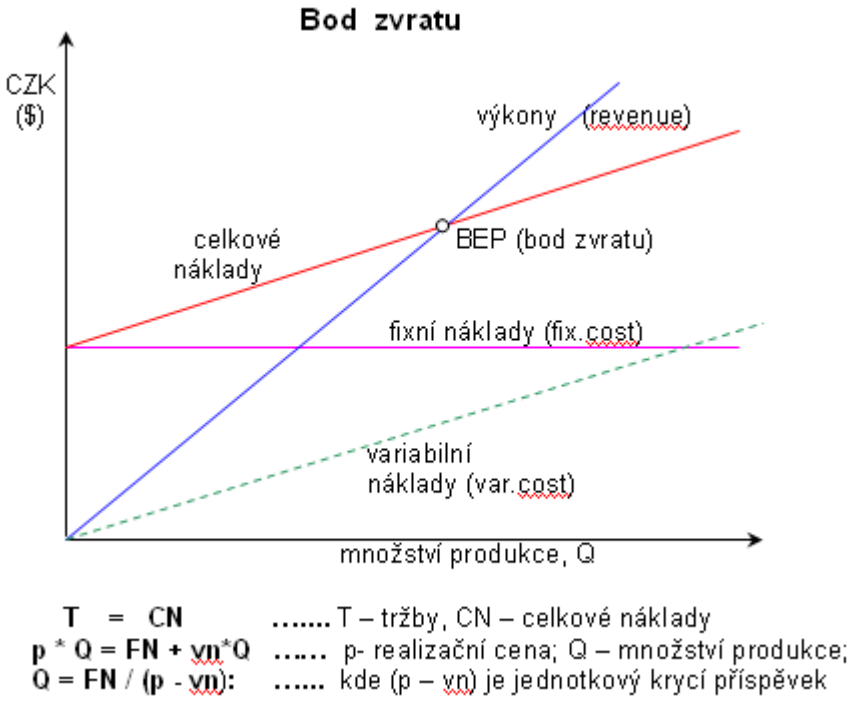
Díky veškerému vybavení a zařízení spojeného s leteckou dopravou se snadno přehlédne skutečnost, že vlastně jedná o odvětví služeb. Letecké společnosti poskytují služby svým zákazníkům – přepravují je a jejich věci z místa A na místo B za předem dohodnutou cenu. Za peníze zaplacené zákazníkem neexistuje žádný fyzický produkt ani zásoby vytvořené a uložené k prodeji k pozdějšímu datu. Podnikání v letecké dopravě je velmi kapitálově náročné, aby mohly společnosti nastartovat svůj podnik potřebují rozmanitou škálu nákladných zařízení a vybavení, od letadel a simulátorů až po hangáry. Způsoby financování jsou různé, často si letecké společnosti potřebné vybavení pouze pronajímají. Další důležitou součástí letecké společnosti jsou její zaměstnanci a pracovní síla. Nepatří mezi ně jen piloti, letušky a mechanici, ale také bezpečnostní pracovníci, kuchaři, manažeři, právníci

a mnoho dalších. Více než jedna třetina příjmů, které generují letecké společnosti, je potřeba na pokrytí mzdových nákladů. Příjmy společnosti jsou ovlivněny sezónností – v letních měsících bývají linky zatíženější více než v zimě, kromě období svátků. Vytíženost letecké dopravy se více či méně pohybuje ve špičkách a sedlech. Tyto rozdíly už v posledních letech nebývají tak markantní jako před deregulací trhu, přesto jsou však znatelné.

Příjmy leteckých společností pochází z několika zdrojů. Až 75 % příjmů je od cestujících, přibližně 15 % od přepravců nákladu a zbývajících 10 % pochází z ostatních služeb související s dopravou. Důležitou roli při prodeji letenek hrají i cestovní kanceláře a další agentury, který využívají rezervační systém letecké společnosti. Podobně si zasílatelé rezervují většinu prostoru pro letecký náklad. Stejně jako cestovní kanceláře jsou nákladní speditéři nezávislou prodejní silou leteckých služeb, v jejich případě pracují pro zasilatele. Pro standartní letecké společnosti to nebývají sedadla Light Economy Class, která generují hlavní zdroj příjmů, ale First Class nebo Business Class, pokud jsou tato sedadla zařazena v konfiguraci letadla. Náklady leteckých společností dělíme na přímé a nepřímé náklady. Mezi přímé náklady patří především palivo, údržba a oprava letadel, přímé mzdové náklady, letištní a navigační poplatky. Do nepřímých nákladů lze zařadit náklady na pozemní servis a posádku, propagace a prodej, administrativa a služby cestujícím. Mzdové náklady představují až 35 % provozních nákladů letecké společnosti. Palivo je druhou nejvyšší položkou v celkových nákladech. [25]

Způsob pro zvýšení generovaných příjmů bez úměrně zvýšených nákladu je přidání sedadel do letadla. Celková kapacita a počet míst na palubě letadla však závisí na marketingové strategii společnosti. Pokud zákazníci společnosti míří především na nízké ceny, bude se dopravce snažit maximalizovat počet míst. Na druhou stranu, pokud má společnost mezi zákazníky větší skupinu obchodních cestujících, kteří jsou ochotní platit prémiové ceny za vyšší komfort a pracovní prostor, může do konfigurace paluby zařadit několik sedadel *Business* nebo *Premium Economy Class*. Klíčové je pro společnost najít správnou rovnováhu, aby uspokojila maximum zákazníků a zároveň si udržela ziskovost.

Tuto rovnováhu může určovat tzv. *break even point* neboli bod zvratu. Z čistě ekonomického hlediska je bod zvratu takový objem výroby a prodeje, při které se tržby právě rovnají nákladům, tj. zisk se rovná nule. Bod zvratu bývá také označován jako mrtvý bod, kritický bod rentability nebo nulový bod. V takovém případě tedy nevzniká ani zisk ani ztráta. Tento bod je pro firmu důležité znát, aby bylo možné vyčíslit, od kdy se určitá investice vyplatí, od kdy je projekt, produkt nebo celá firma rentabilní. Po překročení tohoto bodu se teprve společnost ocitá v zisku. K vyjádření vztahu mezi náklady a tržbami se využívá analýza bodu zvratu, která je graficky znázorněna na následujícím grafu. (obr. 13)



Obrázek 13: Analýza bodu zvratu (zdroj: [26])

Tento bod zvratu je velmi důležitý i v letecké dopravě. Každá společnost používá jako relevantní ukazatel pro hospodářský výsledek nebo úspěšnost dané linky tzv. *Loadfactor* a *Break-even loadfactor*. Vzhledem k tomu, že příjmy i náklady se u jednotlivých leteckých společností liší, liší se i tyto faktory. *Loadfactor* neboli využití sedačkové kapacity je jeden z parametrů na základě kterého můžeme hodnotit úspěšnost leteckého dopravce a taktéž efektivitu nabízené sedačkové kapacity. Může být uváděn na různých úrovních – pro celou společnost, ale i pro jednotlivé linky. Pro aerolinku a její profitabilitu znamená samozřejmě vyšší *loadfactor* více přepravených pasažérů a tím i větší příjmy, nicméně hodnota *loadfactoru* nad určitou hranicí může způsobit celkové zhoršení nabízených služeb, být důvodem větších zpoždění při odbavení a taktéž zvýšit pravděpodobnost odmítnutí pasažérů při boardingu. *Break-even loadfactor* je takové percentuální využití kapacity letadla, při kterém jsou pokryty všechny provozní náklady za předpokladu, že průměrné příjmy zůstávají konstantní. Na úrovni letecké linky je toto číslo občas vyjadřováno jako počet sedaček, které je nutno obsadit, aby let nebyl ztrátový. V době regulace trhu letecké dopravy existoval hrubý předpoklad, že pokud by bylo prodáno 60 % míst, let by dosáhl 7% zisku. V posledních letech se *break-even point* pohybuje okolo 66 %. Letecké společnosti obvykle pracují velmi blízko tohoto bodu. Prodej pouze jednoho nebo dvou dalších míst na každém letu může pro leteckou společnost znamenat rozdíl mezi ziskem a ztrátou. Jedná se tedy o klíčový bod, který je pro leteckou společnost, v případě rozhodování ohledně konfigurace paluby, jedním z nejdůležitějších ukazatelů. [27]

7. Nové trendy v palubním uspořádání letadel pro osobní leteckou dopravu

Palubní prostor letadla se každým rokem vyvíjí a už za dobu existence veřejné osobní letecké dopravy dosáhl velkých proměn. Historický vývoj palubního uspořádání je pospáno již v teoretické části diplomové práce. Můžeme ovšem očekávat, že i v budoucnu se budou tyto trendy měnit a vyvíjet několika směry. Nové trendy budou různé pro krátké a dlouhé tratě, rozdíl se dá očekávat i mezi společnostmi nízkonákladovými a standartními.

7.1. Sky Rider 3.0

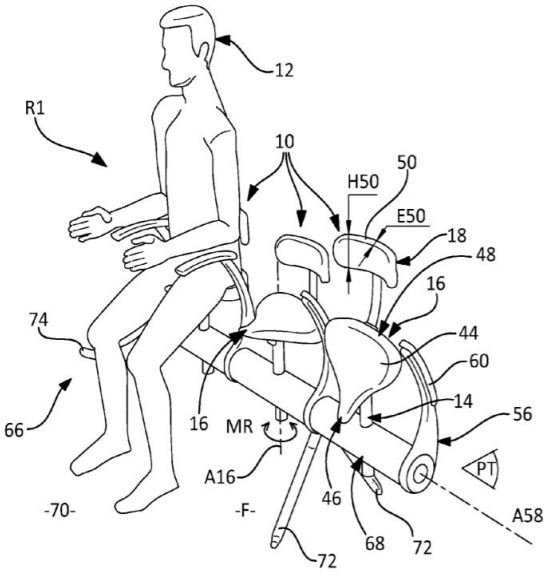
Jedna z očekávaných novinek je koncept *Sky Rider* 3.0 italské společnosti *Aviointeriors*. Jedná se již o třetí koncept extrémně úsporných sedaček, tvarem připomínajících sedlo, prezentovaných na *Aircraft Interiors Expo* v Hamburgu v roce 2019. Pokud se koncept prosadí a začne být využíván, znamená to zásadní změnu pro osobní leteckou dopravu v oblasti palubního uspořádání. (obr 14)

Obrázek 14: Model sedadla Sky Rider 3.0 (zdroj: [28])

Design těchto sedadel umožňuje zvýšit kapacitu letadla až o 25 %, díky snížení vzdálenosti mezi sedadly z běžných 29 palců na 23 palců. Cestující již nebudou v sedadla sedět, ale budou jím spíše podpíráni v polosedě. Sedadlo váží až o polovinu méně než standartní sedadlo Light Economy Class a byl také zredukován počet komponentů, ze kterých je složeno. Je vhodné pro letadla jako Airbus A320, A321 nebo Boeing 737, která jsou obvykle využívána na kratších tratích. [28]

7.2. Bicycle seat

V roce 2014 si společnost Airbus nechala patentovat návrh sedadla ve tvaru sedla jízdního kola. Sedadlo má pouze malou opěrku v bederní oblasti, sklopné područky, ovšem žádnou oporu vrchní části těla ani hlavy. (obr 15) Všechny podobné inovace mají za úkol jediné, minimalizovat prostor určený pro jednoho cestujícího a zároveň jeho komfort a tím maximalizovat kapacitu letadla i příjmy generované dopravci. Můžeme říci, že se naštěstí jedná o patent, který nejspíš nikdy nebude realizován.



Obrázek 15: Model sedadla Bicycle seat (zdroj: [29])

7.3. Sunrise projekt

V roce 2017 oznámila letecká společnost Qantas zahájení projektu „Sunrise“, jehož cílem je nepřetržitý let z východního pobřeží Austrálie (Sydney, Brisbane) do Londýna, Paříže a New Yorku (trvající 19-20 hodin) a vyzvala společnosti Airbus a Boeing k návrhu takového letadla, které by tuto vzdálenost překonalo bez zastávky. Na výběr měla společnost Qantas ze dvou strojů: Boeing 787-9 a Airbus 1350-1000. Na konci minulé roku padlo konečné rozhodnutí a vybráno bylo letadlo společnosti Airbus. Letadlo má přídavnou palivovou nádrž a zvýšenou maximální vzletovou hmotnost, aby splnilo výkon požadovaný na nové trase. Celkem byly uskutečněny 3 zkušební lety z Londýna i z New Yorku do Sydney. Qantas má nyní k dispozici téměř 60 zkušebních letových hodin a mnoho dat týkajících se komfortu cestujících i posádky. Data byla získána z náramků zaznamenávajících aktivitu člověka a tělesnou kondici, přístrojů monitorujících hladinu melatoninu, reakční dobu a ostražitost posádky. Tato data jsou důležitá pro schválení prodloužení dosavadních ultra dlouhých letů Úřadem

pro bezpečnost civilního letectví. Nadále pokračuje vývoj nového uspořádání paluby letadla vyhovující pro lety do 21 hodin ve First Class, Business Class, Premium Economy Class i Light Economy Class. Díky zkušebním letům je kladem důraz především na prostor protažení a pohyb cestujících v Economy Class a také upravený palubní servis usnadňující přesun cestujících do cílového časového pásma, graficky znázorněno na obrázku 16. Na zkušebních letech byly otestovány speciálně vybrané a načasované pokrmy i nápoje, omezení světla na palubě pro lepší spánek a jednoduchá cvičení na protažení, aby se cestující snadněji přizpůsobili australskému časovému pásmu a minimalizovaly se dopady pásmové nemoci.

Obrázek 16: Schéma upraveného palubního servisu pro minimalizaci pásmové nemoci (zdroj: [30])

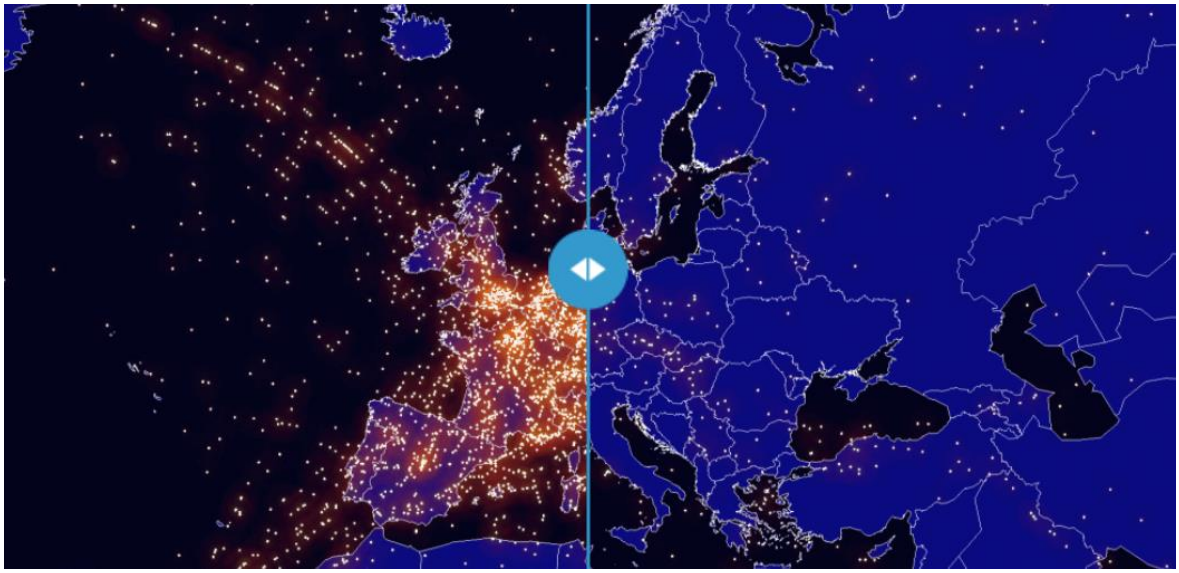
Dne 5.5.2020 bylo oznámeno dočasné pozastavení projektu Sunrise kvůli dopadu pandemie coronaviru na globální cestování. [31]

7.4. Korona krize

V průběhu zpracování diplomové práce došlo k celosvětovému rozšíření nemoci Covid-19 způsobenou novým typem coronaviru. Virus se poprvé objevil ve městě Wu-Chan v centrální Číně na konci listopadu roku 2019. Během dvou měsíců se rozšířil do dalších provincií Číny, čemuž napomohly i oslavy a cestování během čínského Nového roku. Díky mezinárodní dopravě se virus rychle rozšířil i do okolních zemí. Dne 30. ledna 2020 vyhlásila Světová zdravotnická organizace globální stav zdravotní nouze. Na konci ledna se objevily první případy nákazy i v několika evropských zemích – Itálie, Velká Británie, Německo, Švédsko. V Evropě došlo k prudkému rozšíření nemoci, nejhůře byly zasaženy státy jižní a západní Evropy. V polovině března byla Evropa označena za epicentrum pandemie coronaviru, v té době byl v České republice vyhlášen stav nouze a následná karanténa. Ke dni 19. dubna 2020 se virus rozšířil do 188 zemí světa napříč všemi kontinenty kromě Antarktidy. Pandemie nového coronaviru měla výrazný negativní dopad na globální ekonomiku, hospodářství, obchod, dopravu a další oblasti.

Ve snaze omezit šíření nákazy uzavřela Evropská unie vnější hranice, mnoho evropských i jiných zemí vydalo zákaz překročení hranic, což se týká i vzdušného prostoru. V posledních týdnech zůstala v provozu pouhá třetina globální letecké flotily. Uzemněno zůstalo víc jak sedmnáct tisíc letadel.

Skupina Smartwings, zahrnující značky Smartwings a ČSA, byla nucena uzemnit 95 % letadel. Britská nízkonákladová společnost easyJet postavila mimo provoz všech 330 letadel svojí flotily. Nelétalo až 90 % pravidelných letů a přistávala především repatriační letadla nebo nákladní speciály se zdravotnickým materiálem. Na následujícím obrázku 17 je vidět rozdíl letového provozu nad Evropou v dubnu 2019 (levá strana) a v dubnu letošního roku (pravá strana). [32]



Obrázek 17: Rozdíl letového provozu – duben 2019 vs. duben 2020 zvratu (zdroj: [33])

Snížení poptávky po letecké přepravě a světová minimalizaci letového provozu může mít i pozitiva. Kladný vliv má tato situace na životní prostředí a na výrazné snížení emisí oxidu uhličitého. Na základě předpovědi dalšího vývoje v leteckém průmyslu zveřejněné Mezinárodním sdružením pro leteckou dopravu by za celý rok emise mohly klesnout o 38 procent. [34]

Od začátku května se letecký provoz začíná postupně obnovovat. Z Prahy začaly znovu létat první dvě linky do Amsterdamu a Düsseldorfu. Během pandemie byly v provozu jen linky z Prahy do Sofie a Minsku. Obnovení osobní letecké dopravy ve všech státech je doprovázeno bezpečnostními opatřeními jak na letišti, tak při letu samotném. U jakéhokoliv vycestování, nejen u letecké přepravy, platí při návratu doložení negativního testu na covid-19 nebo 14denní karanténa. Letiště i letecké společnosti by měly upravit proces odbavení a nástupu do letadla, aby se co nejvíc zabránilo tvoření front a shromažďování cestujících (např. prostřednictvím online check-inu). Vzhledem k nutným rozestupům a novým zdravotním prohlídkám na letišti, se dá předpokládat, že doba odbavení se prodlouží Cestující, posádka letadla i personál letiště musí používat roušky a nejlépe i rukavice. Doporučuje se také zorganizovat nástup do letadla v takovém pořadí, aby se nastupovalo od zadních řad k předním a zamezilo se tak dalšímu potkávání jednotlivých cestujících, stejně tak by měl být

omezen i pohyb cestujících po palubě během letu. Jedním z návrhů, jak zajistit alespoň částečný rozestup mezi cestujícími i během letu, bylo zablokování středních sedadel. Tímto zákrokem by se snížila kapacita letadla o 33 % a pro většinu dopravců by to znamenalo ztrátové lety. U nízkonákladových společností bývá bodem zvratu zhruba 70 % obsazenost letu. Také z tohoto důvodu nakonec Evropská komise tento návrh neodsouhlasila jako povinný, přesto s ním některé aerolinky při obnovu provozu počítají. [35, 36]

V reakci na aktuální situaci a nutnosti sociálního distancu i během letu navrhla italská společnost Aviointeriors dva nové koncepty pro sedadla *Economy Class*, který by tuto situaci mohl vyřešit. První z nich je „*Janus seat*“, sedadlo s obráceným prostředním proti směru letu. Všechna místa jsou od sebe oddělena vysokým plexisklem tvořícím ochrannou bariéru. Model sedadla a umístění v letadle je vidět na obrázku 18.

Obrázek 18: Model sedadla Janus seat (zdroj: [37])

Druhým konceptem italské společnosti je koncept „*Glassafe*“. Jedná so o nástavec na sedadlo z průhledného materiálu, který částečně izoluje prostor kolem cestujícího, minimalizuje kontakt mezi cestujícími a snižuje pravděpodobnost kontaminace. Výhodou konceptu *Glassafe* je snadná instalace i demontáž a možnost připevnit ochranný štít přímo na sedadla v letadle. Tento návrh je zobrazen na dalším obrázku (obr 19).

Obrázek 19: Model sedadla Glassafe (zdroj: [37])

Existuje tedy několik variant, jak v této době přistoupit k bezpečnému létání a je jen otázkou jakou cestou se letecké společnosti vydají. Česká republika i další evropské státy postupně uvolňují bezpečnostní opatření a začínají se znovu otevírat hranice. I když se pomalu obnovuje i letecká doprava, bude trvat velmi dlouho, než se objem letecké dopravy přiblíží hodnotám 80 % předkrizového období. Mezinárodní asociace leteckých dopravců ve své prognóze předpokládá, že by se po obnovení provozu mohl trh na konci roku 2020 vrátit na polovinu své předkrizové hodnoty. Očekává se mnohem větší propad příjmů než v případě finanční krize v roce 2009. Tehdy klesly celosvětově příjmy z osobní letecké dopravy o 70 miliard dolarů. Pro letošní rok hovoří prognózy o propadu příjmů až 314 miliard dolarů. Některé letecké společnosti již teď oznámily ukončení činnosti (Germanwings, RavnAir) a další budou pravděpodobně následovat. Po celém světě se tak začíná mluvit o státní pomoci pro letecké společnosti. [37]

8. Závěr

Nízkonákladové společnosti mají na evropském, severoamerickém i asijském trhu více jak třetinový podíl. To do velké míry ovlivňuje i přístup standartních leteckých společností k úrovni poskytovaných služeb. Současný trh osobní letecké dopravy je založen na maximalizaci výnosů a minimalizaci nákladů, bez většího ohledu na kvalitu přepravy a úroveň poskytovaných služeb. Pro dosažení vyšších zisků se letecké společnosti uchylují ke zvýšení kapacity letadel a omezení poskytovaných služeb zahrnutých již v ceně letenky. Cestujícím se je sice nabízena nízká ceny letenky, ovšem výměnou za zmenšený osobní prostor a omezený palubní servis. Běžnou praxí bývá, především u nízkonákladových dopravců, zpoplatnění dříve standartních služeb. Cena letenky je tedy jen zdánlivě nízká.

V první části diplomové práce jsem se zaměřila na popis historického vývoje palubního prostoru a na některé poskytované služby. Původně znamenala osobní letecká doprava luxus sama o sobě a cestovat letadlem si mohlo dovolit jen velice málo lidí. Během jednoho století dosáhla obrovského pokroku technologicky ale také co se týče počtu přepravených cestujících. Se zpřístupněním letecké dopravy běžným cestujícím docházelo také ke změnám v uspořádání palubního prostoru. Prostor se začal členit na cestovní třídy a cena letenky odpovídala množství a úrovni poskytovaných služeb. Se vstupem nízkonákladových dopravců na trh osobní letecké dopravy došlo k snižování cen letenek, na což musely reagovat i standartní letecké společnosti. Některé bohužel šetří na poskytovaných službách a úrovni palubního servisu. Letadla začala převážet více cestujících a tím se zmenšovala sedadla i jejich osobní prostor.

Dále jsem se věnovala bližší analýze sedadel. Především jejich velikosti a vlivu na pohodlí cestujících. Velikosti sedadel se liší společnost od společnosti. Obecně ale mohu říci, že se velikosti sedadel v posledních 30 letech pouze zmenšují. Týká se to nejen rozteče sedadel, tedy vzdálenosti dvou řad sedadel, ale také šířky sedadel. To vše se děje především proto, aby dopravci mohli maximalizovat kapacitu letadla a tím i příjmy z prodeje letenek. Tyto velikosti, především rozteč sedadla, se nemohou zmenšovat do nekonečna. Absolutní doporučené minimum velikosti rozteče je podle Evropské agentury pro bezpečnost letectví 28 palců a tato hodnota už je několika dopravci v *Economy Class* používána. Hodnoty rozteče sedadel od 28 do 32 palců jsou u leteckých společností nejběžnější u sedadel *Light Economy* i *Premium Economy Class,* zároveň to jsou ale hodnoty pro cestující nejméně vhodné, z hlediska komfortu. Definovala jsem také některé vstupní parametry a veličiny použité ve výpočtech v další části práce.

Praktická část diplomové práce se věnuje tvorbě matematicko-ekonomického modelu a jeho aplikaci za specifických podmínek a následné srovnání s reálnými postupy používané v praxi. Na základě matematicko-ekonomického modelu Ing. Petry Skolilové Ph.D. pro tvorbu tarifní struktury jsem vytvořila vlastní zjednodušený model ke zjištění optimálního zastoupení sedadel *Light Economy Class a Premium Economy Clas*s v konfiguraci letadla a vliv na ekonomiku letu. Popsala jsem vstupní parametry a omezující podmínky.

Nejprve jsem provedla aplikaci modelu v případě jednotřídní konfigurace pouze pro sedadla *Light Economy Class*. Tato aplikace byla rozdělena do 3 částí, kdy každá část byla počítána pro jinou hodnotu rozteče sedadel – minimální (28 palců), průměrnou (30 palců) a maximální (32 palců). Při použití minimální hodnoty rozteče bylo dosaženo nejvyšší kapacity letadla a také nejvyššího příjmu dopravce. Bohužel tato varianta je výhodná pro dopravce nikoliv pro cestující, resp. jejich komfort. Rozdíl mezi hodnotami rozteče je v první fázi vždy roven dvou, kapacita je rozdílná o 12 míst a následně rozdíly v příjmech dopravci se liší zhruba o 1.000 $.

V další fázi byl model aplikován také na jednotřídní konfiguraci, tentokrát se sedadly *Premium Economy Class*, tedy se sedadly s větší roztečí. Hodnoty velikosti rozteči byly opět 3 – minimální hodnota (32 palců), průměrná hodnota (34 palců) a maximální hodnota (38 palců). Jak jsem očekávala při použití nejmenší hodnoty rozteče je opět kapacita letadla i příjmy dopravce nejvyšší z těchto variant. V tomto případě je hodnota velikosti rozteče vhodná i ze pohledu vyššího komfortu pro cestující než u výsledků první fáze.

Poslední fáze výpočtu byla kombinovaná varianta pro dvoutřídní konfiguraci s kombinací sedadel *Light i Premium Economy Class*. Model byl aplikován na tři různé varianty kombinací. Vytvořila jsem varianty v poměru 3:1, 1:1 a 1:3 sedadel těchto tříd. Pro výpočty byly použity průměrné hodnoty roztečí z prvních dvou fází (30 a 34 palců). Z ekonomického hlediska je pro dopravce nejvýhodnější třetí varianta s 25 % sedadly *Light Economy Class* a 75 % sedadel *Premium Economy Class*, tato varianta generuje dopravci nejvíce příjmů v této fázi.

Díky těmto výsledkům jsem ověřila funkčnost matematického modelu a jeho možnost aplikace při volbě konfigurace paluby letadla. Z ekonomického hlediska není pro dopravce v tomto případě výhodné využít podmínky první fáze, tedy sedadla *Light Economy Class* i v maximální kapacitě, ale je pro něj výhodnější aplikovat podmínky druhé fáze výpočtů. Kapacita letadla této fáze je nižší, ale vzhledem k vyšší ceně letenek pro *Premium Economy Class*, jsou příjmy všech tří variant druhé fáze vyšší než příjmy ve fázi první, jak jsem předpokládala. Při volbě sedadel vyšší třídy se zvýší i komfort

cestujících. Problémem by mohla být právě vyšší cena letenek a neobsazení dostatečného počtu sedadel. Vzhledem k trendům low-cost cestování, musí dopravce vědět na jakou cílovou skupinu cestujících míří a podle toho zvolit i konfiguraci letadla a zastoupení jednotlivých tříd. Střední cestou je proto kombinace obou cestovních tříd, aby tak vyhověl co nejvíce zákazníkům a zároveň maximalizoval své příjmy. Do modelu by v ideálním případě vstupovalo mnohem více proměnných pro vytvoření přesného výpočtu. Tento zjednodušený model může sloužit jako pomůcka v rozhodovacím procesu týkající se palubního prostoru. Pro letecké společnosti je prioritní rentabilita letu, je tedy nutné, aby dosáhly, nebo lépe přesáhly, bod zvratu, kdy se náklady na let rovnají příjmům. Každá společnost proto používá jako relevantní ukazatel pro hospodářský výsledek nebo úspěšnost dané linky tzv. *Loadfactor* a *Break-even loadfactor*. Jedná se o faktor, který u dané linky nebo konkrétního letu, určí, kolik sedadel je třeba obsadit, aby byl let ziskový.

Možnosti vývoje letecké dopravy a způsobu cestování jsou různé. Existují koncepty ještě více snižující osobní prostor cestujících pro navýšení kapacity letadla. Celá situace i další vývoj bude výrazně ovlivněn momentální globální situací s pandemií coronaviru. Nejen, že je omezen letecký provoz jako takový, ale bude trvat velmi dlouho jeho úplná obnova a dlouhodobě bude ovlivňovat i možnosti obsazení letadla.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Letadlo A320 společnosti ČSA (zdroj:[2]) 9

Obrázek 2: Schéma paluby letadla (zdroj:[3]) 9

Obrázek 3: Ukázka sedadla First Class (zdroj:[4]) 10

Obrázek 4: Ukázka sedadla Business Class (zdroj:[5]) 11

Obrázek 5: Ukázka sedadel Economy Class (zdroj:[6]) 12

Obrázek 6: Ukázka sedadel Premium Economy Class (zdroj:[6]) 12

Obrázek 7: Vyznačení velikosti rozteče sedadel (zdroj:[13]) 16

Obrázek 8: Vyznačení šířka sedadla (zdroj:[15]) 17

Obrázek 9: Změna tloušťky sedadla a vliv na prostor cestujících (zdroj:[17]) 18

Obrázek 10: Změna kapacity letadla při využití skinny seat (zdroj:[17]) 19

Obrázek 11: Srovnání velikosti osobního prostoru (zdroj:[19]) 21

Obrázek 12: Délky bezpečnostních pásu u amerických leteckých dopravců (zdroj:[20]) 22

Obrázek 13: Analýza bodu zvratu (zdroj: [26]) 57

Obrázek 14: Model sedadla Sky Rider 3.0 (zdroj: [28]) 58

Obrázek 15: Model sedadla Bicycle seat (zdroj: [29]) 59

Obrázek 16: Schéma upraveného palubního servisu pro minimalizaci pásmové nemoci (zdroj: [30]) 60

Obrázek 17: Rozdíl letového provozu – duben 2019 vs. duben 2020 zvratu (zdroj: [33]) 61

Obrázek 18: Model sedadla Janus seat (zdroj: [37]) 62

Obrázek 19: Model sedadla Glassafe (zdroj: [37]) 63

Seznam grafů

Graf 1: Grafické srovnání použitých hodnot velikosti rozteče sedadel (zdroj: autor) 34

Graf 2: Grafické srovnání výsledné sedačkové kapacity letadla (zdroj: autor) 35

Graf 3: Grafické srovnání výsledných příjmů dopravců (zdroj: autor) 35

Graf 4: Grafické srovnání použitých hodnot velikosti rozteče sedadel (zdroj: autor) 40

Graf 5: Grafické srovnání výsledné sedačkové kapacity letadla (zdroj: autor) 40

Graf 6: Grafické srovnání výsledných příjmů dopravců (zdroj: autor) 41

Graf 7: Grafické srovnání výsledků První a Druhé fáze – velikosti rozteče sedadel (zdroj: autor) 42

Graf 8: Grafické srovnání První a Druhé fáze – kapacita letadla (zdroj: autor)..... 42

Graf 9: Grafické srovnání První a Druhé fáze – příjmy dopravců (zdroj: autor)..... 43

Graf 10: Grafické znázornění poměrů sedadel Light a Premium Economy Class (zdroj: autor) 52

Graf 11: Grafické srovnání výsledných příjmů dopravců (zdroj: autor) 53

Graf 12: Grafické srovnání výsledných příjmů dopravců ze všech 3 fází (zdroj: autor) 54

Seznam tabulek

Tabulka 1: Vývoj velikostí sedadel (zdroj: autor) 17

Tabulka 2: Srovnání výsledků První fáze (zdroj: autor) 33

Tabulka 3: Srovnání výsledků Druhé fáze (zdroj: autor) 39

Tabulka 4 : Srovnání výsledků Třetí fáze (zdroj: autor)..... 51

Seznam použité literatury

[1] BÍNA, Ladislav, David ŠOUREK a Zdeněk ŽIHLA. *Letecká doprava II*. Praha: Vysoká škola obchodní v Praze, 2007. ISBN 978-80-86841-07-6.

[2] LEBEDA, Alan. Airbus A320-214 - CSA [online] 2009 [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: https://www.airliners.net/photo/CSA-Czech-Airlines/Airbus-A320-214/1841815/L.

[3] United Airlines [online]. 2020 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: https://www.united.com/ual/en/us/fly/travel/inflight/aircraft/airbus-320.html.

[4] Sharifi, Shahram. First Class Private Suites on Emirates Airbus A380 [online] 2013 [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: https://www.airliners.net/photo/Emirates/Airbus-A380-861/2487179/L.

[5] České aerolinie a.s. [online]. 2020 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: https://www.csa.cz/cz-cs/cestovni-informace/#current_ti-tab-1313.

[6] Monomondo: Economy, business and first class seats: what's the difference? [online]. 2020 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: https://www.momondo.ie/discover/economy-business-and-first-class-seats

[7] Cestujlevne.com [online]. 2020 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: https://www.cestujlevne.com/blog/cestovni-tridy-v-letadle

[8] Czechairliners.net [online]. 2019 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: https://czechairliners.net/index.php/archiv-clanku-1/249-strucna-historie-letectvi.html

[9] RECARO Aircraft Seating GmbH & Co. KG [online]. 2020 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: https://www.recaro-as.com/en/recaro-aircraft-seating.html

[10] Safran [online]. 2020 [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: https://www.safran-cabin.com/integrated-interiors/commercial-regional-1

[11] Acro Aircraft Seating [online]. 2017 [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: https://www.acro.aero/products/

[12] PITCH AIRCRAFT SEATING SYSTEMS [online]. 2017 [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: https://www.pitchaircraftseating.co.uk/pf3000#new-page-1-1

[13] Aviointeriors S.p.A. [online]. 2015 [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: http://aviointeriors.it/category/prodotti/economy-class/#

[14] SKYTRAX: Seat Pitch Guide [online]. 2020 [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: https://www.airlinequality.com/info/seat-pitch-guide/

[15] Runway Girl Network | Kirby Media Group: Those confusing aircraft seat measurements, explained [online]. 2020 [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: https://runwaygirlnetwork.com/2015/04/30/those-confusing-aircraft-seat-measurements-explained/

[16] *The Wall Street Journal: An Airline Eases Seat Squeeze; Will Others Follow?* [online]. 2011 [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: https://www.wsj.com/articles/SB10001424052970204294504576612993395310426

[17] The Wall Street Journal: Skinnier Seats on More Crowded Planes [online]. 2020 [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: https://www.wsj.com/articles/skinnier-seats-on-more-crowded-planes-1414602406

[18] Madhu Unnikrishnan: Leather Seat Covers Help American Reduce Delays, [online]. 2020 [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: https://web.archive.org/web/20170428021857/http://www.mro-network.com/cabin-interiors-inflight-entertainment/leather-seat-covers-help-american-reduce-delays

[19] The Wall Street Journal: Will slim seats pitched at 27 inches be used in 195 seat A320? [online]. 2020 [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: https://runwaygirlnetwork.com/2015/03/10/will-slim-seats-pitched-at-27-inches-be-used-in-195-seat-a320/

[20] Tripsavvy: Airline-by-Airline Guide to Seatbelt Length [online]. 2020 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://www.tripsavvy.com/how-long-are-airplane-seat-belts-2972596

[21] Aircraft interiors International: Too fat to fly? Obesity and aircraft seating [online]. 2020 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://www.aircraftinteriorsinternational.com/features/fat-fly-obesity-aircraft-seating.html

[22] PRŮŠA, Jiří. Svět letecké dopravy. II. rozšířené vydání. Praha: Galileo Training, 2015. ISBN 978-80-260-8309-2.

[23] PLEVNÝ, Miroslav a ŽIZKA Miroslav. Modelování a optimalizace v manažerském rozhodování. Vyd. 3. v Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2013. ISBN: 978-80-7043-933-3

[24] SKOLILOVÁ, Petra. DYNAMICKÉ CENOVÉ MODELY V OSOBNÍ LETECKÉ DOPRAVĚ: Disertační práce. Praha, 2019.

[25] International Air Transport Association: IATA Economics [online]. 2020 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: https://www.iata.org/en/publications/economics/?EconomicsL1=144&EconomicsL2=145#searchForm

[26] Marketing Mind: Bod zvratu [online]. 2018 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: https://www.marketingmind.cz/bod-zvratu-priklad-vzorec-vypocet-graf/

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bodzvratu.png

[27] BUREAU OF TRANSPORTATION STATISTICS: Rising Breakeven Load Factors Threaten Airline Finances [online]. 2017 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: https://www.bts.gov/archive/publications/special_reports_and_issue_briefs/issue_briefs/number_08/entire

[28] Aviointeriors S.p.A.: Hamburg AIX Expo 2019: Skyrider [online]. 2019 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: http://aviointeriors.it/2019/press/hamburg-aix-expo-2019-skyrider-and-esp-concepts/

[29] EspaceNet: SEATING DEVICE COMPRISING A FORWARD-FOLDABLE BACKREST [online]. 2014 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=US&NR=2014159444A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=20140612&DB=EPODOC&locale=en_EP

[30] Sam Chui – Aviation and travel: QANTAS "PROJECT SUNRISE" LONDON TO SYDNEY NON-STOP RESEARCH FLIGHT [online]. 2019 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: https://samchui.com/2019/11/15/qantas-project-sunrise-london-to-sydney-non-stop-research-flight/

[31] Qantas Airways: QANTAS UPDATE ON PROJECT SUNRISE [online]. 2019 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: https://www.qantasnewsroom.com.au/media-releases/qantas-update-on-project-sunrise/

[32] Kurzy.cz: Koronavirus a létání: Jak se změní letecká doprava? [online]. 2020 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: https://www.kurzy.cz/zpravy/543512-koronavirus-a-letani-jak-se-zmeni-letecka-doprava/

[33] EUROCONTROL: The European Network during COVID-19 outbreak [online]. 2020 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: https://public.flourish.studio/visualisation/2013000/?utm_source=showcase&utm_campaign=visualisation/2013000

[34] IDNES.cz: Klady koronaviru [online]. 2020 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/ekonomika/doprava/koronavirus-oxid-uhlicity-emise-letecka-doprava-prumysl-pokles.A200404_163009_zahranicni_kane

[35] Economia, a.s.: Létání se prodraží. S každou zrušenou pozicí v letectví skončí navíc dalších 24 v navazujících odvětvích [online]. 2020 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: https://ekonom.ihned.cz/c1-66754220-nebe-bez-letadel-koronavirus-devastuje-cestovni-ruch

[36] Kurzy.cz, spol. s r.o.: Letecké společnosti: Propad příjmů přes 90 %, tisíce uzemněných letadel. Ztrácí miliardy, hrozí krach [online]. 2020 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: https://www.kurzy.cz/zpravy/542913-letecke-spolecnosti-propad-prijmu-pres-90-tisice-uzemnenych-letadel-ztraci-miliardy-hrozi-krach/

[37] Aviointeriors S.p.A.: Glassafe and Janus seat [online]. 2020 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: http://aviointeriors.it/2020/press/

[38] KREMSER, Florian. Aircraft seating comfort: The influence of seat pitch on passengers' well-being. a Institute of Ergonomics, Technische Universität München, Boltzmannstr. 15, D-85747 Garching, Germany, 2012, , 7. DOI: 10.3233/WOR-2012-0789-4936.