VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Síťová analýza procesu pozemního odbavení letounu

Network Analysis of Aircraft Ground Handling -Process

Student: Kolář Pavel
Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Michal Dorda, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání bakalářské práce

Student: **Pavel Kolář**

Studijní program: B3712 Technologie letecké dopravy

Studijní obor: 3708R036 Technologie letecké dopravy

Téma: Síťová analýza procesu pozemního odbavení letounu
Network Analysis of Aircraft Ground Handling Process

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cíl práce: Cílem práce je analyzovat všechny činnosti probíhající při odbavení letounu na letišti, provést odhad doby jejich trvání a provést síťovou analýzu pomocí Metody kritické cesty.

Předpokládaná osnova práce:
1. Úvod.
2. Metody síťové analýzy.
3. Analýza procesu odbavení.
4. Síťová analýza procesu odbavení letounu.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

BÍNA L., BÍNOVÁ H., PLOCH J., ŽIHLA Z.: *Provozování letecké dopravy a logistika*. Brno: CERM, 2014. ISBN 978-80-7402-855-7.
Letecké předpisy L.
WALTER J., VEJMOLA S., FIALA, P.: *Aplikace metod síťové analýzy v řízení a plánování*. Praha: SNTL, 1989. ISBN 80-03-00101-3.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Michal Dorda, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017
Datum odevzdání: 21.05.2018

doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA Fakulta strojní -S- OSTRAVA

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 21. května 2018

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

Jméno a příjmení autora práce: Kolář Pavel

Adresa trvalého pobytu autora práce: Jiříkovského 30, 700 30 Ostrava

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce, doc. Ing. Michalu Dordovi, Ph.D. za vážené rady, připomínky a konzultace. Ing. Davidu Klasovi za obětování vlastního času při exkurzi po letištní ploše a cenné rady pro zpracování této práce.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KOLÁŘ P. *Síťová analýza procesu pozemního odbavení letounu: bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta Strojní, Institut dopravy – Ústav letecké dopravy, 2018, 49s. Vedoucí práce: doc. Ing. Michal Dorda, Ph.D.

Tato bakalářská práce se zabývá síťovou analýzou procesu pozemního odbavení letounu. Jejím cílem je analýza všech činností probíhajících při pozemním odbavení, určení dob jejich trvání a vytvoření síťového grafu, a to pro klasického a nízkonákladového dopravce. Dále provedení síťové analýzy aplikováním metody kritické cesty, určení kritických činností a srovnání obou výsledků.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KOLÁŘ P. *Network Analysis of Aircraft Ground Handling Process*: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport – The Department of Air Transport, 2018, 49 p. Thesis head: doc. Ing. Michal Dorda, Ph.D.

This bachelor thesis deals with analysis of aircraft ground handling process. The aim is to analyse all ongoing activities during the ground handling, set their duration a create network graph. This is done for classical and low-cost carrier. To carry on network analysis by using critical path method, set critical activities and do a comparison of both.

OBSAH

Seznam použitých zkratek 8
1 Úvod 9
2 Vybavení letiště 11
2.1 Statické vybavení 11
2.2 Mobilní mechanizační prostředky 13
3 Analýza procesu odbavení 17
3.1 Pohyby letounu po letištní ploše 17
3.2 Cabin service 18
3.3 Údržba 20
3.4 Ramp service 21
4 Metody síťové analýzy 24
4.1 Teorie grafů 24
4.2 Síťový graf a jeho vlastnosti 26
4.3 Metoda kritické cesty 29
4.4 Ukázka řešení 31
5 Síťová analýza procesu odbavení letounu 33
5.1 Analýza klasického dopravce 33
5.2 Analýza nízkonákladového dopravce 42
6 Závěr 48
7 Zdroje 50

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Anglický název	Český název
AC	Alternate current	Střádavý proud
APU	Auxiliary power unit	Pomocná energetická jednotka
CDM	Collaborative decision making	Postupy společného rozhodování
DC	Direct current	Stejnosměrný proud
GPS	Global position system	Globální poziční systém
GPU	Ground power unit	Pozemní zdroj napájení
MMP	Mobile mechanization units	Mobilní mechanizační prostředky
OFP	Operation flight plan	Operační letový plán
RFID	Radio frequency identification	Identifikace na rádiové frekvenci
RWY	Runway	Vzletová a přistávací dráha
ŘLP	Air navigation services	Řízení letového provozu
TWR	Tower	Řídící věž
TWY	Taxiway	Pojížděcí dráha
VIP	Very important person	Velmi významná osoba

1 Úvod

Civilní letecká doprava se od konce druhé světové války rozvinula a prostoupila do životů každého z nás. Její růst neustále pokračuje a předpokládá se, že ještě dlouho bude. S narůstajícím množstvím letadel ve vzduchu musejí růst i kapacity pozemní obsluhy. Množství práce potřebné k odbavení letadla je značné. Vedle pro všechny známých úkonů, jako je vykládka a nakládka nákladu, je zde velké množství, běžnému pozorovateli skrytých, činností. Ty začínají navigováním letounu po letištních plochách až na přidělenou stojánku, připojením pozemních zdrojů energie a úklidem paluby. Dále pokračují odbavováním cestujících. A bezpečnostní kontrolou zavazadel. Zakončené jsou předletovou kontrolou technického stavu a doplněním palivových hmot. Letiště, která se nestačí přizpůsobit narůstajícímu provozu a jeho zvyšujícím se požadavkům, se pro provoz stávají překážkou a přestávají být využívána. Což vede ke snížení jejich výnosnosti a v některých případech i krachu.

To je důvod, proč jsem si jako téma mé bakalářské práce zvolil síťovou analýzu procesu pozemního odbavení letounu. Existují dvě prakticky realizovatelné metody, jak zvýšit kapacitu letiště. První možností je rozšíření jeho plochy, výstavba nových odbavovacích terminálů, stojánek a pojížděcích drah k nim. Takováto činnost je spojená s extrémní finanční a také časovou náročností. Množství administrativních úkonů je v dnešní době značné a prudce narůstají s přibývajícími regulačními opatřeními. Ochrana životního prostředí, stejně tak důležité snižování hlukové zátěže obyvatelstva v přilehlých obcích nebo protesty občanských aktivistů jdou zde na úkor potřebám letiště. Oproti tomu optimalizací odbavovacího procesu lze dosáhnout zefektivnění poskytovaných služeb za využití stávající infrastruktury. Efektivita odbavení spočívá především v rychlosti, jakou je letiště schopno letadla odbavovat. Časová úspora je ekonomicky výhodná pro všechny. Dopravce chce mít letoun ve vzduchu co nejvyšší možné procento času. Stojící na stojánce, kde stroj i jeho posádka čekají na dokončení objednaných služeb, svému majiteli nepřináší žádné zisky, avšak náklady s tímto spojené zůstávají. S časem pro odbavení počítá dopravce v svém letovém řádu a tak jistota, že se letoun na zemi příliš nezdrží, je velice ceněna. Pro letiště také není žádoucí, aby se na jeho plochách zbytečně stroj zdržoval. Žádná kapacita není neomezená a logistická náročnost koordinace pohybu letadel po ploše, roste s jejich počtem. Menší čas strávený letadlem na letišti, tzv. průletový čas, vede k většímu počtu možných

příletů a odletů, tím i k vyšším příjmům z přistávacích poplatků. V neposlední řadě se zvyšuje i komfort cestujícím, kteří nejsou nuceni čekat v odletových halách.

Technické odbavení na letištích zajišťují handlingové společnosti. Na jednom letišti jich může působit i více. Mohou být soukromé, vlastněné letištěm nebo některou z aerolinií. Letecký dopravce si dopředu nasmlouvá, které činnosti odbavení mu mají být provedeny a o kterou handlingovou společnost má na daném letišti zájem. Hladký průběh technického odbavení je zajištěn speciálním zaměstnancem. Pozice "Agenta“ je běžným místem ve všech handlingových firmách, každému jsou přiděleny konkrétní lety, o které se stará. Náplní práce je hlavně koordinace ostatních pracovníků a pohotové vyřešení vzniklých problémů. Také zajišťuje potřebnou dokumentaci.

Tato práce si klade za cíl určit jednotlivé činnosti procesu pozemního odbavení civilního dopravního letadla na střední vzdálenosti a průměrnou délku jejich trvání. Metodou kritické cesty analyzovat, které z těchto úkonů lze označit za kritické a jejich prodleva by tak vedla k zpoždění celého procesu. Stejným způsobem analyzovat i nízkonákladového dopravce a následně provést srovnání procesů odbavení obou typů dopravců.

2 Vybavení letiště

Při zpracování této kapitoly bylo vycházeno z (1), (4), (5), (6), (8), (9).

Letečtí dopravci kladou na požadavek rychlého pozemního odbavení velký důraz. Z tohoto důvodu se letiště snaží nabídnout co nejnižší průletový čas, to je doba, za kterou je letoun odbaven a vysláno k dalšímu letu. Tím přesvědčit provozovatele, aby jej využili namísto konkurenčních letišť. K tomu přispívá i velká mechanizace celého procesu. Každá činnost vyžaduje specializované vybavení a stroje, povětšinou elektrizované, pro snížení hlukové a ekologické zátěže. Základní vybavení každého letiště se dá rozdělit do dvou kategorií. Dle přítomnosti motoru hovoříme o statickém vybavení a MMP, tedy o mobilních mechanizačních prostředcích (4).

2.1 Statické vybavení

Klíny (Chocks)

Jsou vyrobeny z tvrdého dřeva, gumy nebo plastu. Vkládají se pod kola letadel jako zarážky a slouží k zajištění letadla proti samovolnému pohybu. Žlutý nátěr zvyšuje jejich viditelnost. Jejich ukázku vidíme na obrázku 1.

Tripod jack

Je využíván hlavně nákladními letouny, slouží jako podpora pro křídla nebo zadní část letadla. Jak je ukázáno na obrázku 2. Ty by se mohly prohnout v důsledku posunutí těžiště po výstupu cestujících nebo vyložení nákladu. Používá se například u letadel ATR, zde se nastupuje zadními dveřmi. Ne vždy je tato podpěra vyžadována, záleží na typu a nákladu daného letounu.

Obrázek 1- Klíny *(15)*

Obrázek 2- Tripod-jack na B737-900ER *(16)*

Podvalníky a vozíky

Podvalník (obrázek 4) nebo vozík (obrázek 3) je zařízení tažené za autem. Pomocí tyče jsou připojeny k tažnému traktoru a mohou být spojovány za sebe do vlakovitého uspořádání. Slouží k přepravě nákladu po letišti. Na vozík je nakládán volně ložený materiál, především tedy zavazadla cestujících. Podvalník je využíván pro transport leteckých kontejnerů. Vozíky jsou vybaveny střechou a stěnami, z níž jedna je otvírací, aby bylo možné s nákladem manipulovat. Střecha slouží jako ochrana před počasím, zejména deštěm a sněžením. Podvalníky pro přepravu kontejnerů jsou ploché a mají speciálně upravené dno, kde se mohou nacházet kolečka nebo celé kolečkové pásy, což usnadňuje manipulaci s kontejnerem. Kolečka mohou také být motorizována. Velkou výhodou kontejnerového způsobu uložení nákladu v nákladovém prostoru, je velice snadná a rychlá manipulace s kontejnery. Každý dopravce má vlastní kontejner označen logem své společnosti a číslem. To ještě více zvyšuje přehled o pohybu nákladu a snižuje riziko naložení nesprávného kontejneru. S rozvojem moderních technologií se management vozíků a podvalníků stává jednodušším díky GPS lokalizaci a rozpoznávání jednotlivých kusů pomocí RFID čipů (5). Dalším vylepšením je otočná plocha. Nevýhodu naopak je jejich hmotnost, starší typy byly vyrobeny z kovů a jejich hmotnost mohla dosahovat až 100kg. Moderní kontejnery jsou z lehkých slitin nebo plastů, stále však zvyšují neplatící náklad letadla. Vzhledem k relativní finanční nenáročnosti těchto zařízení se jich z pravidla na letišti nachází velký počet.

Obrázek 3 - Vozíky pro zavazadla (17)

Obrázek 4- Podvalník pro letecké kontejnery s kolečkovým pásem *(17)*

2.2 Mobilní mechanizační prostředky

GPU

GPU je zkratka pro ground power unit, v překladu pozemní zdroj napájení. Po zastavení letadla na stojánce je připojeno k externímu zdroji elektrické energie, buď fixnímu, nebo mobilnímu. Fixní zdroje se využívají na stojánkách v blízkosti terminálu, mohou být umístěny na spodní části nástupních mostů. Takovéto umístění je výhodné, nevyžaduje totiž žádnou další techniku. Kabel je navěšen na hácích a pracovník jej pouze připojí k letadlu. GPU dodává proud 120V AC nebo 28V DC 400 Hz (8), a na tyto hodnoty se transformuje z veřejné elektrické sítě. K letadlu se připojuje standardizovaným třífázovým kabelem. Po připojení zdroje posádka přepne v kokpitu na externí napájení, signalizuje pozemnímu personálu, že vše je v pořádku a vypne APU. APU, auxiliary power unit, je malý proudový motor umístěný v ocasní části. Mobilní jednotky GPU jsou samy generátory elektrické energie, nejčastěji dieselovým agregátem nebo velkou baterií.

Traktory

Traktory, které jsou nazývány také tahače. Toto označení odkazuje na funkci strojů, tedy přemisťování nemotorizovaného vybavení, které se nemůže přemístit samo. Největší náplní práce je tahání vozíků a podvalníků.

Tahač letadel

Ačkoliv je pomocí tyče možné tahat letoun i za traktorem pro přesun vozíků, dnes se využívá speciálních strojů „Push back“ traktorů. Ty do sebe uchytí přední podvozkovou nohu letadla. Manipulace s letadlem je tak mnohem bezpečnější a snadnější. Ukázku vidíme na obrázku 6.

Schody pro cestující

Pro nástup a výstup cestujících z letadla se mohou používat přistavené schody. Ty mohou být taženy traktorem k letadlu a zpět, nebo motorizovány, nepotřebují tak další vybavení pro manipulaci s nimi. Jejich výška je nastavitelná, aby mohly obsluhovat různé typy letadel. Možností provedení je velmi mnoho a některé zahrnují například zastřešení, vyhřívání, koberec pro VIP nebo eskalátory. Moderním příkladem provedení jsou schody nízkonákladové společnosti Ryanair. Ty vidíme na obrázku 5. Ty se vysouvají přímo z trupu letadla pod předními dveřmi, kde jsou uloženy. Dopravce tak není závislý na vybavenosti letiště. Hlavním důvodem, proč dopravce zvolil tuto variantu, jsou však náklady spojené

s přistavením schodů nebo nástupního mostu. Letadlu na nástup a výstup stačí přistavit pouze jedny schody k zadním dveřím.

Nástupní mosty

Obrázek 5- Vysouvací schody společnosti Ryanair *(21)*

Obrázek 6- Traktor pro "Push back" *(19)*

Do angličtiny se nástupní most překládá jako „Jet bridge“, „sky bridge“ nebo „passanger boarding bridge“. Jedná se o uzavřený pohyblivý „tunel“ spojující letoun s terminálem. Jako náhradu za schody jej poprvé v roce 1959 představila společnost United Airlines (6). Vyškolený pracovník ovládá most z řídící kabiny. Most se může pohybovat všemi směry a je tak možné jej přizpůsobit skoro všem typům letadel. Nástup největšího dopravního letadla současnosti, Airbus A380, donutil letiště investovat do úprav těchto mostů a stojánek. Ty nebyly na tak velká letadla konstruovány. Tento způsob nástupu má své výhody i úskalí. Mezi přednosti nástupních mostů patří jejich schopnost izolovat cestující od počasí na letišti. Zabezpečují snadný přístup cestujících do letadla, zejména cestujících s pohybovými potížemi nebo vozíčkářů, kteří by schody zvládali jen s obtížemi nebo by museli využít specializovaný výtah. Použitím tohoto řešení se zamezí přístupu cestujících na rampu a z ní případně na ostatní letištní plochy, předchází se tak možnému poškození letadla cestujícími. Pohyb cestujících v tunelu je rychlejší než po schodech. Je-li ovšem použit tunel pouze jeden a nástup probíhá jen předními dveřmi, trvá nástup, v porovnání s použitím předních i zadních dveří, až dvakrát déle. Pro velkokapacitní letadla, jako je právě A380, se používá stojánek se dvěma nebo dokonce třemi tunely. Taková stojánka v České Republice existuje jen jedna na letišti Václava Havla v Praze. Jelikož dosah mostů je limitován jejich konstrukcí, vyžadují, aby byl letoun přistaveno přímo k terminálu. Letiště proto stále vlastní také schody, které mohou obsloužit lety na průjezdových stojánkách. Ty se nenachází přímo u terminálů. Hlavní nevýhodou mostů je riziko poškození letadla nesprávnou manipulací s tunelem a jeho kolizí s trupem. Opomenutí odstranit tunel před zahájením „Push Back“ patří k nejčastějším příčinám kolizí.

Obrázek 7- Nástupní most *(18)*

Cargo loaders

Cargo loader je zařízení uzpůsobené k nakládání a vykládání nákladu, který je nevhodný pro nakládací pás. To jsou zejména letecké kontejnery nebo objemné či těžké zboží. Loader má dvě samostatně řiditelné plošiny, které se mohou zvedat do požadovaných výšek, na jejich povrchu se nachází pás válců ulehčujících pohyb nákladu. Zboží je na něj nasunuto z podvalníku a následně vyzvednuto do výšky vstupu do nákladového prostoru.

Catering loader

Speciálním vozidlem je tzv. „Catering loader“. Jedná se o speciálně vyrobený vůz, vzhledem připomínající kamion. Celá nákladní část se hydraulicky vyzdvihne a přistaví se ke dveřím letadla. Personál určený k doplnění cateringu má k zásobám snadný přístup. Nemusí při doplňování překonávat žádné převýšení, snižuje se tím čas potřebný pro doplnění a zároveň se zvyšuje bezpečnost. Doplňující personál nemusí procházet místy, kde probíhají jiné činnosti.

Transportní pás

Volný náklad, jako jsou zavazadla cestujících nebo transportované zboží menšího objemu, se z vozíků přesouvá na pohyblivý pás, a to pomocí lidské síly. Pás se nachází na korbě upraveného auta a zvedne se ke dveřím nákladového prostoru. Tam zaměstnanci skládají z pásu zavazadla a ukládají jej. Jeho ukázka je na obrázku 9.

Cisterny s palivem

Existují dva přístupy k doplňování paliva během průletového času. Starším a méně sofistikovaným způsobem je nákladní auto s připojenou cisternou, ta má zabudované i své čerpadlo, hadice a filtry. Pracovník ji připojí k letadlu a zahájí tankování. Moderní způsob zahrnuje potrubní infrastrukturu pod letištěm. Auto, tzv. „hydrant truck“ (obrázek 8), poté slouží pouze jako propojovací článek mezi letadlem a touto sítí. Palivo teče skrze auto přes

filtr do letadla. Vybudovat takovouto síť na již postaveném letišti je velice nákladné a díky mnohým komplikacím, spojenými s pohybovými omezeními letadel během stavby, je pro většinu letišť nemožné na tento způsob přejít. Dovolit si jej tedy mohou pouze nová nebo velmi zisková letiště.

Cisterna s pitnou vodou

Pro cestující na palubě je třeba zajistit dostatek pitné vody. Je-li třeba vodu doplnit, děje se tak pomocí mobilní cisterny s čerpadlem.

Toilet service

Pro servis toalet je využíváno speciálního auta. Jeho úkolem je vyprázdnit obsah toalet na palubě letadla. Princip je podobný jako u aut na čerpání septiků. Pomocí hadice o velkém průměru se vysaje obsah nádoby, ve které jsou odpadní vody uskladněny. Po kompletním vyčerpání dojde ještě k propláchnutí a očištění cest čistou vodou.

De-icing vehicle

Pozemní odmražení má dva účely. Prvním je odstranění zmrzlých nebo napůl zmrzlých vrstev z povrchu letadla, na kterém se při letu vytváří vztlak, a také z motorů. Druhým je ochrana těchto povrchů před opětovným vznikem námrazy po dobu od provedení odmražení až po vzlet. De-icing vehicle je specializované nákladní auto, na jehož korbě se nachází zásobník s odmrazovací kapalinou a na střeše tohoto zásobníku se nachází pohyblivé rameno s košem pro obsluhu. Pod košem je umístěna výstupní tryska, do které proudí přiváděná odmrazovací kapalina v různých poměrech, které závisejí na okolní teplotě a jsou nastavitelné. K odmrazování dochází na k tomu vyhrazených stojánkách. Po dokončení procedury jde letoun co nejdříve k vzletu. Na jednom letadle může zároveň pracovat i vícero strojů, tím se však zvyšuje riziko poškození letadla, způsobené špatnou manipulací s pohyblivým ramenem odmrazovacího vozu.

Obrázek 8 - Hydrant truck (6)

Obrázek 9- Transportní pás *(20)*

3 Analýza procesu odbavení

Při zpracování této kapitoly bylo vycházeno z (2), (5), (9), (10), (11).

Termín pozemní odbavení zahrnuje služby poskytované letadlům, jenž přistanou na daném letišti, v době jejich pobytu na zemi. Prioritou je poskytnout rychlou, efektivní a kvalitní službu. Většinou nejsou přímo potřeba pro let letounu, ale poskytují komfort cestujícím. Výjimku tvoří doplnění paliva a předletová prohlídka systémů letounu. Služby pozemního odbavení jsou prováděny na několika úrovních a často i vícero organizacemi. Aerolinky, které si mohou dovolit zajištění těchto služeb vlastní dceřinou společností, tak činí pro snížení vlastních nákladů o marže cizích firem. Tyto společnosti pak působí v jednotlivých hubech aerolinky a poskytují služby i pro ostatní dopravce využívající dané letiště. Ale až 50% těchto služeb je poskytováno specializovanými agenturami (10). Navigaci po letištních plochách zajištuje místní řízení letového provozu. Zaměstnanci letiště pak dozorují a koordinují všechny procesy za využití postupů CDM. Tyto postupy koordinují činnosti všech účastníků procesu pozemního odbavení za účelem minimalizace průletového času. Nezanedbatelnou roli v celém procesu má i konfigurace letiště a jeho zázemí. Poloha terminálů, stojánek, TWY – Pojezdové dráhy mezi přistávací drahou a odbavovací plochou, RWY – Přistávací dráha a skladů, zvláště pak jejich vzdálenost, má velký vliv na efektivitu celého procesu.

3.1 Pohyby letounu po letištní ploše

Od okamžiku dosednutí letounu na dráhu (Touch down), až do jeho odpoutání se od země (Take off) zajištuje bezpečný a plynulý pohyb po letištních plochách řízení letového provozu. V České republice je to převážně starostí služby TWR. Pouze na Letišti Václava Havla v Praze je poskytována služba Ground. Ta přebírá kontrolu nad letadlem v okamžiku, kdy letoun opustí přistávací dráhu, až do doby, kdy dojede k ploše vymezené pro stání letadel. Není-li služba Ground na letišti poskytována, přebírá její funkce služba Tower. Přesné navádění na stojánku se děje buď pomocí signálů pracovníka letiště anebo automatickým systémem, ten měří vzdálenost letadla od požadované pozice a na displeji ji ukazuje pilotovi. Na zmiňovaném displeji se také nachází řada pruhů, které pomáhají určit, zda k nim stojí letoun kolmo a tudíž správně.

Doba trvání těchto přejezdů se liší na každém letišti a je výrazně ovlivněna rozlehlostí letiště a pokyny TWR.

Letoun musí vykonat následující pohyby:

- Touch down - Přistání na přistávací dráhu.
- Taxi in - Pojíždění z RWY na odbavovací plochu.
- STOP - Zastavení na stojánce.
- Push-Back - Vytlačení letadla ze stojánky.
- Taxi out - Pojíždění z odbavovací plochy k RWY.
- Take off -Rozjezd a vzlet.

3.2 Cabin service

Cabin servise přišel s rozmachem mezinárodní civilní letecké dopravy v šedesátých letech dvacátého století. S rostoucí konkurencí pro státní aerolinky se kabinový servis stal důležitou součástí strategií jednotlivých společností. Jedná se o služby poskytované cestujícím během letu, začíná ovšem už přivítáním palubním personálem při nástupu do letadla. Kabinový servis pocítí cestující, po vnějším vzhledu letadla, jako první a tvoří největší část z celkového dojmu cestujícího na aerolinku, kvalitu letu a s ním poskytovaných služeb. Ukázkou takovýchto služeb je například poskytování teplých vlhčených ručníků, jenž můžeme vidět na obrázku 10. Naprostá většina stížností, které přicházejí, jsou právě na kabinové služby. Zvláště pak, jsou-li cestující nuceni čekat v letadle, například kvůli neočekávaným zpožděním. Palubní průvodčí (letušky nebo stevardi) jsou pak vystaveni zvýšenému tlaku ze strany cestujících.

Mezi povinnosti palubního personálu patří příprava letadla na let. K tomu je potřeba dohlédnout na:

- Zajištění nakládky příslušného vybavení pro pasažéry se zvláštními potřebami jako jsou třeba:
    - Požadavky na zvláštní jídlo, vegetariánské, veganské nebo neobsahující určité alergeny, je-li možnost jejich objednání poskytnuta dopravní společností.
    - Pasažéři s pohybovými nebo dorozumívacími poruchami.
    - Cestující na vozíčku. Děti do 2 let věku.

    - Nebo i VIP osoby.
- Čistotu v letadle. (obrázek 11)
- Ujistit se o přítomnosti bezpečnostního vybavení:
    - Sad první pomoci.
    - Hasicích přístrojů.
- Přivítat cestující v letadle.
- Ujistit se, že kabinové zavazadlo je bezpečně uloženo na příslušných místech a neblokuje žádnou uličku nebo nouzový východ z letadla, a to po celou dobu letu.
- Všichni cestující i ti, kteří neletí poprvé, musejí být před vzletem informováni o bezpečnostních postupech v případě nouzové situace. K tomu slouží i bezpečnostní instrukce na kartách zasunutých v zadních kapsách sedadel, pro každé místo k sezení.
- Dohlédne na polohu jídelních stolků.
- Zajistí, aby každý cestující měl zajištěn bezpečnostní pás.
- K povinnostem patří i nabídka a prodej duty-free zboží.
- Po zastavení letadla na stojánce a výstupu cestujících zajistí, aby v letadle nezůstaly žádné zapomenuté předměty, schránky a stolky byly v zajištěné poloze a letoun bylo připraveno na vyčištění a doplnění. Během této doby pomáhá pozemnímu personálu a zkracuje tak průletový čas.

Obrázek 10- Příprava ručníků pro let *(23)*

Obrázek 11- Úklid letadla *(12)*

Součástí služeb poskytovaných cestujícím je také catering. Občerstvení pro cestující většinou zahrnuje teplé jídlo, alkoholické i nealkoholické nápoje a drobné pochutiny, například oříšky, chipsy nebo bonbóny. Které z těchto služeb, zdali vůbec nějaké jsou zahrnuty v ceně letenky se liší dopravce od dopravce. Celkově ale platí, že nízkonákladový

dopravce zpoplatňuje catering na palubě letadla mnohem častěji a ve větším rozsahu. Ukázka palubního cateringu je na obrázku 12. Jídla se připravují už na zemi, aby se minimalizoval čas jejich přípravy na palubě letadla. Tam poté stačí je pouze ohřát. Do letadel jsou dodávány cateringovými společnostmi v univerzálních vozíčcích, tak aby bylo snadné je doplňovat a vykládat nepoužité nebo špinavé zbytky z uplynulého letu.

Obrázek 12- Jídlo servírované v společnosti Ryanair *(14)*

Doba trvání těchto činností je ovlivněna typem letounu a požadavky letecké společnosti. Nároky na kvalitu úklidu nebo množství a rozmanitost cateringu hrají významnou roli.

Pro letoun je tedy třeba zajistit:

- Noviny, časopisy a ostatní materiál k čtení.
- Úklid.
- Doplnění spotřebního materiálu jako toaletní papír, mýdlo, ubrousky.
- Výměna umyvatelného vybavení. Ručníky, přikrývky, povlečení atd.
- Doplnění cateringu.

3.3 Údržba

Před každým letem je třeba vykonat předletovou kontrolu. Tu provádí velitel letadla a zahrnuje mimo jiné kontrolu lopatek motoru, snímačů tlaků, stav pneumatik nebo nedochází-li k úniku kapalin z letadla. Mechanici také odstraní nahlášené závady, které lze na místě opravit, a které nevyžadují důkladnější prohlídku. Teprve po dokončení prohlídky mohou na palubu nastoupit cestující.

3.4 Ramp service

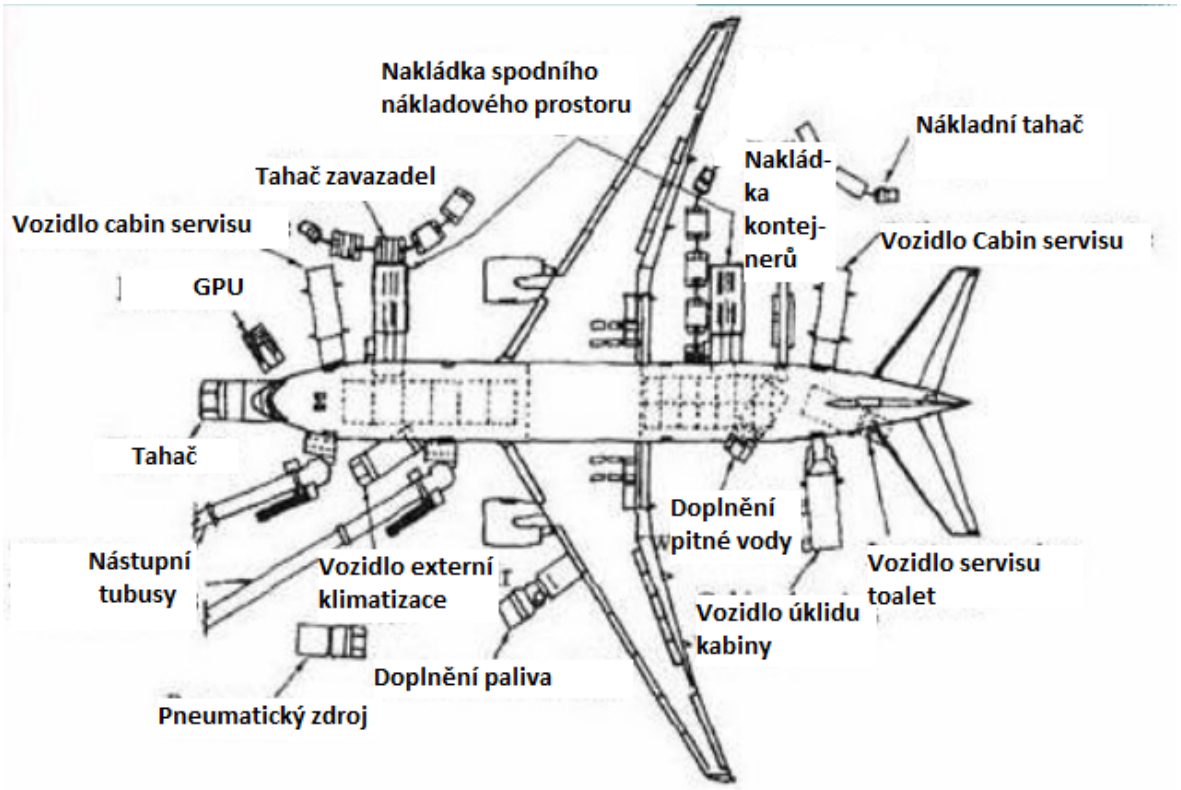
Nejnáročnější částí celého procesu pozemního odbavení letadla je organizace všech činností tak, aby probíhaly co nejvíce současně a celková doba trvání byla co nejmenší. Proto, když je letoun uklízeno a doplňováno vevnitř (Cabin service), je zároveň obsluhováno i zvenku. Jakmile letoun zastaví a vypne motory, jsou mu pod kola vloženy klíny, které slouží jako opatření proti pohybu letadla. To je také brzděno, čímž je dosažena vícenásobná záruka, že letoun se při jeho obsluhování nepohne. S vypnutými motory také skončí dodávka elektrické energie pro letoun, je proto připojeno na GPU. To je pozemním zdrojem elektrické energie. Jsou-li potřeba, je možné také připojit externí zdroje klimatizace a pneumatického tlaku. K levé straně letadla se přistaví schody a pod nimi čeká na cestující autobus, který je odveze k terminálu. Moderním přístupem k problematice přemístění cestujících z paluby letadla do terminálu letiště je použití nástupního mostu. Ten spojuje terminál a dveře do letadla, vytváří tak dočasnou chodbu a není již potřeba autobusů. Hlavní výhodou je možnost přistavení letadla přímo k stěnám terminálu a zkrácení tak přepravní vzdálenosti na minimum. Pravá strana letounu naopak slouží pro vyložení a naložení nákladových prostor.

Zavazadla cestujících jsou na pásu svážena zaměstnanci k zemi a následně nakládána na vozíky. Náklad uložený v přepravních kontejnerech je vyložen jiným vstupem do nákladových prostor letadla, čímž opět dochází k zrychlení celého procesu. Pro potřeby velitele letadla je vytvořen Load sheet. To je zpráva o hmotnosti a rozložení nákladu, načerpaném palivu a je nutná k určení těžiště letadla a výpočtu výkonnostních charakteristik letounu. Letounu je doplněna voda z přistavené cisterny. Speciálně upravené auto vyprázdní toaletu a dočasně uskladní její obsah. Je doplněno palivo na kapitánem požadované množství. Množství vychází z OFP (Operation flight plan), který vytvořily aerolinie. Je-li to třeba, tým pracovníků očistí okna kokpitu a okénka pro cestující. Křídla a zvláště pak jejich náběžné hrany mohou být také očištěny, obnoví se tak jejích dokonalý aerodynamický tvar a sníží spotřeba paliva.

Při teplotách okolo 0˚C, převážně v zimních a přilehlých měsících, je zapotřebí letoun odmrazit. Námraza je pro letoun velmi nebezpečný jev narušující profil křídla a snižující tím jeho vztlak. Led také zvýší hmotnost letounu, což má kombinovaně za následek prodloužení vzletové dráhy a zvýšení pádové rychlosti. O tom, zda se bude

odmrazovat nebo ne, rozhodne velitel letadla. S letadlem zajede na místo určené k odmrazování a po dokončení následuje co nejdříve, nejlépe okamžitě, na vzlet. Efekt odmražení je totiž dočasný. Existují čtyři typy kapalin určených pro odmrazování. Na letišti Václava Havla v Praze se využívají dvě. Kapaliny jsou smíchané s vodou, v poměru dle teploty, označované jako „Kapalina 1“ a „Kapalina 2“. Zatímco první rozpustí led a sníh, ale její efekt je krátkodobý, druhá má preventivní účinek, který trvá až do doby, kdy kapalinu z letadla smyje nápor vzduchu při vzletu. Právě z důvodu nedlouho trvajícího účinku odmražení určuje pořadí letadel, která jdou na odmražení, ŘLP – Státní podnik řízení letového provozu, který zajišťuje bezpečný a plynulý letový provoz nad územím České Republiky. Přesněji to spadá pod letištní službu Tower.

Doba trvání vyložení a naložení nákladového prostoru a výstup nebo nástup cestujících je ovlivněna počtem cestujících. Více lidí má více zavazadel a to prodlužuje dobu jejich nakládání a vykládání. Počet dveří používaných pro výstup a nástup také ovlivňuje rychlost opuštění letounu. V závislosti na destinaci, kam letoun poletí, je čerpáno jiné množství paliva a čerpání trvá jinak dlouho. Přibližnou polohu mobilních mechanizačních prostředků při odbavování vidíme na obrázku 13.



Obrázek 13- Poloha servisních vozidel vůči letadlu. Přeloženo. *(13)*

Seznam činností Ramp service:

- Založení letadla klíny.
- Připojení GPU.
- Přistavení schodů/nástupního mostu.
- Přistavení autobusu (jsou-li použity schody).
- Připojení externí klimatizace.
- Doplnění paliva.
- Servis toalet.
- Doplnění pitné vody.
- Vyložení nákladového prostoru a jeho opětovné naložení.
- Load sheet.
- Umytí letadla.
- Odmražení letadla.

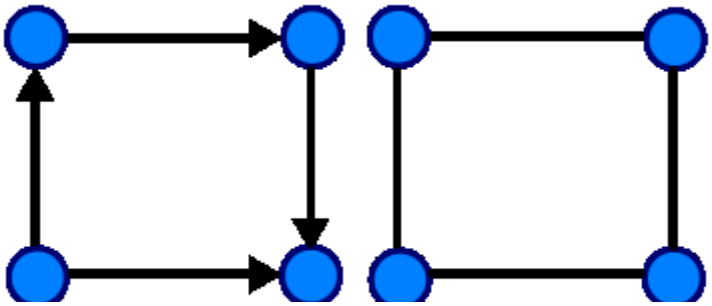
4 Metody síťové analýzy

Při zpracování této kapitoly bylo vycházeno z (3).

4.1 Teorie grafů

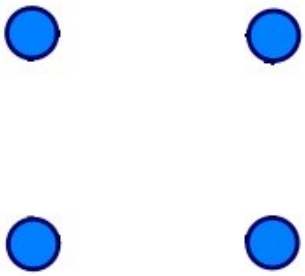
Teorie grafů je matematický obor. Pomocí tohoto oboru lze řešit problémy z různých oblastí. Slovem graf se zde rozumí útvar, který je možné zakreslit v rovině nebo prostoru a jenž reprezentuje skutečnou síť. Skládá se z uzlů a hran, jejichž počet není nijak omezen. Jejich vzájemná poloha není důležitá, sleduje se pouze skutečnost, zda existuje mezi uzly spojení či nikoliv.

Uzly jsou zakresleny jako kolečka či čtverce. Hrany značíme povětšinou rovnou čarou, není-li to však možné, použijeme křivku. Dohromady pak dávají matematický popis struktury. Hrany jsou buďto neorientované, a tudíž průchodné oběma směry, nebo orientované a lze se po nich pohybovat pouze jedním směrem. Daný směr je na hraně naznačen šipkou a podle jejich výskytu hovoříme o orientovaném, neorientovaném a smíšeném grafu. Ukázka na obrázku 14.

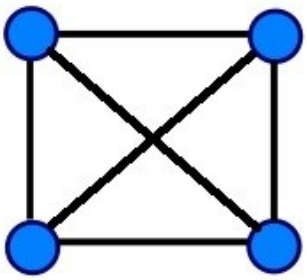


Obrázek 14- Orientovaný (levý) a neorientovaný (pravý) Graf *(22)*

Množinovým zápisem grafu je $G = \{U, H\}$. U je množina uzlů a H množina hran. Dle počtu uzlů a hran rozlišujeme několik typů grafů. Základním rozdělením je dělíme na konečné a nekonečné. Extrémním případem konečného grafu je pak graf prázdný, pro který platí, že $U = \{\}, H = \{\}$. Obsahuje-li pouze uzly, hovoříme o nulovém grafu - $U \neq \{\}, H = \{\}$. Vidíme ho na obrázku 15. Opačným příkladem extrému je poté graf úplný (obrázek 16). Tento případ má každou dvojici uzlů spojenu hranou.

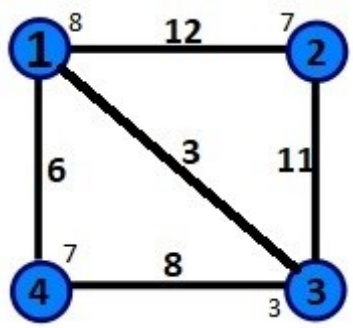


Obrázek 15- Nulový graf



Obrázek 16- Úplný graf

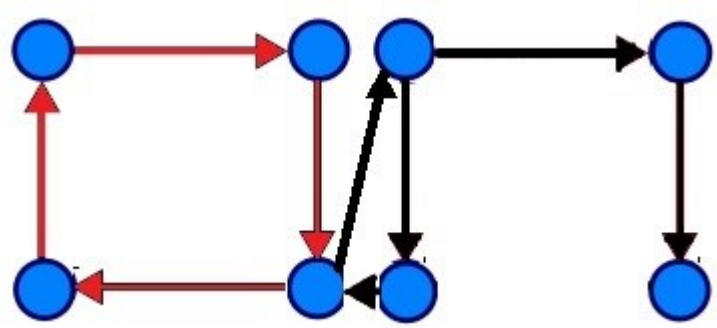
Ohodnocením přiřadíme každému uzlu v grafu ohodnocení, jedná se pak o vrcholově ohodnocený graf. Ohodnocením jsou nejčastěji čísla. Dojde-li k ohodnocení i u hran, je graf hranově ohodnocený. Ohodnocení u hran mohou například představovat délky nebo dobu trvání činností. Té je využito i v této práci.



Obrázek 17- Hranově i
vrcholově ohodnocený graf

Posloupnost uzlů a hran se nazývá sled. Ten začíná a končí v různých uzlech grafu, a pak je sledem otevřeným. Anebo je počátek i konec v uzlu jediném a jedná se o sled uzavřený. Cesta grafem je pak sled, jehož všechny uzly jsou různé. Existuje-li cesta pro každou dvojici uzlů, jedná se o souvislý graf. V případě, že pro alespoň dva různé uzly nelze cestu nalézt, je graf grafem nesouvislým. Takto oddělené části grafu se nazývají komponenty. Příklad ohodnoceného grafu je na obrázku 17.

Existuje-li orientovaným grafem cesta, která začíná a končí v stejném uzlu, jedná se o cyklus. Toto je pro většinu úloh nežádoucí jev a je vhodné jej odstranit. Postup odstranění cyklů je popsán v následující kapitole. Cyklus vidíme na obrázku 18.

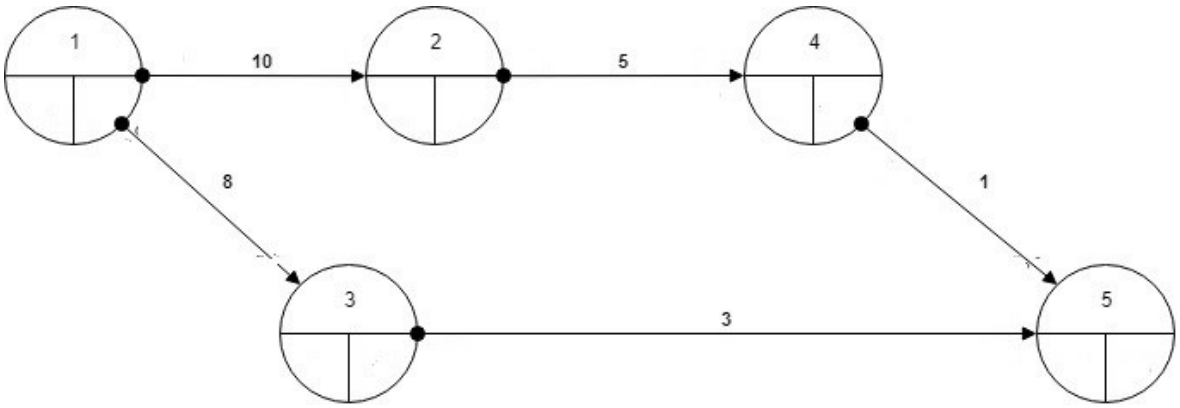


Obrázek 18- cyklus v grafu (červeně)

4.2 Síťový graf a jeho vlastnosti

Síťový graf je matematickým modelem projektu, který přesně popisuje závislosti jednotlivých činností. Skládá se z uzlů a hran. Dle toho, zda jsou činnosti reprezentovány jako hrany, či uzly, rozlišujeme hranově nebo uzlově definované sítě. V této práci je použita metoda s hranově definovanou sítí. Uzly proto představují vazby mezi činnostmi, které jsou reprezentovány hranami. Ukázka síťového grafu je na obrázku 19. Pro úspěšné sestavení síťového grafu je třeba dodržet následující podmínky:

- Síť obsahuje právě jeden výchozí a právě jeden koncový uzel. Výchozím uzlem je takový, do nějž nevstupuje žádná činnost. Koncovým uzlem je pak ten, z nějž žádná hrana nevystupuje.
- Každému uzlu s výjimkou výchozího musí předcházet alespoň jedna hrana.
- Z každého uzlu s výjimkou koncového musí vycházet alespoň jedna hrana.
- Graf je souvislý.
- Graf je konečný.
- Graf je hranově ohodnocený.
- Graf je orientovaný.
- Graf je acyklický.
- Graf je obyčejný.

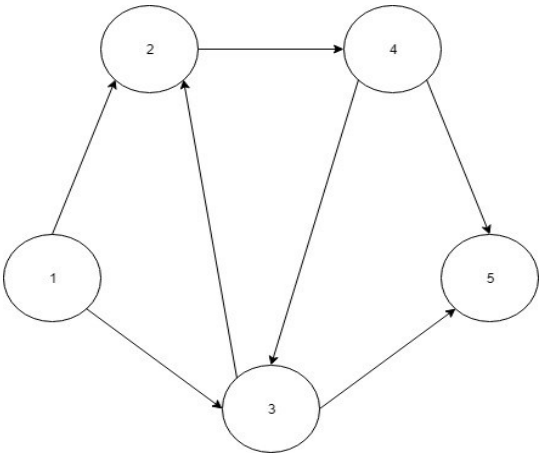


Obrázek 19- Ukázka síťového grafu

Pro sestavení grafu je třeba znát návaznosti jednotlivých činností, které si předchází a které nemohou začít před ukončením jiných. Popřípadě které mohou probíhat paralelně. Uzly zde představují časové okamžiky začátku a konce činností. Orientované a ohodnocené hrany znázorňují samotnou činnost a její trvání je vyjádřeno ohodnocením.

Identifikovat vzniklé cykly v grafu sítě je při větším počtu uzlů a složitých sítích velice obtížné. Proto se graf převede do čtvercové matice o rozměru *(n, n)*, kde *n* je počet uzlů v grafu. V matici odpovídají indexy řádků a sloupců indexům uzlů v síti. Na polích matice, kde se v síti vyskytuje vazba mezi uzly, napíšeme 1. Matici následně umocňujeme. Nenachází-li se v síti cykly, dojde po umocnění rovnajícímu se maximálnímu počtu hran libovolné cesty v grafu, k vynulování matice. Obsahuje-li graf cyklus, objeví se na hlavní diagonále jedničky a to na polích odpovídajících hranám z uzlů daných příslušným indexem. Kolik hran tvoří cyklus, tolikátá mocnina matice je potřeba, aby se cyklus v matici ukázal. Maximální možný cyklus prochází všemi hranami sítě, proto nemá smyslu matici umocňovat na mocninu vyšší než *n-1*. Cykly, které odhalíme, je vhodné ihned odstraňovat. Nebudou-li totiž odstraněny, informace o nich se budou v matici nacházet i nadále a dojde k prolínání informací o případných dalších cyklech.

Příklad identifikace cyklu



Obrázek 20- Analyzovaná síť

- Síť na obrázku 20. nejprve převedeme na matici. (obrázek 21).

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Obrázek 21- matice sítě

- Vypočteme mocniny této matice až do páté mocniny. Obrázky 22. až 25.

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Obrázek 22- Druhá mocnina

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Obrázek 23- třetí mocnina

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^4 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Obrázek 24- čtvrtá mocnina

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^5 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Obrázek 25- pátá mocnina

Jedničky na hlavní diagonále se objevily pouze u třetí mocniny. Jejich umístění ukazuje, že cyklus se vyskytuje mezi vrcholy $4 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 4$.

V síťovém grafu se rozlišují tři typy činností. Reálné činnosti jsou skutečné činnosti spotřebovávající zdroje a trvající určitou dobu. Fiktivní činnosti se využívají k vyjádření bezprostřední časové návaznosti, které ovšem nelze přiřadit odpovídající činnost. Neodpovídá jí žádná reálná činnost ani zdroje a má nulovou délku trvání. Pro jejich odlišení se v grafu znázorňují přerušovanými čarami. Posledním typem je zvláštní případ fiktivní činnosti s nenulovou délkou trvání - čekací činnost.

4.3 Metoda kritické cesty

První metody kritické cesty byly publikovány v časopisech před rokem 1960 (1). Nejčastěji používanou, uplatněnou i zde, je časová analýza. Ta postihuje jediný činitel a to čas. Umožňuje vyhledat činnosti, u kterých, kdyby došlo k jejich prodloužení, dojde k zpoždění celého projektu. Pomocí teorie grafů sestavuje z uzlů a hran modelovou síť jednotlivých činností, délky trvání těchto činností a jejich návaznosti.

Jednotlivé uzly a činnosti označujeme indexy. Toto označení je nutné, aby byla síť jednoznačně popsána. Popis sítě sice může být teoreticky libovolný, samotné metodě CPM toto nevadí, ovšem tento způsob není vhodný pro jednoduché pochopení síťových návazností. Pro přehlednost je dobré, aby každá činnost začínala v uzlu s nižším číselným indexem, než náleží uzlu, v němž je daná činnost ukončena. Při konstrukci nové sítě lze předpokládat, že bude časem doplňována o další, ať už na poprvé opomenuté či nově přidané činnosti. Je tudíž výhodné si na místech předpokládaného přidání činností do sítě udělat pomyslnou mezeru vynecháním jednoho či více čísel. Popřípadě je také možné indexovat pouze sudými či lichými čísly. Označení činností poté vychází z indexů uzlů. Každá činnost je označena indexem počátečního a koncového uzlu. Dále je jí přiřazena i délka trvání. U fiktivních činností je délka trvání nulová. Pro lepší orientaci je možno také popsat činnost slovem, které ji charakterizuje.

Výpočet lze provést buďto grafickým diagramem nebo tabulkou, tato práce používá metodu grafického diagramu a proto se tabulkou nebudu zaobírat. Pozice pojmů v diagramu vidíme na obrázku 26. Pojmy používané při výpočtech jsou následující:

Pro hrany zavádíme:

ZM_{ij} = Nejdříve možný začátek činnosti vycházející z uzlu ***i*** a vstupující do uzlu ***j***.

KM_{ij} = Nejdříve možný konec činnosti vycházející z uzlu ***i*** a vstupující do uzlu ***j***.

KP_{ij} = Nejpozději přípustný konec činnosti vycházející z uzlu ***i*** a vstupující do uzlu ***j***.

ZP_{ij} = Nejpozději přípustný začátek činnosti vycházející z uzlu ***i*** a vstupující do uzlu ***j***.

CR_{ij} = Celková rezerva činnosti ***(ij).***

$o_{(i,j)}$ = Doba trvání činnosti ***(ij)***.

Pro uzly zavádíme:

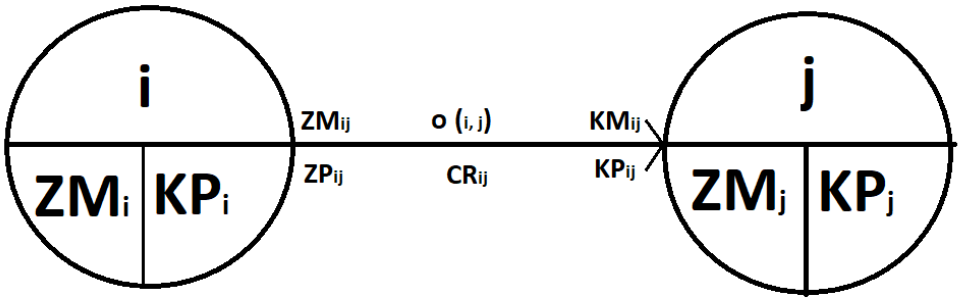
ZM_i = Nejdříve možný začátek všech činností vycházejících z uzlu ***i***.

KP_j = Nejpozději přípustný konec všech činností směřujících do uzlu ***j***.

Pro celý graf zavádíme:

T_0 = Počáteční čas. – čas začátku projektu, zpravidla se volí 0.

T = celková doba trvání projektu. Je dána délkou kritické cesty.



Obrázek 26- Obecné označení činností v grafu

Výpočet provádíme ve třech částech, v první se postupuje od počátečního uzlu ke koncovému, a určují se nejdříve možné začátky činností. Nejdříve možný začátek činnosti vycházející z počátečního uzlu je 0, Tedy: $\boldsymbol{T_0 = 0, ZM_1 = 0,}$ **a** $\boldsymbol{ZM_{1,j} = 0}$

Pro určení nejdříve možného začátku činností vycházejících z uzlu ***j*** se řídíme nejdříve možným koncem činností, které do uzlu ***j*** vstupují, a vybereme z nich maximální hodnotu. Platí, že $\boldsymbol{ZM_m = T}$ Zapsáno matematicky:

$$\boldsymbol{ZM_j = max_i \{KM_{ij}\}}$$

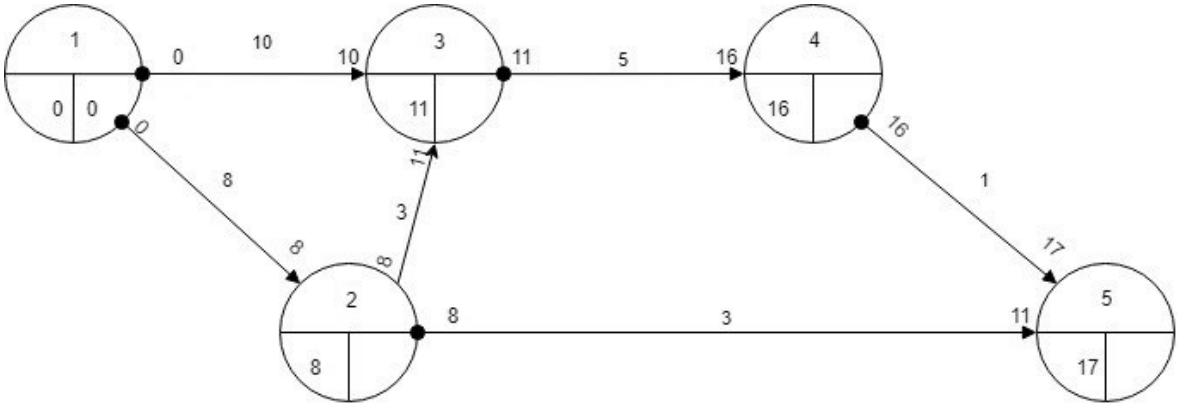
Druhá část výpočtu je prováděna od koncového uzlu k počátečnímu, a vypočítávají se nejdříve přípustné konce činností končících ve vrcholu i. Pro koncový uzel platí, že $KP_n = T$. Aby mohla činnost začít, musejí být nejprve ukončeny všechny ty činnosti, které jí předcházely. Proto při určování nejdříve přípustného konce činností v uzlu i se řídíme minimálním časem přípustných začátků vycházejících z tohoto uzlu, $KP_i = min_j\{ZP_{ij}\}$. Pro kontrolu musí vyjít $KP_1 = 0$.

Závěrečnou fází výpočtu je určení celkové rezervy činností. Ta představuje rozdíl mezi maximálním časovým intervalem, který je pro danou činnost k dispozici a dobou trvání této činnosti. Vypočítáme ji jako rozdíl přípustného a možného konce. Činnosti s nulovou rezervou jsou kritické a tvoří kritickou cestu, vyjádřeno vzorcem: $CR_{ij} = KP_{ij} - KM_{ij}$

4.4 Ukázka řešení

Na jednoduchý síťový graf aplikujeme metodu kritické cesty. Jako první ověříme, odpovídá-li síť parametrům potřebným pro použití CPM. Graf je souvislý, konečný, hranově ohodnocený, obyčejný, acyklický, orientovaný. Má počáteční uzel 1 a koncový uzel 5. Splňuje tedy vše potřebné. Jako čas počátku určíme $T_0 = 0$ a tudíž $ZM_1 = 0$, $ZM_{1,2} = 0$, $ZM_{1,3} = 0$

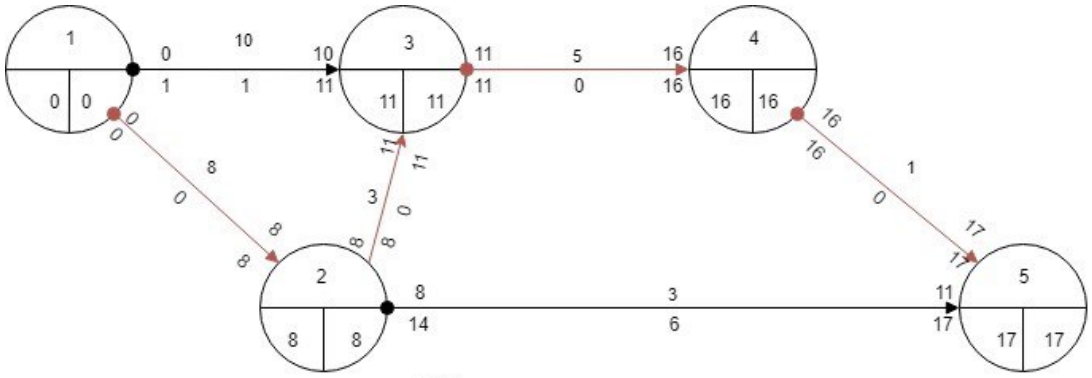
Například pro určení $KM_{1,2}$ přičteme délku trvání činnosti (1,2) [o (2,4) = 10] k nejdříve možnému začátku této činnosti, $KM_{1,2} = ZM_{1,2} + o\ (2,4)$, $KM_{1,2} = 0 + 10$, $KM_{1,2} = 10$ Abychom určili ZM_2 zvolíme maximum z $KM_{1,2}$ a $KM_{2,3}$ tedy hran vstupujících do uzlu 3. V tomto případě je to hrana (2,3). $ZM_2 = 11$ Postup se opakuje postupně pro všechny činnosti. Graf nyní vypadá jako na následujícím obrázku 27.



Obrázek 27- Postup výpočtu CPM

V druhé fázi výpočtu budeme postupovat od koncového bodu k počátečnímu. $\boldsymbol{KP_i}$ je vždy minimem z přípustných začátků činností, vycházejících z uzlu $\boldsymbol{i}$. Pro koncový uzel platí $KP_5 = ZM_5 = T$, T je celková doba trvání. Například: $ZP_{3,5} = KP_{3,5} - o(3,5)$. $ZP_{3,5,} = 17 - 3$, $\boldsymbol{ZP_{3,5} = 14}$ Takto postupujeme až k počátečnímu uzlu.

Nakonec ještě vypočteme rezervy činností$CR_{ij} = KP_{ij} - KM_{ij}$ $CR_{3.5} = 17\text{-}11$, například: $\boldsymbol{CR_{3.5} = 6}$ Tam, kde jsou rezervy činností nulové, vede i kritická cesta. V tomto případě tedy uzly: 1 → 3 → 2 → 4 → 5 Vypočtený graf vidíme na obrázku 28.



Obrázek 28- CPM (červeně – kritická cesta)

5 Síťová analýza procesu odbavení letounu

5.1 Analýza klasického dopravce

Při vytváření síťového grafu pro analýzu procesu odbavení postupujeme dle zásad popsaných v kapitole 4.2. Při určování, které činnosti musejí být ukončeny, aby mohly jiné započnout, se řídíme převážně poznatky z praxe a logickým úsudkem. Navedení na stojánku nemůže začít bez jejího zkontrolování. Teprve poté je možné podložit letoun špalky. Přistavení schodů nebo nástupního mostu, připojení GPU a externí klimatizace, doplňování paliva a servis toalet může probíhat společně s vykládkou nákladového prostoru. Cestující ovšem mohou začít vystupovat až po připojení mostu (schodů). A teprve poté mohou zaměstnanci zahájit úklid paluby a doplňování cateringu či jiného spotřebního zboží na palubě. Naložit nákladový prostor je možné až po jeho úplném vyložení. Ze seznamu naloženého zboží je vytvářena zpráva load sheet pro kapitána letu, který z ní vychází při kontrole letounu. Teprve je-li vše v pořádku, je zahájen nástup cestujících. Po uzavření dveří je letoun odpojen od pozemních zařízení, což je pilotům signalizováno pozemním personálem. Letoun odjíždí na odmražení a následně odlétá.

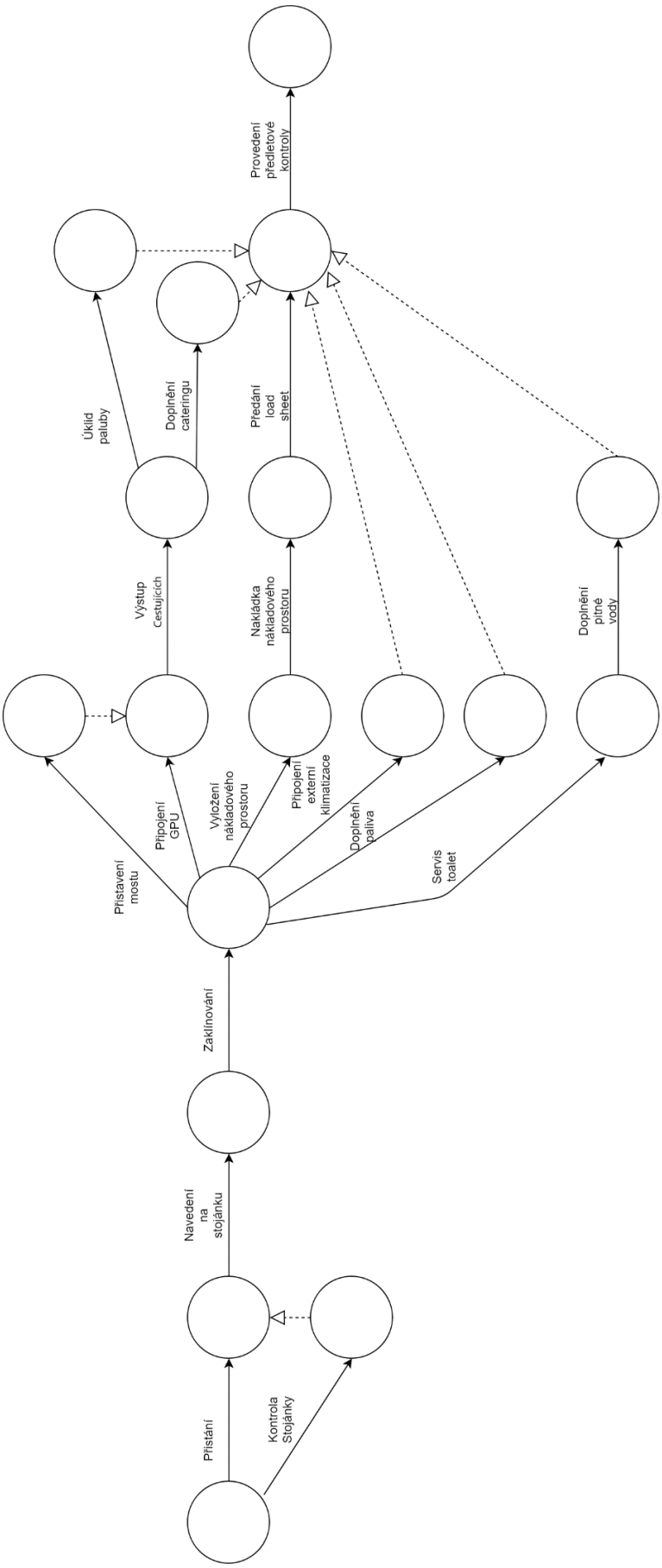
Tabulka 1 prezentuje seznam jednotlivých činností včetně vazeb mezi nimi.

Tabulka 1- Návaznosti činností

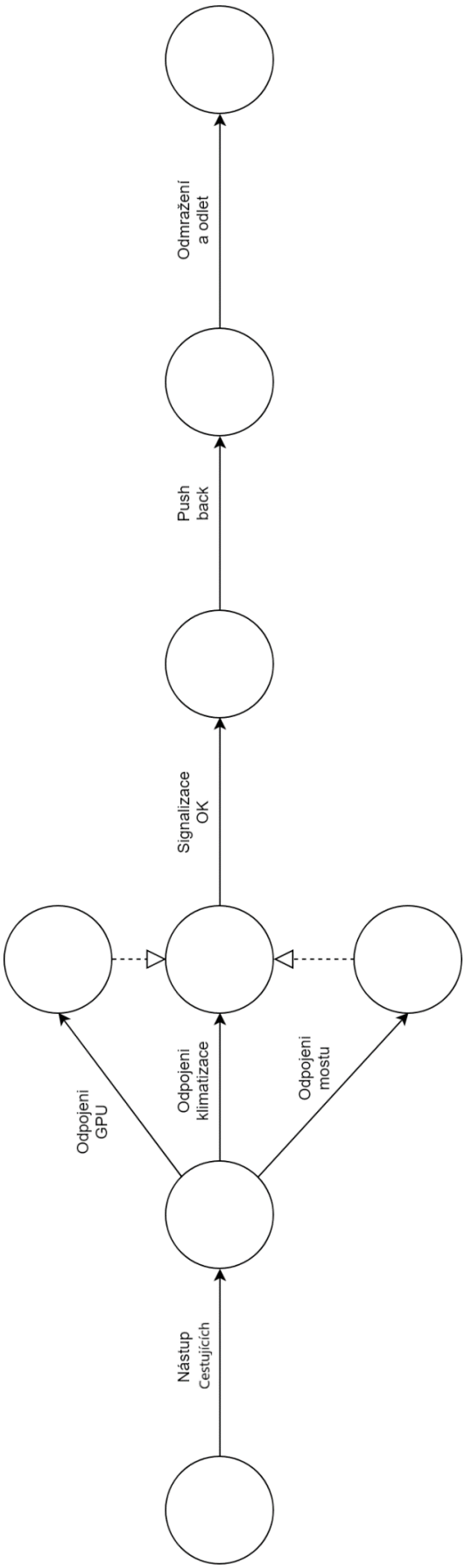
Číslo činnosti	Popis činnosti	Bezprostředně předcházející činnosti	Bezprostředně následující činnosti
1	Přistání	Žádná	3
2	Kontrola stojánky	Žádná	3
3	Navedení na stojánku	1, 2	4
4	Zaklínování	3	5, 6, 7, 8, 9, 10,
5	Přistavení mostu	4	11
6	Připojení GPU	4	11
7	Vyložení nákladového prostoru	4	12
8	Připojení externí klimatizace	4	17

9	Doplnění paliva	4	17
10	Servis toalet	4	13
11	Výstup cestujících	5, 6	14, 15
12	Naložení nákladového prostoru	7	16
13	Doplnění pitné vody	10	17
14	Úklid paluby	11	17
15	Doplnění cateringu	11	17
16	Předání load sheet	12	17
17	Předletová kontrola	8, 9, 13, 14, 15, 16	18
18	Nástup cestujících	17	19, 20, 21
19	Odpojení klimatizace	18	22
20	Odpojení GPU	18	22
21	Odpojení mostu	18	22
22	Signalizace OK	19, 20, 21	23
23	Push back	22	24
25	Odmrazení a odlet	23	Žádná

Po zakreslení těchto vazeb do síťového grafu a zavedení fiktivních činností pro propojení činností, na které jinak žádná jiná přímo nenavazuje, dostáváme finální podobu síťového grafu pozemního odbavení letounu - viz obrázek 29 a 30.



Obrázek 29- Síťový graf 1. část

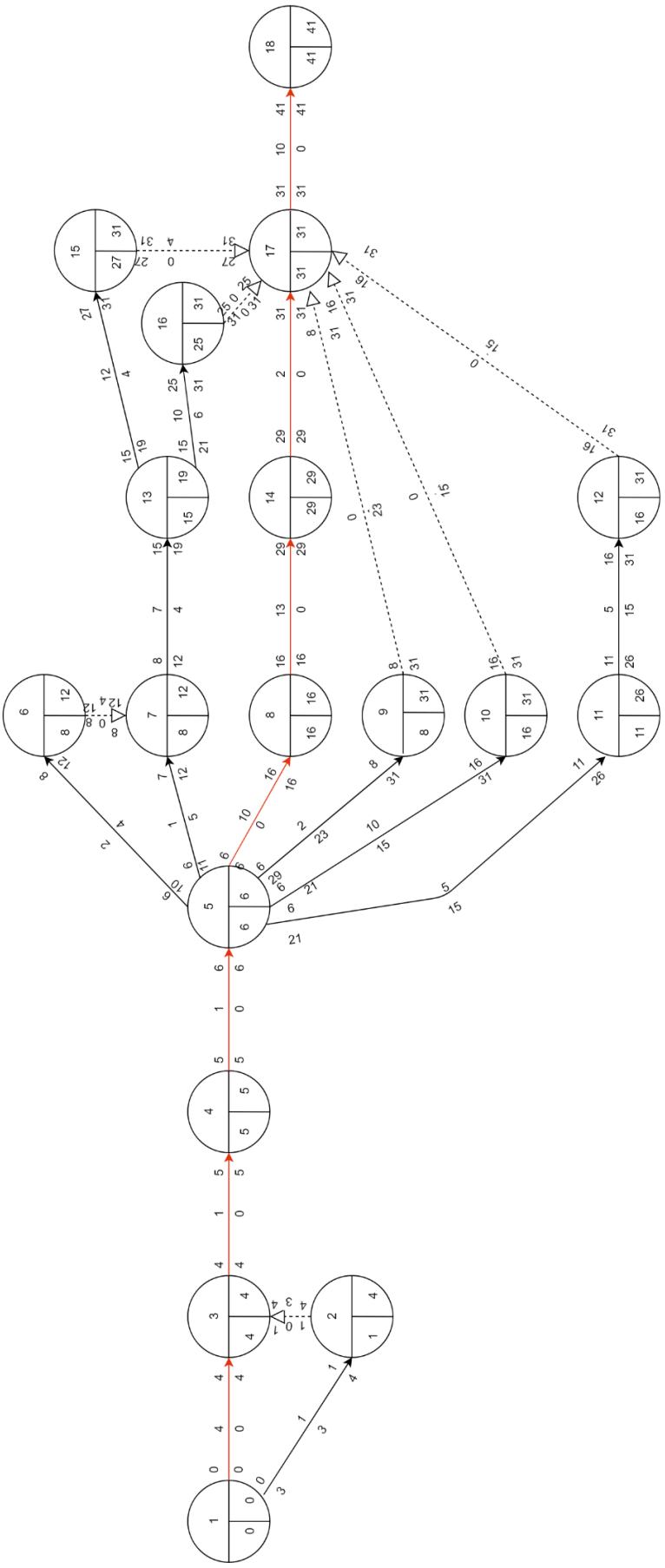


Obrázek 30- Síťový graf 2. část

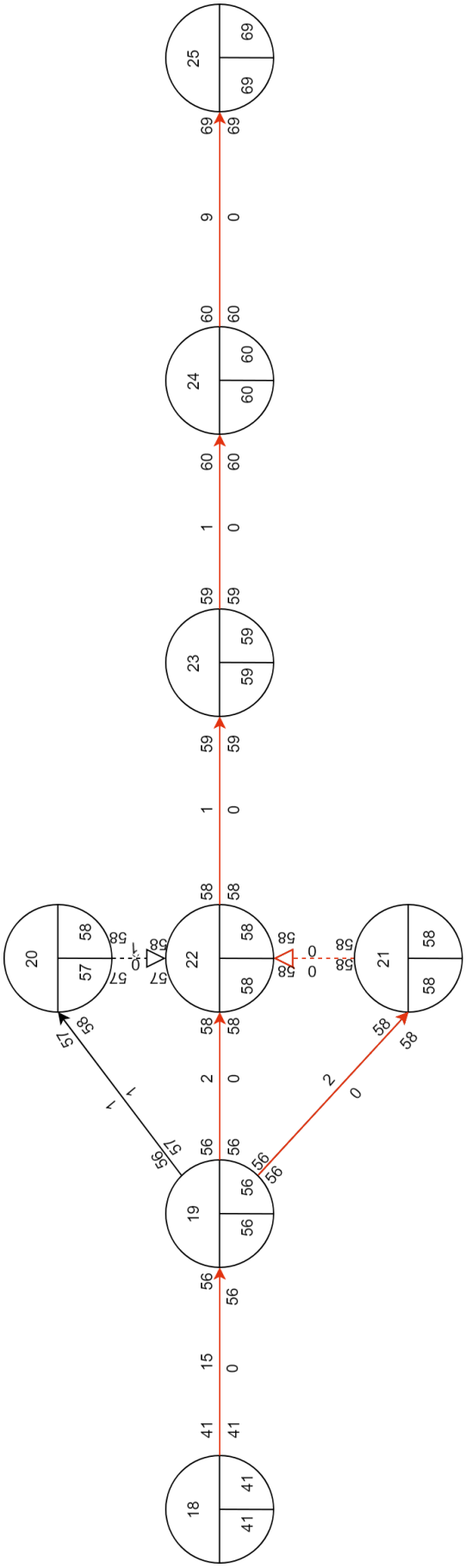
Délka každé činnosti je výrazně ovlivněna typem letounu, jeho obsazeností a požadavky provozovatele. Pro využití v síťové analýze jsou použity průměrné doby trvání, zaokrouhleny na celé minuty. Hodnoty jsem naměřil dne 22. 3. 2018 na letišti Václava Havla Praha. Měření probíhalo na letounech A320 a B737 vícero společností. Časy odpovídají plné obsazenosti.

- Přistání a příjezd k stojánce 4 minuty
- Kontrola stojánky 1 minuta
- Navedení na stojánku 1 minuta
- Založení klíny 1 minuta
- Přistavení mostu 2 minuty
- Připojení GPU 1 minuta
- Vyložení nákladového prostoru 10 minut
- Připojení externí klimatizace 2 minuty
- Doplnění paliva 10 minut
- Servis toalet 5 minut
- Výstup cestujících 7 minut
- Naložení nákladového prostoru 13 minut
- Doplnění pitné vody 5 minut
- Úklid paluby 12 minut
- Doplnění cateringu 10 minut
- Předání load sheet 2 minuty
- Provedení předletové kontroly 10 minut
- Nástup cestujících 15 minut
- Odpojení GPU 1 minuta
- Odpojení klimatizace 2 minuty
- Odpojení mostu 2 minuty
- Signalizace OK 1 minuta
- Push back 1 minuta
- Cesta na odmražení 2 minuty
- Odmražení 5 minut
- Odlet 2 minuty

Doby trvání přiřadíme k činnostem a vypočteme CPM. Zobrazena na obrázcích 31 a 32.



Obrázek 31- CPM 1. část



Obrázek 32- CPM 2. část

Tabulka 2 - vypočtená data v minutách

číslo uzlu	ZM_i [min]	KP_i [min]	$o_{(i,j)}$	CR_{ij}[min]
1	0	0	$1_{(1,2)}$	3
			$4_{(1,3)}$	0
2	1	4	$0_{(2,3)}$	0
3	4	4	$1_{(3,4)}$	0
4	5	5	$1_{(4,5)}$	0
5	6	6	$2_{(5,6)}$	4
			$1_{(5,7)}$	5
			$10_{(5,8)}$	0
			$2_{(5,9)}$	23
			$10_{(5,10)}$	15
			$5_{(5,11)}$	15
6	8	12	$0_{(6,7)}$	0
7	8	12	$7_{(7,13)}$	4
8	16	16	$13_{(8,14)}$	0
9	8	31	$0_{(9,17)}$	0
10	16	31	$0_{(10,17)}$	0
11	11	26	$5_{(11,12)}$	15
12	16	31	$0_{(12,17)}$	0
13	15	19	$12_{(13,15)}$	4
			$10_{(13,16)}$	6
14	29	29	$2_{(14,17)}$	0
15	27	31	$0_{(15,17)}$	0
16	25	31	$0_{(16,17)}$	0
17	31	31	$10_{(17,18)}$	0
18	41	41	$15_{(18,19)}$	0
19	56	56	$1_{(19,20)}$	1
			$2_{(19,22)}$	0
			$2_{(19,21)}$	0
20	57	58	$0_{(20,22)}$	0
21	58	58	$0_{(21,22)}$	0
22	58	58	$1_{(22,23)}$	0
23	59	59	$1_{(23,24)}$	0
24	60	60	$9_{(24,25)}$	0
25	69	69	-	-

Z výpočtů vyplývá, že existují dvě kritické cesty, první prochází těmito uzly, v tomto pořadí: 1, 2, 4, 5, 8, 14, 17, 18, 19, 22, 23, 24 a 25. Druhá kritická cesta prochází uzly: 1, 2, 4, 5, 8, 14, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24 a 25. Tedy přidává uzel 21. Celková doba průběhu odbavení je 69 minut.

Těchto třináct činností je kritických, a jejich zpoždění znamená i zpoždění odletu.

1. Přistání a dojezd k stojánce (1,2)
2. Navedení na stojánku (3,4)
3. Podložení klíny (4,5)
4. Vyložení nákladového prostoru (5,8)
5. Naložení nákladového prostoru (8,14)
6. Předání load sheet (14,17)
7. Provedení předletové kontroly (17,18)
8. Nástup pasažérů (18,19)
9. Odpojení mostu (19,22)
10. Odpojení klimatizace (19,21)
11. Signalizace OK (22,23)
12. Push back (23,24)
13. Odmražení a odlet (24,25)

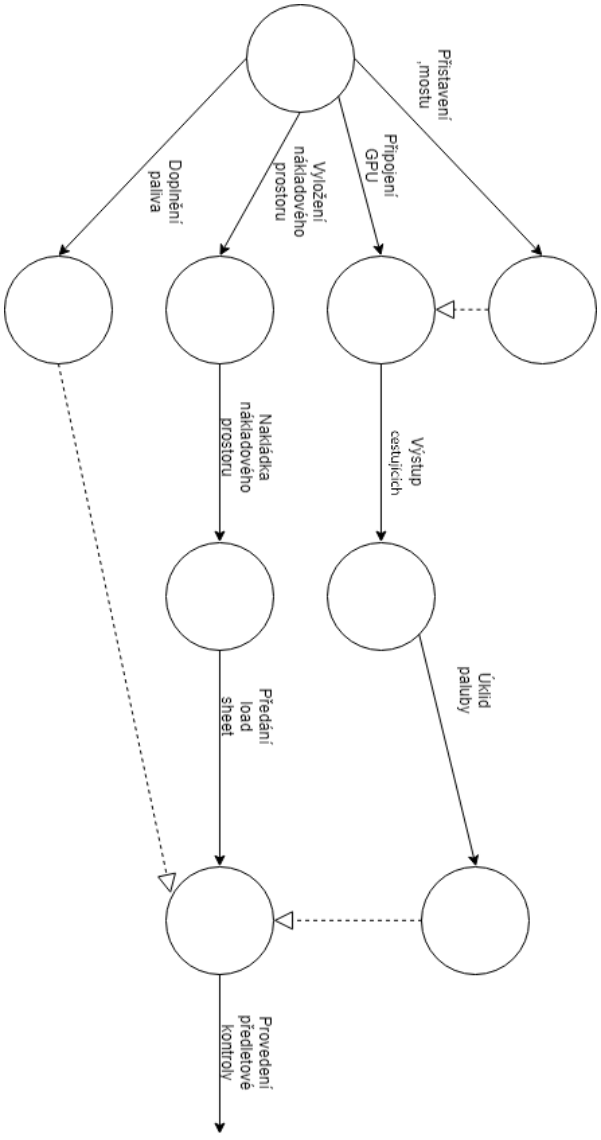
Při vykonávání činností, které nejsou součástí kritické cesty, máme na jejich vykonání časovou rezervu. Ty vidíme v tabulce 3.

Tabulka 3 - Rezervy činností

Činnost	Rezerva činnosti [min]
Kontrola stojánky	3
Přistavení mostu	4
Připojení GPU	5
Připojení klimatizace	23
Čerpání paliva	15
Servis toalet	15
Doplnění pitné vody	15
Výstup cestujících	4
Úklid paluby	4
Doplnění cateringu	6
Odpojení GPU	1

5.2 Analýza nízkonákladového dopravce

Vypočítaný model odbavení letounu je platný v případě, že jsou letounu poskytovány všechny v něm uvažované služby. V případě, že dopravce nemá o každou z těchto služeb zájem, celá situace se poměrně zjednodušuje. Zvláště nízkonákladové společnosti, tzv. „Low-Costy“ nemají v rámci snižování nákladů zájem o většinu služeb. Model jejich procesu odbavení se poté liší v části, která je vyobrazena na následujícím obrázku. Další postup je již totožný s předešlou situací, pouze nedojde k odpojení externí klimatizace, jelikož nebyla ani připojena. Změny vidíme na obrázku 33.



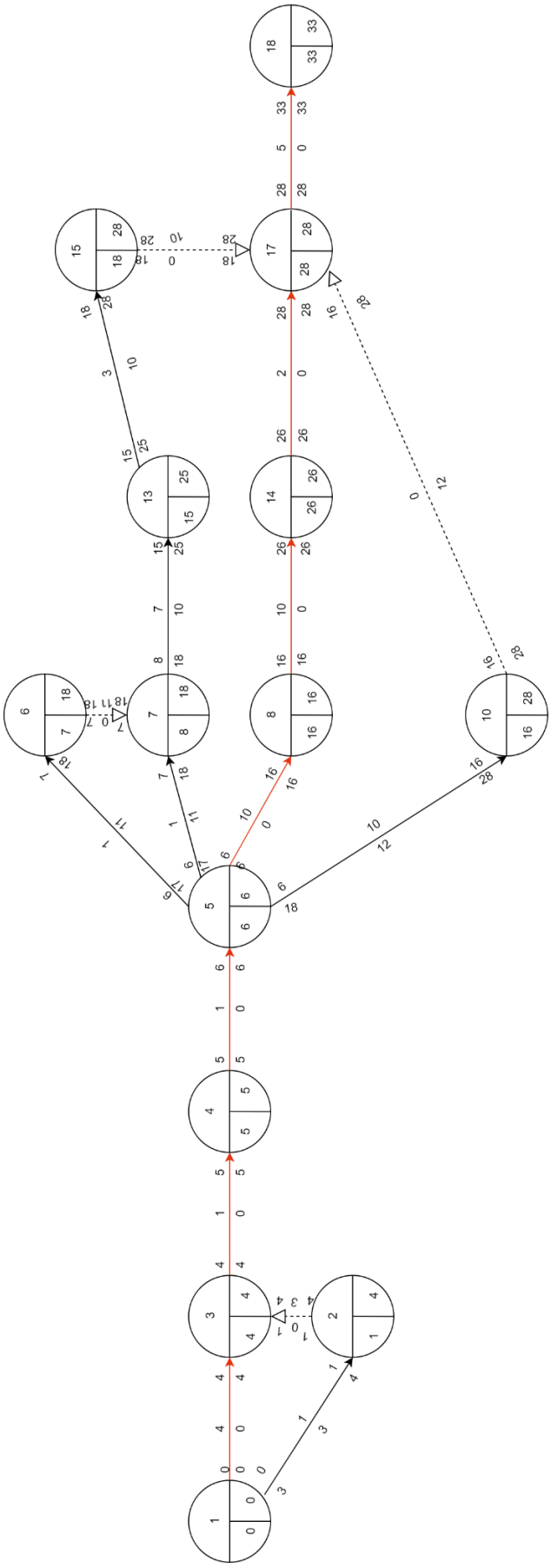
Obrázek 33- Změny v síťovém grafu pro "Low-Cost"

Díky politice nízkonákladových společností je také dosahováno nižších časů u některých činností. Použití schodů vpředu i vzadu urychluje výstup a nástup cestujících. Omezením počtu zavazadel lze také urychlit vyložení a naložení. Úklid paluby provádějí palubní průvodčí sami a jen velmi zběžně.

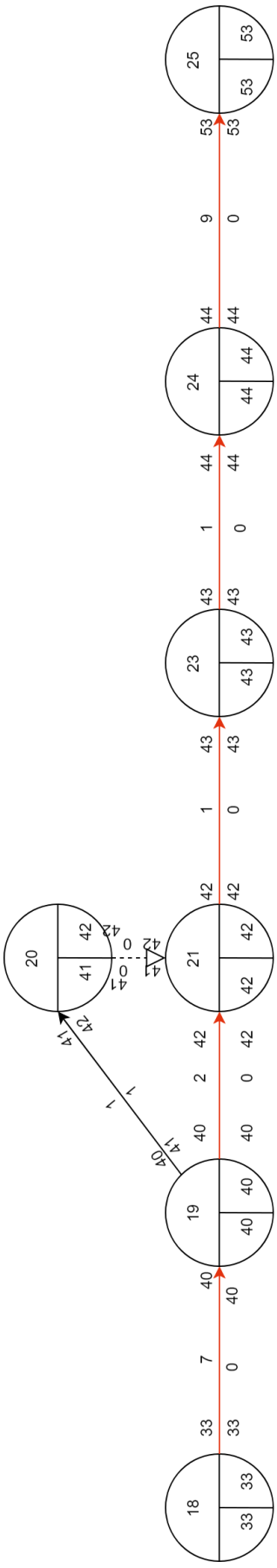
Následující doby trvání jsou tedy změněny:

- Přistavení mostu 1 minuta
- Vyložení nákladového prostoru 10 minut
- Výstup lidí 7 minut
- Naložení nákladového prostoru 10 minut
- Úklid paluby 3 minuty
- Provedení předletové kontroly 5 minut
- Nástup lidí 7 minut
- Odpojení mostu 1 minuta

Po implementaci změn do síťového grafu získáme jeho verzi vhodnou pro odbavování nízkonákladových letů. Vypočtený síťový graf vidíme na obrázcích 34 a 35.



Obrázek 34- CPM pro "Low-cost" 1. část



Obrázek 35- CPM pro "Low-Cost" 2. část

Z výpočtů vyplývá, že kritická cesta prochází těmito uzly, v tomto pořadí: 1, 2, 4, 5, 8, 14, 17, 18, 19, 21, 23, 24, 25, 26 a 27. Celková doba průběhu odbavení je 53 minut.

Tabulka 4 - Vypočtené hodnoty pro "low-cost"

číslo uzlu	ZM_i [min]	KP_i [min]	$o_{(i,j)}$	CR_{ij}[min]
1	0	0	$1_{(1,2)}$	3
			$4_{(1,3)}$	0
2	1	4	$0_{(2,3)}$	0
3	4	4	$1_{(3,4)}$	0
4	5	5	$1_{(4,5)}$	0
5	6	6	1(5,6)	11
			$1_{(5,7)}$	11
			$10_{(5,8)}$	0
			-	-
			$10_{(5,10)}$	12
			-	-
6	7	18	$0_{(6,7)}$	0
7	8	18	7(7,13)	10
8	16	16	13(8,14)	0
9	-	-	-	-
10	16	28	0(10,17)	0
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	15	25	3(13,15)	10
			-	-
14	26	26	2(14,17)	0
15	18	28	0(15,17)	0
16	-	-	-	-
17	28	28	5(17,18)	0
18	33	33	7(18,19)	0
19	40	40	1(19,20)	1
			-	-
			2(19,21)	0
20	41	42	0(20,22)	0
21	42	42	0(21,22)	0
22	-	-	-	-
23	43	43	1(23,24)	0
24	44	44	9(24,25)	0
25	53	53	-	-

Těchto dvanáct činností je kritických a jejich zpoždění znamená i zpoždění odletu.

1. Přistání a dojezd k stojánce (1,2)
2. Navedení na stojánku (3,4)
3. Podložení klíny (4,5)
4. Vyložení nákladového prostoru (5,8)
5. Naložení nákladového prostoru (8,14)
6. Předání load sheet (14,17)
7. Provedení předletové kontroly (17,18)
8. Nástup pasažérů (18,19)
9. Odpojení mostu (19,21)
10. Signalizace OK (21,23)
11. Push back (23,24)
12. Odmražení a odlet (24,25)

Časové rezervy pro jednotlivé činnosti, vyšly následovně.

Tabulka 5 - Rezervy činností pro "low-cost"

Činost	Rezerva činnosti [min]
Kontrola stojánky	3
Přistavení mostu	11
Připojení GPU	11
Čerpání paliva	12
Výstup cestujících	11
Úklid paluby	11
Odpojení GPU	1

6 Závěr

Proces pozemního odbavení je logisticky náročná práce, ke které je zapotřebí velkého množství vybavení a koordinace. Čas, uváděný jako „Turnaround time“, je čas od zastavení letounu na stojánce až po zahájení push back. Během tohoto času probíhají činnosti, jenž může pozemní personál ovlivnit a zde způsobené zdržení se následně vykazuje jako zpoždění. Požadavky každého dopravce jsou rozdílné a tak je zapotřebí individuálního přístupu ke každému z nich. Základním rozdělením přístupu k dopravcům pak mohou být dopravci klasičtí a nízkonákladoví.

Rozdílní jsou v objednaných službách. Zatímco klasický dopravce má nezpochybnitelně větší zájem na pohodlí cestujících a snaží se jim poskytnut služby, které zpříjemňují dobu pobytu na palubě letounu, dopravce nízkonákladový se naopak snaží o co nejnižší cenu letenek. To jde ovšem na úkor pohodlí a služeb pro cestující. Do procesu odbavení se tyto rozdílné filosofie promítají jako objednané, či právě neobjednané, služby. Metodou kritické cesty bylo analyzováno odbavení každého z nich. Analyzovány byly ideální stavy plně obsazeného letounu.

V případě dopravce klasického je minimální doba, za kterou je letoun odbaven a opustí letiště, 69 minut. Ve dnech, kdy není třeba provádět odmrazování, je doba 60 minut. V závislosti na obsazenosti se tento čas pohybuje od 50 do 60 minut. Z hlediska handlingové společnosti jsou nejrizikovější činnosti ty, které leží na kritické cestě a existuje důvodná obava, že zaviněním handlingové společnosti dojde k jejich opoždění. Jsou to především operace v nákladovém prostoru a nástup cestujících do letounu. Průměrná rezerva činností, které neleží na kritické cestě, je 8 minut a 36 sekund. Největší rezervu zde má připojení externí klimatizace, tedy služba, která často ani není vyžadována. Patnáctiminutová rezerva u čerpání paliva je velmi proměnlivá a závisí na tankovaném množství. Rychlostí čerpání 500 litrů za minutu by spotřebování této rezervy dovolilo načerpat až 12 500 litrů. Je-li zapotřebí ještě více paliva, dojde k prodloužení doby odbavování.

Nízkonákladový dopravce má dobu odbavení jenom 53 minut. To je o 16 minut méně než dopravce klasický. Není-li třeba jet na odmrazování, zkracuje se doba odbavení na 44 minut. Běžně se udávané turnaround časy pohybují od 25 do 40 min. Posádka si často tvoří load sheet sama, což vede ke zkrácení mnou vypočtené doby. Překvapením je, že kritická

cesta prochází stejnými činnostmi u obou typů dopravců. Opět tedy jako nejrizikovější činnosti vycházejí vyložení a naložení nákladového prostoru a nástup cestujících. Občas také dojde ke zpoždění z důvodu nadměrného množství příručních zavazadel, která se nevejdou na palubu a musí být uskladněna do zavazadlového prostoru. Průměrná rezerva činností je 8 minut a 30 sekund. Největší rezervu zde má čerpání paliva, ta činí 12 minut. Pouze o minutu méně má však rezerva pro výstup cestujících a úklid paluby.

Je potřeba si uvědomit, že využitím rezervy u jedné činnosti, ji spotřebují i pro všechny činnosti, které na ni navazují. Zejména větev uzlů 5, 7, 13 a 15 u nízkonákladového dopravce sdílí stejnou jedenáctiminutovou rezervu. Zde je zásadní rozdíl mezi dvěma typy dopravců. Ačkoliv průměrná rezerva na činnost je u obou srovnatelná, nízkonákladový dopravce má činností méně a rezervy pro ně jsou velmi často sdílené mezi mnoho z nich. Oproti tomu klasický dopravce má více činností s různorodými rezervami, které nejsou tak často na sobě závislé. Ve výsledku je tedy proces odbavení nízkonákladového dopravce náchylnější na chyby. Jakákoliv zdržení se přenášejí i do ostatních činností a snadněji tak spotřebují celkovou rezervu odbavení.

7 Zdroje

Knižní zdroje

1. **J. Pruša a autorský kolektiv.** *Svět letecké dopravy, II. rozšířené vydání.* Praha : Galileo, 2016. ISBN: 9788026083092

2. **Bína L., Bínová H., Ploch J., Žihla Z.:** Provozování letecké dopravy a logistika. Brno: CERM, 2014. ISBN 978-80-7402-855-7

3. **Walter J., Vejmola S., Fiala, P.:**Aplikace metod síťové analýzy v řízení a plánování. Praha: SNTL 1989. ISBN 80-03-00101-3.

Online zdroje

4. **agency, United states enviromental protecion.** National Service Center for Environmental Publications . *nepis.epa.gov.* [Online] EPA, 1999. https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1001U8S.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1995%20Thru%201999&Docs=&Query=%28Airport%20ground%20support%20equiment%29%20OR%20FNAME%3D%22P1001U8S.txt%22%20AND%20FNAME%3D%22P1001U8S.txt%22&Time=&EndTime=&SearchMet.

5. **Wessel, Rhea.** Munich Airport Says RFID Improves Dolly Management. *rfidjournal.* [Online] 2009. http://www.rfidjournal.com/articles/view?5316.

6. **Baskas, Harriet.** A short history of the much-maligned jet bridge. *USAtoday.* [Online] 2016. https://www.usatoday.com/story/travel/flights/2016/02/24/jet-bridge-jetway/80806044/.

7. **France-Presse, Agence.** Chinese passenger throws coins into plane engine for luck. *telegraph.* [Online] 27. 6 2017. [Citace: 22. 3 2018.] https://www.telegraph.co.uk/news/2017/06/27/chinese-passenger-throws-coins-plane-engine-luck/.

8. **Skybrary.** Ground Power Unit. *Skybrary.* [Online] 2017. https://www.skybrary.aero/index.php/Ground_Power_Unit_(GPU).

9. **C&W Meter Service, Inc.** Aviation refueling. *cwmeter.* [Online] 2018. http://cwmeter.com/aviation-refueling.

10. **IATA.** ground-handling. *iata.org.* [Online] 2013. https://web.archive.org/web/20131005235112/https://www.iata.org/whatwedo/ops-infra/Pages/ground-handling.aspx.
11. **Svoboda, Pavel.** Systém řízení letového provozu v ČR. *Aeroweb.* [Online] 2007. https://www.aeroweb.cz/clanky/906-.

Zdroje obrázků

12. **Rabinowitz, Jason.** The fastest 10 minutes: Cleaning an aircraft between flights. *nycaviation.* [Online] 2013. http://www.nycaviation.com/2013/07/the-fastest-10-minutes-cleaning-an-aircraft-between-flights/29743.
13. **Odias, Mike.** slideshare. *Airport Ground Handling.* [Online] 2015. https://image.slidesharecdn.com/groundhandlingofficialppt-150805155052-lva1-app6892/95/airport-ground-handling-introduction-34-638.jpg?cb=1438789985.
14. **Kasper, Fabi.** RYANAIR FLIGHT FROM BERLIN (SXF) TO BUCHAREST (OTP) AND BACK. */fabi.berlin.* [Online] 2018. http://fabi.berlin/tag/ryanair/.
15. **shop, sporty's pilot.** Personalized Aluminum Wheel Chocks - Safety Yellow (pair). *sportys.* [Online] Sportsman's Market, Inc, 2018. http://www.sportys.com/pilotshop/personalized-aluminum-wheel-chocks-safety-yellow-pair.html.
16. **lastbeer.** What is this yellow pole attached to the back of nearly every Alaska Airlines airplane docked at SEA? Most of them are Boeing 487-900ER. *reddit.* [Online] 2017. https://www.reddit.com/r/whatisthisthing/comments/4xpbpj/what_is_this_yellow_pole_attached_to_the_back_of/.
17. **Jamesshliu.** Dolly for ULD and dollies for loose luggages. *Wikipedia.* [Online] 2015. https://en.wikipedia.org/wiki/Ground_support_equipment.
18. **TheWantedPig.** Airport jet bridges. *planetminecraft.* [Online] 2014. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6f/AdelaideSkybridgeS7390.jpg/1280px-AdelaideSkybridgeS7390.jpg.
19. **Celebinas servicies India LTD.** Pushback Tractor. *celebinas.* [Online] 2010. http://celebinas.in/website/Portals/0/celebiGallery/Infrastructure/Pushback%20Tractor/DSC_0312.jpg.
20. **Copy book.** Airport Conveyor Belt Loader. *copybook.* [Online] https://www.copybook.com/img/pgib3063s5751/airport-conveyor-belt-loader.jpg?v=1509463589.

21. **LouDon.** Can the Ryanair stairs open in flight? *community.infinite-flight.com.* [Online] 1. 12 2017. [Citace: 22. 3 2018.] https://community.infinite-flight.com/t/can-the-ryanair-stairs-open-in-flight/97622.
22. **DaBler.** Orientovaný_graf. *wikipedia.* [Online] 10. 12 2006. [Citace: 22. 03 2018.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Orientovan%C3%BD_graf#/media/File:Symetrizace_grafu.svg.
23. **bungas, Udin.** Warm Towels On Planes. *towels.vitoriasz.com.* [Online] 2017. http://towels.vitoriasz.com/warm-towels-on-planes/.