



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy

**Odolnost sítě amerických leteckých spojení v průběhu pandemie
Covid-19**

**Resilience of the American Airline Network during the Covid-19
Pandemic**

Bakalářská práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích
Studijní obor: Profesionální pilot

Vedoucí práce: doc. Ing. Peter Víttek, Ph.D.
Ing. Tereza Dvořáková

Martin Sekereš

Praha 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 Sekereš

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský –PIL– Profesionální pilot

Název tématu (česky): **Odolnost sítě amerických leteckých spojení v průběhu pandemie Covid-19**

Název tématu (anglicky): **Resilience of the American Airline Network during the Covid-19 Pandemic**

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je zmapovat, analyzovat a vyhodnotit, jakým způsobem byla zajištěna konektivita letecké dopravy v rámci sítě leteckých spojení v průběhu pandemie Covid-19 v USA.
- Představte problematiku konektivity a odolnosti letecké sítě a příslušných metod
- Proved'te výběr důležitých amerických letišť a určete konektivitu jejich sítě před pandemií
- Na základě dat o provozu proved'te výpočet konektivity a odolnosti při postupném rušení leteckých linek
- Pro jednotlivá vybraná letiště proved'te srovnání
- Stanovte závěry, diskutujte limitace a proved'te validaci



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Airport Industry Connectivity Reports (Airport Council International - ACI)
London, O., et al., - Robustness of the Air Transport Network 2018
Chi, L., et al., - Structural Changes Caused by Error and Attack Tolerance in US Airport Network 2012

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

Datum zadání bakalářské práce: **8. října 2021**
(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


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




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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.


.....
Martin Sekereš
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 8. října 2021



Abstrakt

Predmetom bakalárskej práce je skúmanie leteckej konektivity a odolnosti leteckej siete v Spojených štátoch amerických počas pandémie Covid-19 pomocou centrality a ďalších indikátorov. Motiváciou na výber témy bakalárskej práce bolo podrobnejšie pochopenie vplyvu pandémie na prevádzku leteckej dopravy a zároveň, akým spôsobom dokáže silný domáci trh ovplyvniť odolnosť leteckej siete. Na analýzu práca využíva dáta o odletoch a príletoch z jednotlivých vybraných letísk v Spojených štátoch amerických v časovom období 14 mesiacov. Skúmané obdobie slúži na porovnanie leteckej konektivity pred vypuknutím pandémie s obdobím, ktoré bolo pandemiou postihnuté najviac. Rovnako sa práca zameriava aj na regeneráciu siete. Konkrétne skúma tempo, akým letecká doprava a konektivita na jednotlivých letiskách rástla po dosiahnutí najnižšej hodnoty. Vďaka vykonanej analýze bola preukázaná dôležitosť veľkého domáceho trhu pri výskyte situácií, ktoré vedú k narušeniu leteckej konektivity.

Kľúčové slová: centralita, konektivita, odolnosť, sieť



Abstract

The subject of the bachelor's thesis is the investigation of air connectivity and resilience of the air network in the United States of America during the Covid-19 pandemic using centrality and other indicators. The motivation for choosing the topic of the bachelor's thesis was a more detailed understanding of the impact of the pandemic on the operation of air transport and, at the same time, how a strong domestic market can affect the resilience of the air network. For analysis, the work uses data on departures and arrivals from individual selected airports in the United States of America over a period of 14 months. The examined period serves to compare air connectivity before the outbreak of the pandemic with the period that was most affected by the pandemic. The work also focuses on network regeneration. Specifically, it examines the rate at which air traffic and connectivity at individual airports grew after reaching the lowest value. Thanks to the analysis carried out, the importance of a large domestic market in the occurrence of situations that lead to the disruption of air connectivity has been proven.

Keywords: centrality, connectivity, resilience, network



PodĎakovanie

Týmto by som chcel poĎakovať vedúcemu práce doc. Ing. Petrovi Vittekovi, Ph.D za odborné vedenie a informácie, ktoré poskytoval počas prípravy tejto práce. Moja najväčšia vĎaka patrí mojej rodine, priateľke a kamarátom, ktorí ma počas prípravy tejto práce podporovali a pomáhali mi.



Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som bakalársku prácu s názvom Odolnosť sítě amerických leteckých spojení v průběhu pandemie Covid-19 vypracoval samostatne a použil k tomu úplný zoznam citácií použitých prameňov, ktoré uvádzam v zozname priloženom k bakalárskej práci.

Nemám závažný dôvod proti použitiu tohto školského diela v zmysle §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorskom, o právech súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonů (autorský zákon).

V Prahe dňa 08. august 2022

.....

Podpis



Obsah

Úvod	13
1. Význam leteckej konektivity	14
1.1 Letecká konektivita v USA.....	15
2. Letecká sieť.....	16
2.1. Modely leteckých sietí	18
2.2. Konektivita	19
2.2.1. Faktory podporujúce konektivitu	21
2.2.2. Formovanie leteckej konektivity	22
2.3. Druhy leteckej konektivity	23
2.4. Centralita	25
2.4.1. Priama centralita	26
2.4.2. Vážená centralita	27
2.4.3. Prestupná centralita	28
2.4.4. Centralita dostupnosti	29
2.4.5. IATA air connectivity index.....	29
2.4.6. Model NetScan	30
2.5. Odolnosť a robustnosť leteckej siete	30
2.6. Vplyv pandémie Covid-19 na leteckú konektivitu	31
3. Metodológia	35
3.1. Získavanie dát o prevádzke na letiskách v USA	36
3.2. Výsledky ťažby dát	39
4. Analýza počtu denných letov	40
1.2 Analýza a porovnanie letísk.....	45
4.2. Diskusia	55
5. Záver	57
Zoznam použitej literatúry	59



Zoznam obrázkov

Obrázok 1 - Schéma usporiadania point-to-point.....	18
Obrázok 2 - Schéma usporiadania hub-and-spoke.....	19
Obrázok 3 - Počet medzinárodných ciest v regiónoch : 2003 vs 2016 [22]	22
Obrázok 4 - Grafické znázornenie priamej konektivity [25].....	23
Obrázok 5 - Grafické zobrazenie nepriamej konektivity [25].....	24
Obrázok 6 - Schématické znázornenie priamej centrality	27
Obrázok 7 - Schématické znázornenie váženej centrality	27
Obrázok 8 - Schématické znázornenie prestupnej centrality	28
Obrázok 9 - Globálne a regionálne odlety [5].....	32
Obrázok 10 - Narušenie leteckej konektivity v jednotlivých regiónoch [5].....	33
Obrázok 11 - Narušenie leteckej konektivity v 5 najviac prepojených krajinách sveta [5]	33
Obrázok 12 - Podiel domácej a medzinárodnej dopravy v USA a v Európe (2019) [37]	34
Obrázok 13 – “Site map“ na získavanie dát zo softvéru Flightera.net.....	37
Obrázok 14 - Vizualizácia dát v aplikácii Gephi	38
Obrázok 15 - Dáta vypočítané v aplikácii Gephi	38
Obrázok 16 - Vývoj leteckej dopravy v USA podľa trhu (priemerné denné lety) [37].....	40
Obrázok 17 - Vývoj leteckej dopravy v USA podľa trhu (vs 2019 doprava) [37]	40
Obrázok 18 - Zmena odletov IFR na 34 hlavných letiskách v dôsledku Covid 19 [37]	41
Obrázok 19 - Grafické znázornenie stupňa.....	42
Obrázok 20 - Grafické znázornenie váženého stupňa	43
Obrázok 21 - Grafické znázornenie mediánu váženého stupňa	44



Obrázok 22 - Grafické znázornenie priebehu konektivity na letisku KCLT	46
Obrázok 23 - Vážený stupeň spojení s jednotlivými letiskami	47
Obrázok 24 - Graf znázorňujúci priebeh priletov a odletov	48
Obrázok 25 - Grafické znázornenie priebehu konektivity na letisku KSEA.....	49
Obrázok 26 - 5 najsilnejších spojení s letiskom Seattle v novembri 2019	50
Obrázok 27 - 5 najsilnejších spojení s letiskom Seattle v apríli 2020	50
Obrázok 28 - 5 najsilnejších spojení s letiskom Seattle v novembri 2020	51
Obrázok 29 - Graf znázorňujúci priebeh priletov a odletov.....	52
Obrázok 30 - Grafické znázornenie priebehu konektivity na letisku KDAL	53
Obrázok 31 - 5 najsilnejších spojení letiska Dallas v januári 2020	53
Obrázok 32 - 5 najsilnejších spojení letiska Dallas v apríli 2020	54
Obrázok 33 - Graf znázorňujúci priebeh priletov a odletov.....	55



Zoznam tabuliek

Tabuľka 1 - Dáta upravené do kontingenčnej tabuľky	39
--	----



Zoznam symbolov a skratiek

USA	Spojené štáty americké
IATA	Medzinárodná asociácia leteckých dopravcov
ACI	Airports Council International
IFR	Instrument Flight Rules
KAUS	Letisko Austin
KBWI	Letisko Baltimore
KBIS	Letisko Boston
KCLT	Letisko Charlotte Douglas
KMDW	Letisko Chicago Midway
KDAL	Letisko Dallas
KDTW	Letisko Detroit
KFLL	Letisko Hollywood
KLAS	Letisko Las Vegas
KLAX	Letisko Los Angeles
KMIA	Letisko Miami
KMSP	Letisko Minneapolis
KEWR	Letisko Newark
KJFK	Letisko New York
KSFO	Letisko San Francisco
KSEA	Letisko Seattle

Úvod

Odolnosť leteckej siete je možné definovať ako schopnosť siete udržať leteckú prevádzku aj počas krízy. Aj napriek svojej vysokej dôležitosti môže byť letecká konektivita zraniteľná. Narušenie leteckej konektivity môže vyústiť do veľkých ekonomických strát a v najhoršom prípade môže viesť až k rozpadu siete.

V súčasnosti poskytuje letecká konektivita mnoho sociálnych a ekonomických výhod. Vďaka leteckej doprave je mimoriadne uľahčený prístup na medzinárodné trhy, výrazne podporuje cestovný ruch a poskytuje mnoho ďalších výhod. Je možné tvrdiť, že letecká konektivita je dôležitou súčasťou modernej ekonomiky.

Táto bakalárska práca sa zaoberá odolnosťou leteckej siete v Spojených štátoch amerických počas pandémie Covid-19 a skúmaním schopnosti vybraných letísk udržiavať leteckú prevádzku aj v dobe, kedy bolo cestovanie leteckou dopravou obmedzené najviac. Ďalej bol sledovaný aj nárast leteckej konektivity po dosiahnutí najnižšieho bodu.

Najprv sme sa v práci zaoberali teóriou leteckej konektivity a hlavne jej významom. Priblížili sme, čo prispelo k rozvoju konektivity a zaoberali sme sa aj konektivitou v USA. V druhej kapitole sa práca zaoberá leteckou sieťou a jej modelmi. Nasleduje podrobnejší pohľad na leteckú konektivitu, typy konektivity a faktory, ktoré ju podporujú. Ďalej sa v práci dozvedáme o indikátoroch, ktorými je možné konektivitu sledovať, ako je napríklad centralita. Na záver je definovaná odolnosť leteckej siete, prečo je dôležitá a čo môže hroziť, v prípade jej narušenia z akéhokoľvek dôvodu.

Predmetom tretej kapitoly je vplyv pandémie Covid-19 na leteckú konektivitu. Konkrétne sa tu práca zaoberá tým, aký dopad malo šírenie ochorenia na celosvetovej úrovni a ukazuje rozdiely v tom, ako boli rôzne časti sveta postihnuté. V neposlednom rade rieši, ako dokáže veľký domáci trh leteckej dopravy zredukovať pokles konektivity a následne podporiť obnovu leteckej siete.



1. Význam leteckej konektivity

Letecká doprava je populárnym, rýchlo rastúcim odvetvím, ktoré možno viac ako ktorýkoľvek iný spôsob dopravy, vyvoláva rôznorodé predstavy o rekreácii, voľnom čase, konektivite, obchodnej produktivite, kultúrnej výmene a spoločenských kontaktoch v rozvinutých, ale aj menej rozvinutých krajinách, uvádza Daley [1] spolu s Air Transport Action Group [2] Podľa spomínaných zdrojov je vďaka leteckej konektivite umožnený jednoduchý prístup k medzinárodným destináciám, význačne rýchly transfer osôb a nákladu medzi veľkými mestami v kontinentálnom alebo celosvetovom merítku a súčasne poskytuje širokú škálu príležitostí pre cestujúcich.

Senguttavan [3] uvádza, že v rokoch 1960 až 1970 sa letecká konektivita rýchlo rozvíjala, vďaka čomu došlo v odvetví leteckej dopravy k významnému rozvoju, ktorý bol vedený priesečníkom štyroch procesov :

- **Technický pokrok** : vďaka vyvíjajúcej sa technológii dal technický a technologický pokrok dopravcom možnosť využívať širokú škálu lietadiel, ktoré na rozdiel od predchádzajúcich generácií, umožňovali lietať v zámorí a dokonca boli schopné lietať až osemnásť hodín bez potrebného medzipristátia.
- **Nižšie cestovné poplatky** : spomínaný technologický a technický pokrok spolu s vyšším dopytom a vzrastajúcou konkurenciou umožnili signifikantne znížiť ceny leteniek, čo viedlo k ďalšiemu zvýšeniu záujmu o využívanie leteckej dopravy ako spôsob prepravy, nie len na dlhé vzdialenosti.
- **Globalizácia** : Button [4] uvádza, že proces narastania medzinárodného prepojenia vo všetkých oblastiach je priamo spojený s dopytom na mobilitu pre rôzne typy nákladu a rôzne požiadavky cestujúcich na rozličné miesta a vzdialenosti, v porovnaní s predchádzajúcimi normami
- **Medzinárodný cestovný ruch** : na základe zvyšovania príjmov a rastu ekonomického výkonu je možné do značnej miery vysvetliť nárast leteckej dopravy. Vysoký záujem o cestovanie, ktorý viedol k zvýšeniu počtov turistických a dovolenkových zájazdov z vyspelých krajín, umožnil vyčleniť väčšiu časť príjmu na voľný čas.

Daley [1] vo svojej štúdií uvádza tvrdenie, že v súčasnej spoločnosti zohráva letecká konektivita veľmi dôležitú úlohu a zároveň poskytuje veľmi širokú škálu dôležitých ekonomických a sociálnych výhod. Ekonomický prínos pozorujeme predovšetkým vplyvom letectva na výkonnosť iných odvetví a podporu ich rastu. Konkrétne, vďaka dobre rozvinutej



leteckej konektivity je uľahčený prístup na trhy a poskytuje mnoho ďalších hospodárskych výhod, medzi ktoré patria zamestnanosť, cestovný ruch, investície, obchod, zvýšená konkurencieschopnosť, prenos znalostí, vyššiu mobilitu a mnohé multiplikačné efekty. Leteckú konektivitu je teda možné pokladať za vitálny komponent modernej ekonomiky, ktorý pomáha zvyšovať tok tovaru a ľudí v rôznych globálnych regiónoch, uvádza IATA. [5]

Podľa Medzinárodnej organizácie civilného letectva [6] bol podiel leteckej dopravy v Severnej Amerike do roku 2015 približne 29,5 %. Z hľadiska podielu veľkých krajín bol objem leteckej prepravy v Spojených štátoch amerických v roku 2015 37,219 miliónov ton, čo reprezentuje až 18,84% z celkového svetového objemu. Z toho vyplýva, že letecká konektivita v USA je veľmi dobre rozvinutá. Je teda možné tvrdiť, že letectvo veľmi hlboko spája pohyby v globálnej, regionálnej a miestnej ekonomike, ďalej súvisí aj so spoločnosťou a politickým prostredím. Zásluhou leteckej konektivity sú zabezpečené spojenia medzi mestami, ktoré vytvárajú bezpečnú a spoľahlivú prepravnú sieť pre obchod a vlády, tvrdí IATA. [5]

Vzhľadom na schopnosť tohto odvetvia riadiť hospodársky alebo ekonomický rast a zvyšovať mobilitu sa letecká doprava a s ňou spojená letecká konektivita stala dôležitým nástrojom globalizácie. [5]

1.1 Letecká konektivita v USA

V publikácii od IATA [5] sa píše, že Spojené štáty americké majú rozsiahlu sieť leteckej dopravy. V roku 2020 mali Spojené štáty americké v rebríčku tridsať svetovo najrušnejších letísk z hľadiska dopravy pasažierov, ktorý je zostavený na základe dát ACI z roku 2020, až osem letísk, vrátane druhého najvyťaženejšieho letiska na svete, ktorým bolo medzinárodné letisko Hartsfield-Jackson v Atlante. Čo sa týka prepravy nákladu, Spojené štáty americké zastupovalo v rebríčku tridsať najvyťaženejších svetových letísk osem letísk, na čele s druhým najvyťaženejším letiskom, ktorým bolo medzinárodné letisko v Memphise. Rebríček bol opäť zostavený z dát, ktoré boli získané od ACI z roku 2015.

Všeobecne veľké vzdialenosti medzi veľkými mestami, ktoré pramenia z geografie Spojených štátov amerických, sú hlavným dôvodom, prečo práve letecká doprava je preferovaným spôsobom dopravy a cestovania, hlavne pri cestách na vzdialenosti väčšie ako tristo míľ alebo štyristoosemdesiat kilometrov.



2. Letecká sieť

Hercik [7] vo svojej publikácii definuje dopravu ako celok, ktorý je tvorený vzájomne prepojenými zložkami, ktoré formujú dopravnú infraštruktúru. Univerzálne je dopravná sieť tvorená niekoľkými dopravnými bodmi a cestami. Vo všeobecnosti sa dopravná sieť definuje ako súbor spájajúci dva body, medzi ktorými je možné realizovať dopravu. Na vykonanie prepravy v ohraničenom priestore sa využívajú mechanizmy, slúžiace na transport a pohybujúce sa medzi technickými objektmi.

V začiatočnom a koncovom bode následne prebieha výstup, nástup a prestup cestujúcich a v prípade nákladu vykládka, nakládka a prekládka.

Čo sa týka leteckej dopravy, princíp leteckej siete je rovnaký. Podobne ako v prípade iných typov dopravy sa lietadlá riadia preddefinovanými vzdušnými cestami v závislosti na predpisoch vzdušného priestoru danej krajiny.

Hlavné svetové letiská sú v súčasnosti prepojené so stovkami menších letísk. Túto konektivitu je možné opísať ako sieť, v ktorej sa letisko stáva uzlom a priame letecké trasy medzi dvomi letiskami sa stávajú spojovacou linkou alebo hranou. Alternatívne je možné mestá považovať za uzly s prepojeniami, ktoré predstavujú priame letecké spojenia medzi nimi. Dvojice miest alebo letísk teda tvoria spoločne komplexnú sieť letov, kde prepojenia medzi uzlami predstavujú skutočnosť, že medzi dvoma lokalitami došlo v nejakom určitom časovom intervale k aspoň jednému letu. To je možné tvrdiť na základe štúdie Guimera a kol. z roku 2005. [8] Sieť leteckej dopravy je teda možné definovať nielen celosvetovo, ale aj pre jeden konkrétny región alebo dokonca pre jednu leteckú spoločnosť. Rozsah leteckej siete je následne možné rozdeliť na globálny alebo lokálny. Globálna letecká dopravná sieť bola analyzovaná v Guimerà a Amaral v roku 2004 [9] a Guimerà a kol. v 2005 [8], kde uzlami boli opäť mestá s letiskami a práve tieto dve mestá sú považované za spojené, ak medzi nimi existuje aspoň jedna nepretržitá letecká linka.

Kompletná infraštruktúra siete civilného letectva môže byť tiež, podľa Juneka [10] chápaná ako celok alebo systém, ktorý je tvorený prevádzkovateľmi leteckej dopravy, letiskami, navigačnými službami a regulátormi, ktoré spoločne vytvárajú infraštruktúru samotnej leteckej dopravy.

Letecká sieť alebo sieť leteckej dopravy je príkladom priestorových sietí a dopravných sietí. (Barthelemy, 2011) [11] Procesom modelovania sietí leteckej dopravy sa zaoberali vo svojich



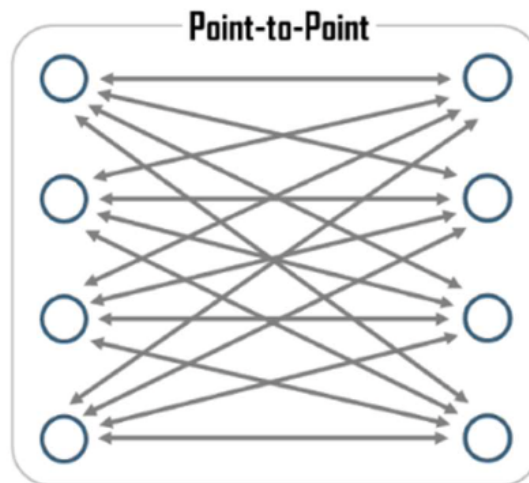
prácach Hu & Di Paolo v roku 2008 [12] a Lordan a kol. v roku 2014 [13], ktorí tvrdia, že na modelovaní sietí leteckej dopravy sa vo veľkej miere podieľajú leteckí dopravcovia alebo letecké spoločnosti, aby organizovali a plánovali svoje letové trasy nákladovo efektívnym spôsobom. Z toho vyplýva, že návrh a vývin leteckej siete pramení zo simultánnych akcií leteckých spoločností a aliancií, ktorých cieľom bola maximalizácia ich ziskov. Rovnako k vývinu leteckej siete prispel aj sled udalostí, ktoré vyplývajú z politických, zemepisných a ekonomických faktorov. Preto, aj napriek možným dôsledkom prerušenia leteckej siete, nebola navrhnutá s cieľom, aby bola odolná voči udalostiam, ktoré by mohli viesť k uzatvoreniu jedného alebo viacerých letísk. (Lordan a kol., 2014) [13] Je možné teda tvrdiť, že súčasný vzhlad leteckej siete je výsledkom konkurencieschopnosti jednotlivých leteckých spoločností, ktorých cieľom je maximalizovať ich zisky.

Dostupná sieť leteckej dopravy zodpovedá za neustály a každodenný presun osôb a tovaru po celom svete. Na základe toho je možné tvrdiť, že sieť leteckej dopravy patrí medzi jednu z najdôležitejších a najkritickejších infraštruktúr súčasnej svetovej ekonomiky. Napriek vysokej vyťažnosti a dôležitosti leteckej siete nemožno vylúčiť fakt, že môže byť voči niektorým incidentom a nepredvídateľným udalostiam zraniteľná. Práve takéto narušenia, ktoré môžu rapídne znížiť efektívnosť letovej prevádzky, vyúsťujú do vysokých ekonomických strát. Z tohto dôvodu sa môže odolnosť leteckej siete brať ako jeden z faktorov, pomocou ktorých vieme leteckú sieť hodnotiť. Modely vzniknuté modelovaním leteckej dopravnej siete sú tiež nástrojom na skúmanie robustnosti systému. Vďaka nim je možné určiť slabé alebo zraniteľné miesta systému v prípade, že dôjde k rôznym druhom porúch. Následne, po identifikovaní slabých miest je možné za pomoci alternatívnej sily pre pár určiť náhradný uzol, ktorý môže podporovať časť alebo celé dopravné zaťaženie. To vyplýva zo štúdie Wang a kol, z roku 2011. [14]

Lordan a kol. [13] uvádza, že v kontexte teórie komplexných sietí, je odolnosť alebo tolerancia voči statickým chybám definovaná ako schopnosť systému uchrániť si konektivitu po vzniknutej náhodnej izolácii uzla, to znamená po odstránení všetkých spojení s konkrétnym uzlom alebo po vymazaní celého spoja. Na druhej strane, proces odstránenia útokom je zameraný na určitú skupinu uzlov alebo spojení, napríklad na dobre prepojené uzly.

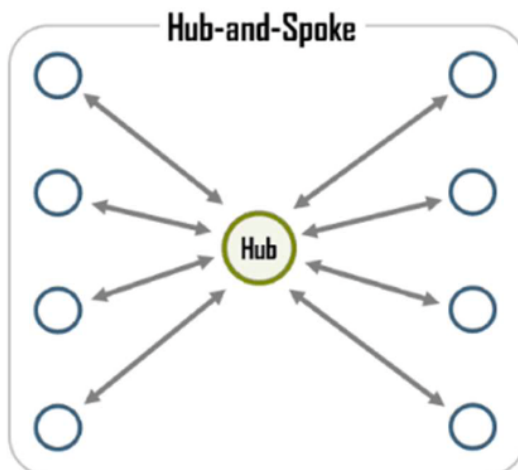
2.1. Modely leteckých sietí

Podľa Kajtmana a Melichara [15] a Maradu [16] s každým spôsobom vytvorenia leteckej siete prichádzajú aj výhody a nevýhody jednotlivých typov sietí. Práve kvôli tomu sú rôzne typy siete určené pre rozličné druhy používania za cieľom dosiahnutia maximálnej efektivity.



Obrázok 1 - Schéma usporiadania point-to-point

Vo všeobecnosti vieme definovať dva základné modely, ktoré slúžia pri tvorbe leteckých sietí. Hovoríme o modeloch "point-to-point" a "hub-and-spoke". Prvý zmienený model, ktorý vidíme na obrázku 1, umožňuje dopravu z jedného miesta do druhého. Systém vytvorený pomocou tohto modelu sa skladá z niekoľkých letísk, medzi ktorými neexistuje žiadna závislosť a sú prepojené relatívne veľkým množstvom priamych letov. Podľa Maradu [16] sa vo všeobecnosti jedná o model, ktorý využívajú všetci dopravcovia od počiatku komerčnej leteckej dopravy. V súčasnosti je najviac využívaný nízkonákladovými spoločnosťami.



Obrázok 2 - Schéma usporiadania hub-and-spoke

Na obrázku 2 môžeme vidieť model “hub-and-spoke“. Jedná sa o model, ktorý sa stal významným znakom prevádzky leteckej dopravy na celom svete. [7] Podľa Holloway [17], pri využívaní tohto modelu je potrebné definovať takzvaný “airline hub“ alebo “hub airport“. Jedná sa o letisko, ktoré môže jedna alebo viac leteckých spoločností využívať na koncentrovanie toku letov a pasažierov. Tieto letiská slúžia na prestup cestujúcich, ktorí priletia z menších, “non-hub“ letísk na lety do ich konečnej destinácie. Tým pádom, tento model, umožňuje leteckým spoločnostiam obsluhovať menej trás a vďaka tomu využívať menej lietadiel, uvádza vo svojej publikácii Cook a Goodwin z roku 2008. [18] V praxi je to možné znázorniť na spoločnosti Delta Air Lines, ktorá bola priekopníkom myšlienky modelu “hub-and-spoke“ v polovici dvadsiateho storočia, čo opisuje vo svojej publikácii z roku 2020 Curran. [19] Po aplikovaní tohto modelu mohla Delta lietať na deviatich trasách, aby dokázala spojiť desať destinácií. V prípade, že by namiesto “hub-and-spoke“ modelu využila na spojenie daných destinácií model “point-to-point“, vyžadovalo by to zavedenie štyridsaťpäť liniek.

2.2. Konektivita

Na základe predchádzajúcich štúdií je zrejmé, že významným nástrojom pre podporu rastu produktivity a rastu ekonomík je práve zvýšenie počtu spojení s celosvetovou sieťou leteckej dopravy, ktoré výrazne prispievajú k umožneniu lepšieho prístupu na trhy, k prepojeniu v rámci biznisu a medzi nimi, k uľahčenému prístupu k zdrojom a v neposlednom rade k prístupu na medzinárodné kapitálové trhy, to je možné tvrdiť na základe publikácie od Smyth a Pearce. [20]



Podľa Medzinárodnej organizácie civilného letectva (ICAO) je možné leteckú konektivitu zadefinovať ako “ ukazovateľ koncentrácie siete a jej schopnosť bezproblémovo prepraviť cestujúcich z ich pôvodného miesta do určenej destinácie. Práve tento koncept je obzvlášť dôležitý, pretože podľa Burghouwt [21] mnohé vlády po celom svete považujú leteckú konektivitu za prínos, vďaka ktorému je možné podporiť celosvetovú konkurenciu medzi mestami, regiónmi alebo dokonca krajinami. Dodatočne, Airports Council International [22] tvrdí, že na leteckú konektivitu sa dá pozeráť aj ako na neoddeliteľnú súčasť medzinárodnej mobility a je jadrom globalizovaného sveta, kde je nevyhnutné mať národnú a regionálnu dostupnosť a rozvoj.

Zlepšená letecká konektivita prináša mnoho výhod používateľom sietí leteckej dopravy. Či už sa jedná o cestujúcich, odosielateľov alebo dodávateľov. Práve s tým súvisí pravdepodobne najdôležitejší ekonomický prínos leteckej dopravy, ktorým je hodnota, ktorú cestujúci a odosielatelia získavajú práve vďaka schopnosti prístupu k destináciám a trhom po celom svete. (IATA, 2020) [5]

V priebehu posledných desaťročí umožňovala a poskytovala letecká doprava užívateľom veľký výber trás a rýchlejších spojení so zvyškom sveta za neustále klesajúce náklady. Je známe, že v roku 2019 bol vzdušný priestor po celom svete signifikantne využívaný. To sa odrazilo na fakte, že letecká doprava v roku 2019 dosiahla rekord v spojení miest po celom svete, pričom prvýkrát v histórii dosiahla a prekročila enormných dvadsaťtisíc unikátnych “city-pairs“. Okrem toho náklady spojené s prepravou cestujúcich alebo nákladu klesajú, vďaka úsporám, ktoré vznikli na základe prijímania nových technológií a vyššej efektivity, ktoré sa prenášajú na spotrebiteľa vo forme nižšej ceny. [5]

Na základe štúdie IATA z roku 2020 je ďalej možné tvrdiť, že letecká konektivita hrá veľmi významnú úlohu a poskytuje jedinečné prínosy pre hospodárstvo. Umožňuje a podporuje kľúčové a významné ekonomické toky, medzi ktoré patria obchod, investície, cestovný ruch a ďalšie hnacie sily hospodárskeho rozvoja, vďaka ktorým sa letecké služby stávajú cenovo dostupné. Vzdušné spojenia, ktorých zásluhou sú spojené mestá po celom svete, sa signifikantne podieľajú na hospodárskom raste, pretože sú schopné podporiť ponukovú stranu ekonomiky. Tieto tvrdenia opäť potvrdzujú fakt, ktorým sa zaoberali aj Morphet a Bottini (2017) [22], že letecká konektivita je kľúčovým aspektom k odomknutiu ekonomického potenciálu mnohých krajín.



2.2.1. Faktory podporujúce konektivitu

Morphet a Bottini [22] definujú vo svojej publikácii práve štyri hlavné faktory, na ktorých stojí letecká konektivita. Konkrétne sa jedná o geografiu, letiskovú infraštruktúru, modely leteckých spoločností a regulačné a ekonomické rámce daného regiónu. Všetky spomenuté faktory sú neoddeliteľnou súčasťou pri zabezpečovaní toho, aby krajina mohla upevniť, prípadne rozšíriť svoju globálnu leteckú sieť a tým doceliť zlepšenú leteckú konektivitu.

Jedným z faktorov je geografia, keďže výnimočne dôležitú úlohu hrá letecká konektivita v krajinách, ktoré majú izolované trhy leteckej dopravy. Do tejto kategórie je možné zaradiť ostrovy alebo veľké geografické oblasti. Je to zapríčinené tým, že cestujúci majú málo možných alternatív k leteckej doprave, ktoré by bolo možné zrealizovať. Avšak, práve geografická poloha môže umožniť zvýšenie schopnosti vybudovať dobre prepojenú sieť.

Ako bolo už niekoľkokrát spomenuté, letecká konektivita signifikantne podporuje hospodársky rast. Práve letiská sú dôležitou súčasťou pre modernú ekonomiku, pretože poskytujú konektivitu a umožňujú podnikom využiť zámorské príležitosti a rovnako uľahčujú tok cestujúcich. Preto je letisková infraštruktúra ďalším z faktorov, ktoré majú vplyv na konektivitu.

Vylepšenie dopravnej infraštruktúry spolu s rozvojom rozsiahlej siete môže znížiť všeobecné cestovné náklady pre cestujúcich a tovar. To je možné doceliť vďaka nižšiemu cestovnému, kratším cestovným časom a plynulejším spojeniam. Analyzovaním diania v rozvíjajúcich sa krajinách môžeme objasniť dôležitosť letiskovej infraštruktúry pre zlepšenie leteckej konektivity, opäť s cieľom podporiť hospodársky rast.

Obchodné modely leteckých spoločností patria medzi faktory, ktoré dokážu priamo ovplyvniť leteckú konektivitu. Dá sa povedať, že počas poslednej dekády boli leteckí dopravcovia nútení prijať nové modely, aby dokázali prežiť v často nepriaznivých trhových podmienkach. Práve tieto modely je možné zaradiť do troch kategórií: nízkonákladový operátor, sieťový operátor a hybridný.

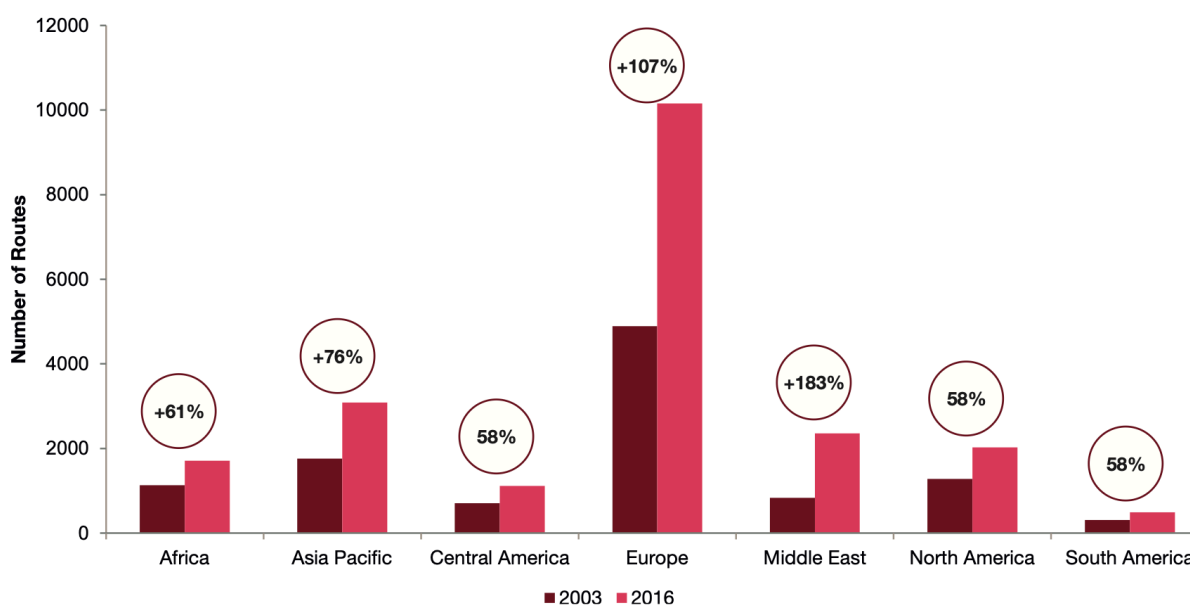
Verejná politika a regulácie môžu na jednej výrazne uľahčiť leteckú konektivitu, ale na druhej strane jej brániť práve tým, že obmedzí rozvoj siete leteckej dopravy v krajine.

Veľkosť a geografická poloha môžu mať vplyv aj na postoj vlády k liberalizácii ustanovení o vlastníctve leteckých spoločností. Faktom je, že na rozhodnutia o vlastníctve potrebujú krajiny súhlas všetkých bilaterálnych partnerov, ktorí sú pre ich trhy najvýznamnejší, čo môže

výrazne proces skomplikovať. V niektorých prípadoch môže hroziť odmietnutie leteckých spoločností, ktoré majú zahraničných vlastníkov.

2.2.2. Formovanie leteckej konektivity

Počas poslednej dekády sa udialo mnoho významných udalostí, ktoré otriasli leteckým priemyslom. Medzi takéto udalosti patria teroristické útoky, prírodné katastrofy, pandémie, slabá ekonomika a rastúce ceny pohonných hmôt. Aj napriek spomenutým aspektom preukázal letecký priemysel svoju odolnosť. Podľa Morphet a Bottini [22] za svoju odolnosť vďaka schopnosti prispôsobovať sa rôznym potrebám neustále sa vyvíjajúceho trhu.



Obrázok 3 - Počet medzinárodných ciest v regiónoch : 2003 vs 2016 [22]

Ďalej je možné zo štúdie zistiť, že ak vezmeme do úvahy počet priamych medzinárodných trás ako zástupcov na meranie konektivity na regionálnej úrovni, je možné vyčítať, že výrazný

nárast bol pozorovaný na Blízkom východe a v Ázii, ale aj v Európe, kde sa počet letových ciest zvýšil od roku 2003 o stosedem percent, čo je možné pozorovať aj na obrázku číslo 3. Za tento nárast v Európe je zodpovedná zvýšená penetrácia nízkonákladových spoločností a následný nárast ponuky služieb “point-to-point“.

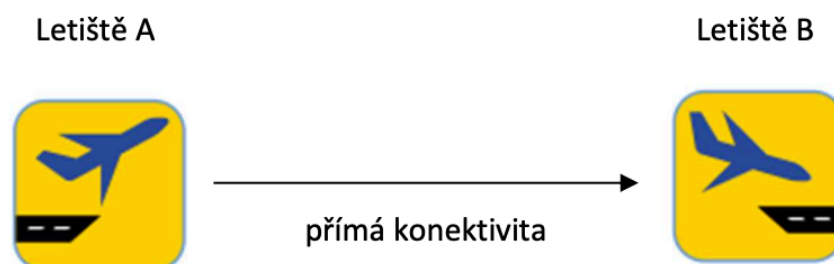
2.3. Druhy leteckej konektivity

Podľa dokumentu od IATA [5] sme dďaka rôznym meraniam leteckej konektivity schopní pozorovať a analyzovať rôzne aspekty konektivity, medzi ktoré patria cestovné náklady, počet spojení, kvalita spojení, počet obsluhovaných destinácií, frekvencia služieb a spoľahlivosť spojení. Existuje veľké množstvo spôsobov merania konektivity, ktoré vo väčšej či menšej miere zahŕňajú spomínané faktory. Výber výpočtu konektivity závisí od praktickej otázky, na ktorú je potrebné odpovedať.

V leteckom priemysle je dôležitým procesom výpočet sieťovej konektivity. Tento proces slúži k určeniu efektívnosti, výkonnosti a vzájomnej dostupnosti medzi letiskami.

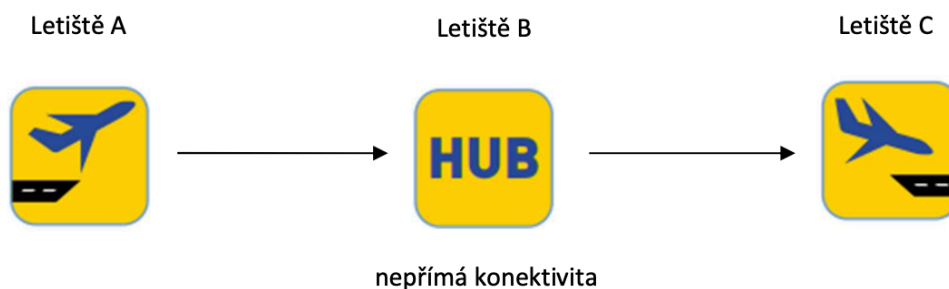
Podľa Burghouwt z roku 2013 [23] vieme pri sledovaní a analyzovaní letísk rozlíšiť štyri typy leteckých konektív: [23]

- Priama konektivita
- Nepriama konektivita
- Hub konektivita
- Celková konektivita



Obrázok 4 - Grafické znázornenie priamej konektivity [25]

Vo všeobecnosti priama konektivita meria počet destinácií, ktoré môžu cestujúci dosiahnuť bez medzipristátia. Ide o súčin jednotlivých leteckých liniek prevádzkovou frekvenciou daného spoja, uvádza sa v dokumente IATA a v Airport industry connectivity report z roku 2017 [5, 24] Na obrázku číslo 4 vidíme grafické znázornenie priamej konektivity. Na letisku A je skúmaná konektivita a letisko B reprezentuje všetky destinácie, ktoré sú spojené s letiskom A priamym spojením.



Obrázok 5 - Grafické zobrazenie nepriamej konektivity [25]

V prípade nepriamej konektivity sa jedná o počet destinácií, ktoré sú prístupné pre cestujúcich s prestupným letom. (IATA, 2020) [5] Podľa ACI [25] je nepriama konektivita definovaná aj ako počet nepriamych pravidelných letov, ktoré začínajú na letisku A a sú vedené do všetkých ostatných letísk, označených C cez uzlové letisko H alebo takzvaný "hub". Práve schému nepriamej konektivity vidíme na obrázku 5.

V tomto type konektivity sa tiež stretávame s priamou konektivitou. Konkrétne pri lete z letiska A do letiska B, ktoré sa ale v tomto prípade stáva iba prestupným bodom. Práve spojením dvoch nadväzujúcich priamych liniek vznikne nepriamy spoj, ktorý vystupuje ako celok. To vyplýva z Airport industry connectivity report z roku 2016. [25]

"Hub" konektivita je považovaná za jeden z najdôležitejších spôsobov hodnotenia letísk. Posudzuje a meria , koľkokrát sa konkrétne letisko stalo prestupným mostom. [25]

Vo všeobecnosti je letecká sieť definovaná počtom destinácií, ktoré dané letisko obsluhuje. V tomto prípade sa do úvahy neberú frekvencie jednotlivých liniek ani nepriame spojenia, na základe ktorých je celková hodnota konektivity letiska ovplyvnená.



Ucelený pohľad na prevádzkovanú sieť konkrétneho letiska vieme získať vďaka celkovej konektivite alebo indexu konektivity. Po získaní celkovej konektivity zo súčtu priamej a nepriamej konektivity je možné určiť, ako dobre je dané letisko prepojené so zvyškom sveta. [25]

V prípade analyzovania konektivity je možné definovať ešte ďalšie typy konektivity. Jedná sa konkrétne o absolútnu a relatívnu konektivitu, leteckú konektivitu prispôbenú ekonomickej veľkosti, konektivitu zameranú na veľkosť populácie, celkovú a medzinárodnú konektivitu, intra-regionálnu konektivitu. V prípade celkovej a medzinárodnej konektivity je potrebné spomenúť, že nejde o rovnakú konektivitu, ktorá bola opisovaná ako súčet priamej a nepriamej konektivity. Celková konektivita v tomto kontexte predstavuje súhrn domácich a medzinárodných letov. (IATA, 2020) [5]

2.4. Centralita

Bhasin vo svojej publikácii [38] tvrdí, že v teórii grafov je centralita veľmi dôležitým konceptom, ktorý slúži na identifikáciu významných uzlov v grafe. Využíva sa na meranie dôležitosti alebo centrality rôznych uzlov v grafe. Každý uzol môže byť dôležitý z rôznych uhlov v závislosti na tom, ako je definovaná dôležitosť. Existujú rôzne typy centrality a každý typ definuje dôležitosť uzla z inej perspektívy a následne poskytuje relevantné analytické informácie o grafe a jeho uzloch.

Ukazovatele centrality v teórii grafov a sieťovej analýze priradujú čísla alebo poradie uzlom v rámci grafu, v závislosti na ich polohe v sieti. Vo všeobecnosti sa táto metóda aplikuje aj na identifikáciu najvplyvnejších osôb v sociálnej sieti, kľúčových infraštruktúrnych uzlov, super-šíriteľov chorôb a podobne. Vyplýva to zo štúdie Van Den Heuvel z roku 2013 [28] a Saberi z roku 2021. [29]

Metódy centrality boli prvýkrát vyvinuté v analýze sociálnych sietí. Je badateľné, že mnohé z výrazov, ktoré sa využívajú na meranie centrality odrážajú ich sociologický pôvod. [30] Postupom času sa tento koncept rozšíril aj do iných oblastí.

Prvotné miery centrality boli popísané Freemanom v roku 1978 [31], ktorý vykonal výskum popisujúci vzájomný vzťah centrality a efektivity. Na základe výskumu je možné tvrdiť, že centralita vystihuje dôležitosť a postavenie konkrétnych uzlov v skúmanej sieti. O pár rokov



neskôr bol Freemanov postoj k sieti uplatnený v oblasti sieťovej analýzy a analýzy dopravných sietí.

Freeman [31] a Opsahl [32] tvrdia, že na hodnotenie uzlov vo vybranej sieti využívame niekoľko druhov centrality:

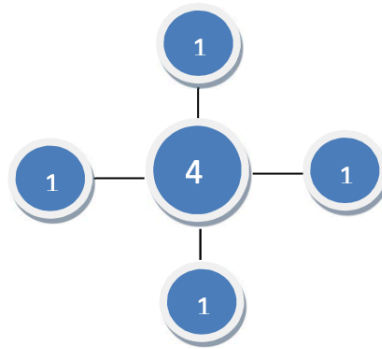
- “Degree centrality“
- “Weighted centrality“
- “Betweenness centrality“
- “Closeness centrality“

V slovenskom jazyku ich evidujeme ako:

- Priama centralita
- Vážená centralita
- Prestupná centralita
- Centralita dostupnosti

2.4.1. Priama centralita

Za najzákladnejšiu centralitu definujúcu stupeň uzla v sieti je považovaná priama centralita. Pomocou priamej centrality je možné stanoviť počet priamych spojení, teda počet hrán, ktoré z uzla vystupujú. Je zrejmé, že pomocou priamej centrality je definovaný počet pravidelných liniek konkrétneho letiska, vďaka ktorému je odzrkadlená aktivita letiska v leteckej sieti. [32, 33]

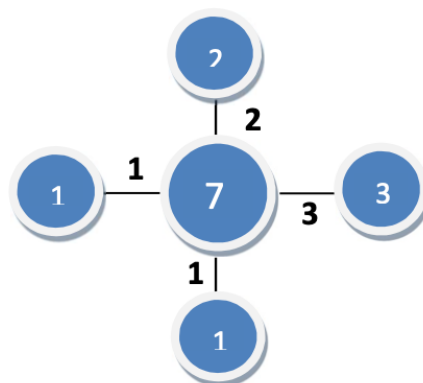


Obrázok 6 - Schématické znázornenie priamej centrality

Na obrázku 6 máme znázornenú schému priamej centrality pozostávajúcu z piatich uzlov. Je zrejmé, že letisko s najvyššou centralitou je práve letisko s najväčším číslom uprostred, pretože má najviac priamych spojení s inými letiskami.

2.4.2. Vážená centralita

Freeman [31] a Opsahl [32] tvrdia, že vážená centralita súvisí s predchádzajúcou priamou centralitou. Každéj hrane, ktorá vystupuje z uzlu priraduje hodnotu, ktorá reprezentuje váhu danej hrany v sieti. Vzhľadom na letový poriadok prevádzkuje každé letisko svoje pravidelné linky s určitou frekvenciou. Práve táto frekvencia určuje opakovanie linky počas obdobia siedmich kalendárnych dní. V závislosti na tejto frekvencii je možné ohodnotiť každý spoj. Pomocou tejto váhy sa dá určiť vážená centralita každého letiska.

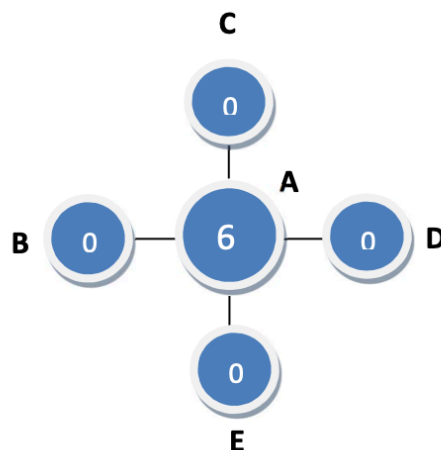


Obrázok 7 - Schématické znázornenie váženej centrality

Obrázok 7 ukazuje usporiadanie piatich uzlov. Každá z hrán bola ohodnotená a následne, po sčítaní hodnotených hrán je vypočítaná vážená centralita. Letisko v strede je letisko s najvyššou váženou centralitou.

2.4.3. Prestupná centralita

V leteckej sieti udáva prestupná centralita vysokú hodnotu letiskám, ktoré sa často objavujú ako medzizastávka na linkách medzi inými dvojicami miest bez priameho spojenia. V tomto prípade bude letisko, ktoré plní funkciu "hubu" dosahovať vysokú hodnotu prestupnej centrality, tvrdí Roucolle. [35]



Obrázok 8 - Schématické znázornenie prestupnej centrality

Na predchádzajúcom obrázku 8 je zobrazená sieť, kde je možné ohodnotiť jednotlivé letiská podľa ich prestupnej centrality. Okrajové letiská majú hodnotu nula z dôvodu, že ich nie je možné využiť na prestup pre ďalší let na nasledujúceho letiska. Letisko A má hodnotu šesť, pretože je cez toto letisko vedných šesť leteckých spojov.



2.4.4. Centralita dostupnosti

Farahani [34] vo svojej publikácii píše, že centralita dostupnosti kvantifikuje, ako rýchlo môže konkrétny uzol pristupovať ku všetkým ostatným uzlom v sieti. Inak povedané, čím centrálnější uzol je, tým bližšie je ku všetkým ostatným uzlom.

Čo sa týka leteckej dopravy, tam centralita dostupnosti odzrkadľuje ako konkrétne letisko dokáže dosiahnuť všetky ostatné letiská vďaka pravidelným linkám. Jednotlivé uzly v sieti sú evaluované na základe najkratšej cesty v sieti, ktorá vedie do všetkých ostatných letísk. [32, 33]

Na nasledujúcej schéme znázorňujúcej centralitu dostupnosti je možné vidieť, že okrajové uzly siete dosahujú najvyššie hodnoty v porovnaní s centrálnym uzlom, ktorý dosahuje hodnotu menšiu.

2.4.5. IATA air connectivity index

IATA vyvinula ukazovateľ konektivity na meranie stupňa integrácie krajiny do globálnej siete leteckej dopravy. Jedná sa o zložené meranie, ktoré odzrkadľuje počet a ekonomický význam destinácií, ktoré sú obsluhované z hlavných letísk krajiny a počet nadväzujúcich spojení dostupných z každej destinácie.

Indikátor konektivity je založený na počte dostupných ročných sedadiel pre každú destináciu v rokoch 2014 až 2019. Dostupnú kapacitu sedadiel bolo možné získať z SRS Analyser, čo je komplexná databáza, ktorá obsahuje cestovné a cargo cestovné poriadky pre viac ako deväťsto leteckých spoločností na celom svete. Následne sa počet dostupných sedadiel v každej destinácii váži podľa veľkosti cieľového letiska. Výsledná váha pre jednotlivé destinácie naznačuje ekonomický význam daného cieľového letiska a počet nadväzujúcich spojení, ktoré môže poskytnúť. Na základe toho môže byť ukazovateľ konektivity pre konkrétne letisko reprezentovaný ako súčet všetkých cieľových vážených dostupných sedadiel z letiska na všetky cieľové letiská.



2.4.6. Model NetScan

Jednou z najrozšírenejších metód na výpočet konektivity je metóda nazývaná NetScan, ktorá sa od jej vývinu modifikovala.

Model NetScan bol prvotne vyvinutý kvôli výskumu, ktorý bol zameraný na index kvality a počet nadväzujúcich letov z letiska Schipol v Amsterdame v roku 1997. O tri roky neskôr, v roku 2000 bol model využitý na vyhodnotenie a porovnanie globálnej konektivity letísk medzinárodnou organizáciou IATA. [26]

V súčasnosti spoločnosťou ACI Europe využívaný model NetScan vykazuje skóre leteckej konektivity pre jednotlivé letiská a zahŕňa tri typy leteckej konektivity: priamu, nepriamu a celkovú alebo letiskovú, ktorá je súčtom priamej a nepriamej. Na rozdiel od IATA indexu leteckej konektivity, ktorý analyzuje vzdušnú konektivitu pre mestá, krajiny a regióny a slúži tvorcom politik na zlepšenie leteckej konektivity s cieľom podporiť ekonomický rast, hlavnou aplikáciou modelu NetScan je konkurenčná analýza sietí leteckých spoločností a letísk. [5]

2.5. Odolnosť a robustnosť leteckej siete

Lordan a kol. [13], ktorý sa zaoberal odolnosťou leteckej siete tvrdí, že je zrejmé, že letecká sieť jednou z najdôležitejších a kritických infraštruktúr v dnešnej globálnej ekonomike. Avšak, rovnako ako aj v prípade iných sietí, aj napriek svojej kritickej dôležitosti môže byť letecká sieť zraniteľná voči incidentom a niektoré letiska sa ocitli alebo sa môžu ocitnúť na pokraji zlyhania. Okrem toho, že narušenie siete môže vyústiť do veľkých ekonomických strát, môže dôjsť k obmedzeniu funkčnosti alebo v horšom prípade aj k samotnému rozpadu siete. To môže viesť k úplnému pozastaveniu toku v sieti. Práve preto je odolnosť leteckej siete považovaná za aspekt, vďaka ktorému je možné sieť ohodnotiť. Práve odolnosť leteckej siete je možné sledovať a analyzovať pomocou robustnosti. Robustnosť je schopnosť siete udržať prevádzku aj počas krízy. V prípade sledovania leteckej siete sa určuje, ako dlho dokáže udržať svoju prevádzkovú schopnosť a kedy ju úplne stratí.

K obmedzeniu alebo prerušeniu toku leteckej dopravy môže dôjsť z rôznych dôvodov. Vo väčšine prípadov sú za obmedzenie leteckej dopravy zodpovedné neočakávané udalosti, medzi ktoré patria teroristické útoky, prírodné katastrofy, protesty zamestnancov a podobne. Aby došlo k čo najmenšiemu obmedzeniu alebo narušeniu siete, je potrebné, aby sa na podobné udalosti včas a rýchlo reagovalo. Napríklad zavedením prísnejších bezpečnostných



kontrol na letiskách, ako reakciu na teroristické útoky, aby bolo možné zamedziť výskytu nebezpečných látok a predmetov na palubách lietadiel.

Lordan a kol. [13] vysvetľuje, že obmedzenie toku leteckej dopravy môžu byť vykonané aj zámerne. Dobrým príkladom je vypuknutie pandémie, kedy boli lety obmedzené za účelom zníženia rizika šírenia choroby.

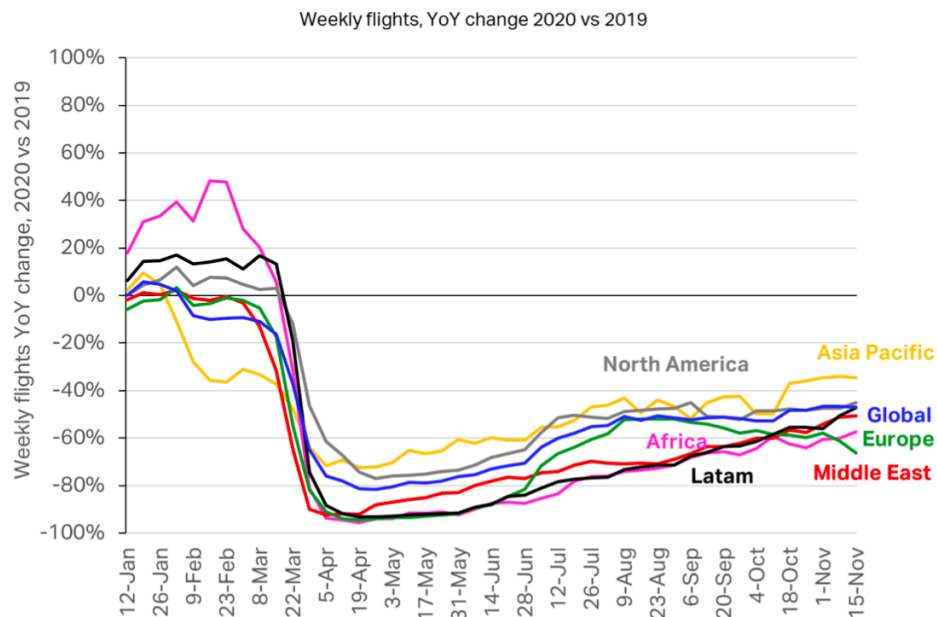
Lordan a kol. (2015) [36] uvádza, že v literatúre o robustnosti siete sa rozlišuje medzi chybami, odstránením alebo izoláciou jedného alebo viacerých náhodne vybraných uzlov a útokmi, ktoré spočívajú v odstránení alebo izolácii uzlov, ktoré zohrávajú zásadnú úlohu pri udržiavaní konektivity.

V tejto práci som sa zamerlal na skúmanie odolnosti leteckej siete z hľadiska toho, do akej miery boli jednotlivé letiská schopné udržať prevádzku počas najväčšej krízy spojenej so zámerným obmedzením toku leteckej dopravy za účelom zníženia šírenia korónového vírusu. Ďalej bolo pozorované, ako rýchlo sa bola letecká sieť v USA schopná regenerovať po období najväčšieho poklesu leteckých spojení.

2.6. Vplyv pandémie Covid-19 na leteckú konektivitu

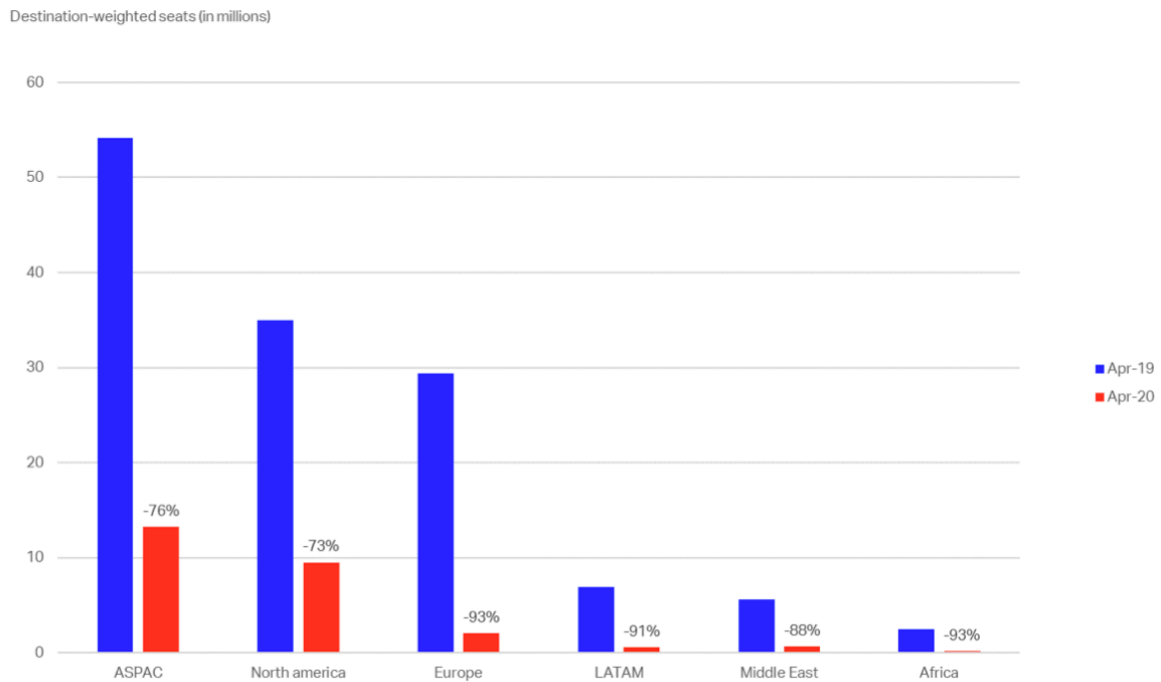
Rok 2020 bol bezpochyby zničujúcim rokom pre letecký priemysel, ktorý bol zasiahnutý omnoho viac ako iné odvetvia v dôsledku opatrení zavedených národnými vládami na potlačenie pandémie a následného zníženia dopytu po leteckej doprave v Európe aj USA. [37] Práve tieto prijaté opatrenia viedli k takmer úplnému zastaveniu domácej aj medzinárodnej leteckej dopravy. Výsledkom toho bola výrazne prerušená konektivita na celom svete. Nejednalo sa však len o medzinárodnú dopravu. Niektoré krajiny v rámci opatrení zrušili aj veľký počet vnútroštátnych letov. Vplyvom týchto krokov dramaticky klesol počet takzvaných "city-pairs", ktorý vo svojom najnižšom bode dosahoval hodnotu až o 67 percent nižšiu ako v ten istý čas v roku 2019. (IATA, 2020) [5]

V dokumente od IATA (2020) [5] je možné pozorovať, že od najkritickejšieho bodu pandémie, ktorý sa nachádzal v apríli 2020 sa počet letov začal zotavovať, za čo mohlo opätovné otvorenie domácich trhov a zrušenie obmedzení medzinárodného cestovania v niektorých krajinách. Je nutné poznamenať, že v najviac pandémiou postihnutom období boli celosvetové lety až 80 percent pod úrovňou, ktorá bola pozorovaná na začiatku roku.

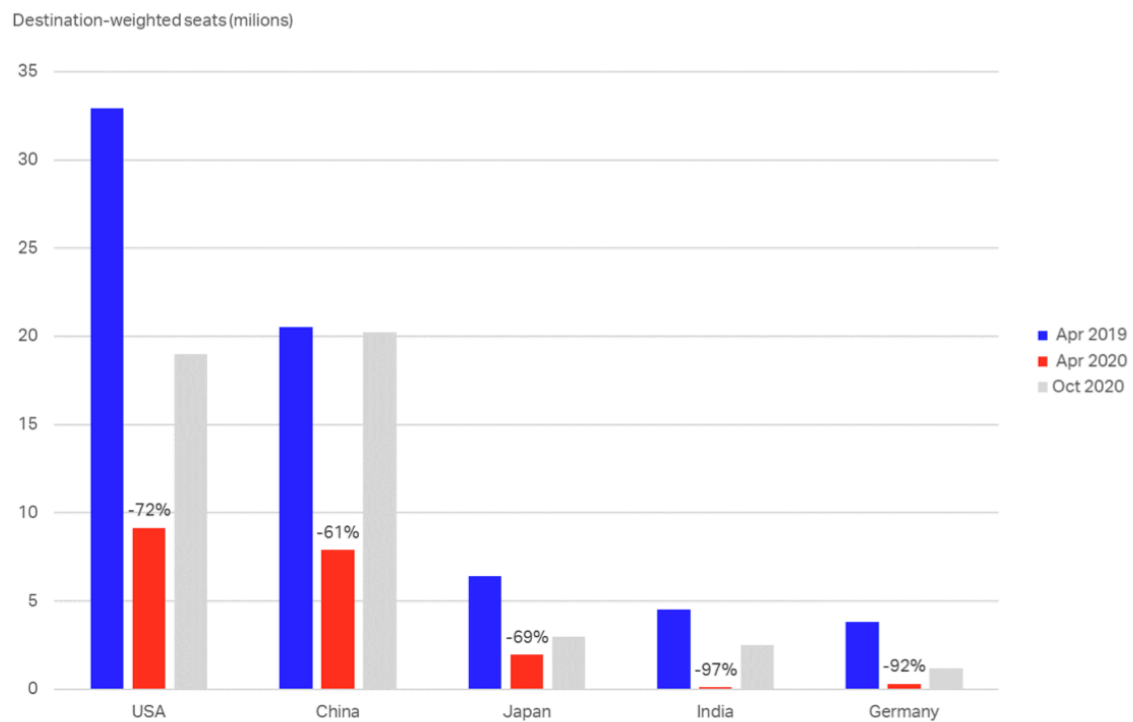


Obrázok 9 - Globálne a regionálne odlety [5]

Pomocou grafu na obrázku 9 je možné potvrdiť, že celosvetovo najviac postihnutým obdobím pandémie Covid-19 bol mesiac apríl v roku 2020. Ďalej je možné pozorovať aj 80 percentný pokles týždenného počtu letov vo väčšine regiónov od začiatku roka 2020 do apríla 2020. Keď sa pozrieme na tempo, akým sa letecká doprava obnovovala, vidíme, že sa líši v závislosti na regióne. Čo sa týka mnou skúmanej Severnej Ameriky, lety tam zaznamenali menší pokles v porovnaní s väčšinou ostatných regiónov. Za to môže primárne dobre rozvinutý domáci trh v danom regióne.

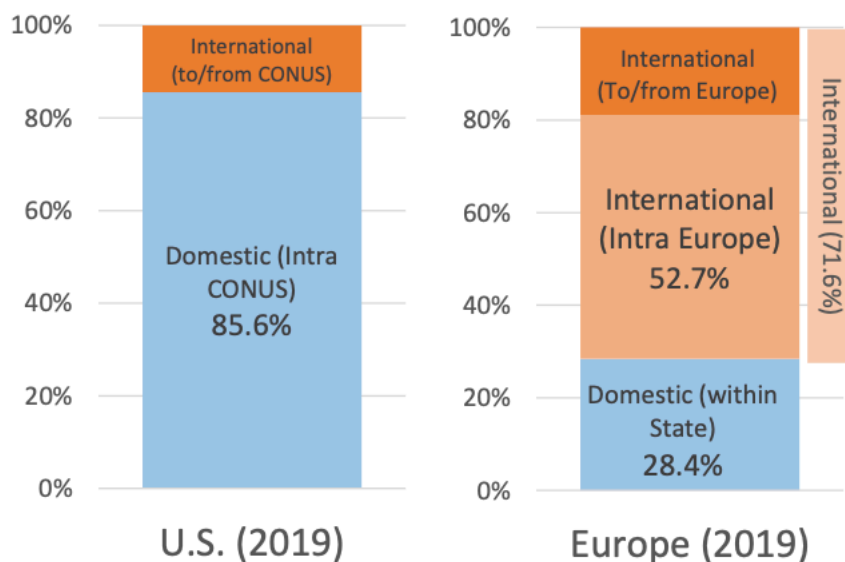


Obrázok 10 - Narušenie leteckej konektivity v jednotlivých regiónoch [5]



Obrázok 11 - Narušenie leteckej konektivity v 5 najviac prepojených krajinách sveta [5]

Vďaka analyzovaniu zmien v leteckej konektivite je možné získať ďalší pohľad na dopad pandémie v rôznych častiach sveta. Na obrázku 10 vidíme, že pomocou už spomínaného IATA indexu konektivity je ukázané, aké význačné narušenia boli pozorované v rôznych regiónoch. V prípade Severnej Ameriky, ktorá patrí medzi najviac prepojené regióny na svete je vidieť, že práve vďaka veľkému domácomu trhu nebola konektivita ovplyvnená do takej miery ako v iných regiónoch. Za to vďaka schopnosti domácich trhov leteckej dopravy viac odolávať prerušeniam leteckých spojení. Konkrétne v Spojených štátoch amerických, ktoré patria medzi 5 najlepšie prepojených krajín sveta, bolo vidieť, že aj v najvyššom bode pandémie dokázali udržať prevádzku domácich letov. (Obrázok 11) Zároveň sa od nich očakáva, že sa zotavia rýchlejšie ako medzinárodná letecká doprava, práve kvôli vysokej potrebe obyvateľov využívať domáce lety, čo vyplýva z dokumentu, ktorý vydala IATA v roku 2020. [5]



Obrázok 12 - Podiel domácej a medzinárodnej dopravy v USA a v Európe (2019) [37]

Obrázok 12 nám ukazuje podiel domácich a medzinárodných letov v USA a v Európe. Podiel medzinárodných letov do a z príslušného regiónu je v Európe o niečo vyšší, ale v oboch prípadoch pod 20% z celkového počtu letov (tmavo oranžová). Zatiaľ čo v USA 85,6% tvorí vnútroštátna doprava, v Európe je situácia iná. Práve vysoký podiel domácej dopravy v USA je zodpovedný za zníženie dopadu obmedzení spojených s cestovaním leteckou dopravou na leteckú sieť v USA. Rovnako hrá dôležitú úlohu pri rýchlej obnove leteckých spojení v druhej polovici roka 2020.



3. Metodológia

Na vyhodnotenie boli využité hodnoty stupňa a váženého stupňa, pretože sa dá na základe ich porovnania pre jednotlivé obdobia prehľadne určiť, ako vývin pandémie ovplyvňoval letecké spojenia v danej sieti.

Stupeň je považovaný za základný parameter pri hodnotení leteckej siete. Vyjadruje počet priamych spojení alebo hrán, ktoré z daného letiska alebo uzla vystupujú. Vybrali sme stupeň, ako jeden z faktorov, ktorý sme skúmali, pretože vďaka nemu je možné vyobraziť aktivitu letiska v leteckej sieti.

Vážený stupeň uzla vychádza zo stupňa. Je založený na počte hrán pre daný uzol, ale berie do úvahy aj hmotnosti každej hrany. Hmotnosť hrany si môžeme predstaviť ako frekvenciu. Každé letisko prevádzkuje linky s určitou frekvenciou. Práve frekvencia udáva opakovanie danej linky za obdobie sedem kalendárnych dní. Keďže vážený stupeň berie do úvahy aj frekvenciu letov, považujeme ho za výborný ukazovateľ leteckej konektivity. V prípade Spojených štátov amerických sa jedná o silnú sieť domácich letov, ktoré sú prevádzkované vo veľkých frekvenciách, vážený stupeň preto považujeme za dobrý faktor, ktorý je možné využiť pre naše porovnanie.

Pre porovnanie sme pre získané hodnoty stupňa a váženého stupňa vypočítali aritmetický priemer. Výpočet aritmetického priemeru sme zvolili, pretože rozdiely medzi analyzovanými hodnotami nie sú extrémne a teda hodnota aritmetického stupňa nebude negatívne ovplyvnená. Následne sme vypočítali aj medián, aby sme mohli vykonať porovnanie mediánu a priemeru. Práve medián sme zvolili preto, lebo pri práci s extrémnymi hodnotami môže byť aritmetický priemer znehodnotený. Aj keď rozdiely medzi hodnotami neboli extrémne, umožní nám to potvrdiť výsledky získané aritmetickým priemerom.

Na základe získaných dát zo softvéru Flightera boli následne spracované v aplikácii Gephi. Vďaka nej sme boli schopní z našich informácií o letoch z jednotlivých letísk získať hodnoty stupňa a váženého stupňa. Po získaní potrebných hodnôt sme ich importovali do programu Microsoft Excel a určili aritmetický priemer a medián pre jednotlivé letiská. To nám umožnilo určiť obdobie, kedy letecká konektivita v Spojených štátoch amerických dosahovala najnižšiu hodnotu, ktorá súvisela s vývojom a šírením pandémie. Po dosiahnutí najväčšieho prepadu bolo tiež možné sledovať, akým tempom letecká konektivita opäť rástla s postupným čiastočným uvoľňovaním obmedzení týkajúcich sa domáceho aj medzinárodného cestovania.



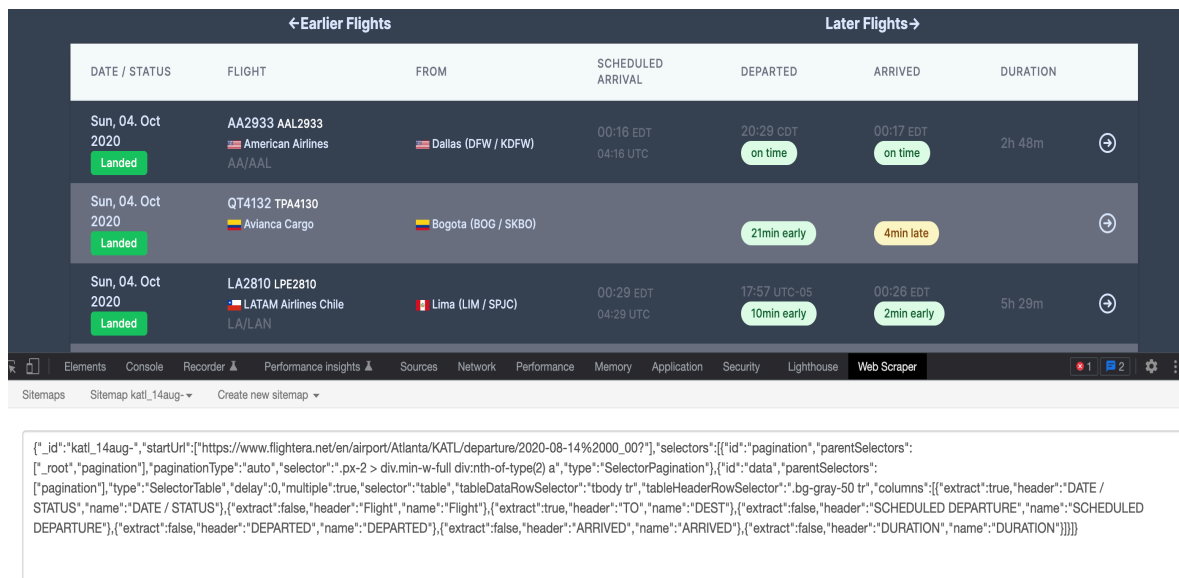
Na vyobrazenie získaných dát a priebehu konektivity počas pandémie boli využité krabicové grafy. Tie slúžia na grafickú vizualizáciu dát pomocou ich kvartálov. Krabicový graf je ohraničený zospodu prvým kvartálom a zvrchu tretím kvartálom. Medzi týmito hranicami sa nachádza medián. Ďalej môže krabicový graf obsahovať čiary, ktoré vychádzajú zo strednej časti diagramu a vyjadrujú variabilitu dát pod prvým a nad tretím kvartálom. Jednotlivé body, ktoré je možné pri krabicových diagramoch pozorovať reprezentujú odľahlé hodnoty. Rozhodli sme sa ich použiť, pretože jednou z výhod, ktorou disponujú je, že zaberajú menej miesta a sú prospešné pre porovnanie medzi väčším množstvom dát. Ďalej sme pomocou odľahlých hodnôt dokázali určiť najodolnejšie spojenia, ktoré jednotlivé letiská mali. To sme vykonali na základe toho, či a ako sa vysoké odľahlé hodnoty menili počas sledovaného obdobia.

Výborným a jasným ukazovateľom leteckej konektivity je aj samotný počet letov za deň. Aby sme získali lepšiu predstavu o odolnosti leteckej siete v Spojených štátoch amerických, využili sme dáta analyzované v správe o vplyve ochorenia Covid 19 na poskytovanie leteckých navigačných služieb v Európe a USA. Z nich je možné vidieť rozdiel v schopnosti udržať prevádzku leteckých spojení aj počas krízy, ktorou v našom prípade bola pandémia.

3.1. Získavanie dát o prevádzke na letiskách v USA

Cieľom práce je zmapovať, analyzovať a vyhodnotiť, akým spôsobom bola zaistená konektivita leteckej dopravy v rámci siete leteckých spojení v Spojených štátoch amerických počas pandémie Covid-19 a následne určiť, či a kedy je možné považovať túto leteckú sieť za odolnú. Preto boli pre účel tejto práce využité dáta z veľkých a významných letísk z pohľadu prepojenia v Spojených štátoch amerických. Konkrétne boli získané dáta zo šesťnástich letísk, ktoré patria podľa rebríčku od OAG k najlepšie prepojeným letiskám v USA. OAG Analyzer je online dotazovací nástroj určený na prístup k údajom o pláne a kapacite na analýzu a prieskum trhu. Prináša celosvetové informácie o cestovnom poriadku leteckých spoločností na dosah ruky vývojárov letísk alebo expertov a analytikov z leteckého priemyslu.

Dáta, ktoré boli v práci využité pre spracovanie, boli získané z verejne dostupnej internetovej stránky www.flightera.net. Flightera.net je jednou z popredných webových stránok na sledovanie letectva a letových údajov na celom svete. Údaje z rôznych zdrojov sú využívané, aby bolo možné zobrazovať informácie o meškaniach letov, štatistiky včasnosti letísk a informácie o leteckých spoločnostiach. Stránka využíva na generovanie informácií množstvo voľne dostupných zdrojov. Medzi tieto zdroje patria letecké spoločnosti, letiská a údaje o sledovaní lietadiel.



The screenshot shows a flight status page with a table of flights. The table has columns: DATE / STATUS, FLIGHT, FROM, SCHEDULED ARRIVAL, DEPARTED, ARRIVED, and DURATION. Three flights are listed for Sunday, 04. Oct 2020:

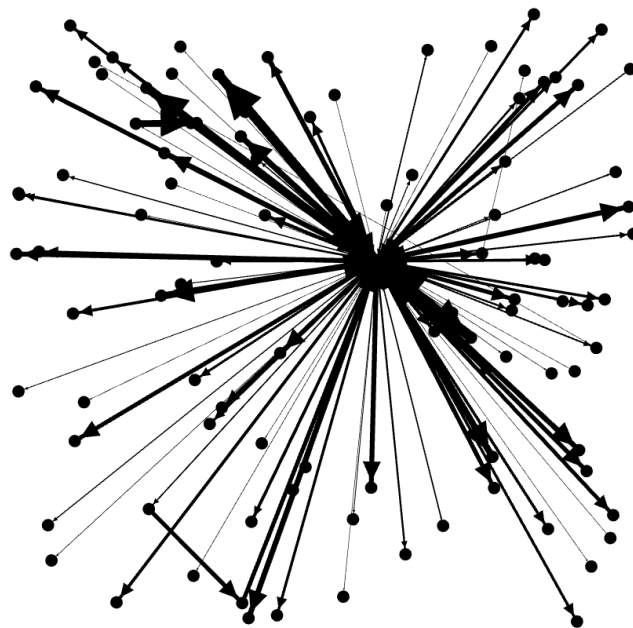
DATE / STATUS	FLIGHT	FROM	SCHEDULED ARRIVAL	DEPARTED	ARRIVED	DURATION
Sun, 04. Oct 2020 Landed	AA2933 AAL2933 American Airlines AA/AAL	Dallas (DFW / KDFW)	00:16 EDT 04:16 UTC	20:29 CDT on time	00:17 EDT on time	2h 48m
Sun, 04. Oct 2020 Landed	QT4132 TPA4130 Avianca Cargo	Bogota (BOG / SKBO)		21min early	4min late	
Sun, 04. Oct 2020 Landed	LA2810 LPE2810 LATAM Airlines Chile LA/LAN	Lima (LIM / SPJC)	00:29 EDT 04:29 UTC	17:57 UTC-05 10min early	00:28 EDT 2min early	5h 29m

Below the table, a Web Scraper tool interface is visible, showing a site map configuration for data extraction:

```
[{"_id": "katt_14aug-", "startUrl": ["https://www.flightera.net/en/airport/Atlanta/KATL/departure/2020-08-14%2000_00?"], "selectors": [{"id": "pagination", "parentSelectors": [{"_root": "pagination"}, {"type": "SelectorTable", "delay": 0, "multiple": true, "selector": ".px-2 > div.min-w-full div:nth-of-type(2) a", "type": "SelectorPagination"}, {"id": "data", "parentSelectors": [{"pagination": "SelectorTable", "delay": 0, "multiple": true, "selector": ".table", "tableDataRowSelector": "tbody tr", "tableHeaderRowSelector": ".bg-gray-50 tr", "columns": [{"extract": true, "header": "DATE / STATUS", "name": "DATE / STATUS"}, {"extract": false, "header": "Flight", "name": "Flight"}, {"extract": true, "header": "TO", "name": "DEST"}, {"extract": false, "header": "SCHEDULED DEPARTURE", "name": "SCHEDULED DEPARTURE"}, {"extract": false, "header": "DEPARTED", "name": "DEPARTED"}, {"extract": false, "header": "ARRIVED", "name": "ARRIVED"}, {"extract": false, "header": "DURATION", "name": "DURATION"}]}]}]}
```

Obrázok 13 – “Site map“ na získavanie dát zo softvéru Flightera.net

Na získanie potrebných dát bol využitý softvér “web scraper“. “Web scraping“ je automatizovaný proces používaný na extrakciu údajov a dát z webových stránok pomocou robota alebo webového prehľadávača. Ide o formu kopírovania, pri ktorej sa zhromažďujú a kopírujú špecifické údaje z webu na neskoršie spracovanie alebo analýzu. Aby bolo možné získať požadované údaje, bolo potrebné v softvéri vytvoriť “site map“, ktorú vidíme na obrázku 13 a vďaka ktorej bolo možné získať požadované dáta.



Obrázok 14 - Vizualizácia dát v aplikácii Gephi

Id	Label	Interval	In-Degree	Out-Degree	Degree	Weighted In-Degree	Weighted Out-Degree	Weighted Degree	Eccentricity	Closeness Centrality	Harmonic Closeness Centrality
(ABQ / KA...	(ABQ / KA...	1	1	2	34.0	37.0	71.0	2.0	0.501916	0.503817	
(AFW / KA...	(AFW / KA...	1	1	2	21.0	2.0	23.0	2.0	0.501916	0.503817	
(ALW / KA...	(ALW / KA...	1	1	2	92.0	78.0	170.0	2.0	0.501916	0.503817	
(AMS / EH...	(AMS / EH...	1	1	2	33.0	34.0	67.0	2.0	0.501916	0.503817	
(ANC / PA...	(ANC / PA...	1	1	2	555.0	509.0	1064.0	2.0	0.501916	0.503817	
(ATL / KATL)	(ATL / KATL)	1	1	2	270.0	265.0	535.0	2.0	0.501916	0.503817	
(AUS / KA...	(AUS / KA...	1	1	2	102.0	101.0	203.0	2.0	0.501916	0.503817	
(BDL / KB...	(BDL / KB...	1	0	1	10.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	
(BFI / KBFI)	(BFI / KBFI)	1	1	2	5.0	7.0	12.0	2.0	0.501916	0.503817	
(BIL / KBIL)	(BIL / KBIL)	1	1	2	63.0	57.0	120.0	2.0	0.501916	0.503817	
(BJC / KB...	(BJC / KB...	1	0	1	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
(BLI / KBLI)	(BLI / KBLI)	1	1	2	143.0	146.0	289.0	2.0	0.501916	0.503817	
(BNA / KB...	(BNA / KB...	1	1	2	91.0	84.0	175.0	2.0	0.501916	0.503817	
(BOI / KBOI)	(BOI / KBOI)	1	1	2	539.0	507.0	1046.0	2.0	0.501916	0.503817	
(BOS / KB...	(BOS / KB...	1	1	2	186.0	172.0	358.0	2.0	0.501916	0.503817	
(BUR / KB...	(BUR / KB...	1	1	2	131.0	122.0	253.0	2.0	0.501916	0.503817	
(BWI / KBWI)	(BWI / KBWI)	1	1	2	61.0	64.0	125.0	2.0	0.501916	0.503817	
(BZN / KB...	(BZN / KB...	1	1	2	105.0	95.0	200.0	2.0	0.501916	0.503817	
(CDG / LF...	(CDG / LF...	1	1	2	48.0	45.0	93.0	2.0	0.501916	0.503817	
(CLT / KCLT)	(CLT / KCLT)	1	1	2	94.0	89.0	183.0	2.0	0.501916	0.503817	
(CMH / KC...	(CMH / KC...	1	1	2	35.0	29.0	64.0	2.0	0.501916	0.503817	
(CUN / M...	(CUN / M...	1	1	2	27.0	29.0	56.0	2.0	0.501916	0.503817	
(CVG / KC...	(CVG / KC...	1	1	2	32.0	27.0	59.0	2.0	0.501916	0.503817	
(DAL / KDAL)	(DAL / KDAL)	1	1	2	155.0	144.0	299.0	2.0	0.501916	0.503817	
(DCA / KD...	(DCA / KD...	1	1	2	67.0	63.0	130.0	2.0	0.501916	0.503817	
(DEN / KD...	(DEN / KD...	1	1	2	610.0	550.0	1160.0	2.0	0.501916	0.503817	
(DFW / KD...	(DFW / KD...	1	1	2	346.0	355.0	701.0	2.0	0.501916	0.503817	

Obrázok 15 - Dáta vypočítané v aplikácii Gephi

Aby bolo možné z našich získaných dát získať požadované údaje, využili sme program Gephi. Nástroj Gephi je aplikácia určená na analýzu komplexných sietí a ich následnú vizualizáciu. (Obrázok 14) Táto aplikácia nám umožnila získať hodnoty stupňa a váženého stupňa, ktoré sme využili pri analyzovaní jednotlivých mesiacov. (Obrázok 15)



3.2. Výsledky ťažby dát

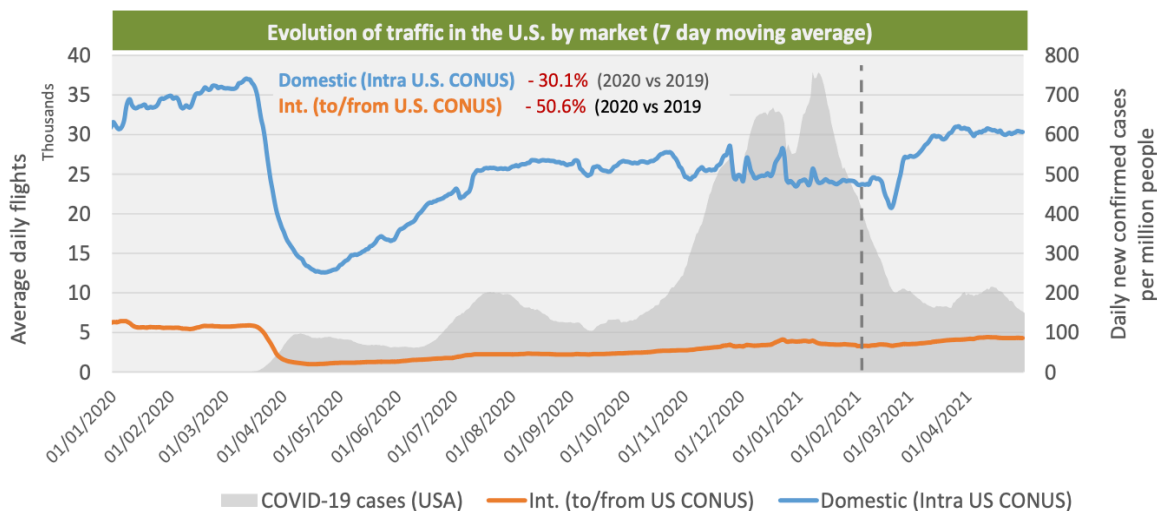
Pre moju prácu bolo získaných približne 4,5 milióna dát obsahujúcich informácie o priletoch a odletoch pre šesťnásť významne prepojených letísk. Vybrali sme štrnásť mesačné obdobie od začiatku novembra 2019 do konca decembra 2020. Zvolené obdobie nám poslúži ako dobrý indikátor toho, ako rýchlo a významne klesla konektivita s rapídnyim šírením pandémie. Konkrétne november 2019 je považovaný za jeden z mesiacov, kedy počet leteckých spojení dosahoval najvyššie hodnoty v doterajšej histórii. Je teda vhodný na porovnanie s ostatnými mesiacmi v roku 2020, kedy boli po celom svete postupne zavádzané vládne opatrenia s cieľom zamedziť šíreniu ochorenia Covid-19. Zároveň je to posledný mesiac predtým, ako začalo prvýkrát dochádzať k obmedzeniu leteckej dopravy.

Tabuľka 1 - Dáta upravené do kontingenčnej tabuľky

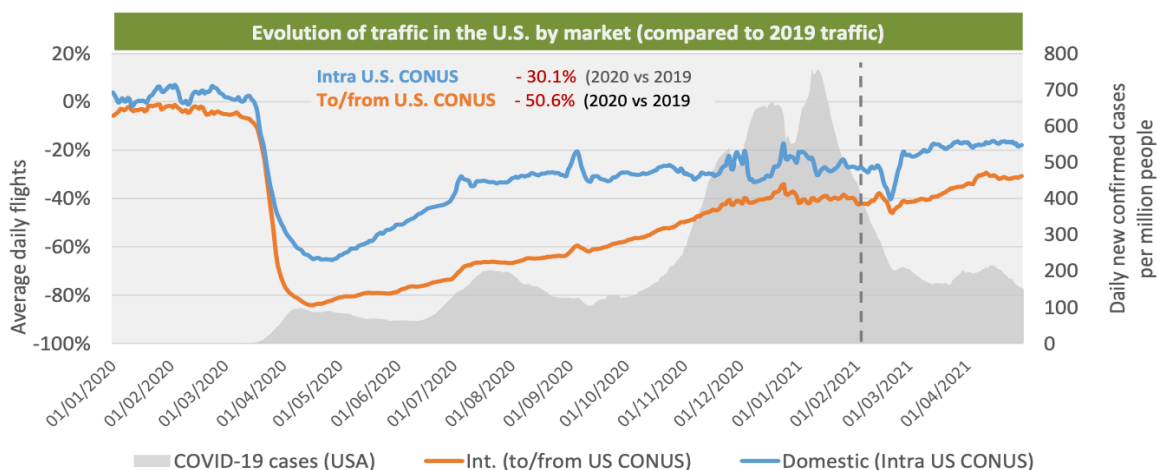
Row Labels	Fri, 03. Apr 2020	Fri, 10. Apr 2020	Fri, 17. Apr 2020	Fri, 24. Apr 2020	Mon, 06. Apr 2020	Mon, 13. Apr 2020	Mon, 20. Apr 2020	Mon, 27. Apr 2020	Sat, 04. Apr 2020	Sat, 11. Apr 2020
Landed	124	93	74	52	105	93	64	53	93	77
(ABQ / KABQ)	4	2	3	4	2	2	3	2	3	2
(ADS / KADS)										
(ALX / KALX)										
(AMA / KAMA)	1		1	1	1	1	1		1	1
(APA / KAPA)										
(ATL / KATL)	4	3	5	4	4	3	6	5	3	3
(AUS / KAUS)	2	3	4	3	3	4	6	4	1	2
(BHM / KBHM)	1	1	1	1	1	1			1	
(BNA / KBNA)	2	1	1	3	2	2	2	2	3	2
(BOS / KBOS)			1	1			1			
(BUR / KBUR)	1	1			1	1				1
(BWI / KBWI)	2	2	3	2	2	2	3	2	1	2
(CLD / KCRQ)										
(CLT / KCLT)	1	1	1		2	1	1	1	2	1
(CMH / KCMH)	1	1			1	1			1	2
(DCA / KDCA)	3	3	4	3	3	4	4	2	1	2
(DEN / KDEN)	2	3	2	1	4	1	1	1	3	3
(DTW / KDTW)	1	1			1	1			1	1
(ECP / KECP)	2	2			2	2			2	1
(ELP / KELP)	5	2	2	3	2	2	2	1	3	2
(FLL / KFLI)	2	2			2	2	1		4	1
(FTW / KFTW)										
(GGG / KGGG)										
(HHH / KHHD)										
(HOU / KHOU)	7	7	7	5	8	7	3	5	4	3
(CHS / KCHS)	1	1			1	1			1	1
(ICT / KICT)										
(IND / KIND)	1	2	1	1	1	1		1	1	1
(JAX / KJAX)									1	1
(LAS / KLAS)	3	3	2		3	3		1	3	1
(LAX / KLAX)	4	3	3	1	4	3	3	2	3	2
(LBB / KLBB)	3	2	2	1	2	2	1	2		1

Dáta, ktoré sme získali pomocou softvéru “web scraper“ sme importovali do programu Microsoft Excel. Tam sme ich následne spracovali a upravili do kontingenčných tabuliek, čo je možné vidieť v tabuľke 1. Následne sme využili program Gephi, ktorý nám pre jednotlivé mesiace určil hodnoty stupňa a váženého stupňa.

4. Analýza počtu denných letov

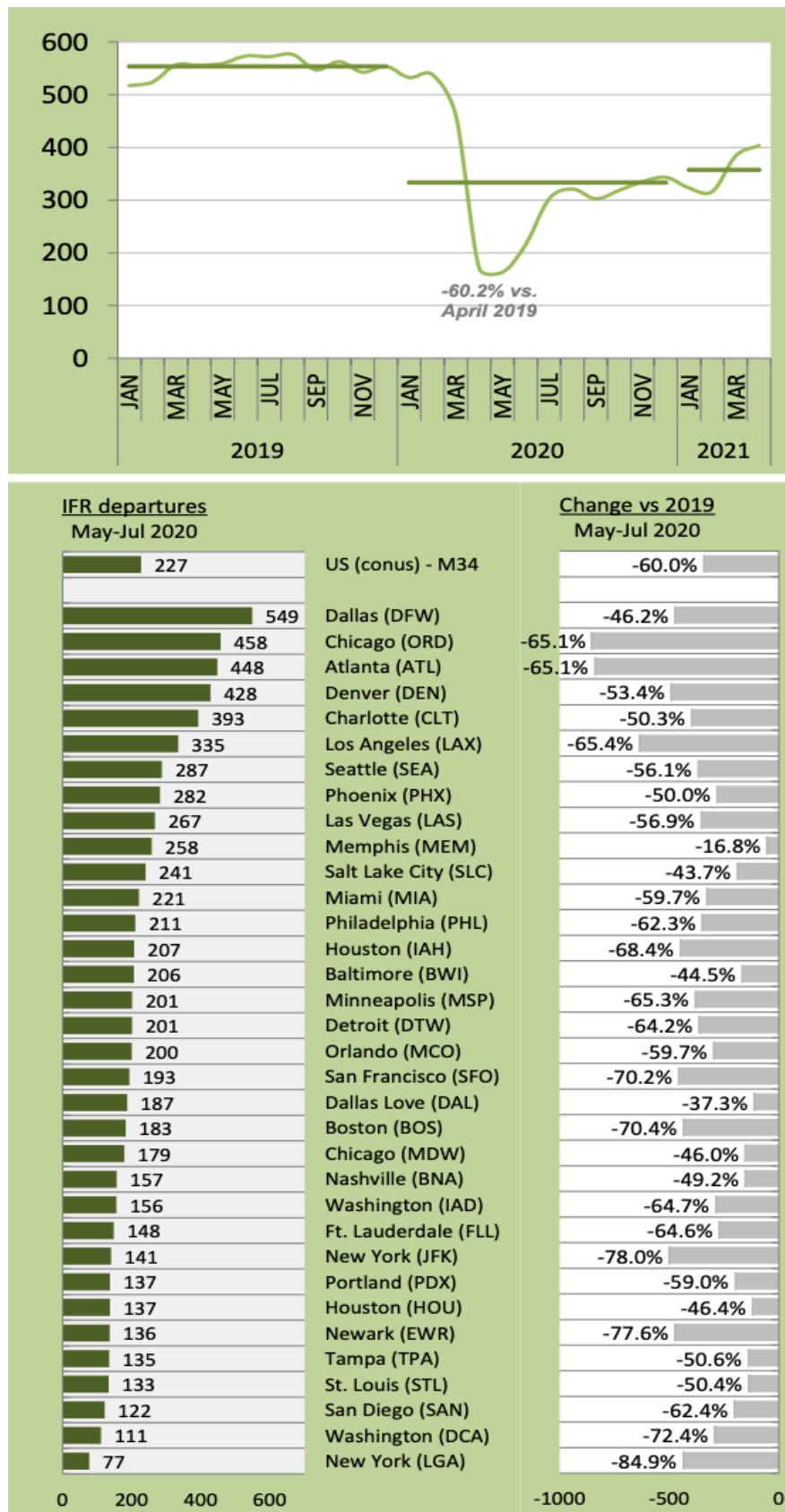


Obrázok 16 - Vývoj leteckej dopravy v USA podľa trhu (priemerné denné lety) [37]



Obrázok 17 - Vývoj leteckej dopravy v USA podľa trhu (vs 2019 doprava) [37]

Obrázky 16 a 17 znázorňujú vývoj domácej a medzinárodnej dopravy v Spojených štátoch amerických od začiatku pandémie. V USA došlo k zotaveniu veľkého domáceho trhu rýchlejšie a na konci apríla 2021 dosiahol približne 80% úroveň z roku 2019. Z tejto analýzy nám vyplýva, že vnútroštátna doprava je menej ovplyvnená ako medzinárodná doprava na oboch stranách Atlantiku. Práve tento veľký, dobre rozvinutý domáci trh prispel výraznou mierou k tomu, že v USA došlo k celkovo nižšiemu zníženiu konektivity.



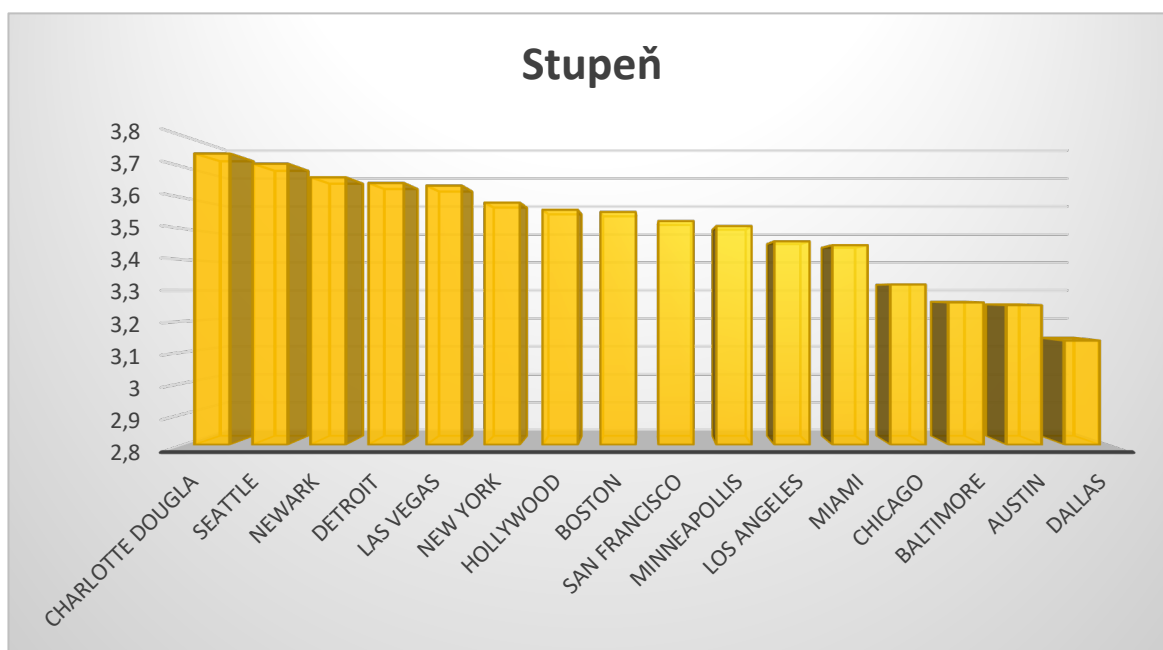
Obrázok 18 - Zmena odletov IFR na 34 hlavných letiskách v dôsledku Covid 19 [37]

Na obrázku 18 môžeme vidieť vývoj priemerného počtu denných odletov IFR na 34 hlavných amerických letiskách a zmenu na každom letisku počas najviac postihnutého obdobia od mája do júla každého roka.

V Spojených štátoch amerických pozorujeme najvyšší pokles v porovnaní s rokom 2019 v apríli 2020. Na 34 hlavných letiskách USA boli odlety v apríli 2020 o 60,2% nižšie ako v apríli 2019.

Ako sme už uviedli, výrazne nižší pokles konektivity v USA, v porovnaní s inými regiónmi, súvisí so silnejším domácim trhom, ktorý sa zdá byť menej ovplyvnený ako medzinárodné lety. "Huby" na ktorých prevláda silnejšia medzinárodná doprava, ako sú napríklad Atlanta, Chicago a San Francisco, boli postihnuté vyšším prepadom prevádzky v rámci USA.

4.1. Analýza siete počas skúmaného obdobia



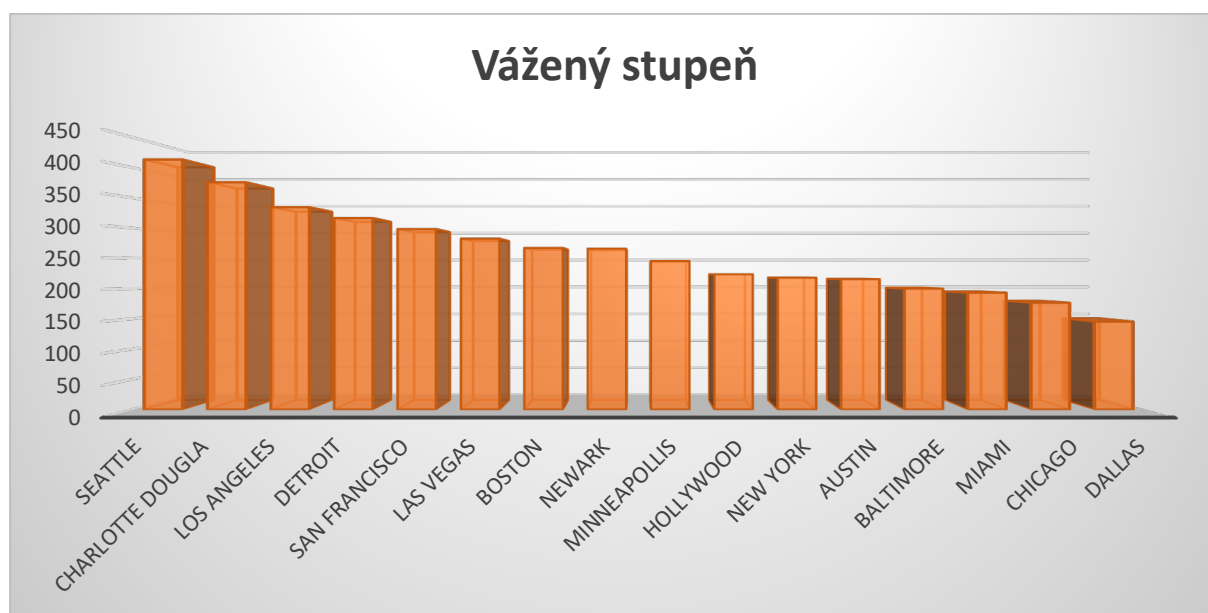
Obrázok 19 - Grafické znázornenie stupňa

Na grafe, ktorý je zobrazený na obrázku 19, je možné vidieť priemerné hodnoty stupňa pre každé skúmané letisko za obdobie 14 mesiacov. Na základe získaných hodnôt je možné určiť,

ktoré letiská dokázali udržať leteckú prevádzku najlepšie v závislosti na šírení pandémie a s ňou spojeným rušením leteckých liniek.

Medzi tri letiská s najvyššou hodnotou stupňa patrili letisko Charlotte Douglas, Newark a Seattle. Medzinárodné letisko Charlotte Douglas dosiahlo priemernú hodnotu stupňa 3,743, ktorá bola najvyššou hodnotou spomedzi všetkých analyzovaných letísk. Letiskom s druhou najvyššou hodnotou stupňa bolo Medzinárodné letisko Seattle-Tacoma. To dosiahlo hodnotu 3,7102. Tretiu najvyššiu hodnotu dosiahlo Medzinárodné letisko slobody Newark. Konkrétne sa jedná o hodnotu stupňa 3,666. Práve tieto tri letiská sú dôležitou súčasťou silnej domácej leteckej siete v Spojených štátoch amerických. V porovnaní s Medzinárodným letiskom San Francisco alebo Medzinárodným letiskom John. F. Kennedy v meste New York dosahovali spomínané tri letiská vyššie hodnoty práve vďaka vysokej prevádzke domácich letov, zatiaľ čo na letisku v San Franciscu alebo New Yorku je letecká prevádzka tvorená najmä medzinárodnými letmi. Medzinárodná letecká prevádzka bola najviac postihnutou, čo malo za následok najväčší pokles konektivity na letiskách, kde tvorí najväčšiu časť.

Na druhej strane, najnižšiu hodnotu stupňa dosahovalo letisko v Dallase. Konkrétne dosiahlo priemernú hodnotu stupňa 3,1376.



Obrázok 20 - Grafické znázornenie váženého stupňa

Celú sieť sme následne porovnali na základe váženého stupňa, ktorého hodnotu sme získali z aplikácie Gephi. Graf na obrázku 20 predstavuje priemerné hodnoty váženého stupňa pre

všetky analyzované letiská za obdobie od novembra v roku 2019 až po december 2020 vrátane.

Medzi letiskami s najvyššou priemernou hodnotou váženého stupňa opäť vidíme práve letiská, ktoré zohrávajú významnú úlohu v rámci veľkej domácej siete leteckej dopravy v Spojených štátoch amerických. Konkrétne nám medzi najvyššími hodnotami figurujú opäť letiská Charlotte Douglas, Seattle, ale zároveň aj Detroit alebo Los Angeles. Práve letisko v Detroit patrí taktiež medzi významné uzly americkej domácej leteckej siete, čo je dôvodom, prečo jeho hodnota váženého stupňa patrila medzi jednu z najvyšších.

Najvyššiu priemernú hodnotu váženého stupňa dosiahlo letisko v meste Seattle a konkrétne ide o hodnotu 413,133. Druhou najvyššou priemernou hodnotou bola hodnota 375,53, ktorú dosiahlo letisko Charlotte Douglas, ktoré bolo nasledované letiskom Los Angeles s hodnotou 334,363.

Letiskom s najnižším priemerným váženým stupňom bolo opäť letisko v Dallase s hodnotou 145,44 a letisko Chicago Midway, ktoré dosiahlo hodnotu 176,584.



Obrázok 21 - Grafické znázornenie mediánu váženého stupňa

Na obrázku 21 môžeme pozorovať vypočítaný medián váženého stupňa. Po výpočte mediánu sa nám opäť potvrdilo, že aj v tomto prípade dosiahlo najvyššiu hodnotu mediánu váženého stupňa letisko Charlotte Douglas a to konkrétne 140. Nasledovalo letisko v meste Detroit



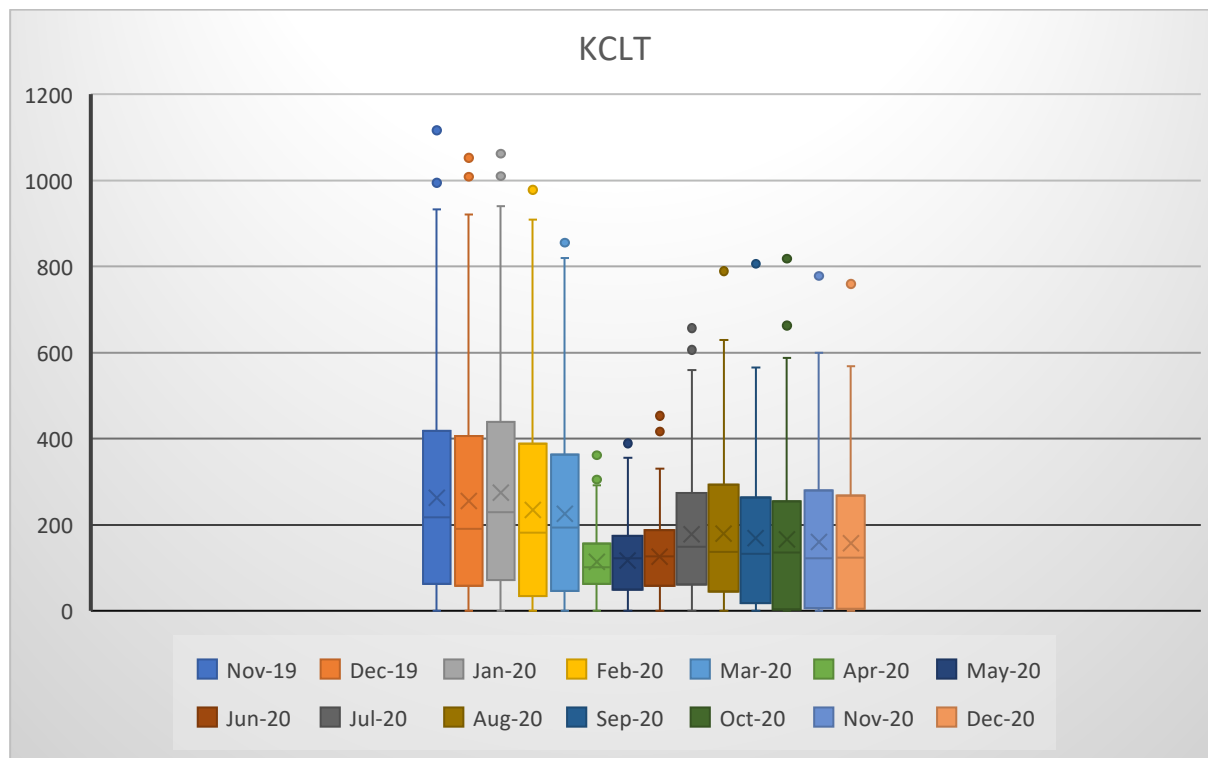
s hodnotou 113. Tretiu najvyššiu hodnotu vidíme pri letisku Seattle, pri ktorom sme namerali hodnotu 95. Opakovane sa jedná o letiská s prevažujúcou prevádzkou domácich letov.

Rovnako sa nám znovu ukázalo, že letisko Dallas dosiahlo najnižšiu hodnotu mediánu váženého stupňa. Veľmi nízka hodnota nám figuruje aj pri letisku v Austine, ktoré aj v predchádzajúcich výpočtoch disponovalo nízkymi hodnotami.

1.2 Analýza a porovnanie letísk

Na porovnanie jednotlivých letísk sme využili dáta získané zo softvéru Flightera.net spracované v aplikácii Gephi. Obdobie, ktoré sme pozorovali zobrazuje štrnásť mesiacov a analyzované sú dáta po jednotlivých mesiacoch.

Konkrétne sme analyzovali a vykonali porovnanie pre letiská Charlotte Douglas, Seattle a Dallas. Rozhodli sme sa vykonať podrobnejšie porovnanie práve pre tieto letiská, nakoľko prvé dve spomínané dosahovali počas celého pozorovaného obdobia podobné a pomerne vysoké hodnoty stupňa aj váženého stupňa, čo nasvedčuje, že boli schopné udržať leteckú prevádzku aj počas pandémie a z nej plynúcich opatrení. Letisko Dallas sme zvolili, pretože v porovnaní s predchádzajúcimi letiskami vystupovalo ako najmenej odolné. Analýzu a následne porovnanie vykonáme na základe hodnôt váženého stupňa, pretože odzrkadľuje aj frekvenciu leteckej prevádzky na danom letisku.



Obrázok 22 - Grafické znázornenie priebehu konektivity na letisku KCLT

Na základe našej analýzy považujeme z pozorovaných letísk za najodolnejšie letisko Charlotte Douglas, pretože dokázalo počas sledovaného obdobia dosahovať najvyššie hodnoty váženého stupňa. Rovnako aj počas najväčšieho prepadu vykazovalo v porovnaní s inými letiskami nižší pokles. Naše tvrdenie, že sa jedná o najodolnejšie letisko spomedzi našich skúmaných podporuje aj priebeh regenerácie váženého stupňa v druhej polovici roka 2020.

Priebeh váženého stupňa počas jednotlivých mesiacov pozorujeme na priloženom krabicovom grafe na obrázku 22. Najvyššie hodnoty váženého stupňa dosahovalo letisko Charlotte Douglas koncom roka 2019 a v januári 2020, ako sme predpokladali, kedy Spojené štáty americké neboli zasiahnuté pandemiou do takej miery, aby bolo nutné pristupovať k obmedzeniam týkajúcich sa cestovania leteckou dopravou. Najvyššiu konektivitu pozorujeme v januári 2020. Počas februára 2020 došlo k prvému poklesu konektivity vplyvom národných obmedzujúcich opatrení a rovnako obavami obyvateľov z ochorenia Covid-19. K výraznému a v prípade letiska Charlotte Douglas aj k najväčšiemu poklesu došlo v apríli 2020, kedy priemerná hodnota váženého stupňa klesla na svoje minimum v rámci nami analyzovaného obdobia. Vážený stupeň, vplyvom rušenia leteckých liniek, padol na hodnotu



114,72. Táto hodnota predstavuje pokles v porovnaní s najvyššou hodnotou v januári až o 58,2%. K takémuto rapidnému poklesu došlo v priebehu len 3 mesiacov. Po dosiahnutí svojej minimálnej hodnoty, začal vážený stupeň mierne narastať v priebehu nasledujúcich dvoch mesiacov. V júli pozorujeme značný nárast, ktorý bol spôsobený čiastočným uvoľnením obmedzení a vysokým dopytom po domácich aj medzinárodných letoch. Ku koncu pozorovaného obdobia môžeme vidieť mierny pokles, ktorý bol zapríčinený opätovným zvýšením pozitívne testovaných obyvateľov a ďalšími obmedzujúcimi opatreniami, ktoré sa týkali cestovania leteckou dopravou. Avšak v tomto prípade už pokles nie je taký rapidný ako v prvej polovici roka 2020.

Nov 2019

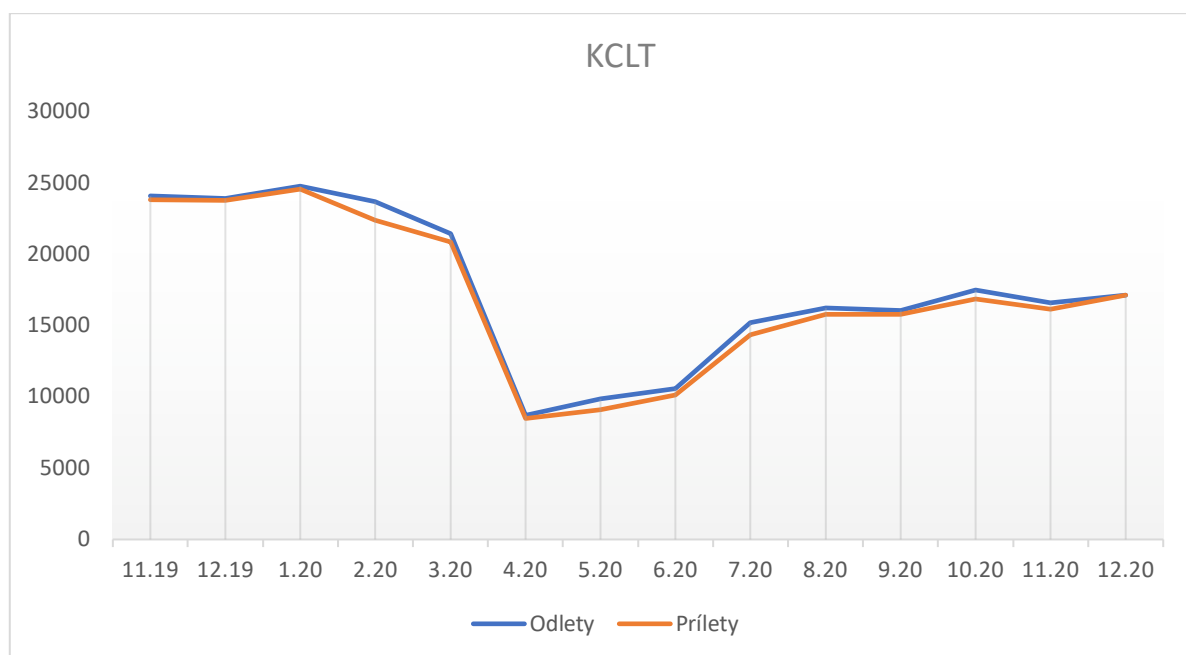
Id	Label						Weighted Degree
(ABE / KABE)	(ABE / KABE)						177
(AGS / KAGS)	(AGS / KAGS)						383
(ALB / KALB)	(ALB / KALB)						192
(ANU / TAPA)	(ANU / TAPA)						4
(ATL / KATL)	(ATL / KATL)						1116
(AUA / TNCA)	(AUA / TNCA)						72
(AUS / KAUS)	(AUS / KAUS)						314
(AVL / KAVL)	(AVL / KAVL)						503
(AVP / KAVP)	(AVP / KAVP)						242
(BDA / TXKF)	(BDA / TXKF)						3
(BDL / KBDL)	(BDL / KBDL)						401
(BFM / KBFM)	(BFM / KBFM)						8
(BGI / TBPB)	(BGI / TBPB)						5
(BGR / KBGR)	(BGR / KBGR)						40
(BHM / KBHM)	(BHM / KBHM)						426
(BKW / KBKW)	(BKW / KBKW)						94

Obrázok 23 - Vážený stupeň spojení s jednotlivými letiskami

Najnižšia hodnota váženého stupňa vo všetkých mesiacoch bola 1 zatiaľ čo maximálna hodnota sa menila. Najvyššiu hodnotu pozorujeme v novembri 2019 a ide o 932. Vidíme, že v grafe je zobrazená aj vyššia hodnota, ktorá bola vyhodnotená ako odľahlá hodnota. V tomto prípade ide o hodnotu 1116. Táto hodnota bola dosiahnutá na spojení s letiskom Atlanta, čo môžeme pozorovať v tabuľke na obrázku 24. Všetky hodnoty, ktoré boli definované v grafe ako odľahlé súvisia s letiskom v Atlante. Je možné teda tvrdiť, že najodolnejšie spojenie letiska Charlotte Douglas je spojenie s letiskom Atlanta. Ďalej môžeme povedať, že letisko v Atlante

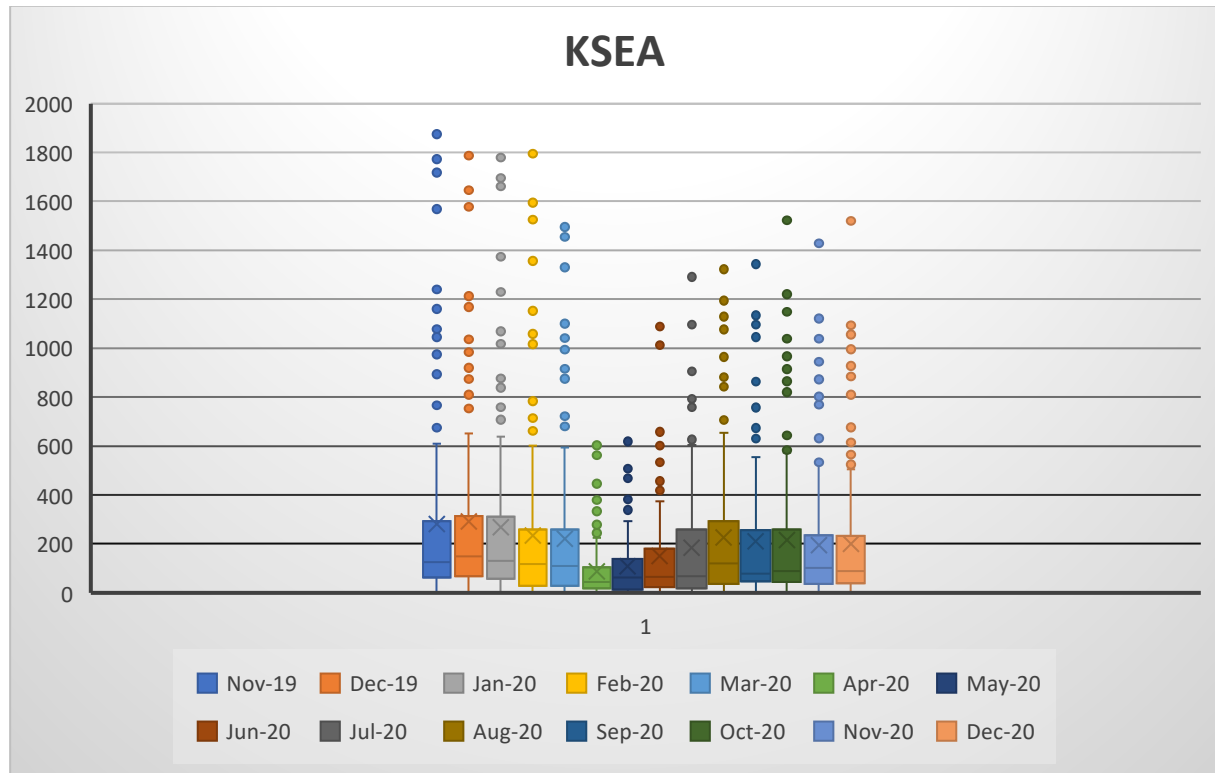
je pre letisko Charlotte Douglas dôležitým "hubom", keďže hodnoty váženého stupňa boli na tomto spojení najvyššie počas celého skúmaného obdobia.

Mesiac apríl je možné takmer s určitosťou definovať ako mesiac, kedy bola na letisku Charlotte Douglas dosiahnutá najnižšia konektivita. Rovnako v mesiaci apríl 2020 pozorujeme najmenší rozptyl hodnôt, ktorý je s vysokou pravdepodobnosťou spôsobený rušením leteckých liniek. Potvrzuje nám to aj krabicový diagram, v ktorom pozorujeme, že aj najodolnejšie spojenie s letiskom v Atlante dosiahlo hodnotu 362, ktorá predstavuje najnižšiu hodnotu v sledovanom období.



Obrázok 24 - Graf znázorňujúci priebeh priletov a odletov

Rovnako aj po analyzovaní počtu odletov a priletov, vid'. obrázok 24, sa nám potvrdil výsledok získaný v analýze váženého stupňa. Aj v tomto prípade sa javí mesiac apríl 2020 ako najviac ovplyvnený pandemiou, čomu nasvedčuje aj najnižší počet odletov a priletov. Najnižší počet odletov za mesiac z letiska Charlotte Douglas bol 8715 a zároveň najnižší počet priletov bol 8493. Tento významný a náhly pokles bol zapríčinený enormným obmedzením v oblasti cestovania a následným rušením leteckých liniek v najkritickejšom bode pandémie. Od mája 2020 došlo k nárastu počtu letov a tento nárast pokračoval až do konca roka 2020, kedy počet odletov vzrástol na 17147 a počet priletov na 17170.



Obrázok 25 - Grafické znázornenie priebehu konektivity na letisku KSEA

Obrázok 25 predstavuje vizualizáciu priebehu váženého stupňa na letisku v Seattli pomocou krabicového diagramu. Letisko v Seattli, podobne ako letisko v Charlotte Douglas, dosahovalo najvyššiu konektivitu práve koncom roka 2019. Avšak v tomto prípade došlo k prvému poklesu hneď na začiatku roka 2020. Do marca 2020 síce konektivita klesala, ale k prvému výraznejšiemu zníženiu došlo, opäť ako v predchádzajúcom prípade, v apríli 2020. Hodnota priemeru váženého stupňa v tomto prípade klesla až na hodnotu 88,24. V porovnaní s letiskom Charlotte Douglas sa jedná o pokles, ktorý bol vyšší o 23,1% v najkritickejšom mesiaci, apríl 2020. V nasledujúcich štyroch mesiacoch došlo v porovnaní s predchádzajúcim letiskom k výraznejšiemu nárastu. Od konca augusta 2020 už k výraznejšiemu poklesu nedošlo a hodnota váženého stupňa sa udržiavala až do konca roka 2020 na priemernej hodnote 205,16. Je možné teda tvrdiť, že doprava na letisku Seattle mala tendenciu sa rýchlejšie obnoviť, s vysokou pravdepodobnosťou hlavne kvôli narastajúcemu počtu domácich letov.



V tomto grafe vidíme väčší počet odľahlých hodnôt, pretože v porovnaní s letiskom Charlotte Douglas má výrazne silnejšie spojenia, oproti ostatným, s väčším počtom letísk. Veľké množstvo silných a odolných spojení nasvedčuje vysokému počtu letísk, ktoré slúžia pre letisko Seattle ako “huby”.

Za najodolnejšie spojenie je možné považovať spojenie medzi letiskom Seattle a letiskom Portland. Toto spojenie dosahovalo najvyššie hodnoty váženého stupňa počas desiatich mesiacov v sledovanom období. Avšak, v najkritickejšom mesiaci, apríli 2020, bolo najodolnejšie spojenie s letiskom Los Angeles.

(LAX / KLAX)	(LAX / KLAX)							1874
(PDX / KPDX)	(PDX / KPDX)							1772
(SFO / KSFO)	(SFO / KSFO)							1717
(GEG / KGEG)	(GEG / KGEG)							1569
(LAS / KLAS)	(LAS / KLAS)							1240

Obrázok 26 - 5 najsilnejších spojení s letiskom Seattle v novembri 2019

Na obrázku 26 pozorujeme 5 spojení s letiskom Seattle, ktoré v novembri 2019 dosahovali najvyššie hodnoty váženého stupňa. Je možné tvrdiť, že práve tieto letiská sú dôležitými prestupnými uzlami pre letisko Seattle.

(PDX / KPDX)	(PDX / KPDX)							603
(LAX / KLAX)	(LAX / KLAX)							563
(PHX / KPHX)	(PHX / KPHX)							446
(SFO / KSFO)	(SFO / KSFO)							386
(LAS / KLAS)	(LAS / KLAS)							385

Obrázok 27 - 5 najsilnejších spojení s letiskom Seattle v apríli 2020

Keď sa pozrieme na spojenia, ktoré dosahovali najvyššie hodnoty váženého stupňa v období najväčšej krízy, teda počas mesiaca apríl 2020, môžeme pozorovať rovnaké letiská ako v novembri 2019, okrem letiska Spokane. To je v apríli 2020 nahradené letiskom San Francisco.



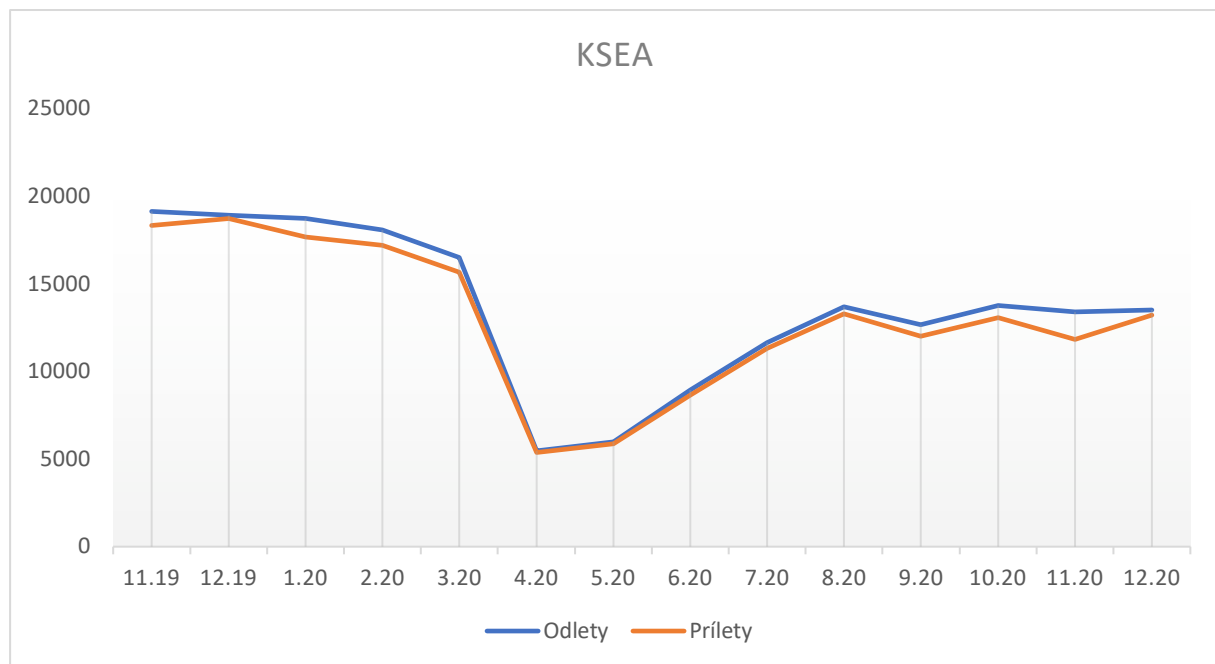
(PDX / KPDX)	(PDX / KPDX)							1428
(GEG / KGEG)	(GEG / KGEG)							1121
(LAX / KLAX)	(LAX / KLAX)							1038
(ANC / PANC)	(ANC / PANC)							944
(DEN / KDEN)	(DEN / KDEN)							885

Obrázok 28 - 5 najsilnejších spojení s letiskom Seattle v novembri 2020

Obrázok 28 nám zobrazuje najvyššie vážené stupne dosiahnuté v novembri 2020. Potvrdilo sa nám, že letisko Portland a letisko Los Angeles patria medzi najvýznamnejšie letiská, ktoré sú s letiskom Seattle spojené, pretože vo všetkých mesiacoch dosahovali najvyššie hodnoty váženého stupňa, zatiaľ čo pri ostatných letiskách dochádzalo k vyšším výkyvom hodnôt váženého stupňa.

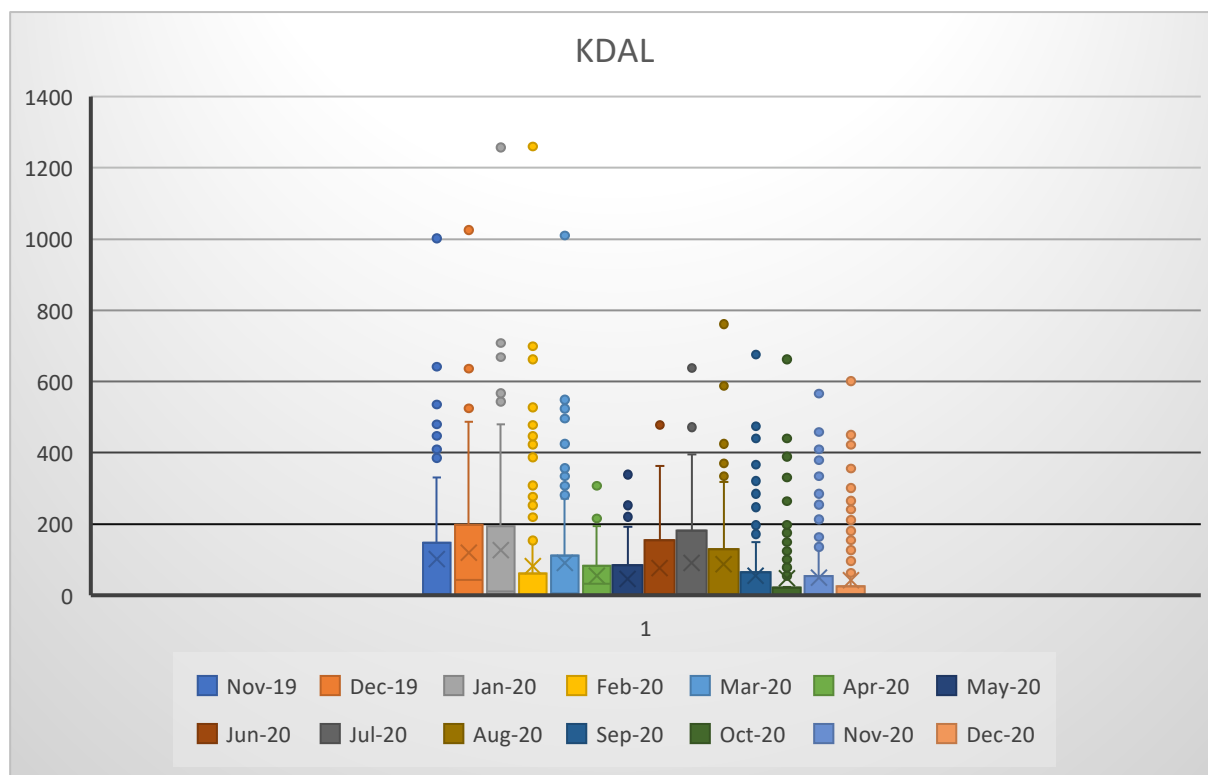
Výskyt rovnakých letísk aj v najkritickejšom období nám indikuje, ktoré letiská sú dôležitými “hubmi” pre letisko Seattle. Ďalej je možné tvrdiť, že za vysokú odolnosť počas pandémie Covid-19 vďaka letisku Seattle práve spojeniam s týmito letiskami, ktoré dokázali udržať leteckú prevádzku aj počas krízy.

Opäť sa nám potvrdil fakt, že najkritickejším mesiacom pre letisko Seattle bol mesiac apríl 2020, kedy aj najvyššia hodnota, 563, bola o 69,96% nižšia v porovnaní s maximálnou hodnotou v novembri 2019.



Obrázok 29 - Graf znázorňujúci priebeh priletov a odletov

Po vykonaní analýzy počtu priletov a odletov z letiska Seattle vidíme na grafe na obrázku 29 opäť najväčší pokles v apríli 2020. V priebehu jedného mesiaca sa jedná o 66,3% pokles. Na základe toho je možné tvrdiť, že k najprísnejším obmedzeniam došlo na prelome marca a apríla 2020. Následný vývoj nasvedčuje, že s miernym uvoľňovaním obmedzení sa počet letov opäť začal zvyšovať a letecká konektivita sa pomaly začala regenerovať.



Obrázok 30 - Grafické znázornenie priebehu konektivity na letisku KDAL

Ako posledné sme na porovnanie vybrali letisko v Dallase, ktoré sa nám vo všetkých analýzach javilo ako najhoršie zvládajúce obmedzenia v leteckej doprave. Vidíme, že najvyššie hodnoty boli dosahované znovu na prelome rokov 2019 a 2020.

Najvyššiu hodnotu opäť, ako aj v prípade ostatných skúmaných letísk, vidíme na začiatku roka 2020. Vážený stupeň v januári 2020 dosiahol hodnotu 1257. V porovnaní s letiskom Charlotte Douglas ide o hodnotu o 11,2% vyššiu v prípade najvyššej dosiahnutej hodnoty avšak v apríli 2020 je už hodnota váženého stupňa na letisku v Dallase o 15,19% nižšia. Graf na obrázku 30 nám indikuje, aký nestabilný bol priebeh konektivity v druhej polovici roka 2020, keďže najprv konektivita mierne stúpala a následne vplyvom opätovných obmedzení znovu klesla.

(HOU / KHOU)	(HOU / KHOU)								1257
(SAT / KSAT)	(SAT / KSAT)								708
(ATL / KATL)	(ATL / KATL)								687
(AUS / KAUS)	(AUS / KAUS)								669
(LAX / KLAX)	(LAX / KLAX)								567

Obrázok 31 - 5 najsilnejších spojení letiska Dallas v januári 2020

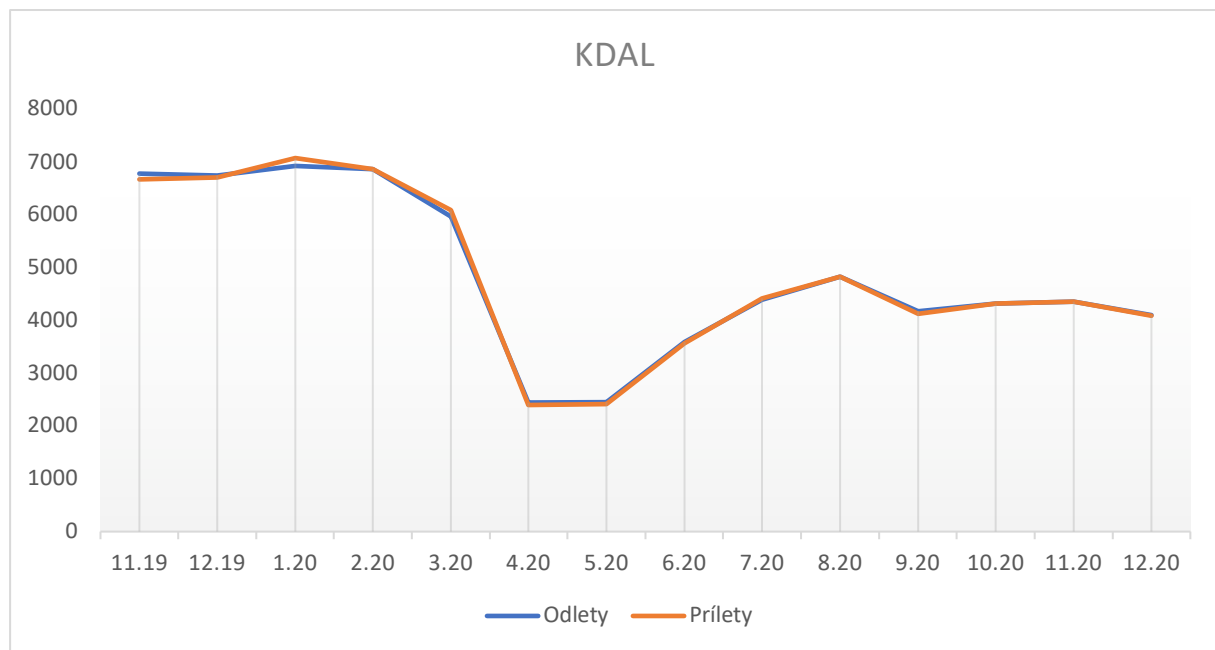


(HOU / KHOU)	(HOU / KHOU)								307
(PHX / KPHX)	(PHX / KPHX)								217
(ATL / KATL)	(ATL / KATL)								216
(MDW / KMDW)	(MDW / KMDW)								194
(AUS / KAUS)	(AUS / KAUS)								173

Obrázok 32 - 5 najsilnejších spojení letiska Dallas v apríli 2020

Na základe analýzy sme zistili, že najodolnejším spojením je linka medzi Dallasom a Houstonom. To sme určili na základe pozorovaných najvyšších hodnôt v každom mesiaci, ktoré patrili práve tomuto spojeniu, čo potvrdzuje vizualizácia predchádzajúceho grafu. Na obrázkoch 31 a 32 vidíme spojenia, ktoré dosahovali najvyššie hodnoty váženého stupňa v januári 2020 a apríli 2020. Na čele oboch tabuliek figuruje letisko Houston, čo nám potvrdzuje, že letisko Dallas malo najodolnejšie letecké spojenie s letiskom Houston, ktoré možno považovať za dôležitý "hub". Ďalšími dôležitými letiskami pre letisko Dallas boli letiská Atlanta a Austin, ktoré počas všetkých skúmaných mesiacov taktiež dosahovali vysoké hodnoty váženého stupňa.

Z našich výpočtov a analýz je možné konštatovať, že letisko v meste Dallas bolo z našich pozorovaných letísk najmenej odolné a schopné udržať prevádzku aj počas najväčšej krízy. Nasvedčuje tomu najväčší pokles váženého stupňa spomedzi všetkých skúmaných letísk a rovnako aj krátkodobý nárast nasledovaný opätovným poklesom váženého stupňa v septembri 2020.



Obrázok 33 - Graf znázorňujúci priebeh príletov a odletov

Na obrázku 33 môžeme vidieť graf, zachytávajúci priebeh počtu odletov a príletov na letisku v Dallase. V tomto prípade pozorujeme prvý pokles už v marci 2020, ktorý je nasledovaný výrazným prepadom v apríli 2020. Za dva mesiace klesli počty príletov a odletov takmer o 65%.

V porovnaní s letiskom Charlotte Douglas, ktoré sa nám javí ako najodolnejšie voči obmedzeniam spojeným so šírením ochorenia Covid-19, je počet letov v apríli 2020 na letisku v Dallase o 72,5% menší. Opäť sa nám ukázalo, že letisko v Dallase nebolo schopné udržať leteckú konektivitu ani zďaleka tak dobre, ako napríklad letisko Charlotte Douglas.

4.2. Diskusia

Analýza bola zameraná na 16 amerických letísk, ktoré patria medzi najlepšie prepojené letiská v USA. Každé letisko bolo analyzované samostatne počas rovnakého štrnásťmesačného obdobia, od novembra 2019 do konca roka 2020. Medzi parametre, pomocou ktorých boli letiská analyzované, patria počet príletov a odletov, stupeň a vážený stupeň. Získané dáta boli importované do kontingenčných tabuliek a následne spracované s cieľom získania hodnôt stupňa a váženého stupňa.



Najprv bola vyhodnotená odolnosť celej siete na základe analýzy všetkých letísk. Následne je možné posudzovať postavenie jednotlivých letísk v skúmanej leteckej sieti.

Po analyzovaní celej siete sa nám potvrdilo, že letecká sieť v Spojených štátoch amerických patrí medzi najodolnejšie, a to práve vďaka veľkému domácemu trhu. Zatiaľ čo medzinárodná letecká doprava klesla v roku 2020 o 50,6% voči roku 2019, domáca letecká doprava zaznamenala pokles o 20% menší. Letiská, ktoré sú využívané ako "Hub" letiská zaznamenali väčší pokles konektivity oproti letiskám, ktorých prevádzka je z väčšej časti tvorená domácimi letmi. Rovnako je možné vidieť pozitívny vplyv domáceho trhu na odolnosť leteckej siete aj pri zotavovaní siete. V Spojených štátoch amerických došlo k regenerácii domáceho trhu rýchlejšie. Konkrétne, na konci apríla 2021 dosiahol domáci trh približne 80% z úrovne, ktorú dosahoval v roku 2019. Za najodolnejšie letisko z našich skúmaných letísk považujeme letisko Charlotte Douglas. Jeho odolnosť sa ukázala v schopnosti najlepšie udržať letovú prevádzku aj počas najväčšej krízy.

Letisko Charlotte Douglas bolo, ako aj ostatné letiská, výrazne postihnuté pandemiou, ale napriek tomu dokázalo v najkritickejšom bode dosahovať najvyššiu konektivitu. Jeho odolnosť sa ukázala aj v schopnosti rýchlo obnoviť leteckú konektivitu a k výraznému poklesu konektivity už do konca roka 2020 nedošlo.

Letisko v meste Seattle reagovalo na krízu spojenú s pandemiou podobne ako letisko Charlotte Douglas. Tu sme prvý pokles pozorovali už začiatkom roka 2020. Tento pokles sa výrazne zvýšil opäť v apríli 2020. Hodnota konektivity síce výrazne klesla a v porovnaní s predchádzajúcim letiskom sa jednalo o 23,2% väčší pokles, stále však bolo letisko v Seattli schopné zachovať leteckú prevádzku a ukázalo sa nám ako druhé najodolnejšie spomedzi našich skúmaných letísk.

Spomínané letiská sú dôležitou súčasťou domácej leteckej siete. To nám opäť potvrdzuje fakt, že vďaka veľkej domácej sieti je možné leteckú sieť v USA považovať za odolnú a schopnú udržať leteckú prevádzku aj počas krízy spôsobenej pandemiou Covid-19.

Pre podrobnejšiu analýzu americkej leteckej siete odporúčam získať väčšie množstvo dát z vyššieho počtu letísk. V našom prípade to nebolo možné z technických dôvod, keďže po získaní určitého množstva dát nám bol zamietnutý prístup k internetovej stránke Flightera.net, z ktorej sme dáta ťažili aj napriek využitiu pripojenia cez VPN. Odporúčam zakúpenie dát alebo vykonať ťažbu na väčšom počte zariadení.



5. Závěr

Odolnosť leteckej siete predstavuje schopnosť siete udržať prevádzku aj počas krízy. Je možné tvrdiť, že letecká sieť v Spojených štátoch amerických patrí medzi najodolnejšie letecké siete na svete. V minulosti sa nám to potvrdilo napríklad po teroristickom útoku v roku 2001 na Svetové obchodné centrum, kedy letecká doprava v USA bola rýchlo obnovená.

Na základe analyzovania a porovnania vybraných letísk sme určili ako najodolnejšie letisko Charlotte Douglas. Odolnosť sme určili vďaka vysokým hodnotám váženého stupňa, ktoré letisko Charlotte Douglas dosahovalo počas celého skúmaného obdobia. V apríli 2020 sme pri ňom pozorovali menší pokles konektivity v porovnaní s ostatnými skúmanými letiskami a aj rýchlejšiu regeneráciu siete po dosiahnutí najnižšej hodnoty. Potvrdilo sa nám, že silný domáci trh je zodpovedný za menší pokles konektivity vplyvom obmedzení, o čom svedčilo aj spojenie medzi Charlotte Douglas a Atlantou. Toto spojenie dosahovalo počas všetkých mesiacov najvyššie hodnoty váženého stupňa a letisko v Atlante je možné považovať za dôležitý "hub" pre letisko Charlotte Douglas.

Dôležitosť silného domáceho trhu na odolnosť leteckej siete sme potvrdili aj pri analýze letiska Seattle. V tomto prípade sme pozorovali vysoký počet odľahlých hodnôt, ktoré dosahovali vysoké hodnoty počas celého analyzovaného obdobia. Tieto hodnoty patrili silným spojeniam s letiskami, ktoré považujeme za dôležité "huby" pre letisko Seattle. Vďaka vysokému počtu silných spojení s inými americkými letiskami sme schopní potvrdiť, že práve v kvôli nim patrilo letisko Seattle k najodolnejším letiskám spomedzi našich pozorovaných letísk.

V prípade letiska Dallas sme pozorovali najväčšie zníženie konektivity. V mesiaci apríl 2020 a v nasledujúcich mesiacoch sme pozorovali výrazne nižší počet vysokých odľahlých hodnôt v porovnaní s letiskom Seattle, ktorý nasvedčuje slabšej schopnosti udržať leteckú prevádzku počas krízy. Pokles odľahlých hodnôt sme pozorovali aj v rámci samotného letiska Dallas. Začiatkom roka 2020 malo výrazne vyšší počet "hubových" letísk, ktorý s príchodom pandémie výrazne klesol. Najväčší pokles sme evidovali, tak ako u všetkých letísk, v apríli 2020 a pretrvával až do augusta 2020. Aj napriek tomu, že sa nám letisko Dallas javí ako najmenej schopné odolávať obmedzeniam v leteckej doprave, dokázalo zachovať niekoľko silných spojení, z ktorých najodolnejšie bolo spojenie s letiskom Houston.

Na základe našej štúdie je možné tvrdenie, že letecká sieť v USA je jedna z najodolnejších na svete, potvrdiť aj v súvislosti s pandemiou Covid-19. Počas pandémie Covid-19 došlo k enormnému ochromeniu leteckej dopravy na celom svete. Vládne opatrenia takmer úplne



znemožnili medzinárodné a neskôr aj domáce cestovanie leteckou dopravou. Avšak aj napriek všetkým opatreniam a obmedzeniam, ktoré boli zavedené aj v USA, bola americká letecká sieť schopná udržať, v porovnaní s inými časťami sveta, relatívne vysokú leteckú konektivitu aj v najkritickejšom období, ktoré sme v našom prípade určili na apríl a máj 2020. Okrem schopnosti udržať prevádzku aj v tomto kritickom období, sme pozorovali pomerne rýchlu regeneráciu siete. Je možné tvrdiť, že za vysokú odolnosť a schopnosť rýchlo sa zotaviť je zodpovedný silný domáci trh prameniacy z vysokej potreby obyvateľov využívať práve leteckú dopravu na prekonávanie veľkých vzdialeností.



Zoznam použitej literatúry

[1] DALEY, Ben. *Air Transport and the Environment*. 2. vyd. Londýn: Routledge, 2011. ISBN-13978-0754672869

[2] Air Transport Action Group. *Towards Sustainable Aviation*. Dostupné z:
<https://www.atag.org/our-publications/latest-publications.html>

[3] SENGUTTUVAN, P.S. *Fundamentals of Air Transport Management*. 1. vyd. New Delhi: Excel Books India, 2006. ISBN-13978-8174464590

[4] BUTTON, Kenneth. The impact of globalization on international air transport activity – past trends and future perspective. In: *OECD and ITF Global Forum on Transport and Environment in a Globalizing World*. Guadalajara, 10-12 November, 2008. Dostupné z
<https://www.oecd.org/greengrowth/greening-transport/41750049.pdf>

[5] IATA. *Air Connectivity measuring the connections that drive economic growth*. Dostupné z
<https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/air-connectivity-measuring-the-connections-that-drive-economic-growth/>

[6] ICAO. *Presentation of 2016 Air Transport Statistical Results*. 2016. Dostupné z
https://www.icao.int/annual-report-2016/documents/arc_2016_air%20transport%20statistics.pdf

[7] HERCIK, Jan. *Dopravní systémy a jejich regionální rozdíly*. [online]. [cit.2022-05-16]. Dostupné z
https://geography.upol.cz/soubory/lide/hercik/GEDP/Prednasky/dopravni_systemy_regionalni_rozdily.pdf



[8] GUIMERA, R., S. MOSSA, A. TURTSCHI a L.A.N. AMARAL. The worldwide air transportation network: Anomalous centrality, community structure, and cities' global roles. *National Academy of Sciences* [online]. 2005, roč. 22 , č. 102 [cit. 2022-05-02]. DOI: 10.1073/pnas.0407994102. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/7829486_The_worldwide_air_transportation_network_Anomalous_centrality_community_structure_and_cities'_global_roles

[9] GUIMERA, Roger a Luis A Nunes AMARAL. Modeling the world-wide airport network. *The European Physical Journal B*. [online]. 2004, č. 38 [cit. 2022-05-08]. DOI: 10.1140/epjb/e2004-00131-0. Dostupné z: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.226.1647&rep=rep1&type=pdf>

[10] JUNEK, Vladimír. Mezinárodní letecká doprava a její regulace. Praha: ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02227-7

[11] BARTHÉLEMY, Marc., Spatial Networks. *Physics Reports*. 2011, roč. 1-3, č. 499. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2010.11.002>

[12] HU, X. A E. Di Paolo. *A Genetic Algorithm Based on Complex Networks Theory for the Management of Airline Route Networks*, Studies in Computational Intelligence, 2008. Dostupné z <https://ezequieldipaolo.files.wordpress.com/2019/09/hu-dipaolo-02-nature-inspired-cooperative-strategies-for-optimization-nicso-20-2008.pdf>

[13] LORDAN, O., J. M. Sallan, P. Simo a D. Gonzales- Prieto. *Robustness of the air transport network. Transportation Research Part E: Logistic and Transportation Review*. 2014, č. 68. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.05.011>.



[14] WANG, Jiaoe, Mo Huihui, Fahui Wang a Jin Fengjun. Exploring the network structure and nodal centrality of China's air transport network: A complex network approach. *Journal of Transport Geography* [online]. roč. 4, č. 19 [cit. 2022-05-19]. DOI: 10.1016/j.trangeo.2010.08.012. Dostupné z <https://ideas.repec.org/a/eee/jotrge/v19y2011i4p712-721.html>

[15] KAJTMAN, Jan a Vlastimil MELICHAR. *Deregulace a liberalizace letecké dopravy*. [online]. 2016, roč. 3, č. 11 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z <https://pernerscontacts.upce.cz/index.php/perner/article/view/550/388>

[16] MARANDA, M. Dusledky deregulace letecké dopravy. *Geografické rozhledy* [online]. 2011, roč. 5, č. 20 [cit. 2022-06-01]. Dostupné z <https://www.geograficke-rozhledy.cz/archiv/clanek/500/pdf>

[17] HOLLOWAY, Stephen. *Straight and Level: Practical Airline Economics*. 3. vyd. Ashgate Publishing, 2018. ISBN 9780754672562

[18] COOK, Gerald a Jeremy GOODWIN. Airline Networks: A comparison of Hub-and-Spoke and Point-to-Point systems. *Journal of Aviation/Aerospace Education & Research* [online]. 2008, roč. 2, č. 17 [cit. 2022-06-11]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20150923183031/http://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1443&context=jaaer>

[19] CURRAN, Andrew. Hub and Spoke vs Point to Point- How COVID will change both models. In: *Simple Flying* [online]. 2020-08-12 [cit. 2022-06-03]. Dostupné z <https://simpleflying.com/hub-and-spoke-vs-point-to-point/>



[20] SMYTH, Mark a Brian PEARCE. Aviation economic benefits. *IATA economic briefing N8*. [online]. 2007 [cit. 2022-05-22]. Dostupné z <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/aviation-economic-benefits/>

[21] BURGHOUWT, Guillaume. Influencing air connectivity outcomes. *International Transport Forum* [online]. 2017, č.24 [CIT. 2022-06-02]. Dostupné z <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/influencing-air-connectivity-outcomes.pdf>

[22] MOEPHET, Hayley a Claudia BOTTINI. *Air connectivity: Why it matters and how to support growth*. In: *ICAO 2013: Worldwide air transport conference* [online]. 2013 [cit. 2022-06-03] Dostupné z <https://www.pwc.com/gx/en/capital-projects-infrastructure/pdf/pwc-air-connectivity.pdf>

[23] BURHOUWT, Guillaume a Renato REDONDI. Conectivity in air transport networks: an assessment of models and applications. *Journal of Transport Economics* [online]. 2013, roč. 1, č. 47 [cit. 2022-06-05]. Dostupné z <https://www.jstor.org/stable/24396351>

[24] Airport industry connectivity report 2017. In: *Airports council international* [online]. 2017, s 44 [cit. 2022-06-10]. Dostupné z: <https://www.aci-europe.org/air-connectivity.html>

[25] Airport industry connectivity report 2016. In: *Airports council international* [online]. 2017, s 68 [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <https://www.aci-europe.org/air-connectivity.html>



[26] Burghouwt, Guillaume & Redondi, Renato. Connectivity in Air Transport Networks: An Assessment of Models and Applications. *Journal of Transport Economics and Policy*. [online] 2013, 35-53 [cit. 2022-04-14]. Dostupné z https://www.researchgate.net/publication/257547529_Connectivity_in_Air_Transport_Networks_An_Assessment_of_Models_and_Applications

[27] Let's talk about air connectivity. *Airports council international* [online]. [cit. 2022-06-05]. Dostupné z: <https://www.aci-europe.org/policy/connectivity.html>

[28] VAN DEN HEUVEL, Martijn P. a Olaf SPORNS. Network hubs in the human brain. *Trends in Cognitive Sciences* [online]. 2013, **17**(12), 683-696 [cit. 2022-08-01]. ISSN 13646613. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24231140/>

[29] SABERI, Majid, Reza KHOSROWABADI, Ali KHATIBI, Bratislav MISIC a Gholamreza JAFARI. Topological impact of negative links on the stability of resting-state brain network. *Scientific Reports* [online]. 2021, **11**(1) [cit. 2022-08-01]. ISSN 2045-2322. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-81767-7>

[30] NEWMAN, M. E. J. *Networks: an introduction*. New York: Oxford University Press, 2010. ISBN 978-0-19-920665-0.

[31] FREEMAN, Linton C. Centrality in social networks conceptual clarification. *Social Networks* [online]. 1978, **1**(3), 215-239 [cit. 2022-08-01]. ISSN 03788733. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0378873378900217>



[32] OPSAHL, Tore, Filip AGNEESSENS a John SKVORETZ. Node centrality in weighted networks: Generalizing degree and shortest paths. *Social Networks* [online]. 2010, 32(3), 245-251 [cit. 2022-08-01]. ISSN 03788733. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378873310000183>

[33] BERÁNEK, Ladislav *Síťová analýza v marketingu* [online]. 2008, 323-326 [cit. 2022-06-21]. Dostupné z: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.523.6752&rep=rep1&type=pdf>

[34] FARAHANI, Farzad V., Waldemar KARWOWSKI a Nichole R. LIGHTHALL. Application of Graph Theory for Identifying Connectivity Patterns in Human Brain Networks: A Systematic Review. *Frontiers in Neuroscience* [online]. 2019, 13 [cit. 2022-08-01]. ISSN 1662-453X. Dostupné z: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2019.00585/full>

[35] ROUCOLLE, Chantal, Tatiana SEREGINA a Miguel URDANOZ. Measuring the development of airline networks: Comprehensive indicators. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* [online]. 2020, 133, 303-324 [cit. 2022-08-01]. ISSN 09658564. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0965856419317574>

[36] LORDAN, Oriol, Jose M. SALLAN, Nuria ESCORIHUELA a David GONZALEZ-PRIETO. Robustness of airline route networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* [online]. 2016, 445, 18-26 [cit. 2022-08-01]. ISSN 03784371. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378437115009127>

[37] Air Traffic Organization System Operations Services (FAA/ATO), European Commission (EC), European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL). *Special report on the impact of the COVID-19 pandemic on the U.S. and European ANS systems*. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2021-12/special-report-on-covid-19-impact-on-the-u-s-and-european-ans-systems.pdf>



[38] BHASIN, Jatin. Graph Analytics-Introduction and Concepts of Centrality. In: Towards Data Science [online]. 2019-08-14 [cit. 2022-07-10]. Dostupné z: <https://towardsdatascience.com/graph-analytics-introduction-and-concepts-of-centrality-8f5543b55>