



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

Bc. Michaela Kaločayová

**METODOLOGIE HODNOCENÍ STAVU LETECKÉ SÍŤE**

Diplomová práce

**2020**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



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

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Michaela Kaločayová**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**N 3710 – PL – Provoz a řízení letecké dopravy**

Název tématu (česky): **Metodologie hodnocení stavu letecké sítě**

Název tématu (anglicky): Methodology of the Status Assessment of Air Network

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Struktura letecké sítě
- Síť mezinárodních letišť v ČR, vývoj provozu a letecké sítě za posledních 10 let
- Identifikace možných metod řešení
- Analýza dat a jejich zdrojů
- Metodologie hodnocení stavu letecké sítě
- Hodnocení letecké sítě



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Connectivity in Air Transport Networks: An Assessment of Models and Applications.  
Airports council international, Airport industry connectivity report, 2016, 2017, 2018  
Node centrality in weighted networks: Generalizing degree and shortest paths.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Helena Bínová, Ph.D.**  
**Ing. Lenka Hanáková**

Datum zadání diplomové práce: **27. července 2018**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **18. května 2020**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

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



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

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

  
Bc. Michaela Kaločayová  
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....17. února 2020

## Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucím mé diplomové práce doc. Ing. Heleně Bínové, Ph.D. a Ing. Lence Hanákové, za odborné vedení, rady, vstřícnost a ochotu vůči mé osobě při psaní této diplomové práce.

V neposlední řadě bych chtěla poděkovat mé rodině a přátelům za velkou podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

## Prohlášení

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

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

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

V Praze dne 1.5.2020

  
.....  
podpis

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

## METODOLOGIE HODNOCENÍ STAVU LETECKÉ SÍTĚ

Diplomová práce

Květen 2020

Bc. Michaela Kaločayová

### **ABSTRAKT**

Předmětem diplomové práce je ohodnotit evropskou leteckou síť na základě identifikace a hodnocení nejvýznamnějších evropských letišť dle pravidelně provozovaných leteckých spojů. Zároveň je sledováno postavení Letiště Václava Havla v Praze v rámci sledované evropské letecké sítě. S ohledem na hodnocení stavu této sítě byla určena také její odolnost.

### **ABSTRACT**

The aim of diploma thesis is to evaluate the European air network by identifying and evaluating major European airports based on scheduled flights. The thesis focuses on the status of the Václav Havel Airport in Prague within the studied network as well. Robustness of this air network was determined with regard to its evaluation.

### **KLÍČOVÁ SLOVA**

Letecká síť, letiště, konektivita, centralita, odolnost, metodologie

### **KEY WORDS**

Air network, airport, connectivity, centrality, robustness, methodology

## Obsah

Úvod .....	8
2 Literární rešerše.....	9
2.1 Struktura letecké sítě .....	9
2.1.1 Historický kontext vzniku obchodní letecké dopravy .....	10
2.1.2 Letiště.....	13
2.1.3 Provozovatelé obchodní letecké dopravy.....	14
2.1.4 Modely letecké sítě .....	17
2.2 Konektivita .....	21
2.2.1 Netscan metoda .....	21
2.2.2 Metoda centrality .....	24
2.2.3 Odolnost sítě .....	28
3 Metodologie hodnocení stavu letecké sítě .....	30
3.1 Analýza dat pro ohodnocení letecké sítě .....	30
3.1.1 Analýza provozu mezinárodních letišť v ČR.....	31
3.1.2 Specifikace letecké sítě .....	33
3.1.3 Specifikace potřebných dat.....	34
3.2 Aplikace zvolené metody pro ohodnocení letecké sítě .....	35
3.2.1 Zdroj pro získání potřebných dat.....	35
3.2.2 Charakteristika letecké sítě a míry centrality .....	36
3.2.3 Výpočet konektivity .....	38
3.4 Odolnost letecké sítě .....	40
3.5 Metodologický model zpracování.....	41
4 Interpretace výsledků.....	42
4.1 Analýza vývoje provozu mezinárodních letišť v ČR.....	42
4.1.1 Letiště Václava Havla v Praze .....	42
4.1.2 Letiště Brno-Tuřany .....	44
4.1.3 Letiště Leoše Janáčka Ostrava.....	46

4.1.4	Letiště Pardubice .....	48
4.1.5	Letiště Karlovy Vary .....	50
4.1.6	Výsledky pro rok 2018 .....	53
4.2	Hodnocení letecké sítě .....	54
4.2.1	Základní seřazení dle počtu odbavených cestujících .....	55
4.2.2	Přímá centralita .....	56
4.2.3	Vážená centralita .....	59
4.2.4	Přestupní centralita .....	62
4.2.5	Centralita dostupnosti .....	63
4.2.6	Metoda Netscan vs. metoda centrality .....	64
4.3	Narušení letecké sítě .....	66
5	Diskuze .....	69
5.1.	Vyhodnocení analýzy provozu mezinárodních letišť v ČR .....	69
5.2.	Shrnutí hodnocení letecké sítě .....	73
	Závěr .....	78
	Použité zdroje .....	80
	Seznam obrázků .....	84
	Seznam tabulek .....	84
	Seznam grafů .....	85
	Příloha č. 1 .....	86
	Příloha č.2 .....	91

## **SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

ICAO	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IATA	Mezinárodní asociace leteckých dopravců
ACI	Mezinárodní sdružení letišť
AWB	Letecký nákladní list
ČSA	České aerolinie
OAG	Official Aviation Guide (databáze letových řádů)



# Úvod

Leteckou síť je možné chápat jako systém tvořený letišti, provozovateli letecké dopravy, navigačními službami a regulátory, dohromady vytvářející infrastrukturu letecké dopravy. Současná síť letecké dopravy je výsledkem konkurenceschopnosti leteckých společností s cílem maximalizovat jejich zisky. Pro popis výkonnosti letiště jsou běžně využívány ukazatele provozu (jako je celkový počet přepravených cestujících, počet pohybů letadel nebo množství přepraveného nákladu). Jedná se o ukazatele vytíženosti, jejichž sledování je žádoucí pro následné určování provozní kapacity letiště a plánování dalšího rozvoje. V případě, že je předmětem zkoumání letecká síť, nejsou ukazatele provozu letiště dostatečnými informacemi.

Při zkoumání letecké sítě je zapotřebí zaměřit se především na pravidelně provozované letecké linky daného letiště. Pro popis velikosti letecké sítě, četnosti jednotlivých leteckých spojů, propojenosti a dostupnosti ostatních letišť je využíván pojem konektivita. Konektivitu tak lze definovat jako způsob zapojení letiště v síti. Na základě vypočítané konektivity je možné jednotlivá letiště vzájemně porovnávat čistě s ohledem na jejich provozovanou leteckou síť.

Síť letecké dopravy je jednou z nejdůležitějších a nejkritičtějších infrastruktur dnešní globální ekonomiky. Dostupná letecká síť je zodpovědná za každodenní přemísťování osob a zboží po celém světě. Navzdory důležitosti sítě může být zranitelná vůči některým incidentům a neočekávaným událostem. Takovéto narušení, či neefektivnost letového provozu způsobují vysoké ekonomické ztráty. Z tohoto důvodu může být odolnost brána jako jeden z faktorů, jak leteckou síť hodnotit.

Cílem této diplomové práce je ohodnotit evropskou leteckou síť na základě identifikace a hodnocení nejvýznamnějších evropských letišť dle pravidelně provozovaných leteckých spojů. Předmětem sledování je zároveň postavení primárního letiště České republiky, Letiště Václava Havla v Praze, v kontextu evropské letecké sítě. S ohledem na ohodnocení letecké sítě je sledována také její odolnost.

K výběru tohoto tématu vedla možnost podílet se na projektu pod záštitou Ministerstva dopravy nazývajícím se „Hodnota letecké dopravy pro ČR“. Součástí projektu je několik odvětví letectví, jako zaměstnanost, podnikatelský sektor, letecké podniky, regionální letiště, letecká síť, turismus a přínos letecké dopravy v rámci HDP ČR. Samotná letecká síť je část leteckého odvětví, bez kterého by letecká doprava nemohla fungovat. Tento fakt významně přispívá k mému zájmu o bližší studium problematiky hodnocení stavu letecké sítě.

## 2 Literární rešerše

Tato kapitola reflektuje problematiku letecké sítě tvořící základ pro zpracování diplomové práce. Pojednává o struktuře letecké sítě, která je tvořena několika složkami, dohromady vytvářející funkční infrastrukturu letecké dopravy. Dále popisuje možné způsoby pro hodnocení velikosti, kvality letecké sítě, či propojenosti a dostupnosti ostatních letišť.

### 2.1 Struktura letecké sítě

Dopravu je možné definovat jako systém tvořený navzájem provázanými složkami formující dopravní infrastrukturu. Obecně se dopravní síť skládá z několika dopravních bodů a cest. Dopravní cestu lze definovat jako soubor spojující dva body, mezi nimiž je možné uskutečnit dopravu. K uskutečnění dopravy jsou ve vymezeném prostoru využívána zařízení sloužící k dopravě, která se pohybují mezi technickými objekty. V počátečním a konečném bodě pak probíhá výstup, nástup a přestup cestujících nebo vykládka, nakládka a překládka nákladu. [1, 2]

U letecké dopravy je princip dopravní sítě totožný. Celková infrastruktura civilního letectví je tvořena několika základními prvky, které jsou k provozování letecké dopravy nezbytné. Patří mezi ně: [3]

- Letiště
- Provozovatelé letecké dopravy
- Navigační služby
- Regulace

Letiště je základním prvkem leteckého odvětví, bez nichž by leteckou dopravu nebylo možné uskutečnit. Plní funkci jak počátečního, tak konečného bodu přepravy, kde probíhá manipulace s nákladem a pohyb cestujících. Každé mezinárodní letiště je vybavené dráhovým systémem, pojízďečnými drahami, stojánky, terminály pro cestující (případně i terminálem pro náklad), zařízeními pro údržbu letadel a letišť, administrativními budovami a zařízeními pro pozemní obsluhu. Letiště musí splňovat přísná ekologická kritéria, mezi které patří hluk, emise, kontaminace spodních vod a další. V neposlední řadě by mělo letiště být vhodně napojeno na pozemní dopravu kvůli snadné dostupnosti daného města (oblasti). [3]

Neodmyslitelným prvkem letecké dopravy jsou letecké společnosti. Jedná se o provozovatele letadel, jakožto dopravního prostředku za účelem přepravy cestujících či nákladu. V rámci managementu podniku je zapotřebí vytvořit souhrn mezi několika činnostmi jako tvorba

letových řádů, plánování letů, provoz letadel, údržba letadlového parku, zásobování, marketing a mnoho dalšího. [3]

Spojnicí dvou letišť představuje trajektorie letu, kdy doprava mezi těmito body je zajištěna prostřednictvím letadel. Bezpečný a spořádaný pohyb letadel jak na zemi, tak mezi danými letišti, mají na starost letecké navigační služby. V každém státě tyto služby zahrnují řízení letového provozu, leteckou informační službu, komunikační a navigační zařízení, meteorologické služby, včetně služby pátrání a záchrany. [3]

Letectví je odvětví, kde se bezpečnost staví vždy na první místo. Z tohoto důvodu bylo nutné zavést regulace do národní legislativy každého státu. Regulační organizace civilního letectví tak dohlíží na právní rámec zahrnující letecké zákony, mezinárodní a národní předpisy, pravidla, postupy a dohody. [3]

Všechny prvky infrastruktury pak tvoří systém vhodný k provozování globální letecké sítě. Letecká síť může být definována pro jednotlivé světadíly, státy i jednotlivá letiště. Jedná se tak o ukazatel dostupnosti a provázanosti s ostatními zeměmi, regiony a letišti na světě. Dále je možné leteckou síť vymezit pro konkrétní leteckou společnost, kdy se jedná o počet obsluhovaných destinací dané aerolinky. V tomto případě je síť považována za nástroj konkurenceschopnosti a jeden z ukazatelů kvality nabízeného produktu. Aby byla dopravní síť plně funkční, jsou mezi jednotlivými letišti provozovány leteckými společnostmi pravidelná letecká spojení v konkrétních časech prostřednictvím předem daných typů letadel.

### **2.1.1 Historický kontext vzniku obchodní letecké dopravy**

Prvotní náznaky tvorby letecké sítě sahají do počátků obchodní letecké dopravy. Po první světové válce se uskutečnila mírová konference v Paříži roku 1919. Jedná se o první velkou konferenci zabývající se mimo jiné i oblastí letecké dopravy. Na konferenci došlo k vytvoření „Úmluvy o úpravě letectví“, kterou podepsalo 32 států včetně tehdejší Československé republiky. [4] Jedna z hlavních myšlenek této úmluvy je úplná a výlučná svrchovanost nad vzdušným prostorem nad svým územím a dále možnost přeletu letadel jiných smluvních států nad daným státem. [5] Některé státy se se zněním tzv. „Pařížské úmluvy“ neztotožňovaly, a tak vznikla obsahově podobná „Havanská úmluva“, kterou přijalo několik amerických států. [4]

V roce 1944 byly zmíněné úmluvy nahrazeny „Úmluvou o mezinárodním civilním letectví“, tzv. „Chicagskou úmluvou“, která položila základy rozvoje letecké dopravy na globální úrovni. Úmluvu ratifikovalo 52 zemí světa včetně Československé republiky (v současné době má úmluva přes 180 členů). Chicagskou konferencí tak došlo k vytvoření obecně závazných

pravidel pro provoz letecké dopravy. Cílem je zabránit zneužití mezinárodního civilního letectví, zabránit neshodám mezi státy a podporovat vývoj mezinárodního civilního letectví. Zároveň vznikly jedny z nejvýznamnějších organizací regulující oblast letecké dopravy. První vznikla „Mezinárodní organizace pro civilní letectví“ (ICAO), jako jedna z koordinujících mezivládních organizací, později organizace sdružující letecké dopravce (IATA). Mimo jiné byla na konferenci přijata „Dohoda o tranzitu mezinárodních leteckých služeb“, ve které si smluvní státy vzájemně poskytují právo přeletu a technického přistání pro pravidelné linky. Dále vznikla „Mezinárodní dohoda o letecké dopravě“ definující prvních pět svobod vzduchu, kterou si její účastníci vzájemně poskytují přepravní práva (viz níže). [3, 4]

Po 2. světové válce nastává období přísné regulace, doba, kdy vznikly organizace a úmluvy regulující leteckou dopravu. Regulace především ovlivňuje obchodní práva pro využívání letových tras, limitování přepravní kapacity a ceny. Tyto regulační opatření tak brzdí vývoj letecké dopravy. [4]

V poválečném období dochází k nárůstu leteckého provozu, proto jsou k zajištění letecké dopravy uzavírány mezistátní letecké dohody. Jedná se o jeden z nástrojů regulace letecké dopravy, prostřednictvím kterých je možné provést přelety mezi danými státy. [4]

Dohody dělíme na:

- Multilaterální
- Bilaterální
  - Liberální
  - Restriktivní

Historicky nejdříve vznikaly bilaterální dohody uzavírané mezi dvěma státy. Později se přetrafovaly na multilaterální úroveň tvořenou skupinou států. Restriktivní význam mají dohody, kterými je možné regulovat cenu a kapacitu příslušným státem. U liberálních dohod je tato regulace minimální nebo jsou zcela bez jakékoli regulace. [4]

Pro regulaci vstupu letadel na území cizích států s účelem provozovat leteckou dopravu byly na Chicagské konferenci definovány tzv. svobody vzduchu. Jednalo se o prvních pět svobod, ke kterým se později připojily další čtyři. [6] Svobody vzduchu představují obchodní práva pro letecké společnosti týkající se operování letů nad cizím územím, nakládky a vykládky osob či nákladu na cizím území a operování leteckých linek v cizích státech. [4]

Svobody vzduchu jsou:

1. právo svobodně létat přes území druhého státu bez přistání
2. právo svobodně přistát na území druhého státu pro neobchodní potřeby (např. technická závada, doplnění paliva...)
3. právo svobodně vykládat na území druhého státu cestující, zboží či poštu naložené na vlastním území
4. právo svobodně nakládat cestující, zboží či poštu na území druhého státu a zajištění dopravy do výchozího státu
5. právo nakládat cestující, zboží či poštu na území druhého státu a přepravovat je na území třetího státu
6. právo přepravy cestujících, zboží či pošty z druhého státu na území třetího státu přes stát registrace letadla (kombinace třetí a čtvrté svobody vzduchu)
7. právo přepravit cestující, zboží či pošty, aniž by let začal nebo skončil v zemi registrace letadla
8. právo přepravovat cestující, zboží či poštu v rámci druhého státu, přičemž doprava začala ve státě registrace letadla
9. úplná kabotáž (právo přepravovat cestující, zboží či poštu v rámci druhého státu letadlem registrovaným v jiném státě) [3, 6]

Každá z uvedených svobod přináší určité výhody i nevýhody pro stát, či dopravce, který svobodu získal nebo poskytl. První čtyři svobody vzduchu jsou pro leteckého dopravce provozující mezinárodní dopravu naprosto zásadní. Pátá svoboda byla důležitá především u dálkových letů, kdy let byl prováděn s jedním nebo více mezipřistáními. Prostřednictvím šesté svobody lze vytvořit uzlové letiště (hub) sloužící pro tranzit cestujících. Sedmá, osmá a devátá svoboda jsou využívány především na liberalizovaném trhu, jako je Evropská unie. [6]

Po období regulace se dohled mírně uvolňuje z pohledu nařízení a pravidel ze stran států. Jakýmsi milníkem změny je deregulace letecké dopravy v roce 1978 v USA. Postupně došlo ke snížení cen letenek, rozšíření nabídky služeb a možnosti výběru z několika leteckých společností. Svobodné tržní prostředí zapříčinilo, že se letecká doprava stala mnohem dostupnější, než tomu dříve bývalo. Po pozitivním ohlasu deregulace v USA se začalo uvažovat o uvolnění evropského leteckého trhu. Deregulace Evropy začala v druhé polovině 80. let a probíhala v několika fázích, jelikož se jednalo o složitější a delší proces, než ve Spojených státech amerických. Postupně byly přijaty tři deregulační balíčky upravující

kapacitu, cenu za přepravu, regulaci ze stran státu a kabotáž (9. svoboda vzduchu, která je ze všech nejliberálnější). Evropská deregulace byla dokončena na přelomu tisíciletí. [4, 7]

Jedním z hlavních výsledků uvolnění trhu byl vznik nových obchodních koncepcí a prvních nízkonákladových leteckých společností. Klasické letecké společnosti začaly uzavírat partnerství a vytvořily tak globální aliance. Mimo jiné deregulace přinesla krach několika tradičních leteckých společností doposud chráněných a dotovaných státem, nebo pohlcení silnějšími společnostmi. Jedná se o počátky silně konkurenčního prostředí. [4, 7]

### **2.1.2 Letiště**

Letecká síť je dána strategicky rozmístěnými letišti, mezi nimiž jsou leteckými společnostmi provozovány pravidelné letecké spoje. Letiště představují technické objekty zahrnující hlavní infrastrukturu potřebnou k uskutečnění letecké dopravy. Jedná se o nezbytné zázemí leteckých společností, veškerých technických a servisních služeb potřebných k provozování globální letecké sítě. Na území České republiky se nachází celkem 90 civilních letišť. Letiště lze podle Zákona o civilním letectví (č.49/1997 Sb., ve znění pozdějších předpisů) obecně rozdělit do několika kategorií. [8]

Letiště rozlišujeme:

1. Podle jejich vybavení, provozních podmínek a základního určení
  - a) Vnitrostátní letiště
  - b) Mezinárodní letiště
  
2. Podle okruhu uživatelů a charakteru letiště
  - a) Civilní letiště
    - a. Veřejná
    - b. Neveřejná
  - b) Vojenské letiště

Vnitrostátní letiště jsou určena a vybavena k provozování vnitrostátních letů, při kterých není překročena státní hranice a vnější hranice (tzv. vnitřní lety v rámci Shengenu). Pro mezinárodní letiště platí možnost provozování letů jak vnitrostátních a vnitřních letů, tak letů, při nichž je překročena vnější hranice státu. Z důvodu mezinárodních letů podléhají tato letiště celnímu dohledu. [8]

Civilní letiště jsou dle svého charakteru určena pro provoz civilní letecké dopravy. V případě civilního veřejného letiště jsou přijímána, v rámci své technické a provozní způsobilosti, všechna letadla, na rozdíl od letišť neveřejných, která přijímají na základě předchozí domluvy.

Letiště vojenského charakteru jsou využívána pro potřeby ozbrojených sil České republiky, případně jiných oprávněných uživatelů pověřených Ministerstvem dopravy. [8]

Pohyb mezi dvěma letišti je uskutečňován na základě letového plánu. K zajištění vhodné a bezpečné trajektorii letu jsou využívány letové provozní služby. V rámci České republiky za poskytování těchto služeb odpovídá státní podnik Řízení letového provozu České republiky s.r.o..

### **2.1.3 Provozovatelé obchodní letecké dopravy**

Základní charakteristika provozování obchodní letecké dopravy je přeprava cestujících, zboží nebo pošty za úplaty. V rámci obchodní letecké dopravy tak rozeznáváme tři druhy dopravců: [3,9]

- Osobní dopravci
- Nákladní dopravci
- Zásilkoví dopravci

Osobní dopravci jsou zaměřováni na přepravu cestujících v odpovídajících typech letadel. Za smlouvu mezi cestujícím s dopravcem je považována letenka a zavazadlový štítek. V letence jsou uvedeny veškeré informace o cestujícím a dané přepravě. Tito dopravci mohou, ale nemusí nabízet svou zbývající kapacitu letadel k přepravě zboží nebo pošty jako dodatečný výnos z letů. Dopravce osobní letecké dopravy lze dále rozdělit do dvou základních obchodních modelů: [3,9]

- Klasické letecké společnosti
- Nízkonákladové letecké společnosti

Klasické letecké společnosti se v rámci historie letecké dopravy začínají objevovat od počátků obchodní letecké dopravy. Odjakživa se jedná o přepravce nabízející vysokou úroveň služeb s možností několika tarifů a rozdílnou třídou komfortu. Klasické letecké společnosti využívají hlavní letiště v zemi a orientují se na mezinárodní síť linek s možností navazujících letů. Nízkonákladové letecké společnosti se začaly na trhu letecké dopravy objevovat po období deregulace. Oproti klasickým leteckým společnostem se koncentrují na lokální cestující citlivé na cenu, proto nabízí jen jeden tarif, nebo několik tarifů na základě obsazené kapacity letadla. Tito dopravci provozují lety zejména bez přestupů, tedy bez návaznosti linek. Často tak využívají sekundární letiště s nižšími letištními poplatky a lepší flexibilitou v přidělování slotů. [10]

Cílem nákladních dopravců je přeprava zboží uzpůsobenými letadly. Většinou se jedná o osobní letecké dopravce, kteří založili dceřiné společnosti zaměřené jen na nákladní dopravu. Dokladem o přepravě v rámci nákladní letecké dopravy je Letecký nákladní list (AWB). Cena za přepravu je předem stanovena v závislosti na hmotnosti a objemu nákladu. Odesílatel je povinen prokázat dopravci informace o charakteru zboží, jelikož jeho přeprava musí být v souladu s předpisy. [3,9]

U zásilkových dopravců je princip víceméně podobný tomu u nákladních dopravců. Jedná se o přepravu pošty, tedy malých zásilek a balíků. Dopravce tak zajišťuje celý přepravní proces od domu k domu. Ve své podstatě se jedná i o doručovatelskou společnost. [3,9]

### **2.1.3.1 Pravidelná a nepravidelná přeprava**

Úmluva o mezinárodním civilním letectví definuje dopravu pravidelnou (scheduled) a nepravidelnou (non-scheduled), aby je bylo možné odlišit. Tuto definici vytvořila Rada ICAO. [3,6]

Za pravidelnou mezinárodní leteckou přepravu je považována série letů, která je prováděna letadlem pro přepravu cestujících, zboží nebo pošty za úplatu. Zároveň tyto lety musí být přístupné všem vrstvám veřejnosti. V případě mezinárodních linek je pravidelná přeprava prováděna vzdušným prostorem nad územím více než jednoho státu a tato série letů je provozována tak, aby se jednalo o přepravu mezi dvěma stejnými body, nebo více body podle platného letového řádu. Dále Rada ICAO stanovuje, že každý letecký úřad může pravidelnou linku klasifikovat podle své úvahy. [3,6]

Mnohem složitější proces je projednávání pravidelné linky než nepravidelného obchodního letu. Veškeré pravidelné linky podléhají bilaterálním leteckým dohodám. Za nepravidelnou přepravu je považován jakýkoli mezinárodní let provozovaný jinak než pravidelná letecká mezinárodní přeprava. Tyto nepravidelné lety jsou provozovány podle charterové smlouvy z počátečního do koncového bodu s cílem využít celou kapacitu letadla. K uskutečnění nepravidelného letu je zapotřebí získat souhlas území odletu a příletu. Obecně tyto nepravidelné lety nepodléhají provozování podle letového řádu. Může se však stát, že regulující organ udělí povinnost udržovat veřejnou služby nebo provádět let dle letového řádu bez ohledu na vytížení letu. Za rizika související s finanční stránkou charterového letu nese zodpovědnost objednatel nikoli provozovatel letu. Jedná se tak o typický příklad přepravy využívající cestovní kanceláře pro své letecké zájezdy. [3,6]



### 2.1.3.2 Letový řád

Letový řád je publikace zahrnující veškeré informace o provozovaných spojích dané letecké společnosti. Jedná se o jeden z hlavních optimalizačních nástrojů nabídky služeb leteckých společností. Důležité je, aby co nejlépe pokrýval poptávku cestujících a zároveň umožňoval maximální využití letadlového parku leteckých společností. [11]

Letový řád pro pravidelné letecké linky je sestavován dvakrát do roka. Rozlišujeme tedy zimní (listopad až březen) a letní (duben až říjen) letový řád, v souvislosti se změnou zimního a letního času, a rozdílnou poptávkou po letecké dopravě v obou obdobích. Letový řád každé letecké společnosti vytváří leteckou síť dané aerolinky. Tyto pravidelné letecké spoje jsou obsluhovány v optimálních časech tak, aby flotila společnosti byla co nejlépe vytížena. Je však nutné brát na vědomí konkurenční letecké společnosti působící na stejném trhu. [11]

Faktory rozhodující při tvorbě letového řádu:

- Destinace
- Poptávka
- Konkurence
- Typ letadla
- Přidělené sloty
- Frekvence spoje
- Pracovní doba posádky
- Údržba letadel

Letový řád je jakýmsi kompromisem mezi všemi faktory s cílem dosáhnout co nejvýhodnějších podmínek pro leteckého dopravce. V době jeho přípravy hraje důležitou roli koordinace letových řádů. Vždy dvakrát do roka probíhá před vstupem v jeho platnost konference prostřednictvím „Mezinárodní organizace leteckých dopravců“ (IATA). Této konferenci se zúčastňují zástupci většiny světových leteckých společností projednávající nutné bilaterální dohody. Koordinace provozních časů linek (slotů) je nutná k zajištění plynulého toku leteckých linek na letových cestách, kontinuálního využití vzletových a přistávacích drah spolu se stojánkami na letištích, a k zajištění potřebné obsluhy letadel. K sestavení takto zkoordinovaných letových řádů se využívá různých softwarových programů. Pro všechny letecké společnosti je žádoucí, aby veškerá letadla ve flotile byla v průměru co možná nejvíc hodin denně ve vzduchu. [11]

## 2.1.4 Modely letecké sítě

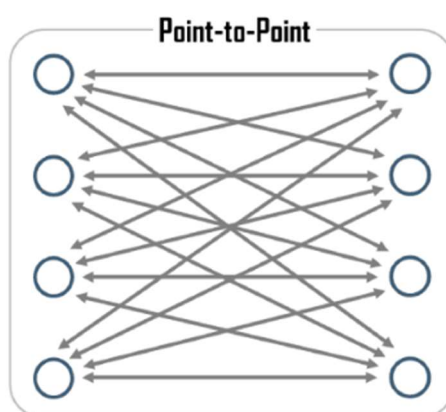
Liberalizace leteckého trhu se promítla do charakteru leteckých sítí. Způsob tvorby letecké sítě je mimo jiné jedním z významných konkurenčních prvků leteckých společností. Mluvíme o takzvané prostorové strategii, která je u klasických a nízkonákladových leteckých dopravců odlišná. Každý způsob realizace letecké sítě přináší své klady i protiklady. Z tohoto důvodu jsou tyto typy sítí určeny pro určitý druh používání, aby bylo dosaženo vysoké efektivity. [4,7]

Rozlišujeme dva základní modely při tvorbě letecké sítě:

- Model point-to-point
- Model hub-and-spoke

### 2.1.4.1 Model point - to - point

Model point-to-point umožňuje dopravu tzv. z bodu do bodu. Obecně je tento systém tvořen několika letišti bez vzájemné závislosti, které jsou propojeny poměrně velkým množstvím přímých letů. Celkově tak tvoří jeden z přístupů k tvorbě letecké sítě. Model je graficky zobrazen na obrázku č.1.



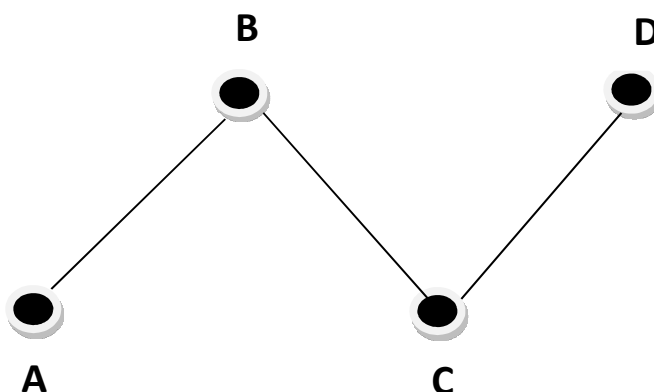
Obrázek 1 - Schematické uspořádání letecké sítě point-to-point [12]

Z historického hlediska se jedná o model využívaný všemi leteckými společnostmi od počátku obchodní letecké dopravy. Přímé spojení destinací minimalizují celkový cestovní čas, nicméně tato výhoda je na úkor nižší frekvenci spojů a menší efektivity využití kapacity letadla. V současné době je tento typ letecké sítě hojně využíván nízkonákladovými leteckými společnostmi. Jelikož je přestup na krátkých trasách značně nepohodlný, nízkonákladoví dopravci tak pokryli nejžádanější destinace přímými spoji. Vhodné plánování linek je pro letecké společnosti jednou z nejdůležitějších částí podnikání. [7]

Model point-to-point lze rozdělit do dvou jednodušších podob:

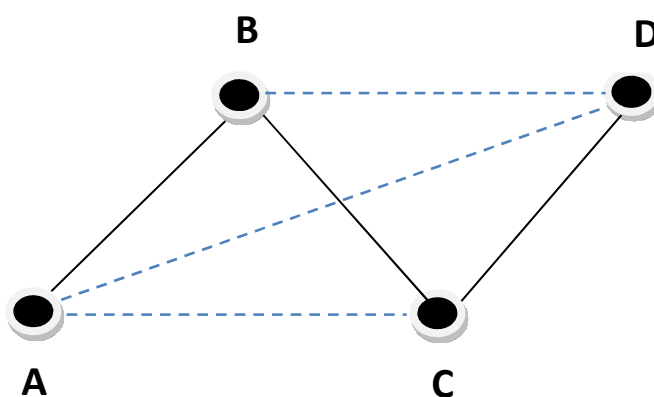
- Liniová síť
- Rozšířená liniová síť

Liniová síť je nejjednodušším typem pro provozování dopravní sítě. Její využití je zejména při pravidelném rozložení bodů (letišť) tak, že je možné zajistit dopravu na všechny body v síti jednou linkou, viz obrázek č.2. Tento model sítě lze aplikovat právě na nízkonákladové letecké společnosti, kdy jsou schopné nabídnout nízkou cenu letenky, obsloužit návazně na sebe několik destinací, mezi nimiž je krátká vzdálenost a tuto linku provozovat několikrát denně. [13]



Obrázek 2 - Schematické uspořádání liniové letecké sítě [13]

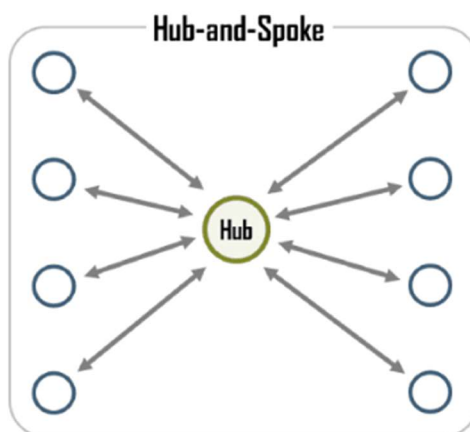
U rozšířené liniové sítě se jedná o upravenou základní liniovou síť. Původní síť byla rozšířena o nové spoje mezi body s velkou poptávkou. Většinou se může jednat o přetížení základních linií v síti a je tedy nutné tuto síť rozšířit. Nové spoje jsou v obrázku č. 3 znázorněny modrou přerušovanou čarou. [13]



Obrázek 3 - Schematické uspořádání rozšířené liniové letecké sítě [13]

### 2.1.3.2 Model hub - and - spoke

Po deregulaci přešly klasické letecké společnosti na systém hub-and-spoke, který se stal základním rysem provozu letecké dopravy po celém světě. Centrem tohoto modelu je tzv. hub neboli uzlové letiště. Uzlové letiště je paprskovitě spojeno s dalšími letišti tak, aby tvořila hvězdicové uspořádání. [7] Tento model je zobrazen na obrázku č.4.



Obrázek 4 - Schematické uspořádání letecké sítě hub-and-spoke [12]

Hubovský charakter letiště vyplývá z uzlové strategie plánování linek pro přepravu. Tuto strategii uplatňují klasické letecké společnosti (zpravidla domácí přepravce), kterým síť hub-and-spoke umožňuje maximalizovat počet spojení městských párů. Dané letiště tohoto dopravce může svými službami a přidělováním slotů podporovat. [14]

Hlavní funkcí uzlového letiště je sběr cestujících. Spojení mezi menšími letišti v síti jsou umožněna pouze s přestupem v centrálním letišti bez možnosti přímé linky. Uzlová strategie letiště zajišťuje přestup cestujících z jednoho spoje na druhý v poměrně krátkém čase, kdy se letadla do uzlového letiště slétávají a následně se rozlétávají do dalších destinací. [14]

Cestující tohoto typu letiště získávají daleko větší možnosti k cestování, než tomu bylo z letiště odletu. Další výhodou této prostorové strategie je minimální počet provozovaných linek. K obsluze celé letecké sítě je zapotřebí mnohem méně linek, než je tomu u modelu sítě point-to-point. Díky menšímu počtu linek jsou letecké společnosti schopny naplánovat častější spoje na každé trase a efektivně tak využít kapacitu všech letadel ve flotile. [7]

Nevýhoda uzlových letišť je jejich nedostatečná flexibilita. Nutností je co nejpřesněji dodržování letového řádu, proto je poněkud složité na nich zařadit do provozu nepravidelné letecké spoje. Zpoždění letů v uzlovém letišti negativně ovlivňuje celou jeho leteckou síť.

Ve světě tak vzniklo několik uzlových letišť, které jsou využívány k propojení globální letecké sítě. Mezi nejznámější patří např. Atlanta, New York, Londýn, Paříž, Frankfurt, Dubaj, Singapur a mnoho dalších. Mezi těmito hlavními uzly se uskutečňuje velká část z celkové letecké dopravy, ať už osobní nebo nákladní.

## 2.2 Konektivita

Široké využití modelu sítě hub-and-spoke a komplexní propojenost jednotlivých letišť vytváří z analýzy leteckých sítí poměrně složitý úkol. Klasicky jsou letiště porovnávána s ohledem na základní provozní charakteristiky letiště - celkový počet přepravených cestujících, počet pohybů letadel nebo množství přepraveného nákladu. I když jsou tyto ukazatele výkonnosti letiště důležité pro hodnocení provozu, neposkytují však informace hodnotící velikost, kvalitu letecké sítě či propojenost a dostupnost ostatních letišť.

Několik prací zabývajících se studiem leteckých sítí využívá pojem konektivita pro popis provázanosti jednotlivých uzlů v síti. Konektivitu sítě je možné definovat jako způsob zapojení uzlu v síti, kdy ostatní uzly jsou dostupné přímo nebo nepřímo přes další uzly. Ke zkoumání konektivity letecké sítě lze přistupovat několika způsoby. První způsob přistupuje k síti z pohledu přímé a nepřímé konektivity zkoumající počet a kvalitu spojení z vybraného uzlu sítě. Druhým přístupem je konektivita zkoumána z pohledu centrality s ohledem na přestupní možnosti a dostupnost ostatních uzlů v síti. [15]

V následující části této kapitoly budou jednotlivé přístupy ke konektivě sítě, a tedy možné metody zkoumání letecké sítě, přiblíženy detailněji. Následně bude jedna z metod vybrána pro zpracování.

### 2.2.1 Netscan metoda

Pro zkoumání letecké sítě na základě konektivity bylo zpracováno několik modelů zahraničními autory. Za nejznámější a nejrozšířenější metodu je však považována metoda nazývaná Netscan konektivita, která se postupně modifikovala v průběhu několika let. Vůbec poprvé byl model Netscan konektivity vyvinut pro ohodnocení mezinárodního letiště Schiphol v Amsterdamu v roce 1997, kdy výzkum byl zaměřen na index kvality a počet navazujících letů z letiště. Později v roce 2000 model využila mezinárodní organizace IATA pro ohodnocení a porovnání konektivity sítí letišť globálně. Pan Burghouwt (2007) navrhl, že nepřímá konektivita je určena počtem letů nabízených z letiště a zároveň délkou doby přestupu na nepřímých letech. [16] V současnosti model využívá sdružení ACI zastupující společné zájmy letišť. Každoročně vydává reporty analyzující jednotlivá letiště na základě vývoje přímých a nepřímých spojení v rámci provozované letecké sítě. Reporty definují jednotlivé typy konektivity a zároveň vykazují výsledky zpracovaného indexu konektivity letiště. [17]

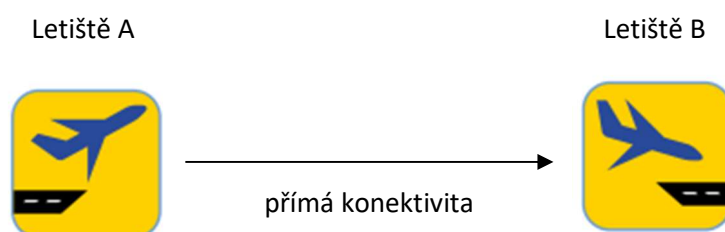
### 2.2.1.1 Typy konektivity

Výpočet síťové konektivity může být využíván v leteckém průmyslu k měření výkonnosti, efektivnosti a dostupnosti letišť mezi sebou navzájem. Celkové ohodnocení síťové konektivity se skládá z několika složek. Rozlišujeme čtyři různé typy konektivit, které lze v rámci letiště sledovat a analyzovat. Z pohledu leteckých společností provozujících letecké linky lze uvažovat, že společnosti si vzájemně konkurují přímým i nepřímým způsobem přepravy. Na jednu stranu aerolinky soutěží na přímých linkách z bodu A do bodu B. Na straně druhé si konkurují nepřímo na linkách s přestupem v uzlových letištích z bodu A do bodu B přes H (hub). [16]

Model Netscan konektivita rozeznává následující typy konektivit:

- Přímá konektivita
- Nepřímá konektivita
- Hub konektivita
- Celková konektivita

Přímá konektivita je definovaná jako celkový počet přímých pravidelných letů nabízených z letiště A do všech ostatních letišť B. Počet letů je brán jak z hlediska počtu obsluhovaných destinací, tak z hlediska četnosti letů. Jedná se tedy o vynásobení jednotlivých leteckých linek provozovanou frekvencí daného spoje. Každému letu je tak přiřazena hodnota rovná 1 a čím větší počet letů dané letiště nabízí a provozuje, tím větší index konektivity letiště získá. Přímou konektivitu lze v podstatě brát jako spojení point-to-point, kde jsou analyzovány pouze přímá letecká spojení. [18] Pro znázornění výše zmíněné definice přímé konektivity bylo vytvořeno schéma zobrazeno na obrázku č.5. Letiště A je předmětem zkoumání konektivity a letiště B představuje všechna cílová letiště obsluhované z letiště A přímým spojením.



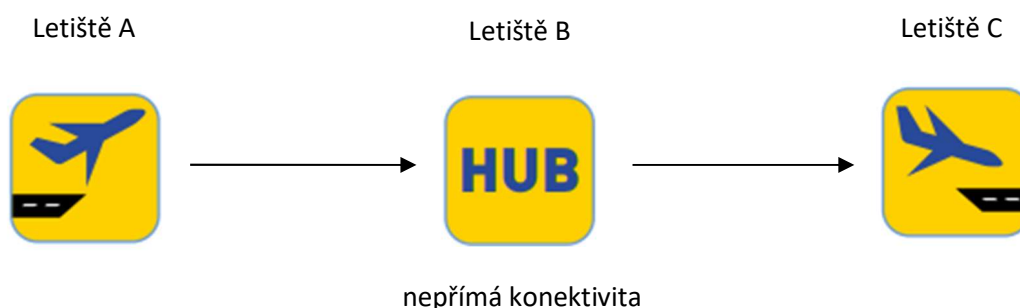
**Obrázek 5 - Grafické zobrazení přímé konektivity [19], (upraveno)**

Nepřímou konektivitu je možné definovat jako celkový počet nepřímých pravidelných letů nabízených z letiště A do všech ostatních letišť C, vedené přes uzlové letiště H (hub). Pro snazší pochopení je nutné zmínit, že se jedná o lety přímé z letiště A do letiště B (viz. přímá konektivita), kdy se letiště B stává pouze přestupním bodem a následně jsou

v úvahu brány všechny možné navazující lety na předchozí spoj. Spojením takových dvou přímých navazujících linek vzniká nepřímý letecký spoj, který je zapotřebí ohodnotit jako celek. Každému nepřímému spojení je přiřazena hodnota v rozmezí 0 až 1 tak, aby bylo možné reflektovat kvalitu daného spojení oproti spoji přímému. [19]

Kvalita nepřímého spojení je počítána na základě vzorce zohledňující několik kritérií. Do výpočtu indexu konektivity nepřímého spojení je počítáno s cestovním časem přímého spojení, následujícím přestupním časem v uzlovém letišti a cestovním časem navazujícího spojení. Jako minimální doba pro přestup je stanovena na 60 minut pro všechny navazující spoje. [16]

Pro znázornění nepřímé konektivity bylo vytvořeno schéma zobrazené na obrázku č.6.



**Obrázek 6 - Grafické zobrazení nepřímé konektivity [19], (upraveno)**

Hub konektivita představuje jeden z nejdůležitějších způsobů hodnocení letišť. Letiště je tak posuzováno na základě jeho přestupního potenciálu. Měří se, kolikrát je dané letiště využito jako přestupní most. Letiště A z předchozího grafického zobrazení by tak reprezentovalo samotný HUB, který je předmětem sledování. [19]

Tradičně je letecká síť letišť reprezentována počtem obsluhovaných destinací nabízených letišťem. Tato úvaha ovšem nebere v úvahu frekvence jednotlivých linek, či možná nepřímá spojení, která značně ovlivňují celkovou hodnotu konektivity letišť. Komplexní pohled na provozovanou leteckou síť daného letiště nám dává konektivita celková, neboli index konektivity. Jedná se o součet přímé a nepřímé konektivity – měří tedy celkovou úroveň, na které je letiště propojeno se zbytkem světa. Model Netscan používá jako vstupní data letové řady jednotlivých letišť, která jsou zahrnuta do výzkumu. Dále využívá letové řady přestupních letišť, ze kterých jsou filtrovány možné navazující spoje na předchozí přímý let. Z pohledu časového rozmezí je zkoumán letový řád pro třetí červnový týden. Pro ohodnocení nepřímých spojení využívá ACI přístup do databáze OAG obsahující všechny letové řady jednotlivých letišť a následně svůj software pro zpracování konektivity. [19]



## 2.2.2 Metoda centrality

Dopravní síť je možné definovat jako graf skládající se ze souboru uzlů a cest, kde jednotlivé uzly letecké sítě představují letiště a cesty provozované pravidelné linky. Druhý přístup pro popis konektivity využívá koncept centrality používaný v oblasti teorii grafů a síťové analýzy. [20]

Tato problematika se rozvinula v rámci oboru sociologie a postupem času se rozšířila do dalších odvětví. Zahraniční autor L.C. Freemanem popsal základní míry centrality a provedl výzkum popisující souvislost centrality s efektivitou skupiny při řešení problémů. Z výzkumu tak vyplývá, že centralita sítě vyjadřuje důležitost a postavení jednotlivých uzlů ve zkoumané síti. [20] V pozdějších letech byl Freemanův přístup k síti aplikován v oblasti síťové analýzy a analýzy dopravních sítí.

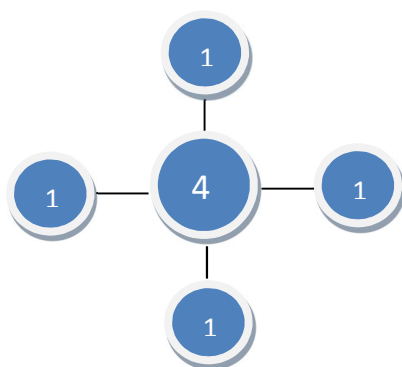
Rozlišujeme několik druhů centrality, kterými lze uzly ve vybrané síti ohodnotit. Pro jednotlivé míry centrality byly vytvořeny české ekvivalenty. Mezi ně patří: [20,21]

- Degree centrality – Přímá centralita
- Weighted centrality – Vážená centralita
- Betweenness centrality – Přestupní centralita
- Closeness centrality – Centralita dostupnosti

### 2.2.2.1 Přímá centralita

Přímá centralita je nejzákladnější centralitou představující stupeň uzlu v síti. Udává počet hran vystupujících z uzlu, tedy počet přímých spojení. Vzhledem k letecké síti popisuje provoz jednotlivých uzlů neboli letišť. Přímá centralita tak reprezentuje počet provozovaných pravidelných linek daného letiště reflektující aktivitu letiště v rámci letecké sítě. [21,22]

Pro znázornění bylo vytvořeno schéma zobrazující uspořádání pěti uzlů, viz obrázek č.7 Schematické znázornění přímé centrality. Přímá centralita je reprezentována číslicí uvnitř každého uzlu zvlášť. Letiště s největší přímou centralitou je v tomto případě ohodnoceno stupněm čtyři (z centrálního letiště vedou 4 letecké spoje).

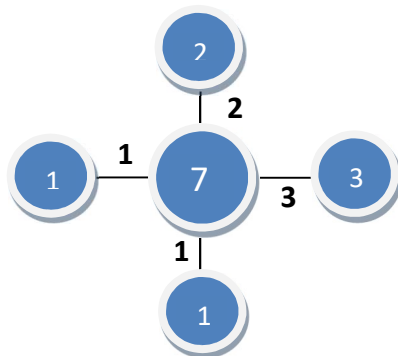


Obrázek 7 - Schematické znázornění a výpočet přímé centrality

### 2.2.2.2 Vážená centralita

Vážená centralita navazuje na předcházející centralitu přímého spojení. Jednotlivým hranám vystupujících z uzlů je přidána hodnota představující váhu dané hrany v síti. Letiště provozují své pravidelné linky s určitou frekvencí s ohledem na letový řád. Frekvence udává opakování linky během sedmi kalendářních dnů a s ohledem na frekvenci je tak možné získat ohodnocení každého spoje. Na základě této váhy lze určit váženou centralitu letiště, která reprezentuje celkový počet pravidelných letů z letiště. [21,22]

Následující schéma fiktivní sítě zobrazuje uspořádání pěti uzlů, kde jednotlivé hrany získaly ohodnocení, viz obrázek č.8 Schematické znázornění vážené centrality. Součtem hodnocených hran vystupujících z uzlu, je vypočítána vážená centralita. Letiště s největší váženou centralitou je opět středový uzel ohodnocený číslem sedm.

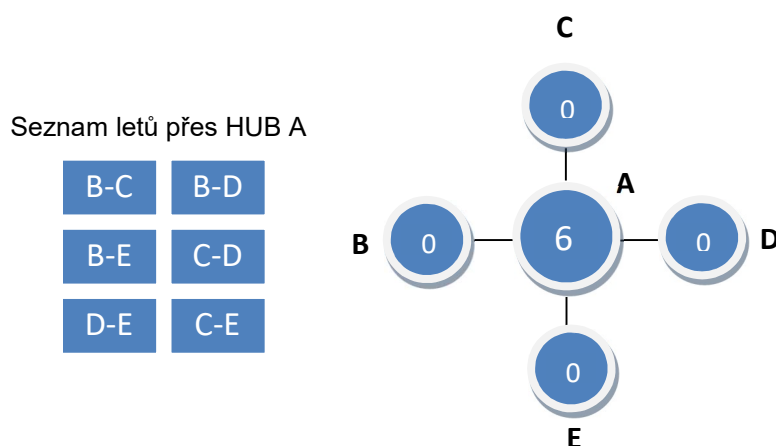


Obrázek 8 - Schematické znázornění a výpočet vážené centrality

### 2.2.2.3 Přestupní centralita

Přestupní centralita definuje v síti uzly na základě jejich průchodnosti. Měří, kolik cest prochází daným uzlem v síti mezi dvojicí uzlů bez přímého spojení. Jednotlivé uzly mohou být tímto způsobem ohodnoceny. Čím větší hodnotu získají, tím lepším uzlem pro tok v síti se stávají. V rámci letecké sítě mohou být všechny letiště v síti ohodnoceny s ohledem na jejich významnost jako přestupní hub letiště. [21,22]

Stejná fiktivní síť jako v předešlých případech je zobrazena na následujícím obrázku č.9 Schematické znázornění přestupní centrality. Jednotlivá letiště je možné ohodnotit na základě jejich přestupní centrality. Jelikož se jedná o model sítě hub-and-spoke, jsou veškeré lety vedeny skrze centrální letiště neboli hub. Okrajová letiště sítě jsou ohodnocena nulou, protože přes ně není možné uskutečnit přestup pro následující let do dalšího letiště. Jen jediné centrální letiště je ohodnoceno číslicí větší než nula, a to číslem šest. Vysvětlení viz následující tabulka letů. Šest leteckých spojů je vedeno přes letiště A, proto je přestupní centralita rovna šesti.

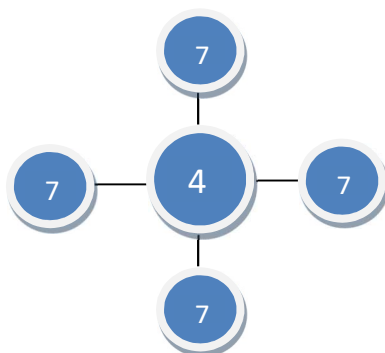


Obrázek 9 - Schematické znázornění a výpočet přestupní centrality

### 2.2.2.4 Centralita dostupnosti

Poslední centralita dostupnosti vyjadřuje vzdálenost sledovaného uzlu od všech ostatních uzlů v síti. Každý uzel je ohodnocen na základě nejmenšího součtu hran, tedy nejkratší cestou v síti, která vede do všech ostatních uzlů sítě. V rámci letecké dopravy tato centralita reflektuje provoz pravidelných leteckých linek letiště k dosažení všech ostatních letišť v síti. [21,22]

Ve schematickém znázornění fiktivní sítě (viz. obrázek č.10) je pro jednotlivé uzly vypočítána centralita dostupnosti. Výsledky jsou uvedeny jednotlivě pro každý z uzlů. Okrajové uzly sítě vykazují nejvyšší hodnotu a centrální uzel sítě nejmenší. Tyto hodnoty zároveň reflektují součet nejkratších cest do ostatních uzlů v síti.



**Obrázek 10 - Schematické znázornění a výpočet centrality dostupnosti**

Metodou centrality je možné popsat konektivitu jednotlivých letišť. Oproti metodě Netscan nemůže být letiště popisováno samostatně, nýbrž musí být součástí sítě (tedy propojené oblasti s více uzly). Nebylo by tak možné určit přestupní centralitu a centralitu dostupnosti. Model centrality využívá jako vstupní data letové řády jednotlivých letišť, která jsou součástí vybrané letecké sítě. Pro výzkum je taktéž zapotřebí specifikovat časové rozmezí výzkumu. Vzhledem k tomu, že metoda nebyla vytvořena přímo pro sledování letecké sítě, nemá tedy období sledování přímo určené. Období sledování je vybráno v závislosti na preferenci sledování zimního nebo letního letového řádu.

### 2.2.3 Odolnost sítě

Tak jako u každé sítě (ať už silniční, železniční, informační, telekomunikační a další) je možné, aby i letecká síť byla narušena. Narušením takové sítě může dojít k omezení její funkčnosti, či k úplnému rozpadu sítě a následnému pozastavení toku v síti. Narušení či přerušení letového provozu způsobuje vysoké ekonomické ztráty. Z tohoto důvodu může být odolnost letecké sítě brána jako jeden z faktorů umožňující její hodnocení. [23]

Stěžejními body letecké sítě jsou samotná letiště, která fungují jako spojovací body pro přepravu cestujících a nákladu. Jedná se tak o velmi kritické body, v nichž může být přeprava omezena nebo zcela znemožněna na základě různých faktorů. Především se jedná o narušení negativním způsobem v případě neočekávaných přírodních katastrof (například povodně, výbuch sopky, bouře), teroristických útoků nebo stávkou zaměstnanců pracujících v leteckém sektoru. Všechny tyto faktory způsobující narušení sítě jsou většinou pro letecký provoz neočekávanými událostmi, na které je třeba rychle reagovat, aby byla funkčnost sítě co nejvíce zachována. Na druhou stranu lze také na narušení letecké sítě nahlížet z druhého úhlu pohledu, kdy je síť omezena či pozastavena v pozitivním slova smyslu. Například narušením provozu letecké dopravy při vypuknutí pandemie je hlavním cílem zamezení plošného šíření nákazy. [23]

Odolnost vůči narušení sítě je popisována na základě robustnosti, kdy síť je sledována s cílem určit, jak dlouho je její provoz zachován a kdy se síť stává neprovozuschopnou. Pro zjištění odolnosti je zapotřebí vytvořit model sledované letecké sítě, která se skládá z jednotlivých uzlů a ty jsou provázány pravidelnými leteckými linkami. Narušení modelu letecké sítě lze sledovat s ohledem na ukazatele jako je změna průměrné délky cesty a změna komponenty grafu. [23] Průměrná délka cesty nám obecně udává průměrnou hodnotu počtu hran k dosažení druhého uzlu v síti (v letecké síti to je průměrný počet letů k dosažení druhého uzlu v síti). Komponenta grafu, jakožto druhý ukazatel, představuje maximální souvislý podgraf grafu  $G$  (při narušování letecké sítě se síť může rozpadnout na několik menších částí, kdy největší funkční část představuje komponentu sítě). [24] Změna těchto ukazatelů je sledována v závislosti na postupném uzavírání uzlů neboli letišť v síti. [23]

Uzavírání letišť je závislé na situaci, kdy odolnost letecké sítě sledujeme. V případě, že je záměrem zjistit teoretickou odolnost vybrané sítě, je zapotřebí znát postavení a důležitost jednotlivých letišť v síti. Takovéto posouzení letišť v síti je možné na základě předchozí analýzy sítě dle výpočtu potřebných metrik centrality. Letiště jsou postupně uzavírána s ohledem na hodnocení dle přímé a přestupní centrality letišť. Vážená centralita není brána v úvahu z toho důvodu, že reprezentuje pouze frekvenci provozovaných spojů

a cílem uzavření letiště je zrušení spojů celkově. Uzavírání letišť dle centrality dostupnosti představující dosažení všech ostatních uzlů v síti je v tomto případě bezpředmětné. Při uzavírání letišť je sledována změna průměrné délky cesty a komponenty grafu až do samotného rozpadu sítě. Rozpad sítě nastává, když průměrná délka cesty má nulovou hodnotu a komponenta grafu již nelze jasně určit. [23]

V případě, že je předmětem zkoumání konkrétně narušená letecká síť (určitý případ narušení), je možné na základě vytvoření modelu této sítě postupně uzavírat letiště dle skutečné situace. Z této simulace lze posuzovat závažnost narušení sítě, vyvozovat důsledky a porovnávat stejné síť během různých sledovaných období (normální stav vs. narušený stav).

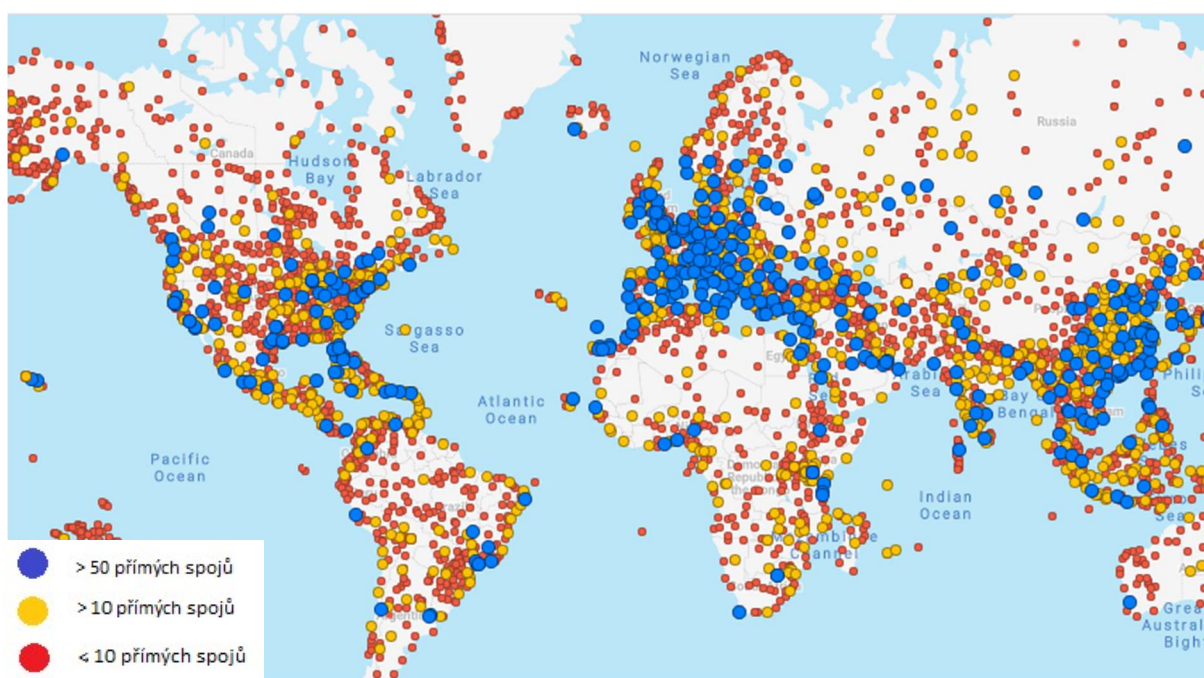
### 3 Metodologie hodnocení stavu letecké sítě

Metodologie, jakožto vědní disciplína, vytváří ucelený postup pro zpracování určité problematiky s popisem plánování, organizací a realizací výzkumu. Pro výzkum je zapotřebí jasně vymezit oblast zkoumání a specifikovat potřebná data, která budou využita k dosažení cílů práce.

#### 3.1 Analýza dat pro ohodnocení letecké sítě

Letecká síť může být posuzována na základě několika úrovní (úroveň národní, světadílů a globální). Národní letecká síť představuje veškeré pravidelné letecké linky obsluhované daným státem. V tomto případě se může jednat o analýzu letecké sítě České republiky (nebo jakéhokoli jiného státu), kdy výzkumu podléhají všechna mezinárodní letiště s pravidelným provozem na území Česka. Pro analýzu letecké sítě kontinentální úrovně je zapotřebí zkoumat mnohem větší soubor letišť několika států patřící do daného světadílu. Ať už se jedná o jakýkoliv světadíl, analýza této letecké sítě je mnohem komplexnější a rozsáhlejší. Globální neboli celosvětová letecká síť čítá veškerá mezinárodní letiště s pravidelným provozem na světě. Jedná se tak o nejkompaktnější úroveň zkoumání.

Na obrázku č.11 je možné vidět globální rozložení letišť, která jsou barevně odlišena dle počtu obsluhovaných destinací. Mezi oblastmi s nejhustěji rozloženými letišti jednoznačně patří Evropa, Severní Amerika a Jižní Asie.



Obrázek 11 - Mapa globálního rozložení mezinárodních letišť [25], (upraveno)

### 3.1.1 Analýza provozu mezinárodních letišť v ČR

Cílem této práce je ohodnotit evropskou leteckou síť na základě identifikace a hodnocení nejvýznamnějších evropských letišť dle pravidelně provozovaných leteckých spojů. Předmětem sledování je zároveň postavení primárního letiště České republiky, Letiště Václava Havla v Praze, v kontextu evropské letecké sítě. Proto byla provedena analýza provozu mezinárodních letišť České republiky s pravidelným provozem, kde je sledováno postavení a vývoj jednotlivých letišť v čase.

Pro zpracování byla použita data získaná z veřejných výročních zpráv letišť, případně data obdržena po oslovení daných letišť. Sledováno bylo vymezené období mezi lety 2009-2018, tedy poslední desetileté období, pro které byla data dostupná. Desetiletá doba sledování byla zvolena s cílem analyzovat postavení jednotlivých letišť v průběhu novodobé historie a následně tak prokázat, že aktuální úroveň českých mezinárodních letišť není pouze současnou situací, nýbrž dlouholetým faktem.

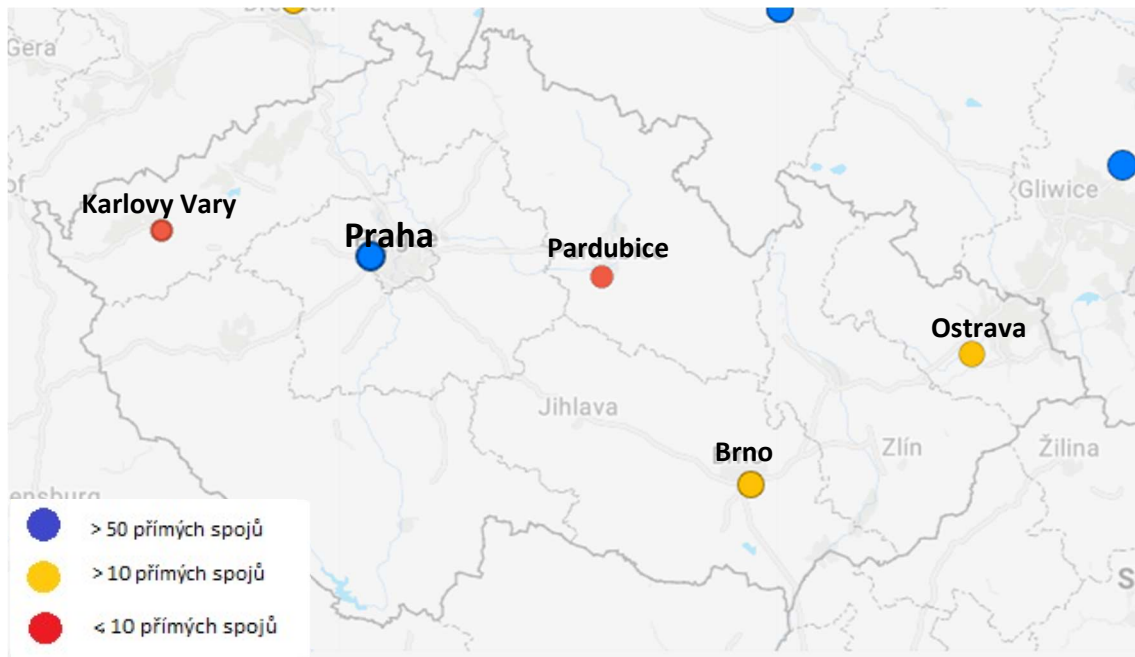
Cílem této analýzy je získaná data zpracovat, graficky znázornit průběh vývoje provozu na jednotlivých letištích v čase, sledovat vzájemnou závislost provozních ukazatelů a následně vývoj letišť zhodnotit. Následně celková analýza zhodnocuje aktuální situaci a úroveň civilní letecké dopravy České republiky s ohledem na podíl jednotlivých letišť na provozu pravidelných leteckých linek. Dalším dílčím cílem analýzy je identifikace možného způsobu filtrování letišť provedená na základě získaných výsledků a jejich zhodnocení. Toto filtrování slouží pro specifikaci primárních evropských letišť, která jsou podkladem pro tvorbu modelu evropské letecké sítě.

Letecká síť je formována letišti, na kterých jsou provozovány pravidelné letecké linky. V České republice se nachází pět veřejných mezinárodních letišť, která mají pravidelný letecký provoz. Mezi tyto letiště patří:

- Letiště Václava Havla Praha
- Letiště Brno-Tuřany
- Letiště Leoše Janáčka Ostrava
- Letiště Pardubice
- Letiště Karlovy Vary

Na následujícím obrázku č.12 je možné vidět geografické rozmístění jednotlivých letišť. Barevné odlišení rozděluje letiště do tří kategorií dle počtu obsluhovaných destinací (situace v roce 2019). V rámci těchto kategorií jsou započítávána veškerá letecká spojení, tedy jak pravidelné, tak nepravidelné spoje.





**Obrázek 12 - Mezinárodní letiště s pravidelným provozem v České republice [25],(upraveno)**

Každé z těchto pěti veřejných mezinárodních letišť je pro Českou leteckou síť stěžejním bodem v oblasti obchodní letecké dopravy. Letiště lze obecně hodnotit na základě jeho provozních ukazatelů. Mezi základní ukazatele provozu letiště patří počet pohybů letadel, počet přepravených cestujících a počet odbavených tun nákladu. Jedná se o ukazatele vytíženosti, jejichž sledování je žádoucí pro následné určování provozní kapacity letiště a plánování dalšího rozvoje. Tyto hodnoty provozních ukazatelů jsou letišti zpracovávány zpětně za jeden kalendářní rok. Letiště na jejich základě následně vyhodnocují provozní charakteristiky a vývoj uplynulého roku. Dalším provozním ukazatelem jsou pravidelné letecké spoje, které charakterizují zejména leteckou síť letišť.

Počet přepravených cestujících lze rozlišit dle několika kategorií (pravidelná doprava, nepravidelná doprava a ostatní (všeobecné letectví a tranzitní cestující)). Počet pohybů letadel je také možné rozlišit podle druhu letu, ale bohužel většina letišť uvádí pouze hodnoty celkové. I když patří počet odbavených tun nákladu mezi základní provozní charakteristiky letiště, je sledování nákladního faktoru pro analýzu civilního letectví bezpředmětné. Z tohoto důvodu bude nákladní doprava z této analýzy vyřazena.

### 3.1.2 Specifikace letecké sítě

Pro ohodnocení konkrétní letecké sítě bylo zapotřebí přesně vymezit oblast zkoumání. Na základě stanovených cílů je práce zaměřena na úroveň světadílu, tedy na evropskou leteckou síť. Evropa jako světadíl je rozdělena do několika samostatných států, které zasahují do geografického území Evropy buďto celou svou rozlohou nebo pouze svou částí (např. státy jako jsou Rusko, Turecko, Gruzie a Kazachstán). Aby došlo k jasnému vymezení letišť, která budou základem pro vytvoření evropské letecké sítě, byla zvolena pouze civilní mezinárodní letiště nacházející se v evropských státech uznaných svou celou rozlohou.

Pro získání kompletního seznamu těchto letišť byla využita statistika Eurostatu popisující počet odbavených cestujících na evropských letištích za rok 2018. [26] Tento seznam čítající 746 letišť byl vyfiltrován tak, aby obsahoval letiště spadající do vymezené evropské oblasti (tedy byly odebrány letiště, která se nacházejí v částečně uznaných evropských státech) a zároveň v roce 2018 odbavila alespoň 1 mil. cestujících. Filtrování dle počtu odbavených cestujících bylo zvoleno na základě analýzy provozu mezinárodních letišť v České republice, kdy je pravidelný provoz na menších letištích s počtem odbavených cestujících nepřekračující 1 milion cestujících/rok v rámci plošného zkoumání úrovně konektivity zanedbatelný (na takových letištích převládá nepravidelný provoz). Všechny pravidelné letecké spoje jsou obecně obousměrné (z letiště A do letiště B a z letiště B do letiště A), a proto lze tedy předpokládat, že provoz malých letišť bude do evropské letecké sítě zahrnut automaticky a budou tak ovlivňovat výsledky celkové evropské letecké sítě. Není však nutné tato vyfiltrovaná letiště jednotlivě hodnotit a počítat pro ně konkrétní hodnoty konektivity (jelikož není potřeba je porovnávat s ostatními významnými leteckými uzly za předpokladu, že jejich hodnoty budou velmi nízké).

Celkový seznam letišť odpovídající výše zmíněným kritériím obsahuje 185 mezinárodních evropských letišť. Do seznamu nebyla zařazena letiště nacházející se v Bělorusku a na Ukrajině (tato letiště v době zpracování neměla zveřejněná data o počtu odbavených cestujících za rok 2018). Kompletní seznam letišť je uveden v Příloze č.1. Pro vybraná letiště byla následně zjišťována jejich pravidelná letecká spojení (postup popsán v kapitole 3.2.1 Zdroj pro získání potřebných dat).

Vybraná letiště zaznamenaná v Příloze č.1 byla zaznačena do mapy Evropy dle jejich počtu obsluhovaných destinací – viz obrázek č. 13.



Obrázek 13 - Vybraná mezinárodní letiště pro ohodnocení letecké sítě [27], (upraveno)

### 3.1.3 Specifikace potřebných dat

Jak již bylo v předchozí kapitole zmíněno, metoda Netscan konektivity je počítána na základě přímé a nepřímé konektivity letiště. Pro zpracování přímé konektivity jsou zapotřebí letové řády jednotlivých hodnocených letiště. Z těchto letových řádů je možné získat informace o počtu obsluhovaných destinací, počtu pravidelných leteckých linek a frekvenci provozu této linky. K získání celkové konektivity je zapotřebí vypočítat také nepřímou konektivitu letiště. Pro zpracování nepřímé konektivity není letový řád sledovaného letiště dostačující informací. Cílem zjištění konektivity nepřímé je nalézt veškerá možná navazující spojení na lety přímé ze sledovaného letiště a tyto lety následně ohodnotit. K tomuto zpracování je nejvhodnějším způsobem využití databáze všech letových řádů, kde je možné filtrovat a generovat pouze požadované navazující lety. Sdružení ACI uplatňující metodu Netscan ke každoročnímu ohodnocení letecké sítě využívá databázi letových řádů OAG. Přístup k této databázi není však veřejný a pro ohodnocení vybrané letecké sítě metodou Netscan by bylo nutné vstup do této databáze předplatit.

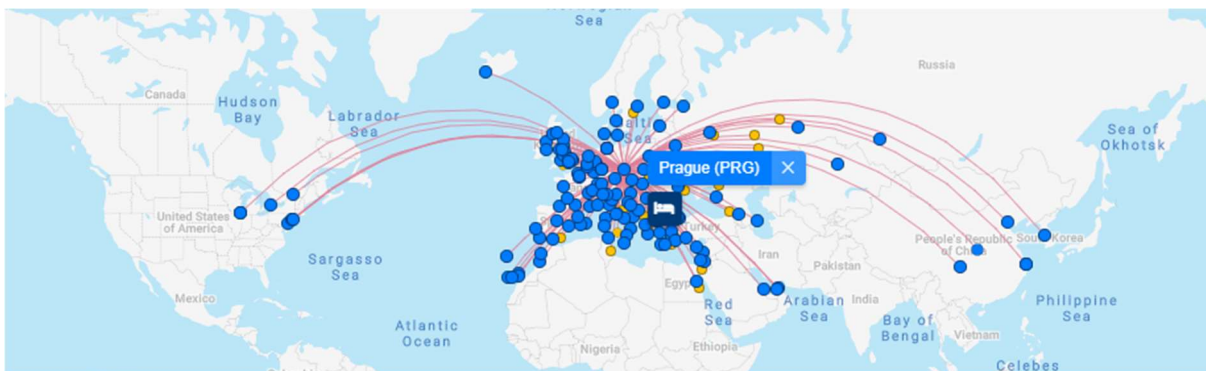
Metoda vycházející ze základů teorie grafů nabízí možnost ohodnotit jednotlivá letiště ve zkoumané síti s využitím pouze pravidelných přímých leteckých linek. Pro ohodnocení jejich letecké sítě na základě různých druhů centralit, jako je přímá centralita, vážená centralita, přestupní centralita a centralita dostupnosti, jsou letové řády sledovaných letiště dostačujícími vstupními daty. Potřebná data ke zpracování jsou tedy dostupná volně bez omezení.

## 3.2 Aplikace zvolené metody pro ohodnocení letecké sítě

S ohledem na specifikaci oblasti zkoumání, specifikaci potřebných zdrojů dat a rešerši možných metod řešení, byla pro tuto práci zvolena metoda zabývající se centralitou letecké sítě. Metoda využívá základy teorie grafů a nabízí možnost popsat jednotlivá letiště ve zkoumané síti na základě provozu přímých pravidelných leteckých linek. Tato metoda byla zvolena s ohledem na rozsah a možnosti sbírání potřebných dat k následné analýze letecké sítě. Celkově tak bylo vyhodnoceno, že pro metodu popisující leteckou síť několika druhů centralit je možné získat všechna potřebná data ke zpracování volně a bez omezení.

### 3.2.1 Zdroj pro získání potřebných dat

Jako hlavní zdroj pro získání potřebných dat byla použita webová aplikace s názvem „Flight Connections“ poskytující letové řády všech civilních letišť na světě. [25] V aplikaci lze vyhledat konkrétní letiště a následně je zobrazena jeho síť provozovaných linek, viz.obrázek č.14.



**Obrázek 14 - Provozované letecké spoje Letiště Václava Havla v Praze [25]**

Po rozkliknutí jednotlivých leteckých spojů je možné získat informace o tom, zda je linka provozována v současném letovém řádu (určité spoje jsou provozovány jen v letním nebo zimním letovém řádu) a jestli je daná linka provozována jako pravidelná nebo nepravidelná. U pravidelných linek lze také zjistit frekvence provozu. Letový řád jednotlivých letišť zobrazuje v této webové aplikaci pouze lety, které jsou v danou chvíli plánované nikoli uskutečněné. Z této aplikace tak bylo možné získat veškeré pravidelné linky včetně frekvence provozu těchto spojů pro všechna letiště uvedena v Příloze č. 1 (seznam vybraných letišť).

### 3.2.2 Charakteristika letecké sítě a míry centrality

Letecká síť je charakterizována souborem letišť a lety z nich provozovaných. V rámci teorie grafů je možné tuto síť popsat jako graf  $G$  obsahující určité množství vrcholů  $V$  (z anglického slova vertices) a hran  $E$  (z anglického slova edges). Tento graf lze popsat jako uspořádanou dvojici: [27]

$$G = (V, E) \quad (1)$$

Provoz pravidelných leteckých linek zajišťuje, že počet příletů je roven počtu odletů. Z tohoto důvodu jsou hrany v grafu znázorňující pravidelné linky mezi letišti směrově neorientované. Celkový graf je tak považován za graf neorientovaný.

Pro ohodnocení jednotlivých letišť a následnou identifikaci důležitých uzlů v síti je využívána centralita. Existuje několik druhů centrality zohledňující různé faktory, kterými je popsána míra zapojení uzlů v síti. Na základě výpočtů můžou jednotlivé uzly vykazovat důležitost v rámci odlišných typů centralit. V případě letecké sítě vypočítaná centralita reprezentuje konektivitu sítě.

V rámci analýzy sledované sítě budou počítány tyto druhy centrality:

- **Přímá centralita**

Jedná se o základní míru centrality hodnotící jednotlivá letiště s ohledem na stupeň uzlu v síti. V neorientovaném grafu je stupeň uzlu definován jako součet přímých spojení, které má s dalšími uzly. Čím vyššího stupně uzel nabývá, tím větší důležitost v síti uzel získává. Matematicky lze přímou centralitu vyjádřit jako:

$$k_i = C_D(i) = \sum_j^N x_{ij} \quad (2)$$

Celkovou leteckou síť lze vyjádřit pomocí matice vztahů  $x$ , kde jednotlivé vztahy (lety) mezi letišti jsou popsány prvky  $x_{ij}$ . Uzel  $i$  představuje sledované letiště, uzlem  $j$  jsou všechny ostatní letiště a  $N$  popisuje celkový počet letišť v síti. Zároveň platí, že  $x_{ij} = 1$ , pokud mezi letišti  $i$  a  $j$  existuje přímé spojení, jinak  $x_{ij} = 0$ . [21]

- **Vážená centralita**

Jednotlivým hranám vystupující z uzlu je přidána váha. Tato hodnota je reprezentována frekvencí, se kterou je daná letecká linka v síti provozována. Vážená přímá konektivita sleduje celkovou sumu pravidelných letů provozovaných daným letištěm. Tato centralita pak odráží velikost letiště. Matematický zápis lze vyjádřit jako:

$$s_i = C_D^W(i) = \sum_j^N w_{ij} \quad (3)$$

Pro výpočet vážené centrality je zapotřebí určit váženou matici vztahů  $w$ , kde prvky matice  $w_{ij}$  jsou větší než 0, pokud mezi letišti  $i$  a  $j$  existuje přímé spojení. V případě, že jsou jednotlivé hrany v síti neohodnoceny, je jejich hodnota rovna 1. Naopak v síti, kde jsou hrany ohodnoceny váhou, je jejich hodnota větší než 1.  $N$  popisuje celkový počet letišť v síti [21]

- **Přestupní centralita**

Přímá centralita a vážená centralita popisují provoz na daném letišti, tedy počet provozovaných linek a frekvenci, s jakou jsou tyto spoje provozovány. Zohledňují tak zejména úroveň zapojení uzlu v síti a jeho důležitost. Nezohledňují však provoz na letištích, na která je sledovaný uzel napojen. Pro tento účel je počítána přestupní centralita letiště. Tato metrika napomáhá nalézt v síti uzly, které jsou významné pro přestup. Tímto způsobem je možné identifikovat hub letiště. Matematicky lze přestupní centralitu vyjádřit jako:

$$C_B(i) = \frac{g_{jk}(i)}{g_{jk}} \quad (4)$$

Celkový počet nejkratších cest mezi dvěma uzly je značen jako  $g_{jk}$ . Následně je pro výpočet zjištěn počet těchto nejkratších cest procházejících právě uzlem  $i$  (ve vzorci označen jako  $g_{jk}(i)$ ). Nejkratší délka cesty v letecké síti může být definována jako minimální počet letů spojující dva uzly. [21]

Vypočítanou hodnotu přestupní centrality letiště je zapotřebí následně normalizovat. U neřízených grafů, kterými jsou například letecké sítě pravidelných linek, je normalizace dána dělením hodnoty  $C_B(i)$  hodnotou  $(N - 1)(N - 2)/2$ , kde  $N$  je celkový počet uzlů v síti. Normalizace umožňuje porovnávat výsledky uzlů z různě velkých leteckých sítí. [29]

- **Centralita dostupnosti**

Na rozdíl od přímé centrality a vážené centrality dokáže centralita dostupnosti v síti identifikovat i uzly s menším stupněm ohodnocení či menší frekvencí provozu. Takové uzly mohou být naopak významné svou polohou a napojením v síti. Na základě centrality dostupnosti lze jednotlivá letiště posuzovat s ohledem na jejich blízkost k ostatním uzlům v síti.

$$C_C(i) = \left[ \sum_j^N d(i,j) \right]^{-1} \quad (5)$$

Centralita dostupnosti je definována jako inverzní součet nejkratších cest ze sledovaného letiště  $i$  do všech ostatních uzlů v síti  $j$ . Celkový počet uzlů v síti představuje hodnota  $N$ . Čím vyšší hodnota centrality dostupnosti, tím je uzel blíže všem ostatním uzlům v síti. [21]

Vypočtenou hodnotu linkové konektivity letiště je zapotřebí následně normalizovat. U neřízených grafů, kterými jsou například letecké sítě pravidelných linek, je normalizace dána násobením hodnoty  $C_C(i)$  hodnotou  $(N - 1)$ , kde  $N$  je celkový počet uzlů v síti. Normalizace umožňuje porovnávat výsledky uzlů z různě velkých leteckých sítí. [29]

### 3.2.3 Výpočet konektivity

Pravidelné letecké linky jsou provozovány v rámci stejné týdenní frekvence, proto je nutné pro sběr dat a následnou analýzu vybrané letecké sítě vybrat konkrétní období sledování (kalendářní týden). Pro sledování letecké sítě jednotlivých evropských letišť bylo vybráno časové období 11. - 17. 11. 2019, výsledky tedy budou reprezentovat situaci v zimním letovém řádu 2019/2020.

Data pro období 11. - 17. 11. 2019 jednotlivých vybraných letišť byla sbírána separátně. Každé letiště bylo vyhledáno ve webové aplikaci „Flight Connections“ a následně byly analyzovány jeho veškeré letecké spoje. U každého leteckého spoje bylo zjišťováno, zda se jedná o linku nepravidelnou nebo pravidelně provozovanou v zimním letovém řádu 2019/2020. Nalezené pravidelné linky splňující provoz ve vybraném období byly vypsány a následně byla pro každý tento spoj zjišťována jeho frekvence provozu. Současně bylo rozlišováno, zda se jedná o linku v rámci evropských států (patřící do Evropy celou svou rozlohou) nebo o linky směřující mimo Evropu. Toto rozdělení linek na evropské a mimoevropské bylo využito v rámci zpracování dat.

Pro výpočet všech výše popsaných měř centrality byl využit software „Node XL Pro“ využívaný pro síťovou analýzu, kdy se jedná o nastavbu „Microsoft office“. Do programu je zapotřebí vpsat veškeré informace, které byly o pravidelných linkách vybraných letišť zjištěny. Ukázka

práce v softwaru „Node XL Pro“ je možná vidět na obrázku č.15. Pracovní prostředí je podobné práci v „Microsoft Excel“, tedy každá buňka je definovaná řádkem a sloupcem. Jednotlivé řádky tak simulují pravidelné letecké spoje mezi dvěma letišti (názvy letišť jsou nahrazeny kody IATA, které jsou uvedeny v příloze č.1). Číselné údaje ve sloupci N pak představují frekvenci provozu daného spoje. Například let v řádku č. 3 je provozovaný mezi letišťem LHR (Letiště London Heathrow) a letišťem TFS (Letiště Tenerife South) s frekvencí spoje 1x týdně.

	A	B	I	J	K	N
1					Graph Metrics	Other Columns
2	Vertex ▾	Vertex ▾	Label Text Color ▾	Label Font Size ▾	Reciprocated? ▾	Edge weight ▾
3	LHR	TFS				1
4	LHR	AGP				4
5	LHR	GIB				9
6	LHR	LIS				66
7	LHR	LCG				7
8	LHR	MAD				97
9	LHR	VLC				7
10	LHR	BCN				86
11	LHR	TLS				17
12	LHR	CDG				86
13	LHR	GCI				7
14	LHR	MRS				20
15	LHR	NCE				34

**Obrázek 15 - Práce v programu Node XL Pro**

Veškeré letecké spoje vypsáné v software „Node XL Pro“ představují matici vztahů definující danou leteckou síť. Jelikož je předpokládáno, že všechny pravidelné lety jsou provozovány obousměrně, software je schopen identifikovat duplicitní lety (např PRG-CDG a CDG-PRG) a jeden z těchto duplicitních letů odstraní. Následně je software schopen vypočítat požadované míry centrality pro jednotlivá letiště. Do softwaru „Node XL Pro“ byly nahrány pravidelné letecké spoje všech 185 vybraných letišť a celkem tak bylo analyzováno 6375 pravidelných leteckých spojů a 110 197 letů.

Z těchto výsledků pak byl hodnocen stav evropské letecké sítě pro období zimního letového řádu 2019/2020. V případě, že by analýza letecké sítě byla provedena během období, kdy provoz sítě byl narušen, výsledky by byly pro hodnocení letecké sítě nerelevantní. Bylo by však možné využít je k porovnání stavu za normálního provozu a narušeného provozu.



### 3.4 Odolnost letecké sítě

Po ohodnocení jednotlivých vybraných letišť pomocí různých měr centrality je možné začít na síť nahlížet z pohledu její odolnosti (v případě, že by byla síť omezena nebo narušena). Princip zkoumání odolnosti letecké sítě je na základě robustnosti, kdy dochází k postupnému uzavírání letišť dle významnosti v rámci centrality.

Evropská letecká síť byla sledována v období (11.-17.11. 2019), kdy nebyla nijak narušena nebo omezena (bereme v úvahu jen vážná narušení jako přírodní katastrofy, teroristické útoky atd.). Proto bylo v práci simulováno narušení postupným uzavíráním nejvýznamnějších letišť v síti, kdy tak byla sledována její odolnost.

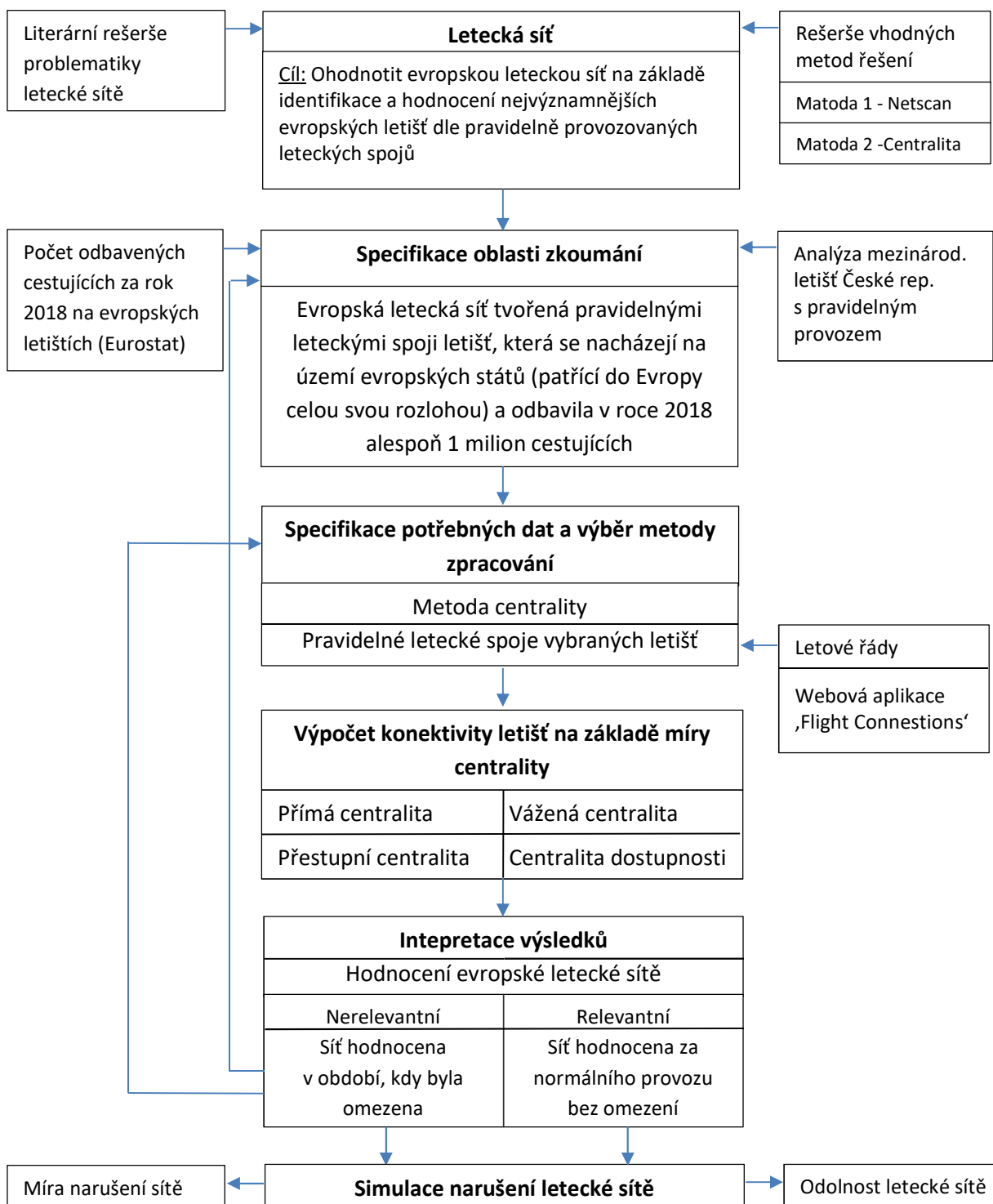
První letiště, které bylo při zjišťování odolnosti sítě uzavřeno (vyřazeno ze sítě), je letiště s nejvyšší hodnotou přímé centrality. Po uzavření daného letiště byly hodnoty centralit všech letišť v síti přepočítány, jelikož se jejich hodnocení s postupným odstraňováním nejvýznamnějších letišť v síti může měnit. Letiště tak mohou nově na významnosti stoupnout nebo poklesnout dle toho, jak jsou v síti zapojena. Dále bylo ze sítě opět odstraněno letiště s nejvyšší hodnotou dané míry centrality a tento postup odstraňování letišť a přepočítávání měr centrality byl opakován až do okamžiku, kdy se síť jako celek rozpadla (kdy průměrná délka cesty má nulovou hodnotu a komponentu grafu již nebylo možné jasně určit). V druhém cyklu opakování se jednalo o vyřazování letišť ze sítě dle nejvyšší hodnoty přestupní centrality. [23]

Pro sledování odolnosti byla využita celá evropská letecká síť. Je nutné si uvědomit, že evropská letecká síť není ohraničena Evropou jakožto světadílem, nýbrž se jedná o veškeré pravidelně provozované letecké spoje z evropských letišť. Do evropské letecké sítě tak byla zahrnuta i značná část mimoevropských letišť. Pro znázornění modelu evropské letecké sítě a následnou simulaci uzavírání letišť byl využit software „Gephi“.

V případě, že by byla předmětem zkoumání konkrétně narušená letecká síť, bylo by možné na základě vytvoření modelu sítě postupně uzavírat letiště dle skutečnosti (dle konkrétní situace narušení). Z této simulace lze posuzovat závažnost narušení sítě a vyvozovat důsledky.

### 3.5 Metodologický model zpracování

Na základě výše popsané metodologie byl vytvořen metodologický model, který zjednodušeně demonstruje celkový postup při zpracování problematiky hodnocení stavu letecké sítě. Centrální tělo modelu je tvořeno jednotlivými fázemi zpracování, které jsou ovlivněny vstupy z pravé nebo levé strany, viz obrázek č.16.



Obrázek 16 - Metodologický model zpracování

## 4 Interpretace výsledků

Následující kapitola prezentuje získané výsledky dosažené dle popsané metodologie práce. Jako první byla provedena analýza vývoje provozu mezinárodních letišť České republiky a následně hodnocení evropské letecké sítě na základě identifikace nejvýznamnějších letišť.

### 4.1 Analýza vývoje provozu mezinárodních letišť v ČR

V následující části budou prezentována získaná data a grafická znázornění. Sledovaná letiště byla analyzována jednotlivě na základě provozních ukazatelů v průběhu posledního desetiletého období 2009-2018 (pro které byla data veřejně dostupná). V kapitole č. 5 Diskuze jsou pak shrnuty poznatky a závěry vyplývající z této analýzy.

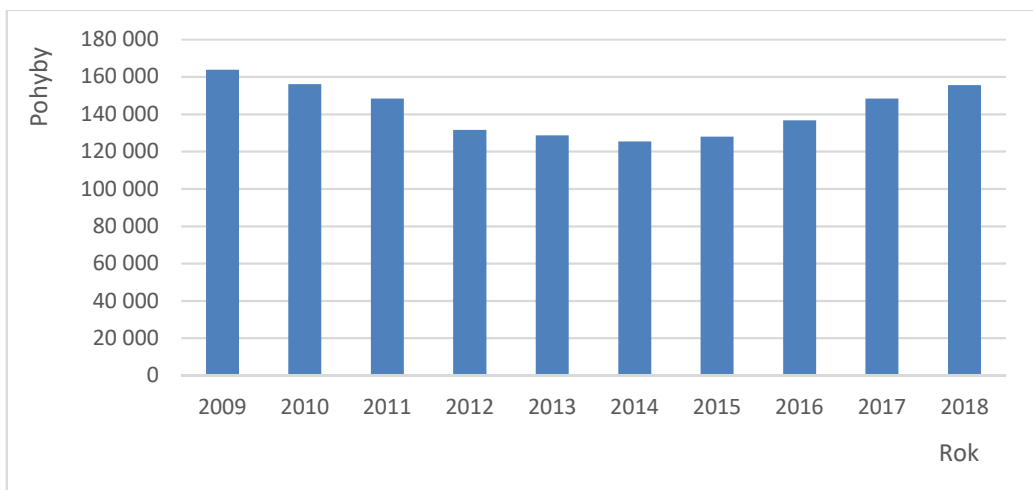
#### 4.1.1 Letiště Václava Havla v Praze

Pro analýzu vývoje Letiště Václava Havla v Praze byla vytvořena tabulka č. 1. Tato tabulka obsahuje vybrané provozní charakteristiky jako počet pohybů letadel, počet přepravených cestujících a počet pravidelných linek. Letiště počet přepravených cestujících dále rozděluje na pravidelnou a nepravidelnou dopravu. Pro tyto podkategorie přepravených cestujících byla data dostupná pouze v rozmezí let 2012-2018.

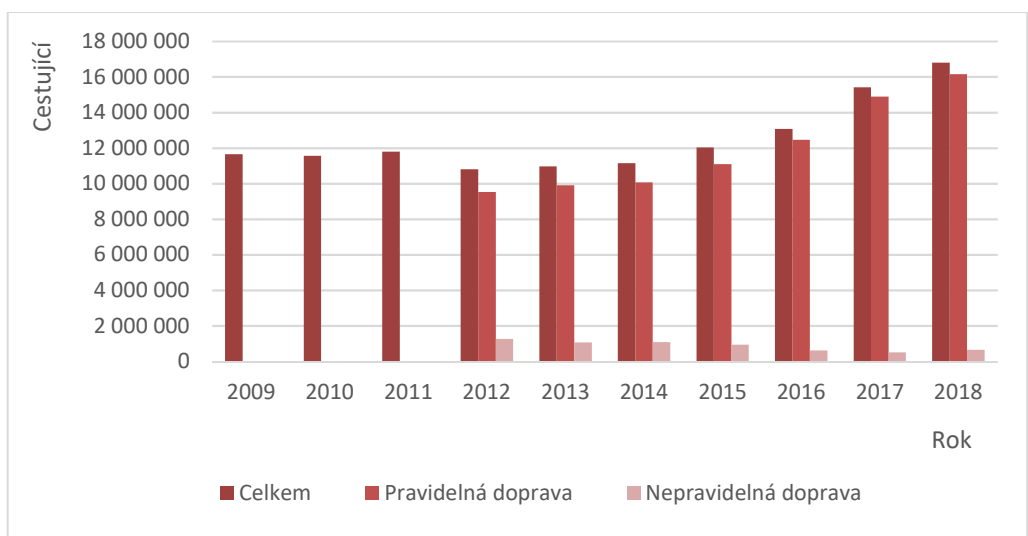
**Tabulka 1 - Provozní ukazatele Letiště Václava Havla v Praze 2009-2018 [30],(upraveno)**

Rok	Počet pohybů letadel	Počet přepravených cestujících			Počet pravidelných linek
		Pravidelná doprava	Nepravidelná doprava	Celkem	
2009	163 816	-	-	11 643 366	130
2010	156 052	-	-	11 556 858	131
2011	148 286	-	-	11 788 629	130
2012	131 564	9 536 870	1 271 020	10 807 890	132
2013	128 633	9 905 911	1 068 285	10 974 196	118
2014	125 437	10 061 811	1 088 115	11 149 926	119
2015	128 018	11 088 593	942 335	12 030 928	141
2016	136 766	12 462 417	612 100	13 074 517	146
2017	148 283	14 895 854	519 147	15 415 001	163
2018	155 530	16 145 596	651 419	16 797 006	171

Následně byla data z tabulky č. 1 převedena do grafické podoby pro znázornění vývoje v čase. Vznikl tak graf č. 1 znázorňující počet pohybů letadel, graf č. 2 zobrazující počet přepravených cestujících a graf č. 3 s počtem pravidelných leteckých spojů.



**Graf 1 - Vývoj počtu pohybů letadel na Letišti Václava Havla v Praze**



**Graf 2 - Vývoj počtu přepravených cestujících na Letišti Václava Havla v Praze**



**Graf 3 - Vývoj počtu pravidelných linek Letiště Václava Havla v Praze**

Doznívající ekonomická krize na počátku sledovaného období lehce ovlivnila provoz pražského letiště. Jako reakce na ekonomickou krizi tak došlo v období 2009-2012 k mírným poklesům všech provozních ukazatelů. Mezi lety 2012-2014 se na provozu letiště negativně projevilo snižování výkonů Českých aerolinií a ostatních bázových dopravců (pokles počtu pohybů letadel a počtu pravidelných linek). Od roku 2015 je možné sledovat první výraznější nárůst všech provozních charakteristik a tento růst trvá do současnosti. Postupně došlo k navyšování frekvencí na stávajících pravidelných linkách, ke vzrůstu počtu obsluhovaných destinací a tím byly pozitivně ovlivněny ostatní provozní ukazatele jako pohyby letadel na letišti včetně počtu přepravených cestujících. V roce 2018 letiště přepravilo necelých sedmnáct milionů cestujících, což je od roku 2015 nárůst cca 28,5%. Počet pohybů vzrostl zhruba o 17,7%. [30]

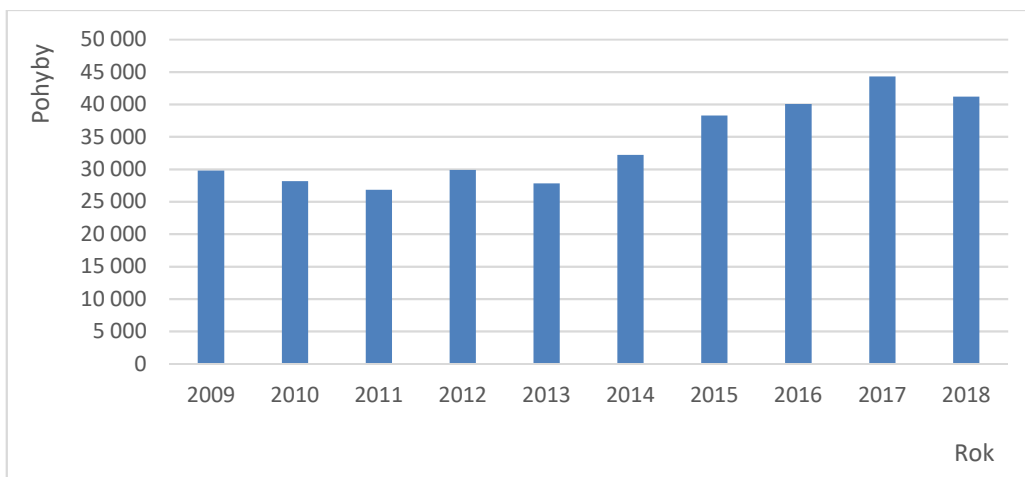
#### 4.1.2 Letiště Brno-Tuřany

Pro analýzu vývoje Letiště Brno-Tuřany byla vytvořena tabulka č. 2 zaznamenávající sledované ukazatele provozu – počet pohybů letadel, počet přepravených cestujících a počet pravidelných linek. Cestující se opět podařilo rozdělit do kategorií pravidelné a nepravidelné dopravy. Data byla získána v rámci celého zkoumaného období.

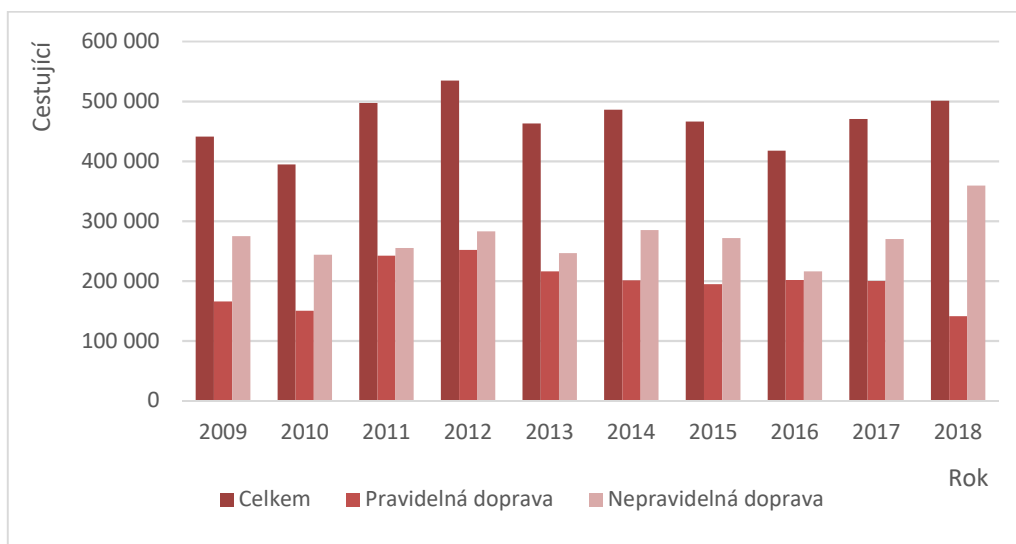
**Tabulka 2 - Provozní ukazatele Letiště Brno-Tuřany 2009-2018 [31], (upraveno)**

Rok	Počet pohybů letadel	Počet přepravených cestujících			Počet pravidelných linek
		Pravidelná doprava	Nepravidelná doprava	Celkem	
2009	29798	166002	274848	440850	3
2010	28149	150575	244093	394668	6
2011	26837	242410	254893	497303	10
2012	29885	251934	282793	534727	8
2013	27803	216288	246735	463023	5
2014	32216	201361	284773	486134	4
2015	38264	194595	271451	466046	5
2016	40073	201528	216197	417725	4
2017	44294	200092	270193	470285	4
2018	41172	141267	359460	500727	4

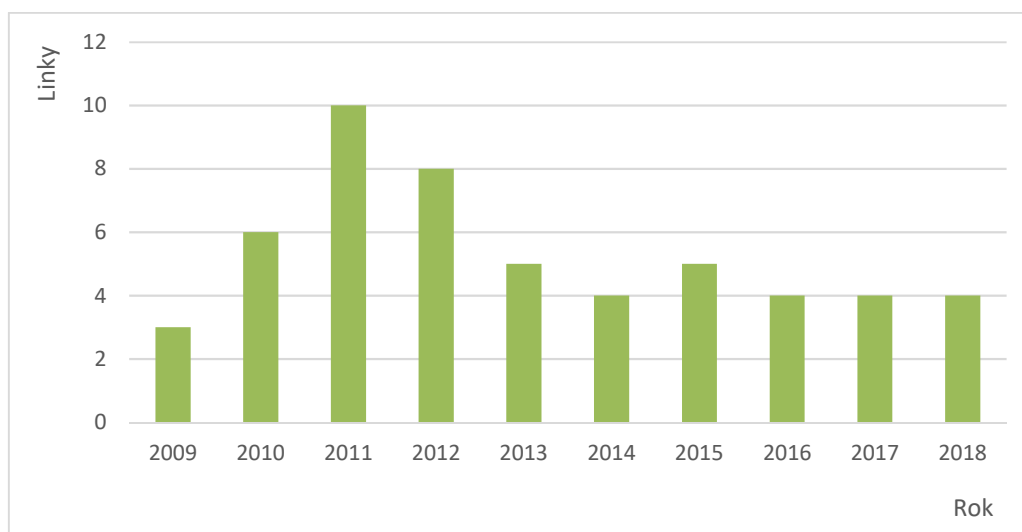
Tato tabulka byla dále zpracována do grafické podoby. Vytvořen byl graf č. 4 znázorňující vývoj počtu pohybů letadel na letišti, dále graf č.5 s počtem přepravených cestujících a následně graf č.6 zobrazující počet pravidelných linek.



**Graf 4 - Vývoj počtu pohybů letadel na Letišti Brno-Tuřany**



**Graf 5 - Vývoj počtu přepravených cestujících na Letišti Brno-Tuřany**



**Graf 6 - Vývoj počtu pravidelných linek Letiště Brno-Tuřany**

Předcházející hospodářská krize zapříčinila pokles pohybů letadel a přepravených cestujících, zatímco počet pravidelných linek rostl. Důvodem bylo snižování počtu rotací u vybraných pravidelných leteckých spojení, zatím co byly uvedeny do provozu již dlouho domluvené nové letecké linky. Rok 2012 se stal pro brněnské letiště rokem rekordním, kdy byla poprvé překonána půlmilionová hranice přepravených cestujících, viz graf č.5. V pozdějších letech byl úbytek cestujících způsoben zrušením vybraných pravidelných linek a nenaplněním plné sedačkové kapacity. Od roku 2017 má počet cestujících opětovnou rostoucí tendenci, kdy v roce 2018 se letišti znovu povedlo navrátit k půl milionu přepravených cestujících.

Dle výročních zpráv letiště došlo od roku 2014 k nárůstu počtu pohybů letadel zejména díky rozvoji všeobecného letectví a výcviku pilotů na letišti. [31] Počet pravidelných linek se ustálil mezi lety 2016-2018 na počtu 4 spojů.

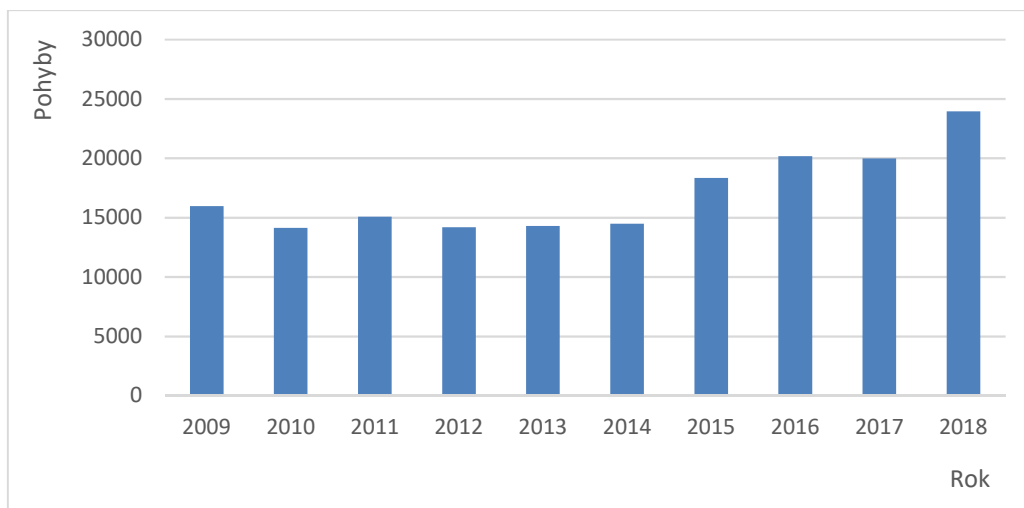
#### 4.1.3 Letiště Leoše Janáčka Ostrava

Pro vývoj provozních ukazatelů Letiště Leoše Janáčka v Ostravě byla vytvořena následující tabulka č.3. Na základě dostupných dat byl počet přepravených cestujících rozdělen do třech kategorií – pravidelná doprava, nepravidelná doprava a tranzitní cestující. Data se podařilo získat pro celé sledované období.

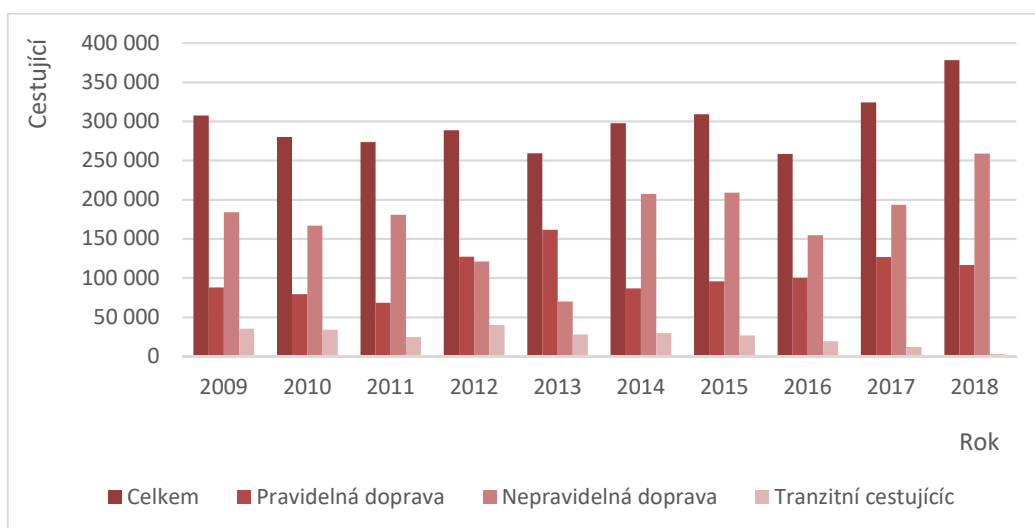
**Tabulka 3 - Provozní ukazatele Letiště Leoše Janáčka Ostrava 2009-2018 [32], (upraveno)**

Rok	Počet pohybů letadel	Počet přepravených cestujících				Počet pravidelných linek
		Pravidelná doprava	Nepravidelná doprava	Tranzitní	Celkem	
2009	15966	88101	183972	35057	307130	4
2010	14132	79218	166847	33908	279973	3
2011	15076	68098	180745	24720	273563	2
2012	14194	127110	121169	40114	288393	3
2013	14289	161537	69770	27860	259167	4
2014	14486	86884	207048	29651	297691	3
2015	18325	95836	209015	26732	308933	4
2016	20163	100278	154569	19399	258223	6
2017	19993	126805	193317	11972	324116	4
2018	23942	116418	258719	2799	377936	4

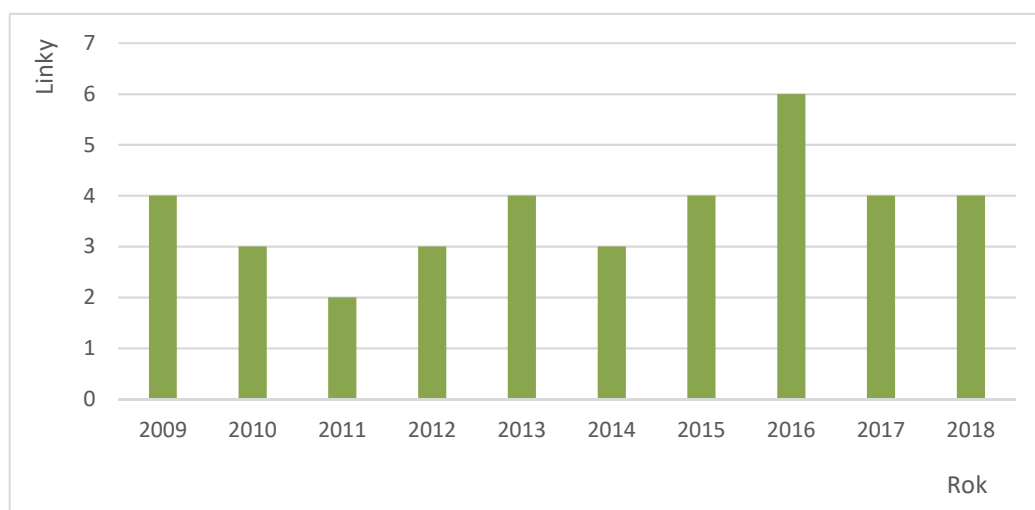
Data z tabulky č.3 byla převedena do grafické podoby tak, aby bylo možné sledovat vývoj provozních parametrů letiště v čase. V grafu č. 7 je možné sledovat vývoj počtu pohybů letadel, v grafu č. 8 je zobrazen vývoj počtu odbavených cestujících a následně v grafu č.9 je možné sledovat vývoj počtu pravidelných linek.



**Graf 7 - Vývoj počtu pohybů letadel na Letišti Leoše Janáčka v Ostravě**



**Graf 8 - Vývoj počtu přepravených cestujících Letiště Leoše Janáčka v Ostravě**



**Graf 9 - Vývoj počtu pravidelných linek Letiště Leoše Janáčka Ostrava**



Po ekonomické krizi je období 2009-2014 pro všechny sledované provozní ukazatele lehce kolísavého charakteru. Od roku 2015 je možné sledovat nárůst počtu pohybů letadel na letišti, kdy dle získaných informací z letiště je tento růst částečně dán zvýšením počtu pravidelných linek, ale převážně se jedná o rozvoj všeobecného letectví a výcvikových letů. Kategorie všeobecného letectví a výcvikových letů tvoří zhruba 70% všech pohybů letadel na letišti. V roce 2016 letiště odbavilo nejmenší počet cestujících ve sledovaném období, přičemž přibýly dvě nové pravidelné linky. Dále pak počet cestujících rostl. V roce 2018 bylo odbaveno z ostravského letiště 377 936 cestujících, jedná se od roku 2016 o nárůst 32% a zároveň o nejvyšší počet přepravených cestujících v historii letiště, viz graf č.8.

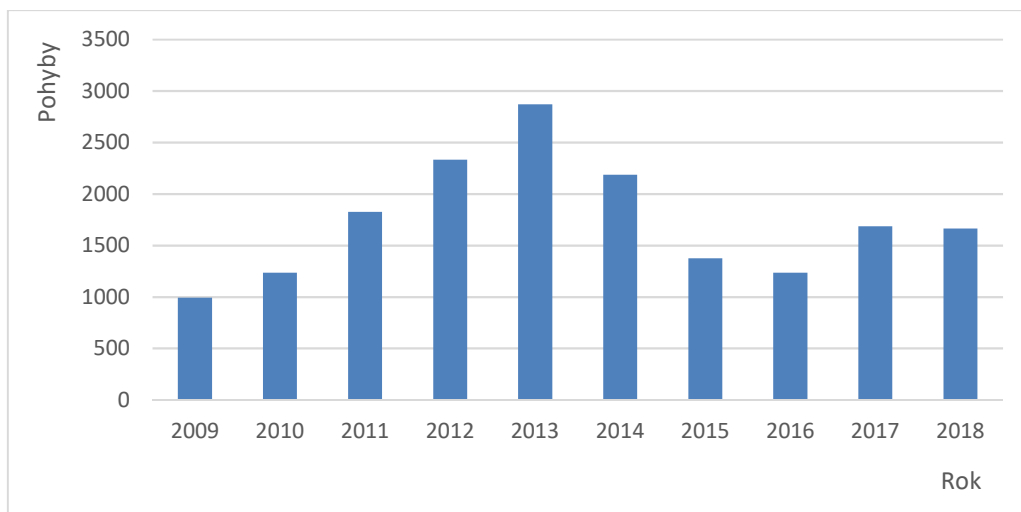
#### 4.1.4 Letiště Pardubice

Pro zobrazení vývoje provozních ukazatelů pardubického letiště byla vytvořena následující tabulka č. 4. Ukazatel počtu přepravených cestujících byl rozdělen do tří kategorií – pravidelná doprava, nepravidelná doprava a všeobecné letectví. Data se podařilo získat pro celé sledované období.

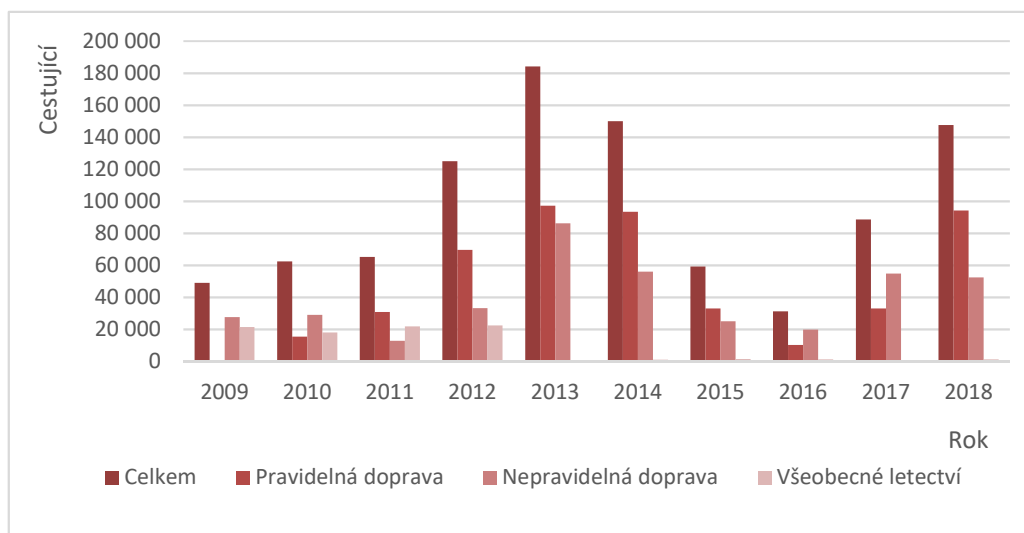
**Tabulka 4 - Provozní ukazatele Letiště Pardubice 2009-2018 [33], (upraveno)**

Rok	Počet pohybů letadel	Počet přepravených cestujících				Počet pravidelných linek
		Pravidelná doprava	Nepravidelná doprava	Všeobecné letectví	Celkem	
<b>2009</b>	994	0	27582	21450	49032	0
<b>2010</b>	1235	15458	28917	17927	62302	1
<b>2011</b>	1802	30769	12768	21709	65246	1
<b>2012</b>	2291	69482	33131	22395	125008	2
<b>2013</b>	2846	97095	86177	868	184140	2
<b>2014</b>	2160	93276	55882	898	150056	2
<b>2015</b>	1374	33033	24915	1312	59260	2
<b>2016</b>	1234	10251	19778	1145	31174	2
<b>2017</b>	1687	33060	54756	674	88490	2
<b>2018</b>	1665	94111	52310	1151	147572	2

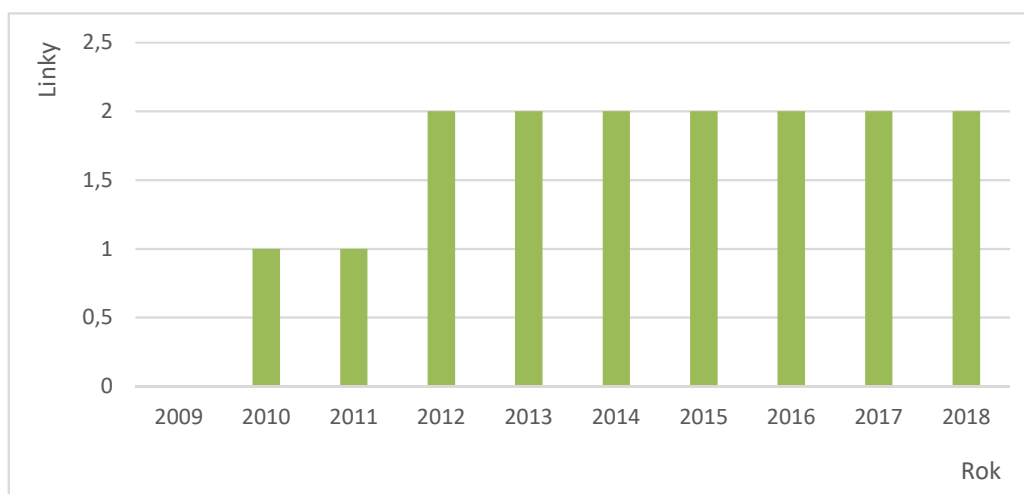
Na základě vytvořené tabulky č. 4 byla data převedena do grafické podoby znázorňující jednotlivé provozní ukazatele. Graf č.10 znázorňuje vývoj počtu pohybů letadel, v grafu č.11 je možné sledovat vývoj počtu odbavených cestujících a v grafu č.12 pak vývoj počtu pravidelných linek.



**Graf 10 - Vývoj počtu pohybů letadel na Letišti Pardubice**



**Graf 11 - Vývoj počtu přepravených cestujících Letiště Pardubice**



**Graf 12 - Vývoj počtu pravidelných linek Letiště Pardubice**

Pardubické letiště je poměrně „mladé“ co se civilního provozu týče. Na počátku svého provozu se zaměřovalo především na nepravidelnou leteckou dopravu. V roce 2010 byla obnovena přerušovaná pravidelná linka mezi Pardubicemi a Moskvou, která zajistila nárůst provozních charakteristik (počet pohybů letadel a počet odbavených cestujících, viz. graf č. 10 a č. 11). Zároveň z těchto grafů vyplývá, že vrcholným rokem v rámci obou ukazatelů se stává rok 2013. V tomto roce letiště přepravilo 184 140 cestujících a bylo uskutečněno 2846 pohybů letadel. Jedná se prozatím o nejlepší provozní výsledky letiště, které nebyly doposud překonány. Následně po rekordním roce však letiště zažilo prudký úbytek jak cestujících, tak pohybů letadel. Rok 2016 se stal pro pardubické letiště nejslabším s úbytkem cestujících o 83% a úbytkem pohybů letadel o 57% (oproti rekordnímu roku 2013). Po tomto prudkém úbytku cestujících a letů nabírají grafy opět rostoucí tendenci. Graf č.11 znázorňuje počet přepravených cestujících rozlišující pravidelnou a nepravidelnou dopravu, kde lze sledovat, že provoz leteckých linek je poměrně proměnný a není orientován zejména na pravidelnou nebo nepravidelnou dopravu.

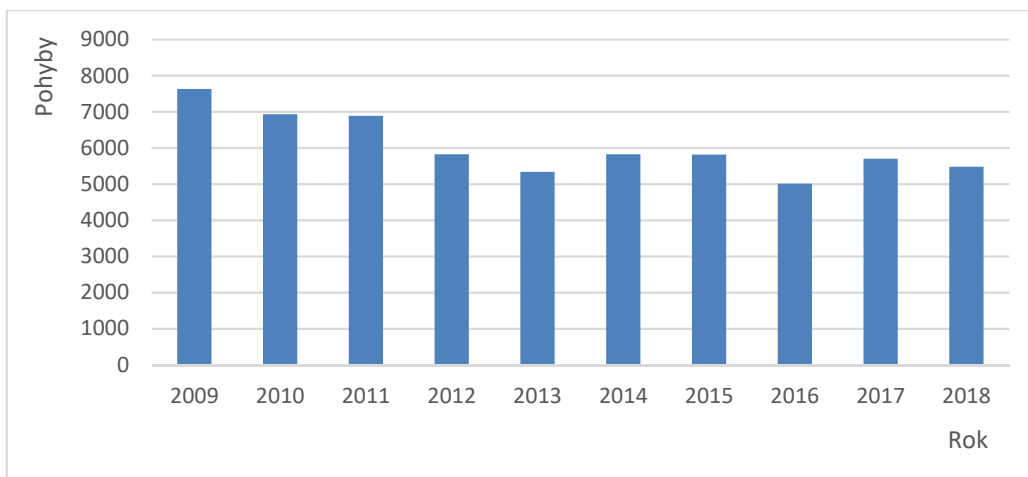
#### 4.1.5 Letiště Karlovy Vary

Následující tabulka č.5 zobrazuje provozní charakteristiky Letiště Karlovy Vary ve sledovaném období 2009-2018. Ukazatel počtu přepravených cestujících byl rozdělen do kategorie pravidelné, nepravidelné dopravy a tranzitních cestujících.

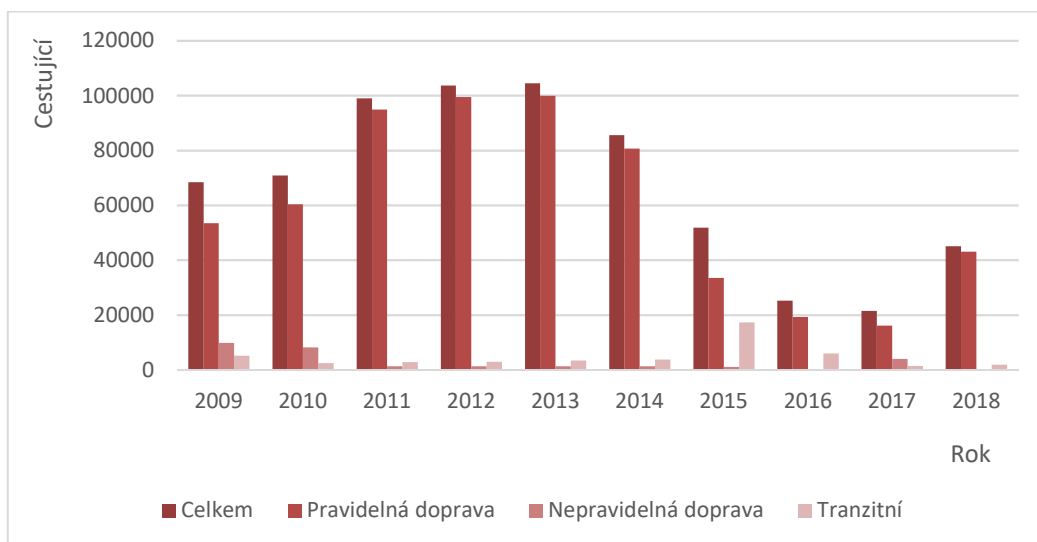
**Tabulka 5 - Provozní ukazatel Letiště Karlovy Vary 2009-2018 [34], (upraveno)**

Rok	Počet pohybů letadel	Počet přepravených cestujících				Počet pravidelných linek
		Pravidelná doprava	Nepravidelná doprava	Tranzitní	Celkem	
2009	7632	53488	9743	5138	68369	3
2010	6936	60343	8190	2370	70903	4
2011	6891	94942	1304	2768	99014	7
2012	5826	99497	1313	2872	103682	6
2013	5342	99894	1229	3346	104469	7
2014	5824	80645	1269	3682	85596	5
2015	5816	33488	1062	17230	51780	2
2016	5008	19251	0	5984	25235	2
2017	5702	16120	3914	1370	21404	2
2018	5480	43105	0	1898	45003	2

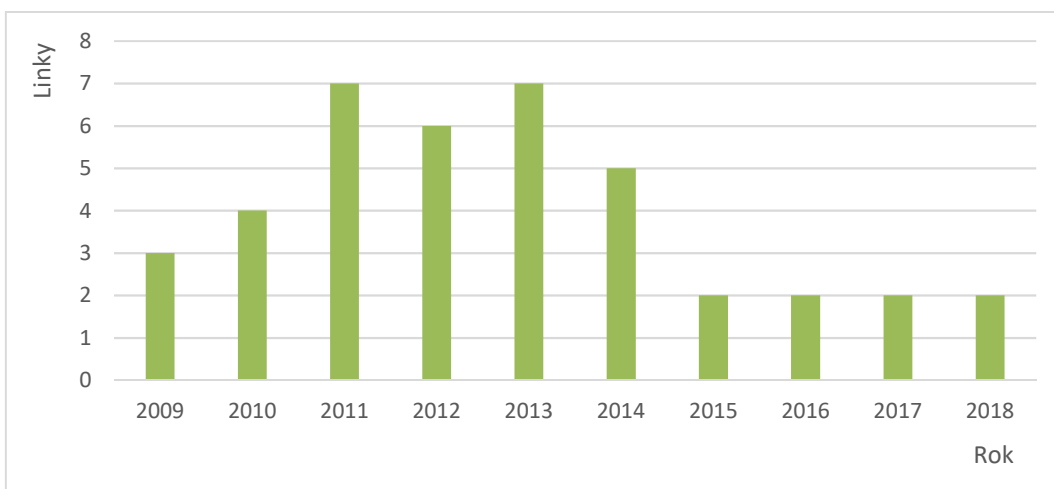
Data z tabulky č. 5 byla převedena do grafické podoby jako graf č.13 znázorňující vývoj počtu pohybů letadel, graf č.14 zobrazující počet přepravených cestujících a jako poslední graf č. 15 s počtem pravidelných linek ve sledovaném období.



**Graf 13 - Vývoj počtu pohybů letadel na Letišti Karlovy Vary**



**Graf 14 - Vývoj počtu přepravených cestujících na Letišti Karlovy Vary**



**Graf 15 - Vývoj počtu pravidelných linek Letiště Karlovy Vary**

Po období celosvětové hospodářské krize se Letiště Karlovy Vary poměrně rychle dostalo do rostoucích hodnot, co se počtu přepravených cestujících týče. Mezi lety 2010 - 2013 je možné pozorovat nárůst objemu cestujících úzce související s rostoucí poptávkou po lázeňském městě Karlovy Vary zejména z Ruska. Mezi lety 2012 a 2013 přesahoval počet cestujících statistickou hranici, kdy se jedná o doposud nejvyšší hodnoty. Během období 2014-2017 byl zaznamenán pokles počtu přepravených cestujících o 80% oproti rekordnímu roku. Následně v roce 2018 počet cestujících vzrostl, a to o 115% oproti roku předešlému.

Graf č.13 zobrazující vývoj počtu pohybů na Letišti Karlovy Vary má klesající tendenci. Pokles pohybů na letišti byl způsoben zejména odbavováním větších typů letadel využívané v pravidelné obchodní přepravě a dále snížením počtu pohybů letadel všeobecného letectví a výcvikových letů. Přesto zhruba 70% pohybů na letišti je tvořeno právě všeobecným letectvím a výcvikovými lety.

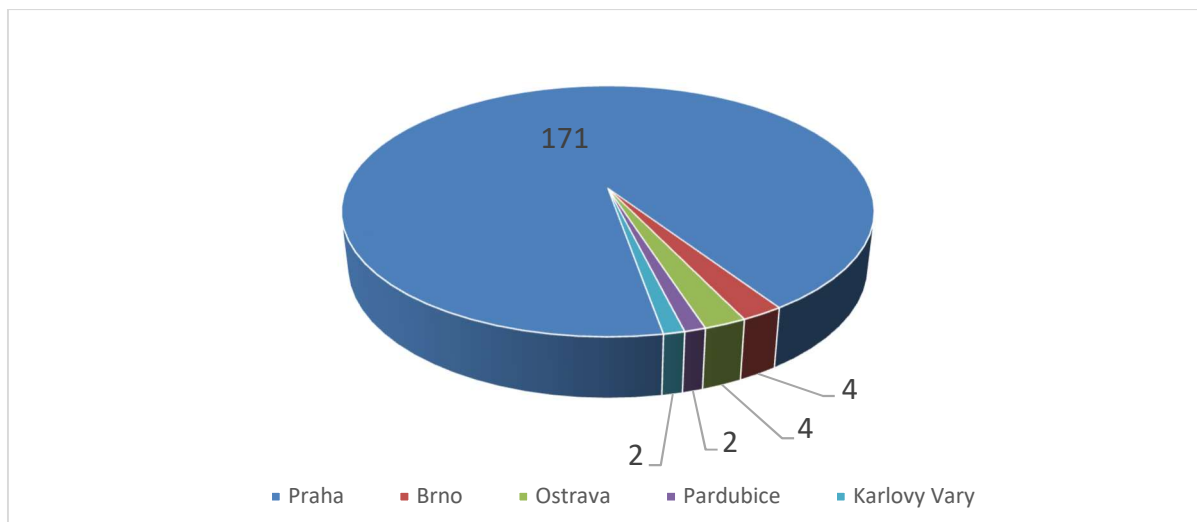
#### 4.1.6 Výsledky pro rok 2018

Po provedené analýze vývoje provozu mezinárodních letišť v ČR se bude pro stanovení aktuální situace a úrovně civilní letecké dopravy v ČR vycházet z posledních publikovaných dat za rok 2018, viz tabulka č.6 Provozní ukazatele sledovaných letišť pro rok 2018.

Tabulka 6 - Provozní ukazatele sledovaných letišť pro rok 2018

Letiště	Počet pohybů letadel	Počet přeprav. cestujících	Počet prav. leteckých spojů
Letiště Václava Havla v Praze	155 530	16 797 006	171
Letiště Brno-Tuřany	41 172	500 727	4
Letiště Leoše Janáčka v Ostravě	23 942	377 936	4
Letiště Pardubice	1 665	147 572	2
Letiště Karlovy Vary	5 480	45 003	2

S ohledem na podíl jednotlivých letišť na provozu pravidelných linek byl vytvořen graf č.16. V grafu si lze povšimnout většinového podílu pražského letiště Václava Havla, který tvoří přibližně 93,5% pravidelných leteckých linek z celku. Ostatní letiště představují dohromady jen 6,5% pravidelného provozu.

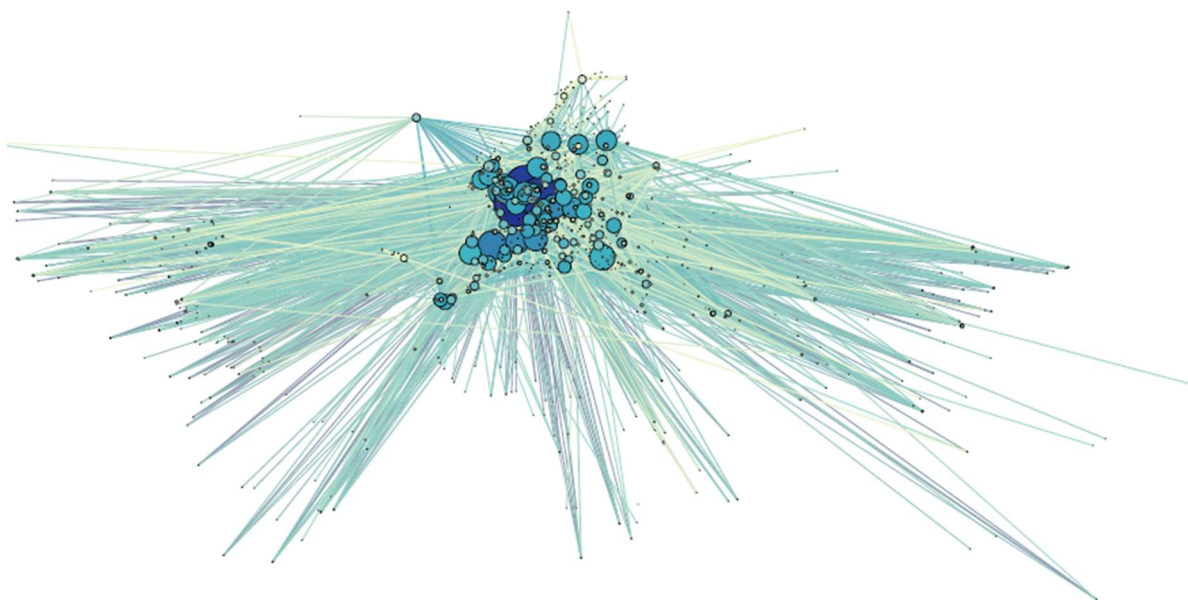


Graf 16 - Počet pravidelných linek v České republice za rok 2018 – rozdělení dle letišť

## 4.2 Hodnocení letecké sítě

Na základě vybrané metody zpracování byla ohodnocena letecká síť na evropské úrovni. Letiště, která byla vybrána jako základ pro tvorbu evropské letecké sítě, byla sledována s ohledem na několik druhů centrality v období 11.-17.11.2019. V této kapitole budou prezentovány získané výpočty, které hodnotí jednotlivá letiště s ohledem na jejich pravidelné letecké spoje a reprezentují tak stav evropské letecké sítě během zimního letového řádu 2019/2020.

Dále bylo vytvořeno grafické znázornění evropské letecké sítě, viz obrázek č.17. Bylo vytvořeno sloučením 185 vybraných letišť, pravidelných leteckých spojů z nich provozovaných a cílových letišť těchto pravidelných linek.



**Obrázek 17 - Model evropské letecké sítě**

Ve středu modelu jsou vyobrazena evropská letiště, kde různé velikosti a barvy kruhových oblastí demonstrují počet provozovaných pravidelných linek letiště. Čím větší a tmavší kruhová oblast je, tím více pravidelných leteckých spojů letiště provozuje. Tato evropská letiště jsou provázána jednotlivými přímými leteckými spoji napojených také na severní a jižní Ameriku (levá oblast modelu), Afriku (dolní středová část modelu), Asii (pravá část modelu) a Austrálii (pravá dolní část modelu).

#### 4.2.1 Základní seřazení dle počtu odbavených cestujících

Pro ohodnocení evropské letecké sítě s cílem identifikovat nejvýznamnější evropská letiště bylo celkem analyzováno 185 letišť, která byla vybrána ze statistiky Eurostatu a filtrována dle stanovených parametrů. [26] Letiště jsou na základě statistiky seřazena dle počtu odbavených cestujících za rok 2018. Seznam čtyřiceti letišť s nejvyšším počtem odbavených cestujících je možné sledovat v tabulce č. 7. Kompletní seznam letišť seřazených dle počtu odbavených cestujících je pak možné nalézt v příloze č.1. Umístění pražského Letiště Václava Havla je zvýrazněno červenou barvou.

Tabulka 7 - Evropská letiště s největším počtem odbavených cestujících za rok 2018 [26], (upraveno), (\* Červeně zvýrazněno Letiště Václava Havla v Praze)

Pořadí	Kód	Odb.cestujících	Pořadí	Kód	Odb.cestujících
1.	LHR	80 148 763	21.	BRU	25 702 507
2.	CDG	72 255 649	22.	MLP	24 426 946
3.	AMS	71 169 454	23.	DUS	24 276 909
4.	FRA	69 584 156	24.	ATH	24 130 121
5.	MAD	56 435 717	25.	TXL	22 001 675
6.	BCN	49 595 576	26.	HEL	20 994 030
7.	MUC	46 266 420	27.	AGP	18 932 153
8.	LGW	46 091 009	28.	WAW	17 751 592
9.	FCO	43 086 201	29.	GVA	17 597 772
10.	ORY	33 120 666	30.	HAM	17 256 640
11.	DUB	31 319 419	31.	<b>PRG</b>	<b>16 787 436</b>
12.	ZRH	31 102 917	32.	LTN	16 772 716
13.	CPH	30 263 057	33.	BUD	14 829 726
14.	LIS	29 113 785	34.	EDI	14 297 136
15.	PMI	29 057 276	35.	ALC	13 927 608
16.	OSL	28 406 796	36.	NCE	13 863 374
17.	MAN	28 330 954	37.	OTP	13 823 708
18.	STN	27 997 001	38.	LPA	13 426 180
19.	VIE	27 196 609	39.	CGN	12 962 247
20.	ARN	26 954 436	40.	BGY	12 937 182

Dle získaných dat londýnské letiště Heathrow odbavilo největší počet cestujících ze všech evropských letišť a to více než 80 milionů. Následující významná letiště Charles de Gaulle v Paříži, letiště Schiphol v Amsterdamu a letiště Frankfurt nad Mohanem mají poměrně podobné výsledky lišící se v řádech statisíců cestujících. Všechna následující letiště zaznamenávají propad v řádech několika milionů cestujících oproti výše zmíněným letištím. Letiště Václava Havla v Praze se umístilo na 31. příčce, což je s ohledem na počet analyzovaných evropských letišť poměrně dobrý výsledek.



#### 4.2.2 Přímá centralita

V následující tabulce č.8 jsou prezentovány výsledky vypočítané s ohledem na sesbíraná data o provozovaných pravidelných linkách. Z těchto dat byla počítána přímá centralita jednotlivých letišť a na základě výsledků byla letiště seřazena dle jejich hodnot vždy od nejvyšší k nejnižší. Vybraná skupina čtyřiceti letišť reprezentuje nejvyšší hodnoty přímé centrality v rámci evropské letecké sítě. Přímá centralita je v tabulce č.8 reprezentována hodnotou  $k_i$ . Kompletní seznam letišť s výslednými hodnotami jsou uvedeny v Příloze č.2. Umístění pražského Letiště Václava Havla je zvýrazněno červenou barvou.

**Tabulka 8 - Přímá centralita evropských letišť – celkem, (\* Červeně zvýrazněno Letiště Václava Havla v Praze)**

Č.	Pořadí	Kód	$k_i$	Č.	Pořadí	Kód	$k_i$
1	1.	CDG	246	21	19.	ATH	112
2	2.	AMS	236	22	19.	WAW	112
3	2.	FRA	236	23	20.	PRG	110
4	3.	LHR	176	24	21.	ARN	102
5	4.	MAD	174	25	21.	OTP	102
6	5.	MUC	167	26	22.	AGP	101
7	6.	FCO	162	27	22.	LTN	101
8	7.	BCN	160	28	22.	BGY	101
9	8.	VIE	152	29	23.	ORY	100
10	9.	LGW	151	30	23.	HEL	100
11	10.	BRU	147	31	24.	OSL	99
12	11.	STN	143	32	25.	KRK	97
13	12.	MXP	138	33	26.	LPA	96
14	13.	ZRH	134	34	26.	TFS	96
15	14.	CPH	132	35	27.	MLA	94
16	15.	MAN	130	36	28.	GVA	91
17	15.	DUB	130	37	28.	SXF	91
18	16.	LIS	123	38	29.	ALC	90
19	17.	BUD	118	39	30.	CGN	89
20	18.	DUS	113	40	31.	EDI	87

Na první pohled je zřejmé, že pořadí avizované v tabulce č.7 (seřazení dle počtu odbavených cestujících) se značně promíchalo. V rámci přímé centrality obsadilo první příčku pařížské letiště Charles de Gaulle s 246 pravidelnými leteckými spoji. Následně se o druhé místo dělí letiště Schiphol v Amsterdamu a letiště Frankfurt nad Mohanem se stejným počtem obsluhovaných linek. Až na třetím místě se umístilo londýnské letiště Heathrow s propadem o 70 leteckých pravidelných spojů oproti první příčce. Poměrně velký skok o 10 příček výš (oproti umístění v rámci počtu odbavených cestujících) bylo zaznamenáno u vídeňského letiště (VIE), bruselského letiště (BRU) a pražského letiště (PRG), které se umístilo na 20. místě se 110 pravidelně obsluhovanými destinacemi.

Celková přímá centralita lze rozdělit do dvou kategorií – a to na pravidelné letecké spoje provozované v rámci Evropy a na pravidelné letecké spoje provozované mimo Evropu. Toto rozdělení umožňuje identifikovat letiště, která zastávají důležitou roli v provozu evropských či mimoevropských pravidelných linek. Případně lze u letišť určit jejich podílové rozložení na provozu těchto linek. Následující tabulka č. 9 řadí letiště dle počtu provozovaných leteckých spojů v rámci Evropy (v tabulce označeno jako  $k_{ie}$ ).

**Tabulka 9 - Přímá centralita evropských letišť - letecké spoje v rámci Evropy, (\* Červeně zvýrazněno Letiště Václava Havla v Praze)**

Č.	Pořadí	Kód	$k_{ie}$	Č.	Pořadí	Kód	$k_{ie}$
1	1.	STN	128	21	15.	LPA	87
2	2.	AMS	123	22	16.	ALC	86
3	3.	FRA	119	23	16.	BGY	86
4	4.	BCN	112	24	17.	MLA	85
5	5.	MUC	109	25	18.	OSL	83
6	6.	DUB	107	26	19.	ZRH	81
7	7.	MAD	105	27	19.	ARN	81
8	8.	VIE	104	28	19.	BRU	81
9	9.	CDG	101	29	19.	WAW	81
10	10.	LGW	98	30	19.	EDI	81
11	10.	LTN	98	31	20.	DUS	80
12	10.	BUD	98	32	20.	SXF	80
13	11.	MAN	97	33	21.	LIS	78
14	12.	AGP	94	34	21.	MXP	78
15	12.	TFS	94	35	22.	PRG	76
16	13.	FCO	92	36	23.	BLQ	70
17	13.	ATH	92	37	24.	HEL	67
18	14.	CPH	89	38	25.	HAM	66
19	14.	KRK	89	39	25.	OPO	66
20	15.	OTP	87	40	25.	NAP	66

V tomto případě se na prvním místě umístilo londýnské letiště Stansted, které provozuje nejvíce pravidelných evropských leteckých spojů. Z jeho celkového počtu 143 pravidelných linek je cca 90% provozováno právě v rámci Evropy. Letiště Schiphol v Amsterdamu a Frankfurt nad Mohanem obsadila druhé a třetí místo, kdy zhruba polovina jejich celkových leteckých spojů je provozována v rámci Evropy. Z letiště Charles de Gaulle je provozováno v rámci Evropy pouze 101 leteckých spojů (představující zhruba 40% z celku). Významné londýnské letiště Heathrow se naopak v této tabulce neumístilo vůbec a jeho počet provozovaných evropských linek je tedy menší než 66. Ostatní letiště uvedená v tabulce č. 9 provozují v rámci Evropy většinový podíl z celkového množství pravidelných leteckých spojů. Letiště Václava Havla v Praze se umístilo na 22. místě, kdy počet leteckých spojů v rámci Evropy je 76 (zhruba 70% z celku).

Následující tabulka č. 10 řadí evropská letiště dle kategorie leteckých spojů, které jsou provozovány mimo Evropu. Hodnotu mimoevropských spojů v tabulce představuje označení  $k_{im}$ .

**Tabulka 10 - Přímá centralita evropských letišť - letecké spoje mimo Evropu, (\* Červeně zvýrazněno Letiště Václava Havla v Praze)**

Č.	Pořadí	Kód	$k_{im}$	Č.	Pořadí	Kód	$k_{im}$
1	1.	CDG	145	21	17.	WAW	31
2	2.	FRA	117	22	18.	GVA	28
3	3.	AMS	113	23	18.	MRS	28
4	3.	LHR	113	24	19.	LYS	27
5	4.	FCO	72	25	20.	ATH	25
6	5.	MAD	69	26	21.	DUB	23
7	6.	BRU	66	27	22.	ARN	21
8	7.	MXP	60	28	22.	TXL	21
9	8.	MUC	58	29	23.	BUD	20
10	9.	LGW	53	30	23.	VLC	20
11	9.	ZRH	53	31	24.	CRL	19
12	10.	BCN	48	32	25.	CGN	17
13	10.	VIE	48	33	26.	OSL	16
14	11.	LIS	45	34	26.	NCE	16
15	12.	CPH	43	35	27.	STN	15
16	13.	ORY	42	36	27.	OTP	15
17	14.	PRG	34	37	27.	BGY	15
18	15.	DUS	33	38	27.	STR	15
19	15.	HEL	33	39	27.	HAJ	15
20	16.	MAN	32	40	28.	BOD	13

Mezi nejvýznamnější spojovací body mezi Evropou a ostatními světadíly patří letiště Charles de Gaulle, letiště Frankfurt nad Mohanem, letiště Schiphol a letiště Heathrow, kdy všechna tato letiště provozují více než 100 pravidelných mimoevropských spojů. Dále je možné odvodit, že pařížské letiště Charles de Gaulle a londýnské letiště Heathrow provozují 60% svých leteckých spojů mimo Evropu (tedy většinový podíl z celku). Letiště Václava Havla se v této kategorii umístilo na 14. místě s 34 pravidelnými mimoevropskými leteckými spoji.

Celkově si lze povšimnout, že v rámci hodnocení letišť na základě přímé centrality se mezi čtyřiceti nejlépe hodnocenými evropskými letišti objevují zejména letiště umístěná ve velkých světových metropolích (městech). Dále se zde umístila také letiště, která jsou především turisticky atraktivní, jako je letiště v Barceloně (BCN), Malaga (AGP), Kanárské ostrovy (LPA, TFS), Malta (MLA), Alicante (ALC). Jedná se zejména o Španělské přímořské oblasti.

### 4.2.3 Vážená centralita

Vážená centralita dokáže odhalit letiště, která provozují menší počet pravidelných spojů s vysokou frekvencí nebo naopak letiště, která provozují velký počet pravidelných spojů s nízkou frekvencí provozu. V druhém případě se může jednat zejména o letiště atraktivní v letních měsících, kdy během zimního letového řádu udržují s ostatními destinacemi jen nízkou frekvenci spojů (většinou 1-2x týdně). Do tabulky č.11 byly přidány hodnoty průměrné frekvence připadající na jeden pravidelný letecký spoj daného letiště. V případě hodnocení letišť na základě vážené centrality by mělo být umístění několika letišť na stejné příčce eliminováno.

Tabulka č.11 seřazuje čtyřicet letišť s nejvyššími hodnotami dle vážené centrality. Tato míra centrality zohledňuje především frekvence provozu veškerých pravidelných leteckých spojů. Hodnota  $s_i$  tak reflektuje počet pravidelných letů uskutečněných v týdnu 11.-17.11.2019 ze sledovaných letišť (nejsou však brány v úvahu lety směřující na letiště – v tomto případě lze předpokládat dvojnásobný počet letů v rámci pravidelných spojů). Umístění pražského Letiště Václava Havla je zvýrazněno červenou barvou.

**Tabulka 11 - Vážená centralita evropských letišť – celkem, (\* Červeně zvýrazněno Letiště Václava Havla v Praze)**

Č.	Pořadí	Kód	$s_i$	Frek.	Č.	Pořadí	Kód	$s_i$	Frek.
1	1.	LHR	4 430	25,2	21	21.	DUS	1 557	13,7
2	2.	FRA	4 322	18,3	22	22.	WAW	1 535	13,7
3	3.	AMS	4 261	18,1	23	23.	TXL	1 490	17,5
4	4.	CDG	4 026	16,3	24	24.	ATH	1 479	13,2
5	5.	MAD	3 958	22,7	25	25.	MAN	1 422	11,0
6	6.	MUC	3 317	19,8	26	26.	STN	1 293	9,0
7	7.	BCN	2 740	17,1	27	27.	HAM	1 122	14,5
8	8.	VIE	2 727	17,9	28	28.	GVA	1 111	12,2
9	9.	FCO	2 551	15,7	29	29.	PRG	1 060	9,6
10	10.	CPH	2 150	16,3	30	30.	OTP	975	9,5
11	11.	OSL	2 078	20,9	31	31.	BUD	944	8
12	12.	LGW	1 992	13,2	32	32.	NCE	928	13
13	13.	ZRH	1 959	15,6	33	33.	LPA	920	9,5
14	14.	ARN	1 911	18,7	34	34.	STR	919	11,6
15	15.	ORY	1 828	18,2	35	35.	EDI	878	10,0
16	16.	DUB	1 806	13,9	36	36.	AGP	872	8,6
17	17.	BRU	1 782	12,1	37	37.	LIN	855	26,7
18	18.	LIS	1 779	14,4	38	38.	LYS	848	10,1
19	19.	MXP	1 632	11,8	39	39.	PMI	812	13,3
20	20.	HEL	1 628	16,2	40	40.	LTN	767	7,5

V rámci přímé centrality bylo londýnské letiště Heathrow umístěno až na 4. místě (po letištích CDG, AMS, FRA) s počtem provozovaných pravidelných spojů 176. Podle vážené centrality

je však zřejmé, že jsou jeho letecké spoje provozovány s velmi vysokou týdenní frekvencí (průměrně 25 letů na jeden pravidelný spoj), a proto tak v této kategorii centrality obsadilo první příčku. Frankfurtské a amsterdamské letiště provozují své letecké spoje s frekvencí zhruba 18 spojů/týden. Pařížské letiště, které dle přímé centrality provozuje nejvíce leteckých spojů ze všech evropských letišť má průměrnou frekvencí spojů pouze 16 letů/týden. Významný posun (zhruba o 15 míst výš) byl zaznamenán u letiště Oslo, který se svými 99 pravidelnými linkami má frekvenci zhruba 21 letů/týden. Pražské letiště Václava Havla s váženou centralitou 1060 letů se umístilo na 29. místě, kdy je průměrná frekvence spojů rovna 9-10 letů/týden. Dále lze pozorovat výrazný posun (zhruba o 20 míst výš oproti přímé centralitě) u letišť TXL, HAM, NCE, PMI. Nejvýraznější posun je pak u letiště LIN, které se z 93. místa v rámci přímé centrality posunulo na 37. příčku s průměrnou frekvencí spojů 26 letů/týden.

Následující tabulka č. 12 opět zobrazuje počet letů uskutečněných z daných letišť v rámci Evropy. Hodnota těchto evropských letů je reprezentována indexem  $s_{ie}$ .

**Tabulka 12 - Vážená centralita evropských letišť – letecké spoje v rámci Evropy, (\* Červeně zvýrazněno Letiště Václava Havla v Praze)**

Č.	Pořadí	Kód	$s_{ie}$	Č.	Pořadí	Kód	$s_{ie}$
1	1.	AMS	3 281	21	21.	WAW	1 323
2	2.	MAD	3 222	22	22.	DUS	1 313
3	3.	FRA	3 205	23	23.	ATH	1 286
4	4.	MUC	2 832	24	24.	MXP	1 250
5	5.	CDG	2 643	25	25.	MAN	1 215
6	6.	LHR	2 575	26	26.	STN	1 214
7	7.	BCN	2 382	27	27.	HAM	1 035
8	8.	VIE	2 306	28	28.	GVA	963
9	9.	FCO	2 003	29	29.	LPA	889
10	10.	OSL	1 993	30	30.	LIN	855
11	11.	ARN	1 773	31	31.	NCE	854
12	12.	CPH	1 707	32	32.	EDI	841
13	13.	LGW	1 624	33	33.	OTP	823
14	14.	ZRH	1 612	34	34.	PRG	821
15	15.	DUB	1 595	35	35.	STR	813
16	16.	LIS	1 471	36	36.	PMI	809
17	17.	ORY	1 423	37	37.	BUD	800
18	18.	BRU	1 394	38	38.	AGP	765
19	19.	TXL	1 368	39	39.	LCY	742
20	20.	HEL	1 365	40	40.	LTN	741

Nejdříve je nutné si povšimnout situace, která nastala u londýnského letiště Stansted. Při výpočtu přímé centrality reflektující přímé spoje v rámci Evropy se letiště Stansted umístilo na prvním místě jako letiště s největším počtem přímých spojů obsluhující Evropské destinace. Při výpočtu vážené centrality se letiště STN umístilo až na 26. místě. Letiště Stansted

neprovozuje evropské letecké spoje s tak velkou frekvencí spojů (frekvence zhruba 9 letů na jednu leteckou linku), jako ostatní velká letiště (letiště AMS, FRA, MUC, CDG provozují cca 26 letů na jednu leteckou linku). Na druhém místě se umístilo letiště v Madridu, které provozuje své evropské linky s frekvencí průměrně 30 letů na jeden letecký spoj. Letiště, které svým počtem letů připadající na jeden evropský letecký spoj drží absolutní prvenství, je londýnské Heathrow s počtem 40 letů/týden na jeden spoj. Pražské letiště se v této kategorii centrality umístilo na 34. místě, kdy jeho průměrný počet letů v rámci evropských leteckých linek činí zhruba 10 letů na spoj.

V následující tabulce č.13 je možné sledovat výsledky vážené centrality, která specifikuje pouze lety provozované mimo Evropu. Hodnota těchto mimoevropských letů je reprezentována indexem  $s_{im}$ .

**Tabulka 13 - Vážená centralita evropských letišť - letecké spoje mimo Evropu, (\* Červeně zvýrazněno Letiště Václava Havla v Praze)**

Č.	Pořadí	Kód	$s_{im}$	Č.	Pořadí	Kód	$s_{im}$
1	1.	LHR	1 855	21	21.	WAW	212
2	2.	CDG	1 383	22	22.	DUB	211
3	3.	FRA	1 117	23	23.	MAN	207
4	4.	AMS	980	24	24.	ATH	193
5	5.	MAD	736	25	25.	OTP	152
6	6.	FCO	548	26	26.	GVA	148
7	7.	MUC	485	27	27.	BUD	144
8	8.	CPH	443	28	28.	LYS	139
9	9.	VIE	421	29	29.	ARN	138
10	10.	ORY	405	30	30.	MRS	137
11	11.	CRL	403	31	31.	TXL	122
12	12.	BRU	388	32	32.	RIX	116
13	13.	MXP	382	33	33.	VLC	112
14	14.	LGW	368	34	34.	AGP	107
15	15.	BCN	358	35	35.	STR	106
16	16.	ZRH	347	36	36.	HAM	87
17	17.	LIS	308	37	37.	CGN	86
18	18.	HEL	263	38	37.	SXF	86
19	19.	DUS	244	39	38.	OSL	85
20	20.	PRG	239	40	39.	STN	79

I když se letiště Heathrow umístilo v rámci přímé centrality zobrazující počet mimoevropských spojů až na 4. místě, při zohlednění jednotlivých frekvencí těchto spojů letiště bylo posunuto na první místo. Druhé místo obsadilo letiště Charles de Gaulla s rozdílem necelých 500 letů oproti prvnímu místu. Průměrná frekvence mimoevropských spojů je u letiště Heathrow cca 16 letů/týden zato u letiště Charlese de Gaulla je tato frekvence pouze cca 10 letů/týden. Frekvenci mimoevropských spojů zhruba deseti letů týdně má také například letiště Frankfurt, Madrid, Copenhagen a pařížské letiště Orly. Pražské letiště se v kategorii vážené centrality

mimoevropských letů umístilo na 20. místě s 239 pravidelnými lety směřující mimo Evropu. Se 34 pravidelnými leteckými spoji je jejich průměrná týdenní frekvence zhruba 7 letů/týden.

#### 4.2.4 Přestupní centralita

Dalším druhem centrality, která byla počítána, je přestupní centralita letiště. Jednotlivá letiště byla ohodnocena na základě přestupního potenciálu a je tak možné identifikovat významná hub letiště. Přestupní centralita tak vyčísluje počet kolikrát daný uzel v síti slouží jako přestupní bod v rámci nejkratší cesty mezi dvěma dalšími uzly. Skupina čtyřiceti nejvýznamnějších letišť dle přestupní centrality (označena  $c_B$ ) je uvedena v tabulce č.14. Jednotlivé výsledky přestupní centrality byly normalizovány. Umístění pražského Letiště Václava Havla je zvýrazněno červenou barvou.

**Tabulka 14 - Přestupní centralita evropských letišť, (\* Červeně zvýrazněno Letiště Václava Havla v Praze)**

Č.	Pořadí	Kód	$c_B$	Č.	Pořadí	Kód	$c_B$
1	1.	CDG	0.1164	21	21.	MLA	0.0242
2	2.	FRA	0.1026	22	22.	VIE	0.0227
3	3.	AMS	0.0974	23	23.	GLA	0.0223
4	4.	ATH	0.0746	24	24.	LPA	0.0207
5	5.	LHR	0.0713	25	25.	TOS	0.0206
6	6.	MAD	0.0554	26	26.	WAW	0.0187
7	7.	OSL	0.0549	27	27.	MAN	0.0183
8	8.	ARN	0.0534	28	28.	<b>PRG</b>	<b>0.0181</b>
9	9.	HEL	0.0508	29	29.	LTN	0.0180
10	10.	STN	0.0483	30	30.	PDL	0.0178
11	11.	LIS	0.0438	31	31.	SKG	0.0163
12	12.	ORY	0.0409	32	32.	OTP	0.0155
13	13.	LGW	0.0354	33	33.	OPO	0.0151
14	14.	BRU	0.0324	34	34.	LYS	0.0143
15	15.	CPH	0.0302	35	35.	CRL	0.0137
16	16.	BCN	0.0281	36	36.	MRS	0.0131
17	17.	MUC	0.0280	37	37.	AGP	0.0130
18	18.	FCO	0.0261	38	38.	ZRH	0.0128
19	19.	DUB	0.0260	39	39.	BGO	0.0120
20	20.	MLA	0.0242	40	40.	ALC	0.0112

Mezi nejvýznamnější přestupní letiště v evropské letecké síti patří letiště Charles de Gaulla, které je dále následováno letištěm Frankfurt nad Mohanem a letištěm Schiphol v Amsterdamu. Na čtvrtém místě se překvapivě umístilo řecké letiště v Aténách, které tak předběhlo londýnské letiště Heathrow patřící mezi jedno z nejvýznamnějších letišť v síti. V rámci přestupní centrality stouply na významu letiště severovýchodních zemí, jako je OSL, ARN a HEL (tedy hlavní letiště Norska, Švédska a Finska). Letiště Václava Havla v Praze se umístilo na 28. místě.



#### 4.2.5 Centralita dostupnosti

Poslední centralitou hodnotící leteckou síť jednotlivých letišť je centralita dostupnosti. Centralita dostupnosti umožňuje identifikovat uzly na základě jejich polohy v síti a celkového napojení letiště v síti. Letiště s menším stupněm ohodnocení v rámci přímé centrality a s menším stupněm ohodnocení v rámci vážené centrality může být velice dobře dostupné do všech ostatních uzlů v síti. Následující tabulka č. 15 zobrazuje čtyřicet nejlépe ohodnocených letišť na základě centrality dostupnosti (označena  $c_c$ ). Jednotlivé vypočítané hodnoty byly normalizovány. Umístění pražského Letiště Václava Havla je zvýrazněno červenou barvou.

Tabulka 15 - Centralita dostupnosti evropských letišť, (\* Červeně zvýrazněno Letiště Václava Havla v Praze)

Č.	Pořadí	Kód	$c_c$	Č.	Pořadí	Kód	$c_c$
1	1.	AMS	0.5732	21	20.	HEL	0.5084
2	2.	FRA	0.5665	22	20.	ZRH	0.5084
3	3.	CDG	0.5608	23	21.	STN	0.5071
4	4.	MUC	0.5353	24	22.	EDI	0.5048
5	5.	VIE	0.5346	25	23.	OTP	0.5038
6	6.	BCN	0.5342	26	24.	ARN	0.5029
7	7.	MAD	0.5339	27	25.	ATH	0.5016
8	8.	CPH	0.5284	28	26.	TFS	0.4993
9	9.	DUB	0.5277	29	27.	AGP	0.4990
10	10.	FCO	0.5259	30	28.	OSL	0.4984
11	11.	BRU	0.5224	31	28.	TXL	0.4984
12	12.	BUD	0.5179	32	29.	HAM	0.4977
13	13.	MXP	0.5176	33	30.	GVA	0.4946
14	14.	LGW	0.5172	34	31.	LPA	0.4930
15	15.	<b>PRG</b>	<b>0.5152</b>	35	32.	MLA	0.4902
16	16.	LIS	0.5148	36	33.	NCE	0.4893
17	16.	MAN	0.5148	37	34.	ALC	0.4887
18	17.	KRK	0.5128	38	35.	RIX	0.4884
19	18.	DUS	0.5094	39	36.	SXF	0.4841
20	19.	WAW	0.5088	40	37.	STR	0.4836

Poprvé se stává nejvýznamnějším letiště Schiphol v Amsterdamu, které je následováno frankfurtským FRA a pařížským letištěm CDG. Další letiště s velmi dobrým výsledkem centrality dostupnosti jsou letiště Mnichov a letiště Vídeň. V rámci centrality dostupnosti se na první pohled významně umístilo pražské letiště Václava Havla, a to na 15. místě. Dalším překvapivým faktem je, že ve skupině 40 letišť s nejlepším výsledkem v rámci linkové konektivity se neumístilo londýnské letiště Heathrow. Jeho výsledek ho zařadil až na 48. místo.



#### 4.2.6 Metoda Netscan vs. metoda centrality

Přímou konektivitu, která je využívána v metodě Netscan pro popis pravidelných leteckých spojů zohledňující frekvenci provozu, je možné porovnat s váženou centralitou použitou při zkoumání sítě dle metody centrality. Získané výsledky vážené centrality byly porovnány s výsledky uvedené v reportu 2019 vydávané sdružením ACI, viz tabulka č.16. [35]

**Tabulka 16 - Porovnání výsledků přímé konektivity a přímé centrality [35], (upraveno), (\* zeleně označena letiště se stejným hodnocením, černě označena letiště s mírně odlišným hodnocením, červeně označena letiště s výrazně lišícím se hodnocením)**

Kód	Centralita	Netscan	Kód	Centralita	Netscan
	Pořadí			Pořadí	
LHR	1.	4.	DUS	21.	19.
FRA	2.	1.	WAW	22.	27.
AMS	3.	2.	TXL	23.	24.
CDG	4.	3.	ATH	24.	17.
MAD	5.	6.	MAN	25.	22.
MUC	6.	5.	STN	26.	26.
BCN	7.	7.	HAM	27.	32.
VIE	8.	10.	GVA	28.	31.
FCO	9.	8.	PRG	29.	30.
CPH	10.	11.	OTP	30.	37.
OSL	11.	14.	BUD	31.	40.
LGW	12.	9.	NCE	32.	28.
ZRH	13.	13.	LPA	33.	24.
ARN	14.	16.	STR	34.	34.
ORY	15.	15.	EDI	35.	33.
DUB	16.	18.	AGP	36.	29.
BRU	17.	21.	LIN	37.	41.
LIS	18.	20.	LYS	38.	36.
MXP	19.	23.	PMI	39.	12.
HEL	20.	25.	LTN	40.	35.

Zeleně označená letiště byla ohodnocena při použití metody Netscan a metody centrality zcela totožně. Letiště, která zůstala označena černou barvou, se svým umístěním liší většinou o 1-3 místa (v několika případech o více míst). To je přisuzováno skutečnosti, že letiště byla zkoumána během rozdílného časového období. Frekvence leteckých linek se v těchto případech mírně liší s ohledem na zimní a letní letový řád. Naopak výsledky letišť označených červenou barvou se liší poměrně výrazně. Letiště jako ATH, LPA, AGP a PMI jsou atraktivní především v letních měsících, a proto jejich hodnocení metodou Netscan bylo mnohem lepší než při hodnocení metodou centrality (letní turistické oblasti udržují v zimním letovém řádu s destinacemi většinou frekvenci 1-2 lety/týden, ale během letního letového řádu je frekvence mnohonásobně navýšena). Zato letiště BUD je více navštěvované v podzimních a jarních měsících, proto byl u něj zaznamenán pokles při hodnocení metodou Netscan.

Druhá charakteristika využívaná v metodě Netscan, která lze využít k porovnání získaných výsledků metodou centrality, se nazývá hub konektivita zohledňující přestupní charakter letišť. Odpovídající charakteristikou v případě použití metody centrality je pak přestupní centralita letišť. Následující tabulka č. 17 zobrazuje porovnání těchto dvou charakteristik.

**Tabulka 17 - Porovnání výsledků přestupní centrality a hub konektivity [35], (upraveno), (\* zeleně označena letiště se stejným hodnocením, černě označena letiště s mírně odlišným hodnocením, červeně označena letiště s výrazně lišícím se hodnocením)**

Kód	Centralita	Netscan	Kód	Centralita	Netscan
	Pořadí			Pořadí	
CDG	1.	3.	VIE	21.	8.
FRA	2.	1.	GLA	22.	64.
AMS	3.	2.	LPA	23.	63.
ATH	4.	18.	TOS	24.	54.
LHR	5.	5.	WAW	25.	12.
MAD	6.	6.	MAN	26.	25.
OSL	7.	17.	PRG	27.	22.
ARN	8.	20.	LTN	28.	47.
HEL	9.	10.	PDL	29.	71.
STN	10.	23.	SKG	30.	61.
LIS	11.	11.	OTP	31.	36.
ORY	12.	26.	OPO	32.	41.
LGW	13.	24.	LYS	33.	34.
BRU	14.	13.	CRL	34.	62.
CPH	15.	14.	MRS	35.	46.
BCN	16.	16.	AGP	36.	52.
MUC	17.	4.	ZRH	37.	7.
FCO	18.	9.	BGO	38.	43.
DUB	19.	15.	ALC	39.	79.
MXP	20.	27.	BUD	40.	42.

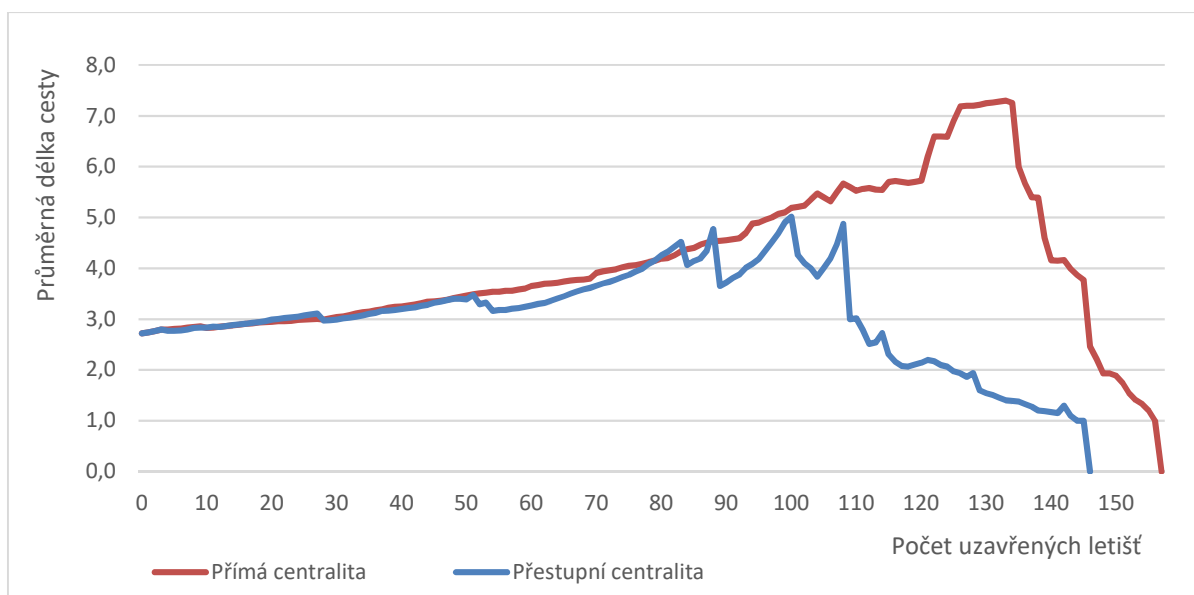
Zeleně označená letiště byla ohodnocena při použití metody Netscan a metody centrality zcela totožně. Letiště, která jsou označena černou barvou se liší v ohodnocení mírně. Letiště označena červenou barvou se svým hodnocením liší výrazněji, což je přisuzováno zejména skutečnosti, že každá metoda zkoumala evropskou leteckou síť s odlišnou specifikací evropské oblasti. To má za následek, že použitá vstupní data byla poměrně nesourodá, a tedy ani výsledky nemohou být zcela srovnatelné.

### 4.3 Narušení letecké sítě

Jednotlivá evropská letiště byla ohodnocena s ohledem na jejich pravidelně provozované letecké linky v období, kdy nebyla evidována žádná významná narušení, či omezení sítě. Bylo tak možné provést sledování její odolnosti. Odolnost evropské letecké sítě byla sledována s cílem zjistit, jak je postupným uzavíráním letišť ovlivněna průměrná délka cesty, komponenta sítě a nakonec kdy se stává síť neprovozoschopná.

Pro posouzení odolnosti sítě nebyl využit žádný konkrétní případ narušení, či omezení. Jedná se pouze o její teoretické narušení, kdy byla ze sítě postupně odstraněna (uzavřena) nejvýznamnější letiště podle přímé a přestupní centrality. Postup odstraňování letišť ze sítě byl již popsán v metodologii v podkapitole 3.4 Odolnost letecké sítě. Evropská letecká síť, která byla v této práci definována, čítá 780 mezinárodních letišť (včetně mimoevropských). Jedná se o celkový souhrn letišť napojených skrze pravidelné letecké linky na vybraná letiště uvedena v příloze č.1. Postupné odstraňování letišť tak bylo provedeno z celku 780 letišť na základě předem daných kritérií.

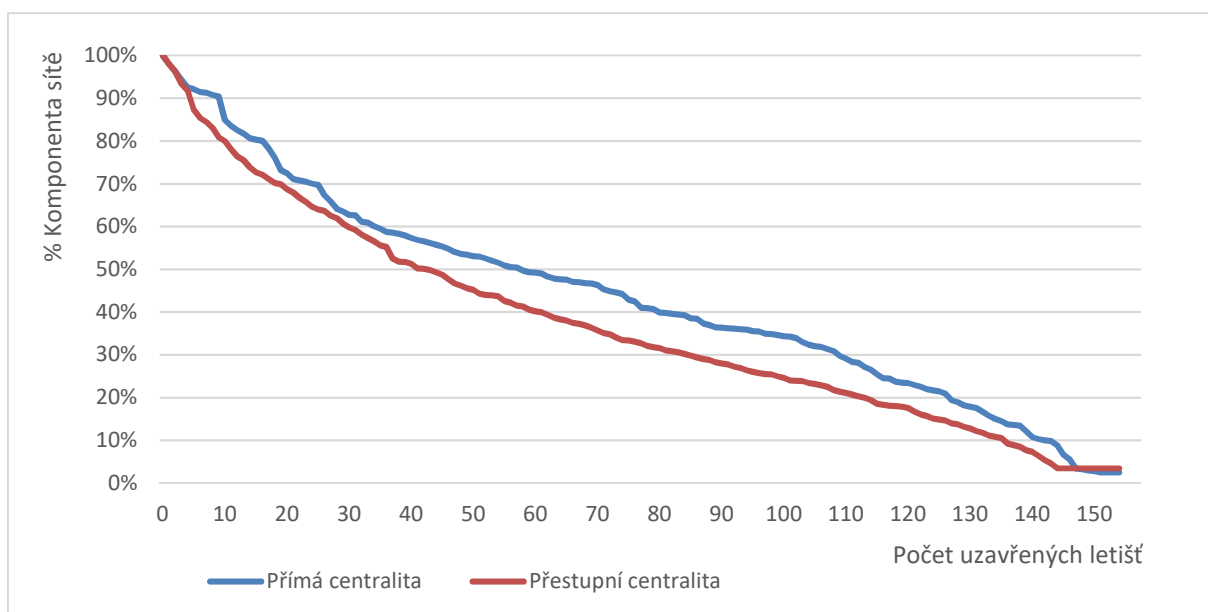
Jako první byla sledována závislost změny průměrné délky cesty na počtu uzavřených letišť. Průměrná délka cesty v evropské letecké síti je rovna 2,7 letů k dostupnosti všech letišť z kteréhokoliv uzlu (je tedy zapotřebí absolvovat 2-3 lety, neboli 1-2 přestupy). Tato hodnota je platná pro sledovanou síť v případě, že není nijak narušena. V grafu č. 17 je možné sledovat změnu průměrné délky cesty při postupném uzavírání letišť podle přímé a přestupní centrality.



**Graf 17 - Odolnost evropské letecké sítě – ukazatel průměrné délky cesty**

V grafu č.17 je možné sledovat zhruba do 50 uzavřených letišť nárůst průměrné délky cesty u obou charakteristik (přímá centralita a přestupní centralita) přibližně stejnou rychlostí. U přímé centrality je tento postupný nárůst možný sledovat až do dosažení průměrné délky cesty rovné 7,3 letů. Po této nejvyšší hodnotě následuje poměrně prudký pokles až k hodnotě nula. Nulová hodnota je dosažena v případě přímé centrality při uzavření zhruba 157 letišť (což představuje 20,1% z celku). U Přestupní centrality je v oblasti 50-110 uzavřených letišť možné sledovat náhlé změny průměrné délky cesty. Tyto výkyvy jsou způsobeny tehdy, kdy při uzavření jednoho letiště dle přestupní centrality jsou zároveň uzavřena i další napojená letiště a prakticky se zlepšuje průchodnost sítě, tedy i zkrátí průměrná délka cesty. Nejvyšší dosažená hodnota průměrné délky cesty je v případě přestupní centrality 5 letů. Po této hodnotě je průměrná délka cesty prudce snížena na hodnotu 3 a následně postupně klesá až k nulové hodnotě. Nulová hodnota je dosažena v případě přestupní centrality při uzavření zhruba 146 letišť (což představuje 19% z celku).

Jako druhá byla sledována závislost změny velikosti komponenty sítě na počtu uzavřených letišť. Komponenta sítě je v normálním stavu rovna 100%, které představují celkový počet 780 letišť. V grafu č. 18 je možné sledovat změnu komponenty při postupném uzavírání letišť podle přímé a přestupní centrality.



**Graf 18 - Odolnost letecké sítě – ukazatel komponenta sítě**

Při odstraňování jednotlivých letišť sítě dle přímé a přestupní centrality, a sledování změny komponenty, je průběh křivek poměrně podobného rázu. Liší se zejména rychlostí změny velikosti komponenty sítě, kdy při uzavírání letišť dle přestupní centrality se velikost komponenty sítě zmenšuje rychleji než v případě přímé centrality. Síť se stává nefunkční zhruba ve stejnou chvíli, jak tomu bylo u předchozí závislosti sledované na změně průměrné

délky cesty. K rozpadu sítě dochází při uzavření 151 letišť evropské letecké sítě dle přímé centrality (19,3% z celku) a 146 letišť dle přestupní konektivity (18,7% z celku), kdy již není možné nalézt komponentu sítě (sít' je roztržena na několik malých kousků a zároveň není možné mezi těmito podsítěmi nalézt největší – tedy komponentu sítě). V tento okamžik rozpadu zůstalo v síti ze 780 letišť pouhých 28 letišť dle přestupní centrality a 20 letišť v případě přímé centrality. Z tohoto důvodu nebylo dosaženo nulové hodnoty.

Dále v grafu č. 18 lze pozorovat, že při uzavření zhruba 50 letišť podle přímé centrality je funkčnost sítě omezena na 53%. V případě přestupní centrality je funkčnost sítě při uzavření 50 letišť pouze 44%.

## 5 Diskuze

S ohledem na kapitolu, kde byly interpretovány výsledky analýzy vývoje provozu mezinárodních letišť v České republice a hodnocení stavu evropské letecké sítě, budou tyto výsledky zhodnoceny.

### 5.1. Vyhodnocení analýzy provozu mezinárodních letišť v ČR

Analýza byla zaměřena na vývoj pěti mezinárodních letišť s pravidelným provozem nacházející se v České republice. Každé z letišť bylo analyzováno zvláště v rámci stejné časové periody (2009-2018) na základě provozních parametrů popisující počet pohybů letadel, počet přepravených cestujících a počet pravidelných linek. Ze získaných dat byly vytvořeny tabulky, které byly následně zpracovány do grafické podoby.

Provoz mezinárodních českých letišť byl sledován v průběhu desetiletého období, proto bude nejdříve zhodnocen jejich celkový vývoj. Na základě tohoto vývoje lze následně posuzovat aktuální postavení, úroveň těchto letišť a podíl na pravidelně provozovaných linkách.

U pražského letiště Václava Havla byly zaznamenány mírné poklesy provozních charakteristik jako reakce na hospodářskou celosvětovou krizi a dočasný úpadek národního dopravce ČSA. Ve sledovaném období však nedošlo k výrazným výkyvům či poklesům provozních ukazatelů, což prokazuje jeho silné postavení na trhu. Úzká souvislost všech provozních charakteristik letiště vyplývá z koncentrace převážně na pravidelný provoz. S rozšiřující se nabídkou pravidelných linek a leteckých dopravců se tak úměrně zvyšují hodnoty ostatních provozních ukazatelů. V posledním sledovaném roce (2018) kategorie pravidelné dopravy tvořila 96% z celkového provozu.

Letiště Brno-Tuřany reagovalo na ekonomickou krizi poklesem počtu pohybů letadel a počtu přepravených cestujících, nicméně ani v tomto případě se nejednalo o velké propady zmíněných provozních charakteristik. I přes nejistou poptávku po letecké dopravě v období po celosvětové krizi zapříčinilo rozšíření nabídky pravidelných leteckých spojů následný růst počtu cestujících. Sledované výkyvy provozních ukazatelů (střídatý růst a pokles) jsou výsledkem proměnného zaměření letiště. V rámci osobní letecké přepravy převládaly v celém sledovaném období cestující nepravidelných spojů nad pravidelnými, kdy v posledním sledovaném roce (2018) kategorie nepravidelné dopravy tvořila zhruba 72% z celku. Všeobecné letectví a výcvikové lety představují zhruba 80% z celkových pohybů letadel na letišti. Pravidelná a nepravidelná osobní letecká přeprava je tak reprezentována pouze 10-15%, zbytek provozu je tvořen nákladní přepravou.

Vývoj ostravského letiště má poměrně kolísavý charakter, stejně tak jako vývoj letiště brněnského, kde tyto výkyvy opět souvisí s proměnným provozem letiště. V posledních letech se však letiště navrácí k rostoucímu trendu všech sledovaných provozních charakteristik. Většinou část civilního provozu tvoří nepravidelné spoje, přičemž výjimkou se stávají roky, kdy bylo několik nepravidelných linek převedeno do režimu sezonně pravidelných spojů. Všeobecné letectví a výcvikové lety tvoří průměrně zhruba 75% celkového provozu na letišti. Zbytek provozu je tvořen průměrně 20% komerční osobní přepravou a 5% nákladní dopravou. V posledních letech se ostravské letiště snaží využít své technické zázemí pro rozvoj nákladní letecké přepravy.

Letiště v Pardubicích po ekonomické krizi zaznamenalo narůstající počet pohybů letadel a počet cestujících, kdy v roce 2013 bylo na svém dosavadním vrcholu. Následný úbytek ruských cestujících v důsledku ekonomické krize a krach letecké společnosti Transaero zapříčinilo prudký propad, kdy úbytek cestujících činil 83% a úbytek pohybů letadel 57% (oproti rekordnímu roku 2013). Po tomto prudkém úbytku cestujících a letů nabírají grafy od roku 2017 opět rostoucí tendenci. Obecně je provoz leteckých linek na pardubickém letišti poměrně proměnný a není orientován zejména na pravidelnou nebo nepravidelnou dopravu. V důsledku malého provozu se jakékoliv narušení letiště velmi výrazně odráží v provozních charakteristikách.

Letiště Karlovy Vary zaznamenalo po hospodářské krizi poměrně rychlý růst počtu přepravených cestujících. Tento nárůst objemu cestujících úzce souvisí s rostoucí poptávkou po lázeňském městě Karlovy Vary zejména z Ruska, a tedy i s navyšováním počtu pravidelných linek z ruských oblastí. Následný prudký odliv cestujících je zapříčiněn ekonomickou krizí v Rusku a vznikem konkurenčního prostředí (nově vznikla linka spojující Moskvu a Petrohrad s Prahou).

Díky tomu, že vývoj letišť byl sledován v průběhu několika let a jejich vzájemné postavení i provozní význam se nijak zvláště nezměnil, je možné pro stanovení aktuální situace a úrovně civilní letecké dopravy v ČR vycházet z posledních publikovaných dat za rok 2018, viz tabulka č.6 (kapitola 4.1.6 Výsledky pro rok 2018).

Na základě provedené analýzy je Letiště Václava Havla v Praze jednoznačně primárním letištem České republiky. Jeho výkonnostní charakteristiky v celém sledovaném období několikanásobně převyšují hodnoty ostatních zkoumaných letišť. Vývoj lze hodnotit jako plynulý s neustálou rozvíjející se tendencí. Provoz je založen zejména na pravidelných leteckých linkách, kdy na základě oddělení cestujících pravidelné a nepravidelné dopravy bylo možné určit podíl nepravidelných leteckých spojů, který tvořil v roce 2018 pouze 4% z celkové sumy leteckých spojů.

Nepravidelný provoz převažuje na regionálních letištích jako je Letiště Brno-Tuřany a Letiště Leoše Janáčka v Ostravě. Jejich strategická poloha vůči pražskému letišti nabízí snazší dostupnost pro obyvatelstvo Moravy a Slezska. Letiště se tak v tomto ohledu svými sezonními linkami převážně v letní sezoně doplňují a cílí svou nabídkou na místní obyvatelstvo. I když tato letiště zdaleka nedosahují takových provozních hodnot jako letiště v Praze, dá se jejich provoz považovat za neodmyslitelnou součást leteckého provozu České republiky. Obě letiště v roce 2018 nabízely pouze 4 pravidelné linky a jejich nepravidelný sezonní provoz doplňuje zejména odvětví všeobecného letectví a výcvikové lety. Tato kategorie provozu má na obou letištích podíl zhruba 75-80%.

Zbývající mezinárodní letiště v Pardubicích a Karlových Varech se řadí svými hodnotami provozních ukazatelů na poslední příčky. Jejich nabídka leteckých linek byla v obou případech koncentrována převážně na ruský trh. A právě cílením těchto letišť na jeden trh se letiště stávají silně citlivými na ekonomickou a politickou situaci v dané zemi. Jejich prosperita je také velmi ovlivněna blízkostí pražského letiště, které je pro většinu obyvatelstva lépe dostupné, a navíc nabízí konkurenční linky do stejných destinací. Letiště Pardubice i Letiště Karlovy Vary tak dostatečně nekonkurují svou lokací a nabídkou letů ostatním letišťům v republice.

Co se týče počtu pravidelných leteckých linek provozovaných během roku 2018, byl vytvořen graf č.16 (viz kapitola 4.1.6 Výsledky pro rok 2018) zobrazující podíl jednotlivých letišť na pravidelném provozu České republiky. Z grafu vyplývá jednoznačný většinový podíl Letiště Václava Havla v Praze. Jeho pravidelný provoz tvořen 171 linkami představoval zhruba 93% z celku. Z tohoto důvodu se pravidelný provoz ostatních českých mezinárodních letišť dá považovat za zanedbatelný.

Na základě provedené analýzy sledovaných letišť byl zhodnocen provoz, vývoj, růst/případně úpadek během desetiletého období provozu. Dále byla zhodnocena aktuální situace a úroveň těchto sledovaných letišť na základě provozu pravidelných leteckých linek. Z těchto poznatků je možné predikovat pravděpodobný vývoj letišť do budoucna.

Z výsledků objemu pravidelných leteckých linek provozovaných na jednotlivých letištích je možné předpokládat postupný přesun veškerého pravidelného provozu na národní letiště Václava Havla v Praze. Na mezinárodních letištích v Brně a Ostravě budou provozovány hlavně nepravidelné nebo sezonně pravidelné spoje. Zbytek provozu na brněnském a ostravském letišti bude tvořen zejména výcvikovými lety a cargo provozem. Letiště Karlovy Vary má potenciál zůstat koncentrovaný svými spoji na turistiku lázeňského města a Letiště Pardubice plnit úlohu letiště, které má za cíl zejména regionální rozvoj pardubického kraje.



V současné době nejsou v České republice provozovány žádné pravidelné vnitrostátní letecké spoje. Česká republika jakožto stát je svou rozlohou poměrně malá země, a tedy díky velmi dobře rozvinuté jak silniční, tak železniční dopravní síti, byly v průběhu historie našeho státu vnitrostátní linky postupně eliminovány až zcela zrušeny. Z tohoto důvodu by bylo sledování letecké sítě na národní úrovni (letecké sítě České republiky) bezpředmětné.

Ze znázorněného grafu č. 16 (viz kapitola 4.1.6 Výsledky pro rok 2018) zobrazující podíl jednotlivých letišť na provozu pravidelných linek v roce 2018 bylo zřejmé, že téměř veškerý pravidelný letecký provoz je soustředěn do hlavního města Prahy. Ostatní letiště tak byla fokusována zejména na nepravidelný letecký provoz, případně zaměřena na konkrétní oblast trhu. Tato letiště, která tvoří pouze 6,5% českého pravidelného provozu, zdaleka nedosahují takových provozních výkonů jako primární pražské letiště. Proto lze z analýzy provozních ukazatelů předpokládat, že hodnocení pravidelného provozu na letištích s počtem odbavených cestujících do 1 milionu/rok je bezdůvodné. Jednalo se tak o podklad pro způsob filtrace letišť, která byla základem pro vytvoření evropské letecké sítě a identifikaci nejvýznamnějších letišť v síti.

## 5.2. Shrnutí hodnocení letecké sítě

V rámci evropské letecké sítě bylo hodnoceno celkem 185 evropských letišť s ohledem na jejich pravidelně provozované linky. Tato vybraná letiště tvoří základ evropské letecké sítě a byla specifikována dle místa výskytu (nacházející se ve státech, které svou celou rozlohou patří do Evropy) a dle počtu odbavených cestujících (odbavila alespoň 1 milion cestujících za rok 2018). Po identifikaci veškerých pravidelných linek jednotlivých vybraných letišť během sledovaného období 11.-17.11.2019 vznikla komplexní evropská letecká síť čítající celkem 780 obsluhovaných letišť a 6375 pravidelných linek. Grafické znázornění evropské letecké sítě bylo zobrazeno v kapitole 4.2 Hodnocení letecké sítě. Jednotlivá vybraná letiště byla hodnocena pomocí metody centrality, což je jedna z metod, jak je možné na leteckou síť nahlížet. Metoda rozeznává čtyři druhy centrality, a to přímou centralitu, váženou centralitu, přestupní centralitu a centralitu dostupnosti. Výsledky reprezentují stav evropské letecké sítě během zimního letového řádu 2019/2020 za předpokladu, že síť nebyla nijak narušena ani omezena.

Výsledky získané po výpočtu přímé centrality odráží zejména ekonomickou a turistickou důležitost oblastí, kterou dané letiště obsluhuje. Dle přímé centrality se jako nejvýznamnější letiště prokázalo pařížské letiště Charles de Gaulle s 246 pravidelnými linkami. Následováno je amsterdamským letišťem Schiphol a letišťem Frankfurt nad Mohanem provozující 236 pravidelných linek, proto se dělí o 2. místo. Až na 3. místě se umístilo londýnské letiště Heathrow, které v roce 2018 odbavilo největší počet cestujících v Evropě. Další příčky obsadila letiště významných evropských měst, kdy 20. nejlepší výsledek dle počtu pravidelných linek je přiřazen Letišti Václava Havla v Praze. Při zaměření se na počet pravidelných linek provozovaných v rámci Evropy a mimo Evropu, bylo zjištěno následující. Letišťem provozující největší počet pravidelných linek v rámci Evropy je londýnské letiště Stansted (zhruba 90% všech pravidelných linek). Naopak nejvýznamnějšími letišti provozující značnou část svých pravidelných linek mimo Evropu jsou letiště Charles de Gaulle a letiště Heathrow (60% všech pravidelných linek), letiště Schiphol a Frankfurt nad Mohanem (50% všech pravidelných linek). I když pražské letiště Václava Havla v Praze provozuje pouze 30% mimoevropských linek, získalo 14. nejlepší výsledek z celkového počtu hodnocených letišť.

Po specifikaci provozované frekvence jednotlivých pravidelných linek, mohla být počítána vážená centralita. Vážená centralita odráží především velikost letiště a poptávku po jeho provozovaných leteckých spojích, kdy se zvyšující se frekvencí roste počet přepravených cestujících. Na základě výpočtů vážené centrality bylo možné identifikovat letiště, která své pravidelné spoje provozuje s vysokou frekvencí. Mnoho letišť tak na významnosti stouplo,

ale také pokleslo. První místo obsadilo letiště Heathrow provozující své pravidelné letecké spoje s průměrnou frekvencí 25 letů/týden. Nejvýznamnější posun byl zaznamenán u milánského letiště Linate, které se díky průměrné frekvenci spojů 26 letů/ týdně posunulo o 56 míst výše (oproti žebříčku dle přímé centrality). Pražské letiště Václava Havla se umístilo na 29. místě, kdy jeho průměrná frekvence pravidelných linek je zhruba 9-10 letů/týden. V rámci zkoumání pouze evropských pravidelných linek se významně umístilo letiště v Madridu, které provozuje evropské pravidelné linky průměrnou frekvencí 30 letů/týden a letiště Heathrow s průměrnou frekvencí evropských spojů 40 letů/týden.

Přestupní centralita umožňuje identifikovat významná letiště hubovského typu, která jsou důležitá pro přestup. Jejich významnost je umocněna způsobem napojení na ostatní uzly v síti, především pak provozem jedinečných leteckých spojů. Mezi nejvýznamnější letiště dle přestupní centrality patří letiště Charles de Gaulle, které nabývá své významnosti obsluhou francouzských kolonií (ať už bývalých nebo současných). Následováno je letištěm Frankfurt nad Mohanem a letištěm Schiphol v Amsterdamu taktéž nabízející jedinečné spoje napojující Evropu na ostatní světadíly. Na čtvrtém místě se ojedinele umístilo letiště v Aténách. Předběhlo tak londýnské letiště Heathrow, které patří mezi jedno z nejvýznamnějších letišť v síti. Významnost aténského letiště je zesílena provozem unikátních leteckých spojů (ať už v rámci řecké pevniny a ostrovů nebo přilehlé oblasti Turecka), které tak mohou dobře propojovat další uzly v síti nejkratším způsobem. V rámci přestupní konektivity se také významně umístila letiště severovýchodních zemí, jako je letiště v Oslu, Stockholmu a Helsinkách (tedy hlavní letiště Norska, Švédska a Finska). Jejich přestupní potenciál je důležitý pro provoz vnitrostátních linek, kdy vzhledem k velikosti těchto zemí a geografickým charakteristikám je vnitrostátní přeprava jednou z nejjednodušších a nejrychlejších způsobů dopravy. Letiště Václava Havla v Praze se umístilo na 28. místě. Celkově je pražské letiště velmi dobře napojeno na ostatní evropské uzly, avšak ojedinelé spoje jsou orientovány na východní Evropu a Asii. Jeho jedinečnost může být v dostupnosti několika ruských letišť, se kterými má poměrně silné propojení.

Centralita dostupnosti umožňuje identifikovat uzly, které nejsou v rámci přímé a vážené centrality vysoce hodnoceny (nemají např. velký počet pravidelných linek nebo neprovozují tyto linky s vysokou frekvencí), ale mohou být naopak významné svou polohou a napojením v síti. Centralita dostupnosti bere v úvahu skladbu provozovaných linek, ale zejména jejich polohu. Obecně platí, že čím je uzel v síti centrálnější, tím blíže je všem ostatním uzlům. Podle centrality dostupnosti se prokázalo jako nejvýznamnější letiště Schiphol v Amsterdamu, které je následováno dalšími významnými evropskými uzly. Významně se také umístilo pražské letiště Václava Havla a to na 15. místě díky jeho centrální poloze v síti.

Související studie, která se také zabývá hodnocením evropské letecké sítě, je každoročně aktualizována Mezinárodním sdružením letišť (ACI). Jak již bylo popsáno v teoretické části, toto sdružení využívá cíleně vyvinutou metodu (pro hodnocení letecké sítě) nazývanou Netscan. Sdružení vydává reporty zpětně vždy za uplynulý kalendářní rok, kde analyzuje jednotlivá letiště s ohledem na pravidelně provozované spoje. Poslední dostupný report hodnotí evropskou leteckou síť v roce 2019. Metoda Netscan však využívá pro zpracování mírně odlišná vstupní data. V první řadě se jedná o sledované období, kdy výsledky reprezentují situaci v letním letovém řádu (z letových řádů je sbírán provoz pravidelných linek během červnového týdne). V druhé řadě se jedná o specifikaci oblasti zkoumání, do které jsou zahrnuta jak letiště nacházející se na území evropských států uznaných svou celou rozlohou, tak letiště patřící do Evropy pouze částečně. Přestože jsou vstupní data odlišná, lze z porovnání vybraných výsledků obou metod vyvodit určité poznatky.

S ohledem na porovnání vybraných charakteristik obou metod v kapitole 4.2.6 Metoda Netscan vs. metoda centrality, bylo možné sledovat tyto poznatky. Z porovnání přímé konektivity a vážené centrality zohledňující provozovanou frekvenci jednotlivých pravidelných spojů vyplývá silná závislost výsledků na stanoveném období sledování. Hodnocení v rámci letního letového řádu a zimního letového řádu odráží poptávku po leteckých spojkách z daných letišť. Lze tak sledovat, která letiště ve specifikovaném provozním období stoupají na atraktivitě, u kterých naopak důležitost klesá, a která letiště si udržují silná postavení na leteckém trhu bez ohledu na provozovaný letový řád. Následující porovnání hub konektivity a přestupní centrality zohledňující přestupní charakter letiště vykazují závislost na způsobu zapojení v síti. Je možné sledovat, která letiště zapojením částečně patřících letišť do evropské sítě na hodnotě stoupla či klesla.

Za předpokladu, že by u obou metod byly specifikovány stejné počáteční podmínky, lze předpokládat, že by bylo dosaženo stejných, případně velmi blízkých výsledků. Z porovnání hodnocení letecké sítě s rozdílnými vstupními daty je možné usoudit, že správná specifikace vstupních dat silně ovlivňuje výsledné hodnoty letišť. Zvolené časové období sledování zejména prezentuje velikost poptávky po provozu na letišti. Z těchto rozdílných časových období lze sledovat vývoj provozu na letištích. Oproti tomu odlišná specifikace oblasti zkoumání vykazuje, že s rozšiřující se oblastí sledování jsou modifikovány výsledky, které zohledňují způsob zapojení letiště v síti. Nejpřesnějších výsledků by tak bylo dosaženo při hodnocení globální letecké sítě, což je nejkompaktnější úroveň zkoumání. Tato forma hodnocení sítě by byla možná za předpokladu, že by byla pro výzkum přístupná databáze obsahující letové řády všech letišť na světě. Databázi tohoto typu spravuje například společnost OAG, která však není veřejně přístupná.

Letecká síť je poměrně komplexní problematikou, u které bylo třeba posuzovat několik faktorů najednou (počet pravidelných leteckých spojů, provozovaná frekvence jednotlivých spojů, způsob zapojení uzlů v síti, dostupnost ostatních uzlů v síti). Celkově byly v rámci hodnocení stavu letecké sítě identifikovány nejvýznamnější evropské uzly, mezi které patří zejména velká města jednotlivých evropských států a turisticky atraktivní destinace. Podle výsledků je však zřejmé, že hodnocení letišť s ohledem na jejich pravidelně provozované linky je poměrně proměnné a liší se v každé zkoumané kategorii centrality. Mnohdy je pořadí letišť zcela odlišné, než tomu bylo u statistiky řadící letiště podle počtu odbavených cestujících.

S ohledem na sledování postavení Letiště Václava Havla V Praze v rámci evropské letecké sítě bylo zjištěno, že patří do skupiny 30 nevýznamnějších letišť Evropy. V každé ze sledovaných kategorií získalo lehce odlišné hodnocení. Co se rozložení evropských a mimoevropských leteckých spojů týče, je jeho silnější postavení v síti orientováno na mimoevropské letecké spoje, kde obsadilo 14. nejlepší hodnocení. Příčinou tohoto faktu je, že spousta evropských letišť provozuje zejména spoje uvnitř Evropy a mimoevropský provoz je u většiny evropských letišť minimální až žádný (kromě významných evropských uzlů). Průměrná provozovaná frekvence jednotlivých spojů pražského letiště není tak vysoká, jako u ostatních velkých evropských letišť, ale stále se letiště udrželo ve skupině 30 nejlépe hodnocených evropských letišť. To by se však mohlo změnit s provozem paralelní dráhy, kdy by bylo možné navýšit, jak počet leteckých spojů, tak jejich frekvenci. Přestupní charakter letiště je úměrný provozovaným linkám a napojení v síti. Zato jeho centrální poloha v síti zajišťuje velmi dobrou dostupnost do ostatních letišť evropské letecké sítě. Vzhledem k celkovému počtu hodnocených evropských letišť je pražské letiště hodnoceno v každé kategorii centrality na velmi vysoké úrovni.

Po ohodnocení evropské letecké sítě na základě identifikace nejvýznamnějších letišť dle vypočítaných měr centrality byla posouzena její odolnost. Sledování probíhalo z pohledu teoretického uzavírání nejvýznamnějších letišť dle přímé a přestupní centrality. Předmětem zkoumání byla závislost změny průměrné délky cesty a změny velikosti komponenty sítě na počtu uzavřených letišť. Obě závislosti vykazují velmi blízké výsledky. Síť se stává neprovoznou již při uzavření 19-20% nejlépe hodnocených letišť přímé a přestupní centrality. Z celkového počtu 780 letišť zahrnutých do výzkumu tedy k neprovoznosti sítě stačí narušení/uzavření 146 letišť. Nejrychleji dochází k narušení provozu při uzavírání letišť podle přestupní centrality. Je to dáno charakteristickým rysem této centrality, kdy při uzavření jednoho letiště může dojít k uzavření několika dalších letišť najednou (např. provoz jedinečných pravidelných linek).

Při uzavření 19-20% letišť dochází k celkové nefunkčnosti sítě. Ve sledování odolnosti však není zahrnut fakt, kdy se provoz letecké sítě stává neefektivní. Tento fakt lze předpokládat při uzavření mnohem menšího počtu letišť, než byla stanovena hranice neprovozoschopnosti sítě. Například při uzavření zhruba 50 letišť podle přímé centrality je funkčnost sítě omezena na 53% a v případě přestupní centrality je funkčnost sítě při uzavření 50 letišť pouze 44%. Již v tomto případě může být provoz letecké sítě považován za neefektivní.

Studie z roku 2014 byla zaměřena na výzkum odolnosti globální letecké sítě. Bylo zjištěno, že při uzavření 13% letišť se globální letecká síť stává neprovozoschopnou. K tomu stačí z celkového počtu 3600 letišť zahrnutých do výzkumu narušit/uzavřít 468 letišť. [23] Odolnost globální letecké sítě je tak menší než odolnosti evropské letecké sítě, což je dáno především rozsahem sledované oblasti. Uzavření letiště v globální letecké síti negativně ovlivní mnohem více letišť než při zohlednění pouze evropské letecké sítě.

Letecká síť, jakožto jedna z nejdůležitějších a nejkritičtějších infrastruktur dnešní globální ekonomiky, je zodpovědná za každodenní přemísťování osob a zboží po celém světě. Navzdory její důležitosti může být lehce zranitelná vůči některým incidentům a neočekávaným událostem. Narušení či neefektivnost letového provozu obecně způsobují vysoké ekonomické ztráty, proto může být odolnost brána jako jeden z faktorů, jak leteckou síť hodnotit. Z pohledu výsledků odolnosti globální a evropské letecké sítě je zajímavé se zamyslet také nad bezpečností, což je faktor stavěný v letectví vždy na první místo. Ke způsobení kolapsu letecké dopravy stačí vyřadit z provozu poměrně malý počet letišť, což je v době neustále se rozvíjející teroristické činnosti poměrně rizikový faktor.

V případě, že by byla síť hodnocena v době, kdy byla její funkčnost narušena nebo omezena, výsledky by nebyly relevantní. Následně by bylo nutné znovu specifikovat potřebná data a vybrat vhodnou metodu zpracování, případně se vrátit ještě o jeden krok zpět, kde je zapotřebí specifikovat oblast zkoumání. Pokud by však byla narušená letecká síť předmětem práce, bylo by možné tyto hodnoty použít k porovnání s normální situací, tedy obdobím, kdy síť byla plně funkční. Následně by bylo možné na základě simulace uzavírání konkrétních uzlů v síti zjistit míru narušení sítě.

## Závěr

Tato diplomová práce byla zpracována s cílem ohodnotit evropskou leteckou síť na základě identifikace a hodnocení nejvýznamnějších evropských letišť dle pravidelně provozovaných leteckých spojů. Zároveň bylo sledováno postavení Letiště Václava Havla v Praze, jakožto primárního letiště České republiky, v rámci sledované letecké sítě. Za použití vhodné metodologie zpracování zohledňující konektivitu jednotlivých letišť bylo možné určit odolnost evropské letecké sítě.

V rámci literární rešerše byla sledována struktura letecké sítě formující funkční infrastrukturu letecké dopravy a konektivita, coby způsob hodnocení letecké sítě. S ohledem na provedenou rešerši byla zvolena vhodná metodologie zpracování pro dosažení stanovených cílů práce. Samotná metodologie práce vytvořila ucelený postup zpracování s popisem plánování, organizací dat, specifikací oblastí zkoumání a výběrem vhodné metody zpracování. Pro ohodnocení evropské letecké sítě bylo zapotřebí přesně vymežit oblast zkoumání. Geografické uspořádání Evropy je rozděleno do několika samostatných států zasahující do evropského světadílu celou svou rozlohou nebo pouze svou částí. Pro tuto práci byla specifikace oblasti zkoumání omezena pouze na letiště nacházející se v oblasti evropských států uznaných svou celou rozlohou. Dále bylo uskutečněno filtrování dle počtu odbavených cestujících, které bylo zvoleno s ohledem na analýzu provozu mezinárodních letišť v České republice. Dle provedené analýzy lze považovat letiště s počtem odbavených cestujících do 1 milionu/rok za zanedbatelná při zaměření pouze na jejich pravidelně provozované letecké spoje. Pro kompletní selekci letišť byla na základě výše uvedených specifikací využita statistika Eurostatu popisující počet odbavených cestujících na evropských letištích za rok 2018. Seznam letišť, která vyhověla uvedeným specifikacím, čítá celkem 185 evropských letišť (seznam je uveden v příloze č.1). Pro ohodnocení letecké sítě těchto letišť s ohledem na jejich konektivitu byla zvolena metoda centrality využívaná v oblasti teorie grafů. Metoda byla zvolena s ohledem na dostupnost potřebných dat a software nutný k jejich zpracování. Centralita rozeznává čtyři základní druhy charakteristik, a to přímou centralitu, váženou centralitu, přestupní centralitu a centralitu dostupnosti. Výpočet byl proveden na základě dat popisující pravidelné letecké spoje včetně frekvence provozu jednotlivých selektovaných letišť. Tato potřebná data byla sbírána z letových řádů dostupných na webové aplikaci „Flight connections“. Míry centrality charakterizující velikost, četnost, propojenost a dostupnost ostatních letišť v síti byly počítány s využitím softwaru „Node XL Pro“ využívaný v rámci síťových analýz.

Získané výsledky reprezentují stav evropské letecké sítě během zimního letového řádu 2019/2020 za předpokladu, že síť nebyla nijak narušena ani omezena. Po identifikaci nejvýznamnějších evropských letišť dle různých měr centrality bylo možné na síť nahlížet z pohledu její odolnosti. Pro sledování odolnosti byla využita evropská letecká síť jako celek. Ta je složena ze 185 vybraných letišť, pravidelných leteckých spojů z nich provozovaných a cílových letišť těchto pravidelných linek. Pro grafické znázornění evropské letecké sítě a následné posuzování její odolnosti byl využit software Gephi. Odolnost letecké sítě byla sledována na základě simulace postupného uzavírání nejvýznamnějších letišť v síti. Letiště byla uzavírána podle hodnocení přímé a přestupní centrality letiště s ohledem na změnu průměrné délky cesty a změnu velikosti komponenty sítě. Evropská letecká síť se stává neprovozuschopnou již při uzavření 19-20% nejlépe hodnocených letišť dle přímé a přestupní centrality.

Celkově je letecká síť poměrně komplexní problematika, u které bylo potřeba posuzovat několik faktorů najednou, coby počet pravidelných leteckých spojů, provozovaná frekvence jednotlivých spojů, způsob zapojení letiště v síti, dostupnost ostatních letišť v síti, a následně odolnost sítě jako celku. Sledování stavu letecké sítě podléhá několika limitacím, které tak ovlivňují výsledky práce. Dostupnost potřebných dat upravuje následnou metodologii zpracování, specifikace sledovaného období (letní a zimní letový řád) a vymezení oblasti zkoumání (národní, kontinentální či globální úroveň) se pak odráží ve výsledných hodnotách. Dle získaných výsledků je hodnocení letecké sítě silně závislé na specifikaci vstupních parametrů, díky čemuž lze modifikovat rozsah a metodologii výzkumu. Opakovanou aplikací stejné metodologie práce s využitím dat v rámci odlišného časového období lze sledovat vývoj letecké sítě v čase.

Během závěrečného zpracování této diplomové práce vypukla celosvětová pandemie v souvislosti s onemocněním COVID-19. Reakcí na tuto situaci tak vzniklo několik vládních opatření včetně uzavírání hranic jednotlivých zemí. Cílem zavedených omezení je zamezit plošnému šíření nákazy. Situace silně ovlivnila provoz letecké dopravy a tedy i samotný vzdušný prostor. Restrikce ze stran států zapříčinila pozastavení všech letů (kromě repatriačních či humanitárních), což vedlo k částečnému až úplnému uzemnění letadel většiny leteckých společností na světě. V návaznosti na tuto mimořádnou situaci by bylo možné pokračovat v analýze letecké sítě v období pandemie. Z provedené analýzy by mohl být simulovaný stav takto omezené letecké sítě a vyhodnoceny způsobené dopady na letectví. Dále by bylo vhodné ze získaných poznatků vytvořit model s doporučujícími postupy pro snížení dopadů na letecký průmysl v případě, že by se tato nestandardní situace opakovala. Tímto směrem bych se ráda ubírala v rámci případného navazujícího studia na ČVUT Fakultě dopravní.



## Použité zdroje

- [1] HERCIK, Jan. Dopravní systémy a jejich regionální rozdíly. In: *Katedra geografie, Přírodovědecká fakulta UP* [online]. [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: [https://geography.upol.cz/soubory/lide/hercik/GEDP/Prednasky/dopravni\\_systemy\\_regionalni\\_rozdily.pdf](https://geography.upol.cz/soubory/lide/hercik/GEDP/Prednasky/dopravni_systemy_regionalni_rozdily.pdf)
- [2] HERCIK, Jan. Dopravní síť. In: *Katedra geografie, Přírodovědecká fakulta UP* [online]. [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: [https://geography.upol.cz/soubory/lide/hercik/GEDP/Prednasky/dopravni\\_sit.pdf](https://geography.upol.cz/soubory/lide/hercik/GEDP/Prednasky/dopravni_sit.pdf)
- [3] JUNEK, Vladimír. *Mezinárodní letecká doprava a její regulace*. Praha: ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02227-7
- [4] KAJTMAN, Jan a Vlastimil MELICHAR. *DEREGULACE A LIBERALIZACE LETECKÉ DOPRAVY* [online]. 12, [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: <https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/67694/Kajtman.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [5] 35/1924 Sb. Úmluva o úpravě letectví. *Nové ASPI* [online]. [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: <https://www.noveaspi.cz/products/lawText/1/3515/1/2/umluva-c-35-1924-sb-o-uprave-letectvi/umluva-c-35-1924-sb-o-uprave-letectvi>
- [6] Základní principy regulace v letecké dopravě. *Flying revue* [online]. 2018 [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: <https://www.flying-revue.cz/zakladni-principy-regulace-v-letecke-doprave>
- [7] MARADA, M. Důsledky deregulace letecké dopravy. *Geografické rozhledy* [online]. 2011, 2, [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: <https://www.geograficke-rozhledy.cz/archiv/clanek/500/pdf>
- [8] Letiště. *Ministerstvo dopravy* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Letecka-doprava/Pravni-predpisy/Letiste>
- [9] Kategorie leteckých dopravců. *Flying revue* [online]. 2018 [cit. 2019-10-13]. Dostupné z: <https://www.flying-revue.cz/svet-letecke-dopravy-kategorie-leteckych-dopravcu>
- [10] ENDRIZALOVÁ, Eva. *Ekonomika letecké dopravy*. [přednáška]. Praha : ČVUT v Praze, 2017.

- [11] JECHUMTÁL, Jaroslav a Andrea HYXOVÁ. *Obchodně přepravní činnost v letecké dopravě*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2000, s. 53-55. ISBN 80-7194-285-5.
- [12] Point-to-Point versus Hub-and-Spoke Networks. In: *The Geography of Transport Systems* [online]. [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: [https://transportgeography.org/?page\\_id=653](https://transportgeography.org/?page_id=653)
- [13] *Provoz a ekonomika letecké dopravy 2*. Ostrava: Výukový materiál VŠB-TU Ostrava, 2016.
- [14] Je reálné udělat z letiště hub?. *Bulletin Olbron Invest* [online]. Praha, 2011 [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: [http://www.olbron.cz/cs/telo/clanky/je\\_realne\\_udelat\\_z\\_letiste\\_hub\\_frame.html](http://www.olbron.cz/cs/telo/clanky/je_realne_udelat_z_letiste_hub_frame.html)
- [15] Connectivity of the European airport network: "Self-help hubbing" and business implications. *Journal of Air Transport Management* [online]. 2008, , 53-65 [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/222435738\\_Connectivity\\_of\\_the\\_European\\_airport\\_network\\_Self-help\\_hubbing\\_and\\_business\\_implications](https://www.researchgate.net/publication/222435738_Connectivity_of_the_European_airport_network_Self-help_hubbing_and_business_implications)
- [16] Connectivity in Air Transport Networks: An Assessment of Models and Applications. *Journal of Transport Economics and Policy* [online]. 2013, 35-53 [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/257547529\\_Connectivity\\_in\\_Air\\_Transport\\_Networks\\_An\\_Assessment\\_of\\_Models\\_and\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/257547529_Connectivity_in_Air_Transport_Networks_An_Assessment_of_Models_and_Applications)
- [17] LET'S TALK ABOUT AIR CONNECTIVITY. *Airports council international* [online]. [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: <https://www.aci-europe.org/policy/connectivity.html>
- [18] Airport industry connectivity report 2017. In: *Airports council international* [online]. 2017, s. 44 [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: <https://www.aci-europe.org/air-connectivity.html>
- [19] Airport industry connectivity report 2016. In: *Airports council international* [online]. 2017, s. 68 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: <https://www.aci-europe.org/air-connectivity.html>
- [20] FREEMAN, Linton C. Centrality in Social Networks Conceptual Clarification. *Social Networks* [online]. 1979, (1), 215-239 [cit. 2020-02-16]. Dostupné z: <http://www.leonidzhukov.net/hse/2018/sna/papers/freeman79-centrality.pdf>

- [21] Node centrality in weighted networks: Generalizing degree and shortest paths. *Social Networks* [online]. 2010(32), 245-251 [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: <http://psychosystems.org/files/summerschool2017/OpsahlAgneessensSkvoretz2010.pdf>
- [22] BERÁNEK, Ladislav. *Síťová analýza v marketingu* [online]. 2008, 323-326 [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <http://znanosti2008.fiit.stuba.sk/download/articles/znanosti2008-Beranek.pdf>
- [23] Robustness of the air transport network. *Volume 68* [online]. 2014, 155-163, [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554514000805?via%3Dihub>
- [24] Základní pojmy teorie grafů. *Mendelova univerzita v Brně* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=9295](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=9295)
- [25] *Flight Connections* [online]. [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://www.flightconnections.com/>
- [26] Aircraft traffic data by main airpor. *Eurostat* [online]. [cit. 2020-02-23]. Dostupné z: [https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=avia\\_tf\\_aca&lang=en](https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=avia_tf_aca&lang=en)
- [27] *Školní atlas světa*. 2. vyd., Mapa Evropy Praha: Kartografie Praha, 2007. ISBN 978-80-7011-925-9.
- [28] Matematická definice grafu. *Teorie grafů* [online]. [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: <https://teorie-grafu.cz/zakladni-pojmy/matematicka-definice-grafu.php>
- [29] *Určování významnosti vrcholů grafu: PageRank a jeho modifikace* [online]. Plzeň, 2013 [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.kiv.zcu.cz/site/documents/verejne/vyzkum/publikace/technicke-zpravy/2013/tr-2013-09.pdf>. Odborná práce ke státní doktorské zkoušce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [30] Výroční zprávy 2009-2018: Letiště Praha, a.s. *Veřejný rejstřík a sbírka listin* [online]. [cit. 2019-10-14]. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/vypis-sl-firma?subjektId=715683>
- [31] Výroční zprávy 2009-2018: Letiště Brno a.s. *Veřejný rejstřík a sbírka listin* [online]. [cit. 2019-10-14]. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/vypis-sl-firma?subjektId=534556>

- [32] Výroční zprávy 2009-2018. *Letiště Leoše Janáčka v Ostravě* [online]. [cit. 2019-10-14]. Dostupné z: <http://www.airport-ostrava.cz/cz/page-vyrocní-zpravy/>
- [33] *Veřejný rejstřík a sbírka listin: EAST BOHEMIAN AIRPORT a.s.* [online]. [cit. 2019-12-18]. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/vypis-sl-firma?subjektId=425938>
- [34] *International airport Karlovy Vary: Výroční zprávy* [online]. [cit. 2019-12-18]. Dostupné z: <https://www.airport-k-vary.cz/cs/vyrocní-zpravy/>
- [35] *ACI EUROPE Airport Industry Connectivity Report 2019* [online]. In: . 2019, s. 87 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.aci-europe.org/air-connectivity.html>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Schematické uspořádání letecké sítě point-to-point [12].....	17
Obrázek 2 - Schematické uspořádání liniové letecké sítě [13] .....	18
Obrázek 3 - Schematické uspořádání rozšířené liniové letecké sítě [13].....	18
Obrázek 4 - Schematické uspořádání letecké sítě hub-and-spoke [12] .....	19
Obrázek 5 - Grafické zobrazení přímé konektivity [19], (upraveno) .....	22
Obrázek 6 - Grafické zobrazení nepřímé konektivity [19], (upraveno).....	23
Obrázek 7 - Schematické znázornění a výpočet přímé centrality.....	25
Obrázek 8 - Schematické znázornění a výpočet vážené centrality .....	25
Obrázek 9 - Schematické znázornění a výpočet přestupní centrality .....	26
Obrázek 10 - Schematické znázornění a výpočet centrality dostupnosti .....	27
Obrázek 11 - Mapa globálního rozložení mezinárodních letišť [25], (upraveno).....	30
Obrázek 12 - Mezinárodní letiště s pravidelným provozem v České republice [25],(upraveno)	32
Obrázek 13 - Vybraná mezinárodní letiště pro ohodnocení letecké sítě [27], (upraveno).....	34
Obrázek 14 - Provozované letecké spoje Letiště Václava Havla v Praze [25] .....	35
Obrázek 15 - Práce v programu Node XL Pro .....	39
Obrázek 16 - Metodologický model zpracování .....	41
Obrázek 17 - Model evropské letecké sítě .....	54

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Provozní ukazatele Letiště Václava Havla v Praze 2009-2018 [30],(upraveno) .	42
Tabulka 2 - Provozní ukazatele Letiště Brno-Tuřany 2009-2018 [31], (upraveno) .....	44
Tabulka 3 - Provozní ukazatele Letiště Leoše Janáčka Ostrava 2009-2018 [32], (upraveno)	46
Tabulka 4 - Provozní ukazatele Letiště Pardubice 2009-2018 [33], (upraveno) .....	48
Tabulka 5 - Provozní ukazatel Letiště Karlovy Vary 2009-2018 [34], (upraveno).....	50
Tabulka 6 - Provozní ukazatele sledovaných letišť pro rok 2018 .....	53
Tabulka 7 - Evropská letiště s největším počtem odbavených cestujících za rok 2018 [26], (upraveno) .....	55
Tabulka 8 - Přímá centralita evropských letišť – celkem.....	56
Tabulka 9 - Přímá centralita evropských letišť - letecké spoje v rámci Evropy.....	57
Tabulka 10 - Přímá centralita evropských letišť - letecké spoje mimo Evropu .....	58
Tabulka 11 - Vážená centralita evropských letišť – celkem.....	59
Tabulka 12 - Vážená centralita evropských letišť – letecké spoje v rámci Evropy.....	60
Tabulka 13 - Vážená centralita evropských letišť - letecké spoje mimo Evropu .....	61
Tabulka 14 - Přestupní centralita evropských letišť .....	62
Tabulka 15 - Centralita dostupnosti evropských letišť .....	63
Tabulka 16 - Porovnání výsledků přímé konektivity a přímé centrality [35], (upraveno).....	64
Tabulka 17 - Porovnání výsledků přestupní centrality a hub konektivity [35], (upraveno).....	65

## Seznam grafů

Graf 1 - Vývoj počtu pohybů letadel na Letišti Václava Havla v Praze .....	43
Graf 2 - Vývoj počtu přepravených cestujících na Letišti Václava Havla v Praze .....	43
Graf 3 - Vývoj počtu pravidelných linek Letiště Václava Havla v Praze.....	43
Graf 4 - Vývoj počtu pohybů letadel na Letišti Brno-Tuřany .....	45
Graf 5 - Vývoj počtu přepravených cestujících na Letišti Brno-Tuřany .....	45
Graf 6 - Vývoj počtu pravidelných linek Letiště Brno-Tuřany.....	45
Graf 7 - Vývoj počtu pohybů letadel na Letišti Leoše Janáčka v Ostravě .....	47
Graf 8 - Vývoj počtu přepravených cestujících Letiště Leoše Janáčka v Ostravě .....	47
Graf 9 - Vývoj počtu pravidelných linek Letiště Leoše Janáčka Ostrava .....	47
Graf 10 - Vývoj počtu pohybů letadel na Letišti Pardubice .....	49
Graf 11 - Vývoj počtu přepravených cestujících Letiště Pardubice .....	49
Graf 12 - Vývoj počtu pravidelných linek Letiště Pardubice.....	49
Graf 13 - Vývoj počtu pohybů letadel na Letišti Karlovy Vary .....	51
Graf 14 - Vývoj počtu přepravených cestujících na Letišti Karlovy Vary .....	51
Graf 15 - Vývoj počtu pravidelných linek Letiště Karlovy Vary .....	51
Graf 16 - Počet pravidelných linek v České republice za rok 2018 – rozdělení dle letišť .....	53
Graf 17 - Odolnost evropské letecké sítě – ukazatel průměrné délky cesty .....	66
Graf 18 - Odolnost letecké sítě – ukazatel komponenta sítě.....	67

## Příloha č. 1

Seznam letišť s počtem odbavených cestujících v roce 2018 více než 1 mil.

NÁZEV LETIŠTĚ	KOD IATA	POČET PŘEPRAVENÝCH CESTUJÍCÍCH 2018
LONDON HEATHROW airport	LHR	80 148 763
PARIS-CHARLES DE GAULLE airport	CDG	72 255 649
AMSTERDAM/SCHIPHOL airport	AMS	71 169 454
FRANKFURT/MAIN airport	FRA	69 584 156
ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport	MAD	56 435 717
BARCELONA/EL PRAT airport	BCN	49 595 576
MUENCHEN airport	MUC	46 266 420
LONDON GATWICK airport	LGW	46 091 009
ROMA/FIUMICINO airport	FCO	43 086 201
PARIS-ORLY airport	ORY	33 120 666
DUBLIN airport	DUB	31 319 419
ZURICH airport	ZRH	31 102 917
KOBENHAVN/KASTRUP airport	CPH	30 263 057
LISBOA airport	LIS	29 113 785
PALMA DE MALLORCA airport	PMI	29 057 276
OSLO/GARDERMOEN airport	OSL	28 406 796
MANCHESTER airport	MAN	28 330 954
LONDON STANSTED airport	STN	27 997 001
WIEN-SCHWECHAT airport	VIE	27 196 609
STOCKHOLM/ARLANDA airport	ARN	26 954 436
BRUSSELS airport	BRU	25 702 507
MILANO/MALPENSA airport	MLP	24 426 946
DUESSELDORF airport	DUS	24 276 909
ATHINA/ELEFThERIOS VENIZELOS airport	ATH	24 130 121
BERLIN-TEGEL airport	TXL	22 001 675
HELSINKI-VANTAA airport	HEL	20 994 030
MALAGA/COSTA DEL SOL airport	AGP	18 932 153
WARSZAWIA/CHOPINA airport	WAW	17 751 592
GENEVA airport	GVA	17 597 772
HAMBURG airport	HAM	17 256 640
PRAHA/RUZYNE airport	PRG	16 787 436
LONDON LUTON airport	LTN	16 772 716
BUDAPEST/LISZT FERENC INTERNATIONAL airport	BUD	14 829 726
EDINBURGH airport	EDI	14 297 136
ALICANTE airport	ALC	13 927 608
NICE-COTE D AZUR airport	NCE	13 863 374
BUCURESTI/HENRI COANDA airport	OTP	13 823 708
GRAN CANARIA airport	LPA	13 426 180

KOELN/BONN airport	CGN	12 962 247
BERGAMO/ORIO AL SERIO airport	BGY	12 937 182
BERLIN-SCHOENEFELD airport	SXF	12 723 916
BIRMINGHAM airport	BHX	12 460 088
PORTO airport	OPO	12 039 272
STUTTGART airport	STR	11 840 360
VENEZIA/TESSERA airport	TSF	11 179 488
LYON SAINT-EXUPERY airport	LYS	11 076 080
SOFIA airport	SOF	10 978 296
TENERIFE SUR/REINA SOFIA airport	TFS	10 978 296
TENERIFE NORTE airport	TFN	10 978 296
CATANIA/FONTANAROSSA airport	CTA	9 943 668
NAPOLI/CAPODICHINO airport	NAP	9 939 714
KEFLAVIK airport	KEF	9 766 895
TOULOUSE/BLAGNAC airport	TLS	9 710 686
GLASGOW airport	GLA	9 660 532
MARSEILLE-PROVENCE airport	MRS	9 450 550
MILANO/LINATE airport	LIN	9 215 912
BRISTOL airport	BRS	8 702 405
FARO airport	FAO	8 678 705
BOLOGNA/BORGO PANIGALE airport	BLQ	8 581 898
IBIZA airport	IBZ	8 087 558
CHARLEROI/BRUSSELS SOUTH airport	CRL	8 017 476
IRAKLION/NIKOS KAZANTZAKIS airport	HER	7 999 758
BASEL airport	BSL	7 856 897
VALENCIA airport	VLC	7 748 000
LANZAROTE airport	ACE	7 324 498
RIGA airport	RIX	7 039 419
GOTEBORG/LANDVETTER airport	GOT	6 853 641
BORDEAUX-MERIGNAC airport	BOD	6 816 784
LUQA airport	MLA	6 805 975
KRAKOW/BALICE airport	KRK	6 762 777
PALERMO/PUNTA RAISI airport	PMO	6 698 355
THESSALONIKI/MAKEDONIA airport	SKG	6 412 306
SEVILLA airport	SVQ	6 360 411
HANNOVER airport	HAJ	6 336 715
BELFAST/ALDERGROVE airport	BFS	6 269 039
EINDHOVEN airport	EIN	6 249 337
NANTES ATLANTIQUE airport	NTE	6 245 187
BERGEN/FLESLAND airport	BGO	6 187 578
FUERTEVENTURA airport	FUE	6 094 486
ROMA/CIAMPINO airport	CIA	5 812 451
PISA/S. GIUSTO airport	PSA	5 457 429
BILBAO airport	BIO	5 452 920
NEWCASTLE airport	NCL	5 335 952



RODOS/DIAGORAS airport	RHO	5 300 196
BARI/PALESE airport	BRI	5 084 025
LIVERPOOL airport	LPL	5 051 678
GDANSK IM LECHA WALESY airport	GDN	4 968 941
VILNIUS/INTERNATIONAL airport	VNO	4 924 916
EAST MIDLANDS airport	EMA	4 873 905
KATOWICE/PYRZOWICE airport	KTW	4 846 241
LONDON/CITY airport	LCY	4 820 292
NUERNBERG airport	NUE	4 469 405
TRONDHEIM/VAERNES airport	TRD	4 446 857
CAGLIARI/ELMAS airport	CAG	4 412 938
TORINO/CASELLE airport	TRN	4 115 861
STAVANGER/SOLA airport	SVG	4 044 559
LEEDS BRADFORD airport	LBA	4 040 092
LUXEMBOURG airport	LUX	3 988 804
BEAUVAIS-TILLE airport	BVA	3 786 744
BILLUND airport	BLL	3 496 770
VERONA/VILLAFRANCA airport	VRN	3 466 440
MENORCA airport	MAH	3 431 395
ZAGREB/PLESO airport	ZAG	3 330 684
TREVISO/S.ANGELO airport	TSF	3 304 285
WROCLAW/STRACHOWICE airport	WRO	3 300 584
BURGAS airport	BOJ	3 266 565
KERKIRA/IOANNIS KAPODISTRIAS airport	CFU	3 210 469
SPLIT/KASTELA airport	SPU	3 134 212
WARSAWA/MODLIN airport	WMI	3 080 775
MADEIRA airport	FNC	3 057 182
ABERDEEN/DYCE airport	ABZ	3 056 041
OLBIA/COSTA SMERALDA airport	OLB	3 012 268
LENNART MERI TALLINN airport	TLL	2 995 830
SEVE BALLESTEROS-SANTANDER airport	SDR	2 995 830
CHANIA/IOANNIS DASKALOGIANNIS airport	CHQ	2 899 196
LAMEZIA TERME airport	SUF	2 795 657
CLUJ NAPOCA/AVRAM IANCU airport	CLJ	2 790 419
SANTIAGO airport	SCQ	2 708 900
FIRENZE/PERETOLA airport	FLR	2 706 527
LEIPZIG/HALLE airport	LEJ	2 577 028
BREMEN airport	BRE	2 561 967
DUBROVNIK/CILIPi airport	DBV	2 553 269
KOS/IPPOKRATIS airport	KGS	2 514 331
BELFAST/CITY airport	BHD	2 512 184
BRINDISI/CASALE airport	BDS	2 508 403
STOCKHOLM/BROMMA airport	BMA	2 507 662
POZNAN/LAWICA airport	POZ	2 465 270
TROMSO/LANGNES airport	TOS	2 410 316

CORK airport	ORK	2 387 806
VARNA airport	VAR	2 296 047
BRATISLAVA/M.R.STEFANIK airport	BTS	2 292 712
DORTMUND airport	DTM	2 280 880
STOCKHOLM/SKAVSTA airport	NYO	2 215 141
SANTORINI airport	JTR	2 181 262
MALMO airport	MMX	2 173 485
FRANKFURT-HAHN airport	HHN	2 172 426
SKOPJE airport	SKP	2 152 746
LILLE-LESQUIN airport	LIL	2 097 435
SANDEFJORD/TORP airport	TRF	2 063 313
GIRONA airport	GRO	2 009 057
SOUTHAMPTON airport	SOU	1 991 098
BODO airport	BOO	1 951 312
ROTTERDAM airport	RTM	1 923 386
MONTPELLIER MEDITERRANEE airport	MPL	1 881 041
SALZBURG airport	SZG	1 861 010
LJUBLJANA/BRNIK airport	LJU	1 810 567
PONTA DELGADA airport	PDL	1 766 571
DRESDEN airport	DRS	1 759 285
ZAKINTHOS/DIONISIOS SOLOMOS airport	ZTH	1 693 168
SHANNON airport	SNN	1 677 661
AJACCIO-NAPOLEON-BONAPARTE airport	AJA	1 674 100
NIEDERRHEIN airport	NRN	1 669 475
AALBORG airport	AAL	1 583 749
CARDIFF airport	CWL	1 583 140
BASTIA-PORETTA airport	BIA	1 523 582
TIMISOARA/TRAIAN VUIA airport	TSR	1 518 073
MEMMINGEN airport	FMM	1 487 478
SOUTHEND airport	SEN	1 480 139
GENOVA/SESTRI airport	GOA	1 462 991
LA PALMA airport	SPC	1 416 884
ASTURIAS airport	OVD	1 397 277
ALGHERO/FERTILIA airport	AHO	1 374 147
MIKONOS airport	JMK	1 334 989
STRASBOURG-ENTZHEIM airport	SXB	1 270 832
MURCIA/SAN JAVIER airport	RMU	1 269 325
IASI airport	IAS	1 251 358
KARLSRUHE/BADEN-BADEN airport	FKB	1 248 174
TIVAT airport	TIV	1 239 738
DONCASTER SHEFFIELD airport	DSA	1 222 399
A CORUNA airport	LCG	1 221 110
LULEA/KALLAX airport	LLA	1 202 500
PODGORICA airport	TGD	1 200 748
BIARRITZ-PAYS BASQUE airport	BIQ	1 183 568

ALESUND/VIGRA airport	AES	<b>1 137 018</b>
VIGO airport	VGO	<b>1 135 361</b>
JEREZ airport	XRY	<b>1 127 488</b>
BREST-BRETAGNE airport	BES	<b>1 127 278</b>
INNSBRUCK airport	INN	<b>1 125 223</b>
GRANADA-JAEN airport	GRX	<b>1 123 032</b>
OULU airport	OUL	<b>1 105 797</b>
KRISTIANSAND/KJEVIK airport	KRS	<b>1 062 156</b>
UMEA airport	UME	<b>1 060 783</b>
GRAZ airport	GRZ	<b>1 042 519</b>
REUS airport	REU	<b>1 030 855</b>
MUENSTER/OSNABRUECK airport	FMO	<b>1 013 179</b>
KAUNAS INTL airport	KUN	<b>1 010 682</b>

## Příloha č.2

### Výsledné hodnoty hodnocených letišť

\* $k_i$ ...přímá centralita

\* $k_{ie}$ ...přímá centralita spojů v rámci Evropy

\* $k_{im}$ ...přímá centralita spojů mimo Evropu

\* $s_i$ ...vážená centralita

\* $s_{ie}$ ...vážená centralita spojů v rámci Evropy

\* $s_{im}$ ...vážená centralita spojů mimo Evropu

\* $C_B$ ...přestupní centralita

\* $C_C$ ...centralita dostupnost

Kód	$k_i$	$k_{ie}$	$k_{im}$	$s_i$	$s_{ie}$	$s_{im}$	$C_B$	$C_C$
AAL	7	7	0	123	123	0	0.0	0.3983
ABZ	21	21	0	348	348	0	0.0038	0.4186
ACE	60	60	0	414	414	0	0.0021	0.4647
AES	7	7	0	128	128	0	0.0001	0.3787
AGP	101	94	7	872	765	107	0.0130	0.4990
AHO	10	10	0	58	58	0	0.0001	0.3668
AJA	6	6	0	67	67	0	0.0001	0.3515
ALC	90	86	4	665	627	38	0.0112	0.4887
AMS	236	123	113	4 261	3 281	980	0.0974	0.5732
ARN	102	81	21	1 911	1 773	138	0.0534	0.5029
ATH	112	92	25	1 479	1 286	193	0.0746	0.5016
BCN	160	112	48	2 740	2 382	358	0.0281	0.5342
BDS	18	18	0	132	132	0	0.0029	0.3400
BES	13	12	1	117	116	1	0.0003	0.3964
BFS	23	22	1	290	288	2	0.0003	0.4218
BGO	46	45	1	706	705	1	0.0120	0.4457
BGY	101	86	15	700	648	58	0.0097	0.4712
BHD	15	15	0	299	299	0	0.0003	0.3887
BHX	61	48	13	551	489	62	0.0056	0.4489
BIA	5	5	0	64	64	0	0.0001	0.3509
BIO	27	36	1	415	411	4	0.0007	0.4419
BIQ	5	5	0	74	74	0	0.0001	0.3869
BLL	36	35	1	263	257	6	0.0029	0.4564
BLQ	82	70	12	580	512	68	0.0058	0.4761
BMA	16	16	0	451	451	0	0.0107	0.3623
BOD	64	51	13	515	475	40	0.0028	0.4620
BOJ	5	4	1	12	8	4	0.0001	0.3731
BOO	17	17	0	454	454	0	0.0092	0.3419
BRE	22	21	1	203	196	7	0.0005	0.4249
BRI	48	45	3	305	298	7	0.0035	0.4361
BRS	63	58	5	372	362	10	0.0027	0.4572
BRU	147	81	66	1 782	1 394	388	0.0324	0.5224
BSL	70	61	9	529	480	49	0.0025	0.4712
BTS	28	25	3	85	73	12	0.0003	0.3922
BUD	118	98	20	944	800	144	0.0108	0.5179

<b>Kód</b>	$k_i$	$k_{ie}$	$k_{im}$	$s_i$	$s_{ie}$	$s_{im}$	$c_B$	$c_C$
<b>BVA</b>	53	46	7	208	186	22	0.0014	0.4146
<b>CAG</b>	30	30	0	210	210	0	0.0054	0.3989
<b>CDG</b>	246	101	145	4 026	2 643	1383	0.1164	0.5608
<b>CFU</b>	3	3	0	34	34	0	0.0026	0.3366
<b>CGN</b>	89	62	17	659	573	86	0.0058	0.4596
<b>CIA</b>	44	44	0	312	312	0	0.0011	0.422
<b>CLJ</b>	38	34	4	223	211	12	0.0008	0.4248
<b>CPH</b>	132	89	43	2 150	1 707	443	0.0302	0.5284
<b>CRL</b>	80	61	19	333	70	403	0.0137	0.4419
<b>CTA</b>	57	52	5	505	490	15	0.0033	0.4534
<b>CWL</b>	14	13	1	106	101	5	0.0026	0.3966
<b>DBU</b>	8	7	1	43	39	4	0.0001	0.3932
<b>DRS</b>	11	10	1	148	141	7	0.0001	0.4022
<b>DSA</b>	13	13	0	29	29	0	0.0001	0.3647
<b>DTM</b>	38	33	5	155	145	10	0.0003	0.3972
<b>DUB</b>	130	107	23	1 806	1 595	211	0.0260	0.5277
<b>DUS</b>	113	80	33	1 557	1 313	244	0.0093	0.5094
<b>EDI</b>	87	81	6	878	841	37	0.0074	0.5048
<b>EIN</b>	66	55	11	294	264	30	0.0026	0.4441
<b>EMA</b>	30	30	0	154	154	0	0.0007	0.4055
<b>FAO</b>	49	49	0	196	196	0	0.0019	0.4681
<b>FCO</b>	162	92	72	2 551	2 003	548	0.0261	0.5259
<b>FKB</b>	23	17	6	48	35	13	0.0003	0.3814
<b>FLR</b>	23	23	0	260	260	0	0.0001	0.4364
<b>FMM</b>	34	28	6	80	69	11	0.0011	0.3912
<b>FMO</b>	7	6	1	97	95	2	0.0001	0.3800
<b>FNC</b>	35	35	0	133	133	0	0.0050	0.4534
<b>FRA</b>	236	119	117	4 322	3 205	1117	0.1026	0.5665
<b>FUE</b>	64	64	0	365	365	0	0.0022	0.4741
<b>GDN</b>	55	54	1	322	321	1	0.0096	0.4434
<b>GLA</b>	50	47	3	613	596	17	0.0223	0.4467
<b>GOA</b>	13	13	0	101	101	0	0.0001	0.4181
<b>GOT</b>	49	45	4	528	509	19	0.0073	0.4687
<b>GRO</b>	8	6	2	25	19	6	0.0001	0.3522
<b>GRX</b>	13	12	1	88	83	5	0.0001	0.3883
<b>GRZ</b>	10	9	1	134	130	4	0.0001	0.3987
<b>GVA</b>	91	63	28	1 111	963	148	0.0037	0.4946
<b>HAJ</b>	44	29	15	399	337	62	0.0047	0.4419
<b>HAM</b>	77	66	11	1 122	1 035	87	0.0073	0.4977
<b>HEL</b>	100	67	33	1 628	1 365	263	0.0508	0.5084
<b>HER</b>	4	4	0	95	95	0	0.0001	0.3588
<b>HHN</b>	23	20	3	55	48	7	0.0016	0.3652
<b>CHQ</b>	3	3	0	56	56	0	0.0001	0.3378
<b>IAS</b>	23	21	2	101	98	3	0.0001	0.3952

Kód	$k_i$	$k_{ie}$	$k_{im}$	$s_i$	$s_{ie}$	$s_{im}$	$c_B$	$c_C$
IBZ	10	10	0	215	215	0	0.0001	0.4022
INN	5	5	0	69	69	0	0.0001	0.4013
JMK	1	1	0	13	13	0	0.0	0.3342
JTR	1	1	0	53	53	0	0.0	0.3341
KEF	51	38	13	328	259	69	0.0048	0.4715
KGS	5	5	0	45	45	0	0.0001	0.3369
KRK	97	89	8	559	530	29	0.0098	0.5128
KRS	7	7	0	143	143	0	0.0001	0.3912
KTW	48	40	8	201	189	12	0.0019	0.4434
KUN	20	17	3	59	56	3	0.0028	0.3960
LBA	24	24	0	152	152	0	0.0006	0.4236
LCG	9	9	0	105	105	0	0.0	0.3656
LCY	31	30	1	743	742	1	0.0006	0.4192
LEJ	18	13	5	145	117	28	0.0026	0.3934
LGW	151	98	53	1 992	1 624	368	0.0354	0.5172
LHR	176	63	113	4 430	2 575	1855	0.0713	0.4724
LIL	16	9	6	149	131	18	0.0001	0.3615
LIN	32	32	0	855	855	0	0.0023	0.4361
LIS	123	78	45	1 779	1 471	308	0.0438	0.5148
LJU	14	12	2	105	88	17	0.0001	0.4197
LLA	3	3	0	42	42	0	0.0026	0.3403
LPA	96	87	9	920	889	31	0.0207	0.4930
LPL	46	43	3	228	222	6	0.0013	0.4344
LTN	101	98	3	767	741	26	0.0180	0.4782
LUX	52	45	7	479	465	14	0.0040	0.4715
LYS	84	57	27	848	709	139	0.0143	0.4681
MAD	174	105	69	3 958	3 222	736	0.0554	0.5339
MAH	5	5	0	105	105	0	0.0	0.3711
MAN	129	97	32	1 422	1 215	207	0.0183	0.5148
MLA	94	85	9	382	343	39	0.0066	0.4902
MMX	15	15	0	160	160	0	0.0006	0.3749
MPL	15	9	6	145	124	21	0.0001	0.4003
MRS	87	59	28	729	592	137	0.0131	0.4782
MUC	167	109	58	3 317	2 832	485	0.0280	0.5353
MXP	138	78	60	1 632	1 250	382	0.0242	0.5176
NAP	77	66	11	586	553	33	0.0020	0.4764
NCE	71	55	16	928	854	74	0.0087	0.4893
NCL	28	26	2	276	268	8	0.0005	0.4229
NRN	19	18	1	40	38	2	0.0015	0.3667
NTE	55	46	9	419	383	36	0.0023	0.4529
NUE	42	35	7	294	270	24	0.0007	0.4441
NYO	29	28	1	106	103	3	0.0005	0.4036
OLB	6	6	0	52	52	0	0.0001	0.3727
OPO	76	66	10	722	686	36	0.0151	0.4667

Kód	$k_i$	$k_{ie}$	$k_{im}$	$s_i$	$s_{ie}$	$s_{im}$	$c_B$	$c_C$
ORK	25	25	0	160	160	0	0.0004	0.4327
ORY	100	58	42	1 828	1 423	405	0.0409	0.4612
OSL	99	83	16	2 078	1 993	85	0.0549	0.4984
OTP	102	87	15	975	823	152	0.0155	0.5038
OUL	4	4	0	69	69	0	0.0001	0.3930
OVD	12	12	0	108	108	0	0.0	0.3640
PDL	16	11	5	175	153	22	0.0178	0.3721
PMI	61	59	2	812	809	3	0.0036	0.4779
PMO	41	40	1	321	318	3	0.0044	0.4369
POZ	26	25	1	106	104	2	0.0002	0.4074
PRG	110	76	34	1 060	821	239	0.0181	0.5152
PSA	43	43	0	237	237	0	0.0015	0.4383
REU	1	1	0	1	1	0	0.0	0.3366
RHO	7	7	0	58	58	0	0.0027	0.3372
RIX	65	54	11	655	539	116	0.0048	0.4884
RMU	10	10	0	27	27	0	0.0001	0.3858
RTM	21	13	8	98	78	20	0.0030	0.3887
SCQ	21	21	0	122	122	0	0.0001	0.4247
SDR	16	15	1	69	67	2	0.0001	0.3934
SEN	30	30	0	164	164	0	0.0019	0.4144
SKG	55	46	9	343	302	41	0.0163	0.4485
SKP	44	39	5	144	119	25	0.0038	0.4081
SNN	17	15	2	84	65	19	0.0002	0.3972
SOF	65	57	8	444	385	59	0.0017	0.4650
SOU	13	13	0	288	288	0	0.0030	0.3926
SPC	15	15	0	63	63	0	0.0001	0.4130
SPU	10	10	0	65	65	0	0.0006	0.3824
STN	143	128	15	1 293	1 214	79	0.0483	0.5071
STR	79	64	15	919	813	106	0.0087	0.4836
SUF	12	12	0	143	143	0	0.0001	0.3785
SVG	16	16	0	209	209	0	0.0013	0.4233
SVQ	69	64	5	453	441	12	0.0027	0.4634
SXB	17	10	7	127	112	15	0.0001	0.3924
SXF	91	80	11	555	469	86	0.0080	0.4841
SZG	12	11	1	87	80	7	0.0001	0.3995
TFN	24	22	2	654	652	2	0.0031	0.3903
TFS	96	94	2	525	519	6	0.0097	0.4993
TGD	18	17	1	84	77	7	0.0001	0.4186
TIV	4	1	3	35	17	18	0.0001	0.3311
TLL	31	27	4	318	293	25	0.0055	0.4474
TLS	60	49	11	670	620	50	0.0047	0.4561
TOS	20	19	1	491	487	4	0.0206	0.3998
TRD	26	26	0	568	568	0	0.0076	0.4126
TRF	26	26	0	195	195	0	0.0005	0.4137

<b>Kód</b>	$k_i$	$k_{ie}$	$k_{im}$	$s_i$	$s_{ie}$	$s_{im}$	$c_B$	$c_C$
<b>TRN</b>	28	26	2	293	289	4	0.0005	0.4337
<b>TSF</b>	39	36	3	162	155	7	0.0003	0.3985
<b>TSR</b>	25	24	1	128	127	1	0.0003	0.4045
<b>TXL</b>	85	64	21	1 490	1 368	122	0.0061	0.4984
<b>UME</b>	5	5	0	76	76	0	0.0001	0.3496
<b>VAR</b>	16	13	3	62	53	9	0.0001	0.3759
<b>VGO</b>	6	6	0	78	78	0	0.0	0.3642
<b>VIE</b>	152	104	48	2 727	2 306	421	0.0227	0.5346
<b>VLC</b>	79	59	20	569	457	112	0.0031	0.4667
<b>VNO</b>	51	44	7	352	309	43	0.0015	0.4601
<b>VRN</b>	28	21	7	162	142	20	0.0009	0.418
<b>WAW</b>	112	81	31	1 535	1 323	212	0.0187	0.5088
<b>WMI</b>	34	31	3	141	133	8	0.0029	0.4089
<b>WRO</b>	43	41	2	220	216	4	0.0010	0.4389
<b>XRY</b>	5	5	0	37	37	0	0.0	0.3928
<b>ZAG</b>	30	25	5	305	269	36	0.0075	0.4340
<b>ZRH</b>	134	81	53	1 959	1 612	347	0.0128	0.5084
<b>ZTH</b>	0	0	0	0	0	0	0.0	0.3342