

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Martin Zázvorka

Změny konektivity nákladní letecké dopravy

v letech 2019-2021

Bakalářská práce

2022

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621.....Ústav letecké dopravy

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Martin Zázvorka

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – LED – Letecká doprava

Název tématu (česky): **Změny konektivity nákladní letecké dopravy
v letech 2019-2021**

Název tématu (anglicky): Changes in Air Freight Connectivity between 2019
and 2021

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je zmapovat a vyhodnotit provoz nákladní letecké dopravy ve vybrané síti důležitých světových letišť, určit páteřní síť této domény a vyhodnotit konektivitu významných letišť za časová období 2019-2021.
- Představte principy nákladní letecké dopravy, její charakteristiky a principy fungování letadel v rámci sítě letišť z provozního i teoretického pohledu.
- Vytvořte přehled datových zdrojů pro analýzu a metodiku jejich sběru a zpracování.
- Proveďte analýzu konektivity a dalších ukazatelů propojení vybraných důležitých letišť.
- Vyhodnoťte výsledky ukazatelů, interpretejte je a diskutujte.
- Proveďte závěr a validaci metodického postupu.



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Allroggen, F., et. al - How Air Transport Connect the World: New Metrics of Air Connectivity and its Evolution (2015)
OECD - Defining, Measuring and Improving Air Connectivity (2018)
ACI - Airport Industry Connectivity Report (2021)

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Peter Vittek, Ph.D.**
Ing. Tereza Dvořáková

Datum zadání bakalářské práce: **9. února 2022**
(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 bakalářské práce: **8. srpna 2022**
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

Kraus

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



Příbyl

prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Martin Zázvorka

Martin Zázvorka
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 9. února 2022

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této bakalářské práce. Zvláště pak děkuji doc. Ing. Peteru Vittekovi, Ph.D. a Ing. Tereze Dvořákové za odborné vedení a konzultování bakalářské práce a za rady, které mi poskytovali po celou dobu mého studia. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat svým rodičům a blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

Prohlášení

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

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

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

V Praze dne 8.8.2022

.....

podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Změny konektivity nákladní letecké dopravy v letech 2019 - 2021

Bakalářská práce

srpen 2022

Martin Zázvorka

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá provozem nákladní letecké dopravy z pohledu konektivity sítě důležitých světových letišť, která jsou analyzována z pohledu přestupní centrality. Pro analýzu provozu v této doméně využívá dat o počtu leteckých spojení mezi jednotlivými letištními páry. Analýza postihuje provoz v předpandemickém roce 2019 a jeho následné změny v průběhu pandemie Covidu-19 (2020 a 2021)

Abstract

Bachelor's thesis deals with air freight transport traffic in perspective of connectivity of world major airports' networks, which are analysed in perspective betweenness centrality. For traffic analysis it uses data of edge's count between airport pairs. Traffic is analysed in prepandemic year 2019 and how it is changed during Covid pandemic in year 2020 and 2021.

Klíčová slova

nákladní letecká doprava, přestupní centralita, pandemie covidu-19

Keywords

air freight transport, betweenness centrality, covid-19 pandemic

Obsah

Úvod	7
1. Principy a charakteristiky nákladní letecké dopravy a fungování letadel v rámci sítě letišť - literární rešerše	9
1.1. Síť v letecké dopravě	9
1.2. Metody pro analýzu konektivity.....	10
1.2.1. NetScan metoda.....	11
1.2.2. IATA index	12
1.2.3. WorldBank	13
1.3. Metody pro analýzu centrality	13
1.4. Nákladní letecká doprava.....	15
1.4.1. Osobní dopravci	16
1.4.2. Kombinovaní dopravci	16
1.4.3. Nákladní dopravci	17
1.4.4. Nepravidelní dopravci (Charter a ACMI Providers)	17
1.4.5. Zásilkoví dopravci.....	17
1.5. Typy letadel používané pro převoz nákladu	18
1.6. Datové zdroje	19
1.7. Shrnutí, výběr metody	19
2. Metodika.....	20
2.1. Metodický model	20
2.2. Těžba dat	22
2.2.1. Flightradar24.....	22
2.2.2. Web Scraper	22

2.3. Zpracování dat	24
2.3.1. Zpracování časové řady dat.....	24
2.3.2. Výpočet přestupní centrality.....	25
2.4. Určení páteřních letišť lognormálním rozdělením	25
2.5. Analýza.....	29
2.5.1. Analýza sítě páteřních letišť	29
2.5.2. Analýza spojení letišť	29
2.6. Vyhodnocení analýz	30
3. Analýza páteřní sítě a spojů mezi letišti	31
3.1 Analýza sítě páteřních letišť.....	31
3.2. Analýza spojů mezi letišti.....	33
3.2.1. Data potřebná pro analýzu.....	33
3.2.2. Analýza.....	38
4. Vyhodnocení analýz	51
5. Diskuse a validace výsledků	52
6. Limitace práce.....	55
7. Závěr	56
Zdroje.....	57

Zkratky

IATA	International Air Traffic Association - Mezinárodní asociace leteckých dopravců
USA	United States of America – Spojené Státy Americké
ICAO	International Civil Aviation Organization – Mezinárodní organizace pro civilní letectví
ACI	Airport Council International – Mezinárodní rada letišť

Úvod

Tématem této bakalářské práce je analýza, jak pandemie Covidu-19 ovlivnila konektivitu největších světových letišť v rámci přepravy nákladu. Sledována bude konektivita před pandemií v roce 2019 a její následná proměna během pandemie v letech 2020 a 2021 a letadla, která převáží pouze náklad bez cestujících. Vývoj konektivity před a během pandemie je zkoumán na 26 největších letišťích světa z pohledu celkového počtu letů za období duben 2019 - prosinec 2021.

V úvodní části je řešena literární rešerše. Popsány jsou metody posuzování konektivity, konkrétně NetScan metoda, IATA Air Connectivity Index, WorldBank, a metoda centrality. Dále jsou popsány sítě v letecké dopravě, které letecké společnosti využívají, konkrétně hub-and-spoke a point-to-point¹. Následují obecné informace o nákladním letectví, kde je definováno, jaké druhy leteckých společností převáží náklad, a popis, jaké typy letadel k tomu používají. Závěrečná pasáž je věnována popisu dostupných zdrojů dat.

Další část se zabývá metodickým postupem vypracování bakalářské práce, kde je v úvodu zmíněn použitý zdroj dat, nástroje použité pro sběr dat a postup jejich zpracování. Další část pojednává o metodice výběru páteřních letišť, která jsou následně zkoumána. Zkoumaných letišť je celkově 26 a zmíněn je také metodický postup pro vypracování analýzy rozšířené sítě páteřních letišť a analýzy spojení letišť.

Ve třetí kapitole jsou páteřní letiště analyzována z pohledu spojení těchto letišť a to pouze vybraná letiště v období, kdy měla čtvrtletní změnu centrality větší než 50%. Zkoumáno je, proč k takto velké změně centrality došlo. K tomu jsou využity grafy vývoje celkového počtu pohybů a destinací na vybraných letišťích a analytická tabulka, ve které jsou zaznamenány počty spojení vybraných letišť s ostatními letišťi v jednotlivých měsících.

Ve druhé části třetí kapitoly je analyzována síť páteřních letišť nákladní letecké dopravy za období 2019 - 2021, která obsahuje všech 26 páteřních letišť, jejich vzájemná spojení a spojení s ostatními letišťi světa s nejvyšší možnou frekvencí spojů. Závěrečná kapitola se zabývá zhodnocením analýzy páteřní sítě a analýzy spojení letišť.

Motivací pro vypracování této bakalářské práce bylo zjistit, jak ovlivnila pandemie covidu nákladní letectví. Dle Vicherkové [1] pandemie výrazně zásahla do osobní dopravy, kdy v dubnu 2020 bylo

¹Hub-and-spoke – letadla z 1 centrálního letiště (hub) létají na ostatní letiště (spoke) a zpět
Point-to-point- letadla létají z letiště A na letiště B a poté na letiště C, přičemž ani jedno z těch letišť není hub

uskutečněno pouze 8% plánovaných letů. Důvodem výrazného snížení počtu letů v osobní letecké dopravě bylo co nejrychleji přibrzdit a nejlépe zastavit šíření nemoci a z tohoto důvodu vlády států přistoupili k zavírání hranic, tzn. nemožnost cestovat. Dle Aviation Maintenance Magazinu [2] toto mělo naopak pozitivní vliv na nákladní leteckou dopravu, protože si lidé museli vše kupovat přes internet a to zvýšilo poptávku po produktech ze zahraničí a s tím související doprava produktů zákazníkovi s využitím nákladní letecké dopravy. Na jaře 2020 výrazně vzrostla nutnost obstarat ochranné pomůcky (např. roušky a respirátory) pro zdravotnický personál a následně i vakcína proti covidu-19, což vedlo k navýšení počtu letů a vypravení speciálních letů s těmito ochrannými pomůckami.

1. Principy a charakteristiky nákladní letecké dopravy a fungování letadel v rámci sítě letišť - literární rešerše

Úvodní část práce se zabývá popisem letecké sítě, zejména 2 hlavních principů fungování letadel v síti- hub and spoke a point-to-point, metod pro zjištění konektivity , kde je popsán IATA index, NetScan a WorldBank metoda, a metoda centrality. Následuje představení nákladní letecké dopravy, typů letadel, které převáží náklad a představení datových zdrojů.

1.1. Síť v letecké dopravě

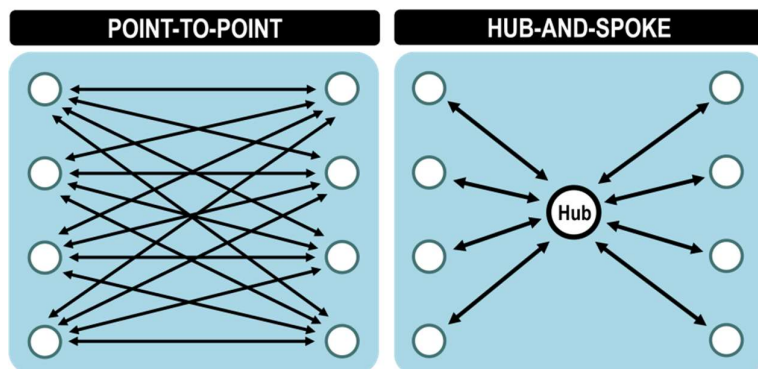
Dle Burghouwta a Redondiho [3] si lze síť představit jako soubor uzlů (letišť) a hran(linka mezi 2 letišti), kde jednotlivé uzly jsou propojeny hranami. Letecké společnosti běžně využívají 2 základní principy fungování- hub-and-spoke a point-to-point.(obr.č.1).

Hub-and-Spoke

Dle Burghouwta a Redondiho [3] po deregulaci letecké dopravy v USA v roce 1978 začal být model hub-and-spoke využíván mnoha leteckými společnostmi. Dle autora Rodriguea a Ducrueta [4] principem modelu hub-and-spoke je, že všechny lety jsou soustředěny na jedno letiště, odkud následně létají do cílových destinací. Hubovými letišti jsou ve většině případů velká letiště s až několika miliony tun odbaveného zboží ročně. Výhodou je možnost plánování navazujících letů tak, aby byl minimalizován transferový čas v hubech. V nákladním letectví je tento systém výhodný v tom, že letecká společnost může mít v hubech umístěny např. centrální sklady a poté zboží letecky přepravit cílovým zákazníkům. Tento model využívají největší nákladní společnosti DHL, FedEx a UPS.

Point-to-point

Dle autora Rodriguea a Ducrueta [4] principem modelu point-to-point jsou přímé lety z letiště na letiště v rámci sítě bez jednoznačně určeného „centrálního“ hub letiště. Výhodou tohoto modelu je možnost navázat další let do jiné destinace bez nutnosti návratu na hubové letiště.



obrázek č.1- point-to-point a hub-and-spoke

(zdroj: [4])

Dle Morrella a Kleina [5] nákladní dopravci často provozují své linky jako „velké okruhy“ s několika zastávkami, které jsou velmi často na velkých hub letištích. Letecké společnosti tento formát využívají pro to, aby minimalizovali riziko prázdných částí letadla, pokud by se zaměřovali pouze na lety z letiště A do B.(obrázek č.2)



Obrázek č.2 – lety po okruzích

(zdroj: Wood [6])

1.2. Metody pro analýzu konektivity

Konektivita obecně charakterizuje vzájemné propojení uzlů v rámci sítě. Pro její zkoumání existují metody NetScan, WorldBank, IATA index. Dle Capouška [7] letecká doprava obecně, letiště a jeho konektivita je důležitým nástrojem reprezentace daného státu, kde se letiště nachází a také na jaká další letiště se lze dopravit. Pro leteckou společnost i letiště je výhodou v konkurenčním boji mít co nejrozvinutější síť linek a co nejvíce letů za den/týden,

protože zajímavé destinace mohou nalákat nové zákazníky. Dle Boonekampa a Burghouwt [8] pro zákazníky, tzn. v osobní dopravě samotné cestující a v nákladní letecké dopravě odesílatele/příjemce zboží, je žádoucí minimalizace přestupů, nejlépe letět na cílové letiště přímou linkou bez přestupu. Případné překládání nákladu zvyšuje riziko zmeškání navazujícího letu, tzn. opožděné dodání nákladu příjemci, nebo poškození nákladu při manipulaci. Dle Wooda [6] naopak v letecké nákladní dopravě je velice cenově efektivní provádět několik navazujících letů za sebou.

1.2.1. NetScan metoda

Dle ACI Europe [9] NetScan metodu, vytvořenou SEO Aviation Economics, používá ACI Europe (Mezinárodní rada letišť, ang. Airport Council International). ACI každý rok vydává Airport Industry connectivity report, zpráva konektivity průmyslu letišť, ve kterém rekapituluje uplynulý rok z pohledu konektivity evropských letišť. Hodnoty konektivity v matici nabývají hodnot 0 až nekonečno.

Dle zprávy od ACI Europe [9] jsou rozlišovány 4 typy konektivity- přímá, nepřímá, hub a letištní konektivita (obrázek č.3). Přímá a nepřímá konektivita dohromady ukazují dostupnost, tzn. na jaká všechna letiště se dá z daného letiště přímo, nebo s přestupem letět. Hub konektivita je pro letiště důležitá z hlediska centrality, což znamená propojenost letiště s dalšími částmi světa.

Přímá konektivita

Do přímé konektivity se započítávají přímé lety z letiště A na letiště B. Přímá konektivita se počítá jako součin počtu linek a frekvence letů.

Nepřímá konektivita

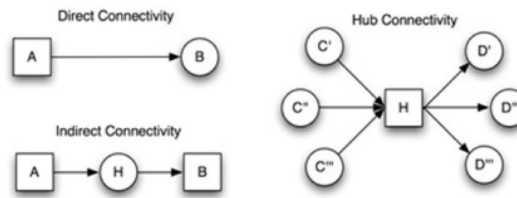
Nepřímou konektivitou se rozumí lety z letiště A na letiště B s přestupem na hubovém letišti. Kvalita spojení nepřímou konektivitou se určuje podle doby potřebné na přestup a o kolik je trasa s přestupem prodloužena oproti přímému letu.

Hub konektivita

Hub konektivita obsahuje počet navazujících letů, které hub může umožnit. Kvalita se posuzuje podle doby potřebné na přestup a prodloužení trasy oproti přímému letu

Letištní konektivita

V letištní konektivě jsou zahrnuta přímá a nepřímá spojení letišť. Výsledná letištní konektivita je součtem přímé a nepřímé konektivity a dává informaci o celkovém propojení daného letiště se zbytkem světa.



obrázek č.3- schéma přímá, nepřímá a hub konektivita
(zdroj: [8])

Dle Boonekampa a Burghouwt [8] byl na základě NetScan metody vytvořen Netcargo model pro nákladní dopravu. Vzorec pro výpočet:

$$T_{max} = T_{nonstop} + \alpha \cdot \ln(T_{nonstop} + \tau) - 1_{\{if\ perishable\}} \cdot \varepsilon \cdot T_{nonstop} \quad q = 1 - \frac{T_{perceived} - T_{nonstop}}{T_{max} - T_{nonstop}}$$

$$T_{perceived} = T_{fly} + T_{transfer} + \kappa \cdot 1_{\{if\ transfer\}} \quad CNU = q \cdot f$$

kde CNU je přímý let z A do B, f je týdenní frekvence letů, q je kvalita spojení, Ttransfer je čas přestupu, Tfly je čas letu, Tperceived je vnímaný čas přepravy, Tnonstop je teoretický nonstop let, Tmax je maximální čas přepravy, α je parametr časové citlivosti, τ je korekční čas pro krátké lety, ε parametry pro zkazitelné nebo jinak časově citlivé zboží, κ přídavný trestný čas pro zboží, které letí s přestupem

1.2.2. IATA index

IATA [10] vytvořila indikátor konektivity k vypočítání, jak moc je daný stát začleněn do globální sítě letecké dopravy. Důležitým hlediskem je počet a ekonomická důležitost destinací, kam se z hlavních letišť daného státu létá a počet přímých spojení, které může dané letiště nabídnout. Hodnoty v matici nabývají hodnot od 0 do nekonečna. Air Connectivity Index je využíván pro osobní dopravu a se spočítá podle následujícího vzorce:

$$Air\ Connectivity\ Index = \sum_{k=1}^{all\ destinations} (Annual\ Outbound\ Seats_k \cdot Destination\ Airport\ Weight_k)$$

Air Connectivity Index lze vypočítat i podle matematicky ekvivalentního vzorce s využitím frekvence letů:

$$\text{Air Connectivity Index} = \sum_{k=1}^{\text{all destinations}} (\text{Flight Frequency}_k * \text{Average Available Seats per Flight}_k * \text{Destination Airport Weight}_k)$$

1.2.3. WorldBank

Dle IATA [10] WorldBank metoda ukazuje schopnost dané země být propojena s ostatními zeměmi. Tato metoda se tedy zabývá konektivitou dané země v globálním měřítku. V matici konektivity podle metody WorldBank má daná země hodnoty mezi 0 a 1.

1.3. Metody pro analýzu centrality

Centralita obecně vyjadřuje důležitost uzlů ve zkoumané síti a jeho propojenost s ostatními uzly v síti. Dle Cambridge Intelligence, Kaločayové, GEEKSFORGEEEKS, Neo4J, ScienceDirect a Cheunga a spol. [11,12,13,14,15,16] existuje několik druhů centrality- přímá (degree), vážená (weighted), centralita dostupnosti (closeness), přestupní (betweenness), centralita vlastních vektorů (eigenvector) a Pagerank.

Přímá centralita

Dle Kaločayové [12] přímá centralita je nejjednodušším typem centrality. Přímou centralitou se uzel posuzuje podle počtu spojení (hran), který daný uzel má. Čím větší číslo přímé centrality daný uzel má, tím je v síti důležitější. Využíváno je také normalizování hodnot přímé centrality, kdy uzel s největší hodnotou přímé centrality má hodnotu 1 a ostatní uzly mají hodnotu mezi 0 a 1 podle jejich hodnoty centrality, např. největší hodnota centrality v síti je 10, uzel, který má tuto hodnotu, po normalizování obdrží hodnotu přímé centrality 1. Jiný uzel má přímou centralitu 5, po normalizování má tedy hodnotu 5/10, tzn. 0,5.

Vážená centralita

Dle Kaločayové [12] vážená centralita je variantou přímé centrality. Rozdílem je, že každá hrana je ohodnocena. V letecké dopravě ohodnocení hran znamená frekvenci tzn. počet letů mezi jednotlivými letišti. Vážená centralita daného uzlu je součtem ohodnocení hran, které daný vrchol spojují s ostatními.

Centralita dostupnosti

Dle GEEKFORGEEKS [13] centralitou dostupnosti zjišťujeme, jak je daný vrchol blízko ke všem ostatním vrcholům v síti. Měří se průměrná nejkratší vzdálenost od vrcholu ke všem ostatním vrcholům. Podle centrality dostupnosti je daný vrchol A centrálnější než vrchol B, pokud hodnota průměrné nejkratší vzdálenosti u vrcholu A je nižší než u vrcholu B.

Přestupní centralita

Dle Neo4J [14] přestupní centralita udává, kolik nepřímých nejkratších cest mezi jednotlivými vrcholy prochází zkoumaným vrcholem. Přestupní centralitu počítáme jako součet minimálních vzdáleností mezi libovolnými 2 uzly procházející daným uzlem. Čím je hodnota přestupní centrality pro daný uzel větší, tím více nejkratších cest daným uzlem prochází a uzel je významnější pro danou síť. Hodnotu přestupní centrality lze zaznamenat i jako poměr počtu nejkratších vzdáleností procházejících daným uzlem a počtu nejkratších vzdáleností mezi všemi uzly v síti. Tento druh centrality bude následně využit v analýze, protože se shoduje s principem fungování nákladních letadel v rámci sítě - tzv. "lety po okruzích".

Centralita vlastních vrcholů

Dle GEEKSFORGEEKS [11] centralita vlastních vrcholů zkoumá uzly podle důležitosti jejich sousedů. Důležitost uzlu pro centralitu vlastních vrcholů se stanovuje podle přímé centrality daného uzlu. V praxi centralita vlastních vrcholů znamená, že pokud 2 uzly mají stejný počet sousedů, větší centralitu vlastních vrcholů má uzel, který je spojen s významnějšími uzly. Uzly s malým počtem sousedů, kteří jsou pro síť významní, mohou mít vysokou hodnotu centrality vlastních vrcholů.

PageRank

Dle Sudy [17] PageRank centralita byla jako první využita pro hodnocení webových stránek (podle toho je tento druh centrality pojmenován) s ohledem na jejich hypertextové odkazy. Dle GEEKSFORGEEKS [11] PageRank je variantou k centralitě vlastních vrcholů. Hlavním rozdílem od centrality vlastních vrcholů, že řeší i hrany směřující do vrcholu. Každý vrchol je ohodnocen podle počtu vstupujících hran, které jsou také ohodnoceny a to podle relativní hodnoty vrcholu, odkud vycházejí.

1.4. Nákladní letecká doprava

Dle Boonekampa a Burghouwt [8], T. Van Asche a spol. [18] a Airports Council Air Freight [19] letecky je vhodné přepravovat zejména zboží s krátkou dodací dobou, vysokou cenou a luxusní zboží. Letecky se převáží pouze 1% přepravovaného nákladu, ale 35% celkové ceny nákladu. Lodní dopravou se naopak převáží trvanlivé zboží, které vydrží dlouhou dobu. Výhodou přepravy nákladu letecky oproti lodí je mnohem vyšší rychlost. Nevýhodami jsou vysoká cena a limitace přepravy různých typů nebezpečného zboží. Dle Morrella a Kleina [5] téměř 50% nákladních letů je uskutečňováno v noci. Dle Průši a kolektivu [20] jednotlivé letecké společnosti přikládají převozu nákladu svými letadly různou důležitost:

Doplňková činnost- letecké společnosti, které se zaměřují na přepravu cestujících, mají přepravu nákladu jen jako doplňkový zdroj příjmů. Tyto společnosti převáží náklad v zavazadlovém prostoru osobních letadel. Množství přepraveného nákladu je závislé na volné kapacitě nákladového prostoru, která nebyla využita pro zavazadla cestujících. Obecně tyto letecké společnosti přikládají největší prioritu naložení zavazadel cestujících a poté až nákladu a poště

Hlavní činnost nákladních dopravců- některé letecké společnosti nebo dceřiné společnosti aerolinek pro osobní přepravu využívají přepravu nákladu jako svůj hlavní zdroj příjmů. Využívají k tomu letadla, která jsou celá určena výhradně pro náklad.

Hlavní činnost zásilkových dopravců- některé letecké společnosti se zabývají doručováním hodnotných nebo důležitých zásilek z domu do domu. Svým zákazníkům garantují přesný čas doručení a možnost sledovat online svou zakázku, kde se nachází.

Cena přepravy nákladu je závislá např. faktorech váhy, objemu prostoru, který zásilka zaplňuje a jejich poměru (váha/ objem), celkového množství přepravovaného nákladu, možnosti využití kontejnerů nebo palet = snížení nákladů = nižší cena, druhu zboží, sezony (proměnlivost poptávky a dostupnost nabídky), stupně konkurence na daném trhu, speciálních požadavků na termíny dodání zboží a zacházení se zbožím

Dle Morrella a Kleina [5] v nákladní letecké dopravě existuje 6 typů leteckých společností převážející náklad, kterými jsou nákladní dopravci (Scheduled All-Cargo Carriers), osobní dopravci (Passenger Airlines), kombinovaní dopravci (Combination Carriers), pronajímatelé (ACMI Providers), zásilkový dopravci (Integrated Carriers), nákladní dopravci s nepravidelnými spoji (Charter Cargo Carriers). Na obrázku č.4 jsou zobrazeny typy leteckých společností i s příklady konkrétních leteckých společností pro každý typ.



obrázek č.4- typy leteckých společností převážející náklad
(zdroj: [5])

Následuje charakteristika jednotlivých typů dopravců.

1.4.1. Osobní dopravci

Dle Morrella a Kleina [5] klasičtí dopravci, kteří se zaměřují na osobní dopravu, pro přepravu nákladu využívají širokotrupé letouny při letech na dlouhé vzdálenosti. Naopak nízkonákladoví dopravci využívají na svých letech menší úzkotrupé letouny (B737-800, A319, A320) a většinu zavazadlového prostoru zaplní zavazadla cestujících a na náklad již nezbývá místo. Dle Airports Council Air Freight [22] obecně všichni osobní dopravci mají za cíl přepravit zejména zavazadla cestujících a až poté se při zbývajícím volné kapacitě zaměřují na naložení a přepravení nákladu a pošty

1.4.2. Kombinovaní dopravci

Doprovci s kombinovanou dopravou se zaměřují na osobní i nákladní dopravu. Dle Morrella a Kleina [5] Pro nákladní dopravu tyto dopravci většinou zakládají „nákladní verzi“ osobní letecké společnosti (např. Lufthansa Cargo, Qatar Airways Cargo atd). Tito dopravci mohou variabilně využívat osobní i nákladní letadla pro přepravu nákladu, např. osobní letadlo má v zavazadlovém prostoru hodně volného místa, tak tam naloží náklad, nebo naopak náklad do osobního letadla je příliš objemný (dveře zavazadlového prostoru jsou příliš malé) nebo tento druh nákladu nelze přepravit v osobním letadle (nebezpečné zboží), letecká společnost použije nákladní letadlo. Většina nákladu na krátkých a středních tratích se převáží zejména v osobních letadlech, protože využívání nákladních letadel na kratší vzdálenosti není ekonomicky výhodné.

1.4.3. Nákladní dopravci

Dle Morrella a Kleina [5] nákladní letečtí dopravci provozují zejména mezinárodní lety na dlouhé vzdálenosti. Dle Boonekampa a Burghouwta [8] obecně nákladní letecká doprava je soustředěna více na největší nákladní letiště světa než je tomu v rámci osobní dopravy. Obsluhovaná oblast letišťem je v osobní dopravě 100 km okolo daného letiště, tzn. cestující jsou ochotni jet na letiště maximálně 100 km, naopak pro nákladní letiště je obsluhovaná oblast 800 km okolo letiště nebo 12 hodin jízdy nákladu kamionem, z čehož vyplývá, že není nutné budovat rozvinutou síť velkých nákladních letišť.

1.4.4. Nepravidelní dopravci (Charter a ACMI Providers)

Charterový let je nepravidelný letecký spoj, který si někdo objedná (z ang. Charter- pronajmout si). Dle Morrella a Kleina [5] Většina leteckých společností provozuje pravidelné i nepravidelné nákladní lety. Typickým představitelem letecké společnosti, která se specializuje na nepravidelné lety, je ruská Volga-Dnepr Airlines.

ACMI Provider je letecká společnost, která poskytuje v rámci pronájmu samotného letadla také posádku na lety, údržbu a pojištění letadla.

1.4.5. Zásilkoví dopravci

Dle Morrella a Kleina [5] tento typ dopravců má ve svém business plánu 4 základní pilíře: doručení z domu do domu, rychlá a spolehlivá doprava, garantovaný čas doručení a možnost sledování zásilky. Tito dopravci si sami zajišťují všechny fáze přepravy od odesílatele k zákazníkovi, takže oproti ostatním typům dopravců odesílatel/zákazník nemusí řešit, jak přepravit zakázku z/na letiště. Zákazník má možnost díky webovým stránkám dopravce sledovat, v jaké fázi přepravy se jeho zásilka nachází. Dopravci mají svoji vlastní leteckou společnost, svoje letadla, kterými provozují zásilkovou dopravu, ale část nákladového prostoru nabízejí ostatním leteckým společnostem pro jejich potřeby. Naopak zásilkoví dopravci si i kupují části nákladových prostorů ostatních leteckých společností pro své potřeby. V současné době globálnímu trhu letecké přepravy zásilek dominují 3 dopravci, kteří mají své huby rozmístěné různě po světě- DHL [22] hlavní hub v Lipsku, dle webu letiště v Memphisu [23] má FedEx hlavní hub právě na tomto letišti a dle webu letiště v Louisville [24] má UPS hlavní hub právě v Louisville. Všichni tito dopravci mají i další menší huby rozmístěné různě po světě. Přímo na hubových letištích nebo v jeho blízkém okolí staví velká logistická centra. Pro další nové dopravce je velmi složité se prosadit na globálním trhu a velmi často se z nich stanou pouze regionální zásilkoví dopravci.

1.5. Typy letadel používané pro převoz nákladu

Dle Morrella a Kleina [5] v nákladní letecké dopravě se používá několik typů letadel. Prvním typem jsou nákladní letadla, která již byla postavena jako nákladní. Dle Airport Cooperative Research Programu [25] nákladní letecké společnosti využívají pro převoz nákladu úzkotrupá i širokotrupá letadla, naopak expresní dopravci, UPS, FedEx a DHL, využívají menší letadla pro převoz nákladu mezi menšími letišti a velkými nákladními huby. Dle Airports Council Air Freight [19] v roce 2018 bylo celosvětově používáno 1870 nákladních letadel, z čehož 30% bylo velkých širokotrupých s možností převážet více než 80 tun nákladu, 33% střední širokotrupá s možností převážet 40-80 tun nákladu a 37% úzkotrupých s možností převážet do 40 tun nákladu. Druhým typem letadel jsou ta, která nejdříve byla používána pro osobní dopravu a následně byla přestavena na nákladní. Dle Aviation Maintenance Magazinu [2] v minulosti letecké společnosti transformovali letadla z osobních na nákladní po minimálně 20 letech používání. Pandemie jejich uvažování změnila a nyní probíhá přestavba osobních letadel na nákladní i dříve než po 20 letech. Třetím typem jsou kombinovaná letadla, které se v průběhu času podle potřeby mění z osobního na nákladní. Dle Aviation Maintenance Magazinu [2] Tento typ letadla má jednoduše odmontovatelné sedačky, větší nákladové dveře pro jednodušší naložení nákladu a možnost instalace zdi do kabiny cestujících pro oddělení části pro cestující a náklad. U kombinovaných letadel je delší čas naložení nákladu. I přesto jsou kombinovaná letadla využívána např. leteckou společností KLM nebo Alaska Airlines. Posledním typem jsou osobní letadla, u kterých se náklad převáží v zavazadlovém prostoru. Dle Aviation Maintenance Magazinu [2] pandemie krátkodobě změnila i používání osobních letadel. Tato letadla nebyla při lockdownu a zavření hranic států vůbec, nebo jen minimálně využívána pro přepravu cestujících a zároveň vznikla akutní potřeba obstarat zdravotnické pomůcky, takže část zdravotnických pomůcek byla přepravována na palubě osobních letadel.

Dle Airports Council Air Freight [19] jsou budoucností přepravy nákladu bezpilotní letadla (drony). Jejich využití je méně riskantní pro převoz nákladu než cestujících. Firmy Amazon, Alphabet a další již používání dronů testují a vylepšují. Pro jejich zavedení do provozu je nutné vyřešit legislativní překážky a překážky např. způsobené nedostatkem prostoru v hustě zastavěných částech měst.

1.6. Datové zdroje

Jako zdroj dat byl vyhledáván volně dostupný zdroj o letech nákladních letadel. Nalezeny byly zdroje FlightRadar24 [21] a Flightera [26]. Zvolen byl FlightRadar24, protože na stránce Flightera nebyly k dispozici informace o letech nákladních dopravců, zejména chyběla data o zásilkových dopravcích. Webová stránka Flightradar24 poskytuje aktuální informace o letovém provozu na celém světě a zaznamenává informace o uskutečněných letech daného letadla v posledních 3 letech.

1.7. Shrnutí, výběr metody

V této bakalářské práci budou řešena pouze letadla nákladní, protože v letadlech pro osobní přepravu není možné určit, zda-li se při daném letu přepravoval i nějaký náklad. Nákladní letadla velmi často létají tzv. velké okruhy kolem světa s několika zastávkami a zároveň si letecké společnosti staví v blízkosti svých hubových letišť logistická centra. Jako zdroj dat byl zvolen FlightRadar24. Pro analýzu nákladní letecké dopravy by bylo nejvhodnější použít NetCargo model, který byl určený přímo pro nákladní leteckou dopravu, ale pro vyhodnocení není možné zjistit parametry např. zkazitelnost zboží, které bylo daným spojem přepravováno. Zvolena tedy bude metoda centrality, konkrétně přestupní centralita, protože tou se zjišťuje počet nejkratších cest mezi 2 nesousedícími vrcholy, které prochází daným vrcholem, tzn. vrchol s vysokou hodnotou přestupní centrality je více využíván než vrchol s nižší hodnotou. Zkoumáno tedy bude, kolik nejkratších cest mezi nesousedícími vrcholy vede přes zkoumaný vrchol v síti, kde letadla velmi často létají po okruzích kolem světa.

Dle Kaločayové [12] výpočtem přestupní centrality nalezneme významné přestupní uzly, tzn. hub letišť. Přestupní centralita se počítá podle následujícího vzorce:

$$C_B(i) = \frac{g_{jk}(i)}{g_{jk}},$$

, kde $g_{jk}(i)$ – počet nejkratších cest procházející uzlem i , g_{jk} – celkový počet nejkratších cest mezi 2 uzly.

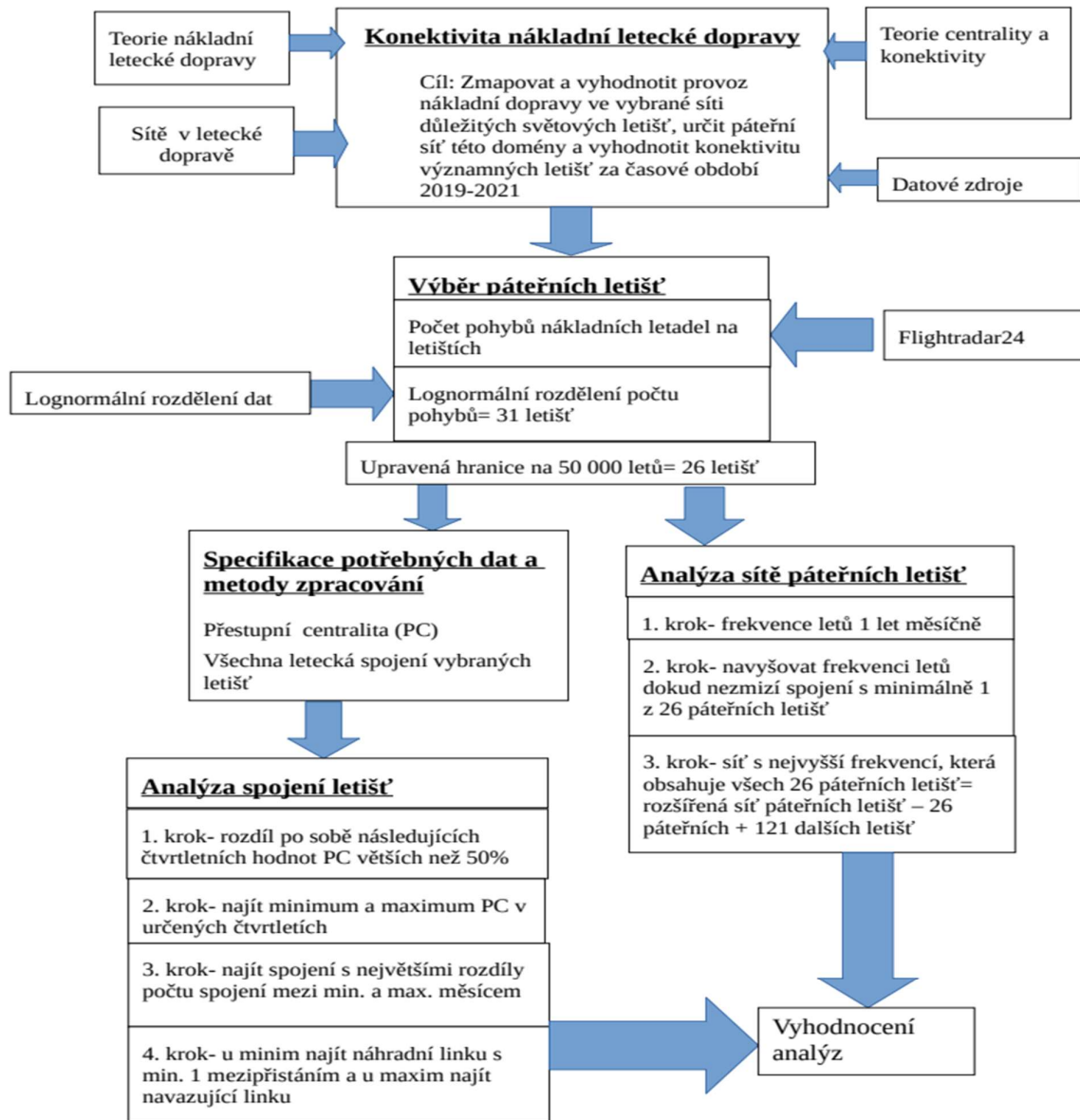
K analýze budou využity pouze přímé spoje mezi 2 letišti, protože z rozsahu dat nelze vysledovat navazující lety daného letadla a případně, zda-li daný náklad byl na letišti vyložen, pokračoval stejným letadlem, nebo byl přeložen do jiného.

2. Metodika

Následující kapitola se zabývá metodickým postupem vypracování bakalářské práce. Na úvod je zobrazen samotný graficky znázorněný model postupu. V další části je detailně popsán postup vypracování práce od zdroj sesbíraných dat, nástroje použité pro samotný sběr dat, filtrace nepotřebných dat, program na zpracování dat, výběr letišť pro následnou analýzu ke způsobu vyhodnocení.

2.1. Metodický model

Na obrázku č.5 je zobrazen metodický model postupu řešení problému změny konektivity v nákladní letecké dopravě v letech 2019- 2021. Zmíněn je cíl práce, hlavní teoretické oblasti, které pomohou pochopit fungování nákladní letecké dopravy a které pomohou naplnit cíl práce tzn. síť v nákladní letecké dopravě, obecná teorie nákladní letecké dopravy, metody konektivity a centrality, a datový zdroj. V další části je popsán výběr páteřních letišť pro nákladní leteckou, který je proveden podle celkového počtu letů za celé zkoumané období. Páteřní letiště budou vybraná podle lognormálního rozdělení a tento výběr bude následně upraven na kritérium 50 000 letů za celé zkoumané období. Následně bude analyzována síť 26 páteřních letišť, která bude tvořena vzájemnými spojeními těchto letišť a spojení s ostatními letišti s nejvyšší možnou frekvencí, při které bude rozšířená síť páteřních letišť obsahovat spojení všech 26 letišť a také bude analyzována změna četností jednotlivých spojů a hledání navazujících tras k linkám, u kterých se zvýšila frekvence spojů, a náhradních tras s minimálně 1 mezipřistáním pro omezené/zrušené linky. Která letiště budou takto analyzována, bude zjištěno podle jejich % změny čtvrtletních hodnot přestupní centrality. V metodickém modelu je pro analýzy spojů letišť a páteřní sítě napsán krok po kroku postup, jak byla analýza provedena. V následujících částech této kapitoly jednotlivé části metodického postupu budou detailně popsány.



obrázek č.5- metodický model zpracování

(zdroj: vlastní)

2.2. Těžba dat

V následující části bude detailně popsán postup sběru dat z Flightradar24 pomocí doplňku webového prohlížeče Webscraper.

2.2.1. Flightradar24

Data pro tuto bakalářskou práci byla získána z Flightradar24 [21]. Ukázka dat z Flightradar24 na obrázku č.6. Sesbírána byla data o 3,4 milionu letů nákladních letadel za období duben 2019- prosinec 2021. Lety provedlo 2670 nákladních letadel ze 147 leteckých společností, přičemž největší podíl na celkovém počtu letadel mají letecké společnosti FedEx se 706, UPS se 290 a DHL se 195 letadly. Nákladní letadla byla vybrána podle označení „F = freight“ u každého letadla na webu flightradar24 a tento výběr byl ověřen na webových stránkách dané letecké společnosti.

11 Jun 2022	Memphis (MEM)	Spokane (GEG)	FX907	3:36	16:20	17:01	18:53	Landed 18:37
11 Jun 2022	Los Angeles (LAX)	Memphis (MEM)	FX654	3:20	04:00	03:57	09:24	Landed 09:18
10 Jun 2022	Indianapolis (IND)	Los Angeles (LAX)	FX1742	3:44	03:50	03:56	04:47	Landed 04:40
09 Jun 2022	Windsor Locks (BDL)	Indianapolis (IND)	FX1647	1:46	22:05	21:57	00:03	Landed 23:43
09 Jun 2022	Memphis (MEM)	Windsor Locks (BDL)	FX367	2:05	15:05	15:05	18:25	Landed 18:10
09 Jun 2022	Fort Lauderdale (FLL)	Memphis (MEM)	FX693	1:58	08:15	08:06	09:15	Landed 09:04
09 Jun 2022	Memphis (MEM)	Fort Lauderdale (FLL)	FX1400	1:55	03:06	03:36	06:20	Landed 06:31
08 Jun 2022	Atlanta (ATL)	Memphis (MEM)	FX1221	1:03	22:20	22:22	22:38	Landed 22:25

obrázek č.6- ukázka dat z Flightradar24

(zdroj: [21])

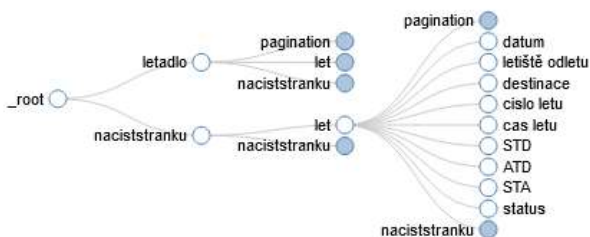
2.2.2. Web Scraper

Na samotný sběr dat byl použit doplněk webových prohlížečů Web Scraper [27] , který dle zvoleného algoritmu sbírá požadovaná data. Po dokončení algoritmu lze nasbíraný soubor dat stáhnout ve formátu .xls nebo .csv.(ukázka stažených dat v tabulce č.1).

Tabulka č.1 – ukázka stažených dat pomocí Webscraperu
(zdroj: vlastní)

web-scrap	web-scrap	pagination	letadlo	letadlo-hr	datum	letišťe odl	destinace	cislo letu	cas letu	STD	ATD	STA	status
16474766	https://www		N330QT	https://www	27 Apr 201	Cali (CLO)	Medellin (I	QT4023	0:31	16:10	17:31	17:10	Landed 18:02
16474748	https://www		N332QT	https://www	17 Apr 202	Guayaquil	Quito (UIO	QT4038	0:48	17:35	16:47	17:35	Landed 17:35
16474739	https://www		N334QT	https://www	12 Oct 202	Miami (MI	Campinas	QT4051	7:48	12:00	09:41	20:15	Landed 17:29
16474757	https://www		N331QT	https://www	10 Oct 202	Bogota (B	Barranquill	QT4142	1:01	03:00	09:42	04:15	Landed 10:43
16474748	https://www		N332QT	https://www	15 Apr 201	Miami (MI	Barranquill	QT4027	2:15	23:00	22:53	01:12	Landed 01:08
16474766	https://www		N330QT	https://www	08 Jun 202	Miami (MI	Manaus (N	QT4057	4:54	17:00	18:20	23:25	Landed 23:15
16474727	https://www		N336QT	https://www	23 Oct 202	Panama Ci	Bogota (B	QT4125	1:14	04:01	02:47	04:01	Landed 04:01
16474727	https://www		N336QT	https://www	03 Nov 202	Campinas	Bogota (B	QT4052	5:20	02:57	21:36	02:56	Landed 02:56
16474739	https://www		N334QT	https://www	24 Jan 202	Quito (UIO	Miami (MI	QT4034	3:45	15:48	15:46	19:30	Landed 19:31
16474736	https://www		N335QT	https://www	08 May 20	Amsterdam	Zaragoza (QT4048	1:54	22:47	20:53	22:47	Landed 22:47
16474727	https://www		N336QT	https://www	28 Jul 202	Montevide	Bogota (B	QT4090	6:06	05:15	23:09	05:14	Landed 05:14
16474736	https://www		N335QT	https://www	06 Jul 202	Santiago (S	Bogota (B	QT4096	5:31	03:36	22:00	03:31	Landed 03:31
16474757	https://www		N331QT	https://www	19 Feb 202	Quito (UIO	Miami (MI	QT4034	1:14	19:27	19:27	20:41	Landed 20:41
16474736	https://www		N335QT	https://www	11 Nov 202	Miami (MI	Bogota (B	QT4003	3:07	23:45	00:00	03:03	Landed 03:07
16474748	https://www		N332QT	https://www	10 Sep 202	Medellin (I	Miami (MI	QT4018	3:00	14:00	10:59	14:00	Landed 14:00
16474727	https://www		N336QT	https://www	22 Feb 202	Campinas	Bogota (B	QT4054	5:04	17:35	17:35	22:39	Landed 22:39
16474748	https://www		N332QT	https://www	04 Dec 202	Bogota (B	Miami (MI	QT4210	3:11	00:12	00:08	03:20	Landed 03:20
16474736	https://www		N335QT	https://www	28 Sep 201	Bogota (B	Quito (UIO	QT4035	1:04	00:12	23:07	00:11	Landed 00:11

Schéma algoritmu použitého pro sběr dat do této bakalářské práce je na obrázku č.7. Algoritmus byl navržen tak, aby každé jeho jednotlivé spuštění sesbíralo data o letech letadel jedné letecké společnosti. Část grafu „letadlo“ zajišťuje, aby algoritmus postupně načítal všechna letadla ze seznamu a zároveň u každého letu uvedl kód letadla, kterým byl daný let proveden. Část „let“ zaznamenává informace o každém letu (např. destinaci a další) a „naciststranku“ u každého letu postupně načítá další lety více do historie do té doby než jsou načteny všechny dostupné lety z posledních 3 let.



obrázek č.7 – schéma algoritmu pro stažení dat webscraperem
(zdroj: [27])

2.3. Zpracování dat

Po sběru dat pomocí Webscraperu byla sesbíraná data zpracována podle časové řady a byla vypočtena hodnota přestupní centrality pomocí Gephi.

2.3.1. Zpracování časové řady dat

Nejdříve byly jednotlivé lety všech 2670 nákladních letadel rozděleny do příslušných měsíců, kdy daný let proběhl. Ukázka v tabulce č.2.

Tabulka č.2- ukázka dat o letech rozdělených do příslušných měsíců
(zdroj: vlastní)

15 Aug 2020	Los Angeles (LAX)	Seoul (ICN)	5Y8671	11:34	00:40	01:12	12:25	Landed 12:47
22 Aug 2020	Miami (MIA)	Amsterdam (AMS)	5Y5421	7:40	22:25	22:39	06:06	Landed 06:19
24 Aug 2020	Los Angeles (LAX)	Tokyo (NRT)	5Y7105	10:29	19:55	19:54	06:14	Landed 06:23
23 Aug 2020	Seoul (ICN)	Anchorage (ANC)	5Y238	7:02	01:30	01:54	08:17	Landed 08:56
16 Aug 2020	Miami (MIA)	Manaus (MAO)	5Y39	5:03	17:30	10:17	22:30	Landed 15:20
17 Aug 2020	Anchorage (ANC)	Cincinnati (CVG)	PO9690	5:29	10:30	10:42	16:20	Landed 16:11
20 Aug 2020	New York (JFK)	Seoul (ICN)	5Y539	13:59	17:00	17:39	06:27	Landed 07:38
05 Aug 2020	Shanghai (PVG)	Anchorage (ANC)	5Y8676	8:01	21:00	21:31	04:44	Landed 05:32
05 Aug 2020	Cincinnati (CVG)	Seoul (ICN)	PO9173	13:46	16:35	17:09	06:27	Landed 06:55
11 Aug 2020	Manaus (MAO)	Quito (UIQ)	5Y36	2:48	13:05	17:02	16:10	Landed 19:50
17 Aug 2020	Frankfurt (HHN)	Dover (DOV)	5Y8143	7:31	11:45	04:10	11:41	Landed 11:41
08 Aug 2020	Miami (MIA)	Campinas (VCP)	5Y57	7:38	09:00	09:45	16:50	Landed 17:23
24 Aug 2020	Delhi (DEL)	Hong Kong (HKG)	5Y8138	5:00	17:43	12:43	17:43	Landed 17:43

Po rozdělení do jednotlivých měsíců byla následně vyfiltrována nekompletní data o jednotlivých letech (ukázka v tabulce č.3). U přibližně 4% letů nebyla kompletní data, chyběla u nich informace o letišti odletu, destinací, nebo obě tyto informace.

Tabulka č.3- ukázka nekompletních dat
(zdroj: vlastní)

15 Jul 2019	—	Medellin (MDE)	QT4060	-	—	—	05:36	Landed 05:36
07 Dec 2019	—	—	QT4041	-	—	—	—	Unknown
18 Mar 2021	—	Miami (MIA)	QT4032	4:06	—	—	21:26	Landed 21:26
13 Mar 2020	—	—	TP4033	-	—	—	—	Landed 20:49
18 Feb 2021	—	—	(TEST)	-	—	—	—	Unknown
26 Sep 2019	—	Quito (UIQ)	QT4058	-	—	—	17:41	Landed 17:41
19 Sep 2020	—	—	QT4046	-	—	—	—	Unknown
12 Dec 2021	—	—	QT4023	-	—	—	—	Unknown
07 May 2019	—	Miami (MIA)	QT4034	3:39	—	—	20:54	Landed 20:54
05 Jan 2022	—	Manaus (MAO)	QT4023	-	—	—	00:25	Landed 00:25
28 Aug 2019	—	—	(TPA4014)	-	—	—	—	Unknown
23 Jul 2020	—	—	QT4012	-	—	—	—	Unknown
08 Feb 2022	—	—	QT4017	—	13:40	—	—	Unknown
11 Oct 2019	—	—	QT4051	-	—	—	—	Unknown

2.3.2. Výpočet přestupní centrality

Takto zpracované soubory se všemi lety v daném měsíci byly následně vloženy do programu Gephi [28], což je nástroj pro výpočet hodnot centrality (kapitola 1.3.). Z programu gephi jsou použity hodnoty stupně vrcholu ukazující počet hran, které vstupují/vystupují do/z daného uzlu, (tzn. do/z kolika letišť se na/z dané(ho) letiště létalo), vážený stupeň ukazující frekvenci těchto letů, tzn. celkový počet letů, které z/na dané(ho) letiště proběhlo a přestupní centralita, která ukazuje hodnoty součtu minimálních vzdáleností mezi libovolnými 2 uzly procházející daným uzlem. Ukázka v tabulce č.4

Tabulka č.4- ukázka zpracovaných dat
(zdroj: Gephi)

Id	Stupeň Dovnitř	Stupeň Ven	Stupeň	Vážený stupeň dovnitř	Vážený stupeň ven	Vážený stupeň	Eccentricity	Closeness Centrality	Harmonic Closeness Centrality	Betweenness Centrality
Cincinnati (CVG)	63	70	133	1357.0	1358.0	2715.0	5.0	0.401823	0.450515	54630.41891
Orlando (MCO)	21	17	38	360.0	353.0	713.0	6.0	0.334252	0.36421	2979.29242
Montreal (YMX)	15	14	29	213.0	218.0	431.0	6.0	0.321511	0.349124	4453.505497
Hamilton (YHM)	21	20	41	311.0	306.0	617.0	5.0	0.341069	0.371134	9162.600208
Miami (MIA)	66	86	152	1636.0	1652.0	3288.0	5.0	0.394469	0.445072	98054.745974
Panama City (PTY)	12	13	25	227.0	255.0	482.0	6.0	0.31845	0.345052	4078.049536
Doncaster (DSA)	5	4	9	14.0	13.0	27.0	6.0	0.283958	0.303282	2916.316799
Darlington (MME)	1	1	2	3.0	3.0	6.0	7.0	0.221209	0.229998	0.0
Lasham (QLA)	0	1	1	0.0	1.0	1.0	7.0	0.221336	0.230276	0.0
Lamaca (LCA)	3	3	6	52.0	51.0	103.0	6.0	0.278656	0.294261	6.862014
Athens (ATH)	5	7	12	91.0	91.0	182.0	6.0	0.284875	0.30543	1025.18793
Milán (MXP)	38	32	70	503.0	484.0	987.0	5.0	0.374373	0.409296	12909.852085
Madrid (MAD)	28	29	57	361.0	356.0	717.0	6.0	0.342877	0.380773	19201.896709
Vitoria (VIT)	14	14	28	275.0	291.0	566.0	6.0	0.305416	0.333986	4542.300918
Seville (SVQ)	3	5	8	81.0	80.0	161.0	6.0	0.28809	0.310533	1951.53168
Cologne (CGN)	59	52	111	1156.0	1140.0	2296.0	5.0	0.385073	0.428024	58570.925852
Katowice (KTW)	8	6	14	114.0	93.0	207.0	6.0	0.295371	0.319485	2665.266176
Brussels (BRU)	41	42	83	472.0	467.0	939.0	6.0	0.349676	0.390653	20138.237386
Jonkoping (JKG)	2	2	4	35.0	33.0	68.0	7.0	0.240099	0.255351	1.104064
East Midlands (E...)	34	33	67	869.0	876.0	1745.0	6.0	0.345073	0.380756	19249.355051
Dublin (DUB)	7	6	13	92.0	88.0	180.0	6.0	0.291729	0.313918	382.774766
Liege (LGG)	83	83	166	1009.0	1035.0	2044.0	5.0	0.388	0.440928	82317.686344
Nuremberg (NUE)	7	3	10	52.0	35.0	87.0	6.0	0.282543	0.302131	83.886294
Belfast (BFS)	4	6	10	104.0	101.0	205.0	6.0	0.288347	0.309931	1413.140507

Tabulka č.4- ukázka zpracovaných dat
(zdroj: Gephi)

2.4. Určení páteřních letišť lognormálním rozdělením

Během zkoumání provozu nákladní letecké dopravy v letech 2019-2021 bylo z dat zjištěno, že během tohoto období proběhl minimálně 1 let nákladního letadla z/na 2386 letišť na světě. Tento počet je v následující části redukován podle lognormálního rozdělení, u kterého je následně upravena rozhodovací hranice počtu pohybů pro určení páteřních letišť.

Dle Budíkové [29] logaritmicke-normální rozdělení je asymetrické, zešikmené doleva. Používá se často pro modelování ekonomických veličin a v teorii spolehlivosti. Je to taktéž nejčastěji

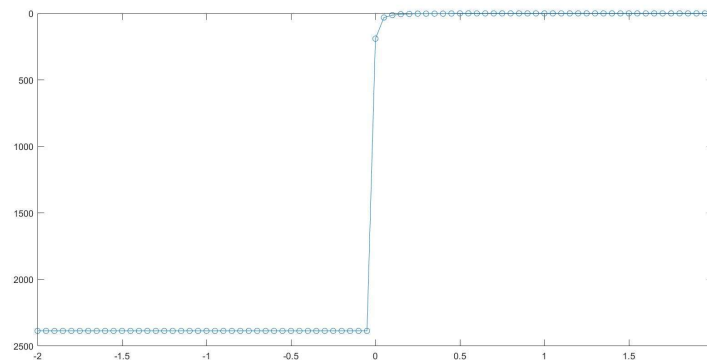
používané rozdělení pro jednostranně ohraničené údaje. Náhodná veličina X má logaritmicko-normální (lognormální) rozdělení s parametry μ a σ^2 , jestliže náhodná veličina $\ln X$ má normální rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$.

Vztahy pro střední hodnotu a rozptyl:

$$E(X) = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

$$D(X) = e^{2\mu + \sigma^2} (e^{\sigma^2} - 1)$$

Z dat počtu pohybů na jednotlivých letištích za celé zkoumané období je vytvořen graf lognormálního rozdělení, který je následně zderivován. Počet důležitých letišť se poté upravuje podle násobku směrodatné odchylky, která se přičte/odečte k od průměru. V případě dat počtu pohybů je pro hodnotu průměru 190 důležitých letišť, pro hodnotu průměr + 0,05 * směrodatná odchylka 31 důležitých letišť, průměr + 0,1 * směrodatná odchylka 13 letišť a průměr + 0,2 * směrodatná odchylka 4 důležitá letiště. Celý průběh počtu důležitých letišť pro hodnoty násobku směrodatné odchylky v intervalu $\langle -2; 2 \rangle$ je zobrazen v grafu č.1.



graf č.1- počet páteřních letišť pro hodnoty směrodatné odchylky

(zdroj: matlab)

Pro potřeby této bakalářské práce je ideálním počtem pro následnou analýzu 31 páteřních letišť. Hranicí počtu letů je pro 31 letišť 42 000. Následně je hranice počtu pohybů na jednotlivých letištích upravena na 50 000 letů za celé zkoumané období, která odpovídá 26 letištím, které následně budou analyzovány. Úprava byla provedena, protože 31., poslední vybrané, letiště v Dauhá zaznamenalo 42405 letů, další letiště 32. v pořadí, tedy již nevybrané, kterým je letiště v

Miláně, uskutečnilo 41959 letů a další 4 letiště mají více než 39000 uskutečněných letů, tzn. poslední vybraná a již nevybraná letiště jsou si v počtu letů velmi podobné. Naopak při určení hranice na 50 000 na posledním vybraném letišti ve Phoenixu bylo uskutečněno 55551 a na 1. nevybraném v Istanbulu 47646, tzn. rozdíl 8000 letů. Tabulka č.6 zobrazuje seznam 26 páteřních letišť včetně jejich počtu letů za celé zkoumané období. Páteřní letiště se nacházejí v Severní Americe, konkrétně USA 17, Evropě 5 a Asii 4 letiště. Dle Walcott a Fan [30] důvodem vysokého zastoupení letišť v USA a naopak nízkého v Číně je odlišný přístup k tvorbě sítě nákladní letecké dopravy v USA a Číně. V USA budují síť velkých hub letišť, které jsou vzájemně propojeny s navazujícími lety na menší např. regionální letiště, případně je zboží již z hub letišť jiným druhem dopravy, např. kamionovou dopravou, přepravováno k zákazníkovi. Naopak v Číně je rozvinutá síť vzájemně propojeného velkého počtu menších letišť, které nedosahují velikosti amerických hub letišť, jak je patrné z dat počtu letů.

Tabulka č.6- 26 vybraných letišť a počty letů na nich za 3 sledované roky
(zdroj: vlastní)

Letiště	Počet letů	Letiště	Počet letů
Memphis (MEM)	331124	Soul (Incheon) (ICN)	77141
Louisville (SDF)	312769	Atlanta (ATL)	68895
Anchorage (ANC)	180335	East Midlands (EMA)	65534
Hong Kong (HKG)	158659	Dallas (DFW)	64612
Lipsko (LEJ)	119974	Honolulu (HNL)	64187
Miami (MIA)	119925	Portland (PDX)	63397
Ontario (ONT)	98936	Chicago (ORD)	61955
Indianapolis (IND)	98304	Paříž (CDG)	60883
Cincinnati (CVG)	97290	Oakland (OAK)	59341
Šanghaj (PVG)	90999	Philadelphia (PHL)	58845
Kolín nad Rýnem (CGN)	84339	New York (EWR)	57958
Los Angeles (LAX)	79760	Tokio (NRT)	57439
Lutych (LGG)	79546	Phoenix (PHX)	55551

2.5. Analýza

Ve třetí kapitole bude nejdříve analyzována páteřní síť 26 vybraných letišť a také bude těchto 26 letišť analyzováno z pohledu spojů mezi letišti.

2.5.1. Analýza sítě páteřních letišť

Při hledání rozšířené sítě 26 páteřních letišť bude důležité, aby potenciální síť, která by mohla být považována za páteřní, obsahovala spojení všech 26 vybraných letišť. Páteřní síť bude hledána z analytické tabulky spojení a frekvencí. Pro spojení zařazené do rozšířené sítě páteřních letišť je důležité, aby existovalo v každém zkoumaném měsíci, tzn. základní frekvencí, která bude zkoumána je 1 let měsíčně. Následně bude frekvence zvyšována a nejvyšší frekvence, při které bude mít každé z 26 letišť alespoň 1 spojení bude tou, která bude brána jako limitní a všechny lety minimálně s touto průměrnou frekvencí budou zařazeny do rozšířené sítě páteřních letišť.

2.5.2. Analýza spojení letišť

Cílem bylo nalézt největší změny přestupní centrality mezi jednotlivými čtvrtletími. Zvolena byla hranice změny 50 %, čemuž odpovídá posuzování 7 výrazných změn centrality, což bylo určeno jako vhodný počet změn pro rozsah této práce. Pro samotnou analýzu byly nalezeny měsíce s největším vzájemným rozdílem hodnot centrality v daných čtvrtletích (např. byl zaznamenán pokles hodnot centrality mezi 1. a 2. čtvrtletím 2020, hledána je maximální hodnotu centrality z hodnot v lednu, únoru a březnu 2020 a minimální z dubna, května a června 2020) Pro analýzu spojení byly vytvořeny grafy průběhů velikosti hodnot přestupní centrality, počet pohybů a počtu destinací pro vybraná letiště s % změnou centrality větší než 50 %. Vytvořena byla také analytická tabulka spojení jednotlivých páteřních letišť s ostatními letišti v každém zkoumaném měsíci včetně jejich frekvencí.

Porovnávána budou data o jednotlivých spojeních a jejich frekvencích před a při největším nárůstu/poklesu přestupní centrality. Vytvořen bude rozdíl četností před a při změně centrality pro jednotlivá spojení, ze kterých budou vybrána data, která se nejvíce liší od ostatních a ta budou následně analyzována. Hranicí pro určení, jaká data jsou výrazně odlišná od ostatních budou násobky počtu pracovních dní v měsíci, tzn. 20 a násobky budou následně upraveny podle zjištěných dat o rozdílech počtu spojení. Cílem bude, aby maximální počet odlišných dat byl přibližně 20 (10 pro nárůst a 10 pro pokles počtu spojení).

Po nalezení výrazných změn četnosti spojů budou hledaná náhradní nepřímá spojení mezi zkoumaným letištěm a letištěm, se kterým spojení bylo úplně zrušeno, nebo výrazně omezeno (např. zkoumáno je letiště v Memphisu, z tabulky spojení zjistíme, že lety do Hong Kongu byly výrazně omezeny. Hledám tedy letiště, které s Memphisem i Hong Kongem zvýšilo počet spojů. Nalezneme např. letiště Anchorage a nalezenou trasu Memphis – Anchorage – Hong Kong budeme považovat za náhradní k omezené přímé lince Memphis- Hong Kong), případně pro spojení, které zaznamenalo největší nárůst počtu spojení, bude hledán navazující let, z čehož lze následně usoudit vyšší poptávku po přepravě nákladu mezi těmito 2 letišti (např. zkoumáno je letiště v Memphisu, nejvyšší nárůst počtu spojení zaznamenalo spojení Memphis- Louisville, následně hledám nejvyšší nárůst počtu spojení z Louisville, nalezeno bude spojení do Miami, tzn. z dat budeme považovat zvýšení poptávky po spojení mezi Memphisem a Miami s mezipřistáním v Louisville).

2.6. Vyhodnocení analýz

Čtvrtá kapitola se věnuje vyhodnocení analýzy sítě páteřních letišť, ve které jsou uvedeny statistické údaje, jakou část celé sítě letišť tvoří letiště v rozšířené síti páteřních letišť.

Ve vyhodnocení analýzy spojení letišť je uvedeno, u jakých letišť se nejvíce krát změnila čtvrtletní hodnota přestupní centrality více než o 50 % a také, jaká z těchto letišť měla absolutně nejvyšší hodnotu % změny přestupní centrality.

3. Analýza páteřní sítě a spojů mezi letišti

Následující kapitola se zabývá analýzou sítě páteřních letišť nákladní letecké dopravy ve zkoumaném období mezi dubnem 2019 a prosincem 2021 a analýzou přestupní centrality na 26 páteřních letištích, co způsobilo změnu centrality o více než 50 %.

3.1 Analýza sítě páteřních letišť

V této části práce bude analyzována síť páteřních letišť nákladní letecké dopravy ve zkoumaném období mezi dubnem 2019 a prosincem 2021. Rozšířená síť páteřních letišť je tvořena 26 páteřními letišti (výběr proveden v kapitole 2.4.2.), jejich vzájemnými spojeními a spojením těchto letišť s ostatními letišti. Rozšířená síť páteřních letišť obsahuje spojení mezi letišti, která byla realizována ve všech 33 zkoumaných měsících, z čehož vyplývá, že minimální počet spojů mezi dvojicí letišť v daném měsíci, aby takové spojení existovalo, je 1 spoj. Následně bude frekvence spojů postupně zvyšována, aby byla zjištěna nejvyšší možná průměrná frekvence letů, při které bude mít každé z 26 páteřních letišť alespoň 1 spojení s dalším letištem. Všechna spojení 26 páteřních letišť mezi sebou a s ostatními letišti, která budou splňovat podmínku nejvyšší zjištěné frekvence, budou následně zařazeny do rozšířené sítě páteřních letišť.

1 spoj za měsíc

Právě výše zmíněná četnost 1 spoj za měsíc nutná pro existenci spoje v daném měsíci byla zvolena jako základní frekvence spojů mezi jednotlivými dvojicemi letišť pro určení rozšířené sítě páteřních letišť. Jelikož do této sítě patří spojení se všemi 26 páteřními letišti, může být zvýšena frekvence a zkoumání pokračuje.

1 spoj za 2 týdny

Při průměrné frekvenci 1 spoj za 2 týdny, tedy minimální možný počet spojů, který musí dané spojení mít, jsou 2 spoje za měsíc do sítě s touto frekvencí patří stále všech 26 letišť, takže může být zvýšena frekvence a zkoumání pokračuje.

1 spoj za týden

Všech 26 páteřních letišť má alespoň 1 další letiště, se kterým má průměrně alespoň 1 spoj týdně, tzn. minimálně 4 spojení za měsíc. Jelikož do této sítě patří spojení se všemi 26 páteřními letišti, může být zvýšena frekvence a zkoumání pokračuje.

1 spoj každé 2 dny

Při průměrné frekvenci 1 spoj každé 2 dny, tzn. minimální počet 15 spojení za měsíc, by se v síti nacházelo všech 26 páteřních letišť. Jelikož i nadále do sítě patří spojení se všemi 26 páteřními letišti, může být zvýšena frekvence a zkoumání pokračuje.

1 spoj každý den

Další zkoumanou frekvencí je 1 spoj denně. I v tomto případě je uskutečněn alespoň 1 spoj s každodenní průměrnou frekvencí z/na každé(ho) z 26 páteřních letišť. Jelikož stále do sítě patří spojení se všemi 26 páteřními letišti, může být zvýšena frekvence a zkoumání pokračuje.

2 spoje denně

Následuje prozkoumání spojení 26 páteřních letišť navzájem a s ostatními letišti s průměrnou frekvencí alespoň 2 spoje denně. V tomto okamžiku dochází ke změně, protože pouze 24 páteřních letišť má průměrně minimálně 2 spoje denně s nějakým dalším letištem. Letiště v Indianapolis a Kolíně nad Rýnem, nemají s žádným letištem alespoň 2 spoje nákladních letadel denně. Ostatních 24 letišť tedy alespoň 1 spojení s průměrnou frekvencí 2 letů denně má. Jelikož všech 26 páteřních letišť nemá spojení s alespoň 1 letištem s frekvencí spojů 2 lety denně, zkoumání končí.

Shrnutí analýzy sítě páteřních letišť

Síť páteřních letišť byla analyzována pomocí frekvence spojů mezi 26 páteřními letišti navzájem a spoji s ostatními letišti. Zjišťována byla nejvyšší frekvencí spojů, při které každé z 26 páteřních letišť má spojení s alespoň 1 letištem. Síť spojů mezi letišti byla postupně zjišťována při frekvencích průměrně 1 spoj za měsíc, 1 spoj za 2 týdny, 1 spoj za týden, 1 spoj za 2 dny, 1 spoj denně, 2 spoje denně. Nejvyšší zjištěnou průměrnou frekvencí spojů, při které každé z 26 páteřních letišť má spojení s alespoň 1 letištem, je 1 spoj denně. Do rozšířené sítě páteřních letišť nákladní letecké dopravy s touto průměrnou frekvencí za období duben 2019- prosinec 2021 je zařazeno 26 páteřních letišť a 121 dalších letišť včetně letiště v Praze, které mělo ve zkoumaném období průměrně minimálně 1 spoj denně v každém měsíci s letištem v Kolíně nad Rýnem. Seznam letišť zařazených do rozšířené sítě páteřních letišť je uveden v příloze č.1.

3.2. Analýza spojů mezi letišti

Nyní budou analyzována spojení vybraných letišť, která měla % změnu centrality větší než 50 %. Následně budou zkoumána spojení těchto letišť, která měla mezi zkoumanými měsíci největší nárůst/ pokles. Přestupní centralitou získáme hodnoty minimálních vzdáleností mezi libovolnými 2 uzly procházející daným uzlem.

3.2.1. Data potřebná pro analýzu

Kritériem pro výběr významných změn přestupní centrality na jednotlivých letištích je % změna mezi následujícími hodnotami čtvrtletních hodnot přestupní centrality. Čtvrtletní hodnoty přestupní centrality jsou získány prostým součtem hodnot přestupní centrality za jednotlivé měsíce. V tabulce č.7,8 jsou zobrazeny hodnoty počtu měsíců, ve kterých byly hodnoty % změny pro jednotlivá páteřní letiště (výběr proveden v kapitole 2.4.2.) větší než daná hodnota. Dle výsledků byla vybrána hodnota změny centrality o minimálně 50 %, kdy u 4 z 26 páteřních letišť byla změna hodnoty přestupní centrality větší než 50 %. Celkem je analyzováno 7 změn nad 50 %. U každé změny je zkoumán největší pokles/nárůst mezi danými obdobími, např. je zaznamenán pokles o 53 % mezi 1. a 2. čtvrtletím roku 2020, nejvyšší hodnotu centrality v 1. čtvrtletí mělo letiště v lednu, nejnižší hodnotu ve 2. čtvrtletí mělo v květnu, tzn. následně je analyzováno, co způsobilo pokles mezi lednovými a květnovými hodnotami.

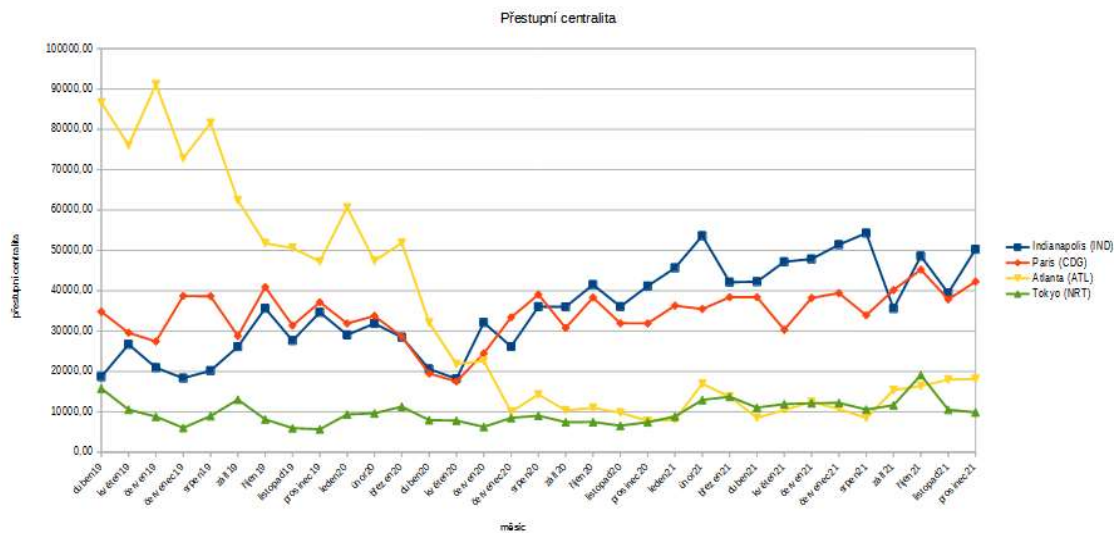
Tabulka č.7– počet % změn centrality pro 1. 13 letišť
(zdroj: vlastní)

IATA kod	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %
PHX	0	0	0	0	0
NRT	2	2	2	2	1
EWR	0	0	0	0	0
PHL	0	0	0	0	0
OAK	0	0	0	0	0
CDG	1	1	1	1	1
ORD	1	1	0	0	0
PDX	0	0	0	0	0
HNL	0	0	0	0	0
DFW	2	2	0	0	0
EMA	0	0	0	0	0
ATL	3	3	3	3	0
ICN	1	1	1	0	0

Tabulka č.8- počet % změn centrality u 2. 13 letišť
(zdroj: vlastní)

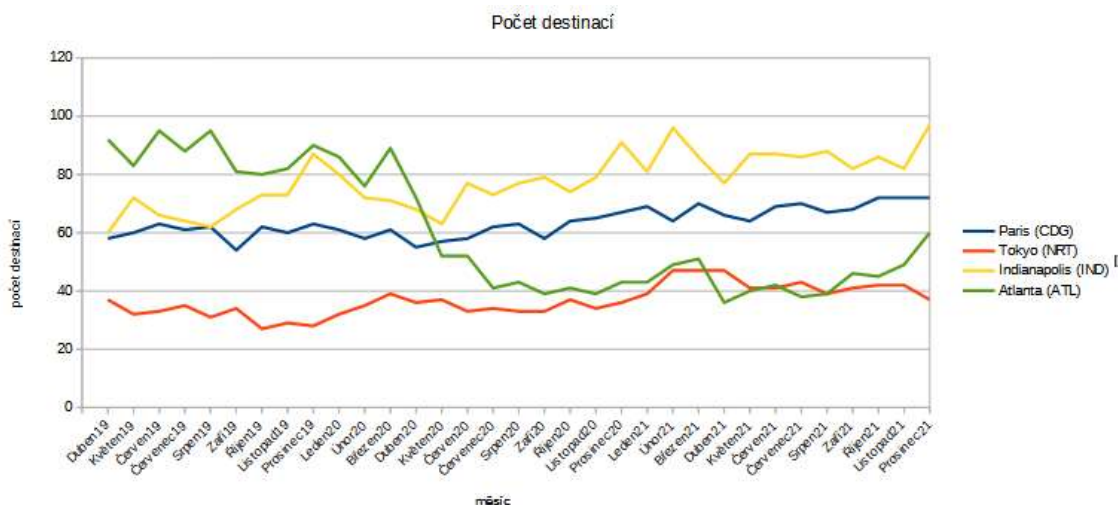
IATA kod	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %
LGG	0	0	0	0	0
LAX	0	0	0	0	0
CGN	0	0	0	0	0
PVG	2	2	2	0	0
CVG	0	0	0	0	0
IND	1	1	1	1	0
ONT	0	0	0	0	0
MIA	0	0	0	0	0
LEJ	0	0	0	0	0
HKG	0	0	0	0	0
ANC	0	0	0	0	0
SDF	0	0	0	0	0
MEM	0	0	0	0	0

Z předchozích tabulek č.7, 8 počtu % změn přestupní centrality jsou pro následnou analýzu vybrána letiště v Atlantě, Paříži, Tokiu a Indianapolis. V grafu č.2. je zaznamenán vývoj přestupní centrality na těchto 4 letištích v celém zkoumaném období. Z grafu je patrný téměř neustálý pokles centrality mezi srpnem 2019 a červencem 2020 u letiště v Atlantě, nárůst centrality mezi červnem a srpnem 2020 u letiště v Paříži, letiště v Indianapolis mělo velmi proměnlivé hodnoty centrality, která se během 2 následujících měsíců změnila až o 15 000.



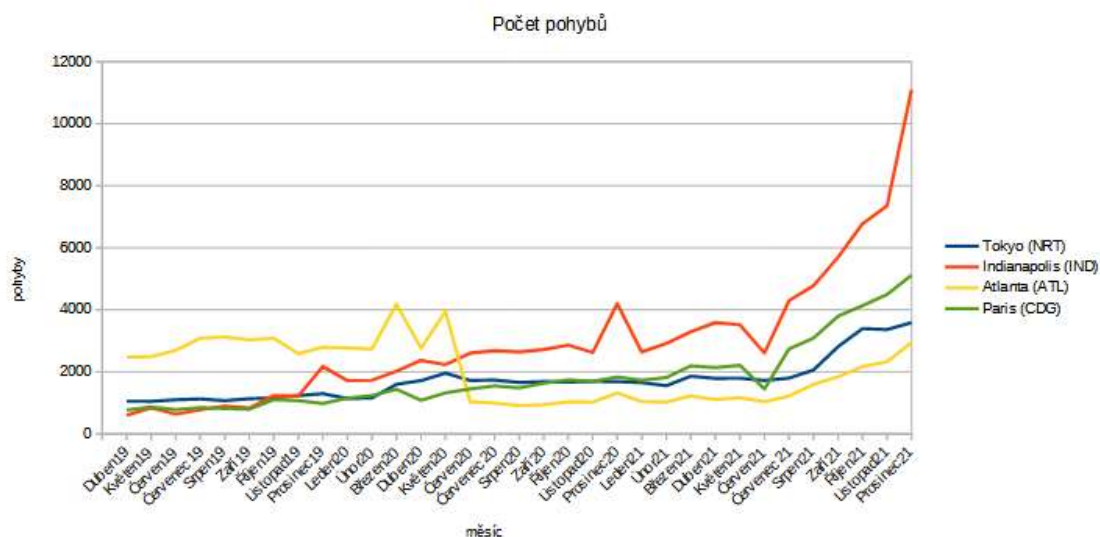
Graf č.2- vývoj přestupní centrality 4 analyzovaných letišť
(zdroj: vlastní)

K analýze budou využity grafy počtu destinací, odkud/kam se z/na dané(ho) letiště létalo (graf č.3). Mezi březnem a květnem 2020 o 37 destinací klesl jejich počet u letiště v Atlantě. V 2. polovině roku 2021 počet destinací stoupl z 40 na 60, ale tento počet nedosahuje hodnotám z předpandemického roku 2019, kdy se počet destinací pohyboval mezi 80 a 100. Počet destinací letiště v Paříži se v celém období pohybuje mezi 55 a 75 bez náhlých změn větších než 10 destinací. V Indianapolis se počet destinací pohybuje mezi 60 a 100 s několika obdobími několika měsíců, kdy počet jen stoupá, nebo jen klesá. V Tokiu významněji (o přibližně 10 destinací) jejich počet rostl na začátku roku 2020 a na přelomu let 2020/2021. V roce 2019 počet neustále klesal.



graf č.3- vývoj počtu destinací
(zdroj: vlastní)

K analýze budou využita data o počtech pohybů na 4 zkoumaných páteřních letištích. (graf č.4) U letiště v Atlantě jsou vidět střídající se nárůsty a poklesy počtu pohybů mezi únorem a květnem 2020 (hodnoty okolo 2700 a 4000 letů) a následný pokles v červnu 2020 až na hodnotu 1000 letů za měsíc. S malými odchylkami (maximálně 300 letů) počet letů zůstal stejný až do června 2021, kdy počet letů začal znovu růst jako u ostatních letišť až na hodnotu 2900 letů v prosinci 2021, což odpovídá počtu letů z 2. poloviny roku 2019 a začátku roku 2020. I na ostatních 3 letištích došlo mezi červnem a prosincem 2021 k nárůstu počtu letů. Letiště v Tokiu a Paříži mají kromě odchylky na jaře 2020 podobné hodnoty počty pohybů až do června 2021 a poté až do prosince 2021 má pařížské letiště o 1000–1500 letů více. Od dubna do listopadu 2019 má letiště v Indianapolis srovnatelný počet letů s Tokiem a Paříží, ale následně v prosinci 2019 se počet letů v Indianapolis a až do konce roku 2021 měli minimálně o 1000 pohybů více.



graf č.4- vývoj počtu pohybů
(zdroj: vlastní)

Pro analýzu změny centrality byla vytvořena analytická tabulka, ve které jsou pro každé z 26 vybraných letišť zaznamenány frekvence jednotlivých linek (ukázka v příloze č.2.)

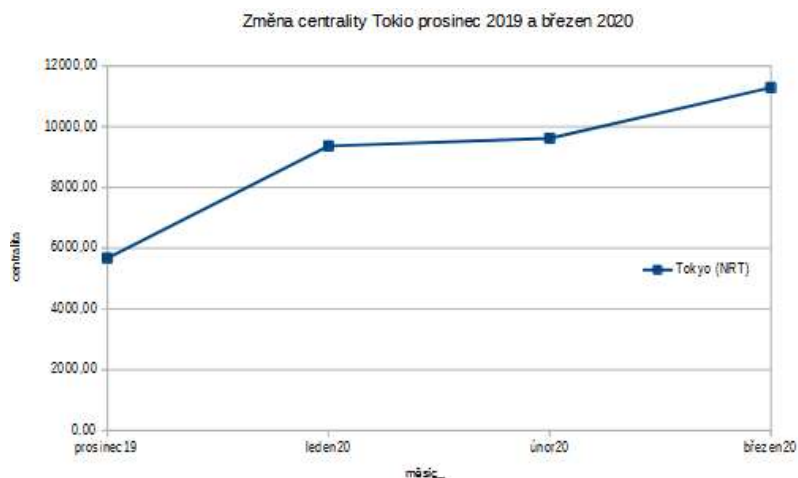
Jak již bylo zmíněno v metodice (kapitola 2), zkoumány jsou nárůsty/poklesy centralit ve čtvrtletním srovnání, které byly větší než 50 %. V rámci každého nárůstu/poklesu je zkoumáno, co způsobilo největší změnu v mezičtvrtletním srovnání, tzn. porovnány jsou hodnoty spojení v měsících s největší a nejmenší hodnotou centrality v daném čtvrtletí. Konkrétně se jedná o porovnání prosince 2019 a března 2020 u letiště v Tokiu, května a srpna 2020 u letiště v Paříži, srpna a prosince 2021, září a dubna 2020 a ledna a května 2020 u letiště v Atlantě a července a října 2019 u letiště v Indianapolis.

3.2.2. Analýza

Dle získaných dat o čtvrtletních změnách přestupní centrality větších než 50 % budou v následující části analyzována letiště v Tokiu (nárůst centrality mezi prosincem 2019 a březnem 2020 a mezi listopadem 2020 a březnem 2021), Paříži (nárůst mezi květnem a srpnem 2020), Atlantě (nárůst mezi srpnem a prosincem 2021 a poklesy mezi dubnem a zářím 2020 a lednem a květnem 2020).

Letiště Tokio – nárůst mezi prosincem 2019 a březnem 2020

V grafu č.5 je zobrazen detail grafu č.2 vývoje přestupní centrality mezi zkoumanými měsíci prosincem 2019 a březnem 2020.



graf č.5- vývoj změny centrality Tokio mezi prosincem 2019 a březnem 2020

(zdroj: vlastní)

Informace z grafů potřebných dat:

Dle grafů č.2, 3, 4 přestupní centralita vzrostla z 5600 na hodnotu 11200, počet destinací se zvýšil z 28 na 39 a počet letů z 1300 na 1600.

Nalezení spojů s největším rozdílem počtu spojení:

V tabulce č.9 jsou zobrazeny největší rozdíly v počtu spojení v analyzovaných měsících. Podle nastavených kritérií o největších změnách počtu spojení bylo pro nárůst zvolena hranice 20, tzn. přidání minimálně 1 letu každý pracovní den a pro pokles hranice 4, tzn. odebrání 1 spoje každý týden.

Tabulka č.9- rozdíl četností letů

(zdroj: vlastní)

Prosinec 2019		Březen 2020		rozdíl	průměrný přírůstek (úbytek) týdenní frekvence
Letiště	počet spojení	letišťe	počet spojení		
Anchorage (ANC)	158	Anchorage (ANC)	249	91	4,55
Hong Kong (HKG)	149	Hong Kong (HKG)	239	90	4,5
Shanghai (PVG)	244	Shanghai (PVG)	298	54	2,7
Los Angeles (LAX)	41	Los Angeles (LAX)	80	39	1,95
Seoul (ICN)	69	Seoul (ICN)	107	38	1,9
Guangzhou (CAN)	42	Guangzhou (CAN)	79	37	1,85
Shenzhen (SZX)	50	Shenzhen (SZX)	77	27	1,35
Taipei (TPE)	36	Taipei (TPE)	62	26	1,3
Leipzig (LEJ)	26	Leipzig (LEJ)	19	-7	-0,35
Chongqing (CKG)	8	Chongqing (CKG)	1	-7	-0,35
Milan (MXP)	25	Milan (MXP)	16	-9	-0,45
Paris (CDG)	18	Paris (CDG)	5	-13	-0,65

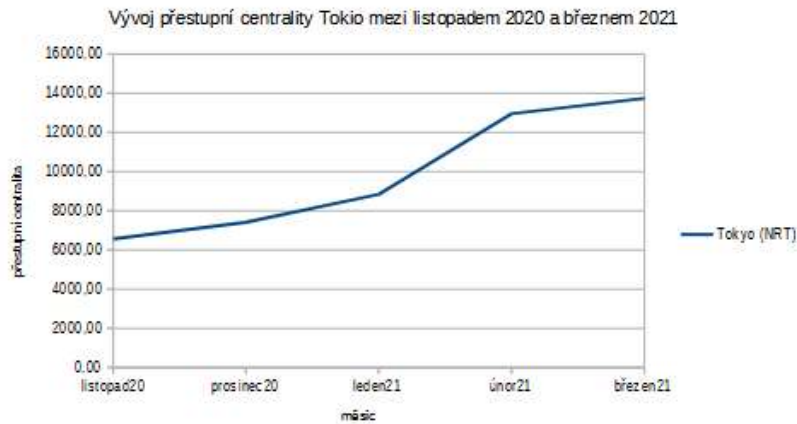
Hledání alternativ:

Paříž, nejvíce negativně zasažené letiště přímo spojené s Tokiem kromě nejvyššího nárůstu počtu spojení ve sledovaných měsících do Toulouse (o 45) zaznamenalo 2. nejvyšší nárůst o 38 spojení do Memphisu, který zaznamenal nárůst o 45 spojení do Anchorage, tzn. 1 z variant náhrady přímého spojení Paříž-Tokio může být spojení Paříž-Memphis-Anchorage-Tokio, které na všech dílčích linkách zvýšilo počty spojení.

Kromě do Šanghaje (o 75), kam se dá předpokládat, že náklad byl z Tokia dopravován přímo, se počet spojení letiště v Hong Kongu nejvíce zvýšilo do Bangkoku (o 55) a Tajpej (o 50 spojení), takže se nabízí zvýšení přepravy nákladu na linek Tokio- Hong Kong- Tajpej a Tokio- Hong Kong- Bangkok.

Tokio – nárůst mezi listopadem 2020 a březnem 2021

V grafu č.6 je zobrazen detail grafu č.2 vývoje přestupní mezi zkoumanými měsíci listopadem 2020 a březnem 2021.



graf č.6- vývoj centrality mezi listopadem 2020 a březnem 2021 na letišti v Tokiu
(zdroj: vlastní)

Informace z grafů potřebných dat:

Dle grafů č.2, 3, 4 přestupní centralita se zvýšila z hodnoty 6500 na 13700, počet destinací z 34 na 47 a počet letů ze 1700 na 1860

Nalezení spojů s největším rozdílem počtu spojení:

V tabulce č.10 jsou zobrazeny největší rozdíly v počtu spojení v analyzovaných měsících. Podle nastavených kritérií o největších změnách počtu spojení bylo pro nárůst zvolena hranice 4, tzn. přidání minimálně 1 letu každý týden a pro pokles hranice 8, tzn. odebrání 1 spoje každé 2 týdny.

Tabulka č.10- rozdíl četností letů
(zdroj: vlastní)

Listopad 2020		Březen 2021		rozdíl	průměrný přírůstek (úbytek) týdenní frekvence
Letiště	počet spojení	Letiště	počet spojení		
Anchorage (ANC)	233	Anchorage (ANC)	254	21	1,05
Hong Kong (HKG)	228	Hong Kong (HKG)	248	20	1
Los Angeles (LAX)	73	Los Angeles (LAX)	83	10	0,5
Seoul (ICN)	99	Seoul (ICN)	106	7	0,35
Taipei (TPE)	81	Taipei (TPE)	87	6	0,3
Tokyo (NRT)	2	Tokyo (NRT)	8	6	0,3
New York (JFK)	6	New York (JFK)	11	5	0,25
Nantong (NTG)	10	Nantong (NTG)	14	4	0,2
Baku (GYD)	17	Baku (GYD)	21	4	0,2
Munich (MUC)	0	Munich (MUC)	4	4	0,2
...
Cincinnati (CVG)	65	Cincinnati (CVG)	57	-8	-0,4
Singapore (SIN)	43	Singapore (SIN)	35	-8	-0,4
Shenzhen (SZX)	83	Shenzhen (SZX)	73	-10	-0,5
Hangzhou (HGH)	20	Hangzhou (HGH)	9	-11	-0,55
Osaka (KIX)	107	Osaka (KIX)	92	-15	-0,75

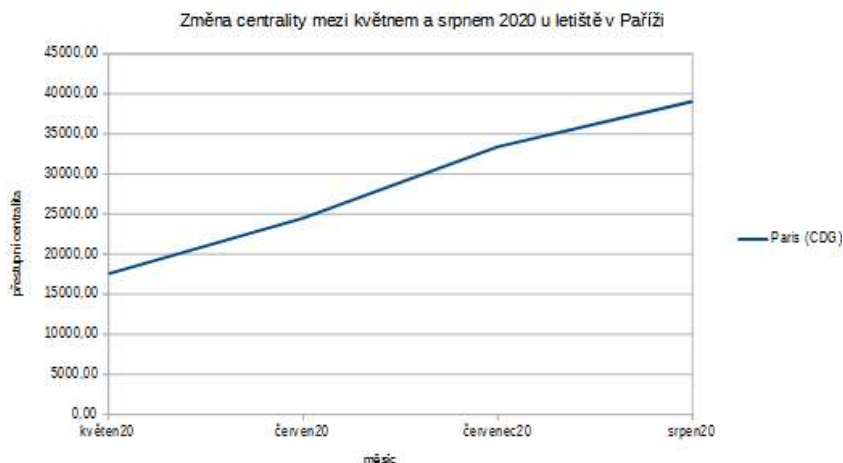
Hledání alternativ:

Kromě navýšení počtu letů mezi Tokiem a Hong Kongem vzrostl o 32 počet spojení mezi Hong Kongem do Ósaku, takže lze předpokládat větší využívání linky Tokio – Hong Kong - Ósaka.

Z Anchorage kromě regionálních letů v rámci Aljašky na letiště Kodiak (ADQ), Homer (HOM) a Kenai (ENA), vzrostl počet spojení do Chicaga (RFD), takže lze usuzovat větší poptávku po převozu nákladu z Tokia do Chicaga s využitím linky Tokio – Anchorage - Chicago.

Paříž – nárůst mezi květnem a srpnem 2020

V grafu č.7 je zobrazen detail grafu č.2 vývoje přestupní centrality mezi zkoumanými měsíci květnem a srpnem 2020 letiště v Paříži.



Graf č.7- změna centrality mezi květnem a srpnem 2020 na letišti v Paříži
(zdroj: vlastní)

Informace z grafů potřebných dat:

Dle grafů č.2, 3, 4 přestupní centralita vzrostla ze 17500 na 39000, počet letů za 1320 na 1480 a počet destinací z 57 na 63.

Nalezení spojů s největším rozdílem počtu spojení:

V tabulce č.11 jsou zobrazeny největší rozdíly v počtu spojení v analyzovaných měsících a na grafu č.12 krabicový graf všech rozdílů počtu spojení mezi květnem a srpnem 2020. Podle nastavených kritérií o největších změnách počtu spojení bylo pro nárůst zvolena hranice 20, tzn. přidání minimálně 1 letu každý pracovní den a pro pokles hranice 20, tzn. odebrání 1 spoje každý pracovní den.

Tabulka č.11- podíl četností letů
(zdroj: vlastní)

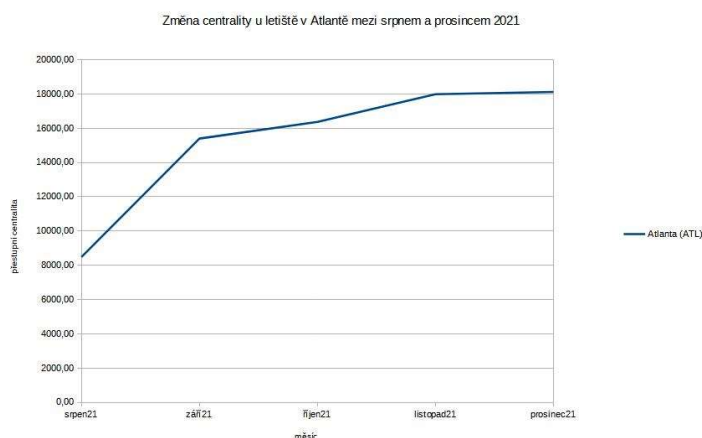
Květen 2020		Srpen 2020		rozdíl	průměrný přírůstek (úbytek) týdenní frekvence
letišťe	počet spojení	letišťe	počet spojení		
Toulouse (TLS)	0	Toulouse (TLS)	71	71	3,55
Casablanca (CMN)	0	Casablanca (CMN)	40	40	2
Rome (FCO)	0	Rome (FCO)	36	36	1,8
Pisa (PSA)	0	Pisa (PSA)	33	33	1,65
Birmingham (BHX)	0	Birmingham (BHX)	32	32	1,6
Basel (BSL)	34	Basel (BSL)	59	25	1,25
...
Edinburgh (EDI)	20	Edinburgh (EDI)	0	-20	-1
Hong Kong (HKG)	29	Hong Kong (HKG)	7	-22	-1,1
Dubai (DXB)	83	Dubai (DXB)	57	-26	-1,3
Memphis (MEM)	142	Memphis (MEM)	105	-37	-1,85

Hledání alternativ:

Letiště v Memphisu, které omezilo počet spojení s Paříží, v srpnu 2020 oproti květnu 2020 zaznamenalo výrazné snížení počtu spojení u několika linek, např. Atlanta (o 189), Portland (o 181), Los Angeles (o 147), kdy se celkový počet letů letiště v Memphisu snížil z 11200 na 10300, z čehož lze usoudit mírné omezení provozu na letišti v Memphisu.

Atlanta – nárůst mezi srpnem a prosincem 2021

V grafu č.8 je zobrazen detail grafu č.2 vývoje přestupní centrality mezi zkoumanými měsíci srpnem a prosincem 2021 letiště v Atlantě.



Graf č.8- vývoj změny centrality mezi srpnem a prosincem 2021

(zdroj: vlastní)

Informace z grafů potřebných dat:

Dle grafů č.2, 3, 4 přestupní centralita se zvýšila z 8400 na 18100, počet letů z 2700 na 4400 a počet destinací z 39 na 60.

Nalezení spojů s největším rozdílem počtu spojení:

V tabulce č.12 jsou zobrazeny největší rozdíly v počtu spojení v analyzovaných měsících a na grafu č.14 krabicový graf všech rozdílů počtu spojení mezi prosincem 2019 a březnem 2020. Podle nastavených kritérií o největších změnách počtu spojení bylo pro nárůst zvolena hranice

60, tzn. přidání minimálně 3 letů každý pracovní den a pro pokles hranice č, tzn. odebrání 1 spoje každý týden.

Tabulka č.12- rozdíl četností letů

(zdroj: vlastní)

Srpen 2021		Prosinec 2021		rozdíl	průměrný přírůstek (úbytek) týdenní frekvence
letišťe	počet spojení	letišťe	počet spojení		
Indianapolis (IND)	152	Indianapolis (IND)	337	185	9,25
Memphis (MEM)	145	Memphis (MEM)	308	163	8,15
Ontario (ONT)	0	Ontario (ONT)	130	130	6,5
Louisville (SDF)	147	Louisville (SDF)	269	122	6,1
Miami (MIA)	16	Miami (MIA)	132	116	5,8
Jacksonville (JAX)	61	Jacksonville (JAX)	144	83	4,15
Oakland (OAK)	4	Oakland (OAK)	86	82	4,1
Philadelphia (PHL)	35	Philadelphia (PHL)	114	79	3,95
Dallas (DFW)	70	Dallas (DFW)	141	71	3,55
Luxembourg (LUX)	46	Luxembourg (LUX)	113	67	3,35
...
Savannah (SAV)	48	Savannah (SAV)	26	-22	-1,1
Knoxville (TYS)	28	Knoxville (TYS)	0	-28	-1,4
Charlotte (CLT)	33	Charlotte (CLT)	2	-31	-1,55
New York (JFK)	50	New York (JFK)	0	-50	-2,5

Hledání alternativ:

Z letišťe v Indianapolis nejvíce vzrostl počet letů (kromě stejných destinací jako v Atlantě – Ontario, Oakland) do New Yorku (EWR) a Los Angeles (LAX), čímž lze usuzovat vyšší využívání linek Atlanta- Indianapolis- New York a Atlanta- Indianapolis- Los Angeles.

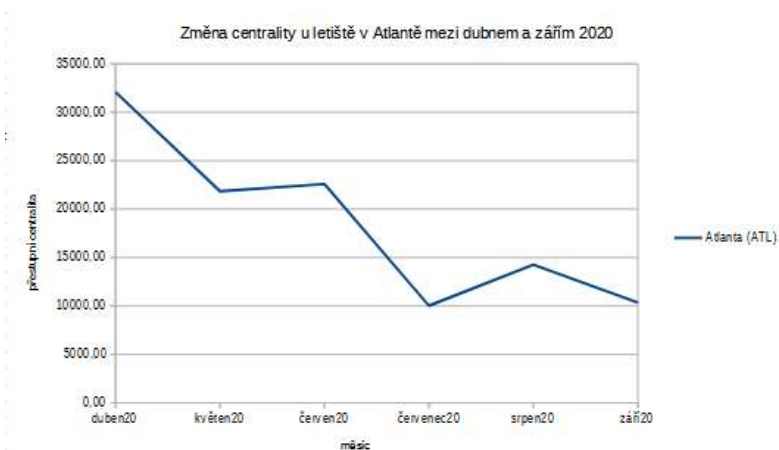
Z Ontaria vzrostl počet letů do Chicaga (RFD) (kromě linek do Louisville a Memphisu stejně jako v Atlantě), což může naznačovat zvýšení poptávky po převozu nákladu na lince Atlanta – Ontario – Chicago.

Z Memphisu nejvíce vzrostl počet letů (kromě stejných destinací jako v Atlantě- Ontario, Oakland) do New Yorku (EWR) a Los Angeles (LAX), což může znamenat navýšení množství letů na linkách Atlanta – Memphis- New York a Atlanta- Memphis- Los Angeles.

U letů přes Indianapolis a Memphis nejvíce vzrostl počet letů u stejných linek, což značí výhodu pro odesílatele si vybrat, jakou trasou náklad pošlou.

Atlanta – pokles mezi dubnem a zářím 2020

V grafu č.9 je zobrazen detail grafu č.2 vývoje přestupní centrality mezi zkoumanými měsíci srpnem a prosincem 2021 letišťe v Atlantě.



Graf č.9 – vývoj centrality mezi dubnem a zářím 2020 u letiště v Atlantě
(zdroj: vlastní)

Informace z grafů potřebných dat:

Dle grafů č.2, 3, 4 se přestupní centralita snížila z 32000 na 10300, počet destinací z 72 na 39 a počet letů z 2700 na 940.

Nalezení spojů s největším rozdílem počtu spojení:

V tabulce č.13 jsou zobrazeny největší rozdíly v počtu spojení v analyzovaných měsících. Podle nastavených kritérií o největších změnách počtu spojení bylo pro nárůst zvolena hranice 20, tzn. přidání minimálně 1 letu každý pracovní den a pro pokles hranice 100, tzn. odebrání 5 spojů každý den.

Tabulka č.13- rozdíl četností letů
(zdroj: vlastní)

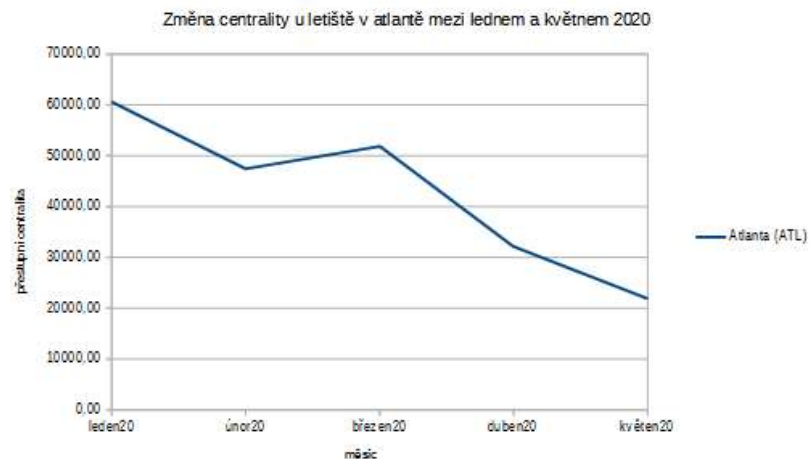
Duben 2020		Září 2020		rozdíl	průměrný přírůstek (úbytek) týdenní frekvence
letišťe	počet spojení	letišťe	počet spojení		
Frankfurt (FRA)	25	Frankfurt (FRA)	61	36	1,8
Luxembourg (LUX)	15	Luxembourg (LUX)	47	32	1,6
New York (EWR)	0	New York (EWR)	27	27	1,35
Cincinnati (CVG)	51	Cincinnati (CVG)	71	20	1
...
Columbus (CMH)	100	Columbus (CMH)	0	-100	-5
Omaha (OMA)	105	Omaha (OMA)	0	-105	-5,25
Richmond (RIC)	112	Richmond (RIC)	0	-112	-5,6
Nashville (BNA)	113	Nashville (BNA)	0	-113	-5,65
Indianapolis (IND)	186	Indianapolis (IND)	70	-116	-5,8
San Antonio (SAT)	118	San Antonio (SAT)	0	-118	-5,9
Kansas City (MCI)	122	Kansas City (MCI)	0	-122	-6,1
Philadelphia (PHL)	155	Philadelphia (PHL)	32	-123	-6,15
St. Louis (STL)	128	St. Louis (STL)	0	-128	-6,4
Sarasota (SRQ)	132	Sarasota (SRQ)	0	-132	-6,6
Raleigh-Durham (RDU)	140	Raleigh-Durham (RDU)	4	-136	-6,8

Hledání alternativ:

Náhradním spojením ke zrušené lince Atlanta – Nashville mohla být linka Atlanta – New York – Nashville, protože mimo již zmiňovaný nárůst počtu spojů z Atlanty do New Yorku došlo ke zvýšení počtu spojení o 10 spojů na lince New York- Nashville. Náhradou přímého spojení do Memphisu mohlo být spojení Atlanta – Cincinnati – Memphis, kde na lince Cincinnati – Memphis vzrostl počet spojů o 40 z 80 na 120.

Atlanta – pokles mezi lednem a květnem 2020

V grafu č.10 je zobrazen detail grafu č.2 vývoje přestupní centrality mezi zkoumanými měsíci lednem a květnem na letišti v Atlantě.



Graf č.10- vývoj centrality mezi lednem a květnem 2020 u letiště v Atlantě

(zdroj: vlastní)

Informace z grafů potřebných dat:

Dle grafů č.2, 3, 4 poklesla přestupní centralita ze 60000 na 21800, počet letů naopak vzrostl z 2700 na 3900 a počet destinací klesl z 86 na 52.

Nalezení spojů s největším rozdílem počtu spojení:

V tabulce č.14 jsou zobrazeny největší rozdíly v počtu spojení v analyzovaných měsících mezi prosincem 2019 a březnem 2020. Podle nastavených kritérií o největších změnách počtu spojení bylo pro nárůst zvolena hranice 20, tzn. přidání minimálně 1 letu každý pracovní den a pro pokles hranice 60, tzn. odebrání 3 spojů každý den.

Tabulka č.14- rozdíl četností letů
(zdroj: vlastní)

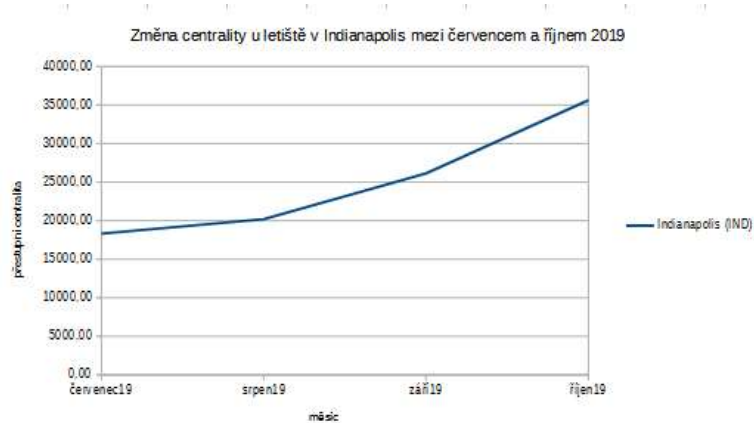
Leden 2020		Květen 2020		rozdíl	průměrný přírůstek (úbytek) týdenní frekvence
letišťe	počet spojení	letišťe	počet spojení		
San Antonio (SAT)	0	San Antonio (SAT)	88	88	4,4
Daytona Beach (DAB)	11	Daytona Beach (DAB)	75	64	3,2
Indianapolis (IND)	43	Indianapolis (IND)	75	32	1,6
Bogota (BOG)	4	Bogota (BOG)	33	29	1,45
Cincinnati (CVG)	23	Cincinnati (CVG)	47	24	1,2
Norfolk (ORF)	0	Norfolk (ORF)	20	20	1
...
Pittsburgh (PIT)	68	Pittsburgh (PIT)	3	-65	-3,25
Greensboro (GSO)	72	Greensboro (GSO)	0	-72	-3,6
Louisville (SDF)	132	Louisville (SDF)	57	-75	-3,75
Pensacola (PNS)	83	Pensacola (PNS)	0	-83	-4,15
Memphis (MEM)	145	Memphis (MEM)	49	-96	-4,8
Baltimore (BWI)	138	Baltimore (BWI)	39	-99	-4,95
Cleveland (CLE)	99	Cleveland (CLE)	0	-99	-4,95
Miami (MIA)	113	Miami (MIA)	13	-100	-5
Birmingham (BHM)	101	Birmingham (BHM)	0	-101	-5,05
Charleston (CHS)	123	Charleston (CHS)	6	-117	-5,85
Toronto (YYZ)	133	Toronto (YYZ)	0	-133	-6,65

Hledání alternativ:

Ze sledovaných letišť Miami a Memphisu, kterým se výrazně snížil počet spojení, nezaznamenali významný nárůst počtu spojů do San Antonia nebo Daytona Beach. Z tohoto důvodu je velice složité dohledat možné náhradní trasy za zrušené přímé spojení. Lze tedy předpokládat využití letů s více mezipřistáními, letů přes letiště, která nejsou pro analýzu vybrána, případně využití jiného druhu dopravy pro přepravu nákladu. Vzdálenost mezi Atlantou a Memphisem je 618 km, respektive 1065 km z Atlanty do Miami. [31]

Indianapolis – nárůst mezi červencem a říjnem 2019

V grafu č.11 je zobrazen detail vývoje přestupní centrality mezi zkoumanými měsíci červencem a říjnem 2019 letiště v Atlantě.



Graf č.11- vývoj centrality mezi červencem a říjnem 2019
(zdroj: vlastní)

Informace z grafů potřebných dat:

Dle grafů č.2, 3, 4 se přestupní centralita zvýšila z 18300 na 35600, počet destinací ze 64 na 73 a počet letů ze 630 na 1230.

Nalezení spojů s největším rozdílem počtu spojení:

V tabulce č.15 jsou zobrazeny největší rozdíly v počtu spojení v analyzovaných měsících. Podle nastavených kritérií o největších změnách počtu spojení bylo pro nárůst zvolena hranice 20, tzn. přidání minimálně 1 letu každý pracovní den a pro pokles hranice 4, tzn. odebrání 1 spoje každý týden.

Tabulka č. 15 - rozdíl četností letů
(zdroj: vlastní)

Červenec 2019		Říjen 2019		rozdíl	průměrný přírůstek (úbytek) týdenní frekvence
letiště	počet spojení	letiště	počet spojení		
Los Angeles (LAX)	10	Los Angeles (LAX)	41	31	1,55
Atlanta (ATL)	100	Atlanta (ATL)	129	29	1,45
Oakland (OAK)	10	Oakland (OAK)	38	28	1,4
Houston (IAH)	0	Houston (IAH)	27	27	1,35
San Diego (SAN)	0	San Diego (SAN)	25	25	1,25
...
Cedar Rapids (CID)	38	Cedar Rapids (CID)	33	-5	-0,25
Grand Rapids (GRR)	14	Grand Rapids (GRR)	8	-6	-0,3
Harrisburg (MDT)	23	Harrisburg (MDT)	16	-7	-0,35

Hledání alternativ:

Mezi Oaklandem a Cedar Rapids v říjnu 2020 spojení vzniklo, konkrétně mezi těmito letišti letěl jediný spoj, ale lze uvažovat náhradu přímého spojení Indianapolis – Cedar Rapids, linkou Indianapolis- Oakland- Cedar Rapids.

4. Vyhodnocení analýz

Tato část se zabývá vyhodnocením analýz provedených v předešlé kapitole- tzn. analýze sítě páteřních letišť a analýze spojení letišť. Ze získaných dat bylo zjištěno, že od dubna 2019 do prosince 2021 minimálně 1 let proběhl na 2370 letišť, přičemž do rozšířené sítě páteřních letišť bylo zařazeno 26 páteřních letišť a 121 dalších s minimální průměrnou frekvencí letů 1 let denně, což značí, že páteřní letiště měla pravidelnou dopravu pouze s 5 % letišť, na/ze které(ho) byl v období mezi dubnem 2019 a prosincem 2021 uskutečněn minimálně 1 let.

Dle určené hranice minimální % čtvrtletní změny přestupní centrality v po sobě následujících čtvrtletích na 50 % se nejvíce měnila přestupní centralita v Atlantě, celkem třikrát a to mezi srpnem a prosincem 2021, mezi dubnem a zářím 2020 a lednem a květnem 2020. Druhým letišťem v pořadí je letiště v Tokiu se dvěma změnami centrality mezi prosincem 2019 a březnem 2020 a mezi listopadem 2020 a březnem 2021. Jednu změnu přestupní centrality větší než 50 % měla letiště v Paříži a Indianapolis. **Dle zjištěných změn počtu spojení při významných % změnách centrality je většina nárůstů změn způsobena páteřními letišti, tzn. počet spojů nejvíce vzrostl s 26 letišti, které byly určeny pro analýzu, a naopak nejvíce poklesl počet spojů u ostatních letišť, které primárně analyzovány nejsou.** Jedinou výjimkou je nárůst centrality u letiště v Paříži mezi květnem a srpnem 2020, kdy více spojení, u kterých počet spojů klesl, byl u nezkoumaných letišť. **Naopak oba zkoumané poklesy přestupní centrality byly způsobeny převážně letišti, které nejsou 26 páteřními letišti.**

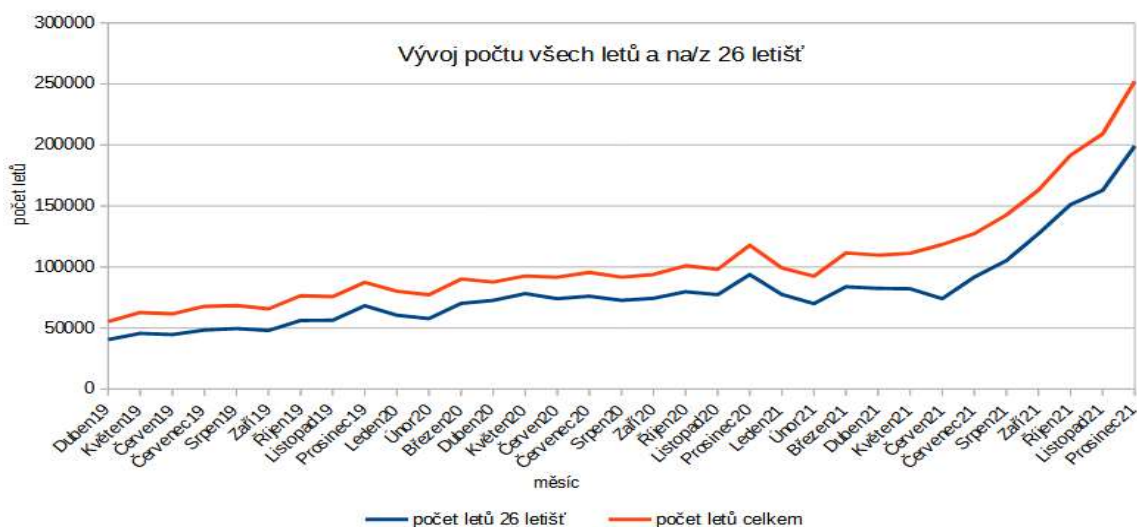
Z hlediska maximálních nominálních hodnot % změn přestupní centrality mělo největší hodnotu letiště v Paříži 67,8% následované letišťem v Tokiu se 65,5 % změnou. Naopak nejmenší % změny přestupní centrality zaznamenalo letiště v Memphisu, u kterého se % čtvrtletní změna přestupní centralita změnila maximálně o 5-10% a to celkem čtyřikrát.

Z hlediska dalších charakteristik, které byly použity v analýze spojení letišť měla nejvyšší průměrnou hodnotu přestupní centrality letiště v Memphisu, Miami a Lutychu, konkrétně 196936 Memphis, 98798 Miami a 95372 Lutych, nejvíce pohybů proběhlo na letišti v Memphisu se 331124 pohyby , následované Louisville 312769 a Anchorage 180335 pohyby , do největšího počtu destinací se celkově létalo z Lutychu 327 , poté do Miami 295 a Memphisu 273.

5. Diskuse a validace výsledků

Tato část se zabývá diskusí nad články a pracemi, které se věnují nákladní letecké dopravě v době pandemie covidu-19 a validaci výsledků získaných v této práci.

Na grafu č.12 je vidět vývoj počtu letů celkem po celém světě a vývoj počtu letů z/na 26 páteřních letišť během celého zkoumaného období. Z grafu lze vyčíst, že podíl počtu letů z/na 26 páteřních letišť k celkovému počtu letů se v celém zkoumaném období pohybuje okolo 75 %, konkrétně mezi 71 a 84%, vyjma června 2021, kdy je podíl letů z/na 26 páteřních letišť 62%, z čehož lze usoudit, že při celkovém počtu 2386 letišť, na která ve zkoumaném období proběhl minimálně 1 let, má 26 páteřních největších letišť dle počtu letů velký vliv na celkovou celosvětovou leteckou přepravu nákladu. Z pohledu pandemie je důležité období na začátku roku 2020, kdy se z čínského Wuchanu začala šířit nemoc Covid-19. V tomto období je vidět mírný pokles v obou grafech. Tento trend klesajícího počtu letů se opakuje i na začátku roku 2021. Během 2. poloviny roku 2021, od července do prosince, se počet letů nákladních letů zdvojnásobil. Ve všech měsících počet letů celkem a na 26 letištích zároveň stoupal/klesal oproti předcházejícímu měsíci kromě dubna 2020, kdy počet letů na 26 letištích vzrostl a celkový počet se snížil, a června 2021, kdy naopak celkový počet letů vzrostl a počet letů na 26 letištích klesl.



graf č.21 – vývoj počtu letů celkem a z/na 26 letišť
(zdroj: vlastní)

Práce od Li [32] se zabývá, jak COVID-19 ovlivnil nákladní dopravu v Číně. V roce 2019 48,6% mezinárodní dopravy nákladu z/do Číny bylo převáženo v zavazadlových prostorech osobních letadel a 51,6 % v nákladních letadlech. Osobní dopravu v Číně postihl v únoru 2020 meziroční propad o 80-90 %, tzn. citelný zásah do přepravy nákladu. Ostatní státy světa omezily dopravu nákladu z/do Číny, konkrétně o 20-25 % v meziročním srovnání v únoru, březnu a dubnu 2020, v lednu byl propad o 10 %. Propad v lednu a únoru odpovídá získaným datům pro tuto práci, kdy počet letů v Hong Kongu klesl z 3800 v prosinci 2019 na 2600 v únoru 2020 a v Šanghaji z 2270 na 1780 letů. Následně v březnu se hodnoty počtu letů vrátily do trendu před pandemií. Z dat od Li [32] ještě v květnu 2020 byl meziroční propad o 10 %. Při porovnání se získanými daty pro tuto práci to znamená zásah do přepravy na ostatních čínských letištích, např. Qingdao, kde se počet letů vrátil na předpandemické hodnoty v červnu 2020 a Wenzhou, kde k poklesu došlo v únoru 2020 a hodnoty počtu letů zůstaly po celý rok 2020 nižší než v předpandemickém roce 2019. V následujících měsících celý svět poptával zdravotnické pomůcky, které byly do světa dováženy právě z Číny, což pomohlo čínské nákladní dopravě obnovit nákladní lety, které byly v úvodu pandemie omezeny. Ze sesbíraných dat lze poznat skokový nárůst počtu letů v Šanghaji a Hong Kongu v květnu 2020, z čehož lze usuzovat největší poptávku ostatních států světa právě v květnu.

Dle webu letiště v Miami [33] miamské letiště je hlavní „spojkou“ při přepravě nákladu do Latinské Ameriky a Karibiku, kdy 85% importů a 80% exportů z/do Latinské Ameriky a Karibiku je uskutečněno přes letiště v Miami, což potvrzují získaná data, ze kterých je patrné, že 25 z 38 destinací, kam z miamského letiště proběhl minimálně 1 let každý zkoumaný měsíc, je v Latinské Americe a Karibiku, přičemž ostatní letiště mají maximálně 3 pravidelné destinace v Latinské Americe (Louisville 3, Memphis 2, Anchorage, Chicago, Dallas a Los Angeles 1). Toto potvrzují i hodnoty průměrné přestupní centrality, kterou má Miami 2. nejvyšší (nejvyšší Memphis 196396, 2. Miami 98798 a 3. Lutych 95372), tzn. nejkratší trasy z letišť zejména v Latinské Americe na ostatní letiště vedou právě přes letiště v Miami. Dle Air Cargo News a webu letiště Lutych [34,35] je letiště v Lutychu známé jako humanitární letiště, odkud je díky své poloze dopravována pomoc do různých částí světa, což bylo využíváno i v pandemické době pro dopravu zdravotnických pomůcek a následně i očkovací vakcína. Toto tvrzení můžou potvrzovat data o počtu destinací, která ukazuje, že letiště v Lutychu mělo ve zkoumaném období spojení s nejvíce letišti, konkrétně s 327 letišti, což je indicií pro tvrzení, že právě z letiště v Lutychu byly zdravotnické pomůcky a následně vakcína distribuována na další letiště. Dle webu letiště Memphis a FedEx [23,36] je na letišti v Memphisu umístěno hubové letiště největší nákladní letecké společnosti FedEx právě na

toto letiště. 99 % nákladu společnosti FedEx je přepravováno právě přes Memphis. Toto tvrzení potvrzují průměrné hodnoty přestupní centrality, kterou má letiště v Memphisu nejvyšší a zároveň dvakrát vyšší než 2. v pořadí letiště v Miami (Memphis 196396, Miami 98798), což značí hlavní postavení letiště v Memphisu v síti nákladní letecké dopravy a také 3. nejvyšší počet destinací, tzn. s 273 destinacemi mělo letiště v Memphisu ve zkoumaném období alespoň 1 přímé spojení.

Dle lognormálního rozdělení a následné úpravy limitu počtu letů na 50 000 bylo vybráno 26 letišť, které se nachází v Severní Americe, konkrétně USA 17, Evropě 5 a Asii 4 letiště, což odpovídá ICAO the world of air transport in 2019 a Leinbach, Capineri [37,38], kde je zaznamenáno, kolik % nákladu v tun-kilometrech bylo přepraveno v roce 2019 v jednotlivých částech světa (Evropa 26,8%, Afrika 2,2%, Blízký Východ 15,9%, Asie a Pacifik 38,2%, Severní Amerika 14% a Latinská Amerika a Karibik 2,8%), tzn. nákladní letecká doprava je soustředěna zejména do Evropy, Asie a Severní Ameriky.

Dle webu letiště Anchorage a Official Alaska State Website [39,40] je letiště v Anchorage specifické, protože slouží zejména k mezipřistání a dotankování paliva při letech ze Severní Ameriky do Asie. Toto tvrzení potvrzují získaná data, na kterých lze vidět, že se 29 letišť z 30, kam se z Anchorage pravidelně každý měsíc za celé zkoumané období létalo, nachází v Severní Americe a Asii (např. Hong Kong, Soul, Šanghaj, Tokio, Memphis, Los Angeles) Druhým specifickým letišťem je to v Honolulu na Havaji, které dle webu letiště Honolulu [41] slouží jako „spojka“ mezi letišti na obou krajích Tichého oceánu (Asie, Austrálie a Amerika), což potvrzují získaná data, kde kromě spojení s letišti v Austrálii a Oceánii, především s letišti na ostatních havajských ostrovech, ale také australské Sydney, má letiště v Honolulu spojení se Severní Amerikou a Asíí. V Asii to jsou letiště v Soulu a Hong Kongu, a v Severní Americe např. Los Angeles, Oakland, Ontario, ale také Memphis, Chicago nebo Louisville. Z dostupných dat je patrné, že letiště v Portlandu, Phoenixu a Ontariu měla pravidelné spojení každý měsíc jen s letišti v Severní Americe, čímž lze tato letiště považovat za regionální.

6. Limitace práce

Práce je limitována absencí veškerých dat z ledna, února a většiny i z března roku 2019. Ze seznamu letů byly vyjmuty lety, u kterých nebyla k dispozici informace o letišti odletu, destinaci nebo ani jedna z nich, což zkresluje výsledek zkoumání. Takto vyjmutých letů byla průměrně 4% v každém zkoumaném měsíci. Speciálním případem je např. letecká společnost Aeronaves TSM, kde u některých letadel jsou data pro roky 2020 a 2021 v pořádku a jen výjimečně chybí u některého letu letiště odletu nebo destinace a starší data z roku 2019, u některého letadla prosinec a starší, u jiného říjen a starší, úplně chybí. Je zaznamenáno datum letu, ale letiště odletu ani destinace k dispozici nejsou, což velmi ovlivňuje data z dotčených měsíců. U letů, které byly z nejrůznějších důvodů odkloněny z plánovaných destinací, byly do výsledné konektivity zaznamenány předem plánované destinace. Toto velmi ovlivňuje počty letů z a na dotčená letiště, protože následující let daného letadla je zaznamenán již z náhradního letiště. V těchto případech je výsledný počet příletů a odletů z daného letiště odlišný. Obecně odlišný počet příletů a odletů reálně není možný, protože všechna letadla, která na letiště přiletí, také odletí. Možným vysvětlením může být dříve zmíněný nedostatek dat o letech, nebo přilet a odlet každý uskutečněný v jiném měsíci, což může být způsobeno takto nastaveným plánem letů daného letadla, nebo provedení údržby letadla. Dle Aviation Maintenance Magazínu [2] některá osobní letadla byla v době lockdownu a zavření hranic států krátkodobě využívána k přepravě zdravotnického materiálu a po opětovné obnově osobní letecké dopravy jsou znovu využívána jako osobní, takže lety těchto osobních letadel s nákladem nejsou zkoumány, protože z dostupných dat nelze rozlišit, jestli dané osobní letadlo letělo s cestujícími, nebo s nákladem.

7. Závěr

Tématem této bakalářské práce bylo zmapovat změnu konektivity v nákladní letecké dopravě v letech 2019-2021. Cílem práce bylo zmapovat a vyhodnotit provoz nákladní letecké dopravy ve vybrané síti důležitých světových letišť, určit páteřní síť této domény a vyhodnotit konektivitu významných letišť za časové období 2019-2021. Bakalářská práce se zabývala analýzou nákladních letadel a jejich přímými spojeními mezi letišti. Páteřní letiště, která následně byla analyzována, byla vybrána pomocí logaritmicke – normálního rozdělení následně upraveného na rozhodovací počet 50000 letů za celé zkoumané období. Více než 50 tisíc letů mělo za období mezi dubnem 2019 a prosincem 2021 celkem 26 světových letišť. Rozšířená síť páteřních letišť byla vytvořena tak, aby všechna z 26 letišť měla spojení s alespoň 1 dalším letišťem s nejvyšší možnou frekvencí spojů. Z analýzy bylo zjištěno, že nejvyšší frekvencí je průměrně 1 let denně. Do rozšířené sítě páteřních letišť bylo zařazeno všech 26 páteřních letišť a 121 dalších včetně Prahy, která měla pravidelné spojení s Kolínem nad Rýnem. Celkově počty letů nákladních letadel z dostupných dat klesla pouze na začátcích roků 2020 i 2021 a v průběhu roku následně rostla. Nejvíce počet letů vzrostl mezi červencem a prosincem 2021, kdy se počet letů zdvojnásobil. Podíl počtu letů, které byly uskutečněny z/ na 26 páteřních letišť, byl mezi 62 a 81 %, což ukazuje výrazné zaměření nákladních letů na velká hub letiště. Většina nákladní letecké dopravy je soustředěna do Severní Ameriky, Evropy a Asie. U všech zkoumaných letišť počet letů v celém zkoumaném období byl minimálně konstantní, ale velmi často i rostl s výjimkou Atlanty, kdy v červnu 2020 nastal výrazný propad o 3000 letů. Výrazné změny přestupní centrality pro následnou analýzu byly vybrány podle % změny centrality, konkrétně větší než 50 %, mezi po sobě následujícími čtvrtletími a zkoumány byly následně měsíce s největším rozdílem přestupní centrality. Změny byly analyzovány podle rozdílu počtu spojení s jinými letišti u zkoumaných letišť mezi danými měsíci a následně hledány náhradní linky, které by mohli nahradit přímé linky, které byly omezeny, a také byly hledány nové více využívané navazující linky, když počet spojení u dané linky vzrostl. Konkrétně byly analyzovány změny počtu spojení u změn přestupní centrality větších než 50 % při porovnání prosince 2019 a března 2020 u letiště v Tokiu, května a srpna 2020 u letiště v Paříži, srpna a prosince 2021, září a dubna 2020 a ledna a května 2020 u letiště v Atlantě a července a října 2019 u letiště v Indianapolis. Výsledkem analýzy je, že 4 z 5 nárůstů centrality byly způsobeny převážně 26 páteřními a oba poklesy v Atlantě letišti, která do 26 páteřních nepatří.

Zdroje

- [1] Nela Vicherková, Mezinárodní letecká doprava za časů covidu-19, Brno, 2021, Dostupné také z: https://is.muni.cz/th/n0war/BP_Vicherkova.pdf . Bakalářská práce, Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Geografický ústav, Vedoucí práce Daniel Seidenglanz
- [2] Aviation Maintenance Magazine, 2022, [online] [cit. 21.6.2022] Dostupné také z: <https://avm-mag.com/>
- [3] Guillaume Burghouwt a Renato Redondi, Connectivity in Air Transport Networks: An Assessment of Models and Applications ,2013, [online] Dostupné také z: <https://www.ingentaconnect.com/content/lse/jtep/2013/00000047/00000001/art00003>
- [4] Jean-Paul Rodrigue a Cesar Ducruet, The Geography of Transport Systems, New York, 2020, 5. vydání, Dostupné také z: <https://transportgeography.org/contents/chapter2/geography-of-transportation-networks/point-to-point-versus-hub-and-spoke-network/> , ISBN 978-0-367-36463
- [5] Peter S. Morrell and Thomas Klein, Moving Boxes by Air – The Economics of international air cargo,
- [6] Jeff Wood, *Understanding Air Freight*, [online] Dostupné také z: https://cdn.ymaws.com/www.mgta.org/resource/resmgr/Air_Freight.pdf
- [7] Ladislav Capoušek, Obchodně provozní činnost, Praha 2020, Prezentace k předmětu Obchodně – provozní činnost, České vysoké učení technické, Fakulta dopravní, Ústav letecké dopravy
- [8] Thijs Boonekamp a Guillaume Burghouwt, *Measuring connectivity in air freight industry*, 2015, [online] Dostupné také z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969699715301526?casa_token=aOy5E_UtSR8AAAAA:yLvb_WEEHI_eGuA_e0M8dnbBOQ6DGsnMnUOJfV94XD2hVZ94gmTKc1KINOqX2NAdhM_J7SHfSQ
- [9] ACI Europe, *Airport Industry Connectivity Report 2021*, [online] , [cit. 29.6.2022] Dostupné také z: <https://www.aci-europe.org/downloads/resources/ACI%20EUROPE%20Airport%20Industry%20Connectivity%20Report%202021.pdf>
- [10] IATA, Air Connectivity, [online], dostupné také z: <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/air-connectivity-measuring-the-connections-that-drive-economic-growth/>
- [11] Cambridge Intelligence, [online], 2022, Dostupné také z: <https://cambridge-intelligence.com/>

- [12] Michaela Kaločayová, Metodologie hodnocení stavu letecké sítě, Praha, 2020. Dostupné také z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/88303/F6-DP-2020-Kalocayova-Michaela-DP%20Kaloc%3fayova%3f.pdf?sequence=-1&isAllowed=y> . Diplomová práce. České vysoké učení technické, Fakulta dopravní, Ústav letecké dopravy, Vedoucí práce Helena Bínová
- [13] GEEKSFORGEES, [online], Dostupné také z: <https://www.geeksforgeeks.org/>
- [14] Neo4J, [online], Dostupné také z: <https://www.neo4j.com/>
- [15] Science direct, [online] [citace 25.6.2022] Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/centrality-measures/>
- [16] Tommy K.Y. Cheung, Collin W.H. Wong, Anming Zhang, The evolution of aviation network: global airport connectivity index 2006-2016, 2019, [online] Dostupné také z: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1366554519301243?token=A62E461622B1FA2C238CF6B5AED7D9D8F53F70712D157A5515B9CF84FE5BF84BCB304607512253F4E7F348D75199BCFF&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220724163414>
- [17] Václav Suda, Analýza propojení firem využitím PageRanku, Plzeň, 2014. Dostupné také z: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/13541/1/BP_sudav.pdf
Bakalářská práce, Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Katedra informatiky a výpočetní techniky. Vedoucí práce Michal Nykl
- [18] Thomas Van Asch, Wouter Dewulf, Franziska Kupfer, Hilde Meersman, Evy Onghena, Eddy Van de Voorde, Air Cargo and airport competitiveness, [online] [cit. 2.5.2022] Dostupné také z: https://www.researchgate.net/publication/343990135_Air_cargo_and_airport_competitiveness
- [19] Airports Council Air Freight- historical perspective, industry background and key trends , [online] Dostupné také z: <https://airportscouncil.org/wp-content/uploads/2020/03/CHAPTER-1-AIR-FREIGHT-%E2%80%93-HISTORICAL-PERSPECTIVE-INDUSTRY-BACKGROUND-AND-KEY-TRENDS.pdf>
- [20] Jiří Průša, Svět letecké dopravy. Praha: Galileo CEE Service ČR, 2007.
ISBN 978-80-239-9206-9
- [21] Flightradar24, [online] Dostupné také z: <https://www.flightradar24.com/>
- [22] DHL, [online] [cit. 2.7.2022] Dostupné také z: <https://dhl.com/>
- [23] Letiště Memphis, [online] [cit. 10.7.2022] Dostupné také z: <https://flymemphis.com/>
- [24] Letiště Louisville, [online] [cit. 12.7.2022], Dostupné také z: <https://flylouisville.com/>
- [25] Airport Cooperative Research Program, [online] [cit. 2.7.2022] Dostupné také z: <https://crp.trb.org/>

- [26] Flightera, [online], Dostupné také z: <https://www.flightera.net/>
- [27] Web Scraper, [online] , 2022, [cit. 25.2.2022] Dostupné z <https://webscraper.io/>
- [28] Gephi, [online], [cit. 23.4.2022] Dostupné z: <https://gephi.org/>
- [29] Marie Budíková, Statistika a pravděpodobnost, [online] Dostupné také z: <https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/ps15/statistika/web/pages/logaritmicko-normalni.html>
- [30] Susan M. Walcott a Zhang Fan, Comparison of major air freight network hubs in the U.S. and China, 2015, [online] Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969699716302393>
- [31] Google Earth, [online] [cit. 27.7.2022]
- [32]] T. Li , A SWOT analysis of Chinas's air cargo sector in the context of COVID-19 pandemic, [online], Dostupné také z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969699720304592?casa_token=e3YXCoyjb5YAAAAA:0yI4PYzT5TpggdFm5RX144aneXILy5izN2APy1wDKo7PbDkXV9e18TxCnODwNGPqDmsJK26py
- [33] Letiště Miami, [online] Dostupné také z: <https://miami-airport.com/>
- [34] Air Cargo News, [online] [cit. 18.7.2022] Dostupné také z: <https://www.aircargonews.net>
- [35] Letiště Lutych,[online] Dostupné také z: <https://liegeairport.com/>
- [36] Federal Express, [online], [cit. 22.6.2022] Dostupné také z: <https://www.fedex.com/>
- [37] ICAO the world of air transport in 2019, [online], [cit. 15.7.2022] Dostupné z: <https://www.icao.int/annual-report-2019/Pages/the-world-of-air-transport-in-2019.aspx>
- [38] Thomas R. Leinbach, Cristina Capineri, Globalized freight transport: Indermodality, e-commerce, logistics and sustainability, 2007, ISBN-10: 1 84542 502 2
- [39] Letiště Anchorage, [online] Dostupné také z: <https://anchorage-airport.com/>
- [40] Official Alaska State Webside, [online] Dostupné také z: <https://dot.alaska.gov/>
- [41] Letiště Honolulu, [online] Dostupné také z: <http://airports.hawaii.gov/hnl/>