

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE



DISERTAČNÍ PRÁCE

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta dopravní
Ústav logistiky a managementu dopravy

Ing. Lenka Kontriková

Optimalizace destinačního portfolia regionálních letišť

Doktorský studijní program: *Technika a technologie v dopravě a spojích*
Studijní obor: *T – Technologie a management v dopravě a telekomunikacích*

Praha, 2020

Disertační práce byla vypracována v kombinované formě doktorského studia na ČVUT v Praze, na Ústavu logistiky a managementu dopravy Fakulty dopravní.

Uchazeč: Ing. Lenka Kontriková
Fakulta dopravní, Ústav logistiky a managementu dopravy
Horská 3, 128 03 Praha

Školitel: doc. Ing. Dušan Teichmann, Ph.D.
Fakulta dopravní, Ústav logistiky a managementu dopravy
Horská 3, 128 03 Praha

Oponenti: prof. Ing. Antonín Kazda, PhD.
Žilinská univerzita v Žilině, Fakulta prevádzky a ekonomiky
dopravy a spojov, Katedra leteckej dopravy

doc. Ing. Ivan Nagy, CSc.
České vysoké učení v Praze, Fakulta dopravní, Ústav aplikované
matematiky

Prohlášení

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.

V Ostravě dne 7. 9. 2020

podpis

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala svému školiteli, panu doc. Ing. Dušanu Teichmannovi, Ph.D., za jeho výborné odborné vedení, trpělivost, ochotu, čas a cenné rady, které mi, jak po celou dobu mého doktorského studia, tak i při psaní disertační práce věnoval.

ANOTACE DISERTAČNÍ PRÁCE

KONTRIKOVÁ, L. *Optimalizace destinačního portfolia regionálních letišť: disertační práce.* Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Ústav logistiky a managementu dopravy, 2020, 134 s., vedoucí práce: Teichmann, D.

Regionální mezinárodní letiště v některých zemích Střední Evropy jsou využívána převážně k charterové dopravě, přičemž mimo letní sezónu je rozsah pravidelné letecké dopravy minimální. Přitom finanční investice do regionálních letišť jsou nemalé a infrastruktura a personální zdroje mimo sezónu nejsou efektivně využity. Na druhé straně existuje poptávka po využívání regionálních letišť dvojího charakteru. Jednak existuje část obyvatel regionů se zájmem o leteckou dopravu využívanou k obchodním cestám, a potom existuje i zahraniční klientela, která má zájem o dobrou leteckou dostupnost regionů (zde patří manažeři zahraničních firem působících v regionu, turisté se zájmem o návštěvu daného regionu apod.). Proto existuje značný zájem managementů regionálních letišť o provoz pravidelných leteckých linek z regionálních letišť tak, aby poptávka obou skupin klientely byla uspokojena.

V nedávné minulosti se aktivity managementů regionálních letišť v České republice a Slovenské republice soustředily zejména na pravidelné letecké linky v systému „point to point“, což se však neukázalo jako příliš strategické, protože provoz na takových linkách netrval dlouho. Proto lze také v poslední době pozorovat určitou změnu ve strategickém uvažování managementů těchto letišť. Jejich zájem se nově soustředí na propojení regionálního letiště s některými významnými evropskými leteckými uzly umožňujícími napojení na světovou leteckou síť s možností využití návazných spojů v této síti.

Předložená disertační práce ukazuje jeden z možných přístupů vedoucích k řešení uvedeného problému využívající optimalizační metody. Kombinuje mezi sebou gravitační modely, matematické programování a metody síťové analýzy. Gravitační modely slouží k odhadu potenciálu možných významných uzlů (označovaných v disertační práci jako tranzitní destinace) napojujících regionální letiště na světovou leteckou síť. Matematické programování je využito k optimálnímu výběru portfolia tranzitních destinací, do kterých mají být provozovány pravidelné letecké linky. Síťová analýza slouží k odhadu doby potřebné k přípravě zahájení provozu nové pravidelné letecké linky.

Všechny tři nástroje umožňují vytvořit nejen komplexní obraz o řešené problematice, ale také demonstrovat, že k řešení daného problému nemusí být přístupováno pouze intuitivně, ale existují k tomu také podpůrné matematické přístupy. Ostatně, propojení intuitivního zkušenostního přístupu s podpůrnými optimalizačními metodami se z praktického úhlu pohledu často jeví jako nejvýhodnější.

Klíčová slova: regionální letiště, optimalizační metody, gravitační modely, destinační portfolio, metoda PERT.

ANNOTATION OF DISSERTATION

KONTRIKOVA, L. *Optimization of the destination portfolio of regional airports: dissertation*. Prague: Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences, Department of Logistics and Management of Transport, 2020, 134 pp., supervisor: Teichmann, D.

Regional international airports in some Central European countries are used mainly for charter traffic, while outside the summer season the scope of scheduled air traffic is minimal. At the same time, financial investments in regional airports are considerable and infrastructure and human resources are not used efficiently out of season. On the other hand, there is a demand for the use of regional airports of a dual nature. Firstly, there is a part of the population of regions interested in air transport used for business trips, and then there is a foreign clientele that is interested in good air accessibility of regions (this includes managers of foreign companies operating in the region, tourists interested in visiting the region, etc.). Therefore, there is considerable interest from the management of regional airports in the operation of scheduled lines from regional airports so that the demand of both groups of clients is satisfied.

In the recent past, the activities of regional airport management in the Czech Republic and the Slovak Republic focused mainly on scheduled lines in the "point to point" mode, which, however, did not prove to be very strategic, as traffic on such routes did not last long. Therefore, a recent change in the strategic thinking of the management of these airports can also be observed recently. Their interest is newly focused on the connection of the regional airport with some important European air hubs enabling connection to the world aviation network with the possibility of using connecting connections in this network.

The presented dissertation shows one of the possible approaches leading to the solution of this problem using optimization methods. It combines gravity models, mathematical programming, and network analysis methods. Gravity models are used to estimate the potential of possible significant nodes (referred to in the dissertation as transit destinations) connecting regional airports to the world air network. Mathematical programming is used to optimally select the portfolio of transit destinations to which regular airlines are to be operated. The network analysis is used to estimate the time needed to prepare for the launch of a new scheduled line.

All three tools make it possible to create not only a comprehensive picture of the problem, but also to demonstrate that the solution to the problem does not have to be approached only intuitively, but there are also supporting mathematical approaches. After all, linking an intuitive experiential approach with supporting optimization methods often seems to be the most advantageous from a practical point of view.

Key words: regional airports, optimizing methods, gravity models, destination portfolio, PERT method.

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	10
1. ÚVOD – MOTIVACE K ŘEŠENÍ PROBLÉMU	11
2. OBECNÁ CHARAKTERISTIKA REGIONÁLNÍCH LETIŠŤ	15
2.1 Stručná charakteristika výchozího stavu regionálních letišť v České republice a Slovenské republice po roce 1989	16
2.2 Nízkonákladoví letečtí dopravci a využívání regionálních letišť z jejich strany	19
2.3 Podpora nových linek z hlediska možností daných aktuální legislativou EU	20
2.4 Význam efektivního návrhu destinačního portfolia pro regionální letiště	24
3. ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ V OBLASTI NÁVRHU NOVÝCH LETECKÝCH LINEK	27
3.1 Nástroje pro predikci potenciálu tranzitních letišť	27
3.1.1 Základní gravitační model	27
3.1.2 Vybrané geografické gravitační modely	28
3.2 Stávající matematické modely pro optimalizaci destinačního portfolia regionálních letišť	35
3.2.1 Matematický model se známou poptávkou a disjunktními množinami cílových destinací ..	39
3.2.2 Matematický model se známou poptávkou	40
3.2.3 Matematický model s neznámou poptávkou a disjunktními množinami cílových destinací	43
3.2.4 Matematický model s neznámou poptávkou	43
3.2.5 Stručné shrnutí	44
3.3 Možnosti matematické podpory projektů zavádění nových pravidelných leteckých linek	44
4. CÍLE PRÁCE	50
5. NÁVRH ŘEŠENÍ	51
5.1 Testování využitelnosti gravitačních modelů při vyhodnocování potenciálu tranzitních destinací	51
5.2 Návrh nových matematických modelů pro optimalizaci destinačního portfolia regionálních letišť	55
5.2.1 Návrh matematických modelů pro práci s variabilní poptávkou v průběhu plánovacího období	55
5.2.2 Návrh matematických modelů pro práci s variabilní poptávkou a intervaly časové dostupnosti cílových destinací z tranzitních destinací	66
5.3 Návrh obecného procesu přípravy zahájení provozu nové pravidelné letecké linky z regionálního letiště a využití nástrojů projektového řízení pro jeho optimální naplánování	69
5.3.1 Charakteristika obecného procesu přípravy zahájení provozu nové pravidelné letecké linky z regionálního letiště	69
5.3.2 Využití nástrojů projektového řízení pro optimální naplánování projektu příprav zahájení provozu nové pravidelné letecké linky z regionálního letiště	76

6. APLIKACE NAVRŽENÝCH PŘÍSTUPŮ V PODMÍNKÁCH REGIONÁLNÍHO LETIŠTĚ OSTRAVA	91
6.1 Aplikace vybraného gravitačního modelu na relaci Ostrava – Varšava.....	91
6.2 Aplikace vybraného modelu pro optimalizaci destinačního portfolia mezinárodního regionálního letiště Ostrava.....	100
6.3 Aplikace vybraného nástroje projektového řízení vedoucí k zahájení provozu pravidelné letecké linky z regionálního letiště Ostrava.....	105
7. ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ DOSAŽENÝCH V DISERTAČNÍ PRÁCI.....	112
8. PŘÍNOSY DISERTAČNÍ PRÁCE PRO ROZVOJ VĚDNÍHO OBORU A PRAXI.....	114
9. MOŽNOSTI DALŠÍHO ROZVOJE ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY.....	115
10. ZÁVĚR.....	117
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	120
SEZNAM PUBLIKAČNÍCH VÝSLEDKŮ DOKTORANDA	123
SEZNAM PUBLIKAČNÍCH VÝSLEDKŮ DOKTORANDA S PŘÍMÝM VZTAHEM K DISERTAČNÍ PRÁCI.....	123
SEZNAM OSTATNÍCH PUBLIKAČNÍCH VÝSLEDKŮ DOKTORANDA.....	123
SEZNAM OBRÁZKŮ	124
SEZNAM TABULEK.....	125
SEZNAM PŘÍLOH	126
Příloha 1 – Tabulka dostupností cílových destinací z tranzitních destinací	127
Příloha 2 – Incidenční matice vyjadřující dostupnost cílových destinací z tranzitních destinací.....	131
Příloha 3 – Text programu v programovacím jazyce MOSEL.....	132
Příloha 4 – Výpis dosažených výsledků.....	133

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Originální název zkratky	Význam zkratky
ACI		Výzkumná agentura
AIP	Aeronautical Information Publicatio	Letecká informační příručka
AMS		IATA kód letiště Amsterdam
BRQ		IATA kód letiště Brno
BSP	Bank Settlement Plan	System usnadňující tok dat a finančních prostředků mezi cestovními kanceláři a leteckými společnostmi
CO ₂		oxid uhličitý
CPM	Critical Path Method	Metoda kritické cesty
CPN		IATA kód letiště Kodaň
ČR		Česká republika
DEB		IATA kód letiště Debrecín
EHP	European Economic Area	Evropský hospodářský prostor
EHS		Evropské hospodářské společenství
ES	European Community	Evropské společenství
EU	European Union	Evropská unie
GM	Gravity model	gravitační model
KLM	KLM Royal Dutch Airlines	nizozemský národní letecký dopravce
KSC		IATA kód letiště Košice
LOT	Polish airlines LOT	polský národní letecký dopravce
LTN		IATA kód letiště Londýn/Luton
MIDT	Marketing Information Data Tapes	Placená externí data ohledně cestujících
MUC		IATA kód letiště Mnichov
OSR		IATA kód letiště Ostrava
OZ		obchodní zastoupení
PERT	Program Evaluation and Review Technique	Stochastická varianta metody kritické cesty
RWY	Runway	Vzletová a přistávací dráha
STN		IATA kód letiště Londýn/Stansted
VIE		IATA kód letiště Vídeň
WAW		IATA kód letiště Varšava

1. ÚVOD – MOTIVACE K ŘEŠENÍ PROBLÉMU

Letecká doprava je sice historicky nejmladším druhem dopravy, ale v posledních několika desetiletích patří k nejdynamičtěji se rozvíjejícím druhům dopravy a to jak v přepravě cestujících, tak i přepravě nákladu. Současná rostoucí úroveň poptávky po letecké dopravě je způsobena především geopolitickými, sociálními i ekonomickými změnami odvozenými z procesu celosvětové globalizace. Přestože v době odevzdání disertační práce prochází letecká doprava určitou recesí způsobenou nepříznivou epidemiologickou situací, vykazuje do budoucna stále velký potenciál.

Letecká doprava, stejně jako všechny zbývající druhy dopravy, potřebuje ke své činnosti určitou pozemní infrastrukturu, která je v případě letecké dopravy tvořena letišti, příp. dalšími technickými zařízeními zajišťujícími bezpečný provoz letadel ve vzduchu i na zemi. Letištní pozemní infrastrukturu tvoří provozní plochy a budovy. Provozní plochy slouží pro pohyby a stání letadel a budovy slouží k odbavení cestujících a poskytování služeb.

V České republice je v současné době 93 civilních letišť. [1] V souladu se zákonem o civilním letectví (č. 49/1997 Sb., ve znění pozdějších předpisů) je možno civilní letiště rozdělit podle několika hledisek. V předložené práci budou uvedena tři z nich, a to podle:

- vybavení, provozních podmínek a základního určení,
- podle charakteru,
- podle územního významu.

Podle vybavení, provozních podmínek a základního určení se civilní letiště rozdělují na:

- a) vnitrostátní (letiště určená a vybavená k uskutečňování vnitrostátních letů, při nichž není překročena státní hranice ČR, a letů, při nichž není překročena vnější hranice EU - mezi státy EU a státy mimo EU [2]);
- b) mezinárodní (celní letiště určená a vybavená k uskutečňování jak vnitrostátních letů a letů, při nichž není překročena vnější hranice EU, tak i letů, při nichž je vnější hranice překročena).

Podle charakteru se civilní letiště rozdělují na:

- a) veřejná (letiště přijímající v mezích své technické a provozní způsobilosti všechna letadla);

- b) neveřejná (letišťe přijímající v mezích své technické a provozní způsobilosti všechna letadla pouze na základě předchozí dohody provozovatele nebo velitele letadla s provozovatelem letiště). [3]

Podle územního významu na letiště:

- a) celostátního významu (v ČR mezi tato letiště můžeme zařadit Letiště Václava Havla v Praze);
- b) regionálního významu (jedná se o regionální letiště většího významu a v ČR mezi tato letiště řadíme Brno - Tuřany, Letiště Leoše Janáčka Ostrava, Pardubice a Karlovy Vary – Olšová vrata).

Je, samozřejmě, možné výše uvedená hlediska mezi sebou vzájemně kombinovat, lze tedy hovořit o mezinárodních veřejných letištích celostátního i regionálního významu, stejně tak je možno hovořit o vnitrostátních neveřejných letištích regionálního významu apod.

Zatímco veřejná mezinárodní veřejná letiště celostátního významu prožívají v současnosti zpravidla značný rozmach celoročního provozu, u mezinárodních veřejných letišť regionálního významu dochází k růstu (a následně k poklesu) cyklicky vždy pouze po určitou část roku a v celoročním průměru rozsah provozu více nebo méně stagnuje.

Zřizovatelé mezinárodních veřejných letišť regionálního významu (dále jen „regionálních letišť“) si uvedenou skutečnost významně uvědomují, a proto vyvíjejí systematický tlak na managementy regionálních letišť, aby rozšiřovaly rozsah provozu, zejména v oblasti pravidelného leteckého spojení, jinak také řečeno rozvíjejí destinační portfolio pravidelných leteckých linek daného regionálního letiště. Destinační portfolio pravidelných leteckých linek regionálního letiště (dále jen „destinační portfolio regionálního letiště“) je však třeba vytvářet strategicky a koncepčně, neboť nekoncepční zavádění provozu pravidelných linek nejenže nepřinese dlouhodobý nárůst počtu cestujících nebo přepravených tun leteckého nákladu, ale může způsobit právě opačné efekty spočívající v tom, že po negativních zkušenostech budou letečtí dopravci od zájmu využívat dané regionální letiště pro své další podnikatelské aktivity odrazeni.

Na letištích obecně, tedy i na regionálních letištích, se lze setkat se dvěma typy pravidelných leteckých linek. Jednak jsou to letecké linky provozované v systému „point to point“ a dále to jsou letecké linky provozované v systému „hub and spoke“. Výhodou prvního typu leteckých linek je jejich provozování zpravidla nízkonákladovými dopravci, u nichž je větší

pravděpodobnost, že projeví zájem provozovat pravidelnou leteckou linku na regionální letiště, nevýhodou je často chybějící nebo komplikované napojení cílové destinace pravidelné letecké linky provozované z regionálního letiště (míněno z pohledu regionálního letiště) právě na významnější letecký uzel, který by umožňoval cestujícím se zájmem o přepravu do vzdálenějších destinací pokračovat v přepravě dalším letem do zvolené cílové destinace bez nutnosti nebo zásadnějších komplikací pozemního přesunu mezi letišti. Výhodou druhého typu leteckých linek je zpravidla jejich napojení právě na některý z významnějších leteckých uzlů umožňujících nekomplikované letecké pokračování do vzdálenějších destinací, nevýhodou však je, že pravidelné letecké linky druhého typu často provozují tzv. síťoví letečtí dopravci, u nichž zájem provozovat pravidelnou leteckou linku na regionální letiště není zpravidla významný z důvodu obav, že spádový region s ohledem na jejich tarifní politiku neskýtá dostatečný potenciál cestujících k požadovanému využití nasazované letadlové flotily.

Reálné zkušenosti z leteckého prostředí České republiky a Slovenské republiky poskytují informace, že až na několik výjimek (např. spojení do významných evropských metropolí typu Londýn) nemají pravidelné letecké linky provozované na regionální letiště v systému „point to point“ dlouhou životnost. Příkladem může být např. geneze uvedeného typu linek na regionálním letišti Ostrava. V časovém horizontu 2010 – 2020 se z letiště Ostrava létalo do Mnichova v průměru 10 měsíců, Moskvy 17 měsíců, Tel Avivu 4 měsíce, Paříže 6 měsíců, Vídně 78 měsíců, Dubaje 25 měsíců a Bergama 29 měsíců. Protože v roce 2019 skončila po 83 letech nejstabilnější pravidelná letecká linka do Prahy, zůstává v současnosti jedinou trvalejší pravidelnou leteckou linkou z letiště Ostrava linka do Londýna/Stanstedu provozovaná od roku 2013.

S ohledem na negativní zkušenosti s linkami provozovanými v systému „point to point“ projevují zřizovatelé regionálních letišť zájem opustit tuto obchodní strategii a pokusit se otestovat potenciál a perspektivu pravidelných leteckých linek v systému „hub and spoke“, tedy vytvořit letecké napojení regionálních letišť na některé z významnějších leteckých přepravních uzlů s potenciálem návaznosti na další destinace. [4]

Disertační práce bude věnována problematice tvorby destinačního portfolia, konkrétně postupu, který by umožnil managementu letišť rozhodovat se objektivněji s ohledem na novou obchodní strategii související se zaváděním pravidelných leteckých linek v systému „hub and spoke“. Obecný postup rozhodování by se dal shrnout do tří základních etap:

predikce potenciálu tranzitních destinací – výběr vhodných tranzitních destinací – návrh efektivního řízení příprav zahájení provozu pravidelné linky do nové tranzitní destinace.

2. OBECNÁ CHARAKTERISTIKA REGIONÁLNÍCH LETIŠŤ

Regionální letiště jsou letiště, která hrají klíčový význam z hlediska části vymezeného geografického území státu. V podmínkách České republiky a Slovenské republiky jsou takovými lokálně vymezenými geografickými územími kraje (Česká republika) nebo samosprávné kraje (Slovenská republika).

Regionální letiště v Evropě obecně by podle Bílé knihy o evropské dopravní politice [5, 6] měla plnit následující funkce:

1. pozitivně působit proti vysokému zatížení kapacity 50-ti hlavních evropských letišť,
2. podporovat mobilitu občanů EU tím, že dojde ke zvýšení počtu míst s možností organizace letů na území Společenství,
3. podporovat rozvoj regionálních ekonomik.

Podpůrně lze ve prospěch regionálních letišť uvést faktory, které se obvykle posuzují v projektech dopravní infrastruktury, jsou [7]:

1. vyšší provozní časové úspory (zkrácení dob odbavení letadel, cestujících apod.),
2. snížení zátěže životního prostředí - snížení množství paliva a CO₂ pro pohon na vzdálená letiště,
3. pozitivní dopad na zaměstnanost v regionu.

Výzkumná agentura ACI Research dokonce ve svém dokumentu [8] uvádí, že na mezinárodních letištích se na každý 1 milion odbavených cestujících váže až 750 trvalých pracovních míst na letišti.

Základními činnostmi regionálních letišť jsou:

1. poskytování letištních služeb souvisejících s leteckou dopravou a to jak pro letecké společnosti, tak i pro cestující, k těmto letištním službám patří technická obsluha letadel (technický handling, obchodní handling), poskytování protipožární služby, záchranné služby a bezpečnostní služby,
2. provoz letištní infrastruktury (provoz a běžná údržba letištních provozních ploch, budov, technologických zařízení a strojů, automobilového parku, skladů leteckých pohonných hmot, energetických systémů),

3. investiční činnost (výstavba, modernizace) v oblasti letištní infrastruktury a samotných letištních zařízení (dráhy, terminály), nebo souvisejících udržovacích zařízení (protipožární, bezpečnostní nebo ochranná zařízení),
4. řízení obchodních činností nepřímo spojených se základními aktivitami letiště, např. výstavba, financování, provoz a pronájem prostor a nemovitostí (kancelářské prostory, sklady, obchody, restaurace, parkoviště apod.),
5. administrativní činnosti zajišťující běžný chod letiště.

Regionální letiště jsou ve srovnání s hlavními evropskými letišti v některých zásadních ohledech významně znevýhodněna. Jedná se o znevýhodnění plynoucí z následujících příčin:

1. nemají k dispozici žádnou významnou leteckou společnost, která by na regionální letiště soustředila své operace tak, aby mohla svým cestujícím nabízet mnoho spojů a využívat rozsah infrastruktury letiště,
2. nedosáhla velikosti způsobující atraktivitu,
3. mají deficit image a proslulosti, způsobený buď jeho izolací v nejvzdálenějších regionech Společenství (např. Azorské ostrovy), nebo svou polohou v regionech zasažených hospodářskou restrukturalizací nebo krizí.

2.1 Stručná charakteristika výchozího stavu regionálních letišť v České republice a Slovenské republice po roce 1989

Historicky je možno uvést, že hlavními úkoly regionálních letišť před rokem 1989 v tehdejší Československu bylo zpravidla poskytování pozemní základny pro vzdušnou obranu státu, na většině regionálních letišť hrál civilní letový provoz pouze druhořadou roli. Pokud již byly na regionálních letišťích pravidelné letecké linky provozovány, jednalo se o pravidelné linky zajišťující letecké napojení na nejvýznamnější letiště Praha – Ruzyně a Bratislava – Ivanka, mezinárodní pravidelné letecké linky se na regionálních letišťích vyskytovaly sporadicky, jako příklad je možno uvést pravidelnou leteckou linku Ostrava – Moskva provozovanou ve druhé polovině 80. let. V neposlední řadě plnila regionální letiště také funkci záložních letišť pro letiště celostátního významu a v letní sezóně také letišť, na která létaly charterové lety zajišťující přepravu rekreatantů do přímořských letovisek.

Po celospolečenských a ekonomických změnách v roce 1989 rozvoj regionálních letišť v České republice a Slovenské republice zpočátku velmi stagnoval. To bylo způsobeno především nedostatkem veřejných finančních prostředků a soustředěním investic

do mezinárodních veřejných letišť celostátního významu, která se stala vstupními branami pro zahraniční obchodní klientelu a turistický ruch obou států.

Svou roli zde určitě sehrál i postupný pokles zájmu o napojení českých a slovenských regionálních letišť na dosavadní hlavní letecký uzel – letiště Praha – Ruzyně, pokles zájmu o leteckou přepravu významně ovlivnil také zvyšující se komfort železniční a silniční dopravy spočívající v modernizaci infrastruktury, vozidlového parku a z toho plynoucího nárůstu cestovní rychlosti a nabídky služeb v průběhu hromadné osobní přepravy. To jsou všechno aspekty, které současně s tarifní politikou leteckých dopravců výrazněji způsobily odliv klientely využívající do té doby leteckou dopravu ve prospěch alternativních druhů dopravy.

Rovněž tak došlo k tomu, že regionální letiště postupně začaly opouštět obranné složky státu, došlo tedy k výraznému poklesu finančních zdrojů, které z obranných účelů mnohé kategorie nákladů regionálních letišť financovaly.

Ke změně strategie v oblasti investic do regionálních letišť došlo až v souvislosti s převodem regionálních letišť do vlastnictví samosprávných orgánů, tzn. statutárních měst, ale především nově vzniklých krajů/samosprávných krajů realizovaný po roce 2000.

Vstup obou států do Evropské unie a jejich zapojení do schengenského prostoru přinutil zřizovatele regionálních letišť investovat nemalé finanční prostředky do rozvoje regionálních letišť. V souvislosti s přidružením obou států k schengenským úmluvám musela např. regionální letiště upravit stávající odbavovací terminály tak, aby bylo možno odděleně odbavovat cestující do/ze zemí schengenského prostoru a mimo schengenský prostor (dále jen „schengen“ a „non-schengen“). V případě, že by některé z regionálních letišť nesplnilo podmínky vyplývající ze schengenských úmluv, nemohl by být regionálnímu letišti přiznán statut mezinárodního letiště s vnější hranicí.

Opatření vyplývající ze schengenských úmluv byla trojího charakteru – technická, stavební a administrativní.

Jak již bylo uvedeno, v první řadě bylo zapotřebí oddělit prostory pro cestující po příletu i před odletem v režimech „schengen“ a „non-schengen“ a návazně na to upravit prostory pro pasovou a celní kontrolu. Kontrola cestujících se soustředí na tzv. vnější schengenské hranice a je doprovázena součinností bezpečnostních složek. Důležitým aspektem bylo vybudování dostatečného komfortu pro cestující při souběžném odbavování v režimech „schengen“ a „non-schengen“.

Protože zásadním problémem všech regionálních letišť byla omezená kapacita odbavovacích terminálů (která byla dimenzována na zcela jiné počty odbavených cestujících), začali zřizovatelé regionálních letišť tuto skutečnost řešit masivním budováním nových terminálů a dalších provozních objektů ke stávající dopravní infrastruktuře.

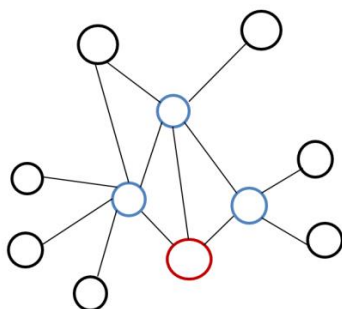
Kromě investic do odbavovacích terminálů a dalších objektů souvisejících se vstupem do Schengenského prostoru však musely probíhat i další modernizační kroky v oblastech zabezpečovací letecké techniky, požární vybavenosti, řízení letového provozu, provozních a odbavovacích ploch.

Bohužel, veškerá investiční činnost na regionálních letištích související s plněním všech legislativních požadavků vynaložená v minulosti stále není doprovázena adekvátním nárůstem leteckého provozu, resp. počtu odbavených cestujících nebo nákladu.

V období zpravidla mimo letní sezónu se tak běžně stává, že na regionálních letištích rozsah osobní letecké dopravy výrazně klesá a infrastrukturní a personální potenciál letišť zůstává po delší období nevyužit. Z uvedeného důvodu jsou managementy letišť motivovány k hledání doplnění nabídky sezónních charterových destinací o nabídku celoročně provozovaných destinací, které zabezpečují alespoň částečné využití regionálních letišť i mimo sezónu. Takové využití zajišťuje především nabídka o destinace využívané i jinými skupinami cestujících, např. obchodníky, investory, managery (dále jen „obchodní klientela“).

Možností, jak rozšiřovat destinační portfolio, není mnoho. Jak již bylo uvedeno v úvodu práce, existují v zásadě dva typy pravidelných leteckých linek, a to:

- linky v systému „point to point“,
- linky v systému „hub and spoke“, viz obr. č. 1 (schematická poloha regionálního letiště je v daném obrázku znázorněna červeně, polohy přestupních uzlů – tranzitních destinací jsou znázorněny modře a černě jsou znázorněna ostatní letiště).



Obr. č. 1: Schematické znázornění sítě linek v systému „hub and spoke“ (zdroj: autorka)

Oba typy linek se vyznačují určitými výhodami a nevýhodami. V minulosti managementy regionálních letišť vsadily na první typ leteckých linek, které jsou zpravidla provozovány nízkonákladovými leteckými dopravci.

2.2 Nízkonákladoví letečtí dopravci a využívání regionálních letišť z jejich strany

Působení nízkonákladových leteckých dopravců na evropském leteckém přepravním trhu není žádné marginální téma a rozsah dopravy jimi zajišťovaný dosáhl rozměru, že bez nadsázky může letecká doprava zajišťovaná nízkonákladovými dopravci tvořit samostatnou kapitolu v novodobější historii letectví. Významnější rozšiřování vlivu nízkonákladových leteckých dopravců se datuje někdy od druhé poloviny 90. let 20. století. Charakteristickým rysem nízkonákladových dopravců je maximálně přiblížit ceny letenek kupní síle většiny obyvatelstva. Vlivem působení nízkonákladových leteckých dopravců se letecká doprava stala v současnosti velice populárním a rozšířeným druhem dopravy. Z hlediska neustále rostoucího počtu přepravených cestujících se potom stává velice zajímavým segmentem podnikání.

Nízkonákladoví letečtí dopravci ve své obchodní politice necílí na movitější klientelu a velice zjednodušeně řečeno nepoužívají podnikatelskou filozofii platící v letecké dopravě do nedávné doby, kdy využívání letecké dopravy bylo považováno za něco nadstandardního. Aby mohli takovou filozofii uplatňovat, využívají např. ke vzletům a přistáním právě regionální letiště, a to z následujících důvodů:

- a) menší vytiženost a z toho plynoucí snížení rizika zpoždění letů,
- b) nižší poplatky na letišti, např. přistávací poplatky, poplatky za handlingové služby, odbavení cestujících a případné parkování letadel.

Neoddiskutovatelným pozitivem působením nízkonákladových leteckých dopravců na leteckém přepravním trhu však zůstává především fakt, že právě díky nim je kapacita regionálních letišť alespoň zčásti využívána.

Regionální letiště se však nevyznačují pouze výhodami, ale mají také své nevýhody. K základním nevýhodám regionálních letišť patří:

- a) nižší atraktivita z pohledu cestujících z důvodu jejich horší dostupnosti,
- b) nižší schopnost vygenerovat dostatečný potenciál cestujících v případech, nejedná-li se o regionální letiště charakteru hub (ať již z pohledu návaznosti na linky jiných leteckých dopravců nebo bázové letiště nízkonákladového dopravce).

Přestože horší dostupnost regionálních letišť způsobuje jejich nižší atraktivitu, najdou se i cestující, pro které horší dostupnost regionálního letiště není rozhodující, jsou-li ceny letenek z uvedených letišť nižší.

Působení nízkonákladových leteckých dopravců na leteckém trhu však má ale i své stinné stránky. Příkladem negativní stránky jejich působení na leteckém trhu je snaha přenášet co nejvíce finančních nákladů na jiné subjekty, které se následně mohou dostávat ekonomických obtíží a jsou nuceny provozovat své činnosti často i s ekonomickou ztrátou. Taková je i politika nízkonákladových leteckých dopravců vztahmo k regionálním letištím. Situace regionálních letišť je navíc komplikovaná i faktem, že jejich množství a jejich poptávka po pravidelných leteckých linkách na evropském kontinentu výrazně převyšuje možnosti (kapacitní nabídku) stávajících zpravidla nízkonákladových dopravců. Nízkonákladoví dopravci mají tedy v současnosti, vztahmo k regionálním letištím dominantní postavení, čehož jsou si velice dobře vědomi a mají značnou možnost výběru regionálních letišť, na která budou provozovat pravidelné linky. Na druhou stranu, letiště musí stále investovat do zlepšení potřebné infrastruktury. Výsledkem kombinace potřeby investovat do rozvoje letišť a tlaku nízkonákladových dopravců je často špatná ekonomická situace regionálních letišť. V průběhu příprav zahájení provozu pravidelné letecké linky probíhají mezi letištěm a nízkonákladovými leteckými dopravci často tvrdá a nekompromisní obchodní jednání. Nezřídka se nakonec stává, že obchodní jednání mezi letištěm a nízkonákladovým leteckým dopravcem neskončí úspěšně a k zahájení provozu nové linky nedojde.

2.3 Podpora nových linek z hlediska možností daných aktuální legislativou EU

Evropská komise na straně jedné podporuje rozvoj regionálních letišť, na straně druhé však musí dbát, aby nedocházelo k narušování hospodářské soutěže, což ve skutečnosti znamená, že nesmí docházet k veřejnému financování regionálních letišť a státní podpoře leteckých dopravců, není-li to ve společném (veřejném) zájmu. To vychází např. i ze skutečnosti, že alternativou k letecké dopravě z hlediska kapacity, času, ceny, pohodlí a udržitelného rozvoje je vysokorychlostní železnice.

Legislativní rámec ekonomické podpory rozvoje destinačního portfolia regionálních letišť je dán především Sdělením Evropské komise 2005/C312/01, kterým se vydávají „Pokyny Společenství pro financování letišť a pro státní podporu na zahájení činnosti pro letecké společnosti s odletem z regionálních letišť“.

Sdělení tematicky navazuje na tzv. třetí deregulační balíček přijatý v roce 1992 skládající se z Nařízení Rady (EHS) č. 2407/92, 2408/92 a 2409/92, které byly nahrazeny Nařízením Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1008/2008. Třetí deregulační balíček odstranil veškerá obchodní omezení, jimž podléhaly evropské letecké společnosti působící v rámci EU, čímž byl zřízen tzv. Jednotný evropský letecký trh doplněný později o Norsko, Island a Švýcarsko. Společně s jeho zřízením byla přijata společná pravidla zajišťující jeho řádné fungování, k němuž patří především:

1. rovné podmínky,
2. jednotná vysoká úroveň ochrany cestujících.

Třetí balíček zavedl pojem „letecký dopravce Společenství“ a jako základní zásadu stanovil, že letečtí dopravci Společenství mohou volně stanovovat sazby za přepravu cestujících a nákladů a mohou bez povolení nebo schválení využívat libovolné trasy v rámci EU. Z této zásady existují výjimky, jedná se o trasy, u nichž mohou členské státy – za dodržení daných podmínek a po omezenou dobu uložit povinnost veřejné služby.

Období po zavedení třetího deregulačního balíčku provázely dvě zásadní změny:

1. došlo k rozvoji aktivit vedoucích k získání nových leteckých linek ze strany letišť,
2. nastal významný rozvoj tzv. nízkonákladových dopravců, přičemž zvýšení podílu nízkonákladových dopravců na trhu sice přineslo žádoucí snížení cen, bohužel, ovšem mnohdy za cenu vyžadování subvencí od orgánů veřejné správy, což začalo narušovat pravidla hospodářské soutěže podle Smlouvy o ES.

Takové jednání leteckých dopravců však bylo vyhodnoceno jako porušování pravidel hospodářské soutěže, což vyvolalo potřebu podobnému jednání do budoucna zabránit. Ukázalo se však, že použitím článků 92 a 93 Smlouvy o ES a článku 61 Dohody o EHP na státní podpory v odvětví letectví není možno pokrýt všechny nově vzniklé skutečnosti spojené s financováním letišť a podporou zahájení činnosti nových linek, proto bylo přijato výše uvedené Sdělení 2005/C312/01.

Sdělení Evropské komise 2005/C312/013 zavádí podle počtu odbavených cestujících ročně následující čtyři kategorie letišť:

- a) letiště kategorie A tzv. „velká letiště Společenství“ mezinárodního významu (roční objem odbavených cestujících překročí hranici 10 000 000),

- b) letiště kategorie B tzv. vnitrostátní letiště (roční objem cestujících mezi 5 000 000 a 10 000 000),
- c) letiště kategorie C, tzv. velká regionální letiště (roční objem odbavených cestujících mezi 1 000 000 a 5 000 000),
- d) letiště kategorie D, tzv. malá regionální letiště (roční objem odbavených cestujících menší než 1 000 000).

Veřejná podpora se letištěm nebo leteckým společností (například podpora na zahájení činnosti) poskytuje pouze výjimečně a za velmi přísných podmínek. Poskytovat podporu je možno pouze:

- 1. ve znevýhodněných regionech Evropy, např. nejvzdálenějších regionech a regionech s nízkou hustotou obyvatelstva,
- 2. na projekty týkající se letišť zařazených do transevropské sítě,
- 3. na projekty spadající do odpovědnosti státu při výkonu jeho veřejných pravomocí, v případě letišť se jedná zejména o zajištění bezpečnosti, kontroly leteckého provozu, policii, clo, hasičskou službu,
- 4. na úhradu dodatečných nákladů vyplývajících ze závazků veřejné služby uložených letištěm (jedná se např. o tzv. izolované regiony), nelze je však používat na pokrytí činností, kterými jsou:
 - a) výstavba infrastruktury a vlastních letištních zařízení (vzletové a přistávací dráhy, pojezdové dráhy, terminály, kontrolní věž) nebo přímé podpory (protipožární instalace, zabezpečovací a bezpečnostní zařízení),
 - b) provozování infrastruktur, které zahrnuje údržbu a správu letištní infrastruktury,
 - c) poskytování letištních služeb přidružených k leteckému provozu, jako je poskytování odbavovacích služeb a používání připojených infrastruktur, služeb protipožární ochrany, havarijních služeb, zabezpečení apod.,
 - d) provádění hospodářských činností, které nejsou přímo spojeny se základními činnostmi letiště, a které zahrnují mimo jiné stavbu, financování, provozování a nájem prostor a nemovitého majetku nejen pro kanceláře a skladování, ale také pro hotely a průmyslové podniky uvnitř letiště, stejně jako obchody a restaurace, parkoviště.

Přímá podpora je dále povolena pro linky provozované v tzv. závazku veřejné služby a sloužících k podpoře sociálního charakteru. Dotování linek je možné, jsou-li současně splněny čtyři podmínky:

1. letecký dopravce musí být skutečně pověřen výkonem závazků veřejné služby a takové závazky musí být jasně definovány,
2. parametry rozhodné pro výpočet vyrovnání musí být známy předem, objektivně a transparentně,
3. vyrovnání by nemělo přesáhnout částku nutnou pro pokrytí nákladů nebo jejich části vyvolaných výkonem závazku veřejné služby zvýšených o přiměřený zisk a po odečtení příslušných příjmů,
4. k plnění závazku byl vybrán dobře řízený letecký dopravce, který je dále vhodně vybaven dopravními prostředky sloužícími k pokrytí závazku veřejné služby.

Finanční podpora může být poskytnuta leteckému dopravci letišťem z jeho vlastních zdrojů na zahájení činnosti a to ovšem pouze tehdy, je-li její původ v neveřejných zdrojích (plynoucích z obchodního plánu letiště vztažmo k jeho jiným neveřejným aktivitám). Není však povolena, kopíruje-li nově uvažované letecké spojení trasu vysokorychlostní železnice. Veřejná podpora nesmí být použita pro umělé snižování letištních poplatků, protože takové jednání by mohlo vést k narušení hospodářské soutěže. Z výše uvedených důvodů musí být jakákoliv veřejná podpora letišťem či leteckým dopravcům předem oznámena, aby mohlo být prověřeno, že nenarušuje pravidla hospodářské soutěže.

Ze stanoviska Evropského soudního dvora vydaného ve věci finanční podpory veřejných letišť na území EU plyne, že podpora je možná pro všechny činnosti, které nejsou tzv. hospodářskými činnostmi, tedy činnostmi provozovanými za úplatu. K takovým činnostem lze řadit zajišťování bezpečnosti letiště, kontrolu leteckého provozu, přítomnost policie, celních orgánů a hasičské záchranné služby na letišti.

Veřejná subvence na provozování letištních infrastruktur může být poskytnuta po předchozím oznámení a přezkoumání, je-li spojena se službou obecného zájmu (např. hasičské služby budou využívat i jiné subjekty než letiště). Platí, že poskytnout subvenci lze i na dosažení přiměřeného zisku z poskytování veřejné služby. I zde však musí být jasně vymezen přesný charakter závazku veřejné služby, dotčené řídicí orgány a regiony, parametry výpočtu, kontroly a revize vyrovnání, musí být použit transparentní účetní systém a oddělení účtů pro různé činnosti apod.

Jak již bylo uvedeno v předchozím textu, zahájení provozu letecké linky na/z regionálního letiště i jejího udržení na regionálním letišti předchází velice tvrdá obchodní vyjednávání mezi regionálním letištěm a nízkonákladovým leteckým dopravcem. Regionální letiště jsou nízkonákladovými leteckými dopravci dokonce nucena k tomu, aby při zahájení provozu nových linek nabízela finanční podporu. Tato podpora často dosahuje takové úrovně, že regionální letiště odbavuje letadla za ceny, které nezahrnují ani jeho provozní náklady. Tvrzení dopravců, že regionální letiště získávají své příjmy z jiných činností, např. z parkovného, z vyššího obrátu obchodů a služeb na letišti, není často opodstatněné, protože na letištích s nízkým počtem cestujících se zřídka rozvíjí potřebná infrastruktura, která by mohla poskytovat služby na požadované úrovni. Navíc, pro zákazníky, kteří využívají pouze sezónních letů, případně letů s nízkonákladovými společnostmi, je rozhodující cena letenky a často již nejsou příliš ochotni vynakládat více finančních prostředků za služby nabízené na letišti.

Managementy zřizovatelů a managementy regionálních letišť musejí bez výhrad akceptovat výše uvedenou evropskou legislativu a zavedením případných subvenčních programů podporujících rozšiřování provozu na regionálních letištích nesmí docházet k jejímu porušování či obcházení.

Na malých regionálních letištích letecké společnosti často vyžadují dodatečnou "marketingovou podporu", kdy výše této podpory může být stejně vysoká jako příjmy z rozpočtových linek letišť. Vzhledem k tomu, že malá letiště jsou často ve vlastnictví veřejného sektoru a státy jsou také členy Evropské unie, je nezbytné přísně dodržovat evropskou směrnici, aby se zabránilo nezákonné veřejné podpoře.

2.4 Význam efektivního návrhu destinačního portfolia pro regionální letiště

Předmětem rozhodování o destinačním portfoliu regionálního letiště je tvorba množiny destinací, se kterými bude regionální letiště propojeno pravidelnými leteckými linkami v systému „hub and spoke“, případně časové polohy letů do jednotlivých destinací.

Při rozhodování o destinačním portfoliu je třeba zmínit dva extrémy týkající se jeho rozsahu.

Prvním extrémem je řešení, ve kterém bude provozována pravidelná letecká doprava do všech významnějších destinací, do jejichž spádového území regionální letiště spadá. Výhodou takového řešení je vysoká variabilita nabídky přímého leteckého spojení potenciálním

cestujícím. Bohužel, u takového řešení (zejména v případě, kdy je destinací větší množství, což je i případ střeoevropského prostoru) se nedá očekávat vyšší efektivita. Důvodem je určitá konstantnost poptávky generovaná daným regionem, přičemž při vyšším počtu provozovaných pravidelných leteckých linek může dojít k situaci, kdy rozložení potenciální poptávky mezi provozované letecké linky způsobí nižší vytížení letadel (obzvláště v situaci, kdy cílová destinace poptávky je propojena leteckým spojením s více destinacemi), v důsledku kterého může významněji poklesnout zájem leteckých dopravců o provozování pravidelných leteckých linek na regionální letiště.

Druhým extrémem je řešení, ve kterém bude provozována pravidelná letecká doprava pouze do jedné významnější destinace. Od takového řešení se dá očekávat výhoda plynoucí z toho, že nedojde k rozložení potenciální poptávky mezi provozované letecké linky, a tedy se dá očekávat vyšší efektivita. Na druhou stranu však takové řešení nebude patrně příliš atraktivní z hlediska nabídky propojení regionálního letiště a může zvýšit nutnost přestupovat na cestách do cílových destinací. V takových případech může rovněž nastat i jistý odliv zájmu cestujících, kterým se raději vyplatí cestovat pozemní dopravou na vzdálenější letiště, odkud je nabízeno přímé letecké spojení nebo letecké spojení s nižším počtem přestupů do jejich cílové destinace.

Je tedy žádoucí hledat kompromisní řešení mezi oběma extrémů tak, aby bylo nabízeno takové destinační portfolio, které na straně jedné nebude způsobovat nízké vytížení letů a na straně druhé nezpůsobí odliv zájmu potenciálních cestujících, jimž nebude nabízeno požadované přímé spojení. Pro takové účely nabízí aplikovaná matematika (konkrétně operační analýza) určité postupy, které mohou efektivně a optimálně napomoci řešení definované úlohy.

Obecně platí, tedy platí to i při využívání metod operační analýzy, že pro přijetí kvalitního a kvalifikovaného rozhodnutí o destinačním portfoliu je potřeba dostatečné množství informací s patřičnou vypovídací schopností, které proces rozhodování významně ovlivňují. Proto je třeba před zahájením procesu vlastního rozhodování věnovat značnou pozornost sběru informací o tranzitních destinacích. Při přípravě na proces rozhodování je tedy třeba velice důsledně odlišovat podstatné informace od informací nepodstatných, volit při rozhodování správná kritéria a v neposlední řadě, existuje-li značné množství variant řešení, najít způsob, jak mezi nimi vyhledat takovou variantu, které se bude z hlediska zvolených hodnotících kritérií vyznačovat nejlepší hodnotou hodnotícího kritéria.

Aby bylo možno se při řešení problematiky destinačního portfolia regionálního letiště racionálně rozhodovat, je nutno mít k dispozici informace o potenciálu jednotlivých tranzitních destinací.

Ideální případ nastává, jsou-li k dispozici informace o poptávce po jednotlivých destinacích. V takovém případě se jako nejvhodnější kritérium jeví počet cestujících, jejichž poptávka bude zvoleným destinačním portfoliem uspokojena. Ne vždy jsou však informace o poptávce k dispozici. Může se jednat o případy, kdy v minulosti letecké spojení do dané destinace z regionálního letiště neexistovalo, nebo spojení sice existovalo, ale o počtech odbavených cestujících se nedochovaly relevantní informace co do kompletnosti nebo patřičné vypovídací schopnosti nebo dochované informace jsou sice kompletní, ale již nejsou aktuální (např. se jedná o informace, od jejichž platnosti uplynulo delší období apod.). V takových případech je nutno volit alternativní způsoby, jak potenciál jednotlivých tranzitních destinací, do nichž je zvažováno zavedení leteckého spojení z regionálního letiště, alespoň rámcově odhadnout nebo vyhodnotit.

3. ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ V OBLASTI NÁVRHU NOVÝCH LETECKÝCH LINEK

V závěru předchozí kapitoly věnované charakteristice regionálních letišť bylo zmíněno, že při návrhu, resp. optimalizaci destinačního portfolia regionálního letiště je zapotřebí mít k dispozici relevantní vstupní informace umožňující se kvalitně a kvalifikovaně rozhodovat. Z hlediska tvorby destinačního portfolia jde zejména o rozhodování týkající se tranzitních destinací, do nichž mají být z regionálního letiště provozovány přímé lety a jejich potenciálu, např. očekávané poptávky. Očekávanou poptávkou se rozumí nejen poptávka do tranzitních destinací, v nichž budou přímé lety končit, ale také poptávka do destinací navazujících na destinace, do kterých jsou z regionálního letiště provozovány přímé lety.

3.1 Nástroje pro predikci potenciálu tranzitních letišť

Má-li management regionálního letiště v plánu zavést novou pravidelnou leteckou linku do některé z tranzitních destinací v rámci systému „hub and spoke“, musí v první radě vyhodnotit potenciál tranzitních destinací, která mají být s regionálním letištěm přímou linkou spojena. K predikci poptávky se z objektivních nástrojů v odborné literatuře [9] nejčastěji využívají tzv. gravitační modely, které však často zanedbávají sezónnost nebo sídelní a správní hierarchii měst.

3.1.1 Základní gravitační model

Základní gravitační model vychází z Newtonova gravitačního zákona, který by se dal textem vyjádřit následovně: „Dvě tělesa na sebe působí gravitační silou přímo úměrnou hmotnostem těles a nepřímo úměrnou čtverci jejich vzdálenosti“. Matematickým zápisem potom [10]:

$$F_g = k \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (3.1)$$

kde:

F_g velikost síly, kterou jsou dvě tělesa k sobě přitahována,

r vzdálenost mezi tělesy,

m_i hmotnost tělesa $i = 1, 2$,

k gravitační konstanta.

Využití gravitačních modelů v dopravní geografii však není tak jednoduché, jak by se ze vztahu (3.1) mohlo zdát. Zatímco fyzikální model je možno považovat za výpočetně

univerzální, v případě geografických aplikací prosté dosazení do vztahu (3.1) zpravidla nepřináší očekávaný efekt.

Před praktickým použitím gravitačních modelů v dopravní geografii musejí být proto jednotlivé vstupní faktory (parametry použitého gravitačního modelu) váženy, přičemž postup vedoucí ke stanovení vah jednotlivých faktorů se nazývá kalibrace. Cílem kalibrace je dosažení co nejpřesnější predikce hodnoty poptávky po přepravě. Kalibrace spočívá ve zjištění hodnot každé empirických koeficientů řídících vliv vstupních faktorů tak, aby se zajistilo, že vytvořená predikce se bude co nejvíce blížit realitě.

Bohužel, pro kalibraci modelu neexistuje jednoznačný postup, vše se odvíjí od konkrétní situace, na kterou jsou gravitační modely aplikovány. Při kalibraci se nejčastěji vychází z historických nebo věcně příbuzných hodnot poptávky, přičemž lze očekávat, že čím starší bude hodnota poptávky nebo nižší bude její příbuznost s predikovanou relací, tím nižší bude také vypovídací schopnost gravitačního modelu pro potřeby predikce.

Z matematického pohledu se ke kalibraci zpravidla používají metody založené metodě nejmenších čtverců.

3.1.2 Vybrané geografické gravitační modely

Nahradíme-li hmotnosti těles ve vztahu (3.1) jiným faktorem, např. počty obyvatel dvou sídel, lze gravitační model využít v dopravní geografii k modelování prostorových interakcí mezi dvěma sídly. V takovém případě lze původní znění zákona přeformulovat do tvaru: „Interakce mezi dvěma místy je přímo úměrná jejich velikosti a nepřímo úměrná vzdálenosti mezi nimi.“

Geografické modely se zaměřením na dopravní vazby vycházející z gravitačních modelů byly publikovány v práci [11]. Rodrigue v práci [11] pro výpočet pravděpodobného počtu cestujících mezi dvěma místy i a j za rok navrhuje využít vztah:

$$T_{ij} = k \frac{P_i^\lambda P_j^\alpha}{d_{ij}^\beta} \quad (3.2)$$

kde:

T_{ij} předpokládaný počet cestujících na trase spojující místa i a j ;

P_i počet obyvatel místa i ;

- P_j počet obyvatel místa j ;
- d_{ij} vzdálenost mezi oblastmi i, j ;
- λ koeficient emitivity (potenciál místa i generovat pohyb odvozený např. z průměrné výše příjmů v místě i);
- α koeficient atraktivity (potenciál místa j přitahovat pohyby odvozený např. z nabídky služeb v místě j);
- β koeficient efektivity (jeho hodnota vyjadřuje rychlost nebo intenzitu dopravního propojení míst i a j), přičemž s rostoucí rychlostí a intenzitou spojení hodnota koeficientu klesá;
- k koeficient s doporučenou hodnotou 0,0001.

Gravitačním modelem (3.2) lze např. predikovat poptávku cestujících po mezikontinentálních letech, přičemž kalibrační koeficienty byly stanoveny empiricky, tzn., byly ověřeny experimentálně či pozorováním. Koeficienty k a β mají doporučené hodnoty $k = 0,0001$, $\beta = 1,34$ a hodnoty koeficientů λ a α jsou voleny na základě sektorizace zemského povrchu, viz obr. č. 2 a jejich hodnoty pro jednotlivé sektory v tab. č. 1.



Obr. č. 2: Sektorizace zemského povrchu za účelem stanovení hodnot koeficientů (zdroj: [11])

Sektor	λ	α
Evropa	1,08	1,08
Severní Amerika	1,08	1,08
Jižní Amerika	1,01	1,01
Asie	0,99	0,99
Afrika	0,91	0,91
Oceánie	1,07	1,07

Tab. č. 1 Hodnoty koeficientů emitivity a atraktivity (zdroj: [11])

Nicméně, tento model dává o počtech cestujících poměrně hrubé a velmi nepřesné predikce.

Položíme-li ve vztahu (3.2) $T_{ij} = V_{ij}$, $P_i = A_i$, $P_j = A_j$, $\lambda = \alpha$ a $\beta = \gamma$, dostáváme další tvar základního geografického gravitačního modelu [12]:

$$V_{ij} = k \frac{(A_i A_j)^\alpha}{d_{ij}^\gamma} \quad (3.3)$$

kde:

V_{ij} predikce poptávky (počet cestujících) mezi městy i a j , $V_{ij} = V_{ji}$ a $i \neq j$;

A_i faktor atraktivity města i ;

A_j faktor atraktivity města j ;

d_{ij} vzdálenost mezi městy i a j (předpokládá se, že platí $d_{ij} = d_{ji}$);

k kalibrační koeficient;

γ koeficient řídicí vliv vzdálenosti;

α koeficient řídicí vliv atraktivity.

Další dva gravitační modely jsou opět publikovány v práci [12] a vycházejí z upravené formulace základního gravitačního modelu charakterizovaného vztahem (3.3). Oba modely používají jako nezávislé faktory především geoeconomické proměnné reprezentující fakt, že letecká společnost či letecká doprava čelí flexibilnějšímu podnikatelskému prostředí s nejistotou konkurence, změnami v aliancích, dále různé obchodní modely, nejisté ceny paliv atd. Jako další proměnné se používají příjmy cestujících.

První z uvedených dvou gravitačních modelů je podle [12] vhodné používat v situaci izolovaného letiště (tzn., v bližší vzdálenosti se nenachází žádné jiné letiště, které by mohlo hodnotu poptávky ovlivnit). Např. není vhodný pro města s více letišti, jako je např. Londýn nebo Berlín. Gravitační model pro izolované letiště má tvar:

$$V_{ij} = e^\varepsilon P_{ij}^\pi C_{ij}^\chi B_{ij}^\beta G_{ij}^\gamma D_{ij}^\delta T_{ij}^\tau \quad (3.4)$$

kde:

V_{ij} predikce poptávky (počet cestujících) mezi městy i a j , $V_{ij} = V_{ji}$ a $i \neq j$;

P_{ij} hodnota $P_{ij} = P_i P_j$, kde P_i a P_j vyjadřují počet obyvatel měst i a j ;

C_{ij} hodnota $C_{ij} = C_i C_j$, kde C_i a C_j vyjadřují spádovosti měst i a j ;

B_{ij} hodnota $B_{ij} = B_i + B_j$, kde B_i a B_j vyjadřují nákupní indexy měst i a j ;

G_{ij} hodnota $G_{ij} = G_i G_j$, kde G_i a G_j vyjadřují hrubý domácí produkt (kupní síly obyvatel) měst i a j ;

D_{ij} zeměpisná vzdálenost měst i a j ;

T_{ij} průměrná doba letecké přepravy mezi městy i a j .

Druhý gravitační model je podle [12] doporučeno využívat v případě existence konkurenčního letiště (za konkurenční letiště je možno považovat letiště nacházející se do vzdálenosti 200 km). Gravitační model uvažující s existencí konkurenčních letišť má tvar:

$$V_{ij} = e^{\varepsilon} P_{ij}^{\pi} C_{ij}^{\chi} B_{ij}^{\beta} G_{ij}^{\gamma} D_{ij}^{\delta} T_{ij}^{\tau} N_{ij}^{\theta} A_{ij}^{\alpha} W_{ij}^{\omega} \quad (3.5)$$

kde:

N_{ij} hodnota $N_{ij} = N_i N_j$, kde N_i a N_j vyjadřují počet konkurenčních letišť pro města i a j ,

A_{ij} hodnota $A_{ij} = A_i A_j$, kde A_i a A_j vyjadřují průměrné vzdálenosti měst i a j od konkurenčních letišť,

W_{ij} hodnota $W_{ij} = W_i W_j$, kde W_i a W_j vyjadřují hodnoty počtů konkurenčních letišť měst i a j vážených jejich vzdálenostmi.

Jako další gravitační model, který můžeme využít pro predikci poptávky v letecké přepravě, je model z práce [13]. Gravitační model byl navržen pro čínský trh a bral v úvahu existenci nízkonákladových aerolinií (Spring Airlines) a konkurenční vysokorychlostní železnici. Gravitační model má tvar:

$$\ln PAX_{ijt} = \alpha_0 + \alpha_1 GDP_{it} + \alpha_2 GDP_{jt} + \alpha_3 \ln DIST_{ij} + \alpha_4 RAIL_{ijt} + \alpha_5 LCC_{ijt} + \alpha_6 POLICY_t + \alpha_7 TOUR_{ij} + \alpha_8 FUEL_t \quad (3.6)$$

kde:

PAX_{ijt} oboustranný tok cestujících mezi oblastmi i a j za jednotku času t ;

α_0 $\log \alpha$;

α_1 kalibrační koeficient vyjadřující vliv hrubého domácího produktu v oblasti i ;

α_2	kalibrační koeficient vyjadřující vliv hrubého domácího produktu v oblasti j ;
α_3	kalibrační koeficient vyjadřující vliv vzdálenosti;
α_4	kalibrační koeficient vyjadřující vliv přímého železničního spojení;
α_5	kalibrační koeficient vyjadřující vliv existence nízkonákladových dopravců;
α_6	kalibrační koeficient vyjadřující vliv existence liberální politiky v letecké dopravě;
α_7	kalibrační koeficient vyjadřující vliv turistického charakteru relace;
α_8	kalibrační koeficient vyjadřující vliv průměrné ceny paliva;
$GDP_{it}(GDP_{jt})$	hodnoty hrubých domácích produktů za jednotku času t vytvořených v oblastech i a j vyjádřené v 10 000 juanů;
$DIST_{ij}$	vzdálenost mezi oblastmi i a j ;
$RAIL_{ijt}$	proměnná určující existenci přímého železničního spojení mezi oblastmi i a j v čase t ;
LCC_{ijt}	proměnná určující existenci leteckého spojení mezi oblastmi i a j nízkonákladovými dopravci v čase t ;
$POLICY_t$	proměnná určující uplatnění liberální politiky v letectví v čase t ;
$TOUR_{ij}$	proměnná určující turistický charakter leteckého spojení mezi oblastmi i a j ;
$FUEL_t$	průměrná cena paliva v časové jednotce t ;

Uvedený gravitační model (3.6) lze také použít v jednodušším tvaru nezohledňujícím konkurenceschopnost nízkonákladových leteckých dopravců a vysokorychlostní železnice:

$$PAX_{ijt} = \alpha_0 GDP_{it} GDP_{jt} Dist_{ij} \quad (3.7)$$

kde:

PAX_{ijt}	oboustranný tok cestujících mezi oblastmi i a j za jednotku času;
$GDP_{it}(GDP_{jt})$	hrubý domácí produkt oblasti i a j za jednotku času;
$Dist_{ij}$	vzdálenost mezi oblastmi i a j ;
t	jednotka času.

Další typ gravitačního modelu pro predikci poptávky po pravidelné letecké dopravě byl publikován v práci [14]. Jedná se o model spadající do modelů určených pro predikci agregované roční poptávky po přepravě v uvažované relaci. Očekávaná vhodnost zvoleného modelu vyplývá z toho, že jeho autoři zařadili, kromě všech nejčastěji používaných typů prediktorů, také další prediktory jako cenu letenky a dobu přepravy, což mohou být v podmínkách regionálního letiště prediktory významné. Kromě těchto všech předchozích prediktorů model používá jako další prediktory zvolenou dobu provozu pravidelné letecké linky vyjádřenou v počtu měsíců provozu v kalendářním roce, počet leteckých dopravců obsluhujících danou relaci a procento uskutečněných letů za zvolenou dobu provozu, což jsou poměrně snadno dohledatelné statistické informace. Gravitační model má tvar:

$$PAX_{ij} = \alpha Prc_{ij}^{\beta_1} Pop_{ij}^{\beta_2} Bed_{ij}^{\beta_3} e^{(\beta_4 Trm_{ij} + \beta_5 Ttm_{ij} + \beta_6 Trt_{ij} + \beta_7 Cnt_{ij} + \beta_8 Scd_{ij} + \beta_9 Dst_{ij})} \quad (3.8)$$

Po úpravě spočívající v aplikaci pravidel pro počítání s logaritmy lze gravitační model zapsat ve tvaru:

$$\log Pax_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \log Prc_{ij} + \beta_2 \log Pop_{ij} + \beta_3 \log Bed_{ij} + (\beta_4 Trm_{ij} + \beta_5 Ttm_{ij} + \beta_6 Trt_{ij} + \beta_7 Cnt_{ij} + \beta_8 Scd_{ij} + \beta_9 Dst_{ij}) \log e \quad (3.9)$$

kde:

PAX_{ij}	počet cestujících mezi destinacemi i a j ;
β_0	$\log \alpha$;
β_1	kalibrační koeficient vyjadřující vliv ceny letenky;
β_2	kalibrační koeficient vyjadřující vliv populace;
β_3	kalibrační koeficient vyjadřující vliv poptávky po ubytování;
β_4	kalibrační koeficient vyjadřující vliv procenta letů;
β_5	kalibrační koeficient vyjadřující vliv doby letu;
β_6	kalibrační koeficient vyjadřující vliv existence tranzitní destinace;
β_7	kalibrační koeficient vyjadřující vliv počtu dopravců provozujících linku;

β_8	kalibrační koeficient vyjadřující vliv počtu kalendářních měsíců provozu;
β_9	kalibrační koeficient vyjadřující vliv vzdálenosti;
Prc_{ij}	průměrná cena letenky vyjádřená v Kč;
Pop_{ij}	populace mezi destinacemi i a j ;
Bed_{ij}	poptávka po ubytování v destinacích i a j ;
Trm_{ij}	procento odletěných letů v relaci i a j ;
Ttm_{ij}	doba letu v relaci i a j vyjádřená v minutách;
Trt_{ij}	dvouhodnotový faktor indikující existenci tranzitní destinace (v případě, že destinace, do které je z regionálního letiště uvažováno zavedení přímé letecké linky, je tranzitní, potom se dosazuje hodnota 1, v opačném případě se dosazuje hodnota 0);
Cnt_{ij}	počet dopravců operujících na lince;
Scd_{ij}	počet kalendářních měsíců provozu pravidelné linky mezi destinacemi i a j v roce;
Dst_{ij}	vzdálenost mezi destinacemi i a j ;
e	Eulerovo číslo.

kde pro výpočet hodnoty Pop_{ij} a Bed_{ij} jsou doporučeny vztahy:

$$Pop_{ij} = Pop_i \cdot Pop_j \cdot 10^{-6} \quad (3.10)$$

$$Bed_{ij} = Bed_i \cdot Bed_j \cdot 10^{-3} \quad (3.11)$$

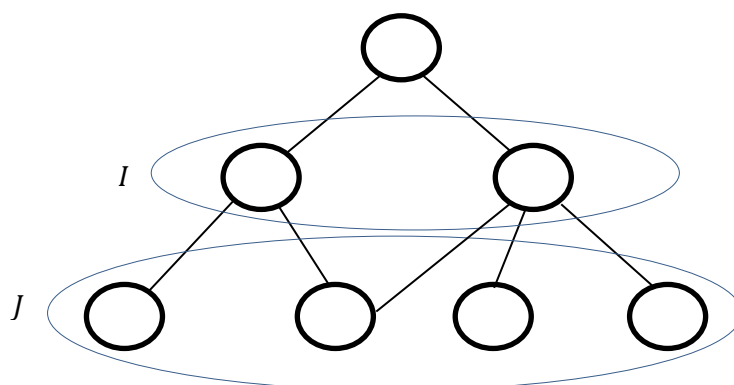
Určitý sumární pohled na gravitační modely využitelné v letecké dopravě uvádí práce [15]. Z této práce je převzata část výsledků, které jsou částečně uvedeny tab. č. 2 a obsahuje přehled výsledků vybraných prací zabývajících se predikcí poptávky po letecké přepravě v závislosti na různých faktorech.

Faktor	Grosche (2007)	Sivrikaya (2013)	Zhang (2016)	Cohen (2016)	Nõmmik (2016)
Cena letenky		x		x	x
Cena paliva		x	x		
Doba přepravy	x	x			
Frekvence letů		x		x	
Hrubý domácí produkt	x	x	x	x	
Index kupní síly	x				
Index liberalizace			x		
Počet cestujících na daném letišti					x
Počet obyvatel jednotlivých oblastí	x	x		x	
Přestupní / přímý let		x			
Spádová oblast	x			x	
Ubytovací kapacita		x			
Vliv nízkonákladových aerolinií			x		
Vliv vysokorychlostní železnice			x		
Vzdálenost	x	x	x	x	x

Tab. č. 2 Přehledová tabulka výsledků vybraných prací zabývajících se predikcí poptávky v letecké dopravě v závislosti na různých vstupních faktorech (zdroj: [15])

3.2 Stávající matematické modely pro optimalizaci destinačního portfolia regionálních letišť

V existujících modelech [16] lze rozhodovací situaci o optimalizaci destinačního portfolia z pohledu regionálního letiště přehledně znázornit hierarchickým grafem uvedeným na obr. č. 3.



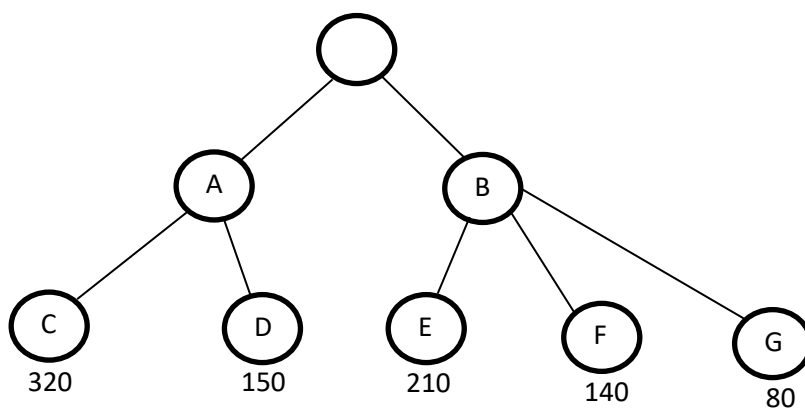
Obr. č. 3: Schematické znázornění rozhodovacího problému z úrovně regionálního letiště
(zdroj: autorka)

Hierarchický graf na obr. č. 3 obsahuje tři úrovně. Horní úroveň reprezentuje regionální letiště, prostřední úroveň zahrnuje tzv. tranzitní destinace (jejichž množina bude v níže uvedených matematických modelech označena symbolem I), což jsou destinace, prostřednictvím kterých je ze strany managementu regionálních letišť uvažováno, že dojde k napojení regionálního letiště na síť existujících linek leteckých dopravců a dolní úroveň zahrnuje tzv. cílové destinace, které reprezentují možná zájmová území obchodní klientely (jejich množina bude v níže uvedených matematických modelech označena symbolem J). Je nutno ještě doplnit informaci, že také tranzitní destinace mohou být pro některé cestující destinací cílovou. Velmi důležité je také uvést skutečnost, že pro cestující, kteří chtějí využívat regionální letiště, je zpravidla akceptovatelný max. 1 přestup v některé z tranzitních destinací.

Uvažujme pro názornost vysvětlení principu rozhodovací situace jednoduchou modelovou úlohu se dvěma tranzitními destinacemi a čtyřmi cílovými destinacemi, ve které jsou predikovány následující hodnoty poptávky po tranzitních a cílových destinacích. Hodnoty denní poptávky do tranzitních a cílových destinací v průběhu plánovacího období jsou uvedeny v tab. č. 3, geografická dostupnost cílových destinací z tranzitních destinací je znázorněna opět pomocí hierarchického grafu na obr. č. 4.

Destinace	Hodnota průměrné denní poptávky
Tranzitní destinace A	0
Tranzitní destinace B	0
Cílová destinace C	320
Cílová destinace D	150
Cílová destinace E	210
Cílová destinace F	140
Cílová destinace G	80

Tab. č. 3 Hodnoty denní poptávky po tranzitních a cílových destinacích (zdroj: autorka)



Obr. č. 4: Schematické znázornění geografické dostupnosti cílových destinací v rámci modelové úlohy pomocí hierarchického grafu (zdroj: autorka)

Uvažujme dále, že regionální letiště má v plánu zavést pravidelné letecké spojení pouze s jednou tranzitní destinací. Za těchto podmínek existují dvě možná přípustná řešení.

V prvním přípustném řešení bude provozováno pravidelné letecké spojení do tranzitní destinace A, v takovém případě bude splněna denní poptávka obchodní klientely ve výši 470 cestujících za den a ve druhém přípustném řešení bude provozováno pravidelné letecké spojení do tranzitní destinace B, a v takovém případě bude splněna denní poptávka obchodní klientely ve výši 430 cestujících za den.

Protože výše uspokojené poptávky obchodní klientely v průběhu plánovacího období je vyšší v prvním přípustném řešení, z hlediska uspokojené poptávky je tedy výhodnější provozovat letecké spojení do tranzitní destinace A.

Jak je z uvedeného textu patrné, je řešená úloha úlohou optimalizačního typu, protože v rámci určitých předem definovaných omezení (jedna pravidelná linka do tranzitní destinace) je nutno maximalizovat efekty, které z plánovaných aktivit plynou.

Jak již bylo uvedeno v úvodu práce, ve výsledku nemusí být příliš efektivní provozovat letecké spojení s každou destinací. Bylo by to sice velmi atraktivní pro cestující, ale nemuselo by to být efektivní pro dopravce, protože by mohlo dojít k rozložení stávající poptávky do více směrů, snížila by se vytíženost letadel a letečtí dopravci by mohli ztratit zájem o provozování letů do tranzitních destinací, případně by se zvýšila „dotační náročnost“ pro zřizovatele letišť. Letiště se často nacházejí v obtížné situaci, kdy si letečtí dopravci vybírají z letišť, která nabízejí při zahájení provozu nových linek podporu. Tato podpora často dosahuje takové úrovně, že letiště odbavuje letadla za ceny, které nezahrnují ani jeho provozní náklady.

Označíme-li symbolem m počet tranzitních destinací, které přicházejí v úvahu pro provozování letů obsluhujících regionální letiště, tedy platí $|I| = m$ a uvažuje-li management regionálního letiště o provozování letů maximálně do p tranzitních destinací, potom počet možných řešení, která přicházejí v úvahu lze matematicky vyjádřit vztahem:

$$\binom{m}{1} + \binom{m}{2} + \dots + \binom{m}{p} = \sum_{i=1}^p \binom{m}{i} \quad (3.12)$$

Modely, které jsou dnes k řešení výše definované úlohy k dispozici, je možno rozdělit podle dvou kategorizačních hledisek:

1. podle míry znalosti informace o potenciální poptávce cestujících,
2. podle úrovně zastupitelnosti tranzitních relací.

Podle míry znalosti informace o potenciální poptávce cestujících je možno existující modely rozdělit na modely pro rozhodovací situace se známou poptávkou a modely pro rozhodovací situace bez známé poptávky.

Podle zastupitelnosti z tranzitních relací je možno existující modely rozdělit na modely s nulovou zastupitelností tranzitní destinace (každá cílová destinace je dostupná pouze s jednou uvažovanou tranzitní destinací), na modely s částečnou zastupitelností tranzitní destinace obsluhovanými cílovými destinacemi (existují destinace dostupné z více uvažovaných tranzitních destinací) a s úplnou zastupitelností tranzitní destinace.

V každé optimalizační úloze musí být v první řadě formulováno tzv. optimalizační kritérium, podle jehož hodnoty je kvalita jednotlivých přípustných řešení vyhodnocována. [17].

Protože úspěšnost a rentabilita regionálních letišť v osobní letecké dopravě bývá ze strany jejich zřizovatelů vyhodnocována mj. i prostřednictvím počtů dostupných cílových destinací nebo celkového počtu odbavených cestujících, mohou jako optimalizační kritéria v modelech podporujících optimalizaci nabídky provozovaných destinací vystupovat právě tyto veličiny.

3.2.1 Matematický model se známou poptávkou a disjunktími množinami cílových destinací

Je dáno regionální letiště, ze kterého je uvažováno o provozování letů do maximálně $2 \leq p < m$ tranzitních destinací ($p \in Z^+$, kde symbol Z^+ bude v dalším textu značit množinu celých kladných čísel) spojujících přímým spojením toto letiště s množinou tranzitních destinací I , přes které je dostupná množina cílových destinací J . Pro každou tranzitní destinaci $i \in I$ je známa množina cílových destinací, které jsou prostřednictvím dané tranzitní destinace dostupné (tato množina bude označena symbolem J_i) a pro každou cílovou destinaci je známa její poptávka δ_j . Platí, že v množině cílových destinací J neexistuje destinace, která by byla dostupná ze dvou nebo více tranzitních letišť. Úkolem je rozhodnout o výběru maximálně p tranzitních destinací tak, aby se vlivem jejich provozování maximalizoval celkový počet odbavených cestujících na regionálním letišti.

Poznámka: pro situace, kdy $p = 0$ nemá smysl řešení provádět, pro situace, kdy $p = 1$ je řešení triviální (stačí vybrat destinaci, pro kterou bude počet odbavených cestujících maximální). Pro situaci, kdy $p = |I| = m$ má úloha jedno přípustné řešení, dané jediné přípustné řešení tedy musí být zároveň řešením optimálním. Analogické úvahy se vztahují i na ostatní varianty existujících a navrhovaných modelů.

Řešení úlohy:

Účelová funkce má maximalizovat celkový počet cestujících, jimž bude nabízeno spojení do jejich cílových destinací s maximálně jedním přestupem v některé z tranzitních destinací (cílovou destinací cestujícího může být i tranzitní destinace). Protože cílové destinace jsou prostřednictvím tranzitních destinací obsluhovány disjunktě, stačí pro potřeby navrhovaného modelu definovat pro každou tranzitní destinaci $i \in I$ příslušný poptávkový potenciál vzniklý součtem hodnot poptávky po cílových destinacích obsluhovaných přes danou tranzitní destinaci, tedy:

$$d_i = \sum_{j \in J_i} \delta_j \quad (3.13)$$

Pokud generuje poptávku i samotná tranzitní destinace $i \in I$, označme ji např. jako σ_i , potom pro hodnotu poptávky d_i po tranzitní destinaci $i \in I$ platí:

$$d_i = \sum_{j \in J_i} \delta_j + \sigma_i \quad (3.14)$$

Celkový počet odbavených cestujících, kterým bude nabízena v rámci destinačního portfolia pravidelná letecká linka, získáme součtem počtů odbavených cestujících, kteří využijí lety provozované do tranzitních destinací.

Za účelem hledání optima stačí zavést do úlohy pouze jednu skupinu proměnných, přičemž každá proměnná se bude vztahovat k tranzitní destinaci a bude mít označení např. z_i . Proměnná z_i pro $i \in I$ bude bivalentní a bude modelovat rozhodnutí o obsluze konkrétní tranzitní destinace pravidelnou leteckou linkou. Bude-li po ukončení optimalizačního výpočtu $z_i = 1$, potom pravidelná letecká linka z regionálního letiště do tranzitní destinace $i \in I$ bude v provozu, bude-li po ukončení optimalizačního výpočtu $z_i = 0$, potom pravidelná letecká linka z regionálního letiště do tranzitní destinace $i \in I$ v provozu nebude.

Matematický model pro řešení úlohy, ve které se maximalizuje počet potenciálních uspokojených cestujících, bude mít tvar:

$$\max f(z) = \sum_{i \in I} d_i z_i \quad (3.15)$$

za podmínek

$$\sum_{i \in I} z_i \leq p \quad (3.16)$$

$$z_i \in \{0; 1\} \quad \text{pro } i \in I \quad (3.17)$$

Výraz (3.15) reprezentuje účelovou funkci – celkový počet odbavených cestujících na regionálním letišti. Omezující podmínka (3.16) zajistí, že při rozhodování o výběru tranzitních destinací do množiny provozovaných tranzitních destinací nebude překročen jejich maximální přípustný počet p . Skupina omezujících podmínek (3.17) vymezuje definiční obory proměnných použitých v modelu.

3.2.2 Matematický model se známou poptávkou

Je zobecněním varianty úlohy uvedené v podkapitole 3.2.1. Zobecnění spočívá v tom, že minimálně do jedné cílové destinace je již provozována pravidelná letecká linka z minimálně jedné tranzitní destinace (a potenciální cestující má na výběr libovolnou z těchto linek).

Je dáno regionální letiště, ze kterého je uvažováno o provozování letů do maximálně $2 \leq p < m$ destinací ($p \in \mathbb{Z}^+$), které umožňují spojit toto letiště s významnými zahraničními tranzitními letišti. Je dána množina tranzitních destinací I a množina cílových destinací J . Pro každou tranzitní destinaci je známa množina cílových destinací, které jsou z dané tranzitní destinace dostupné a počet cestujících, kteří mají zájem o cestování z regionálního letiště do cílové destinace d_j . Úkolem je rozhodnout o výběru maximálně p tranzitních destinací tak, aby se vlivem jejich provozování maximalizoval celkový počet odbavených cestujících z regionálního letiště.

V tomto případě nelze postupovat způsobem, který je uveden v podkapitole 3.2.1, neboť cestující, který by cestoval do cílové destinace dostupné z více tranzitních letišť, by se do celkového počtu odbavených cestujících započítal vícekrát (konkrétně tolikrát, z kolika tranzitních destinací by byla cílová destinace dostupná).

Řešení úlohy:

Do úlohy se zavede incidenční matice \mathbf{A} , přičemž jejími prvky budou hodnoty 0 a 1. V případě, že cílová destinace $j \in J$ je v současnosti dostupná z tranzitní destinace $i \in I$ (pravidelnou přímou leteckou linkou), bude pro prvek incidenční matice platit $a_{ij} = 1$, v opačném případě bude pro prvek incidenční matice platit $a_{ij} = 0$.

Do úlohy se v této variantě úlohy musí zavést 2 skupiny bivalentních proměnných.

Bivalentní proměnná z_i , pro $i \in I$, bude opět modelovat rozhodnutí o provozování pravidelné letecké linky do tranzitní destinace $i \in I$. Když po skončení optimalizačního výpočtu bude platit, že $z_i = 1$, pravidelná letecká linka do tranzitní destinace $i \in I$ bude v provozu, když po skončení optimalizačního výpočtu bude platit, že $z_i = 0$, bude to znamenat opak.

Další proměnnou, která do modelu musí být zahrnuta je bivalentní proměnná y_j , pro $j \in J$, která udává, zda se v důsledku zavedení pravidelné letecké linky do některé z tranzitních destinací obsažených v množině I z regionálního letiště stane cílová destinace přes některou z tranzitních destinací dostupnou. Když po skončení optimalizačního výpočtu bude platit, že $y_j = 1$, potom to bude znamenat, že cílová destinace $j \in J$ se stane dostupnou (v důsledku provozu pravidelné letecké linky do některé z tranzitních destinací), když po skončení optimalizačního výpočtu bude platit, že $y_j = 0$, bude to znamenat opak.

Matematický model pro řešení úlohy, ve které se maximalizuje počet potenciálních uspokojených cestujících, bude mít tvar:

$$\max f(y, z) = \sum_{j \in J} d_j y_j \quad (3.18)$$

za podmínek:

$$\sum_{i \in I} z_i \leq p \quad (3.19)$$

$$y_j \leq \sum_{i \in I} a_{ij} z_i \quad \text{pro } j \in J \quad (3.20)$$

$$z_i \in \{0; 1\} \quad \text{pro } i \in I \quad (3.21)$$

$$y_j \in \{0; 1\} \quad \text{pro } j \in J \quad (3.22)$$

Výraz (3.18) reprezentuje účelovou funkci – celkový počet cestujících odbavených z regionálního letiště. Omezující podmínka (3.19) zajistí, že při rozhodování o provozování pravidelných leteckých linek nebude překročen jejich maximální přípustný počet. Skupiny omezujících podmínek (3.20) zajistí požadované vazby mezi jednotlivými skupinami proměnných a dále zajistí, bude-li cílová destinace určena jako dostupná, potom do některé z příslušných tranzitních destinací, ze kterých je cílová destinace dostupná, pravidelná letecká linka. Skupiny omezujících podmínek (3.21) a (3.22) vymezují definiční obory proměnných použitých v modelu.

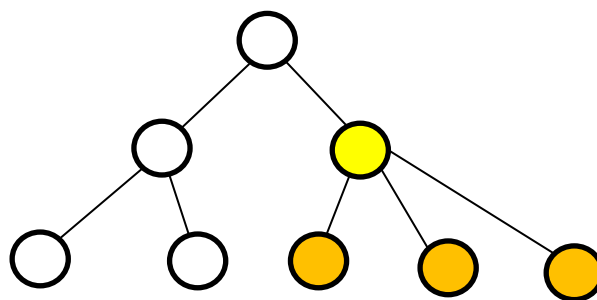
Má-li být do modelu zahrnuta i poptávka po tranzitních destinacích, musí se zadání úlohy rozšířit o potřebná vstupní data a následně upravit i matematický model. Bude-li poptávka po přepravě do tranzitní destinace $i \in I$ označena jako t_i , potom dojde ke změně účelové funkce do tvaru:

$$\max f(y, z) = \sum_{j \in J} d_j y_j + \sum_{i \in I} t_i z_i \quad (3.23)$$

přičemž skupiny omezujících podmínek pro tuto variantu budou shodné se skupinami podmínek (3.20) – (3.22).

3.2.3 Matematický model s neznámou poptávkou a disjunktními množinami cílových destinací

U tohoto matematického modelu není optimalizačním kritériem předpokládaný počet přepravených cestujících (poptávka po přepravě), ale počet cílových destinací dostupných z regionálního letiště s jedním přestupem v tranzitní destinaci. Ke každé tranzitní destinaci se určí množina cílových destinací, které jsou z ní dostupné. Pravidelné linky do tranzitních destinací se volí na základě maximálních počtů linek provozovaných z tranzitních destinací do cílových destinací. Je-li uvažováno např. s provozováním pravidelné linky do jedné tranzitní destinace, potom bude pravidelná linka provozována do té tranzitní destinace, která je pravidelnými linkami propojena s maximálním počtem cílových destinací, jak je znázorněno obr. č. 5, kde je tranzitní destinace, do které bude provozována pravidelná letecká linka vyznačena žlutě.



Obr. č. 5 Znázornění tranzitní destinace s největším počtem cílových destinací (zdroj: autorka)

Označíme-li e_i počet cílových destinací dostupných z tranzitní destinace $i \in I$ pravidelnými leteckými linkami, bude mít matematický model pro řešení úlohy, ve které se maximalizuje počet dostupných cílových destinací, účelovou funkci ve tvaru:

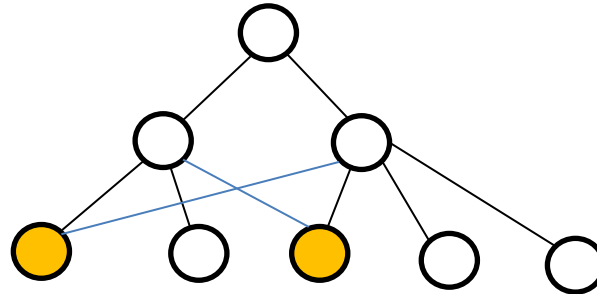
$$\max f(z) = \sum_{i \in I} e_i z_i \quad (3.24)$$

a bude řešen za podmínek (3.16) a (3.17).

3.2.4 Matematický model s neznámou poptávkou

Analogicky, jako ve variantě úlohy se známou poptávkou, je zobecněním varianty úlohy uvedené v podkapitole 3.2.3. Zobecnění opět spočívá v tom, že je upuštěno od požadavku na disjunktnost podmnožin cílových destinací dostupných z jednotlivých tranzitních destinací. U uvedené varianty úlohy není optimalizačním kritériem celkový počet přepravených cestujících z regionálního letiště do cílových destinací, ale opět počet dostupných cílových

destinací, jako v podkapitole 3.2.3. Je-li některá z cílových destinací dostupná z více tranzitních destinací, potom je důležité, aby se tato cílová destinace započítala do hodnoty účelové funkce pouze jednou. Schéma dostupnosti cílových destinací z více tranzitních destinací znázorňuje obr. č. 6.



Obr. č. 6 Cílové destinace dostupné z více tranzitních destinací (zdroj: autorka)

Matematický model pro řešení úlohy, ve které se maximalizuje počet dostupných cílových destinací, účelovou funkce ve tvaru:

$$\max f(y, z) = \sum_{j \in J} y_j \quad (3.25)$$

a model bude řešen za podmíněk (3.19) až (3.22).

3.2.5 Stručné shrnutí

Analýzou výše popsaných modelů bylo zjištěno, že v nich existují určité rezervy, resp. zůstávají v nich nedořešeny některé aspekty důležité z hlediska reálného rozhodování cestujících, které se týkají především nezpracování některých v praxi velice důležitých limitujících faktorů ovlivňujících poptávku po provozovaných pravidelných leteckých linkách (např. proměnlivost poptávky v průběhu jednotlivých dní v průběhu plánovacího období, ale také v průběhu konkrétního dne v průběhu plánovacího období, změny v časové dostupnosti cílových destinací z tranzitních destinací apod.).

3.3 Možnosti matematické podpory projektů zavádění nových pravidelných leteckých linek

V letecké praxi je důležité, aby proces vedoucí k zahájení provozu nové pravidelné linky probíhal pokud možno bezproblémově, aby všechny činnosti na sebe plynule navazovaly a nedocházelo k žádným prodlevám či zdržením v důsledku organizačních pochybení.

K zajištění plynulosti a efektivity procesu přípravy zahájení provozu nové pravidelné letecké linky je možno použít vybrané metody projektového řízení. Jako vhodná metoda, která může být pro přípravu nové letecké linky zvolena, se jeví metoda PERT (Program Evaluation and Review Technique), která je stochastickým zobecněním metody CPM (Critical Path Method). Metoda PERT se používá při řízení projektů majících stochastickou povahu, tzn. délku trvání jednotlivých činností, lze hůře odhadnout. Cílem metody PERT je takové uspořádání daných činností, které by zajistilo dodržení termínů pro dokončení projektu s dostatečně vysokou nebo předem definovanou pravděpodobností. [18]

Metoda PERT, analogicky jako metoda CPM, má svou přípravnou a výpočetní fázi.

Přípravná fáze PERT obsahuje sestavení seznamu činností, které je nutno v rámci projektu realizovat s označením jednotlivých činností názvy a čísla, identifikací názvů a čísel jednotlivých činností, které dané činnosti bezprostředně předcházejí (jejich ukončením je zahájení dané činnosti podmíněno), identifikací názvů a čísel činností, které po daných činnostech bezprostředně následují (ukončení dané činnosti podmiňuje jejich vykonání) a odhadu doby délek jednotlivých činností.

Při realizaci výpočetní fáze metody PERT jsou doby trvání jednotlivých činností považovány za náhodné proměnné řídicí se rozdělením pravděpodobnosti β . Toto rozdělení má konečné rozpětí a obecně není symetrické. Příklad průběhu hustoty pravděpodobnosti rozdělení β je uveden na obr. č. 7.



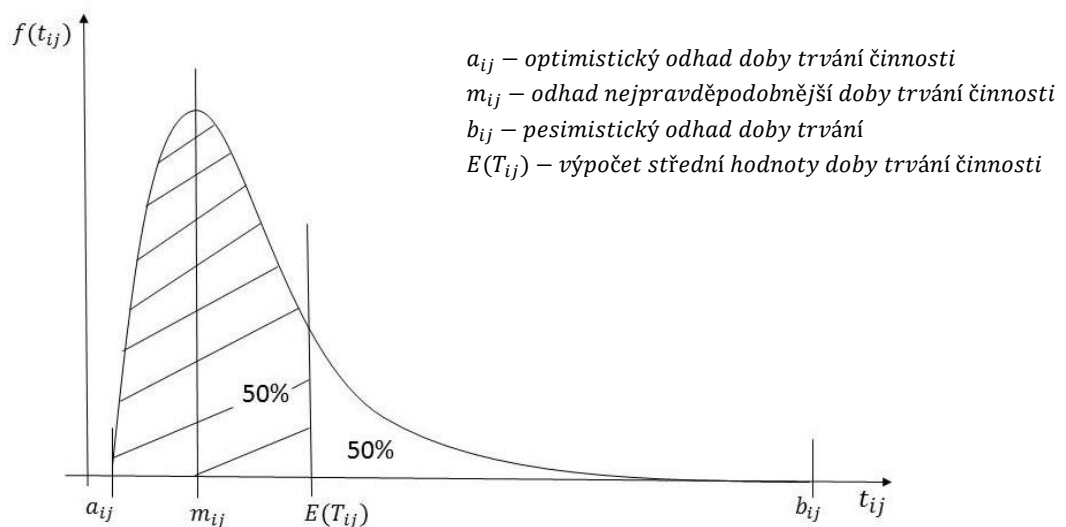
Obr. č. 7 Příklad průběhu hustoty pravděpodobnosti rozdělení β (zdroj: autorka podle [19])

K realizaci výpočetní části se využívá nejčastěji znázornění pomocí konečného a hranově ohodnoceného grafu, ve kterém vrcholy reprezentují začátky a konce jednotlivých činností,

hrany reprezentují činnosti samé a ohodnocení hran reprezentují doby trvání jednotlivých činností. Na rozdíl od metody CPM je však ohodnocení každé hrany h_{ij} tvořeno trojicí časových údajů:

- optimistickým odhadem doby trvání činnosti a_{ij} – optimistický odhad reprezentuje nejkratší možnou dobu trvání činnosti reprezentované hranou h_{ij} , tedy dobu, za kterou je danou činnost možno provést při nejpriznivějších dostupných podmínkách,
- pesimistickým odhadem doby trvání činnosti b_{ij} – pesimistický odhad reprezentuje nejdelší možnou dobu trvání činnosti reprezentované hranou h_{ij} , tedy dobu, za kterou je danou činnost možno provést při nejnepřiznivějších dostupných podmínkách,
- nejpravděpodobnějším odhadem doby trvání činnosti m_{ij} – nejpravděpodobnější odhad reprezentuje nejčastěji reálnou dobu trvání činnosti reprezentované hranou h_{ij} , tedy, dobu, za kterou je danou činnost možno provést při normálních podmínkách.

Polohy jednotlivých časových údajů je možno znázornit graficky, viz obr. č. 8.



Obr. č. 8 – Polohy jednotlivých odhadů v rámci β rozdělení pravděpodobnosti

(zdroj: autorka podle [20])

Na základě uvedených odhadů je možno pro každou hranu h_{ij} vypočítat následující charakteristiky:

- $b_{ij} - a_{ij}$ – variační rozpětí veličiny reprezentující dobu trvání činnosti,

- $E(T_{ij})$ – střední dobu trvání činnosti reprezentované hranou h_{ij}

$$E(T_{ij}) = \frac{a_{ij} + 4m_{ij} + b_{ij}}{6} \quad (3.26)$$

- σ_{ij}^2 – rozptyl doby trvání činnosti reprezentované hranou h_{ij} ,

$$\sigma_{ij}^2 = \left(\frac{b_{ij} - a_{ij}}{6} \right)^2 \quad (3.27)$$

- σ_{ij} – směrodatnou odchylku doby trvání činnosti reprezentované hranou h_{ij}

$$\sigma_{ij} = \frac{b_{ij} - a_{ij}}{6} \quad (3.28)$$

Pro výpočet kritické cesty pomocí metody PERT jsou zavedeny následující symboly a vztahy, které vycházejí z metody CPM. [19]

$t_i^{(0)}$ – nejdříve možný začátek činnosti $[i, j]$ reprezentované hranou h_{ij} (vycházející z vrcholu i a končící ve vrcholu j), tj. časový okamžik, v němž může činnost $[i, j]$ reprezentovaná hranou h_{ij} nejdříve zahájena,

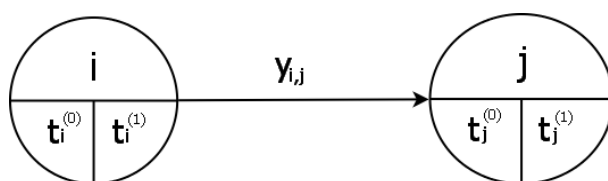
$t_i^{(0)} + y_{ij}$ – nejdříve možný konec činnosti $[i, j]$ reprezentované hranou h_{ij} , tj. časový okamžik, v němž může činnost $[i, j]$ reprezentovaná hranou h_{ij} nejdříve ukončena,

$t_j^{(1)}$ – nejpozději přípustný konec činnosti $[i, j]$ reprezentované hranou h_{ij} , tj. časový okamžik, v němž musí být činnost $[i, j]$ reprezentovaná hranou h_{ij} nejpozději ukončena,

$t_j^{(1)} - y_{ij}$ – nejpozději přípustný začátek činnosti $[i, j]$ reprezentované hranou h_{ij} , tj. časový okamžik, v němž musí být činnost $[i, j]$ reprezentovaná hranou h_{ij} nejpozději zahájena.

příčemž: $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$, kde n – počet uzlů sítě, index $i = 1$ odpovídá počátečnímu uzlu sítě (okamžiku zahájení projektu) a index $i = n$ odpovídá koncovému uzlu sítě (okamžiku ukončení projektu).

Význam jednotlivých symbolů je pro názornost schematicky znázorněn na obr. č. 9.



Obr. č. 9 Znázornění zavedené symboliky (zdroj: [21])

Ve výpočetní fázi se nepracuje přímo s hodnotami y_{ij} , ale používají se vypočítané hodnoty střední doby trvání jednotlivých činností $E(T_{ij})$. Na základě jednotlivých středních dob trvání činností zařazených na kritickou cestu vypočítáme i předpokládanou střední délku trvání projektu $E(T)$, která bude součtem středních dob trvání kritických činností.

V zadání projektu může být zadána i maximální přípustná doba trvání projektu T_p , během které by měl být projekt ukončen. Za účelem zjištění pravděpodobnosti včasného ukončení projektu umožňuje metoda PERT provádět pravděpodobnostní analýzu projektu, v rámci které je možno nalézt odpovědi na základní dvě otázky:

- a) jaká je pravděpodobnost dodržení zvoleného termínu ukončení projektu?
- b) jaký plánovaný termín ukončení projektu určit, aby byl projekt splněn v tomto termínu s definovanou pravděpodobností?

Za účelem hledání odpovědi na obě otázky se vypočítají hodnoty rozptylu a směrodatné odchylky doby trvání projektu dle vzorců (3.27) a (3.28). Při výpočtu uvedených dvou hodnot se vychází se z jednoho z pravidel pro počítání s rozptyly, a to konkrétně z pravidla:

$$D\left(\sum_{i=1}^n X_i\right) = \sum_{i=1}^n D(X_i) \quad (3.29)$$

a dále se vychází z předpokladu, že celková doba projektu se řídí normálním rozdělením pravděpodobnosti se známou střední hodnotou $E(T)$ odpovídající střední době trvání projektu a známou hodnotou směrodatné odchylky $\sigma(T)$ vypočítané ze vztahu (3.28).

Pro stanovení odpovědi na první otázku lze využít tabelované hodnoty distribuční funkce normovaného normálního rozdělení pravděpodobnosti a vypočítat, že pravděpodobnost skutečné doby trvání projektu T nepřekročí stanovenou hodnotu plánované doby trvání projektu T_p na základě vztahu

$$P(T \leq T_p) = \Phi\left(\frac{T_p - E(T)}{\sigma(T)}\right) \quad (3.30)$$

kde symbol $P(T \leq T_p)$ reprezentuje pravděpodobnost, že skutečná doba trvání projektu T nepřekročí stanovenou hodnotu plánované doby trvání projektu T_p a symbol $\Phi\left(\frac{T_p - E(T)}{\sigma(T)}\right)$ reprezentuje hodnotu distribuční funkce normovaného normálního rozdělení v bodě $\frac{T_p - E(T)}{\sigma(T)}$.

Odpovědí na druhou otázku je řešení inverzní úlohy k úloze předchozí, kdy při známé hodnotě pravděpodobnosti hledáme hodnotu T_p . V tabulce distribuční funkce normovaného normálního rozdělení bude na základě předem definované hodnoty pravděpodobnosti vyhledán bod na ose x , v němž distribuční funkce nabývá danou hodnotu. Označme daný bod na ose x jako \tilde{x} . Potom při určení hodnoty T_p řešíme rovnici

$$\frac{T_p - E(T)}{\sigma(T)} = \tilde{x}$$

odkud pro hodnotu T_p přímo plyne

$$T_p = \tilde{x} \sigma(T) + E(T) \quad (3.31)$$

4. CÍLE PRÁCE

Na základě analýzy současného stavu poznání byly pro připravovanou disertační práci stanoveny 3 hlavní cíle:

1. otestovat vhodnost, příp. navrhnout úpravy existujících gravitačních modelů pro odhad poptávkového potenciálu tranzitních destinací,
2. rozšířit spektrum existujících matematických modelů pro optimalizaci destinačního portfolia,
3. vytvořit obecný projekt zavedení pravidelné letecké linky z regionálního letiště a aplikovat obecné matematické metody sloužící pro řízení projektů na jeho řízení.

5. NÁVRH ŘEŠENÍ

5.1 Testování využitelnosti gravitačních modelů při vyhodnocování potenciálu tranzitních destinací

Pro potřeby predikce poptávky v relaci regionální letiště – tranzitní destinace byl vybrán jako základ gravitační model popsáný rovnicí (3.8) nebo jejím upraveným tvarem (3.9). Gravitační model (3.8), nebo (3.9) vyžaduje následující vstupní hodnoty:

1. informace o průměrné ceně letenky v relaci i, j ;
2. informace o populaci v destinacích i, j ;
3. informace o poptávce po ubytování v destinacích i, j ;
4. informace o procentu uskutečněných letů v relaci i, j ;
5. informace o době letu v relaci i, j ;
6. informace indikující existenci tranzitní destinace (která zvyšuje atraktivitu připravované pravidelné letecké linky),
7. informace o počtu leteckých dopravců, kteří budou operovat na připravované pravidelné letecké lince v relaci i, j ;
8. informace o době provozu v průběhu roku vyjádřené v počtu měsíců provozu,
9. informace o vzdálenosti mezi destinacemi i, j .

Na rozdíl od mnoha jiných gravitačních modelů umožňuje tento model kromě hodnot produktivity zdrojové oblasti a atraktivity cílové oblasti a jejich vzdálenosti zahrnout dále významné prediktory, kterými jsou doba přepravy, cena přepravy, počet leteckých dopravců operujících na dané relaci a stabilita letového řádu vyjádřená dobou provozu v počtu kalendářních měsíců v průběhu roku a procentem uskutečněných letů za zvolenou dobu provozu.

Ve vybraném gravitačním modelu (3.8) nebo (3.9) však byly navrženy dvě zásadní změny:

1. došlo ke změně vstupních faktorů reprezentujících produktivitu regionálního letiště a atraktivitu tranzitní destinace,
2. byl eliminován vliv vstupního faktoru – ubytovacích kapacit ve spádových oblastech regionálního letiště a tranzitní destinace.

Navržená změna vstupních faktorů reprezentujících produktivitu regionálního letiště a atraktivitu tranzitní destinace spočívá v tom, že místo hodnot velikostí populací [14] nebo počtů odbavených cestujících na odletu či příletu [15], budou dosazeny hodnoty reprezentující

rozsahy pravidelného leteckého provozu na regionálním letišti a v tranzitní destinaci vyjádřené v počtech provozovaných pravidelných linek.

Eliminace vlivů ubytovacích kapacit na regionálním letišti a v tranzitní destinaci byla provedena proto, že tyto informace mohou být velice obtížně objektivně zjistitelné, zejména v současné době, kdy spontánně vznikají nové ubytovací kapacity, např. služba Airbnb. Navíc bude zajímavé sledovat konvergenci gravitačních modelů při neznalosti či záměrném vynechání ubytovacích kapacit, které jsou v gravitačním modelu (3.8) nebo (3.9) jedním ze základních prediktorů.

Upravený gravitační model (3.8) nebo (3.9) bude mít pro další práci tedy tvar:

$$\log PAX_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \log Prc_{ij} + \beta_2 \log Pop_{ij} + (\beta_3 Trm_{ij} + \beta_4 Ttm_{ij} + \beta_5 Trt_{ij} + \beta_6 Cnt_{ij} + \beta_7 Scd_{ij} + \beta_8 Dst_{ij}) \log e \quad (5.1)$$

kde:

- β_3 kalibrační koeficient vyjadřující vliv procenta skutečně realizovaných letů,
- β_4 kalibrační koeficient vyjadřující vliv doby letu,
- β_5 kalibrační koeficient vyjadřující vliv existence tranzitní destinace,
- β_6 kalibrační koeficient vyjadřující vliv počtu společností operujících v dané relaci,
- β_7 kalibrační koeficient vyjadřující vliv doby provozu v počtu kalendářních měsíců,
- β_8 kalibrační koeficient vyjadřující vliv vzdálenosti.

Význam ostatních symbolů uvedených ve vztahu (5.1) odpovídá významům uvedeným u vztahů (3.8) nebo (3.9).

Pro predikci poptávky na dané relaci je nutno mít k dispozici i hodnoty kalibračních koeficientů. Data týkající se produktivity regionálního letiště a atraktivity tranzitní destinace byla získána z databáze Eurostat [22] (databáze vytvářené Statistickým úřadem Evropské unie).

Když je predikována poptávka po relaci, která nebyla v minulosti v provozu nebo dostupná data nelze z důvodu nízké relevance použít (dále jen „řešená relace“), je třeba kalibraci gravitačního modelu realizovat s využitím relací, které jsou svým charakterem a provozními

aspekty řešené relaci příbuzné. Charakterem a podobnými provozními aspekty se rozumí například počet obyvatel v oblastech (či jinak vyjádřená produktivita zdrojové a atraktivita cílové oblasti), skutečnost, zda se jedná o regionální letiště, zda existuje potenciál obchodní klientely, vzdálenost od metropolitního města (letiště), nebo časová dostupnost metropole železniční dopravou.

Při využívání informací o poptávce v relacích příbuzných řešené relaci je však vhodné kromě kalibrace gravitačního modelu provést i jeho validaci, tedy zjistit, do jaké míry dává gravitační model adekvátní odezvu na hodnoty poptávky v relacích svým charakterem příbuzných řešené relaci. Množinu relací příbuzných řešené relaci je tedy vhodné rozdělit na dvě neprázdné disjunktní podmnožiny, přičemž jejich sjednocením vznikne původní množina příbuzných relací, kde každá z uvedených dvou podmnožin bude v rámci testování gravitačního modelu využita k jinému účelu. První podmnožina bude využita ke kalibraci gravitačního modelu, proto bude v dalším textu označována jako kalibrační podmnožina relací, druhá podmnožina bude využita k validaci gravitačního modelu, proto bude v dalším textu označována jako validační podmnožina relací.

Postup experimentu s gravitačním modelem za účelem jeho využití pro predikci poptávky v řešené a dosud neprovozované relaci se tedy bude skládat ze tří etap:

1. kalibrační etapa,
2. validační etapa,
3. predikční etapa.

V kalibrační etapě tedy proběhne kalibrace gravitačního modelu s využitím kalibrační podmnožiny relací. Výsledkem kalibrační etapy jsou hodnoty kalibračních koeficientů vyskytujících se ve zvoleném gravitačním modelu. Proces kalibrace gravitačního modelu bude probíhat s využitím funkce Řešitel v programu MS Excel. Praktické experimenty s funkcí Řešitel ukázaly, že zvolená metoda může hodnoty kalibračních koeficientů zpřesňovat i ve více, než jedné iteraci. Proto je vhodné metodu použít opakovaně do té doby, než dojde ke stabilizaci zpřesňovaných hodnot kalibračních koeficientů. Stabilizace nastane, když se hodnoty koeficientů vypočítané v určité iteraci v následující iteraci nezmění.

Ve validační etapě bude kalibrovaný gravitační model aplikován na validační podmnožinu relací. Výsledkem validační etapy bude predikce poptávky po relacích zařazených do validační podmnožiny. Vlastní proces validace bude proveden porovnáním predikovaných hodnot

poptávky zjištěných pomocí kalibrovaného gravitačního modelu s údaji o skutečné poptávce zveřejněných v databázi [22]. Nebudou-li oba výsledky vykazovat významné odchylky (za nevýznamné odchylky budou považovány odchylky v intervalu $\pm 20\%$ od hodnoty skutečné poptávky), bude tímto možno kalibrovaný gravitační model prohlásit za validní. Predikce poptávky pro relace zařazené do validační podmnožiny bude probíhat opět s využitím kalibračních koeficientů získaných v předchozí etapě prostřednictvím funkce Řešitel v programu MS Excel.

Pro validaci modifikovaného gravitačního modelu budou z databáze [22] za účelem identifikace hodnot produktivity regionálních letišť extrahována data týkající se počtů pravidelných linek odlétávajících z regionálních letišť, jejichž relace jsou zařazeny do validační podmnožiny relací. Dále z databáze [22] za účelem identifikace hodnot atraktivity tranzitních destinací (uzlových letišť) extrahována data týkající počtů pravidelných linek přilétávajících/odlétávajících do/z daných tranzitních destinací (odpovídajících počtům cílových destinací dostupných z tranzitních destinací). Na základě zjištěných hodnot produktivit regionálních letišť a atraktivit tranzitních destinací budou pro každou relaci zařazenou do validační podmnožiny vypočteny hodnoty Pop_{ij} . Dále musí být o každé relaci zařazené do podmnožiny validačních relací zjištěny všechny podstatné údaje potřebné k výpočtu predikovaného průměrného měsíčního počtu cestujících v dané (jednosměrné) relaci z regionálního letiště do tranzitní destinace. Po dosažení všech hodnot do vzorce (5.1) a s využitím kalibračních koeficientů zjištěných v kalibrační etapě, bude vypočtena predikovaná hodnota poptávky v dané validační relaci. Tato hodnota predikované poptávky bude následně porovnána se skutečnou hodnotou poptávky získanou z [22].

V predikční etapě bude validovaný gravitační model aplikován pro predikci jednosměrné poptávky na dosud neprovozované relaci z regionálního letiště do tranzitní destinace. Hodnoty produktivity a atraktivity letišť, kterými je nová relace vymezena, budou opět získány z databáze [22]. Opět platí, že hodnota produktivity se bude vztahovat k regionálnímu letišti a hodnota atraktivity k tranzitní destinaci. Při stanovení hodnot produktivity a atraktivity bylo uvažováno tak, že relace, pro kterou je poptávka predikována, je započtena do počtů provozovaných relací jak v případě regionálního letiště, tak v případě tranzitní destinace. Na základě známých hodnot produktivity regionálního letiště a atraktivity tranzitní destinace bude opět vypočtena hodnota Pop_{ij} . Dále musí být opět o nové relaci zjištěny všechny podstatné údaje potřebné k výpočtu predikovaného průměrného měsíčního počtu cestujících

v dané (jednosměrné) relaci z regionálního letiště do tranzitní destinace. Dosazením všech hodnot do vzorce (5.1) a s použitím kalibračních koeficientů vypočtených v kalibrační etapě bude vypočítána predikovaná hodnota poptávky na nově zvažované relaci spojující regionální letiště s tranzitní destinací.

5.2 Návrh nových matematických modelů pro optimalizaci destinačního portfolia regionálních letišť

Analýzou modelů popsaných v podkapitole 3.2 bylo zjištěno, že v nich existují určité nedořešené aspekty důležité z hlediska reálného rozhodování cestujících. Uvedené aspekty lze spatřovat ve dvou úrovních:

1. v absenci modelů umožňujících pracovat s proměnlivostí poptávky v průběhu plánovacího období,
2. v absenci modelů umožňujících pracovat s časovou dostupností cílových destinací v tranzitních destinacích.

Proto budou dále v textu disertační práce navrženy modely, které by uvedené nedostatky existujících modelů alespoň částečně eliminovaly. Při návrhu nových modelů bude navazováno na strukturu modelů popsaných v podkapitole věnované současnému stavu poznání. Při návrhu nových modelů pracujících s variabilní poptávkou v průběhu plánovacího období budou z podkapitoly 3.2, pochopitelně, rozvíjeny pouze modely zohledňující v účelové funkci hodnoty poptávky po jednotlivých destinacích.

Plánovacím obdobím pro účely níže uvedeného textu (jak je to v letectví obvyklé) bude uvažován 1 týden. Bez újmy na obecnosti může být týdnem chápáno období jak 7 kalendářních dnů tak i 5-ti pracovních dnů. Mimořádnosti spočívající v jednorázových odchylkách od pravidelného týdenního letového řádu nebudou uvažovány.

5.2.1 Návrh matematických modelů pro práci s variabilní poptávkou v průběhu plánovacího období

Variabilita poptávky v průběhu plánovacího období bude v navrhovaných modelech zohledněna prostřednictvím rozšíření možnosti zadávání různých hodnot poptávky ve vymezených denních časových periodách, na které budou jednotlivé dny rozloženy.

V kombinaci s variabilní poptávkou v průběhu dne může být rovněž požadováno, aby se do stejné tranzitní destinace létalo každý den ve stejné časové periodě. Celkem tedy bude v podkapitole 5.2.1 prezentováno 6 nových matematických modelů:

1. model s možností zpracování variabilní poptávky v průběhu dne, disjunktími podmnožinami cílových destinací a bez požadavku na uskutečňování letů provozovaných do stejné tranzitní destinace ve stejné denní časové periodě každý den v průběhu plánovacího období,
2. model s možností zpracování variabilní poptávky v průběhu dne, disjunktími podmnožinami cílových destinací a s požadavkem na uskutečňování letů provozovaných do každé tranzitní destinace ve stejné denní časové periodě každý den v průběhu plánovacího období,
3. model s možností zpracování variabilní poptávky v průběhu dne, disjunktími podmnožinami cílových destinací a s požadavkem na uskutečňování letů provozovaných do stejné tranzitní destinace ve stejné denní časové periodě každý den v průběhu plánovacího období pro všechny pravidelné linky provozované tranzitní destinace (speciální případ varianty uvedené v bodu 2, kdy požadavek na uskutečňování letů ve stejné časové periodě je uplatněn na každou provozovanou tranzitní destinaci, neznámá to však, že by bylo vyžadováno, aby pravidelné linky do všech provozovaných destinací byly provozovány ve stejné časové periodě),
4. model s možností zpracování variabilní poptávky v průběhu dne bez požadavku na uskutečňování letů provozovaných do stejné tranzitní destinace ve stejné denní časové periodě každý den v průběhu plánovacího období,
5. model s možností zpracování variabilní poptávky v průběhu dne a s požadavkem na uskutečňování letů provozovaných do stejné tranzitní destinace ve stejné denní časové periodě každý den v průběhu plánovacího období pro každou pravidelnou leteckou linku provozovanou do tranzitní destinace,
6. model s možností zpracování variabilní poptávky v průběhu dne, s požadavkem na uskutečňování letů do stejné tranzitní destinace ve stejné denní časové periodě každý den v průběhu plánovacího období pro každou pravidelnou leteckou linku provozovanou do tranzitní destinace a se zohledněním akceptovatelné doby pro přestup v tranzitní destinaci.

Matematické modely s možností zpracování variabilní poptávky v průběhu dne a disjunktími podmnožinami cílových destinací (modely zahrnuté pod body 1 – 3)

Je dáno regionální letiště, množina tranzitních destinací I , kde opět $|I| = m$, množina cílových destinací J s disjunktími podmnožinami, množina dní v plánovacím období K , kde uvažujeme $|K| = q$, a množina denních časových period v průběhu plánovacího období L ,

kde $|L| = r$ (předpokládá se, že počet a časové vymezení denních časových period v průběhu každého dne v průběhu plánovacího období bude stejné). Pro každou tranzitní destinaci $i \in I$, den v průběhu plánovacího období $k \in K$ a denní časovou periodu $l \in L$ je známa hodnota poptávky d_{ikl} . Úkolem je navrhnout model, jehož řešením bude letový plán pravidelných leteckých linek do vybraných $2 \leq p < m$ ($p \in \mathbb{Z}^+$) tranzitních destinací každý den v definovaném plánovacím období. Cílem optimalizace je maximalizovat celkový počet cestujících, jejichž poptávka bude nabídkou provozovaných tranzitních destinací uspokojena.

Za účelem stanovení hodnoty poptávky po jednotlivých tranzitních destinacích zavedeme pro každou tranzitní destinaci $i \in I$ množinu cílových destinací J_i , které jsou z tranzitní destinace dostupné. Vzhledem k disjunktnosti podmnožin cílových destinací opět musí platit:

$$\bigcup_{i \in I} J_i = J \quad \text{a současně} \quad \bigcap_{i \in I} J_i = \emptyset$$

Hodnotu poptávky pro tranzitní destinaci $i \in I$ ve dni $k \in K$ v průběhu plánovacího období a denní periodě $l \in L$ získáme ze vztahu

$$d_{ikl} = \sum_{j \in J_i} \delta_{jkl} \quad (5.2)$$

kde δ_{jkl} je hodnota poptávky po cílové destinaci $j \in J_i$ ve dni $k \in K$ v průběhu plánovacího období a denní periodě $l \in L$.

Pokud ve dni $k \in K$ v průběhu plánovacího období a denní časové periodě $l \in L$ generuje poptávku také samotná tranzitní destinace $i \in I$ (označíme ji jako σ_{ikl}), potom pro hodnotu poptávky po tranzitní destinaci $i \in I$ bude platit:

$$d_{ikl} = \sum_{j \in J_i} \delta_{jkl} + \sigma_{ikl} \quad (5.3)$$

Ad 1) Varianta modelu s možností zpracování variabilní poptávky v průběhu dne, disjunktivními podmnožinami cílových destinací a bez požadavku na uskutečňování letů provozovaných do stejné tranzitní destinace ve stejné denní časové periodě každý den v průběhu plánovacího období

Za účelem výběru provozované destinace v časové periodě bude do úlohy zavedena skupina bivalentních proměnných z_{ikl} . Když po skončení optimalizačního výpočtu bude $z_{ikl} = 1$, potom bude let nové pravidelné letecké linky do tranzitní destinace $i \in I$ ve dni $k \in K$ v průběhu plánovacího období a v denní časové periodě $l \in L$ provozován. Když po skončení optimalizačního výpočtu bude $z_{ikl} = 0$, potom let do tranzitní destinace $i \in I$ ve dni $k \in K$ v průběhu plánovacího období a v denní časové periodě $l \in L$ provozován nebude.

Do úlohy zavedeme dále novou skupinu bivalentních proměnných y_i . Když po skončení optimalizačního výpočtu bude $y_i = 1$, potom lety nové pravidelné letecké linky do tranzitní destinace $i \in I$ budou provozovány v každém dni v průběhu plánovacího období. Když po skončení optimalizačního výpočtu bude $y_i = 0$, potom lety nové pravidelné letecké linky do tranzitní destinace $i \in I$ nebudou provozovány v žádném dni v průběhu plánovacího období.

Při zjišťování hodnot poptávky po tranzitních destinacích může být postupováno následovně. Provozovatel letiště si uspořádá data o poptávce po každé destinaci v jednotlivých dnech v průběhu plánovacího období a v jednotlivých denních časových periodách např. do tabelární formy. Uvažujme např. situaci, kdy $|L| = 3$, perioda č. 1 je časově vymezena intervalem 6:00 – 10:59, perioda č. 2 intervalem 11:00 – 15:59, a perioda č. 3 intervalem 16:00 – 20:59. Tabulka pro každou tranzitní destinaci $1, \dots, m$ může mít např. tvar uvedený tab. č. 4.

Hodnota na pozici označené v tab. č. 4 jako X reprezentuje hodnotu poptávky po tranzitní destinaci $i \in I$ první den v průběhu plánovacího období v časové periodě vymezené intervalem 6.00 – 10.59, hodnota na pozici označené XX v tab. č. 4 reprezentuje hodnotu poptávky po tranzitní destinaci $i \in I$, první den v průběhu plánovacího období v časové periodě vymezené intervalem 11.00 – 15.59 apod. Platí tedy, že $d_{i11} = \mathbf{X}$, $d_{i12} = \mathbf{XX}$ atd.

Název tranzitní destinace i			
Den	Časová perioda l		
k	1	2	3

	(6:00 – 10:59)	(11:00 – 15:59)	(16:00 – 20:59)
1	X	XX	
2			
⋮	⋮	⋮	⋮
<i>q</i>			

Tab. č. 4 Data o poptávce do destinace v jednotlivých dnech a denních časových periodách
(zdroj: autorka)

Počet tab č. 4 bude odpovídat počtu tranzitních destinací, tedy m .

Matematický model pro řešení dané varianty úlohy bude mít tvar:

$$\max f(y, z) = \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} d_{ikl} z_{ikl} \quad (5.4)$$

za podmínek

$$\sum_{l \in L} z_{ikl} \leq 1 \quad \text{pro } i \in I; k \in K \quad (5.5)$$

$$z_{ikl} \leq y_i \quad \text{pro } i \in I; k \in K; l \in L \quad (5.6)$$

$$\sum_{i \in I} y_i \leq p \quad (5.7)$$

$$y_i \in \{0; 1\} \quad \text{pro } i \in I \quad (5.8)$$

$$z_{ikl} \in \{0; 1\} \quad \text{pro } i \in I; k \in K; l \in L \quad (5.9)$$

Výraz (5.4) reprezentuje účelovou funkci vyjadřující celkovou uspokojenou poptávku po destinacích ve všech dnech v průběhu plánovacího období a všech denních časových periodách. Skupina omezujících podmínek (5.5) zajistí, že do každé tranzitní destinace bude každý den v průběhu plánovacího období realizován maximálně 1 let. Skupina omezujících podmínek (5.6) zajistí, že když do každé destinace $i \in I$ bude v některý den v průběhu plánovacího období a jeho časovou periodu provozován let, tak potom odpovídající proměnná y_i bude zafixována na hodnotě 1 a v podmínce (5.7) bude snížen počet volných tranzitních destinací pro možnost provozu pravidelné letecké linky. Skupiny omezujících podmínek (5.8) a (5.9) vymezují definiční obory proměnných vystupujících v modelu.

Ad 2) Varianta modelu s možností zpracování variabilní poptávky v průběhu dne, disjunktími podmnožinami cílových destinací a s požadavkem na uskutečňování letů provozovaných do stejné tranzitní destinace ve stejné denní časové periodě každý den v průběhu plánovacího období

Je-li požadováno, aby spoje nově uvažované pravidelné letecké linky do tranzitní destinace $i \in I$ létaly v každém dni v průběhu plánovacího období ve stejné časové periodě $l \in L$, potom je model (5.4) – (5.9) nutno doplnit o skupinu podmínek (daný požadavek může, ale také nemusí být uplatněn pro každou tranzitní destinaci)

$$z_{i1l} = z_{i2l} = \dots = z_{iq} \quad (5.10)$$

Ad 3) Zjednodušená varianta modelu pro situaci uvedenou v bodu 2. s požadavkem na uskutečňování letů provozovaných do stejné tranzitní destinace ve stejné denní časové periodě každý den v průběhu plánovacího období pro všechny pravidelné linky provozované do tranzitních destinací

K řešení varianty optimalizační úlohy, ve které je pro lety každé provozované linky do tranzitní destinace požadováno, aby létaly ve stejných časových periodách, je možno zvolit ještě jiný, jednodušší, přístup.

Prvek matice \hat{D} , označený v modelu \hat{d}_{il} bude při tomto přístupu reprezentovat (kumulovanou) hodnotu poptávky za všechny dny v průběhu plánovacího období po tranzitních destinacích v jednotlivých časových periodách. Provozovatel letiště si vytvoří např. formou tabulky data o poptávce do jednotlivých tranzitních destinací v jednotlivých dnech a v jednotlivých časových periodách. Hodnoty \hat{d}_{il} je možno získat na základě údajů uvedených v tab. č. 5, která vznikla přidáním součtového řádku do tab. č. 4.

Název tranzitní destinace i			
Den k	Časová perioda l		
	1 (6:00 – 10:59)	2 (11:00 – 15:59)	3 (16:00 – 20:59)
1	d_{i12}	d_{i12}	d_{i13}
2	d_{i21}	d_{i22}	d_{i23}
⋮	⋮	⋮	⋮
q	d_{iq1}	d_{iq2}	d_{iq3}

$\sum_{k=1}^q d_{ikl}$	\hat{d}_{i1}	\hat{d}_{i2}	\hat{d}_{i3}
------------------------	----------------	----------------	----------------

Tab. č. 5 Hodnota poptávky po tranzitních destinacích v jednotlivých časových periodách
(zdroj: autorka)

Analogické tabulky se opět vytvoří pro všechny zbývající destinace.

Do modelu potom vstupuje výsledná matice poptávky po jednotlivých destinacích a v jednotlivých časových periodách v průběhu plánovacího období, která bude mít tvar:

$$\hat{D} = \begin{bmatrix} \hat{d}_{11} & \hat{d}_{12} & \dots & \hat{d}_{1r} \\ \hat{d}_{21} & \hat{d}_{22} & \dots & \hat{d}_{2r} \\ \vdots & & & \\ \vdots & & & \\ \hat{d}_{m1} & \hat{d}_{m2} & \dots & \hat{d}_{mr} \end{bmatrix}$$

Za účelem výběru provozované tranzitní destinace v dané časové periodě bude do úlohy zavedena skupina bivalentních proměnných z_{il} (je tedy vynechán index dne v průběhu plánovacího období). Když po skončení optimalizačního výpočtu nabude $z_{il} = 1$, potom lety nové pravidelné letecké linky do tranzitní destinace pro $i \in I$ v časové periodě $l \in L$ budou uskutečňovány každý den v průběhu plánovacího období. Když po skončení optimalizačního výpočtu nabude $z_{il} = 0$, potom lety nové pravidelné letecké linky do tranzitní destinace pro $i \in I$ v časové periodě $l \in L$ nebudou uskutečňovány ani v jednom dni v průběhu plánovacího období.

Varianta matematického modelu respektující podmínku, že lety nové pravidelné letecké linky budou provozovány vždy ve stejné časové periodě, bude mít tvar:

$$\max f(z) = \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} \hat{d}_{il} z_{il} \quad (5.11)$$

za podmínek:

$$\sum_{l \in L} z_{il} \leq 1 \quad \text{pro } i \in I \quad (5.12)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{l \in L} z_{il} \leq p \quad (5.13)$$

$$z_{il} \in \{0; 1\} \quad \text{pro } i \in I; l \in L \quad (5.14)$$

Výraz (5.11) reprezentuje účelovou funkci vyjadřující celkovou uspokojenou poptávku po tranzitních i cílových destinacích za plánovací období. Skupina omezujících podmínek (5.12) zajistí, že do každé destinace $i \in I$ bude každý den v průběhu plánovacího období provozován maximálně 1 let pravidelné letecké linky a bude-li provozován, bude to ve stejné časové periodě. Skupina omezujících podmínek (5.13) zajistí, že počet pravidelných leteckých linek provozovaných do tranzitních destinací nepřekročí hodnotu p a skupina omezujících podmínek (5.14) vymezuje definiční obory proměnných vyskytující se v navrženém modelu.

Matematické modely s variabilní poptávkou v průběhu dne (modely zahrnuté pod body 4 – 5)

V této podkapitole je uvažováno s případy, že podmnožiny cílových destinací nejsou disjunktí. To znamená, že existuje minimálně jedna z cílových destinací dostupná alespoň v jedné periodě z více tranzitních destinací.

Je dáno regionální letiště, množina tranzitních destinací I , kde opět $|I| = m$, množina cílových destinací J , množina dní v průběhu plánovacího období K , kde opět $|K| = q$, a množina denních časových period L , kde opět $|L| = r$ (opět se předpokládá, že počet a časové vymezení denních časových period v průběhu každého dne v průběhu plánovacího období bude stejné).

Pro každou cílovou destinaci $j \in J$, den $k \in K$ v průběhu plánovacího období a jeho denní časovou periodu $l \in L$ je známa hodnota poptávky d_{jkl} . Pro každou tranzitní destinaci $i \in I$, den $k \in K$ v průběhu plánovacího období a jeho denní časovou periodu $l \in L$ je známa hodnota poptávky t_{ikl} . Úkolem je navrhnout model, jehož řešením bude získán plán letů do vybraných $2 \leq p < m$ ($p \in \mathbb{Z}^+$) tranzitních destinací každý den v průběhu plánovacího období v jednotlivých denních časových periodách. Cílem optimalizace je maximalizovat celkový počet cestujících, jejichž poptávka bude nabídkou provozovaných leteckých linek do tranzitních destinací a cílových destinací uspokojena.

Ad 4) Varianta modelu s možností zpracování variabilní poptávky v průběhu dne bez požadavku na uskutečňování letů do stejné tranzitní destinace ve stejné denní časové periodě každý den v průběhu plánovacího období

Do modelu tedy vstupuje výsledná matice poptávky po jednotlivých cílových destinacích v jednotlivých dnech a denních časových periodách. Protože ne každá cílová destinace $j \in J$ je

dostupná z každé tranzitní destinace, bude vytvořena incidenční matice A . Když cílová destinace $j \in J$ je z tranzitní destinace $i \in I$ dostupná pro let uskutečněný z regionálního letiště do tranzitní destinace $i \in I$ ve dni $k \in K$ plánovacího období a jeho denní časové periodě $l \in L$, potom $a_{ijkl} = 1$. Když cílová destinace $j \in J$ není z tranzitní destinace $i \in I$ dostupná pro let uskutečněný z regionálního letiště do tranzitní destinace $i \in I$ ve dni $k \in K$ plánovacího období a jeho denní časové periodě $l \in L$, potom $a_{ijkl} = 0$.

Za účelem modelování dostupnosti cílové destinace $j \in J$ z regionálního letiště v daném dni $k \in K$ a v dané časové periodě $l \in L$ bude do úlohy zavedena skupina bivalentních proměnných z_{jkl} . Když po skončení optimalizačního výpočtu bude $z_{jkl} = 1$, potom se cílová destinace $j \in J$ stane z regionálního letiště ve dni $k \in K$ plánovacího období a v časové periodě $l \in L$ dostupnou přes některou z tranzitních destinací. Když po skončení optimalizačního výpočtu bude $z_{jkl} = 0$, potom se cílová destinace $j \in J$ z regionálního letiště ve dni $k \in K$ plánovacího období a v časové periodě $l \in L$ nestane dostupnou přes některou z tranzitních destinací.

Do úlohy zavedeme dále skupinu bivalentních proměnných y_{ikl} . Když po skončení optimalizačního výpočtu bude $y_{ikl} = 1$, potom let pravidelné letecké linky do tranzitní destinace $i \in I$ bude ve dni $k \in K$ v průběhu plánovacího období a jeho denní časové periodě $l \in L$ provozován, když po skončení optimalizačního výpočtu bude $y_{ikl} = 0$, potom let pravidelné letecké linky do tranzitní destinace $i \in I$ ve dni $k \in K$ v průběhu plánovacího období a jeho denní časové periodě $l \in L$ provozován nebude.

Kromě výše uvedených dvou skupin proměnných zavedených do modelu zavedeme ještě třetí skupinu bivalentních proměnných w_i . Když po skončení optimalizačního výpočtu bude $w_i = 1$, potom do tranzitní destinace $i \in I$ bude provozována pravidelná linka, když po skončení optimalizačního výpočtu bude $w_i = 0$, potom do tranzitní destinace $i \in I$ pravidelná letecká linka provozována nebude. Proměnná w_i má pouze evidenční účel a bude využita v podmínce týkající se nepřekročení maximálního povoleného počtu provozovaných pravidelných linek.

Matematický model bude mít tvar:

$$\max f(y, z) = \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} d_{jkl} z_{jkl} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} t_{ikl} y_{ikl} \quad (5.15)$$

za podmínek:

$$z_{jkl} \leq \sum_{i \in I} a_{ijkl} y_{ikl} \quad \begin{array}{l} \text{pro } j \in J; k \in K \\ \text{a } l \in L \end{array} \quad (5.16)$$

$$\sum_{l \in L} y_{ikl} \leq 1 \quad \text{pro } i \in I \text{ a } k \in K \quad (5.17)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{l \in L} y_{ikl} \leq w_i \quad \text{pro } i \in I \quad (5.18)$$

$$\sum_{i \in I} w_i \leq p \quad (5.19)$$

$$w_i \in \{0; 1\} \quad \text{pro } i \in I \quad (5.20)$$

$$y_{ikl} \in \{0; 1\} \quad \begin{array}{l} \text{pro } i \in I; k \in K \\ \text{a } l \in L \end{array} \quad (5.21)$$

$$z_{jl} \in \{0; 1\} \quad \text{pro } j \in J; l \in L \quad (5.22)$$

Výraz (5.15) reprezentuje účelovou funkci maximalizující celkovou uspokojenou poptávku za plánovací období po všech (tranzitních i cílových) destinacích. Skupina omezujících podmínek (5.16) zajistí dostupnost všech cílových destinací ve dni $k \in K$ plánovacího období a jeho denní časové periodě $l \in L$ v případě, že do některé z tranzitních destinací, ze kterých jsou tyto cílové destinace dostupné, budeme v daném dni plánovacího období a jeho časové periodě provozovat pravidelnou linku. Dále zajistí, že když do ani jedné tranzitní destinace, ze kterých je cílová destinace $j \in J$ ve dni $k \in K$ plánovacího období a jeho denní časové periodě $l \in L$ dostupná, nebude provozována pravidelná linka, nestane se cílová destinace dostupnou a poptávka do ní v daném dni $k \in K$ plánovacího období a jeho denní časové periodě $l \in L$ uspokojena nebude (nebude započítána do účelové funkce). Skupina omezujících podmínek (5.17) zajistí, že v každém dni bude do každé tranzitní destinace provozován maximálně jeden let. Skupina omezujících podmínek (5.18) zajistí, započítání letů do dané tranzitní destinace do celkového počtu pravidelných leteckých linek a omezující podmínka (5.19) zajistí, že těchto pravidelných leteckých linek nebude provozováno více než p . Skupiny omezujících podmínek (5.20) – (5.22) vymezují definiční obory proměnných vyskytujících se v modelu.

Ad 5) Varianta modelu s možností zapracování variabilní poptávky v průběhu dne s požadavkem na uskutečňování letů do stejné tranzitní destinace ve stejné denní časové periodě každý den v průběhu plánovacího období pro každou pravidelnou leteckou linku provozovanou do tranzitní destinace

Pro variantu modelu bude uvedena analogie zjednodušeného modelu odpovídající variantě s disjunktivními podmnožinami množiny cílových destinací, ve které je pro každou provozovanou novou linku do tranzitní destinace požadováno, aby se její lety uskutečňovaly ve stejné časové periodě každý den v průběhu plánovacího období.

Prvek matice \mathbf{D} , označený v modelu d_{jl} , bude při tomto přístupu reprezentovat (kumulovanou) hodnotu poptávky po cílové destinaci $j \in J$ ve všech dnech plánovacího období v časové periodě $l \in L$.

Za účelem modelování dostupnosti cílové destinace $j \in J$ z regionálního letiště v daném dni $k \in K$ a v dané časové periodě $l \in L$ bude do úlohy zavedena skupina bivalentních proměnných z_{jl} . Když po skončení optimalizačního výpočtu bude $z_{jl} = 1$, potom se cílová destinace $j \in J$ stane dostupnou z regionálního letiště ve všech dnech plánovacího období v časové periodě $l \in L$ přes některou z tranzitních destinací, do které bude provozována některá z pravidelných leteckých linek. Když po skončení optimalizačního výpočtu bude $z_{jl} = 0$, potom se cílová destinace $j \in J$ z regionálního letiště ve všech dnech plánovacího období a v časové periodě $l \in L$ nestane dostupnou přes žádnou z tranzitních destinací, do kterých bude provozována pravidelná letecká linka.

Do úlohy zavedeme dále skupinu bivalentních proměnných y_{il} . Když po skončení optimalizačního výpočtu bude $y_{il} = 1$, potom lety pravidelné letecké linky do tranzitní destinace $i \in I$ budou provozovány ve všech dnech plánovacího období v denní časové periodě $l \in L$. Když po skončení optimalizačního výpočtu bude $y_{il} = 0$, potom lety do tranzitní destinace $i \in I$ nebudou provozovány.

Matematický model bude mít tvar:

$$\max f(y, z) = \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} d_{jl} z_{jl} + \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} t_{il} y_{il} \quad (5.23)$$

za podmínek:

$$z_{jl} \leq \sum_{i \in I} a_{ijl} y_{il} \quad \text{pro } j \in J; l \in L \quad (5.24)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{l \in L} y_{il} \leq p \quad (5.25)$$

$$\sum_{l \in L} y_{il} \leq 1 \quad \text{pro } i \in I \quad (5.26)$$

$$y_{il} \in \{0; 1\} \quad \text{pro } i \in I \quad (5.27)$$

$$z_{jl} \in \{0; 1\} \quad \text{pro } j \in J; l \in L \quad (5.28)$$

Výraz (5.23) reprezentuje účelovou funkci maximalizující celkovou uspokojenou poptávku za plánovací období do všech provozovaných (tranzitních i cílových) destinací. Skupina omezujících podmínek (5.24) zajistí dostupnost cílových destinací v případě, že provozujeme pravidelnou linku do tranzitní destinace, ze které jsou tyto cílové destinace dostupné. Omezující podmínka (5.25) zajistí, že do všech tranzitních destinací ve všech denních časových periodách bude provozováno maximálně p pravidelných leteckých linek. Skupina omezujících podmínek (5.26) zajistí, že pro každou tranzitní destinaci bude ve všech denních časových periodách naplánován maximálně jeden let (tzn., nebude naplánován let do stejné destinace v obou periodách). A protože k dané tranzitní destinaci a časové periodě se vztahuje pouze jedna proměnná y_{il} je skupinou podmínek (5.21) zároveň zajištěno, že se let do dané tranzitní destinace uskuteční v průběhu plánovacího období vždy ve stejné periodě. Skupiny omezujících podmínek (5.27) a (5.28) vymezují definiční obory proměnných vyskytujících se v modelu.

5.2.2 Návrh matematických modelů pro práci s variabilní poptávkou a intervaly časové dostupnosti cílových destinací z tranzitních destinací

Pro rozhodování cestujících pokračujících z tranzitní destinace do cílových destinací o využití linky do tranzitní destinace je důležitá časová dostupnost odletu do cílové destinace. Časová dostupnost cílových destinací (interval časové dostupnosti) z tranzitních destinací vyplývá z relevantních dob pobytů v tranzitních destinacích. Relevantní dobou pobytu v tranzitní destinaci tedy bude rozuměn časový interval, který je omezen minimální a maximální přestupní dobou. Poloha tohoto časového intervalu není umístěna bezprostředně po plánovaném času přistání letadla v tranzitní destinaci, ale až po uplynutí předem definovaného času od předpokládaného času přistání. Posun začátku časového intervalu je způsoben tím, že cestující přiletávající z regionálního letiště do tranzitní destinace potřebuje určitý kladný čas k odbavení v tranzitní destinaci a to jak po přiletu z regionálního letiště,

tak i před odletem do cílové destinace. Konec časového intervalu charakterizujícího časovou dostupnost cílové destinace je zpravidla určen maximální akceptovatelnou dobou čekání cestujícího na odlet v tranzitní destinaci. Intervalem časové dostupnosti je tak akceptováno, aby cestující měl dostatečný čas na přestup na straně jedné, ale zase zbytečně dlouho v tranzitní destinaci nečekal na straně druhé. Protože se jedná o zásadní problematiku, bude jí v předložené práci věnována adekvátní pozornost.

Otázkou ještě zůstává, jak koncipovat předepsané intervaly časové dostupnosti. Ty mohou být definovány dvojím způsobem, a to v závislosti na čase. Prvním způsobem je jejich definování vztažmo k času odletu z regionálního letiště, druhým způsobem je potom jejich definování vztažmo k času příletu do tranzitní destinace. Když je interval časové dostupnosti definován vztažmo k času odletu z regionálního letiště, potom musí být hodnota T_{min} zvýšena o dobu letu z regionálního letiště do tranzitní destinace.

Při návrhu této varianty modelu se omezíme na obecnější případ, a to situaci, kdy existuje alespoň jedna cílová destinace dostupná alespoň v jedné časové periodě z více tranzitních destinací. Kromě toho bude v dané variantě modelu uvažováno s možností vzniku variabilní poptávky v průběhu dne a s požadavkem na uskutečňování letů do stejné tranzitní destinace ve stejné denní časové periodě každý den v průběhu plánovacího období pro každou provozovanou pravidelnou leteckou linku do tranzitní destinace.

Je tedy dáno regionální letiště, množina tranzitních destinací I , množina cílových destinací J a množina časových relací L . Kromě toho je známa poptávka po cílových destinacích v jednotlivých časových periodách d_{jl} , kde $j \in J$ a $l \in L$. Úkolem je sestavit takový model, který kromě rozhodnutí o provozování letů do vybraných tranzitních destinací a dostupnosti cílových destinací v jednotlivých časových periodách, zohlední při optimalizačním výpočtu, že doba potřebná k přestupu v tranzitní destinaci na let do cílové destinace bude z intervalu $\langle T_{min}; T_{max} \rangle$ vyjádřeno ve zvolených časových jednotkách, tzn., že tato doba nebude kratší, než T_{min} , a zároveň nebude také delší, než T_{max} .

Nejsou-li pro jednu nebo více tranzitních destinací definovány časy T_{min} a T_{max} , můžeme je definovat tak, že $T_{min} = 0$ a $T_{max} = \infty$. Pro praktické výpočty s využitím výpočetní techniky je žádoucí nahradit symbol ∞ prohibitivní konstantou M .

Do modelu se musí opět zavést trojrozměrná incidenční matice \mathbf{A} , jejíž prvky a_{ijl} modelují skutečnost, zda cílová destinace $j \in J$ je dostupná z některé tranzitní destinace $i \in I$ letem

provozovaným v časové periodě $l \in L$ při zohlednění předepsaného intervalu časové dostupnosti. V případě, že cílová destinace $j \in J$ bude dostupná z některé tranzitní destinace $i \in I$ letem provozovaným do této tranzitní destinace v časové periodě $l \in L$ při zohlednění předepsaného přestupního časového intervalu, potom $a_{ijl} = 1$. Když cílová destinace $j \in J$ nebude dostupná z některé tranzitní destinace $i \in I$ letem provozovaným do této destinace v časové periodě $l \in L$ při zohlednění předepsaného intervalu časové dostupnosti, potom bude platit, že $a_{ij} = 0$.

Za účelem modelování rozhodnutí budou do modelu zavedeny dvě skupiny proměnných. První skupina proměnných bude tvořena bivalentními proměnnými y_{il} . Proměnná y_{il} bude modelovat rozhodnutí o provozování letů do tranzitní destinace $i \in I$ v denní časové periodě $l \in L$. Když po skončení optimalizačního výpočtu bude platit, že $y_{il} = 1$, potom lety do tranzitní destinace $i \in I$ v denní časové periodě $l \in L$ budou provozovány, když po skončení optimalizačního výpočtu bude platit, že $y_{il} = 0$, potom lety do tranzitní destinace $i \in I$ v denní časové periodě $l \in L$ provozovány nebudou. Druhá skupina proměnných bude tvořena bivalentními proměnnými z_{jl} , které budou modelovat rozhodnutí o dostupnosti cílové destinace $j \in J$ lety pravidelných leteckých linek provozovanými z regionálního letiště v časové periodě $l \in L$ do některé z tranzitních destinací, ze kterých je cílová destinace dostupná. Když po skončení optimalizačního výpočtu bude platit, že $z_{jl} = 1$, potom cílová destinace $j \in J$ bude dostupná letem provozovaným v časové periodě $l \in L$ do některé z tranzitních destinací, ze které je cílová destinace dostupná. Když po skončení optimalizačního výpočtu bude platit, že $z_{jl} = 0$, potom cílová destinace $j \in J$ nebude dostupná přes některou z tranzitních destinací, do které je v časové periodě $l \in L$ provozován let.

Matematický model bude mít stejný tvar, jako má model (5.23) – (5.28). Komentáře k účelové funkci a jednotlivým skupinám podmínek jsou stejné jako v případě modelu (5.23) – (5.28) s tím rozšířením, že dostupnost je limitována nikoliv pouze existencí přímého leteckého spojení tranzitní destinace s cílovou destinací, ale také intervaly časové dostupnosti v tranzitních destinacích.

Modely, které nepracují s poptávkou, se budou odlišovat pouze v tom, že do účelové funkce nebudou zahrnuty hodnoty poptávky po tranzitních a cílových destinacích.

5.3 Návrh obecného procesu přípravy zahájení provozu nové pravidelné letecké linky z regionálního letiště a využití nástrojů projektového řízení pro jeho optimální naplánování

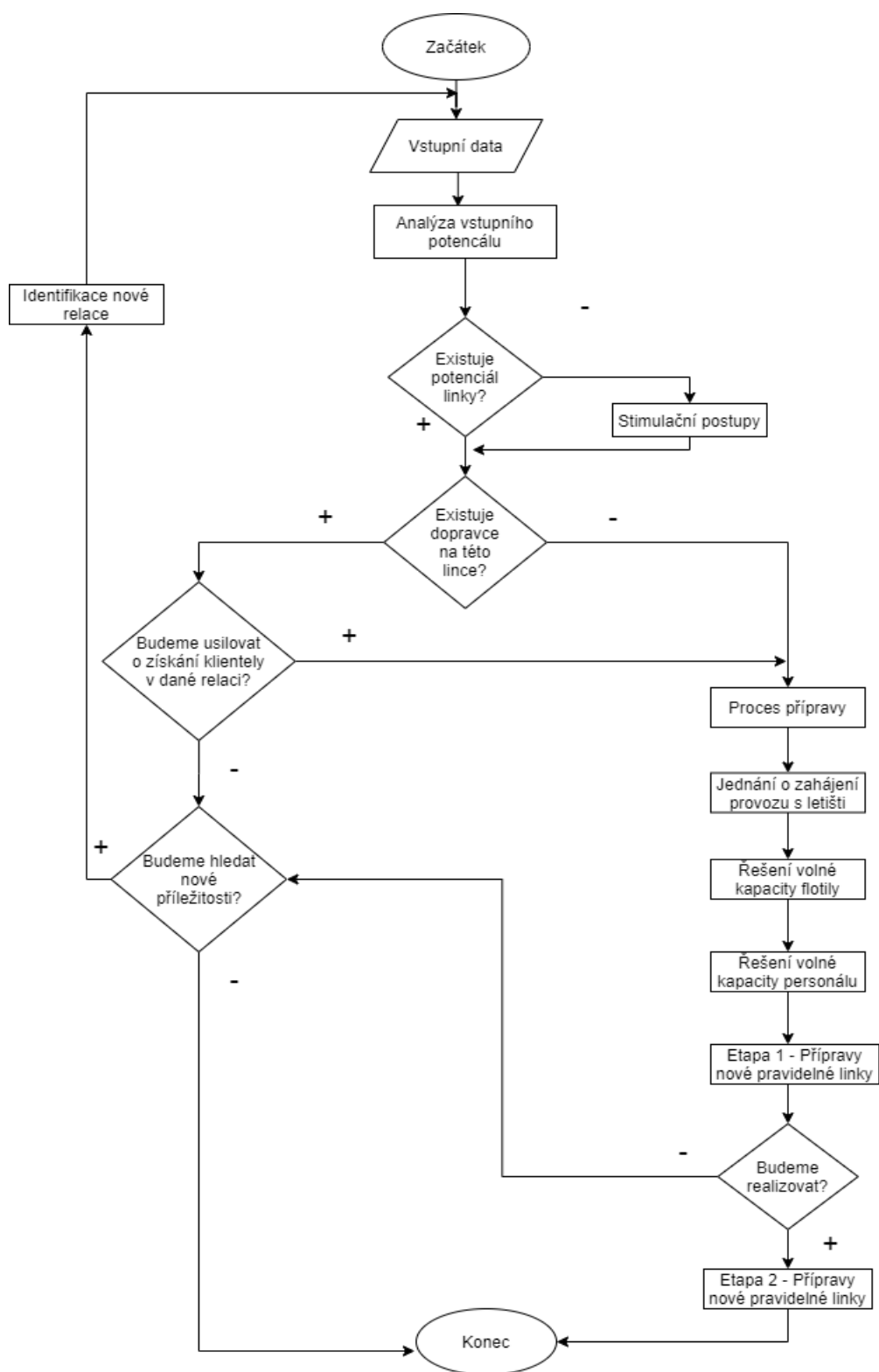
Poslední podkapitola návrhové části disertační práce se bude zabývat problematikou organizace procesu přípravy zahájení nové pravidelné letecké linky podle zásad projektového řízení. Postup vedoucí k zahájení provozu letecké linky spojující regionální letiště a tranzitní destinaci lze totiž chápat jako celou řadu činností, které spolu časově a věcně souvisejí, resp. navazují na sebe, což ve skutečnosti odpovídá projektu. Efektivním nástrojem pro řízení projektu jsou metody síťové analýzy, přičemž v podmínkách řešených v předložené disertační práci je cílem načasovat realizaci jednotlivých dílčích činností vedoucích k zahájení provozu nové letecké linky tak, aby zahájení provozu linky proběhlo bez zbytečných časových prodlev.

5.3.1 Charakteristika obecného procesu přípravy zahájení provozu nové pravidelné letecké linky z regionálního letiště

Prvním důležitým okamžikem celého procesu rozhodování je okamžik zahájení příprav provozu nové linky. Takovéto rozhodnutí se v závislosti na vnitřních postupech leteckého dopravce a okolnostech realizuje s předstihem několika měsíců a u dálkových linek až jednoho nebo dvou let.

V případě, že management společnosti současně v termínu zavedení provozu nové linky rozhodne o zrušení některé stávající linky, má zajištěnu flotilu a personál, který bude na případnou novou linku nasazovat. V ostatních případech, kdy management leteckého dopravce zvažuje, či již dokonce pracuje na zavedení nové letecké linky bez současného zrušení linky jiné, musí uvažovat i o tom, zda nebude nutné navýšení počtu letadel do flotily, případně personálu.

Rozhodovací proces vedoucí k okamžiku zahájení příprav provozu nové linky lze znázornit vývojovým diagramem znázorněným na obr. č. 10.



obr. č. 10 Vývojový diagram procesu zvažování zahájení provozu nové pravidelné letecké linky (autorka podle [23])

Podrobnější komentáře k vybraným blokům vývojového diagramu

Analýza tržního potenciálu je strategický nástroj k identifikaci tržních příležitostí a investování zdrojů v oblasti civilního letectví tam, kde budou mít z dlouhodobého hlediska největší návratnost. Analýza tržního potenciálu cílí na trhy s vysokým růstovým potenciálem v budoucnosti. Tato analýza může být provedena např. pomocí software, LIDO, nebo SABRE.

Stimulační postupy – do těchto postupů můžeme zahrnout marketingovou podporu od vlastníků regionálních letišť při zájmu zvyšování rozsahu provozu na regionálním letišti, případně zde můžeme zahrnout i cenovou nabídku letenek. V případě, že není možná marketingová podpora, nebo není možné nastavit ceny letenek níže, než jsou nastaveny u konkurenčních společností, pak proces přípravy nové letecké linky může být v této fázi ukončen.

Po fázi věnované identifikaci potenciálu linky, příp. po uplatnění stimulačních nástrojů mohou nastat tři varianty dalšího postupu. Ve chvíli, kdy konkurence na trhu je příliš silná, dochází k ukončení příprav k zavedení nové letecké linky a letecký dopravce pro tuto chvíli o zavedení další linky neuvažuje. Druhá varianta může nastat ve chvíli, kdy konkurence je příliš silná a letecký dopravce pokračuje v hledání nové destinace. Třetí varianta nastává ve chvíli, kdy letecký dopravce, usoudí, že konkurence není tak významná a zahájí proces přípravy pro tuto linku.

Blok označený jako Proces přípravy obsahuje veškerý sběr informací, které jsou potřebné pro zahájení provozu nové linky. Následně dochází k vyhodnocení získaných informací a kalkulaci předpokládaného hospodářského výsledku, jsou připravena doporučení pro management a dochází k definitivnímu rozhodnutí o zahájení realizace nové letecké linky, či nikoli. Na základě sběru a vyhodnocení informací probíhají jednání s oběma letišti zúčastněnými na připravované lince, např. koordinace časů příletů a odletů a případně získání letištních slotů neboli časových intervalů, ve kterých bude pro let na daném letišti vytvořen prostor pro přílet, odlet a pozemní obsluhu (odbavení). Tento proces může být na některých letištích s vysokou hustotou provozu velmi komplikovaný. Kromě toho je nutno realizovat pokrytí připravované linky letadlovou flotilou leteckého dopravce, přičemž letadla musí svým počtem, druhem a stářím odpovídat potřebám provozovatele na jednotlivých provozovaných linkách. Další aktivitou je pokrytí nové linky letovým personálem (piloti, palubní průvodčí a pozemní letecký personál). [24]

Příprava podkladů pro obchodní záměr nové pravidelné linky a zpracování doporučení pro management

Z provozně-technického hlediska lze provoz na nové pravidelné lince zahájit během několika týdnů, maximálně měsíců. Ale dobu potřebnou k přípravě zahájení provozu na nové lince určuje především čas, který potřebují obchodní složky leteckého dopravce k vytipování potenciálně vhodných destinací, sběru všech potřebných informací o daném trhu, přípravě a schválení obchodního záměru, vyřešení případných aeropolitických omezení, zajištění distribuce produktu na novém trhu a zajištění marketingu pro propagaci a podporu nového produktu. [24] Podcenění přípravy ze strany obchodních složek může být příčinou neuskutečnění záměru a to z důvodu např. jeho neproveditelnosti v době, kdy již linka existuje na trhu, nebo je uvedena nová letecká linka na trh v době, kdy na ni ještě trh není připraven. Řada návrhů po analýze všech informací může být zamítnuta, a to s ohledem na nízký potenciál, nebo je návrh odložen na pozdější dobu např. z důvodu provozní nebo aeropolitické nerealizovatelnosti.

Proces přípravy obchodního záměru je první fází přípravy nové letecké linky. Tato fáze 1 zahrnuje soustavnou činnost, která probíhá až několik měsíců a v průběhu této doby probíhá sběr informací, vyhodnocení informací a kalkulace předpokládaného hospodářského výsledku (pro každou variantu letového řádu).

Sběr informací zahrnuje:

- všeobecné informace o zemi, do které se má létat;
- informace o lokálním trhu;
- možnosti uplatnit se na trhu na bázi 6. přepravní svobody.

Všeobecné informace o dané zemi nebo teritoriu:

Nejprve je potřeba provést tzv. PESTE analýzu, která se zaměřuje na analýzu makroprostředí – vnější okolí podniku. Podstatou PESTE analýzy je identifikace skupiny faktorů pro každou skupinu, jež zahrnují nejvýznamnější jevy, události, rizika a vlivy, které mohou ovlivnit, nebo ovlivňují organizaci. Tato analýza může být použita i jako vstupní analýza vnějšího prostředí pro SWOT analýzu.

PESTE analýza zahrnuje sběr informací z oblastí:

P – Politické a právní prostředí – zahrnují existující a potenciální působení politických vlivů (např. zákony, vyhlášky, směrnice);

E – Ekonomické – zahrnují působení a vliv místní, národní a světové ekonomiky (např. zaměstnanost, výše úrokových sazeb, výše mezd, HDP, inflace);

S – Sociální – průmět sociálních změn dovnitř organizace, součástí jsou i kulturní vlivy lokální, národní, regionální, světové (např. demografické údaje, složení obyvatel, jejich příjmy a výdaje, zvyklost);

T – Technické a technologické dopady, stávajících, nových a vyspělých technologií (např. technická úroveň, kvalita služeb, inovace);

E – Ekologické – místní, národní a světová problematika životního prostředí a otázky jejího řešení, dále pak ochrana prostředí, aktivistická hnutí, povolení pro vykonávání činnosti. [24]

Dále je potřeba zmapovat situaci v letecké dopravě, což znamená zaměřit se na aeropolitickou situaci v zemi, do které letecký dopravce plánuje zahájit pravidelnou leteckou linku, provést analýzu konkurence a zjistit možnosti spolupráce s místními dopravci.

Informace o lokálním trhu

Informace, které do této skupiny patří, zahrnují MIDT (Marketing Information Data Tapes) placená externí data, statistiky konkurence (v případě, že již existuje stejná linka), existující přepravní proudy s využitím spojení s přestupem, údaje o objemech v pozemní přepravě, údaje letišť a v případě komunikace s agenturami i informace obchodníků od agentur.

Možnosti uplatnění se na trhu na bázi 6. přepravní svobody

Úmluva o mezinárodním civilním letectví výslovně neřeší systém ekonomické regulace letecké dopravy, tudíž ponechává veškeré kompetence ohledně pravidel pro vstup letadel na území jiných států za účelem provozování letecké dopravy na jednání mezi příslušnými státy. V důsledku tohoto vznikl koncept tzv. svobod vzduchu (Freedoms of the Air). Tyto svobody si mezi sebou musí státy vzájemně vyjednat, pokud chtějí, aby jejich letecké společnosti mohly provozovat leteckou dopravu do druhého státu. Vyjednání konkrétní svobody pak odpovídá vzniku přepravního práva (traffic right). [25]

V současnosti existuje 9 svobod a každá svoboda má svůj specifický význam a má odlišné výhody či nevýhody pro stát, případně jeho dopravce, který ji získal nebo ji poskytl. 6. přepravní svoboda znamená přepravu cestujících a nákladu stejným dopravcem z cizí země do dalšího státu přes stát registrace letadla. Prostřednictvím této svobody lze vytvořit uzlové letiště (hub), které slouží jako tranzitní místo pro přepravu velkého počtu cestujících, jejichž primárním místem odletu a příletu jsou letiště v jiných státech. Vnímají-li státy, ve kterých provozuje dopravce své linky na základě 6. přepravní svobody, jako ohrožení vytíženosti vlastních linek, mohou k ochraně svých dopravců využít limitování kapacit a frekvencí tarifními opatřeními daného dopravce. 6. svoboda se stala obchodním modelem mnoha leteckých společností, např. KLM, Singapore Airlines nebo Emirates, jejichž národní trhy mají s ohledem na počet obyvatel jen malý potenciál. [25]

Doprovci využívají externí data MIDT, statistiky konkurence i údaje pracovníků obchodu.

Výsledkem celého sběru informací je vznik databanky informací o potenciálních nových linkách, které mohou být využity i v pozdější době. Zároveň tyto data slouží i jako vstupní data pro vyhodnocení informací.

Vyhodnocení informací zahrnuje:

- identifikace nového typu klientely;
- návrh variant letového řádu.

Návrh variant letového řádu

Tvorba letového řádu je pro dopravce jedna z nejdůležitějších a nejnáročnějších fází přípravy nové letecké linky. Letové řády se plánují pro dvě na sebe navazující období, tedy stanovení letového řádu pro hlavní a vedlejší sezónu.

Z hlediska předstihu před danou sezónou rozlišujeme několik fází tvorby letového řádu:

- strategická fáze (předstih více než rok před danou sezónou);
- taktická fáze (zpravidla 2 sezóny dopředu);
- operativní fáze (typicky do 3 až 6 měsíců před letem).

Pro tvorbu letového řádu je jedním ze vstupů strategie rozvoje sítě linek, která byla stanovena na základě informací o trhu, který bude nebo již dopravce obsluhuje. Mezi důležité

informace pro tvorbu letového řádu můžeme zahrnout externí placené informace (MIDT), externí volně dostupné informace, interní data a požadavky pracovníků obchodu či obchodních partnerů. Mezi důležité technické a provozní data pro tvorbu letového řádu patří bloková doba letu na jednotlivých úsecích letu, minimální čas rotace, minimální doba pro přestup, sloty na jednotlivých letištích, omezení provozní doby letišť, místní časy a omezení doby posádek ve službě. Další omezení a požadavky se týkají letadel, flotily letadel daného typu či dokonce celé flotily. Mezi tato omezení a požadavky patří limit využitelné kapacity letadla, denní a týdenní údržba letadel, požadavky na provedení dlouhodobě plánované údržby, požadavky na kapacitu pro chartery nebo další aktivity (např. pronájem letadel jiným dopravcům), požadavky na záložní letadla, požadavky na limit využití konkrétního letadla. Mezi další informace patří základní marketingová pravidla uplatňovaná při tvorbě letového řádu a to zejména respektování potřeb klientely, počet týdenních frekvencí na daném spoji, počet frekvencí v rámci jednoho dne, konzistence časů, turbovrtulová letadla, stabilizace letového řádu, víceúsekové lety, bilaterální spolupráce, finální doporučení. V neposlední řadě, je potřeba stanovit si princip linek, zda bude společnost provozovat lety v systému „point to point“ či v systému „hub and spoke“.

Výsledkem celé fáze je souhrn důležitých informací, které slouží jako jedny ze vstupních dat pro kalkulaci předpokládaného hospodářského výsledku.

Kalkulace předpokládaného hospodářského výsledku (pro každou variantu letového řádu) zahrnuje:

- výnosy za cestující;
- výnosy za cargo;
- náklady spojené se zavedením linky.

Výnosy za cestující

Na potenciální cestující je potřeba nahlížet ze dvou hledisek. Cestující můžeme rozdělit na lokální a transferové. Lokální cestující můžeme dále rozdělit cestující využívající skupinovou turistiku a individuální cestující. Transferové cestující dělíme na cestující ve vlastním hubu a cestující v otočném bodě. Kalkulaci výnosů za cestující ovlivňuje zejména počet cestujících, předpoklad cen na trhu, rozložení rotací v jednotlivých dnech provozu podle letového řádu.

Výnosy za cargo

U přepravy cargo je potřeba v prvním kroku identifikovat, zda přeprava nákladu (zboží a pošty) bude provozována či nikoli. Tento typ přepravy na pravidelných linkách představuje pro leteckého dopravce zpravidla doplňkový zdroj výnosů. Pokud je přijato rozhodnutí, že v rámci pravidelných leteckých linek bude kromě cestujících přepravován také náklad, je potřeba stanovit volnou kapacitu nákladového prostoru.

Náklady spojené se zavedením linky

Do této skupiny nákladů patří, přímé závislé náklady linky, a ostatní vícenáklady spojené s provozem linky, do kterých můžeme zahrnout způsob zajištění distribuce a prodeje včetně očekávaných nákladů. Dále do ostatních nákladů můžeme zahrnout i způsob zajištění letadlové kapacity včetně případných nákladů. Výsledkem kalkulace je prognóza hospodářského výsledku dané varianty letového řádu. Tato prognóza a vyhodnocení všech informací slouží jako podklad pro přípravu doporučení pro management. Při splnění výše uvedených činnosti může být přistoupeno k optimálnímu naplánování celého projektu.

5.3.2 Využití nástrojů projektového řízení pro optimální naplánování projektu příprav zahájení provozu nové pravidelné letecké linky z regionálního letiště

K návrhu optimálního plánu přípravy zahájení provozu nové pravidelné letecké linky z regionálního letiště bude využita metoda PERT.

5.3.2.1 Aplikace metody PERT pro zavedení nové letecké linky z pohledu leteckého dopravce

Přípravná fáze – seznam činností a vstupní údaje související s aplikací PERT

Podle teoretického popisu uvedeného v kapitole 3.3 je úvodním krokem poskytujícím vstupy do aplikace PERT vytvoření výchozí tabulky činností. V tab. č. 6 jsou uvedeny všechny názvy jednotlivých činností a jejich významový obsah, které je potřeba z obecného hlediska provést při zavádění nové pravidelné letecké linky z pohledu leteckého dopravce. Některé z činností, které jsou v tabulce uvedeny, jsou rozděleny do dvou částí (např. 3a, 3b). Rozdělení činnosti na více fází se používá v situaci, kdy je určitá fáze činnosti podmíněna ukončením jiné činnosti.

Číslo činnosti	Název činnosti – Významový obsah činnosti
1	Prověření existence vázaného vzdušného prostoru – zjištění skutečnosti, zda je na dané trati, či letišti, nebo vzdušném prostoru nějaké omezení
2	Proces udělení povolení u vázaného trhu – projednání a příprava smluv, je-li vzdušný prostor vázán dohodou
3	Identifikace klientely – stanovení potenciální klientely
4a	Sdělení požadavku letišť – zpracování a odeslání žádosti na handligovou společnost, řešení příletových a odletových časů, či doplňování letadla pohonnými hmotami, zajištění cateringové služby
4b	Doba na odezvu zúčastněných letišť – zpětné potvrzení či úprava požadovaných služeb letišťem
5	Výběr letadla z hlediska navrhované trasy, časů a kapacity
6	Úprava požadavků dle dispozic letišť – zpracování všech případných připomínek a příprava smluv s letišti
7	Finanční analýza připravovaného letu - předběžná analýza nákladů a výnosů
8	Příprava podkladů pro finální rozhodování managementu o provozování linky – kompletace a utřídění všech shromážděných podkladů
9	Prověření možností codeshare na dané lince – prověření možnosti obchodního ujednání mezi více leteckými dopravci pro prodej letenek a propagaci letecké linky
10	Uzavření podpůrných smluv o podmínkách provozu – např. smlouvy mezi dopravcem a krajem, kde součástí smlouvy je podpora kraje při dodržení určitých podmínek provozu (např. minimální frekvence letů)
11	Příprava předběžného návrhu letového řádu
12a	Příprava obchodních smluv (1. část) – formální zahájení procesu uzavření smluv mezi státy ve věci zahájení provozu ve vzdušných prostorech
12b	Příprava obchodních smluv (2. část) – doba potřebná k oboustranným jednáním mezi a státy vedoucí k podpisu obchodních smluv
13a	Uzavření obchodních smluv (1. část) – smluvní zajištění provozu ve vztahu k partnerům – nutné úkony pro schválení zahájení provozu ze strany vládních autorit
13b	Uzavření obchodních smluv (2. část) – smluvní zajištění provozu ve vztahu ke konkrétnímu návrhu letového řádu

14	Fáze zajištění prodeje letenek na novém trhu, vstup do prodejního systému
15	Výběr a implementace generálního prodejního agenta
16	Cenotvorba – kalkulace cen letenek pro touroperátory na domácím trhu i v zahraničí
17a	Provozní složky, kvalita a bezpečnost (1. část) – prověření technické proveditelnosti letu a odbavení.
17b	Provozní složky, kvalita a bezpečnost (2. část) – v případě zjištění nedostatků technické proveditelnosti, návrh řešení technické proveditelnosti
18	Příprava marketingového plánu zavedení linky
19	Marketing – příprava a realizace prezentací pro smluvní partnery
20	Letové řády – upřesnění předběžných letových řádů
21	Obchodní smlouvy – uzavření smluv ve vztahu k ostatním partnerům
22	Kompletní zajištění vstupu do prodejního systému BSP
23	Obchodní složky – příprava zařízení případného obchodního zastoupení (OZ), zajištění přítomnosti obchodního zástupce leteckého dopravce v teritoriu a zahájení akviziční činnosti na trhu
24	Zajištění funkčnosti obchodního zastoupení
25	Cenotvorba, obchod, distribuce cen touroperátorům
26a	Cenotvorba, revenue management (1. část) - příprava cen pro individuální cestující včetně publikovaných tarifů, nastavení revenue managementu, distribuce cen pro individuální cestující
26b	Cenotvorba, revenue management (2. část) – cenová ujednání s jinými dopravci
27a	Provozní složky, kvalita a bezpečnost (3. část) – obecná fáze přípravy provozně technického zajištění odbavení i letu
27b	Provozní složky, kvalita a bezpečnost (4. část) – zpracování smluvních specifik, požadavků a možností letišť, technického handlingu apod. do příprav provozně technického zajištění odbavení i letu
28	Marketing - oslovení agentur a obchodních partnerů (např. prezentace)
29a	Marketing – příprava realizace marketingového plánu zavedení linky, která zahrnuje marketingové aktivity ve vztahu k partnerům
29b	Marketing – konkrétní navržení marketingového plánu zahrnující akční ceny
30a	Touroperátor (1. část) – příprava package, která zahrnuje např. kontakty s hotely
30b	Touroperátor (2. část) – konkrétní příprava package dle stanovené ceny

31	Tisk katalogu touroperátora
32	Distribuce katalogu touroperátora
33	Příprava zahájení prodeje produktu dle katalogu

Tab. č. 6 Seznam činností potřebných k zahájení provozu nové pravidelné letecké linky včetně stručné charakteristiky jednotlivých činností (zdroj: autorka)

Z pohledu leteckého dopravce lze přípravu nové letecké linky rozdělit na dvě etapy. Etapa 1 zahrnuje přípravu podkladů pro schválení obchodního záměru a zpracování doporučení pro management a Etapa 2 zahrnuje vlastní realizaci schváleného obchodního záměru. Pro lepší přehlednost při tvorbě síťového grafu je každá z uvedených dvou etap ještě rozdělena na 2 části.

Seznam návaznosti jednotlivých činností i s označením odpovídajících hran síťového grafu pro první část Etapy 1 je uveden v tab. č. 7, totéž pro druhou část Etapy 1 je uvedeno v tab. č. 8, totéž pro první část Etapy 2 je uvedeno v tab. č. 9 a pro druhou část Etapy 2 v tab. č. 10.

Číslo činnosti	Název činnosti / Hrana $[i, j]$ reprezentující činnost	Délka činnosti (dny)			Seznam předcházejících činností	Seznam následujících činností
		a_{ij}	b_{ij}	m_{ij}		
1	Prověření možnosti vzdušného omezení (otevřený/vázaný) / [1; 2]	4	14	7	x	2
2	Proces udělení povolení u vázaného trhu / [2; 3]	30	90	60	1	3
3	Identifikace klientely / [4; 5]	45	12 0	80	2	x

Tab. č. 7 Výchozí seznam činností Etapy 1 – část 1 (zdroj: autorka)

Číslo činnosti	Název činnosti / Hrana $[i, j]$ reprezentující činnost	Délka činnosti (dny)			Seznam předcházejících činností	Seznam následujících činností
		a_{ij}	b_{ij}	m_{ij}		
4a	Sdělení požadavku letišť / [6; 7]	10	30	15	x	5
4b	Odezva zúčastněných letišť / [6; 8]	15	60	30	x	6
5	Výběr letadla z hlediska navrhované trasy a časů / [7; 8]	5	90	60	4a	6
6	Úprava požadavků dle dispozic letišť / [8; 9]	20	60	30	5	7

7	Finanční analýza připravovaného letu / [10; 11]	10	30	15	6, 9	8
8	Příprava podkladů pro finální rozhodování managementu o provozování linky / [11; 12]	15	45	30	7	x
9	Prověření možností codeshare na dané lince / [6; 10]	10	90	60	x	7

Tab. č. 8 Výchozí seznam činností Etapy 1 – část 2 (zdroj: autorka)

Číslo činnosti	Název činnosti / Hrana $[i, j]$ reprezentující činnost	Délka činnosti (dny)			Seznam předcházejících činností	Seznam následujících činností
		a_{ij}	b_{ij}	m_{ij}		
10	Uzavření smlouvy o podmínkách provozu / [12; 13]	15	45	30	x	11, 12a, 13a, 14, 16, 17a, 18
11	Příprava podmínek pro schválení letového řádu / [13; 14]	20	45	30	10	12b, 13b, 19
12a	Obchodní smlouvy – Příprava aeropolitických předpokladů zahájení linky (1. část) / [13; 15]	10	45	30	10	12b
12b	Obchodní smlouvy – Příprava aeropolitických předpokladů zahájení linky (2. část) / [15; 21]	25	70	60	12a	x
13a	Obchodní smlouvy – Smluvní zajištění provozu ve vztahu k partnerům (1. část) / [13; 16]	15	45	30	10	13b
13b	Obchodní smlouvy – Smluvní zajištění provozu ve vztahu k partnerům (2. část) / [16; 21]	20	70	60	13a	x
14	Obchodní složky / [13; 17]	25	75	60	10	15
15	Obchodní složky / [17; 21]	20	40	30	14	x
16	Cenotvorba, obchod / [13; 18]	40	80	60	10	19
17a	Provozní složky, kvalita a bezpečnost (1. část) / [13; 19]	15	50	30	10	17b
17b	Provozní složky, kvalita a bezpečnost (2. část) / [19; 21]	15	50	30	17a	x

18	Marketing – příprava marketingového plánu / [13; 20]	45	95	60	10	19
19	Marketing – příprava oslovení marketingových partnerů / [20; 21]	15	60	30	18	x

Tab. č. 9 Výchozí seznam činností Etapy 2 – část 1 (zdroj: autorka)

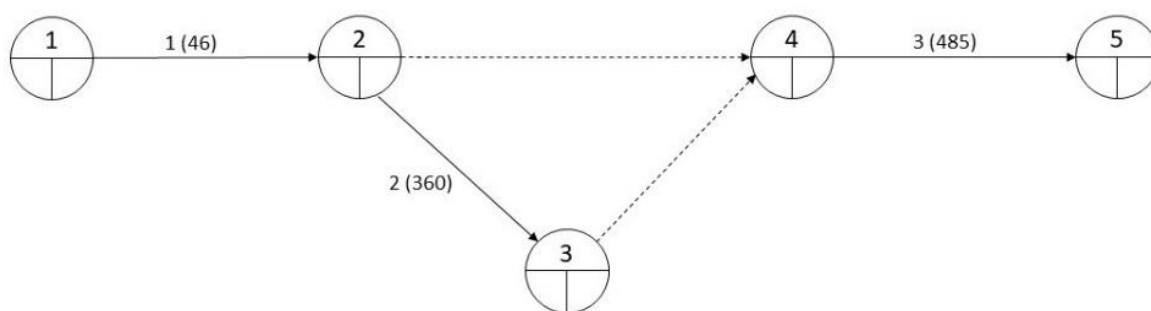
Číslo činnosti	Název činnosti / Hrana $[i, j]$ reprezentující činnost	Délka činnosti (dny)			Seznam předcházejících činností	Seznam následujících činností
		a_{ij}	b_{ij}	m_{ij}		
20	Konkretizace letové řádu / [21; 33]	10	45	30	x	x
21	Obchodní smlouvy / [21; 22]	14	45	30	x	17b, 18b, 20b
22	Kompletní zajištění vstupu do BSP / [21; 33]	20	45	30	x	x
23	Obchodní složky / [21; 23]	160	240	180	x	24
24	Zajištění funkčnosti OZ / [23; 33]	15	45	30	23	x
25	Cenotvorba, obchod / [21; 24]	20	60	30	x	x
26a	Cenotvorba, revenue management / [21; 25]	90	180	120	x	26b
26b	Cenotvorba, revenue management / [25; 33]	15	40	30	26a	x
27a	Provozní složky, kvalita a bezpečnost / [21; 26]	60	160	120	x	27b
27b	Provozní složky, kvalita a bezpečnost / [26; 33]	30	110	90	27a	x
28	Marketing – oslovení agentur / [21; 27]	25	40	30	x	30a
29a	Marketing – realizace marketingového plánu / [21; 28]	90	180	150	x	29b
29b	Marketing – realizace marketingového plánu / [28; 33]	100	135	120	29a	x
30a	Touropérátor / [27; 29]	25	35	30	28	30b
30b	Touropérátor / [29; 30]	25	35	30	30a	31
31	Tisk katalogu / [30; 31]	14	60	30	30b	32
32	Distribuce katalogu / [31; 32]	15	45	30	31	33

33	Vlastní prodej produktů dle katalogu / [32; 33]	90	140	120	32	x
----	---	----	-----	-----	----	---

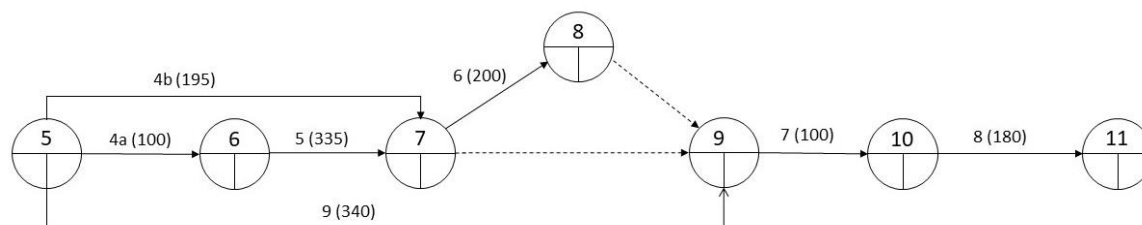
Tab. č. 10 Výchozí seznam činností Etapy 2 – část 2 (zdroj: autorka)

Na základě tab. č. 7 – 10 byly sestaveny čtyři síťové grafy, které jsou uvedeny na obr. č. 11 – 14.

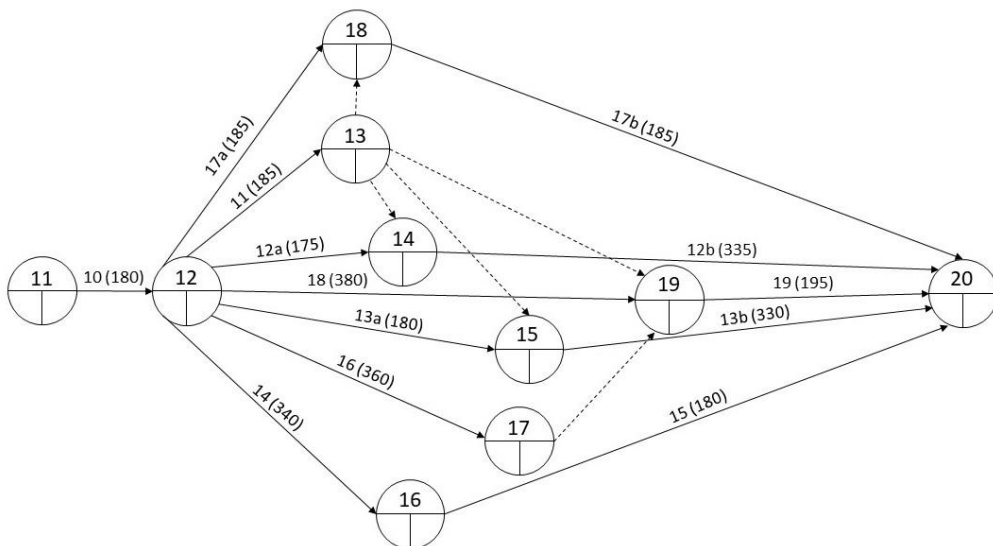
Síťový graf pro metodu PERT je z důvodu jeho velikosti dekomponován na více částí zobrazených na obr. č. 11 – 14. Propojení jednotlivých částí síťového grafu se provádí přes čísla koncových/počátečních uzlů na daném obrázku. Pro zlepšení přehlednosti jsou ve všech grafech u ohodnocení hran vynechány hodnoty $\frac{1}{6}$, tzn., že např. místo ohodnocení $\frac{46}{6}$ u činnosti [1,2] je uvedeno ohodnocení pouze 46.



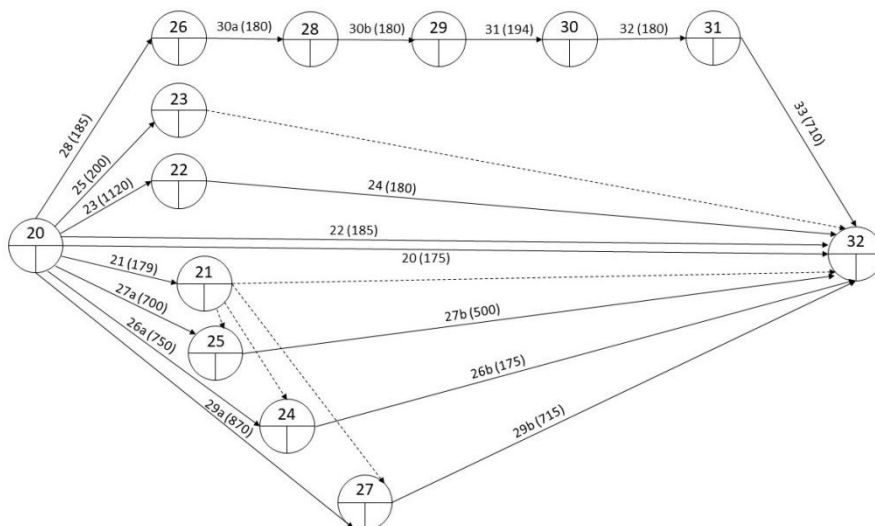
Obr. č. 11 Síťový graf Etapy 1 – část 1 (zdroj: autorka)



Obr. č. 12 Síťový graf Etapy 1 – část 2 (zdroj: autorka)



Obr. č. 13 Síťový graf Etapy 2 – část 1 (zdroj: autorka)



Obr. č. 14 Síťový graf Etapy 2 – část 2 (zdroj: autorka)

V průběhu projektu zahájení provozu nové linky z pohledu dopravce existují dva důležité milníky, ve kterých se rozhoduje o tom, zda bude projekt příprav zahájení provozu nové pravidelné letecké linky ukončen nebo bude v projektu pokračováno. První milník nastává po dokončení přípravy podkladů pro obchodní záměr a zpracování doporučení pro management, tedy po ukončení činnosti 8 na obr. č. 12, kdy dochází ke schvalovacímu procesu ze strany managementu. Je-li připravený obchodní záměr schválen managementem leteckého dopravce, končí Etapa 1 a může být zahájena Etapa 2.

Další milník nastává po ukončení činností 12b, 13b, 15, 17b a 19, kdy dochází k vyhodnocování rizik a k definitivnímu rozhodnutí o zahájení nebo nezahájení provozu nové

letecké linky. Pokud je definitivně rozhodnuto o zahájení provozu, nastává druhá část Etapy 2 obsahující činnosti uvedené v tab. č. 10.

Po ukončení činností 20, 22, 24, 26b, 27b, 29b a 33 druhé části Etapy 2 dochází k zahájení prvního letu na nové lince.

Je-li k plánování zahájení provozu na nové letecké lince využita metoda PERT, je nutno pro každou z činností uvedených v tab. č. 7 – 10 vypočítat jejich střední doby, rozptyly a směrodatnou odchylky, což je uvedeno v tab. č. 11.

Číslo činnosti	Název činnosti	Délka činnosti (dny)			Střední doba	Rozptyl	Směrodatná odchylka
		a_{ij}	b_{ij}	m_{ij}			
1	Prověření možnosti vzdušného omezení (otevřený/vázaný)	4	14	7	46/6	100/36	10/6
2	Proces udělení povolení u vázaného trhu	30	90	60	360/6	3600/36	60/6
3	Identifikace klientely	45	120	80	485/6	6400/36	80/6
4a	Sdělení požadavku letišťm	10	30	15	100/6	400/36	20/6
4b	Odezva zúčastněných letišť	15	60	30	195/6	2025/36	45/6
5	Výběr letadla z hlediska navrhované trasy a časů	5	90	60	335/6	7225/36	85/6
6	Úprava požadavků dle dispozic letišť	20	60	30	200/6	1600/36	40/6
7	Finanční analýza připravovaného letu	10	30	15	100/6	400/36	20/6
8	Příprava podkladů pro finální rozhodování managementu o provozování linky	15	45	30	180/6	900/36	30/6
9	Prověření možností codeshare na dané lince	10	90	60	340/6	6400/36	80/6
10	Uzavření smlouvy o podmínkách provozu	15	45	30	180/6	900/36	30/6
11	Příprava podmínek pro schválení letového řádu	20	45	30	185/6	625/36	25/6

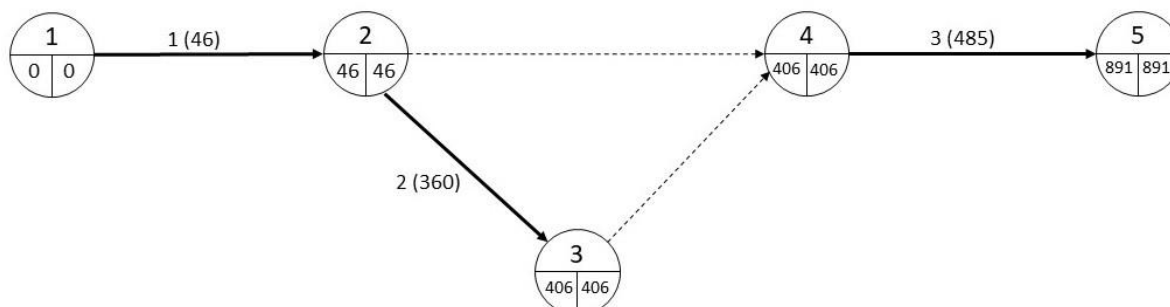
12a	Obchodní smlouvy – příprava aeropolitických předpokladů zahájení linky (1. část)	10	45	30	175/6	1225/36	35/6
12b	Obchodní smlouvy – příprava aeropolitických předpokladů zahájení linky (2. část)	25	70	60	335/6	2025/36	45/6
13a	Obchodní smlouvy – smluvní zajištění provozu ve vztahu k partnerům (1. část)	15	45	30	180/6	900/36	30/6
13b	Obchodní smlouvy – smluvní zajištění provozu ve vztahu k partnerům (2. část)	20	70	60	330/6	2500/36	50/6
14	Obchodní složky	25	75	60	340/6	2500/36	50/6
15	Obchodní složky	20	40	30	180/6	400/36	20/6
16	Cenotvorba, obchod	40	80	60	360/6	1600/36	40/6
17a	Provozní složky, kvalita a bezpečnost (1. část)	15	50	30	185/6	1225/36	35/6
17b	Provozní složky, kvalita a bezpečnost (2. část)	15	50	30	185/6	1225/36	35/6
18	Marketing – příprava marketingového plánu	45	95	60	380/6	2500/36	50/6
19	Marketing – příprava oslovení marketingových partnerů	15	60	30	195/6	2025/36	45/6
20	Konkretizace letového řádu	10	45	30	175/6	1225/36	35/6
21	Obchodní smlouvy	14	45	30	179/6	961/36	31/6
22	Kompletní zajištění vstupu do BSP	20	45	30	185/6	625/36	25/6
23	Obchodní složky	160	240	180	1120/6	6400/36	80/6
24	Zajištění funkčnosti OZ	15	45	30	180/6	900/36	30/6
25	Cenotvorba, obchod	20	60	30	200/6	1600/36	40/6
26a	Cenotvorba, revenue management	90	180	120	750/6	8100/36	90/6
26b	Cenotvorba, revenue management	15	40	30	175/6	625/36	25/6

27a	Provozní složky, kvalita a bezpečnost	60	160	120	700/6	10000/36	100/6
27b	Provozní složky, kvalita a bezpečnost	30	110	90	500/6	6400/36	80/6
28	Marketing – oslovení agentur	25	40	30	185/6	225/36	15/6
29a	Marketing – realizace marketingového plánu	90	180	150	870/6	8100/36	90/6
29b	Marketing – realizace marketingového plánu	100	135	120	715/6	1225/36	35/6
30a	Touroperátor	25	35	30	180/6	100/36	10/6
30b	Touroperátor	25	35	30	180/6	100/36	10/6
31	Tisk katalogu	14	60	30	194/6	2116/36	46/6
32	Distribuce katalogu	15	45	30	180/6	900/36	30/6
33	Vlastní prodej produktů dle katalogu	90	140	120	710/6	2500/36	50/6
Σ					698,33		105,1667

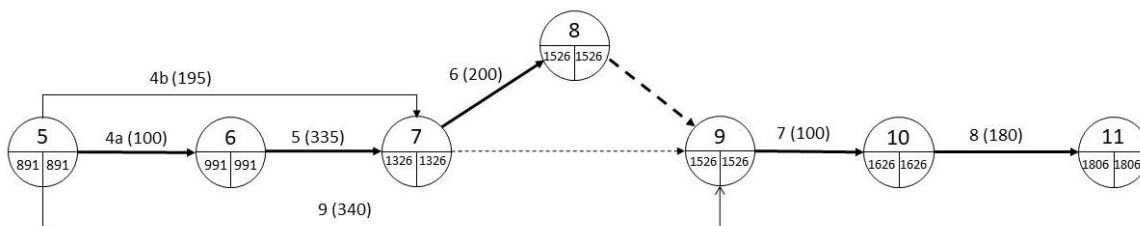
Tab. č. 11 Střední doby, rozptyly a směrodatné odchylky jednotlivých činností

(zdroj: autorka)

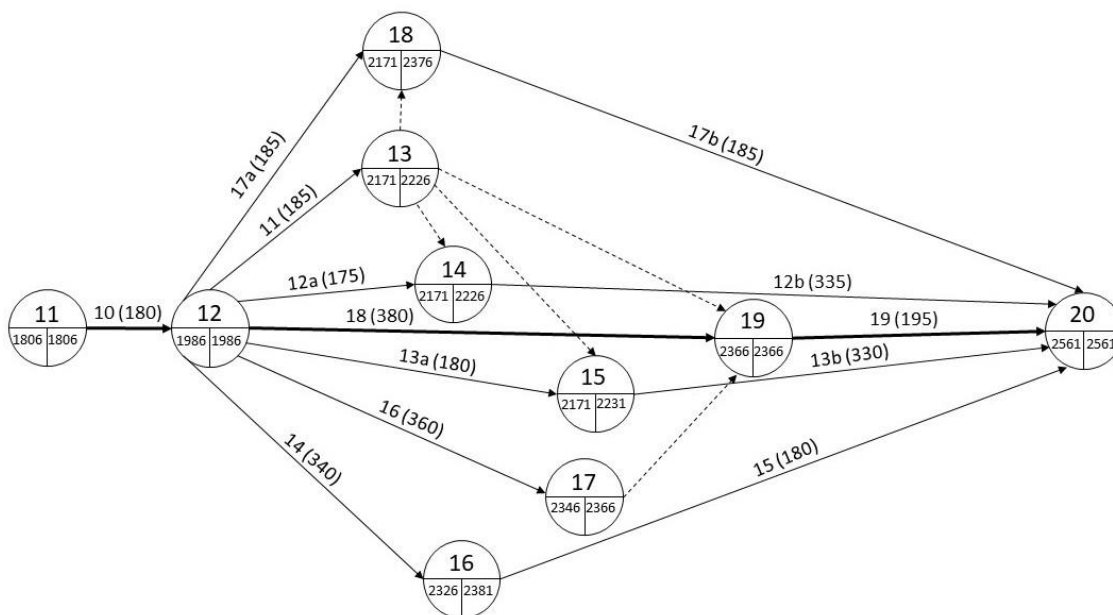
Na základě výsledků uvedených v tab. č. 11 budou do původních síťových grafů uvedených na obr. č. 11 – 14 zaznačeny nejdříve možné a nejpozději přípustné časy začátků a konců jednotlivých činností vypočítané na základě hodnot $E(T_{ij})$, výsledky jsou uvedeny na obr. 15 – 18. Kromě toho jsou na obr. č. 15 – 18 proloženy zvýrazněny kritické činnosti tvořící kritickou cestu. Kritická cesta se skládá ze 17 činností (1, 2, 3, 4a, 5, 6, 7, 8, 10, 18, 19, 28, 30a, 30b, 31, 22, 33).



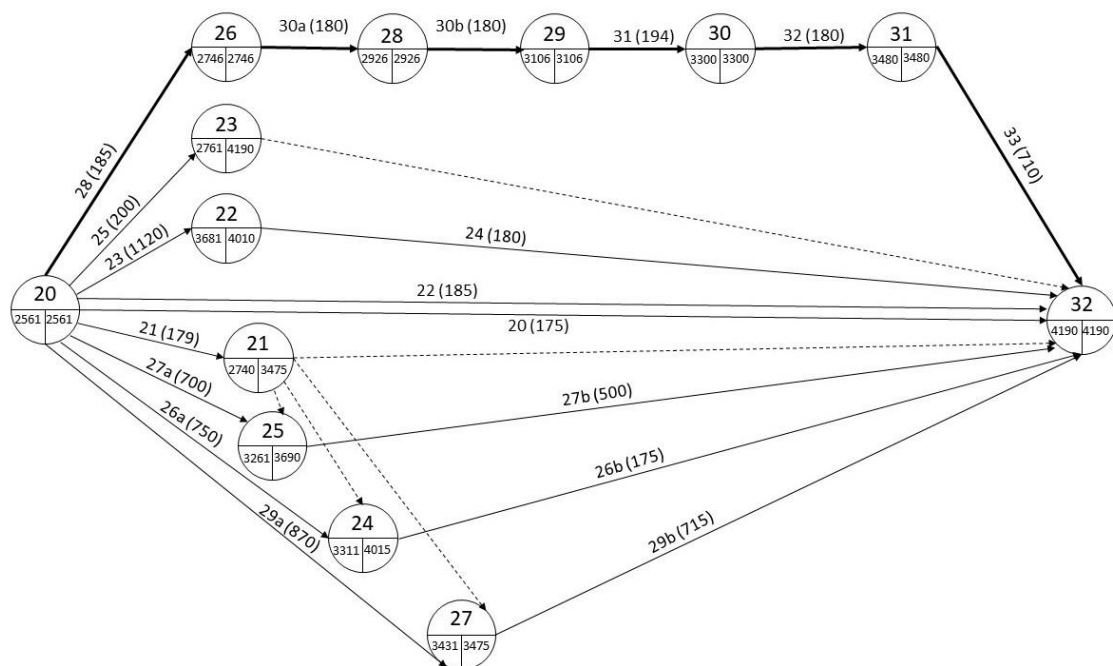
Obr. č. 15 Síťový graf s vyznačením kritických činností v Etapě 1 – část 1 (zdroj: autorka)



Obr. č. 16 Síťový graf s vyznačením kritických činností v Etapě 1 – část 2 (zdroj: autorka)



Obr. č. 17 Síťový graf s vyznačením kritických činností v Etapě 2 – část 1 (zdroj: autorka)



Obr. č. 18 Síťový graf s vyznačením kritických činností v Etapě 2 – část 2 (zdroj: autorka)

Na základě středních dob kritických činností, lze vypočítat střední dobu realizace projektu $E(T)$ z pohledu leteckého dopravce, rozptyl doby trvání celého projektu $\sigma^2(T)$ a odpovídající směrodatnou odchylku $\sigma(T)$. Dle tab. č. 11 je střední doba trvání celého projektu $E(T) = 698,33$ dní a směrodatná odchylka doby trvání celého projektu $\sigma(T) = \sqrt{11060,0278} = 105,1667$ dne.

Při přijetí předpokladu, že součet dob kritických činností se bude řídit normálním rozdělením pravděpodobnosti, lze známým postupem vypočítat např. pravděpodobnost, že doba trvání projektu nepřekročí 2 roky od jeho zahájení, což je obvyklá doba trvání příprav zahájení provozu nové pravidelné linky. Tuto pravděpodobnost vypočítáme ze vztahu (3.30), kdy T je označení náhodné proměnné modelující skutečnou dobu trvání projektu, T_p je plánovaná doba projektu 2 roky (730 dní), $E(T)$ je střední doba trvání celého projektu a $\sigma(T)$ je směrodatná odchylka doby trvání celého projektu. Tedy:

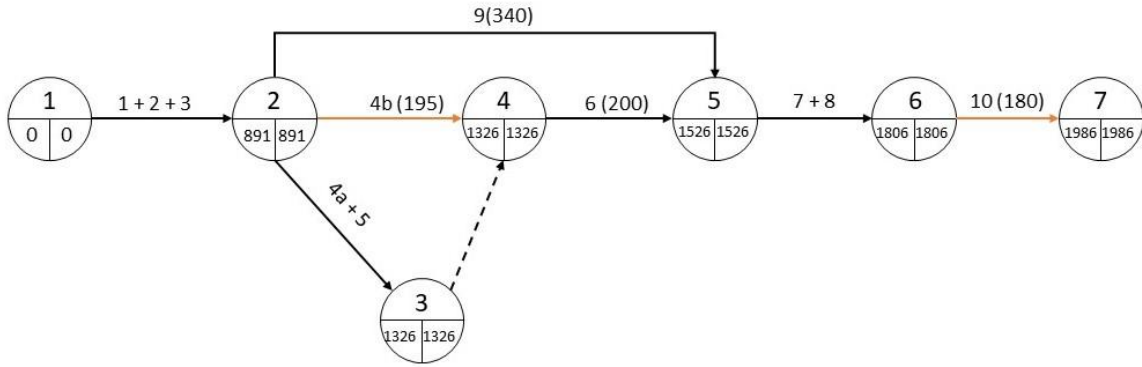
$$P(T \leq T_p) = \Phi \left[\frac{T_p - E(T)}{\sigma(T)} \right] = \Phi \left[\frac{730 - 698,33}{105,1667} \right] = \Phi[0,2061] \doteq \Phi[0,21] = 0,58317$$

Hodnota 0,58317 byla zjištěna z tabulek normovaného normálního rozdělení a udává tedy pravděpodobnost, že daný projekt se uskuteční do 2 let.

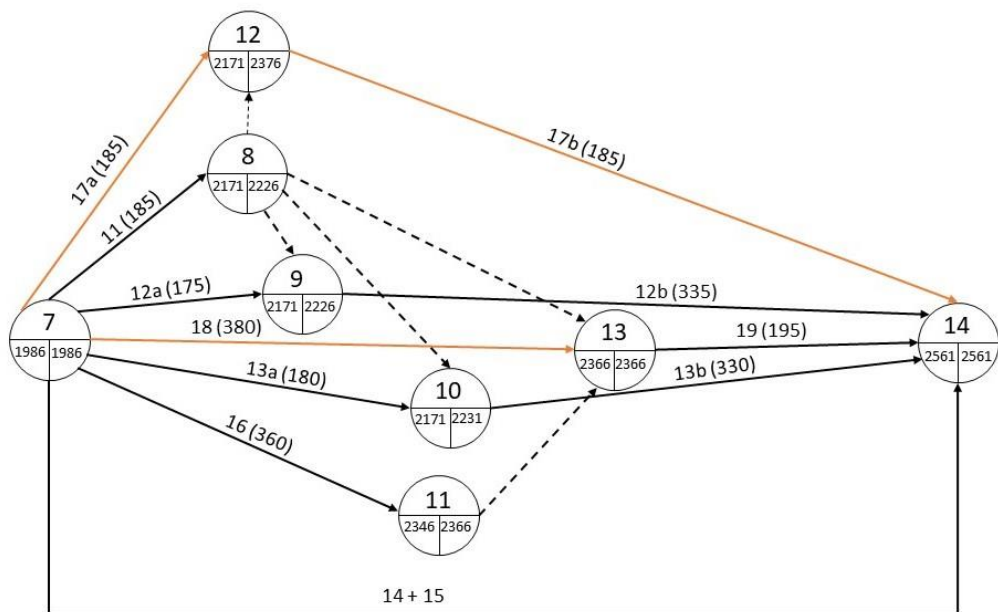
5.3.2.2 Aplikace metody PERT pro zavedení nové letecké linky z pohledu regionálního letiště

Na zavedení nové pravidelné letecké linky z pohledu regionálního letiště lze pohlížet dvěma způsoby. V prvním případě si regionální letiště např. dle poptávky cestujících volí tranzitní destinaci, do které má zájem zavést pravidelné letecké spojení a vyhlásí výběrové řízení na dopravce, který by danou linku provozoval. V takovémto případě dopravce musí vyhodnotit, zda je pro něj zahájení provozu dané linky z finančního a provozního hlediska efektivní a přihlásit se do výběrového řízení. Druhý případ nastává ve chvíli, kdy letecký dopravce sám připraví a vyhodnotí potřebné náležitosti k zavedení nové letecké linky a následně osloví regionální letiště s žádostí o zavedení nové pravidelné letecké linky.

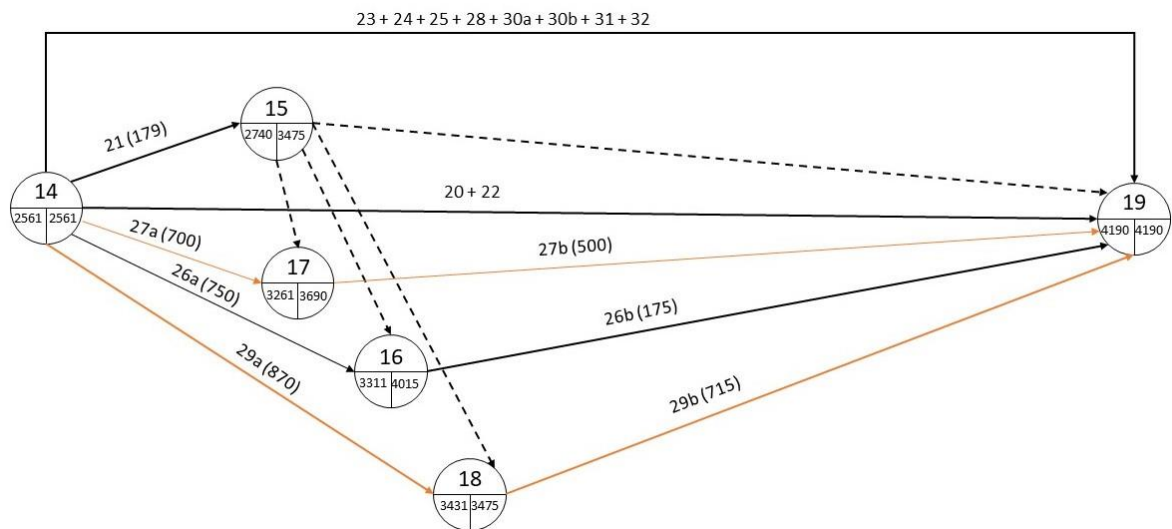
V případě situace, že dopravce osloví regionální letiště, potom první kontakt při plánování projektu nastává u činnosti 4a. Na obr. č. 19 – 21 jsou znázorněny propojené síťové grafy mezi dopravcem a regionálním letištěm, kdy černé šipky vyjadřují činnosti dopravce a oranžově zbarvené hrany vyjadřují činnosti realizované regionálním letištěm.



Obr. č. 19 Společný síťový graf přípravy zahájení provozu nové letecké linky s odlišením činností zajišťovaných leteckým dopravcem a regionálním letištěm – Etapa 1 (zdroj: autorka)



Obr. č. 20 Společný síťový graf přípravy zahájení provozu nové letecké linky s odlišením činností zajišťovaných leteckým dopravcem a regionálním letištěm – Etapa 2 (zdroj: autorka)



Obr. č. 21 Společný síťový graf přípravy zahájení provozu nové letecké linky s odlišením činností zajišťovaných leteckým dopravcem a regionálním letištěm – Etapa 2 (zdroj: autorka)

6. APLIKACE NAVRŽENÝCH PŘÍSTUPŮ V PODMÍNKÁCH REGIONÁLNÍHO LETIŠTĚ OSTRAVA

6.1 Aplikace vybraného gravitačního modelu na relaci Ostrava – Varšava

Jak bylo uvedeno v Kapitole 5, bude v rámci plnění cíle 1 experimentováno v tom smyslu, že hodnoty vstupních parametrů produktivity a atraktivity regionálního letiště i tranzitní destinace nebudou vyjadřovat celkový počet odbavených cestujících, ale budou vyjadřovat počty pravidelných linek na regionálním letišti a tranzitní destinaci. To znamená, že produktivita regionálního bude stanovena počtem provozovaných pravidelných linek, které z regionálního letiště odlétají, a atraktivita tranzitní destinace bude stanovena počtem provozovaných pravidelných linek, které do/z tranzitní destinace přilétají/odlétají.

Pro predikci poptávky v relaci Ostrava – Varšava (jeden směr) bude použit gravitační model (5.1). Za tím účelem bude v průběhu výpočtu uvažováno s jednosměrnými relacemi začínajícími vždy na regionálních letištích a končícími v tranzitních destinacích.

Do výpočtu bude vstupovat množina relací, které byly v minulosti (rok 2019) v provozu. Množina existujících relací vstupujících do výpočtu bude rozdělena na dvě neprázdné disjunktní podmnožiny, přičemž jejich sjednocením vznikne původní množina. První podmnožina existujících relací bude sloužit pro kalibraci koeficientů zvoleného kalibračního modelu. Proto bude v dalším textu označena názvem kalibrační podmnožina. Druhá podmnožina existujících relací bude sloužit pro validaci kalibrovaného modelu, proto bude v dalším textu označena názvem validační podmnožina.

Celý postup řešení lze charakterizovat třemi kroky.

V prvním kroku řešení bude probíhat proces kalibrace gravitačního modelu na vybrané podmnožině existujících relací. Ve druhém kroku bude probíhat validace kalibrovaného gravitačního modelu na druhé podmnožině existujících relací a bude-li po skončení druhého kroku prokázána validita kalibrovaného gravitačního modelu, proběhne třetí krok, ve kterém bude validovaný gravitační model využit pro predikci poptávky v relaci Ostrava – Varšava s předpokládaným zahájením provozu v říjen 2020.

Množina existujících relací bude složena z následujících relací (kódy jednotlivých letišť jsou převzaty z AIP příslušného státu):

- Brno (BRQ) – Mnichov (MUC),

- Brno (BRQ) – Londýn/Stansted (STN),
- Debrecen (DEB) – Mnichov (MUC),
- Debrecen (DEB) – Londýn/Luton (LTN),
- Košice (KSC) – Vídeň (VIE),
- Košice (KSC) – Londýn/Luton (LTN),
- Ostrava (OSR) – Londýn/Stansted (STN).

Pro kalibraci gravitačního modelu (5.1) byly vybrány následující relace:

- Brno (BRQ) – Mnichov (MUC),
- Brno (BRQ) – Londýn/Stansted (STN),
- Debrecen (DEB) – Mnichov (MUC),
- Debrecen (DEB) – Londýn/Luton (LTN),
- Košice (KSC) – Vídeň (VIE).

Pro validaci kalibrovaného gravitačního modelu (5.1) byly vybrány následující relace:

- Košice (KSC) – Londýn/Luton (LTN),
- Ostrava (OSR) – Londýn/Stansted (STN).

Pro kalibraci i validaci byla vybrána taková regionální letiště a pravidelné linky, které svým charakterem jsou podobné linkám provozovaným na regionálním letišti Ostrava. V tab. č. 12 jsou shrnuty charakteristické znaky jednotlivých relací. Informace o počtu obyvatel byly získány ze zdroje [26], při určování časové dostupnosti železniční dopravou byly využity informace ze zdroje [27] s tím, že v případě existence spojů, jejichž celková délka mezi oběma městy se liší, bylo uvažováno s reprezentativní hodnotou přímého spojení do hlavního železničního uzlu dané metropole (Praha hlavní nádraží; Bratislava hlavní stanica; Budapest, Keleti pályaudvar).

Město	Regionální letiště	Počet obyvatel	Existence potenciálu obchodní klientely	Vzdálenost od metropolitního města (km)	Časová dostupnost železniční dopravou (h)	Délka RWY (m)
Brno	ano	381 346	ano	187	3,5	2 650
Debrecen	ano	201 432	ano	194	4,5	2 500
Ostrava	ano	285 904	ano	276	4,5	3 511
Košice	ano	238 593	ano	313	5,7	3 100

Tab. č. 12 Charakteristické znaky regionálních letišť (zdroj: autorka)

Pro každou relaci bude nejdříve stanovena produktivita regionálního letiště a atraktivita tranzitní destinace. Z hodnot produktivit a atraktivit se vypočte hodnota populace pro příslušnou relaci dle vztahu (3.10). Vypočítaná hodnota populace je následně společně s ostatními hodnotami dosazena do gravitačního modelu (5.1). Ke kalibraci je použita funkce Řešitel, která vyžaduje nastavení kalibračních koeficientů na určitých výchozích hodnotách. V případě zvoleného gravitačního modelu bylo za výchozí hodnoty všech kalibračních koeficientů zvoleno číslo 0,01. Uvedené číslo bylo zvoleno experimentálně, protože při řádově vyšších výchozích hodnotách se stávalo, že funkce Řešitel nebyla schopna kalibrační výpočet úspěšně ukončit. Nejdříve byla vypočítána celková odchylka při výchozích hodnotách kalibračních koeficientů 0,01. Výsledky pro všechny kalibrační relace jsou uvedeny v tab. č. 13.

Suma nejmenších čtverců na všech relacích zvolených pro kalibraci při výchozích hodnotách kalibračních koeficientů 0,01 je definována jako součet sum nejmenších čtverců pro jednotlivé relace a činí $5,00247E+17$.

Následně byl s využitím funkce Řešitel v MS Excel zahájen proces kalibrace koeficientů $\beta_0 - \beta_8$. Z nabídky metod řešení byla pro kalibraci vybrána gradientní metoda. Gradientní metoda v rámci procesu kalibrace byla aplikována opakovaně do té doby, než došlo ke stabilizaci vypočítaných hodnot kalibračních koeficientů (stabilizací se rozumí, že se hodnoty vypočítané v určité iteraci v následující iteraci nezměnily). Ke stabilizaci všech hodnot kalibračních koeficientů došlo ve 3. iteraci, to znamená, že výsledný počet iterací pro dosažení stabilních hodnot kalibračních koeficientů byl 2. Dosažené hodnoty kalibračních koeficientů gravitačního modelu (5.1) po jednotlivých iteracích jsou shrnuty v tab. č. 15.

Relace	Měsíce	Pop_i	Pop_j	Pop_{ij}	Dst_{ij}	Prc_{ij}	Ttm_{ij}	Trm_{ij}	Trt_{ij}	Cnt_{ij}	Scd_{ij}	Teoretická hodnota poptávky	Skutečný počet cestujících	Absolutní hodnota chyby
BRQ - MUC	1	4	139	$5,56 \cdot 10^{-4}$	388	2 200	65	100	1	1	11	294,4297853	822	527,5702147
	2												469	174,5702147
	4												1 436	1 141,570215
	5												1 157	862,5702147
	6												1 353	1 058,570215
	7												1 485	1 190,570215
	8												1 469	1 174,570215
	9												994	699,5702147
	10												1 041	746,5702147
	11												951	656,5702147
	12												1 015	720,5702147
	(BRQ) - STN												1	4
2		3 275	2 061 264,828											
3		3 753	2 060 786,828											
4		5 197	2 059 342,828											
5		5 405	2 059 134,828											
6		5 399	2 059 140,828											
7		5 321	2 059 218,828											
8		5 664	2 058 875,828											
9		5 452	2 059 087,828											
10		5 559	2 058 980,828											
11		3 836	2 060 703,828											
12		3 676	2 060 863,828											
DEB - MUC	1	11	139	$15,29 \cdot 10^{-4}$	754	2 250	85	100	1	1	12	14 262,39015	782	13 480,39015
	2												749	13 513,39015
	3												1 063	13 199,39015
	4												989	13 273,39015
	5												1 100	13 162,39015
	6												1 054	13 208,39015
	7												1 190	13 072,39015
	8												996	13 266,39015
	9												1 108	13 154,39015
	10												912	13 350,39015

	11												1 157	13 105,39015
	12												1 003	13 259,39015
DEB - LTN	1	11	70	$7,7 \cdot 10^{-4}$	1 627	1 500	170	100	1	1	12	204 170 677,1	6 002	204 164 675,1
	2												4 873	204 165 804,1
	3												5 354	204 165 323,1
	4												6 503	204 164 174,1
	5												7 117	204 163 560,1
	6												7 022	204 163 655,1
	7												6 444	204 164 233,1
	8												7 499	204 163 178,1
	9												7 269	204 163 408,1
	10												7 498	204 163 179,1
	11												5 253	204 165 424,1
	12												7 202	204 163 475,1
KSC - VIE	1	4	104	$4,16 \cdot 10^{-4}$	364	2 300	65	100	1	1	12	233,3604472	2 158	1 924,639553
	2												2 195	1 961,639553
	3												2 720	2 486,639553
	4												3 267	3,639553
	5												3 314	3 080,639553
	6												3 458	3 224,639553
	7												3 386	3 152,639553
	8												3 253	3 019,639553
	9												3 654	3 420,639553
	10												3 437	3 203,639553
	11												1 584	1 350,639553
	12												2 512	2 278,639553
Celkem														2 474 885 088

Tab. č. 13 Přehled hodnot teoretické a skutečné poptávky při výchozích hodnotách kalibračních koeficientů 0,01 (zdroj: autorka)

Kalibrační koeficient	Výsledek 1. iterace	Výsledek 2. iterace
β_0	0,010001438	0,010088299
β_1	0,010008211	0,00665275
β_2	0,009986803	0
β_3	0,010062426	2,96518E-05
β_4	0,009345136	0,01151323
β_5	0,010000624	0,010038826
β_6	0,010000624	0,010034466
β_7	0,010007286	0,562381844
β_8	0,003730971	0

Tab. č. 14 Průběh hodnot kalibračních koeficientů gravitačního modelu (5.1) po jednotlivých iteracích procesu kalibrace (zdroj: autorka)

Hodnoty kalibračních koeficientů dosažené po druhé iteraci budou dále využity pro predikci poptávky v relacích Košice – Londýn/Luton a Ostrava – Londýn/Stansted. V obou relacích operuje nízkonákladový letecký dopravce Ryanair. Počty cestujících na těchto relacích v roce 2019 jsou známy dle databáze [24], tedy predikce poptávky na základě dosažených hodnot kalibračních koeficientů bude zároveň sloužit pro validaci kalibrovaného gravitačního modelu (5.1). Ukáže-li se na základě provedeného porovnání, že hodnota predikce poptávky zjištěná na základě kalibrovaného gravitačního modelu (5.1) se nebude výrazně lišit od skutečného počtu cestujících v relacích Košice – Londýn/Luton a Ostrava – Londýn/Stansted (odchylka predikovaných měsíčních a skutečných průměrných měsíčních počtu cestujících bude maximálně $\pm 20\%$), potom bude gravitační model využívající kalibrační koeficienty stanovené na základě funkce Řešitel považován za validovaný a vhodný k predikci poptávky v relaci Ostrava – Varšava.

Validace gravitačního modelu pro relaci Košice – Londýn/Luton

Po dosažení hodnot kalibračních koeficientů vypočítaných v druhé iteraci do podmínek relace Košice – Londýn/Luton, byla predikována poptávka po této relaci 5 019 cestujících měsíčně, viz. tab. č. 15.

Relace	M	Pop_i	Pop_j	Pop_{ij}	Dst_{ij}	Prc_{ij}	Ttm_{ij}	Trm_{ij}	Trt_{ij}	Cnt_{ij}	Scd_{ij}	Teoreticky
KSC - LTN	1 - 12	5	71	$3,55 \cdot 10^{-4}$	530	1 100	145	100	2	1	12	5 018,5516

Tab. č. 15 Hodnota predikované poptávky na relaci Košice – Londýn/Luton (zdroj: autorka)

Z databáze [22] byla v roce 2019 zjištěna skutečná průměrná měsíční hodnota poptávky po této relaci 6 149 cestujících měsíčně, což se liší cca o 18 %. Průměrný rozdíl 1 130 cestujících měsíčně, může být způsoben např. tím, že při predikci poptávky byla uvažována jednotná cena letenky ve výši 1 100,- Kč stanovená podle aktuální nabídky v měsíci červenec 2020, protože průměrnou cenu letenky v roce 2019 nebylo možno dohledat.

Validace gravitačního modelu pro relaci Ostrava – Londýn/Stansted

Po dosazení hodnot kalibračních koeficientů vypočítaných v druhé iteraci do podmínek relace Ostrava – Londýn/Stansted, byla predikována poptávka po této relaci 4 434 cestujících měsíčně, viz tab. č. 16.

Relace	M	Pop_i	Pop_j	Pop_{ij}	Dst_{ij}	Prc_{ij}	Ttm_{ij}	Trm_{ij}	Trt_{ij}	Cnt_{ij}	Scd_{ij}	Teoreticky
OSR - STN	1 - 12	1	103	$1,03 \cdot 10^{-4}$	1 307	1 336	135	100	1	1	12	4 433,8281

Tab. č. 16 Hodnota predikované poptávky pro relaci Ostrava – Londýn/Stansted

(zdroj: autorka)

Z databáze [22] byla v roce 2019 zjištěna skutečná průměrná měsíční hodnota poptávky po této relaci 4 608 cestujících měsíčně, což se liší cca o 4 %. Průměrný rozdíl 174 cestujících měsíčně může být způsoben např. tím, že při predikci poptávky byla uvažována jednotná cena letenky ve výši 1 336,- Kč stanovená podle aktuální nabídky v měsíci srpen 2020, protože průměrnou cenu letenky v roce 2019 opět nebylo možno dohledat.

Na základě porovnání výsledků na testovacích relacích Košice – Londýn/Luton a Ostrava – Londýn/Stansted tedy můžeme gravitační model (5.1) s hodnotami kalibračních koeficientů odvozenými v předchozím textu považovat za validovaný.

Za účelem ověření relevance v práci modifikovaného gravitačního modelu (5.1) bude provedeno ověření validity výsledků dosažených s využitím:

1. původního gravitačního modelu publikovaného v práci [14] s tím, že produktivita je reprezentována počty obyvatel žijících ve městech s regionálním letištěm, atraktivita je reprezentována počty obyvatel žijících ve městech s tranzitními destinacemi,
2. upraveného gravitačního modelu publikovaného v práci [15] s tím, že produktivita je reprezentována počty odbavených cestujících na odletu pravidelných linek na regionálních letištích, atraktivita je reprezentována počty odbavených cestujících na příletu pravidelných linek v tranzitních destinacích,
3. upraveného gravitačního modelu v předložené disertační práci s tím, že produktivita regionálního letiště je reprezentována počty obyvatel žijících ve městech s regionálním letištěm, atraktivita tranzitní destinace je reprezentována počty obyvatel žijících ve městech s tranzitními destinacemi,
4. upraveného gravitačního modelu v předložené disertační práci s tím, že produktivita regionálního letiště je reprezentována počty odbavených cestujících na odletu pravidelných linek na regionálních letištích, atraktivita tranzitní destinace je reprezentována počty odbavených cestujících na příletu pravidelných linek v tranzitních destinacích.

Výsledky gravitačních modelů predikovaných počtů cestujících v relaci Košice – Londýn/Luton a Ostrava – Londýn/Stansted jsou uvedeny v tab. č. 17.

Validační relace	Skutečný počet cestujících	Výsledky gravitačních modelů (predikované počty cestujících v relaci)				
		GM 1	GM 2	GM 3	GM 4	GM 5
KSC – LTN	6 149	5 019	8 610	3 222	8 014	4 997
OSR – STN	4 608	4 434	11 137	3 222	8 408	4 414

Tab. č. 17 Výsledky predikovaných počtů cestujících ve validačních relacích a jejich porovnání se skutečnými počty (zdroj: autorka)

kde:

GM 1 – v disertační práci navržený upravený gravitační model

GM 2 – původní gravitační model podle bodu 1

GM 3 - upravený gravitační model podle bodu 2

GM 4 - upravený gravitační model podle bodu 3

GM 5 - upravený gravitační model podle bodu 4

Výsledky gravitačních modelů odchylek predikovaného počtu cestujících v relaci od skutečnosti v relaci Košice – Londýn/Luton a Ostrava – Londýn/Stansted jsou uvedeny v tab. č. 18.

Validační relace	Výsledky gravitačních modelů (absolutní odchylka predikovaného počtu cestujících v relaci od skutečného počtu cestujících v dané relaci)				
	GM 1	GM 2	GM 3	GM 4	GM 5
KSC – LTN	1 130	2 461	2 927	1 865	1 151
OSR – STN	174	6 529	1 386	3 800	194

Tab. č. 18 Absolutní odchylky predikovaných počtů cestujících ve validačních relacích od skutečných počtů cestujících v těchto relacích v roce 2019

(zdroj: autorka)

Na základě přehledů výsledků uvedených v tab. č. 17 a 18 je možno konstatovat, že gravitační model modifikovaný v předložené disertační práci (GM 1) predikuje poptávku ve validačních relacích nejpřesněji.

V dalším textu bude upravený gravitační model navržený v předložené disertační práci aplikován na predikci poptávky po nově uvažované relaci Ostrava – Varšava.

Predikce poptávky pro relaci Ostrava – Varšava

S využitím validovaného gravitačního modelu (5.1) bude nyní analogicky predikována průměrné měsíční poptávky pro relaci Ostrava – Varšava. Vstupními faktory budou produktivita regionálního letiště Ostrava, atraktivita tranzitní destinace Varšava, vzdálenost obou letišť, průměrná cena letenky, počet leteckých dopravců operujících v dané relaci, procento realizovaných letů, počet měsíců provozu v roce a doba letu. Produktivita regionálního letiště Ostrava bude mít hodnotu 2 (uvažovaná pravidelná letecká linka Ostrava – Varšava bude druhou pravidelnou linkou provozovanou z letiště Ostrava), atraktivita letiště Varšava bude 75 (linka Ostrava – Varšava bude 75. pravidelnou leteckou linkou provozovanou na letišti Varšava), vzdálenost obou letišť je 327 km, průměrná cena letenky vychází z nabídky letenek v měsících září – říjen 2020 a činila 1 145,- Kč, doba provozu relace bude uvažována 12 měsíců a doba letu bude činit 65 minut [28].

Pomocí funkce Řešitel a využití gradientní metody s kalibračními koeficienty získanými po 2. iteraci byla stanovena predikce po dané relaci, která činí 1 986 cestujících měsíčně ve směru z Ostravy do Varšavy.

6.2 Aplikace vybraného modelu pro optimalizaci destinačního portfolia mezinárodního regionálního letiště Ostrava

Výpočetní experiment uvedený v podkapitole 6.2, na kterém bude demonstrováno využití vybraného přístupu pro návrh destinačního portfolia navrženého v podkapitole 5.2, bude zčásti vycházet z reálných a zčásti z modelových dat.

Je dáno regionální letiště Ostrava, s množinou 4 potenciálních tranzitních destinací Amsterdam – AMS, Kodaň – CPN, Mnichov – MUC a Varšava – WAW, ze kterých je dostupných 231 cílových destinací (viz příloha č. 1).

Do množiny cílových destinací jsou zahrnuty i tranzitní destinace, neboť existují možnosti přímých letů mezi tranzitními destinacemi navzájem. To znamená, že může nastat případ, že přímé letecké spojení regionálního letiště s tranzitní destinací nebude sice realizováno, ale tato tranzitní destinace bude ve skutečnosti cílovou destinací dostupnou přes jinou tranzitní destinaci. Existuje-li tedy např. přímé letecké spojení z Amsterdamu do Mnichova, bude destinace Mnichov považována za cílovou destinaci dostupnou přes tranzitní destinaci Amsterdam. A zároveň bude Mnichov také tranzitní destinací zahrnutou do množiny tranzitních destinací.

Je dáno plánovací období složené z pěti pracovních dní (nepředpokládá se provoz pravidelných leteckých linek v soboty a neděle) a časové období provozu regionálního letiště Ostrava pro odlety letadel do tranzitních destinací od 6:00 do 22:00. Čas 6:00 byl zvolen z důvodu, že na letišti v Ostravě není uvažováno s nočním pobytem letadel obsluhujících pravidelné linky do vybraných tranzitních destinací, a protože letečtí dopravci zahajují ze svých uzlových letišť ranní lety pravidelných linek zpravidla nejdříve v čase 5:00, nedá se očekávat, po přičtení doby letu a doby odbavení na letišti Ostrava, nejdříve možný čas odletu letiště Ostrava před 6:00. Čas 22:00 byl zvolen z důvodu, že letečtí dopravci ukončují večerní lety ve svých uzlových letištích po 23:00 výjimečně, dá se tedy očekávat, že po odečtení doby letu nastane nejpozději možný čas odletu z letiště Ostrava ve 22:00. Pro účely výpočetního experimentu je časové období provozu pro odlety letadel do tranzitních destinací v každém dni rozděleno na dvě stejně dlouhé časové denní periody, přičemž denní perioda č. 1 bude časově vymezena intervalem 6:00 – 14:00 a denní perioda č. 2 intervalem 14:00 – 22:00.

Protože reálné hodnoty poptávky po cílových destinacích propojených s tranzitními destinacemi v jejich jednotlivých denních periodách jednotlivých dní plánovacího období (týdne) nejsou pro účely výpočetního experimentu známy, bylo při jejich predikci nutno zvolit

náhradní postup. Prostřednictvím gravitačního modelu (5.1) kalibrovaného a validovaného pro potřeby predikce poptávky pro regionální letiště Ostrava v podkapitole 6.1 byly predikovány hodnoty průměrné měsíční poptávky po všech čtyřech tranzitních destinacích (AMS, CPN, MUC, WAW). Výsledky relaci Ostrava – tranzitní destinace jsou shrnuty v tab. č. 19.

Relace z/do (jednosměrná)	Ostrava – Amsterdam	Ostrava – Kodaň	Ostrava – Mnichov	Ostrava – Varšava
Průměrný měsíční počet cestujících (ve směru z Ostravy)	2 978	2 639	1 859	1 978

Tab. č. 19 Hodnoty průměrné měsíční poptávky po tranzitních destinacích s potenciálem provozu pravidelné letecké linky (zdroj: autorka)

Odborná literatura [29] v případech, kdy ve stochastických podmínkách nejsou k dispozici žádné bližší informace, které by umožnily predikovat pravděpodobnost nastoupení určitého náhodného jevu (v tomto případě poptávky po jednotlivých tranzitních a cílových destinacích v jednotlivých denních obdobích jednotlivých dní plánovacího období), uvádí, že je možno při stanovení neznámých požadovaných hodnot předpokládat maximální míru neurčitosti ve vstupních datech, která je reprezentována rovnoměrným rozložením hodnot výskytu mezi jednotlivé kategorie dat (v tomto případě mezi jednotlivé relace).

Při predikci poptávky po tranzitních i cílových destinacích tedy bude postupováno tak, že budou sečteny hodnoty poptávky predikované pro všechny tranzitní destinace a následně rovnoměrně rozděleny mezi všechny (tedy tranzitní i cílové destinace).

Celková průměrná měsíční poptávka po všech tranzitních destinacích činí (podle hodnot v tab. č. 20) $2\,978 + 2\,639 + 1\,859 + 1\,978 = 9\,454$ cestujících. Při rovnoměrném rozdělení hodnoty celkové průměrné měsíční poptávky na jednotlivé týdny (plánovací období) dostáváme po zaokrouhlení celkovou průměrnou týdenní poptávku ve výši 2 364 cestujících. Je-li v daném experimentu uvažováno 231 cílových destinací včetně 4 tranzitních destinací, potom průměrná měsíční poptávka připadající na jednu destinaci při maximální míře neurčitosti činí průměrně po zaokrouhlení 10 cestujících a při existenci dvou denních časových period v každém dni plánovacího období je to po zaokrouhlení průměrně 5 cestujících na 1 destinaci (tranzitní i cílovou).

Při rozhodování je nutno brát na zřetel intervaly časové dostupnosti. Vzhledem k tomu, že letové řady jednotlivých společností provozující pravidelné lety z tranzitních destinací do cílových nejsou v sumární podobě, až na možné výjimky, volně přístupné, bude pro potřeby výpočetního experimentu uvažováno s intervalem časové dostupnosti letů z tranzitních destinací do cílových destinací po celou dobu obou denních časových period každý den plánovacího období.

Úkolem je navrhnout model, jehož řešením bude plán letů do vybraných $p = 2$ tranzitních destinací každý pracovní den v týdnu ve stejné časové periodě (v průběhu dne se uskuteční do každé vybrané tranzitní destinace $i \in I$ právě 1 let). Cílem optimalizace je maximalizovat celkový počet cestujících, jejichž poptávka bude nabídkou provozovaných tranzitních destinací uspokojena.

Přehled typů dat vstupujících do výpočetního experimentu a rozdělených podle toho, zda jsou reálná nebo modelová obsahuje tab. č. 20.

Data pocházející z reálného provozu	Data modelová
<ul style="list-style-type: none"> • regionální letiště; • množina tranzitních destinací; • množina cílových destinací; • neexistence disjunktnosti podmnožin cílových destinací dostupných z jednotlivých tranzitních destinací; • provozní doba regionálního letiště pro odlety do tranzitních destinací. 	<ul style="list-style-type: none"> • počet dní v plánovacím období; • počet denních časových period; • hodnoty poptávky po jednotlivých destinacích v jednotlivých denních periodách a dnech plánovacího období; • počet vybíraných pravidelných leteckých linek provozovaných do tranzitních destinací; • požadavek na odlet letu do tranzitní destinace ve stejné denní periodě každý den plánovacího období (týdne); • kontinuální vymezení intervalů časové dostupnosti cílových destinací z tranzitních destinací.

Tab. č. 20 Rozdělení dat vstupujících do výpočetního experimentu na reálná a modelová (zdroj: autorka)

Protože je uvažována varianta optimalizační úlohy s možnou variabilní poptávkou po tranzitních i cílových destinacích, s požadavkem na uskutečňování letů do stejné tranzitní destinace ve stejné denní časové periodě každý den v průběhu plánovacího období pro každou provozovanou pravidelnou leteckou linku byla z podkapitoly 5.2 k řešení optimalizační úlohy použita varianta 6.

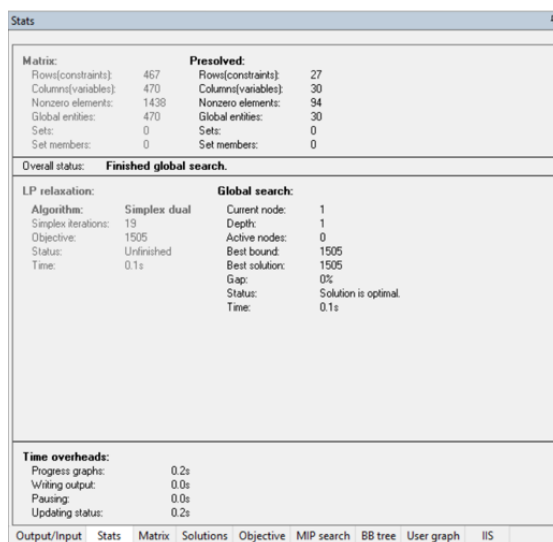
Dostupnost cílových destinací z tranzitních destinací je uvedena v příloze č. 1.

Na základě této dostupnosti a informace o kontinuálním intervalu časové dostupnosti přes obě periody každého dne plánovacího období umožňuje redukovat rozměr matice A na 2×2 (řádky matice reprezentují cílové destinace a sloupce matice reprezentují denní periody jednotlivých dní plánovacího období. Prvky matice A jsou uvedeny v příloze č. 2.

V příloze č. 3 je uveden zdrojový kód programu v programovacím jazyku MOSEL, se kterým pracuje optimalizační software Xpress-IVE umožňující řešit optimalizační úlohu uvedeného typu.

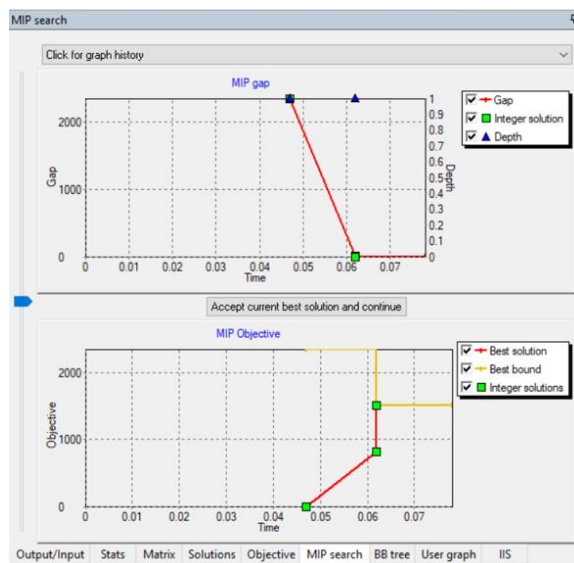
Po ukončení optimalizačního výpočtu byly získány výsledky – výpis hodnot proměnných reprezentujících provozování pravidelných leteckých linek do tranzitních destinací v jednotlivých denních časových periodách a dostupnost cílových destinací z těchto tranzitních destinací, jejichž kompletní výpis je uveden v příloze č. 4. V příloze č. 4 jsou uvedeny pouze proměnné, které po skončení optimalizačního výpočtu nabyly hodnoty 1. Protože po skončení optimalizačního výpočtu nabyly hodnoty 1 proměnné y_{11} a y_{32} , budou pravidelné linky provozovány následovně: do tranzitní destinace Amsterdam v denní časové periodě 6:00 – 14:00 a do tranzitní destinace Mnichov v denní časové periodě 14:00 – 22:00.

Potvrzení o dosažení optimálního řešení v rámci experimentu je uvedeno na obr. č. 22, kde je znázorněna záložka z optimalizačního software věnovaná stavovému hlášení o ukončení optimalizačního výpočtu.



Obr. č. 22 Stavové hlášení z optimalizačního software Xpress-IVE se statusem potvrzujícím dosažení optimálního řešení (zdroj: autorka)

Na obr. č. 23 je znázorněn průběh optimalizačního výpočtu v čase. Z průběhu je patrné, že šířka neprozkoumaného pásma obsahujícího potenciální celočíselná řešení úlohy dosáhla hodnoty 0 cca po uplynutí 0,08 s výpočetního času.



Obr. č. 23 Průběh optimalizačního výpočtu v čase v software Xpress-IVE (zdroj: autorka)

6.3 Aplikace vybraného nástroje projektového řízení vedoucí k zahájení provozu pravidelné letecké linky z regionálního letiště Ostrava

Výsledkem předchozí podkapitoly byl optimální výběr pravidelných leteckých linek vhodných pro mezinárodní regionální letiště Ostrava. V podkapitole 6.3 budou na problematiku zavedení na vybrané pravidelné letecké linky aplikovány nástroje projektového řízení za účelem získání efektivního plánu procesu přípravy zahájení provozu nové pravidelné letecké linky z regionálního letiště Ostrava. K aplikaci bude vybrána linka Ostrava – Varšava, jejíž zahájení provozu se očekává v měsíci říjnu 2020.

Celý proces vedoucí k zahájení provozu nové pravidelné letecké linky z Ostravy do Varšavy lze rozdělit do dvou etap. Etapa 1 zahrnuje přípravu podkladů pro schválení obchodního záměru a zpracování doporučení pro management a Etapa 2 zahrnuje vlastní realizaci schváleného obchodního záměru. Etapu 2 můžeme ještě dále rozdělit na dvě části. První část Etapy 2 začíná schválením obchodního záměru zahájit provoz na nové lince a končí vydáním definitivního rozhodnutí o zahájení nebo nezahájení provozu. Zahájení provozu je podmíněno akceptovatelným rizikem, že se obchodní záměr nepodaří naplnit. Druhá část Etapy 2 začíná vydáním definitivního rozhodnutí o zahájení provozu a končí dnem zahájení prvního letu.

Úvodním krokem poskytující vstupy do aplikace metody PERT je vytvoření výchozí tabulky činností. V tab. č. 21 jsou uvedeny názvy jednotlivých činností a jejich významový obsah. Některé z činností, které jsou v tabulce uvedeny, jsou rozděleny do dvou částí (např. 3a, 3b). Rozdělení činnosti na více fází se používá v situaci, kdy je určitá fáze činnosti podmíněna ukončením jiné činnosti.

Číslo činnosti	Název činnosti - Významový obsah činnosti
1	Prověření možnosti vzdušných omezení – v případě pravidelné linky Ostrava – Varšava se jedná o předběžný průzkum existence volných slotů na letišti Varšava v průběhu dne.
2	Identifikace klientely – nabídky pro některou z cílových skupin, např. na prémiové cestující nebo obchodní cestující, turisty, studenty, pro které se liší cenotvorba i letový řád.

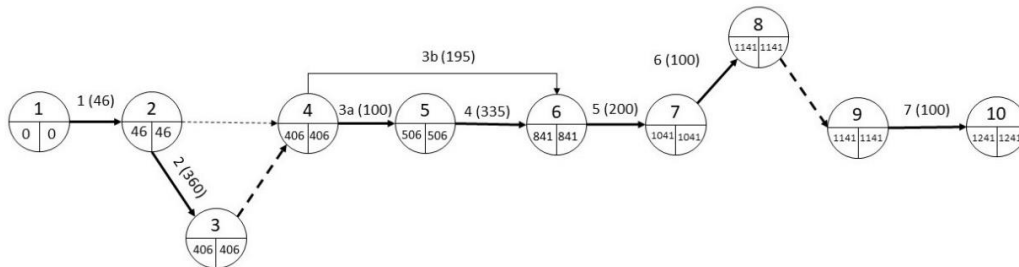
3a	Sdělení požadavku letišť – průzkum a předvýběr handlingové společnosti na letišti Varšava, specifikace druhu a rozsahu poskytovaných služeb a jejich cenové vyhodnocení.
3b	Doba na odezvu zúčastněných letišť – zpětné potvrzení či úprava požadovaných služeb ze strany letišť Ostrava – Varšava.
4	Výběr letadla z hlediska navrhované trasy, časů a kapacity – výběr probíhá buď ze stávající flotily společnosti, nebo pořízením nového typu letadla.
5	Úprava požadavků dle dispozic letišť – doba vyčlenění pro posouzení případných připomínek letišť a jejich zohlednění pro přípravu záměru.
6	Finanční analýza připravovaného letu - předběžná analýza nákladů a výnosů na základě modelu rozvrstvení typů klientely a od ní odvislé cenotvorby.
7	Příprava podkladů pro finální rozhodování managementu o provozování linky – kompletace a utřídění všech shromážděných podkladů.
8	Prověření možností codeshare na dané lince – předpokládá se určitá doba pro posouzení, zda o spolupráci na této lince mají zájem alianční partneři dopravce, nebo i společnosti mimo alianci.
9	Uzavření podpůrných smluv o podmínkách provozu – v případě linky se bude v ČR jednat o podmínkách provozu mezi MS krajem nebo jiným subjektem, který by mohl mít na zavedení linky zájem (Hyundai, apod.) a byl ochoten ji podpořit.
10	Příprava předběžného návrhu letového řádu – zapracování linky do stávajícího letového řádu společnosti z hlediska možností přípojů v destinaci, z hlediska využití flotily dopravce a zahrnoval omezení daná bodem 1.
11	Uzavření obchodních smluv – smluvní zajištění provozu ve vztahu ke konkrétnímu návrhu letového řádu, tj. s letišťem Varšava, s handlingovou společností, s distribučními firmami.
12	Fáze zajištění prodeje letenek na novém trhu – zřízení distribučních kanálů dopravcem a popřípadě vnější prodej ve spolupráci s distribučními firmami.
13	Posouzení výhodnosti využívání služeb generálního agenta při distribuci letenek – výběr a implementace generálního prodejního agenta.
14	Cenotvorba – kalkulace cen letenek, tarifů pro vlastní distribuční prodej i pro externí agentury na domácím trhu i v zahraničí.
15a	Provozní složky, kvalita a bezpečnost (1. část) – prověření technické proveditelnosti letu a odbavení.

15b	Provozní složky, kvalita a bezpečnost (2. část) – v případě zjištění nedostatků technické proveditelnosti, návrh řešení technické proveditelnosti.
16	Příprava marketingového plánu zavedení linky.
17	Marketing – příprava a realizace prezentací pro smluvní partnery.
18	Letové řády – upřesnění předběžných letových řádů.
19	Obchodní smlouvy – uzavření smluv ve vztahu k ostatním partnerům.
20	Kompletní zajištění vstupu do prodejního systému BSP (Billing and Settlement Plan).
21	Cenotvorba, obchod, distribuce cen touroperátorům.
22a	Cenotvorba, revenue management (1. část) - příprava cen pro individuální cestující včetně publikovaných tarifů, nastavení revenue managementu, distribuce cen pro individuální cestující.
22b	Cenotvorba, revenue management (2. část) – cenová ujednání s jinými dopravci v případě účasti v alianci leteckých dopravců.
23a	Provozní složky, kvalita a bezpečnost (3. část) – obecná fáze příprava provozně technického zajištění odbavení i letu.
23b	Provozní složky, kvalita a bezpečnost (4. část) – zpracování smluvních specifik, požadavků a možností letišť, technického handlingu apod. do příprav provozně technického zajištění odbavení i letu.
24	Marketing – oslovení agentur a obchodních partnerů (např. prezentace).
25a	Marketing – příprava realizace marketingového plánu zavedení linky, která zahrnuje marketingové aktivity ve vztahu k partnerům.
25b	Marketing – konkrétní navržení marketingového plánu zahrnující akční ceny.
26a	Touroperátor (1. část) – příprava package, která zahrnuje např. kontakty s hotely.
26b	Touroperátor (2. část) – konkrétní příprava package dle stanovené ceny.
27	Tisk katalogu touroperátora.
28	Distribuce katalogu touroperátora.
29	Příprava zahájení prodeje produktu dle katalogu.

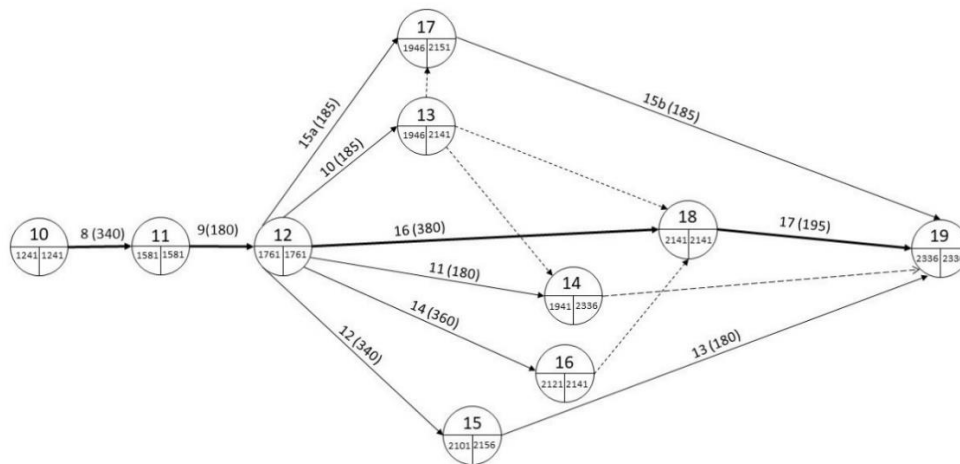
Tab. č. 21 Výchozí seznam činností projektu zahájení provozu pravidelné letecké linky
Ostrava – Varšava (zdroj: autorka)

Síťový graf reprezentující daný projekt je opět z důvodu jeho velikosti dekomponován na více částí zobrazených na obr. č. 24 – 26. Propojení jednotlivých částí síťového grafu

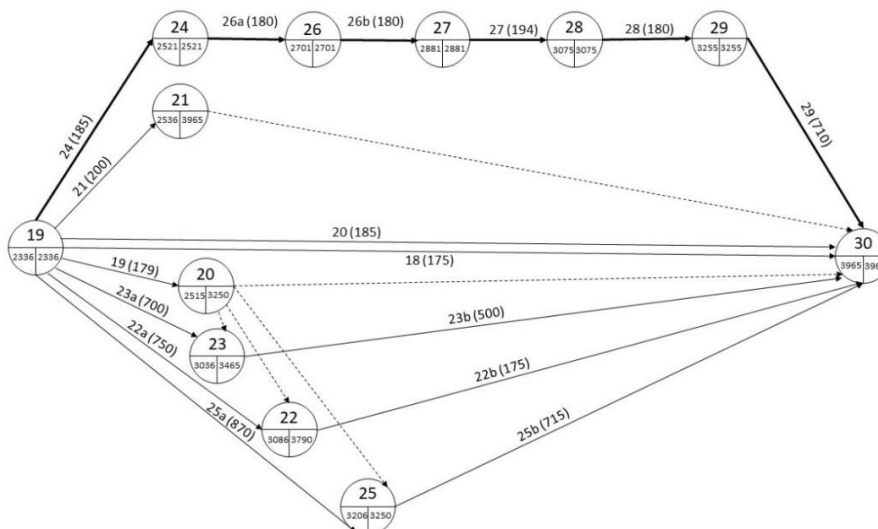
se provádí přes koncové/počáteční uzly na daných obrázcích. Na obr. č. 24 – 26 jsou znázorněny nejdříve možné a nejpozději přípustné časy začátků a konců jednotlivých činností vypočítané na základě středních dob trvání jednotlivých činností $E(T_{ij})$. V obrázcích jsou také zvýrazněny činnosti tvořící kritickou cestu.



Obr. č. 24 Síťový graf – Etapa 1 (zdroj: autorka)



Obr. č. 25 Síťový graf – Etapa 2, část 1 (zdroj: autorka)



Obr. č. 26 Síťový graf – Etapa 2, část 2 (zdroj: autorka)

Výše v textu bylo uvedeno, že proces přípravy nové pravidelné letecké linky je možno rozdělit do dvou etap. První etapa je vymezena uzlem 1 a uzlem 11 na obr. č. 23, kdy je obchodní záměr zahájení provozu nové letecké linky předložen managementu leteckého dopravce. Když je obchodní záměr managementem leteckého dopravce schválen, končí Etapa 1, a může být zahájena Etapa 2. Další důležitá rozhodovací situace nastává po ukončení činností 13, 15b, a 17 na obr. č. 25, kdy dochází k vyhodnocování rizik případného dalšího pokračování a vydává se definitivní rozhodnutí o zahájení nebo nezahájení provozu nové letecké linky. Pokud je definitivně rozhodnuto o zahájení provozu nové letecké linky, nastává druhá část Etapy 2, viz obr. č. 26.

Podkladem pro tvorbu síťových grafů byly údaje uvedené v tab. č. 22, kdy optimistický odhad a_{ij} a pesimistický odhad b_{ij} jsou expertní odhady. Za nejpravděpodobnější odhad m_{ij} byly zvoleny hodnoty uvedené v literatuře [25].

Činnost	Hrana [i, j]	Délka činnosti (dny)			Seznam předcházejících činností	Seznam následujících činností	$E(T_{ij})$ (dny)	$\sigma(T_{ij})$ (dny)
		a_{ij}	b_{ij}	m_{ij}				
1	[1; 2]	4	14	7	x	2	46/6	10/6
2	[2; 3]	30	90	60	1	3a, 3b	360/6	60/6
3a	[6; 7]	10	30	15	2	4	100/6	20/6
3b	[6; 8]	15	60	30	2	5	195/6	45/6
4	[7; 8]	5	90	60	3a	5	335/6	85/6
5	[8; 9]	20	60	30	3b, 4	6	200/6	40/6
6	[10; 11]	10	30	15	5	7	100/6	20/6
7	[11; 12]	15	45	30	6	8	180/6	30/6
8	[6; 10]	10	90	60	7	x	340/6	80/6
9	[12; 13]	15	45	30	7	10, 11, 12, 14, 15a, 16	180/6	30/6
10	[13; 14]	20	45	30	9	17	185/6	25/6
11	[13; 16]	15	45	30	9	x	180/6	30/6
12	[13; 17]	25	75	60	9	13	340/6	50/6
13	[17; 21]	20	40	30	12	x	180/6	20/6
14	[13; 18]	40	80	60	9	17	360/6	40/6
15a	[13; 19]	15	50	30	9	15b	185/6	35/6

15b	[19; 21]	15	50	30	15a	18, 19, 20, 21, 22a, 23a, 24, 25a	185/6	35/6
16	[13; 20]	45	95	60	9	17	380/6	50/6
17	[20; 21]	15	60	30	16	18, 19, 20, 21, 22a, 23a, 24, 25a	195/6	45/6
18	[21; 33]	10	45	30	8, 11, 13, 15b, 17	x	175/6	35/6
19	[21; 22]	14	45	30	8, 11, 13, 15b, 17	x	179/6	31/6
20	[21; 33]	20	45	30	8, 11, 13, 15b, 17	x	185/6	25/6
21	[21; 24]	20	60	30	8, 11, 13, 15b, 17	x	200/6	40/6
22a	[21; 25]	90	180	120	8, 11, 13, 15b, 17	22b	750/6	90/6
22b	[25; 33]	15	40	30	22a	x	175/6	25/6
23a	[21; 26]	60	160	120	8, 11, 13, 15b, 17	23b	700/6	100/6
23b	[26; 33]	30	110	90	22a	x	500/6	80/6
24	[21; 27]	25	40	30	8, 11, 13, 15b, 17	26a	185/6	15/6
25a	[21; 28]	90	180	150	8, 11, 13, 15b, 17	25b	870/6	90/6
25b	[28; 33]	100	135	120	25a	x	715/6	35/6
26a	[27; 29]	25	35	30	24	26b	180/6	10/6
26b	[29; 30]	25	35	30	26a	27	180/6	10/6
27	[30; 31]	14	60	30	36b	28	194/6	46/6
28	[31; 32]	15	45	30	27	29	180/6	30/6
29	[32; 33]	90	140	120	28	x	710/6	50/6
Σ	---	---	---	---	---	---	617,5	91,83

Tab. č. 22 Střední doby, rozptyly a směrodatné odchylky jednotlivých činností letecké linky
Ostrava – Varšava (zdroj: autorka)

Na základě síťových grafů byla nalezena kritická cesta, která se skládá z 16 činností 1, 2, 3a, 4, 5, 6, 7, 9, 16, 17, 24, 26a, 26b, 27, 28, 29. V tab. č. 22 jsou uvedeny vypočítané střední doby jednotlivých činností $E(T_{ij})$ a směrodatné odchylky σ_{ij} . Na základě údajů uvedených v součtovém řádku tab. č. 22 je střední doba trvání celého projektu $E(T) = 617,5$ dne a směrodatná odchylka doba trvání celého projektu $\sigma(T) = 91,83$ dne.

Při respektování normality vstupních dat a předpokladu, že počet 16 činností, ze kterých je kritická cesta složena dostatečný a při přijetí předpokladu, že součet náhodných proměnných reprezentující doby trvání činností na kritické cestě se bude také řídit normálním rozdělením, můžeme vypočítat pravděpodobnost, že se projekt stihne uskutečnit do dvou let od jeho zahájení.

Tuto pravděpodobnost vypočítáme ze vztahu (3.30):

$$P(T \leq T_p) = \Phi \left[\frac{T_p - E(T)}{\sigma(T)} \right] = \Phi \left[\frac{730 - 617,5}{91,83} \right] = \Phi[1,2250] \doteq \Phi[1,22] = 0,88877$$

kdy T_p je plánovaná doba projektu dva roky, $E(T)$ je střední doba trvání celého projektu a $\sigma(T)$ je směrodatná odchylka. Pravděpodobnost zahájení provozu do dvou let od zahájení Etapy 1 je tedy s pravděpodobností 0,88877.

7. ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ DOSAŽENÝCH V DISERTAČNÍ PRÁCI

Předložená disertační práce se zabývá optimalizací destinačního portfolia regionálních letišť. Téma disertační práce je z pohledu mnoha regionálních letišť aktuální, jelikož řada z nich se snaží o dlouhodobý rozvoj pravidelných leteckých linek do celé řady tranzitních destinací, protože jedině tak je možno dlouhodobě zachovat jejich ekonomickou stabilitu.

Postup řešení publikovaný v předchozí kapitole je formálně rozdělen do tří hlavních fází odpovídajících jednotlivým cílům práce. První fáze se zabývá aplikací gravitačních modelů pro predikci poptávky po jednotlivých tranzitních destinacích. Pomocí zvolené kalibrační podmnožiny relací, které jsou výchozími podmínkami obdobné relacím z regionálního letiště, jehož management uvažuje o zavedení nové letecké linky, se ve vybraném typu gravitačního modelu nejprve kalibrují jeho koeficienty řídící vliv vstupních faktorů, následně je kalibrovaný model aplikován na validační podmnožinu a po zjištění, že predikované hodnoty po relacích zařazených do validační podmnožiny se neodchylují o více než $\pm 20\%$ od skutečné poptávky, je kalibrovaný model prohlášen za validní a je aplikován na predikci poptávky po neexistující relaci, na které má být provoz v krátkém časovém horizontu teprve zahájen. Následné porovnání dosažených hodnot predikované poptávky s nabídkou sedadlové kapacity leteckého dopravce LOT, který má v plánu pravidelnou linku Ostrava – Varšava provozovat, ukazuje, že predikce poptávky přibližně odpovídá očekáváním uvedeného leteckého dopravce.

Druhá fáze postupu řešení se zabývá aplikací matematických modelů, které na základě zadaných dat identifikují tranzitní destinace vhodné pro zavedení pravidelných leteckých linek z regionálního letiště Ostrava, eventuálně také přibližná denní období, která jsou pro zavedení pravidelných leteckých linek vhodná z hlediska návaznosti na další lety. Ve druhé fázi bylo využito nejvíce modelových dat, neboť dostupnost reálných dat, které je zapotřebí pro optimalizační výpočty použít (poptávka po cílových destinacích, intervaly časových dostupností cílových destinací z tranzitních destinací) byla nejvíce omezena.

Ve třetí fázi řešení je v práci při zavádění nové letecké linky využito metod projektového řízení. Protože každý projekt zavádění nové pravidelné letecké linky je svým způsobem specifický, je pro projektové řízení využita metoda PERT, která umožňuje při plánování projektu pracovat s větším časovým rozpětím trvání jednotlivých činností, než metoda CPM. Pro praktickou ukázkou využití metody PERT byla opět zvolena nově připravovaná pravidelná letecká linka Ostrava – Varšava. Dosažené výsledky ukazují, že metoda PERT dává

v souvislosti s přípravou zahájení provozu na nové pravidelné letecké lince Ostrava – Varšava relevantní výsledky.

Celá řada úvah v předložené disertační práci (zejména v její Kapitole 6 věnované praktickým ukázkám navržených teoretických přístupů) byla publikována v kontextu rozvoje destinačního portfolia regionálního letiště Ostrava. To však neznamená, že cílem práce bylo navrhnout aktuální optimální destinační portfolio právě pro regionální letiště Ostrava, neboť autorka práce neměla při zpracování k dispozici všechny podstatné údaje týkající se obchodních aktivit daného regionálního letiště a musela je částečně nahradit modelovými daty. V textu kapitoly se proto vyskytují určité nesrovnalosti v tom smyslu, že v následující podkapitole nemusí být vždy navazováno na výsledky předchozí podkapitoly, která je v podstatě předchozím krokem celého procesu řešení. Markantně se to projevuje zejména v situaci, kdy v podkapitole 6.2 není jako vhodná tranzitní destinace doporučena tranzitní destinace Varšava, a přesto je v podkapitole 6.3 metoda PERT aplikována právě na přípravu projektu zahájení pravidelné letecké linky do Varšavy. Volbu tranzitní destinace do Varšavy pro metodu PERT je nutno vnímat tak, že o projektu přípravy zahájení provozu pravidelné letecké linky bylo v době zpracování textu práce k dispozici nejvíce údajů, což umožňovalo kvalifikované porovnání dosažených výsledků s realitou a tedy i určitou validaci navrženého přístupu. K experimentální části práce je tedy nutno přistupovat jako k určité praktické ukázkce návodu pro řešení dané problematiky, který byl v disertační práci navržen.

Nicméně, v případě všech tří fází navrženého přístupu byla prokázána relevance dosažených výsledků, což je z hlediska praktické využití nejdůležitější fakt.

8. PŘÍNOSY DISERTAČNÍ PRÁCE PRO ROZVOJ VĚDNÍHO OBORU A PRAXI

V předložené práci je řešena problematika zavádění nových leteckých linek v podmínkách regionálních letišť.

V disertační práci je navržen nový gravitační model pro predikci poptávky po nových leteckých linkách, které jsou provozovány v systému „hub and spoke“, což je jeden ze základních režimů provozování leteckých linek. Zatímco jiné gravitační modely dohledané v odborné literatuře se zabývají především predikcí poptávky mezi huby navzájem, v předložené práci je predikována poptávka cestujících pro potřeby koncových, zpravidla regionálních letišť.

V disertační práci jsou dále navrženy matematické modely pro optimální výběr tranzitních destinací, do kterých má být v systému „hub and spoke“ provozováno nové letecké spojení. Disertační práce předkládá 6 variant nových matematických modelů, přičemž jejich základním odlišením od modelů již existujících je možnost pracovat s variantní poptávkou v průběhu dne a dále s různými intervaly časových dostupností cílových destinací z destinací tranzitních.

Kromě výše uvedených informací o významu výsledků disertační práce pro rozvoj vědy a praxi je nutno zmínit také obecný síťový model pro řízení projektu přípravy nové pravidelné letecké linky založený na metodě PERT.

Funkčnost přístupů nově navržených v disertační práci byla ověřována na částečně reálných datech vztahujících se k regionálnímu letišti Ostrava a možných čtyřech tranzitních destinacích, z nichž je uvažováno o provozování dvou destinací. Nedostatek některých reálných dat (např. o poptávce po cílových destinacích) byl nahrazen údaji zatíženými maximální mírou neurčitosti.

Nově navržený gravitační model, varianty matematických modelů umožňujících výběr pravidelných leteckých linek, se kterými bylo experimentováno, a síťový model založený na metodě PERT ukazují, že všechny uvedené přístupy mohou nacházet reálný odraz v provozní praxi.

9. MOŽNOSTI DALŠÍHO ROZVOJE ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Předložená disertační práce v obecné rovině popisuje možný přístup vedoucí k optimalizaci destinačního portfolia regionálních letišť. Rozsáhlost řešeného tématu, bohužel, neumožňuje v obecné poloze zohlednit všechna specifika, proto by se další výzkum v řešené problematice měl vyvíjet např. v následujících pěti zásadních směrech:

1. experimentování s jinými výpočetními metodami a s jinými faktory v podmínkách gravitačních modelů určených pro predikci poptávky po tranzitních a cílových destinacích v případě cestujících se zájmem využívat pravidelné letecké linky provozované na regionální letiště,
2. návrh alternativních metod pro hodnocení potenciálu tranzitních destinací, o jejichž provozování management regionálního letiště uvažuje,
3. identifikace vhodného přístupu pro predikci poptávky z regionálního letiště do cílových destinací (vyjma cílových destinací, které jsou zároveň tranzitními destinacemi),
4. další rozvoj spektra matematických modelů určených pro optimalizaci destinačního portfolia,
5. zpřesňování hodnot intervalů časových dostupností cílových destinací z tranzitních destinací.

ad 1)

V předložené disertační práci byly výpočty týkající se predikce poptávky po tranzitních relacích založeny na gradientové metodě. Protože metoda nejmenších čtverců minimalizující celkový kvadrát chyby může kromě gradientové metody využívat ještě další metody, je do budoucna vhodné zabývat se za účelem zpřesnění výpočtů také výzkumem kvality výsledků dosahovaných jinými metodami, než je pouze gradientová metoda (např. evoluční algoritmy).

Dále je vhodné zabývat se v této souvislosti výzkumem vlivem zohlednění jiných faktorů v gravitačních modelech na kvalitu predikce poptávky cestujících a citlivostí predikované poptávky na změnu vstupních faktorů (např. výzkum vlivu ceny letenky na výši poptávky)

ad 2)

V předložené disertační práci byly k hodnocení potenciálu tranzitních destinací využity gravitační modely. Gravitační modely však nejsou jedinou metodou umožňující hodnotit potenciál tranzitních destinací. Principiálně jinou metodou je např. metoda vícekritériálního hodnocení variant, známá pod zkratkou AHP (Analytický hierarchický proces). Do budoucna se tedy jeví jako účelné využít potenciál dané metody a zároveň vzájemně porovnávat výsledky obou možných přístupů.

ad 3)

Matematické modely prezentované v podkapitolách 3.2 a 5.2 pracující s poptávkou po cílových destinacích vyžadují adekvátní predikci po daných cílových destinacích. Protože o gravitačních modelech je známo, že jejich obecnost je velmi omezená (počty faktorů a jejich význam se může v jednotlivých případech významně lišit) a vytvářejí se zpravidla v režimu „ad hoc“, je nutno koncentrovat pozornost v budoucnu buď na predikci poptávky cestujících po cílových destinacích, nebo na rozklad poptávky po tranzitních destinacích mezi jednotlivé cílové destinace, které jsou z tranzitních destinací dostupné.

ad 4)

Matematické modely prezentované v podkapitolách 3.2 a 5.2 nejsou jediným nástrojem umožňujícím realizovat optimalizační výpočty týkající se optimalizace výběru podmnožiny provozovaných pravidelných leteckých linek. Je třeba je nadále rozvíjet v tom smyslu, že budou umět pracovat s nejistými vstupními údaji. Za tím účelem se nabízí možnost dalšího rozvoje řešené problematiky v uplatňování fuzzy čísel a fuzzy lineárního programování, robustního programování nebo stochastického programování.

ad 5)

Vhodné zpřesňování intervalů časové dostupnosti cílových destinací z tranzitních destinací je základním předpokladem dalšího rozvoje řešené problematiky. To úzce souvisí s preferencemi cestujících, kteří mají zájem využívat leteckou dopravu do vzdálenějších míst na Zemi. Očekává se totiž, že intervaly časové dostupnosti nejsou konstantní pro jakýkoliv let, a že se mění v závislosti na délce navazujícího letu z tranzitní do cílové destinace, že závisí na frekvenci letů mezi vybranou tranzitní destinací a cílovou destinací cestujícího apod.

10. ZÁVĚR

Předložená disertační práce se zabývá problematikou rozvoje sítě pravidelných leteckých linek v podmínkách regionálních letišť. Problematika představená v disertační práci je řešena ze tří úhlů pohledu, přičemž mezi jednotlivými úhly pohledu existuje příčinná a důsledková souvislost.

Úvodní kapitoly práce se zabývají motivací k řešení problému, obecné charakteristice regionálních letišť a přehledu problémů, která jsou v současnosti považována za zásadní. Základní řešící ideou celé práce je vzájemné propojení problematiky hodnocení potenciálu tranzitních destinací – výběru optimální kombinace provozovaných linek a návrhu efektivního řízení procesu přípravy zahájení provozu vybraných linek. Z uvedené řešitelské idey bylo následně vycházeno při koncepci cílů disertační práce i všech podstatných kapitol, počínaje kapitolou věnovanou současnému stavu poznání v řešené problematice, návrhu nových metod řešení dané problematiky a ověření jejich funkčnosti v konkrétních provozních podmínkách vybraného regionálního letiště, v tomto případě Letiště Leoše Janáčka v Ostravě.

Základní myšlenka optimalizace destinačního portfolia vychází ze současných trendů, kdy se zájem managementů regionálních letišť v oblasti destinačního portfolia postupně přesouvá od provozu linek v systému „point to point“ k provozování linek v systému „hub and spoke“. Cílem optimalizace je potom dosažení optimálního výběru nabídky linek do uzlových letišť zajišťujících napojení regionálního letiště nejlépe na leteckou síť umožňující nabídku leteckých linek do celého světa.

Stěžejními kapitolami předložené disertační práce jsou kapitoly 5 – 7.

Kapitola 5 obsahuje modifikaci vybraného typu gravitačního modelu pro predikci potenciálu tranzitních destinací, modifikace stávajících a návrhy nových optimalizačních modelů pro optimalizaci výběru kombinace tranzitních destinací s jejich předem definovaným maximálním počtem a konečně také obecný síťový model pro efektivní řízení procesu zahájení provozu nové pravidelné letecké linky.

Kapitola 6 je věnována experimentálním aktivitám s navrženými přístupy. Jak již bylo uvedeno výše, experimentální část zaměřuje svou pozornost na regionální letiště Ostrava.

Nejdříve je otestována vhodnost modifikovaného gravitačního modelu za účelem predikce poptávky po nově připravované relaci Ostrava – Varšava, jejíž provoz má být zahájen od října

2020. Protože linka v současnosti není v provozu a kromě pravidelné linky Ostrava – Londýn/Stansted není z letiště Ostrava provozována žádná jiná pravidelná letecká linka (vyjma sezónních charterových linek zajišťujících přepravu rekreatantů z Moravskoslezského kraje a jeho spádového okolí do přímořských letovisek), bylo zapotřebí ke kalibraci modifikovaného gravitačního modelu zvolit jiné pravidelné linky, které svým charakterem mohou podmínky relací z letiště Ostrava vhodně simulovat. Byla tedy identifikována množina vhodných relací, která byla následně rozdělena na kalibrační a validační podmnožinu. Úspěšnost kalibrace koeficientů gravitačního modelu byla následně testována na validační podmnožině relací. A protože se ukázalo, že mezi počty cestujících skutečně přepravenými ve validačních relacích a počty cestujících predikovanými modifikovaným a kalibrovaným gravitačním modelem se pro tyto relace nevyskytla odchylka větší než $\pm 20\%$, byl modifikovaný model prohlášen za validovaný a využit i pro predikci průměrné měsíční poptávky po relaci Ostrava – Varšava (v jednom směru z Ostravy do Varšavy).

V dalším sledu byla věnována pozornost výběru optimální podmnožiny tranzitních destinací z výchozí množiny výchozích tranzitních destinací. Kritériem byla hodnota uspokojené poptávky. Množina tranzitních destinací byla nastavena jako čtyř prvková s tím, že kromě letiště Varšava byla do množiny výchozích tranzitních destinací zařazena dále významná evropská letiště Amsterdam, Kodaň a Mnichov a dále bylo stanoveno, že bude uvažováno o výběru dvou ze čtyř tranzitních destinací. Protože poptávka po tranzitních a cílových destinacích nebyla známa (kromě predikované poptávky po tranzitní destinaci Varšava), byla s využitím validovaného gravitačního modelu predikována i poptávka po tranzitních destinacích Amsterdam, Kodaň a Mnichov a celková dosažená poptávky byla rovnoměrně rozdělena mezi všechny destinace, což odpovídá maximální míře neurčitosti. Na základě jednoho z modelů navržených v Kapitole 5 umožňujícího pracovat s variabilními hodnotami poptávky v průběhu dne a dále pracujícího s předpokladem uskutečňování letů do stejné tranzitní destinace ve stejné denní časové periodě každý den v průběhu plánovacího období pro každou provozovanou pravidelnou leteckou linku, byla jako optimální kombinace dvou pravidelných leteckých linek vybrána kombinace tranzitních destinací Amsterdam a Mnichov. Výběr relací je vzhledem k současnému celosvětovému významu obou letišť pochopitelný. U vybraných tranzitních destinací se dá očekávat dostupnost maximálního počtu cílových destinací. Relace do Varšavy nebyla vybrána, nicméně je v této souvislosti nutno uvést, že v průběhu experimentu bylo pracováno s fiktivními daty poptávky a také s kontinuálními intervaly časové dostupnosti cílových destinací z tranzitních destinací v obou

denních časových periodách umožňujících měnit hodnotu poptávky. Z tohoto úhlu pohledu se výběr tranzitních relací Amsterdam a Mnichov jeví jako opodstatněný.

V poslední podkapitole Kapitoly 6 byla pozornost věnována řízení projektu přípravy zahájení provozu nové pravidelné letecké linky v konkrétní relaci do tranzitní destinace. Pozornost byla opět soustředěna na připravovanou pravidelnou leteckou linku Ostrava – Varšava, protože u uvedené linky bylo možno získat reálná data o době přípravy. Na základě provedených výpočtů bylo zjištěno, že časový rámec projektu dosažený s využitím metody PERT je adekvátní skutečnému času přípravy zahájení provozu na dané pravidelné letecké lince.

Kapitola 7 potom obsahuje zhodnocení dosažených výsledků a diskusi k nim.

Závěrečné kapitoly 8 – 10 obsahují názory autorky práce na zhodnocení přínosů výsledků disertační práce pro rozvoj vědy, odbornou praxi, pedagogický proces a dále také na možnosti rozvoje řešené problematiky v navazujícím výzkumu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Aeroweb [online]. [cit 2019-07-12]. Dostupné z: <https://www.aeroweb.cz/letiste>
- [2] Fakta a čísla o Evropské unii – Evropský parlament [online]. [cit 2020-07-12]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/cs/sheet/153/sprava-vnejsich-hranic>
- [3] Ministerstvo dopravy [online]. [cit 2019-03-25]. Dostupné z: <https://www.mdcz.cz/Dokumenty/Letecka-doprava/Pravni-predpisy/Letiste>
- [4] Moravskoslezský deník [online]. [cit 2019-04-06]. Dostupné z: https://moravskoslezsky.denik.cz/zpravy_region/letiste-zmena-strategie-20181119.html
- [5] EUR – Lex, access to European Union law [online]. [cit 2019-11-05]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A52006DC0314>
- [6] Evropský parlament [online]. [cit 2018-11-10]. Dostupné z: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-8-2015-0246_CS.html
- [7] RICARDO – AEA (2014). *Update of the Handbook on External Costs of Transport* [online]. [cit 2020-07-12]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/handbook_on_external_costs_of_transport_2014_0.pdf
- [8] ČIA NEWS [online]. [cit 2019-07-12]. Dostupné z: <https://www.cianews.cz/cs/2137471-ryanair-predstavuje-prazsky-letovy-rad-pro-letov-2017>
- [9] COHEN, S. (2016). *A Gravity Model for Aviation Forecasting*. [online]. [cit 2020-07-12]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/304931955_A_Gravity_Model_for_Aviation_Forecasting
- [10] THOMAS, R. V., HUGGETT, R. J. (1980). *Modelling In Geography, A Mathematical Approach*. Barnes Noble Books, 305 s. ISBN 0-389-20049-2.
- [11] NÖMMIK, A., KUKEMELK, S. (2016). *Developing gravity model for airline regional route modelling*. *Journal Aviation*, 2016 (20), s. 32 – 37. ISSN 1648-7788.
- [12] GROSCHE, T.; ROTHLAUF, F.; HEINZL, A. (2007). *Gravity models for airline passenger volume estimation*. *Journal of Air Transport Management*, 2007 (13), s. 175 – 183. ISSN 0969-6997.
- [13] ZHANG, Y.; LIN, F.; ZHANG, A. (2018). *Gravity models in air transport research: A survey and an application*. *Handbook of International Trade and Transportation*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 679 s. ISBN 978-1-78536-614-7.

- [14] SIVRIKAYA, O. (2013). *Demand Forecasting for Domestic Air Transportation in Turkey* [online]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/276803407_Demand_Forecasting_for_Domestic_Air_Transportation_in_Turkey
- [15] MIČULKA, D. (2020). *Gravitační modely pro leteckou dopravu (závěrečná práce)*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2020, 67 s.
- [16] TEICHMANN, D. (2012). *Optimalizace nabídky destinací v podmínkách regionálního letiště*. Perner's Contacts, 2012 (3), s. 211 – 221. ISSN 1801-674X.
- [17] TEICHMANN, D., IVAN, M., GROSSO, A. (2011). *Modely pro řešení rozhodovacích úloh v logistice I*. Acta logistica Moravica, 2011 (2), s. 56 – 68, ISSN 1804-8315.
- [18] JABLONSKÝ, J. (2007). *Operační výzkum*. Praha: Professional Publishing, 323 s. ISBN 978-80-86946-44-3.
- [19] PLOS ONE [online]. [cit 2020-07-28]. Dostupné z: <https://journals.plos.org/plosone/article/figure?id=10.1371/journal.pone.0129572.g004>
- [20] SlidePlayer [online]. [cit 2020-07-28]. Dostupné z: https://www.google.com/search?q=beta+rozd%C4%9Blen%C3%AD+pravd%C4%9Bpodobnosti&sxsrf=ALeKk03ZwsKR1B7pZzukay8X4RcUk5AUfQ:1599496316572&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiJ6pKOVnfrAhWxoFwKHThLBdEQ_AUoAXoECAwQAw&biw=1366&bih=625#imgrc=MIWKABdK8Q1fEM
- [21] ŠAJDLEROVÁ, I., KONEČNÝ M. (2008). *Projektový management*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1686-9.
- [22] Eurostat [online]. [cit 2020-06-08]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>
- [23] Hoříňka, J. *Učební materiály pro předmět Plánování a provádění letu 4*. Ostrava: Institut dopravy, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava.
- [24] BusinessLady.cz – PESTE analýza [online]. [cit 2020-01-28]. Dostupné z: <http://businesslady.cz/peste-analyza/>
- [25] Průša, J., Brandýský, M., Hlinovský, L., Horník, J., Pazourek, M., Slabý, F., Třešňák, M., Žežula, J. (2015). *Svět letecké dopravy II*. Rozšířené vydání. Praha: Gallileo Training, 2015, 647 s. ISBN 978-80-260-8309-2.
- [26] Mistopisy.cz [online]. [cit 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.mistopisy.cz/pruvodce/obec/9130/ostrava/pocet-obyvatel/>
- [27] IDOS [online]. [cit 2020-07-06]. Dostupné z: <https://idos.idnes.cz/vlakyautobusymhdvse/odjezdy/?changeShield=true>

- [28] Vzdálenosti Himmera.com [online]. [cit 2020-07-06].
Dostupné z: <http://cz.vzdalenosti-mesty.himmera.com/>
- [29] PŮLPÁN, Z. (2012). Odhad informace z dat vágní povahy. Praha: Academia, 2012,
200 s. ISBN 978-80-200-2076-5.

SEZNAM PUBLIKAČNÍCH VÝSLEDKŮ DOKTORANDA

SEZNAM PUBLIKAČNÍCH VÝSLEDKŮ DOKTORANDA S PŘÍMÝM VZTAHEM K DISERTAČNÍ PRÁCI

KONTRIKOVÁ, L. *Regional Airports*. In: Perner's Contacts, 2018, 13 (2), p. 35 – 49. ISSN 1801-674X

KONTRIKOVÁ, L. *Problems of Low Cost Carriers in the Market*. In: Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava, Mechanical Series, 2018 (2), s. 17 – 25. ISSN 1804-0993 (Online).

KONTRIKOVÁ, L. *Mathematical Models for Optimizing Airline Offerings in Terms of International Regional Public Airports*. In: Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava, Mechanical Series, 2019 (1), s. 27 – 32. ISSN 1804-0993 (Online).

KONTRIKOVÁ, L., TEICHMANN, D., GRAF, V., HOŘÍNKA, J. *A Model for Optimizing the Destination Portfolio of a Regional Airport with Transfer Times in Transit Destinations*. In: Proceedings of International Scientific Conference Modern Safety Technologies in Transportation (MOSATT), Košice, 2019, s. 85 – 89. ISBN 978-1728-150-83-3.

KONTRIKOVÁ, L., TEICHMANN, D., HOŘÍNKA, J., OLIVKOVÁ, I. (2020). *Using Mathematical Methods for Planning the Establishment of a New Flight Connection*. In: Proceedings of 19th Conference on Applied Mathematics (APLIMAT), Bratislava, 2020, s. 692 – 700. ISBN 978-8022-749-83-1.

OLIVKOVÁ, I., KONTRIKOVÁ, L. *Application of AHP Method in Conditions of the Regional Airport*. Lecture Notes in Networks and Systems 117 – Selected Papers from the 19th Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat), Riga, 2019, s. 385 – 394. ISSN 2367-3389 (Online).

KONTRIKOVÁ, L., TEICHMANN, D., HOŘÍNKA, J., KUBÁŇ, M.: *The Modeling Process of Launching a New Scheduled Flight Connection*. In: Proceedings of 20th International Scientific Conference on Quantitative Methods in Economics - Multiple Criteria Decision Making, Púchov, 2020, s. 163 – 172. ISBN 978-8089-962-61-7 (Online).

SEZNAM OSTATNÍCH PUBLIKAČNÍCH VÝSLEDKŮ DOKTORANDA

KONTRIKOVÁ, L.; TEICHMANN, D.: *Optimizing Flight Routes*. In: Proceeding of Conference on Applied Mathematics, Institute of Mathematics and Physics, SJF STU in Bratislava, Bratislava, 2019, pp. 667 – 678. ISBN: 978-1510-882-14-0.

OLIVKOVÁ, I.; KONTRIKOVÁ, L.: *Application of AHP Method for Choosing of Suitable Airplane in Air Cargo Transport*. In: Proceedings of 13th Conference on Strategic Management and its Support by Information Systems, Ostrava, 2019, s. 204 – 211. ISSN 978-8024-843-06-

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1	Schematické znázornění sítě linek v systému „hub and spoke“	18
Obr. č. 2	Sektorizace zemského povrchu za účelem stanovení hodnot koeficientů	29
Obr. č. 3	Schematické znázornění rozhodovacího problému z úrovně regionálního letiště	36
Obr. č. 4	Schematické znázornění geografické dostupnosti cílových destinací v rámci modelové úlohy pomocí hierarchického grafu	37
Obr. č. 5	Znázornění tranzitní destinace s největším počtem cílových destinací	43
Obr. č. 6	Cílové destinace dostupné z více tranzitních destinací	44
Obr. č. 7	Příklad průběhu hustoty pravděpodobnosti rozdělení β	45
Obr. č. 8	Polohy jednotlivých odhadů v rámci β rozdělení pravděpodobnosti	46
Obr. č. 9	Znázornění zavedené symboliky	48
Obr. č. 10	Vývojový diagram procesu zvažování zahájení provozu nové pravidelné letecké linky	70
Obr. č. 11	Síťový graf Etapy 1, část 1	82
Obr. č. 12	Síťový graf Etapy 1, část 2	82
Obr. č. 13	Síťový graf Etapy 2, část 1	83
Obr. č. 14	Síťový graf Etapy 2, část 2	83
Obr. č. 15	Síťový graf s vyznačením kritické cesty Etapy 1, část 1	86
Obr. č. 16	Síťový graf s vyznačením kritické cesty Etapy 1, část 2	87
Obr. č. 17	Síťový graf s vyznačením kritické cesty Etapy 2, část 1	87
Obr. č. 18	Síťový graf s vyznačením kritické cesty Etapy 2, část 2	87
Obr. č. 19	Společný síťový graf přípravy zahájení provozu nové letecké linky s odlišením činností zajišťovaných leteckým dopravcem a regionálním letištěm – Etapa 1	89
Obr. č. 20	Společný síťový graf přípravy zahájení provozu nové letecké linky s odlišením činností zajišťovaných leteckým dopravcem a regionálním letištěm – Etapa 2	89
Obr. č. 21	Společný síťový graf přípravy zahájení provozu nové letecké linky s odlišením činností zajišťovaných leteckým dopravcem a regionálním letištěm – Etapa 2	90
Obr. č. 22	Stavové hlášení z optimalizačního software Xpress-IVE se statusem potvrzujícím dosažení optimálního řešení	104
Obr. č. 23	Průběh optimalizačního výpočtu v čase v software Xpress-IVE	104
Obr. č. 24	Síťový graf – Etapa 1	108
Obr. č. 25	Síťový graf – Etapa 2, část 1	108
Obr. č. 26	Síťový graf – Etapa 2, část 2	108

SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1	Hodnoty koeficientů emitivity a atraktivity	29
Tab. č. 2	Přehledová tabulka výsledků vybraných prací zabývajících se predikcí poptávky v letecké dopravě v závislosti na různých vstupních faktorech	35
Tab. č. 3	Hodnoty denní poptávky po tranzitních a cílových destinacích	37
Tab. č. 4	Data o poptávce do destinace v jednotlivých dnech a denních časových periodách	58
Tab. č. 5	Hodnota poptávky po tranzitních destinacích v jednotlivých časových periodách	60
Tab. č. 6	Seznam činností potřebných k zahájení provozu nové pravidelné letecké linky včetně stručné charakteristiky jednotlivých činností	77
Tab. č. 7	Výchozí seznam činností Etapy 1 – část 1	79
Tab. č. 8	Výchozí seznam činností Etapy 1 – část 2	79
Tab. č. 9	Výchozí seznam činností Etapy 2 – část 1	80
Tab. č. 10	Výchozí seznam činností Etapy 2 – část 2	81
Tab. č. 11	Střední doby, rozptyly a směrodatné odchylky jednotlivých činností	84
Tab. č. 12	Charakteristické znaky regionálních letišť	93
Tab. č. 13	Přehled hodnot teoretické a skutečné poptávky při výchozích hodnotách kalibračních koeficientů 0,01	94
Tab. č. 14	Průběh hodnot kalibračních koeficientů gravitačního modelu (5.1) po jednotlivých iteracích procesu kalibrace	96
Tab. č. 15	Hodnota predikované poptávky na relaci Košice – Londýn/Luton	97
Tab. č. 16	Hodnota predikované poptávky pro relaci Ostrava – Londýn/Stansted	97
Tab. č. 17	Výsledky predikovaných počtů cestujících ve validačních relacích a jejich porovnání se skutečnými počty	98
Tab. č. 18	Absolutní odchylky predikovaných počtů cestujících ve validačních relacích od skutečných počtů cestujících v těchto relacích v roce 2019	99
Tab. č. 19	Hodnoty průměrné měsíční poptávky po tranzitních destinacích s potenciálem provozu pravidelné letecké linky	101
Tab. č. 20	Rozdělení dat vstupujících do výpočetního experimentu na reálná a modelová	102
Tab. č. 21	Výchozí seznam činností projektu zahájení provozu pravidelné letecké linky Ostrava – Varšava	105
Tab. č. 22	Střední doby, rozptyly a směrodatné odchylky jednotlivých činností letecké linky Ostrava – Varšava	109

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Tabulka dostupností cílových destinací z tranzitních destinací

Příloha 2 – Incidenční matice vyjadřující dostupnost cílových destinací z tranzitních destinací

Příloha 3 – Text programu v programovacím jazyce MOSEL

Příloha 4 – Výpis dosažených výsledků

Příloha 1 - Tabulka dostupností cílových destinací z tranzitních destinací

Tranz. destinace \ Cílová dest.	Cílová dest.																			
	Aalborg	Aarhus	Aberdeen	Abu Dhabi	Accra/Kotoka	Adolfo Suarez	Abadir/Al	Alesun/Vigra	Alicante	Amsterdam	Ancona	Ankara	Astana	Antalya	Athina	Bale-Mulhous	Bangkok	Barcelona	Bari/Palese	Base
AMS	1		1	1	1	1		1	1					1	1		1	1	1	1
CPN		1				1			1	1				1	1	1	1	1		
MUC						1			1	1	1	1		1	1		1	1	1	1
WAW				1		1	1			1			1	1	1	1		1		

Tranz. destinace \ Cílová dest.	Cílová dest.																		
	Beijing	Belfast	Beograd	Bergamo	Bergen	Berlin	Bilbao	Billung	Birmingham	Bogota	Bonaire	Bologna	Bordeaux	Bornholm	Boston	Bremen	Brussels	Bristol	Bucuresti
AMS	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1
CPN	1			1	1	1		1	1			1		1			1		
MUC	1		1			1	1		1	1		1			1	1	1		1
WAW	1			1		1		1	1								1		1

Tranz. destinace \ Cílová dest.	Cílová dest.																		
	Budapest	Cairo	Calgary	Calgary	Cape	Cardiff	Casablanca	Catania	Cluj Napoca	Cork	Curacao	Delhi	Denver	Detroit	Doha	Doncaster	Dortmund	Dresden	Dubai
AMS	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1		1					1
CPN	1											1			1				1
MUC	1	1						1	1			1	1		1		1	1	1
WAW	1							1								1			1

Tranz. destinace	Cilová dest.																			
	Dublin	Dubrovnik	Dusseldorf	Durham	Edingurgh	Edmonton	Eindhoven	Ezeiza	Faro	Firenze	Frankfurt	Fuerteventura	Gdansk	Geneva	Genova	George Bush	Glasbow	Goteborg	Gran Canaria	Graz
AMS	1		1	1	1	1		1	1	1	1		1		1	1	1	1		
CPN	1		1		1						1		1	1				1	1	
MUC	1	1	1		1				1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1
WAW		1	1				1				1	1	1	1				1	1	

Tranz. destinace	Cilová dest.																		
	Guangzhou	Habana	Hamad	Hamburg	Hannover	Hartsfield	Helsinki	Hong Kong	Humbersi	Hurghada	Charleroi	Chengdu	Chicago	Chisinau	Incheon	Innsbruck	Inverness	Istanbul	Izmir
AMS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		1	1	1	1	1
CPN				1			1	1		1	1		1					1	
MUC				1	1	1	1	1		1	1		1		1			1	1
WAW				1	1		1			1	1		1	1					

Tranz. destinace	Cilová dest.																		
	Johan Adolf	Kangerlussuaq	Kansai	Karup	Kaunas	Katowice	Keflavik	Kharkov	Kigali	Kilimanjaro	Kobenhavn	Koeln	Kosice	Krakow	Kristiansand	Kutaisi	Kyiv	Lagos	Lanzarote
AMS	1		1				1		1	1	1			1	1		1	1	1
CPN		1		1	1		1					1		1	1		1		
MUC							1				1	1		1			1		
WAW						1	1	1			1		1	1		1	1		

Cilová dest. Tranz. destinace	Larnaka	Leeds	Leipzig	Lennar	Lima	Linköping	Lisboa	Liverpool	Ljubljana	London	Los Angeles	Lublin	Luqa	Luxembourg	Lviv	Lyon	Madeira	Malaga	Malmö
AMS		1		1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		1	1	1	
CPN				1			1			1				1				1	
MUC	1		1				1		1	1	1		1	1		1		1	
WAW	1			1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Cilová dest. Tranz. destinace	Manchester	Marrakech	Marsa Alam	Marseille	Mexico	Milano	Minneapolis	Minsk	Montreal	Moscow	München	Muenster	Mumbai	Muscat	Nairobi	Nantes	Napoli	Narita	New York	Newark
AMS	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1		1		1	1	1	1	1	1
CPN	1					1				1	1							1	1	1
MUC	1			1	1	1			1	1		1	1	1		1	1		1	1
WAW						1		1	1	1	1							1	1	1

Cilová dest. Tranz. destinace	Newcastle	Nice	Norwich	Nuernberg	Odesa	Olifants	Oranjestad	Oslo	Paderborn	Palanga	Palermo	Palma de Mallorca	Panama	Paris	Philadelphia	Pisa	Podgorica	Portland	Porto
AMS	1	1	1	1		1	1	1				1	1	1	1	1		1	1
CPN		1						1		1		1		1					
MUC		1		1		1		1	1		1	1		1		1			1
WAW				1	1			1						1		1	1		

Tranz. destinace / Cilová dest.	Poznan	Praha	Pristina	Riga	Rio de Janeiro	Roma	Rzeszow	Salt Lake City	San Francisco	Sandefjord	Sankt-Peterburg	Sao Paulo	Sarajevo	Seattles	Sepang	Sevilla	Shanghai	Sharm El Sheikh	Sibiu
AMS		1		1	1	1		1	1	1	1	1		1	1	1	1		
CPN	1	1		1		1			1								1		
MUC		1	1	1		1			1		1		1				1		1
WAW	1	1		1		1	1			1	1						1	1	

Tranz. destinace / Cilová dest.	Singapore	Sofia	Southampton	Southend	Split	Stavanger	Stockholm	Strasbourg	Stuttgart	Szczecin	Taipei	Tnger	Tbilisi	Tel-Aviv	Tenerife	Timisoara	Thessaloniki	Tokyo	Torino
AMS	1	1	1	1		1	1	1	1		1	1		1	1		1		1
CPN	1					1	1		1						1				
MUC	1	1			1		1		1				1	1	1	1		1	1
WAW	1	1					1		1	1			1	1	1				

Tranz. destinace / Cilová dest.	Toronto	Toulouse	Trieste	Trondheim	Vagar	Valenciya	Vancouver	Venezia	Verona	Vilnius	Warszawa	Washington	Wien	Wroclaw	Xiamen	Yerevan	Zagreb	Zurich
AMS	1	1		1		1	1	1			1	1	1		1			1
CPN	1			1	1			1		1	1	1	1					1
MUC	1	1	1			1		1	1		1	1	1	1			1	1
WAW	1							1		1			1	1		1	1	1

Příloha 3 – Text programu v programovacím jazyce MOSEL

```
model Portfolio
uses "mmxprs"

declarations
!pocet tranzitnich destinaci
m=4
tranz_dest=1..m
!pocet dni v planovacim obdobi
n=5
day=1..n
!pocet cilovych destinaci
o=231
cil_dest=1..o
!pocet dennich period
r=2
per=1..r
a:array(tranz_dest,cil_dest)of real
y:array(tranz_dest,per)of mpvar
z:array(cil_dest,per)of mpvar
end-declarations

p:=2
forall(i in tranz_dest,l in per)t(i,l):=5 forall(j in cil_dest,l in per)d(j,l):=5

a::[]

!omezujici podminky
forall(j in cil_dest,l in per)z(j,l)<=sum(i in tranz_dest)a(i,j)*y(i,l)
sum(i in tranz_dest,l in per)y(i,l)<=p forall(i in tranz_dest)sum(l in per)y(i,l)<=1
forall(i in tranz_dest,l in per)y(i,l)is_binary
forall(j in cil_dest,l in per)z(j,l)is_binary

!ucelova funkce
uf:=sum(j in cil_dest,l in per)d(j,l)*z(j,l)+sum(i in tranz_dest,l in per)t(i,l)*y(i,l)
!prikaz optimalizace
maximize(uf)

!vypisy vysledku
writeln("Celkovy pocet cestujicich je ",getobjval," osob")
writeln forall(i in tranz_dest,l in per|getsol(y(i,l))>0)writeln("y(",i,"",l,"")=",getsol(y(i,l)))
writeln forall(j in cil_dest,l in per|getsol(z(j,l))>0)writeln("z(",j,"",l,"")=",getsol(z(j,l)))

end-model
```

Příloha 4 – Výpis dosažených výsledků

Celkový počet cestujících, jejichž poptávka bude uspokojena, je 1 505 osob.

y(1,1)=1	z(1,1)=1	z(32,1)=1	z(62,1)=1	z(88,2)=1	z(126,2)=1
y(3,2)=1	z(3,1)=1	z(32,2)=1	z(62,2)=1	z(89,1)=1	z(127,1)=1
	z(4,1)=1	z(33,1)=1	z(63,1)=1	z(90,1)=1	z(127,2)=1
	z(5,1)=1	z(35,1)=1	z(65,1)=1	z(90,2)=1	z(128,1)=1
	z(6,1)=1	z(35,2)=1	z(66,1)=1	z(92,1)=1	z(128,2)=1
	z(6,2)=1	z(36,1)=1	z(66,2)=1	z(93,1)=1	z(130,1)=1
	z(8,1)=1	z(36,2)=1	z(67,1)=1	z(93,2)=1	z(130,2)=1
	z(9,1)=1	z(37,1)=1	z(67,2)=1	z(94,1)=1	z(131,1)=1
	z(9,2)=1	z(37,2)=1	z(68,1)=1	z(95,1)=1	z(131,2)=1
	z(10,2)=1	z(38,1)=1	z(68,2)=1	z(96,2)=1	z(133,1)=1
	z(11,2)=1	z(39,1)=1	z(69,1)=1	z(97,1)=1	z(133,2)=1
	z(12,2)=1	z(39,2)=1	z(69,2)=1	z(97,2)=1	z(134,1)=1
	z(14,1)=1	z(40,1)=1	z(70,2)=1	z(98,1)=1	z(135,1)=1
	z(14,2)=1	z(40,2)=1	z(71,1)=1	z(98,2)=1	z(135,2)=1
	z(15,1)=1	z(41,1)=1	z(71,2)=1	z(99,1)=1	z(137,1)=1
	z(15,2)=1	z(41,2)=1	z(72,2)=1	z(101,1)=1	z(137,2)=1
	z(17,1)=1	z(42,1)=1	z(73,1)=1	z(105,1)=1	z(138,1)=1
	z(17,2)=1	z(43,1)=1	z(73,2)=1	z(105,2)=1	z(139,1)=1
	z(18,1)=1	z(44,1)=1	z(74,1)=1	z(107,1)=1	z(140,1)=1
	z(18,2)=1	z(45,1)=1	z(75,1)=1	z(108,1)=1	z(140,2)=1
	z(19,1)=1	z(46,1)=1	z(75,2)=1	z(109,1)=1	z(141,1)=1
	z(19,2)=1	z(46,2)=1	z(76,1)=1	z(109,2)=1	z(141,2)=1
	z(20,1)=1	z(47,2)=1	z(76,2)=1	z(110,2)=1	z(142,1)=1
	z(20,2)=1	z(48,1)=1	z(77,2)=1	z(112,1)=1	z(142,2)=1
	z(21,1)=1	z(49,1)=1	z(78,1)=1	z(112,2)=1	z(143,1)=1
	z(21,2)=1	z(50,1)=1	z(79,1)=1	z(113,1)=1	z(145,1)=1
	z(22,1)=1	z(50,2)=1	z(80,1)=1	z(115,1)=1	z(145,2)=1
	z(23,1)=1	z(51,2)=1	z(81,1)=1	z(115,2)=1	z(146,1)=1
	z(23,2)=1	z(52,1)=1	z(81,2)=1	z(116,1)=1	z(146,2)=1
	z(25,1)=1	z(53,2)=1	z(82,1)=1	z(117,1)=1	z(147,1)=1
	z(26,1)=1	z(55,2)=1	z(82,2)=1	z(118,2)=1	z(148,2)=1
	z(26,2)=1	z(56,2)=1	z(83,1)=1	z(119,1)=1	z(149,1)=1
	z(27,1)=1	z(57,1)=1	z(83,2)=1	z(120,2)=1	z(149,2)=1
	z(27,2)=1	z(57,2)=1	z(84,1)=1	z(121,1)=1	z(150,2)=1
	z(28,1)=1	z(58,1)=1	z(84,2)=1	z(122,1)=1	z(151,1)=1
	z(29,1)=1	z(58,2)=1	z(85,1)=1	z(123,1)=1	z(152,1)=1
	z(29,2)=1	z(59,2)=1	z(85,2)=1	z(124,1)=1	z(152,2)=1
	z(30,1)=1	z(60,1)=1	z(86,1)=1	z(124,2)=1	z(153,1)=1
	z(30,2)=1	z(60,2)=1	z(87,1)=1	z(125,1)=1	z(153,2)=1
	z(31,1)=1	z(61,1)=1	z(87,2)=1	z(126,1)=1	z(154,1)=1

$z(155,1)=1$	$z(170,1)=1$	$z(186,1)=1$	$z(201,1)=1$	$z(217,1)=1$
$z(155,2)=1$	$z(170,2)=1$	$z(186,2)=1$	$z(201,2)=1$	$z(219,1)=1$
$z(156,1)=1$	$z(171,1)=1$	$z(187,1)=1$	$z(202,1)=1$	$z(219,2)=1$
$z(156,2)=1$	$z(172,1)=1$	$z(188,2)=1$	$z(203,1)=1$	$z(220,1)=1$
$z(157,1)=1$	$z(172,2)=1$	$z(189,1)=1$	$z(203,2)=1$	$z(221,1)=1$
$z(158,1)=1$	$z(174,1)=1$	$z(190,1)=1$	$z(205,1)=1$	$z(221,2)=1$
$z(158,2)=1$	$z(175,1)=1$	$z(191,1)=1$	$z(206,1)=1$	$z(222,2)=1$
$z(159,1)=1$	$z(175,2)=1$	$z(192,1)=1$	$z(207,2)=1$	$z(224,1)=1$
$z(160,1)=1$	$z(177,1)=1$	$z(192,2)=1$	$z(208,1)=1$	$z(224,2)=1$
$z(160,2)=1$	$z(177,2)=1$	$z(194,2)=1$	$z(208,2)=1$	$z(225,1)=1$
$z(162,1)=1$	$z(178,2)=1$	$z(195,1)=1$	$z(209,1)=1$	$z(225,2)=1$
$z(162,2)=1$	$z(179,1)=1$	$z(195,2)=1$	$z(209,2)=1$	$z(226,1)=1$
$z(163,1)=1$	$z(179,2)=1$	$z(196,1)=1$	$z(210,2)=1$	$z(226,2)=1$
$z(164,1)=1$	$z(180,1)=1$	$z(196,2)=1$	$z(211,1)=1$	$z(227,2)=1$
$z(164,2)=1$	$z(181,1)=1$	$z(197,1)=1$	$z(212,2)=1$	$z(228,1)=1$
$z(165,2)=1$	$z(181,2)=1$	$z(198,1)=1$	$z(213,1)=1$	$z(230,1)=1$
$z(167,2)=1$	$z(183,1)=1$	$z(199,2)=1$	$z(213,2)=1$	$z(230,2)=1$
$z(168,1)=1$	$z(184,1)=1$	$z(214,1)=1$	$z(215,1)=1$	$z(231,1)=1$
$z(168,2)=1$	$z(184,2)=1$	$z(214,2)=1$	$z(215,2)=1$	$z(231,2)=1$
$z(169,1)=1$	$z(185,1)=1$	$z(200,1)=1$	$z(216,2)=1$	