

**Univerzita Pardubice**

**Dopravní fakulta Jana Pernera**

**VZDÁLENÉ ŘÍZENÍ DOPRAVY  
V KRIZOVÝCH SITUACÍCH**

Ing. Martin Šustr

Disertační práce

2022

**Doktorand**

Ing. Martin Šustr

**Studijní program**

Technika a technologie v dopravě a spojích

**Studijní obor**

Technologie a management v dopravě a telekomunikacích

**Školitel**

doc. Ing. Radovan Soušek, Ph.D.

**Školící pracoviště**

Katedra dopravního managementu, marketingu a logistiky

Prohlašuji:

Práci s názvem Vzdálené řízení dopravy v krizových situacích jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 21. 1. 2022

Martin Šustr

### ***Poděkování***

*Rád bych na tomto místě poděkoval svému školiteli doc. Ing. Radovanu Souškovi, Ph.D. za možnost nahlédnout do problematiky krizového řízení v dopravě, vedení a podporu při vytváření disertační práce. Stejně tak bych chtěl poděkovat panu Ing. Edvardovi Březinovi, CSc. za veškeré konzultace a pomoc s mou prací. Mé poděkování patří i Mgr. et Mgr. Michaele Noskové za jazykovou korekturu. Dále bych chtěl kolegům z Katedry technologie a řízení dopravy a kolegům z Katedry dopravního managementu, marketingu a logistiky, za podmínky a prostředí umožňující vypracování disertační práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za veškerou podporu v průběhu mého doktorského studia.*

*Martin Šustr*

## **Anotace**

V práci je řešena problematika krizových situací v železniční dopravě, a to v souvislosti s dálkovou obsluhou zabezpečovacího zařízení a řízením dopravy centrálními dispečerskými pracovišti. Je důležité, aby jejich systém v době krizových situací nesnižoval celkovou odolnost železniční dopravní infrastruktury a aby nedocházelo k omezování provozu. Současné krizové plány se věnují obnově poškozené dopravní infrastruktury pouze na úrovni obnovení a výstavby železničních tratí za použití technických úlev. Neanalyzují však blíže přerušení funkčnosti řízení drážního provozu na železniční síti. Tato práce se zabývá optimalizací řízení železničního provozu v případě narušení fungování centrálních dispečerských pracovišť. Navržená optimalizace spočívá v přenesení na nižší stupně řízení.

## **Klíčová slova**

Centrální dispečerské pracoviště, krizová situace, odolnost, vzdálené řízení, železniční doprava

## **Title**

Remote Control of Railway Transport during the Crisis Situations

## **Annotation**

Dissertation thesis deals with the crisis situation in the railway transport in relation with the Central Rail Operating Centres and in relation with a remote control of railways. Currently created Rail Operating Centre is an element of the Crisis infrastructure. It is important that, this system does not reduce the overall resilience of the railway infrastructure system, especially during times of crisis. The current crisis plans address the recovery of damaged transport infrastructure only for the reconstruction and building of railway lines using technical concessions. Current crisis plans not calculate with the interruption of the functionality of rail traffic control. This dissertation deals with the ensuring of Railway Traffic Management by Rail Operating central Control Centres due to the possibility of disrupting their operation by delegating to lower levels of control.

**Keywords**

Central Rail Operating Centre, Crisis situation, Resilience, Remote Control,  
Railway Transport

# OBSAH

Obsah .....	8
Seznam obrázků .....	11
Seznam symbolů a zkratk .....	12
1 Úvod.....	13
2 Současný stav v systému vzdáleného řízení dopravy .....	16
2.1 Stručné vymezení problematiky krizového řízení v železniční dopravě.....	16
2.1.1 Řízení rizik .....	16
2.1.2 Plány krizové připravenosti.....	17
2.2 Současný stav v řízení a zabezpečení jízd vlaků na železnici v ČR.....	19
2.3 Dálkové řízení dopravy a mimořádné situace .....	22
2.4 Současné řešení případného výpadku centrálního dispečerského pracoviště.....	23
2.4.1 Výpadek centrálního dispečerského pracoviště bez lokálně situovaných výpravčích.....	23
2.4.2 Výpadek centrálního dispečerského pracoviště a současné využívání lokálně situovaných výpravčích .....	24
2.4.3 Dílčí závěr .....	25
2.5 Současný stav řešené problematiky.....	26
2.5.1 Současný stav krizového plánování a řízení v železniční dopravě v ČR.....	26
2.5.2 Současný stav vědeckého poznání v ČR.....	28
2.5.3 Současný stav vědeckého poznání v zahraničí.....	29
2.5.4 Současný stav přístupu ke krizovému plánování v zahraničí.....	29
2.5.5 Mezioborové hodnocení přístupu k řízení dopravy .....	34
2.6 Shrnutí poznatků analýzy .....	35
3 Cíle disertační práce.....	36

3.1	Výklad pojmů používaných v disertační práci .....	36
4	Metody disertační práce .....	39
4.1	Používané vědecké metody .....	39
4.1.1	Analýza a syntéza.....	39
4.1.2	Dedukce.....	39
4.1.3	Indukce .....	39
4.1.4	Konkretizace a abstrakce.....	40
4.1.5	Analogie .....	40
4.1.6	Komparace .....	40
4.1.7	Explorace.....	40
4.1.8	Explanace .....	41
4.1.9	Literární rešerše.....	41
4.2	Datové podklady.....	41
4.2.1	Výstupy z provozu .....	42
4.2.2	Porovnání úseku s jinými úseky železniční sítě v ČR.....	49
4.2.3	Dílčí závěr .....	50
4.3	Využití fuzzy logiky .....	51
4.3.1	Fuzzy logika .....	51
4.3.2	Aplikace fuzzy logiky na řízení provozu .....	57
5	Vlastní řešení disertační práce .....	62
5.1	Návrh systému založeného na fuzzy logice.....	62
5.2	Určení počtu činností pro dispečery .....	65
5.3	Možnost převedení funkce dispečera CDP na jiné DOZ nebo RDP .....	68
5.3.1	Technické podmínky .....	68
5.3.2	Podmínky personálního obsazení.....	70



5.4	Finanční náklady spojené s návrhem autora.....	70
6	Ověření navrhovaného řešení .....	72
6.1	Ověření navrhovaného řešení na úseku řízeném z CDP Praha s lokálně situovanými výpravčími PPV .....	72
6.1.1	Výluka dopravní služby ve vybrané dopravně.....	75
6.1.2	Převedení činnosti dispečera na jiné místo .....	76
6.1.3	Dílčí závěr části.....	78
6.2	Ověření navrhovaného řešení na úseku řízeném z CDP Přerov bez lokálně situovaných výpravčích PPV .....	78
6.2.1	Porovnání úseku Praha, Bubeneč – Libčice nad Vltavou s úsekem Prosenice – Drahotuše .....	79
6.2.2	Přenesení povinností CDP bez lokálně situovaných výpravčích .....	80
6.3	Závěr kapitoly.....	81
7	Přínosy disertační práce a diskuze .....	82
8	Závěr .....	85
	Literatura .....	86
	Publikační činnost doktoranda související s tématem disertační práce .....	94
	Publikace ve světové databázi Web of Science.....	94
	Publikace ve světové databázi Scopus .....	95

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Řízení dopravy dle typu .....	20
Obrázek 2: Četnost mezer mezi jednotlivými úkony.....	43
Obrázek 3: Graf úkonů dle počtu činností v úkonu .....	47
Obrázek 4: Graf počtu úkonů rozdělený po hodinách .....	49
Obrázek 5: Zobrazení obecného případu fuzzy interferenčního systému.....	52
Obrázek 6: Fuzzy interferenční diagram .....	56
Obrázek 7: Návrh systému založený na fuzzy logice .....	63
Obrázek 8: Vliv počtu činností a zaměstnanců na provezení – graf.....	66
Obrázek 9: Četnost mezer mezi jednotlivými úkony, dle optimalizované varianty .....	67
Obrázek 10: Graf počtu úkonů v úseku Praha, Bubeneč – Libčice nad Vltavou po hodinách.	73
Obrázek 11: Stanice v úseku Praha, Bubeneč – Libčice nad Vltavou, jednotlivě, výběr dat...	74
Obrázek 12: Graf počtů úkonů v úseku Kralupy nad Vltavou, Předměstí – Zvoleněves .....	76
Obrázek 13: Počet úkonů daného dispečera před a po přenesení činností, výběr dat .....	77
Obrázek 14: Posuzované úseky řízené z CDP .....	80

## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

### Zkratky

AŽD	Automatizace železniční dopravy Praha, a. s.
BCMS	Business Continuity Management System
CDP	Centrální dispečerské pracoviště
CTC	Centralized Traffic Control
DOZ	Dálková obsluha zařízení
JOP	Jednotné obslužné pracoviště
KI	Kritická infrastruktura
PPV	Pracoviště pohotovostních výpravčích
OBŽI	Obnova železniční infrastruktury
RDP	Regionální dispečerské pracoviště
SOŽ	Stavební obnova železnic, a. s.
SŽDC	Správa železnic, s. o., <i>do roku 2020 pojmenována jako Správa železniční dopravní cesty, s. o.</i>
TDŘD	Trat'ové dálkové řízení dopravy

# 1 ÚVOD

Vzdálené řízení dopravy za krizových situací patří k velmi aktuálním tématům. Nicméně v době zadání této disertační práce se o výrazném vnějším či vnitřním ohrožení železniční dopravy v rámci severoatlantického prostoru (tj. na území Evropy a Severní Ameriky) prakticky nehovořilo. Bylo tomu tak zřejmě z toho důvodu, že pravděpodobnost takového ohrožení byla velmi nízká. Téma práce tak nemuselo jevit známky důležitosti. Avšak, jak hovoří Soušek (2010), vytvářet plány a přípravy pro krizové situace je nejdůležitější právě především v době, kdy neprobíhá žádné intenzivní působení negativních vlivů na společnost. A to zejména proto, aby na tyto situace byla zajištěna příprava. Takový proces není nijak snadnou a časově nenáročnou záležitostí. Důkazem toho by mohla být například nepřipravenost České republiky na řešení krizových situací jiného charakteru, například způsobených složitou situací kolem Covidu-19. Vystala zde otázka nesprávného předpokladu, že pro řešení nečekaného problému stačí operativní a rychlá tvorba příslušného systému.

Příprava na řešení krizových situací je však zásadním manažerským počinem, jenž bývá, jak uvádí mimo jiné i Soušek (2008), v mnoha případech úmyslně podceňován a ignorován. Nicméně takové podceňování může vést k vyšším finančním, lidským a společenským ztrátám, než by tomu bylo při existenci funkčních systémů krizového plánování a řízení. V době finalizace této disertační práce probíhala po celém světě pandemie Covidu-19. V situaci, ve které se ocitla naše společnost, se opětovně ukazuje nezbytnost přípravy na nečekané vlivy, a to i v oblastech, které nejsou za normálních okolností výrazně ohroženy (např. nepřátelskou činností). To vše platí jak pro řízení železniční dopravy, tak v konečném důsledku i pro libovolnou lidskou činnost..

V posledních letech začíná být provoz na železniční síti v České republice na páteřních tratích řízen z centrálních dispečerských pracovišť (dále jen CDP). Práce je tedy aplikována na podmínky České republiky, avšak i přesto je možné její závěry uplatnit i na jiných místech, kde je železniční provoz řízen dálkově. CDP se nepochybně stávají novými prvky kritické infrastruktury státu, a to zejména proto, že jejich vyřazením je výrazně omezen provoz na železniční síti. Navíc v CDP je soustředěno mnoho odborně způsobilých zaměstnanců, které je problematické nahradit. CDP jsou pracoviště, na nichž je soustředěno velké množství nejnovějšího špičkového technického a technologického vybavení, určeného nejen k řízení jízdy

vlaků, ale i k dispečerské podpoře a plánování železniční dopravy. Tato zařízení jsou pro moderní řízení provozu železniční dopravy nezbytná. Z uvedeného vyplývá, že i zajištění funkce CDP by mělo být důsledně řešeno v rámci přípravy na zvládnutí krizových situací. Zajištění základních funkcí železniční dopravy je obecným předpokladem úspěšného zvládnutí krizových situací většího rozsahu v ČR.

Tato práce poukazuje na slabiny nového prvku kritické infrastruktury státu a navrhuje možnosti jejich eliminace při současném zachování funkce řízení železničního provozu na kvalitativní a kvantitativní úrovni, která byla nastavena zavedením CDP a je očekávána nejen národním hospodářstvím.

Systém řízení železniční dopravy se v posledních několika letech mění velmi dynamicky. Vznikají CDP, odkud je železniční doprava řízena velmi efektivně. Avšak pohled na provoz CDP, kde je z hlediska potřeb dispečerské práce koncentrováno velké množství provozních pracovníků, je důležitý také z důvodu zvyšování kritičnosti daného prvku kritické infrastruktury. Jak již bylo uvedeno, v době zadání disertační práce nic nenasvědčovalo tomu, že by mohl nastat stav, kdy by nebylo možné řídit železniční provoz z CDP. Avšak v době průběhu pandemie se stalo evidentním, že centralizace řízení je pro šíření virového onemocnění ideálním prostředkem. Při centralizaci řízení se totiž setkává mnoho zaměstnanců na jednom místě, čímž se mimo jiné také zvyšuje kritičnost daného prvku.

Potvrdila se tak další možná příčina mimořádné události, která může vyústit v možné přerušení provozu z důvodu neschopnosti kvalitně řídit železniční provoz. Samozřejmě v moderní společnosti může představovat přerušení provozu na železniční síti další nedozírné společenské ztráty, například omezení dodávky potravin, surovin, paliv, případně i dalších nezbytných věcí, které moderní společnost využívá (za kterou lze považovat i Českou republiku).

Cílem práce je vytvořit systémové řešení nahrazení řízení dopravy z CDP tak, aby byl zajištěn provoz v potřebném rozsahu na železniční síti, a to bez snížení kvality provázení vlaků a bez snížení kapacity dopravní cesty. Důležité je, aby navržené postupy vedly ke zvýšení odolnosti na úrovni řízení železniční dopravy, a to při současném stavu automatizace řízení

provozu a využití stávajících lidských sil. Pro splnění tohoto cíle bude využita fuzzy logika, která umožní stanovit vytižení dispečerů řídících provoz a rozvrhnout jejich zatížení.

## 2 SOUČASNÝ STAV V SYSTÉMU VZDÁLENÉHO ŘÍZENÍ DOPRAVY

Krizové řízení v dopravě je důležitý prvek celého dopravního systému. V mnoha případech není příprava na krizové situace zjevná, ale i přesto je velmi důležitá.

### 2.1 Stručné vymezení problematiky krizového řízení v železniční dopravě

Jak již je zmíněno v úvodu disertační práce a jak uvádí Soušek (2011), je nezbytné přistupovat k železniční dopravní infrastruktuře, zejména pak k CDP, jako k prvku kritické infrastruktury státu. Dle Souška (2008) je nezbytné vytvářet přípravu na mimořádné a krizové situace. Tato příprava je však velmi často podceňována až do chvíle, než nastane potřeba daný problém řešit. Příprava na krizové situace by však měla být nedílnou součástí vytváření každého nového prvku, který se může stát potenciální součástí kritické infrastruktury, avšak jak upozorňuje Dvořák (2010), v mnoha případech se tak neděje.

#### 2.1.1 Řízení rizik

Řízení rizik je nezbytné v mnoha různých odvětvích, železniční dopravu nevyjímaje. Řízení rizik by mělo být neoddelitelnou součástí managementu každého podniku, tedy i železničního. Řízení rizik je nástroj zajišťující identifikaci rizik, určení příčin a dopadů nejistoty a rizika na organizaci.

Pro každou oblast je však řízení rizik specifické, a to proto, že v různých oborech jsou rizika odlišná, a tím pádem je rozdílná také jejich pravděpodobnost i škodlivost. O řízení rizik v dopravě hovoří Soušek (2008), Dvořák (2010), Šebesta (2003), Viskup (2015), Fujiyama (2015) a Chow (2014). Řízení rizik v současné podobě, které zahrnuje jejich rozbor a snahu adekvátní reakce, je sledováno přibližně od 80. let 20. století. V rámci tohoto přístupu se setkáváme s dělením rizika na dvě větve. První větví je **určení rizika**, kam patří identifikace, analýza a stanovení priorit v jeho rámci. Jako druhá větev je uváděna **práce s rizikem**, která obsahuje plánování, přípravu na rizikové situace (řešení, resp. zmírňování rizika) a monitoring rizika a rizikového faktoru.

Co se týče definice slova riziko, je bezprostředně spojeno se stavem nejistoty. Skládá se ze dvou složek, a to z pravděpodobnosti výskytu negativního jevu a konsekvence, neboli velikosti jeho dopadů (následků). Vystavení riziku však vzniká vždy, když neexistuje jistota v jakémkoliv bodě realizace výrobku či služby, lze tedy prohlásit, že vždy. Omezení nejistoty, a tedy i rizika, závisí na množství a kvalitě informace, která přichází z možných výsledků a předpovědi jejich pravděpodobnosti. Definici rizika lze tedy matematicky vyjádřit:

$$R = Prob_{NJ} \cdot L_{NJ} \quad (1)$$

Kde  $Prob_{NJ}$  je pravděpodobnost nepříznivého jevu.  $L_{NJ}$  představuje ztrátu, která je způsobena nepříznivým jevem. Jak uvádí Soušek (2004) je nezbytné hodnotit i efektivitu snížení rizika, kterou je možné vyjádřit vzorcem:

$$ESR = \frac{R_{původní} - R_{snížené}}{\Sigma \text{nákladů na snížení rizika}} \quad (2)$$

Je tedy efektivní řešit rizika, kde náklady na jeho snížení jsou na takové hodnotě, která nepřevyšuje případnou hodnotu následků. Tato hodnota následků je právě ohodnocení ztráty na produkci, zdraví či životech osob nebo i jen jejich životní úrovni. Stejně tak je nezbytné neustále sledovat nová rizika, protože neustále dochází k jejich vývoji.

Každé riziko, jež vzniká, je potřeba identifikovat. Identifikace rizik je proces, v jehož rámci dochází k průběžnému vyhledávání a sledování rizik a nejistoty. Aktivita vyhledávající a sledující rizika rozvíjejí informace o zdrojích či velikosti rizik a hodnotí možné vystavení se ztrátám. Identifikace rizik by měla proběhnout, pokud možno, ještě před vznikem daného negativního působení sil či jevů. V případě potřeby je nutné se na dané riziko připravit. Z toho důvodu vznikají tzv. plány krizové připravenosti.

### 2.1.2 Plány krizové připravenosti

Pro jednotlivé plány krizové připravenosti je potřeba zohlednit rozsah mimořádné situace v železniční dopravě. V mnoha případech je mimořádná situace nesprávně nazývána krizovou situací. **Mimořádnou událostí** je myšleno intenzivní škodlivé působení sil a jevů vyvolaných činností člověka nebo přírodními vlivy ohrožujícími zdraví, život, majetek nebo



životní prostředí. Zpravidla takové působení sil vyžaduje provedení záchranných a likvidačních prací. S mimořádnou událostí se pojí pojem **mimořádná situace**, ta vzniká v souvislosti s hrozcí nebo již nastalou mimořádnou událostí. Mimořádná událost se mění v **krizovou situaci** při vyhlášení příslušného **krizového stavu**. Tím se v podmínkách ČR rozumí stav nebezpečí, nouzový stav, stav ohrožení státu nebo válečný stav. Veškeré pojmy používané v disertační práci vycházejí z tzv. „krizových zákonů“, kterými jsou Zákon č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému, Zákon č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a změně některých zákonů, Zákon č. 241/2000 Sb., o hospodářských opatřeních pro krizové stavy a o změně některých souvisejících zákonů. Ostatní použité pojmy respektují obecné zásady krizového řízení.

Na CDP samozřejmě mohou působit i jiné intenzivní a škodlivé síly a jevy, než je případná nemocnost dispečerů řídicích provozů, ať už v podobě plného vyřazení CDP z činnosti, či vyřazení z činnosti jen jeho částí. Jako případ plného vyřazení CDP z činnosti lze uvést např. požár v budově CDP, kdy všichni zaměstnanci musí být evakuováni. Vyřazení z činnosti jen jednotlivých částí může být např. porucha přenosu dat z jednotlivých řídicích sálů. Jak uvádí Soušek (2010), je v gesci manažera infrastruktury vytvářet plány krizové připravenosti.

Plány krizové připravenosti jsou dokumenty, které hodnotí narušení integrity řízení drážní dopravy z CDP v několika rovinách, ať už ze strany technologické či fyzické. Technologickým narušením řízení drážního provozu je možné rozumět výpadek zabezpečovacího zařízení či přenosu dat. V tomto případě se tedy může jednat jak o plné vyřazení činnosti CDP, tak i jen o částečné vyřazení z činnosti. Fyzickým narušením je možné chápat např. požár v budově CDP, přerušenu dodávku energií, případně, jak již bylo uvedeno, nakažlivou chorobu postihující řídicí zaměstnance, kteří díky této skutečnosti nemohou vykonávat svou běžnou činnost. Příklad požáru je zmíněn již v předchozím odstavci, šíření nakažlivé choroby může představovat částečné vyřazení z činnosti CDP. A z toho důvodu, že v případě podmínek ČR aktuálně neexistuje možnost přenesení řízení provozu v definované oblasti na zaměstnance řízení jiné oblasti, je nutné vždy volit rozdílné řešení, než je zastupování aktuálně sloužících zaměstnanců.

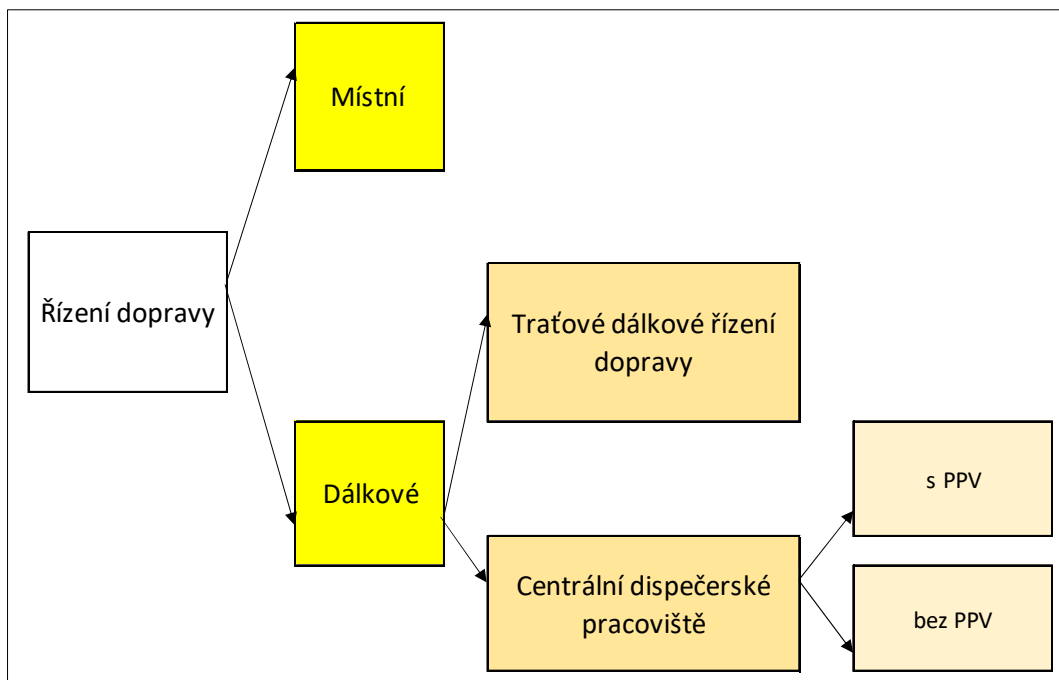
Současné zabezpečení CDP samozřejmě odpovídá nejnovějším požadavkům, zákonům, předpisům provozovatele dráhy, stejně jako nařízením a normám na bezpečnost, ať už v protipožární, hygienické či elektrotechnické rovině.

## **2.2 Současný stav v řízení a zabezpečení jízd vlaků na železnici v ČR**

Zabezpečovací zařízení na železnici se neustále vyvíjí. S novými technologiemi přichází i nové možnosti v řízení železniční dopravy. Nejnovějším trendem v ČR i v mnoha dalších zemích je dálkové řízení dopravy z CDP. Z hlediska řízení vlakové dopravy lze rozeznat především dva typy řízení. Pro přehlednost způsoby řízení dopravy ukazuje Obrázek 1.

Prvním typem řízení je tzv. místní neboli běžné řízení vlakové dopravy v obvodu stanice a přilehlých traťových úsecích. Výpravčí je tedy fyzicky přítomný v dané stanici, ve které řídí provoz a má přehled o jízdě vlaků v přilehlých traťových úsecích. Jízdu v přilehlých traťových úsecích sjednává s dalšími výpravčími (ať už se jedná o výpravčího ve stanici, tedy stanici řízenou místně, nebo o stanici řízenou dálkově, kterou daný výpravčí řídí z dispečerského pracoviště).

Druhým způsobem řízení vlakové dopravy je dálkové řízení, zpravidla označované jako dispečerské řízení vlakové dopravy, které se vyznačuje řízením více traťových úseků a stanic z jednoho dispečerského pracoviště.



Obrázek 1: Řízení dopravy dle typu

zdroj: Autor

Dálkové řízení dopravy může být opět dvojího typu. První typ je pro potřeby disertační práce označován jako traťové dálkové řízení dopravy (dále TDŘD), při němž výpravčí řídí provoz v několika dopravních, které jsou zpravidla na jedné trati a které spolu zpravidla navzájem sousedí. V České republice je část takto řízených tratí pozůstatkem implementace dálkového řízení dopravy před aplikací filosofie řízení z CDP. Jak uvádí Ponižil (2015), tak po započetí výstavby CDP byla část takto řízených tratí (především páteří železniční síť, tedy tratě celostátní a tratě celostátní, které jsou součástí sítě TEN-T) převedena na řízení z CDP a část (především tratě místního významu, tedy tratě regionální a celostátní) zůstává řízena jako TDŘD. Stejně tak rozvoj TDŘD probíhá zpravidla na tratích nižšího významu (regionální a celostátní tratě) a tratě vyšších kategorií (celostátní a TEN-T) jsou řízeny z CDP.

Druhým typem dálkového řízení je právě řízení z CDP. Toto řízení spojuje TDŘD tak, že dispečer řídí provoz na jednotlivých tratích již nejsou fyzicky v daných stanicích, ale na dispečerském pracovišti, které se zpravidla již nenachází v některé ze stanic. Na těchto CDP je řízen provoz na několika tratích, přesněji řečeno na celé přidělené části sítě. Stejně tak u dispečerského řízení dopravy z CDP můžeme uvažovat o dvou odlišných systémech, které se liší v organizaci řízení (Zeman, 2008). V prvním systému lze identifikovat řízení pomocí lokálně situovaných výpravčích, které se v podmínkách ČR nazývají Pracoviště pohotovostního výpravčího (dále PPV). Druhý systém dálkového řízení dopravy lokálně situovaných výpravčích nevyužívá.

PPV jsou pracoviště, která jsou trvale nebo i jen po část dne obsazena zastupujícím výpravčím. Tento zaměstnanec slouží ke snížení náročnosti práce dispečera CDP. Zaměstnanec PPV v běžném provozu přebírá službu v předem definovaných časech pro předem definované stanice (Zeman, 2008). Dále tento zaměstnanec PPV řeší situace, které jsou pro dispečera řídicího provozu příliš zatěžující a pokud to je v danou chvíli potřeba. Mezi tyto situace může například patřit řízení dopravy v průběhu výlukové činnosti nebo místní staniční práce (organizace posunu, organizace a kontrola práce údržby tratí apod.). Dále v případě nižšího provozu přebírá zcela činnost dispečera CDP v definované stanici nebo stanicích a přilehlých trat'ových úsecích.

Jak uvádí Zeman (2008), tak PPV se zpravidla nacházejí ve stanicích s větším dopravním či přepravním významem. Lokálně situovaný výpravčí v podmínkách ČR je vždy zaměstnanec na PPV, avšak zaměstnanec PPV nemusí být vždy jen lokálně situovaným výpravčím a v určitých případech vykonává i jinou činnost než lokálně situovaného výpravčího.

Jak je patrné, tak tato pracoviště, ať už nazývaná jako lokálně situovaný výpravčí či PPV, jsou důležitou součástí řízení dopravy z CDP. Část tratí v ČR však funguje bez funkce PPV, tyto tratě jsou popsány vždy v Prováděcím nařízení pro DOZ dané trati. Odolnost řízení provozu je však na síti, která disponuje PPV, vyšší. Avšak PPV stále nemusí být dostatečně kvalitní zálohou řízení, i přesto, že má v rámci řízení provozu z CDP své místo, které je jen obtížně zastupitelné. Právě díky tomu, že zaměstnanci PPV mají přiděleny i další funkce, tak v mnoha případech nejsou schopni převzít funkci CDP zcela a bez kvalitativního propadu.

Tento kvalitativní propad je součástí řešení této disertační práce. Toto řešení je analyzováno v kapitolách 5 a 6.

### **2.3 Dálkové řízení dopravy a mimořádné situace**

Z hlediska organizování a řízení vlakové dopravy za krizových stavů je zjevně náročnější právě druhý typ řízení, při němž je část stanic a traťových úseků řízena dálkově (ať už se jedná o řízení TDŘD nebo řízení z CDP). Je tomu tak proto, že ze své podstaty je třeba obsloužit více traťových úseků a stanic s menším počtem pracovníků. Navíc během mimořádného, případně i krizového stavu (tj. stavu nezvládnutelného běžnou činností sborů integrovaného záchranného systému) lze předpokládat nefunkčnost zabezpečovacího a sdělovacího zařízení. U celého systému, kde nejsou využíváni lokálně situovaní výpravčí, je nezbytné kalkulovat se zvýšenou stabilitou celého systému, a tedy menší pravděpodobností nefunkčnosti zabezpečovacího zařízení. Na tomto místě je potřeba podotknout, že technické zabezpečení železniční dopravy je na vysoké úrovni, a to i v případě výpadku je fungování tohoto zařízení zaručeno tzv. „safety failure“, což znamená, že zařízení selže bezpečně (SŽDC Z1, 2007). V případě železniční dopravy to znamená, že zařízení selže tak, aby byl veškerý provoz zastaven a nebyl uskutečňován žádný úmyslný pohyb drážních vozidel.

Dispečerské pracoviště je tedy místo na dopravní síti, ve kterém je soustředěno ovládání zabezpečovacího zařízení pro více traťových úseků. Jak mimo jiné uvádí Dušek (2010), tak právě ovládání zabezpečovacího zařízení a řízení jízd vlaků v několika traťových úsecích z jednoho místa může představovat výhodu např. ve zrychlení komunikace, zvýšení efektivity jízdy vlaků a snížení provozních nákladů (z pohledu uzavřeného systému řízení dopravy). Nevýhodou řízení dopravy z jednoho místa však může být to, že z pohledu zajištění chodu železničního provozu lze předpokládat, že se jedná o vytváření nového prvku kritické infrastruktury, a tedy i o snižování odolnosti systému železniční dopravy jako celku.

V neposlední řadě je nutné brát v potaz i externí vlivy. Mezi ně patří například chátrání nádražních budov, případně i vandalství na nich, neboť mnoho staničních budov není obsazeno zaměstnancem a chátrá zejména, není-li ze strany místních entit vytvářeno prostředí, jež umožňuje tyto budovy chránit. Není totiž efektivní, aby existoval speciální zaměstnanec určený k trvalému střežení majetku dráhy (Ponížil, 2015). Zároveň však v mnoha případech není možné staniční budovy zcela opustit a provést jejich demolici, a to z důvodu nutnosti umístění části technických a technologických celků, které jsou nutné k řízení provozu na dráze.

## **2.4 Současné řešení případného výpadku centrálního dispečerského pracoviště**

Jak je zmíněno v kapitole 2.2 a 2.3, existuje rozdílný systém řízení v případě, zda jsou, či nejsou využiti lokálně situovaní výpravčí.

### **2.4.1 Výpadek centrálního dispečerského pracoviště bez lokálně situovaných výpravčích**

Řízení dálkové dopravy bez lokálně situovaných výpravčích je méně odolné nepříznivým vlivům. V případě výpadku CDP není možné okamžitě převzít řízení dopravy na podřízených úsecích. Převzetí řízení je možné pouze místně. Náhradní pracoviště, které by zastoupilo funkci CDP, v tomto případě není zřízeno. Doprava se v případě výpadku CDP řídí tak, že každá stanice je obsazena výpravčím, který v dané stanici řídí provoz v omezeném režimu díky tzv. desce nouzových obsluh. U všech stanic však nemusí být možné je výpravčím obsadit, např. z důvodu nedostatečného počtu odborně způsobilých zaměstnanců, případně z důvodu špatné dostupnosti během mimořádnosti. V tom případě je možné zavést hlavně v mezilehlých stanicích tzv. výluky dopravní služby. Před zavedením výluky dopravní služby, pokud je nezbytné traťový úsek dále používat, však musí být učiněny kroky k tomu, aby bylo možné stanicí bezpečně projíždět, bez nutnosti obsluhy zabezpečovacího zařízení.

Náklady na provoz v oblasti řízené dálkově, bez lokálně situovaných výpravčích, jsou nižší, avšak odolnost proti nenadálým událostem v takto řízené oblasti je také nižší než u systému využívajícího lokálně situované výpravčí. Pro potřeby disertační práce, a zejména

pro řešení uvedené v kapitole 5 a v kapitole 6, není důležité, zda jsou lokálně situovaní výpravčí k dispozici.

#### **2.4.2 Výpadek centrálního dispečerského pracoviště a současné využívání lokálně situovaných výpravčích**

V případě využívání lokálně situovaných výpravčích je zjevné, že systém dálkového řízení dopravy je i při výpadku CDP stále funkční, a to aspoň zčásti. V České republice, jak již bylo uvedeno, se pracoviště lokálně situovaných výpravčích nazývají Pracoviště pohotovostních výpravčích (PPV). Z jednoho PPV se zpravidla obsluhuje větší počet dopravních bodů, než by bylo řízeno pomocí místního řízení dopravy (Zeman, 2010). O počtu dopravních bodů podléhajících PPV je rozhodnuto ještě před započítáním řízení daného traťového úseku z CDP. Jejich jednotlivé počty na síti SŽDC jsou uvedeny v tzv. prováděcím nařízení pro trať s dálkově ovládaným zabezpečovacím zařízením. Prováděcí nařízení pro trať s dálkově ovládaným zabezpečovacím zařízením jsou pro každou trať vydávány zvlášť a hodnotí specifika dané trati. Pracoviště PPV však neslouží pouze jako záložní pracoviště. Jak je uvedeno již v předchozí části, na pracovišti PPV je řízení provozu v jednotlivých stanicích průběžně předáváno. Minimální hodnoty, jak často a v jakém rozsahu musí být řízení provozu jednotlivých stanic předáváno z CDP na PPV a opačně je uvedeno v prováděcím nařízení pro trať s dálkově ovládaným zabezpečovacím zařízením. Dle sledování autora však předávání řízení z CDP na PPV probíhá častěji, a to dle provozních možností a potřeb daného celku.

V případě výpadku CDP je tedy možné okamžitě převzít řízení dopravy na přidělených úsecích. Nevýhodou opět je, že výpravčí v tomto případě řídí více stanic a jeho povinností nemusí být pouze činnosti spojené s PPV. V případě velké intenzity pohybů<sup>1</sup> drážních vozidel v přidělené oblasti však výpravčí PPV nemusí být schopen daný objem dopravy zpracovat v požadované kvalitě. Tato problematika v současné době není nijak řešena.

---

<sup>1</sup> Pohybem drážních vozidel autor rozumí každou úmyslnou jízdní drážních vozidel, tedy jízdní cestu, bez ohledu na to, zda se jedná o jízdu vlaků, posuny nebo posuny mezi dopravami, které jsou dovolovány a řízeny výpravčím. Viz vysvětlení používaných pojmů pro fuzzyfikaci v kapitole 3.1.

### 2.4.3 Dílčí závěr

Dle předpisu ŠŽDC (ČD) D23 (2002) je jasně známá hodnota propustnosti jednotlivých traťových úseků. Analýzou současného stavu však bylo autorem zjištěno, jak je, respektive není, hodnocena výkonnost práce a vytížení dispečerů CDP a lokálně situovaných výpravčích. Všechny dokumenty vztahující se ke kapacitě dráhy vždy hovoří o propustnosti pevných prvků zabezpečovacích zařízení, kde tyto prvky mají možnost exaktního určení doby práce daného zabezpečovacího zařízení. V ČR o těchto prvcích hovoří právě předpis ŠŽDC (ČD) D23 (2002) a Směrnice SM 124 (2019). Analýzou předpisů používaných v ČR bylo naopak zjištěno, že neexistují normy na práci ani pro výkonné dispečery CDP, ani pro PPV.

Počet obslužených prvků zabezpečovacího zařízení se však neliší v případě systému s PPV a bez PPV. Vytížení dispečerů je s PPV zpravidla menší, avšak použitelná úkonová kapacita je stejná. Výpočty o nahrazení dispečerů CDP přítomnost PPV nijak neovlivní. PPV však ovlivní celkovou odolnost systému proti nenadálým událostem.

Historicky sice platilo, že doba obsluhy pevných prvků zabezpečovacího zařízení bude vždy delší, avšak to v současnosti, zejména na dálkové obsluze zabezpečovacího zařízení (DOZ), již nemusí platit a omezujícím prvkem může být i lidský faktor a rychlost bezchybné obsluhy zabezpečovacího zařízení dispečerem. Z mezioborové analýzy bylo autorem zjištěno, že podobná problematika je řešena v oblasti vytížení řídicích dispečerů v letecké dopravě. Tuto problematiku řeší EUROCONTROL ESARR 1 (2009), EUROCONTROLL ESARR 3 (2000), EUROCONTROL ESARR 4 (2001) a zejména pak EUROCONTROLL ESARR 2 (2009) a EUROCONTROLL ESARR 5 (2002).

Řídicí dispečeré letového provozu vykonávají činnosti podobné výpravčím, avšak zabezpečovací zařízení, bezpečnostní postupy, dopravní cesta a dopravní prostředky jsou samozřejmě jiné. To je důvodem, proč je možné převzít logiku řízení letecké dopravy jen okrajově.



## **2.5 Současný stav řešené problematiky**

Současný stav řešené problematiky uvádí zejména Šustr (2017), kde jsou hodnoceny zejména přístupy k řízení železniční dopravy za krizových stavů. Až v průběhu dalšího zkoumání bylo autorem navrženo a doplněno použít tento přístup i pro stavy nekrizové, a to z důvodu rentability a udržitelnosti navrhovaných řešení.

### **2.5.1 Současný stav krizového plánování a řízení v železniční dopravě v ČR**

Jak uvádí Viskup (2015), tak v ČR je ochrana a obnova železniční infrastruktury řešena tzv. systémem Technické obnovy železnic. Tato opatření jsou prováděna v míru, i při vyhlášení krizových stavů. Jsou nezbytná pro zvýšení odolnosti určené železniční sítě, k zajištění co nejrychlejší obnovy provozu na dráhách důležitých pro zachování obranyschopnosti ČR, s důrazem na zabezpečení přepravních potřeb ozbrojených sil. Zabezpečením přepravních potřeb ozbrojených sil se rozumí nutnost udržovat provoz v takovém rozsahu, jaký je stanovený Ministerstvem obrany ČR.

Dle Viskupa (2015) je pro stanovení rozhodujících podmínek pro obnovu železniční infrastruktury nezbytné znát limitující podmínky pro obnovu železniční infrastruktury (dále jen OBŽI). OBŽI je v ČR realizovatelné do 3 dnů při využití stavebně technických úlev pro krátkodobou, příp. dočasnou obnovu. Zabezpečovací zařízení, dle plánů, není nutné obnovovat v plném rozsahu. Při poškození dispečerských pracovišť je však otázkou, zda je možné při neobnově zařízení v plném rozsahu zajistit potřebný počet zaměstnanců v požadovaných lokalitách. Problematika týkající se zabezpečovacího zařízení by měla být dále řešena systémem Technické obnovy železnic.

Systém Technické obnovy železnic dle Viskupa (2015) je založen na tzv. zpohotovení zvláštních obnovovacích závodů Ministerstva dopravy a obnovovacích jednotek SŽDC. Technická obnova železnic je souhrn opatření prováděných v míru, ve stavu ohrožení státu a válečném stavu ke zvýšení odolnosti určené železniční sítě a k zabezpečení co nejrychlejší obnovy železničního provozu v zájmu obrany ČR s důrazem na zabezpečení přepravních potřeb ozbrojených sil. Určená železniční síť je zredukovaná síť železničních tratí v ČR, na které je nutné po celou dobu trvání krizových stavů udržovat provoz dle potřeb ČR. SŽDC

zabezpečuje v době krizových stavů provozuschopnost železničních drah dle požadavků obrany státu (tyto požadavky vytváří Ministerstvo obrany ČR). SŽDC pro řešení krizových situací vydává navíc vlastní směrnice, uvedené Viskupem (2015). Při běžném provozování drah zajišťuje provozuschopnost všech drah jim svěřených. Právě pro případy krizových stavů vytváří SŽDC takzvané obnovovací jednotky. Pro tyto obnovovací jednotky jsou využívány vlastní technické prostředky a vlastní zaměstnanci, stejně tak i smluvně zajištění dodavatelé. Mezi tyto dodavatele patří také společnost Stavební obnova železnic, a. s. (dále jen SOŽ) a společnost Automatizace železniční dopravy Praha, a. s. (dále jen AŽD Praha).

#### ***Stavební obnova železnic, a. s.***

Společnost SOŽ popisuje Viskup (2015) jako organizaci, která nahradila zaniklé železniční vojsko. Pro potřeby SŽDC zřizuje tzv. zvláštní obnovovací závody Ministerstva dopravy ČR. Tyto závody fungují jako tzv. střediska SOŽ. Základním materiálem ve zvláštních obnovovacích závodech jsou účelově vázané pohotovostní zásoby, se kterými má právo hospodařit Správa státních hmotných rezerv (dále jen SSHR). Tímto materiálem je speciální technické a technologické vybavení pro zajištění funkčnosti nasazených zvláštních obnovovacích závodů, které nelze zajistit jiným způsobem. SSHR má přístup k objektům středisek SOŽ.

Skladovaný materiál však nijak nezmiří následky krizové události v případě výpadku řízení na CDP.

#### ***Automatizace železniční dopravy Praha, a. s.***

Společnost AŽD Praha, a. s. (dále jen AŽD) je podle Souška (2011) v případě mobilizační poddodávky pro společnost SŽDC hlavním dodavatelem, který zajišťuje obnovu zabezpečovacího zařízení. Dle Viskupa (2015) tato firma navíc pro plnění technické ochrany železnic aktivuje tzv. hospodářská střediska AŽD a vytváří tzv. montážní oddíly AŽD.

V případě narušení zabezpečovacího zařízení v oblasti CDP je společnost AŽD Praha, a. s. také hlavním dodavatelem zabezpečovacího zařízení (Soušek, 2008). Jedná se tedy o společnost, která v případě krizové události ve vzdáleném řízení železniční dopravy činí kroky k nápravě takovéto události. Z toho důvodu je právě společnost AŽD Praha, a. s. vhodným tvůrcem krizových plánů pro CDP.

### ***Shrnutí podkapitoly***

Železniční doprava, zejména pak systém zabezpečení a řízení jízd vlaků, se v posledních letech změnila, a to především vybudováním CDP. Je nutné přehodnotit přístup ke krizovému řízení v ČR. Dle informací uvedených Souškem (2011) a Viskupem (2015) stávající systém již zčásti nevyhovuje, protože je založen především na řešení vojenských krizových stavů. V současné době však stále více narůstá pravděpodobnost nevojenského krizového stavu. Stejně tak jsou vytvářeny nové prvky kritické infrastruktury, mezi které patří právě i CDP. Tyto nové prvky kritické infrastruktury jsou pro fungování železnice velmi důležité. Je potřeba chránit tyto prvky a připravovat se na možnost jejich selhání. Tato podkapitola jasně ukazuje na fakt, že krizové řízení v železniční dopravě je s fungováním celého železničního systému neoddělitelně spjata, a to už od dob vzniku železnice. Systém krizového řízení však musí odpovídat současnému vývoji na železnici. Dnes k plnohodnotnému a bezpečnému provozu na železnici nestačí jen obnovit fyzickou železniční trať. V současné době, kdy je stále více důležité disponovat kvalitní dopravní sítí s vysokou spolehlivostí, představuje zabezpečení jízd vlaků nezbytnou součást železniční infrastruktury. I proto by krizové řízení v železniční dopravě mělo, jak tomu bylo i v minulosti, vždy následovat nejnovější vývoj, a to i v této oblasti.

#### **2.5.2 Současný stav vědeckého poznání v ČR**

Výzkumem v oblasti krizového řízení v ČR se zabývá pouze několik subjektů. Nejnovější výzkum, který je zastoupen Souškem<sup>a</sup> (2009 – 2010), Dvořákem (2010), Viskupem (2015) a Souškem (2004 - 2007), se zabývá pouze organizací a zabezpečením funkčnosti stávajícího systému. Výzkum v oblasti zabezpečovacího zařízení vzhledem ke krizovým situacím neprobíhá. Naznačení problematiky vzdáleného řízení uvádí Soušek (2004 – 2007), ale bez dalšího hlubšího rozboru. V ČR se tedy poškození zabezpečovacího zařízení ve velkém rozsahu na vědecké rovině neřeší. V případě zavedení tohoto problému do praxe by zcela jistě měla tato problematika spadat do systému technické obnovy železnic. Systém technické obnovy železnic je popsán zejména Viskupem (2015) a v neposlední řadě také v předpisu SŽDC O5.

### **2.5.3 Současný stav vědeckého poznání v zahraničí**

Co se týče vědeckého poznání v oblasti vytížení řídicích dispečerů v železničním provozu, jsou zjištěné zdroje velmi vágní a problematikou se zabývají pouze okrajově. Ze zjištěného lze pouze hodnotit Zimmermanna (2021), který řeší problematiku kapacity dopravní cesty metodou značení grafu. Při mírné úpravě lze tuto metodu použít i pro řešení kapacity řídicích dispečerů. Zimmermann (2021) se této problematice ve svém článku věnuje jen okrajově.

Z toho důvodu bylo pro srovnání hodnoceno vědecké poznání v příbuzném oboru, a to při vytížení dispečerů letového provozu. Zde je koncept hodnocení řídicích dispečerů relativně často zastoupen. Výzkum zmíněný v této práci je pouze reprezentuje jednotlivé výzkumníky a výzkumné týmy, rozhodně se nejedná o kompletní výčet veškerých článků, jež řeší tuto problematiku. Naproti tomu rozbor zde uvedený se naopak snaží pokrýt všechny metody, které jsou pro hodnocení práce letových dispečerů v literatuře zmiňovány.

I přesto, že se jedná o výzkum staršího data, tak Smith (2003) problematiku řídicích dispečerů řeší pomocí metody BCMS se stochastickými vstupy. Tento postup lze tedy nazvat za přijatelný, avšak hodnocení se týká leteckých dispečerů a Smith (2003) neuvádí přesné hodnoty vstupů, pouze popisuje použitou metodu. Hodnocení práce pomocí stochastických metod se relativně často skloňuje, a to u Schaefera (2005) nebo Rosenbergera (2020).

He (2019) používá pro hodnocení úrovně řízení letového provozu právě metodu fuzzy logiky a hodnotí fuzzy logiku jako vhodný nástroj. He (2019) však v článku obrací svou pozornost na fuzzy-neuronové systémy, které však dle jeho měření a pozorování potřebují pro stejnou přesnost výsledků rozsáhlejší vstupní data.

### **2.5.4 Současný stav přístupu ke krizovému plánování v zahraničí**

Přístup k informacím o krizových stavech k řešení takovýchto situací je velmi obtížný. Důvodem je zejména skutečnost, že tato kapitola hovoří o citlivých datech vztahujících se k bezpečnosti státu. V případě vojenskopolitického konfliktu může znalost krizových plánů nepřítele znamenat strategickou výhodu. Relevantní materiály k dané problematice krizového řízení v železniční dopravě patří mezi velmi těžko dosažitelné odborné publikace. Výstupy

z konferencí, články a podobné relevantní zdroje o této problematice hovoří velmi výjimečně, okrajově a neurčitě. Z toho důvodu je v následujících podkapitolách uvedeno jen několik případů, kde bylo možné získat pro odbornou práci věrohodné vědecké podklady.

### ***Spojené království Velké Británie a Severního Irska***

Spojené království Velké Británie a Severního Irska, dle Fujiyami (2014), aktuálně nemá státem řízený systém rychlé obnovy provozu železniční dopravní sítě jako ČR. Systém rychlé fyzické obnovy byl omezován a rušen již od přelomu 70. a 80. let 20. století jako málo flexibilní a neefektivní. Jak dále Fujiyama (2014) popisuje, obrat nastává až ve druhém desetiletí 21. století, kdy po krizových situacích (zejména povodních) začalo místní Ministerstvo dopravy (Department of Transport) jednat v oblasti rychlé obnovy železniční sítě u vybraných, velmi exponovaných úseků tratí. Fujiyama (2014) uvádí, že ve Spojeném království Velké Británie a Severního Irska existuje možnost obnovy železniční dopravní sítě do plných parametrů, čímž se doba případného narušení železniční dopravy výrazně prodlužuje. V současnosti se zde však vyskytuje několik výjimek, při nichž společnost Network Rail disponuje prostředky pro rychlou obnovu dopravní sítě. Tyto prostředky jsou však určeny pro obnovu několika málo vybraných úseků, které lze jen těžko nazvat určenou železniční sítí jako v ČR. Jedná se pouze o krátké úseky tratí (v součtu maximálně desítek mil), jež jsou nezbytně nutné pro národní ekonomiku. Pro tyto vybrané úseky tratí neexistuje náhradní spojení jinou objízdnou trasou po železnici. Stejně tak tyto prostředky zahrnují opět jen obnovu fyzické dopravní sítě a zabezpečení a řízení provozu není nikterak řešeno (Fujiyama, 2014).

Jak je zmíněno v předcházejícím odstavci, tak ve Spojeném království Velké Británie a Severního Irska aktuálně probíhá výzkum v oblasti krizového řízení. Dle Fujiyami (2014) je především potřeba vytvářet dostatečně odolnou dopravní síť, kde jednotlivé tratě mohou být nahrazeny (objížďeny) jinými. Jak Fujiyama (2014) uvádí, každá země má svá specifika a v případě krizového řízení v železniční dopravě nemůže být použit jednotný přístup po celém světě.

V případě řízení a zabezpečení jízd vlaků ve Spojeném království Velké Británie a Severního Irsku neexistuje systém podobný CDP, který funguje na území ČR. Mnoho významných železničních tratí je řízeno dálkově z několika separovaných pracovišť (Fujiyama, 2014), obdobně jako jsou v ČR tratě řízené dálkovou obsluhou zabezpečovacího zařízení (dále jen DOZ).

Chow (2015) říká, že ve Spojeném království Velké Británie a Severního Irsku se počítá v případě výpadků těchto míst obsluhy (Traffic Control Centres) s přerušením provozu, případně na vybraných tratích s obsazením jednotlivých stanic výpravčími. Výzkumný projekt Chow (2015) však již nehovoří o tom, kde je možné získat navýšený počet odborně způsobilých zaměstnanců.

### ***Spolková republika Německo***

Kratochvíl (2008) uvádí, že ve Spolkové republice Německo je situace oproti ČR částečně odlišná. Podobně jako v ČR má odpovědnost za obnovu infrastruktury Spolkové ministerstvo dopravy, stavebnictví a rozvoje měst (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung). Dle Kratochvíla (2008) však odpovědnost za řízení krizových situací na svém území mají jednotlivé spolkové země. Spolkovým zemím je v případě potřeby (krizového stavu) přidělován materiál pro obnovu dle vzniklé krizové události přímo od Spolkového ministerstva dopravy, stavebnictví a rozvoje měst. Dle Kratochvíla (2008) jsou veškeré normy obnovy železniční dopravní sítě určeny odbornou analýzou schopností železniční sítě. Analýza je prováděna jak výše zmíněným ministerstvem, tak samotnou organizační složkou holdingu Německých drah. Zajišťování potřeb železnice v krizových situacích je chápáno jako celostátně prospěšná činnost a její financování a zajištění je řešeno přímo ze spolkového rozpočtu (Kratochvíl, 2008).

Z tohoto důvodu je zřejmé, že i případná obnova zabezpečovacího zařízení a CDP je ve Spolkové republice Německo možná. Autorem však nebylo zjištěno, že by existoval konkrétní výzkum pro hodnocení následků výpadku místní obdoby CDP v jakékoliv spolkové zemi.

### *Spojené státy americké*

Ve Spojených státech, jak uvádí Pacheko (2017), jsou vlastníky dopravní infrastruktury tzv. železniční podniky. Železniční podniky jsou zároveň i dopravci. Jedná se tedy o tzv. unitární železniční podnik, který nemůže v podmínkách EU, tedy i ČR, dle legislativních podmínek existovat. Železniční podniky se dělí do tříd dle významu, přičemž zásadním kritériem pro zařazení do dané třídy jsou roční tržby. Dle US DHS (2003) od 80. let 20. století ve Spojených státech neexistuje regulace železničních podniků a díky tomu se tyto podniky orientují na ekonomiku provozu a vytváření zisku. Tomuto stavu, jak zmiňuje US DHS (2003), také odpovídá systém obnovy železniční dopravní infrastruktury v krizových situacích. Ten je plně v režii železničních podniků a nikdo další na tento systém nemá vliv. Vše je řešeno operativně, dle případné krizové situace.

Je však možné konstatovat, že veškerá obnova železniční dopravní infrastruktury je prováděna dle potřeb železničních podniků za účelem vytvoření, příp. nepřerušování zisku. US DHS (2003) říká, že společnosti v případě velkých krizových událostí mohou požádat o federální finance, které mohou být poskytnuty na obnovu důležitých železničních tratí.

Ve Spojených státech je v oblasti řízení dopravy také situace různorodá, a to podle jednotlivých železničních podniků (Pacheko, 2017). Na dráhách ve Spojených státech byla jako první použita technika umožňující vzdálené řízení dopravy, nazývaná Centralized Traffic Control (dále jen CTC). Toto dálkové řízení dopravy je použito u mnoha malých železničních podniků, v nichž je provoz řízen pouze z jednoho místa. U velkých dopravců, jejichž existence je významná pro ekonomiku Spojených států, byl systém CTC použit následujícím způsobem: Síť je rozdělena na několik obvodů a je řízena větším počtem dispečerů (Pacheko, 2017). Případná obnova či nahrazení CTC probíhá dle daných schopností železničního podniku.

Vědecký výzkum v krizovém řízení se ve Spojených státech zaměřuje především na hodnocení odchylek od jízdních řádů. Dle Hendersona (2016) je možné jejich metodu použít i pro případné mimořádné situace (např. živelná pohroma). Je však hodnoceno zpoždění vlaků, nikoliv řešení samostatné krizové situace. Výzkum a vývoj v oboru krizového řízení ve Spojených státech tedy probíhá, autorem však nebylo zjištěno, že by se jakýkoliv výzkum orientoval na obnovu systému CTC.

## *Japonsko*

V Japonském císařství funguje železniční doprava opět podle vlastního modelu. Jak uvádí Fujiyama (2014), podobně jako ve Spojených státech působí v Japonsku železniční podniky, které plní funkci dopravců, tak správců a majitelů infrastruktury. V Japonsku je navíc možná i existence samostatných dopravců fungujících v podobném režimu jako v EU. Pro potřeby této práce jsou však důležité pouze železniční podniky jako majitelé a provozovatelé infrastruktury. Dle Fujiyami (2014) je největší železniční podnik v Japonsku vlastněn z majoritní části státem, tím je Skupina japonských drah (JR Group). Jak uvádí Fujiyama (2014), JR Group se skládá ze sedmi jednotlivých železničních firem, z nichž jsou 3 vlastněny státem a zbytek byl privatizován. Z těchto železničních firem je 6 firem zároveň vlastníkem železniční dopravní infrastruktury (unitární železniční podnik) a jen jedna funguje pouze jako dopravce.

Fujiyama (2014) uvádí, že železniční podnik vždy spravuje přidělenou část dopravní sítě dle vlastních možností. Dle Fujiyami (2014) Japonské císařství nevytváří žádný materiál pro rychlou obnovu poničené dopravní sítě za krizových situací. Stejně tak na území Japonska není aktuálně žádný výzkum v této oblasti. Fujiyama (2014) tvrdí, že je zde pouze povinnost projektovat a vytvářet dopravní stavby tak, aby byly odolné mimořádným událostem (zemětřesení, povodně apod.) a případné narušení provozu bylo co nejmenší. Obnova dopravní sítě je pak řešena dle možností jednotlivých železničních podniků, přičemž státní dozor pouze sleduje rychlost a efektivitu výstavby a v případě shledání vad navrhuje změny a zaručuje se za dostatečnou odolnost dopravních cest a staveb. Fujiyama (2014) dále uvádí, že přesný plán na obnovu dopravní sítě neexistuje, pouze při krizových situacích je státní správou vždy rozhodnuto, které poškozené železniční tratě je potřeba zprovoznit jako první. Tyto tratě se poté rekonstruují s využitím všech sil a za co nejkratší dobu. Vědecký výzkum se přímo této oblasti nevěnuje, ale opět se soustředí pouze na odolnost dopravní sítě (Fujiyama, 2014).

Dle Fujiyami (2014) je v Japonsku systém DOZ, podobně jako v ČR, v provozu již od 60. let 20. století. Aktuálně zde probíhají podobné trendy, tzn. dálkové řízení přesouvat do větších středisek obsluhy (centra podobná CDP na území ČR). V případě přerušení funkčnosti řídicího centra však v Japonsku existují plány pouze takové, které stanovují zastavení provozu



na železničních tratích. Samozřejmě i v případě řídicích center je požadována zvýšená odolnost zařízení, stejně jako u ostatních dopravních staveb (Fujiyama, 2014).

Jediný známý a dostupný výzkum v této oblasti je Fujiyama (2014) a Chow (2015), jenž hodnotí globální hledisko problému. A právě díky řešitelskému týmu skládajícího se ze specialistů z Japonského císařství je možné tento projekt označit jako výzkum krizového řízení železniční dopravy v Japonském císařství.

### **2.5.5 Mezioborové hodnocení přístupu k řízení dopravy**

Jak již bylo v této disertační práci uvedeno, pro práci řídicích dispečerů byla ke srovnání využita letecká doprava. Hlavním důvodem bylo to, že letecké předpisy jsou mezinárodně využitelné a stejně jako železniční doprava je provoz ve vzdušném prostoru řízen dispečery. Pro potřeby disertační práce byly hodnoceny letecké předpisy EUROCONTROL ESARR 1 (2009), EUROCONTROLL ESARR 3 (2000), EUROCONTROL ESARR 4 (2001), kde se práci řídicích dispečerů blíže věnují předpisy EUROCONTROLL ESARR 2 (2009) a EUROCONTROLL ESARR 5 (2002).

Tyto předpisy stanovují pro práci řídicích dispečerů podmínky v rovině jejich zatížení, maximální doby práce, ve vazbě na technické vybavení pracovišť řízení provozu. Žádný z předpisů však přesně neudává, jak jsou hodnoty pro různé práce řídicích dispečerů stanoveny. I přesto, že tyto předpisy udávají podmínky pro dispečery letového provozu, není možné bez úprav tyto dokumenty převzít. Avšak jednotlivé body, které jsou pro práci dispečera klíčové mohou sloužit jako podklad pro stanovení určujících vstupních dat, s nimiž metoda použitá v disertační práci pracuje a jež jsou uvedeny v kapitole 3.1. Inspirace a hodnocení podle tohoto předpisu bylo autorem zvoleno především z toho důvodu, že se toto řízení provozu v praxi již osvědčilo.

## 2.6 Shrnutí poznatků analýzy

Řízení železniční dopravy probíhá ve většině států obdobně. Rozdíly jsou zpravidla v legislativním pojetí železniční dopravy a k němuž se váže přístup subjektů odpovědných za daný resort, zvláště pak za jeho řízení.

Avšak přístup ke krizovému řízení železniční dopravy je v různých zemích odlišný. Jak již bylo uvedeno, přístup k těmto informacím je komplikovaný, a to zejména proto, že se jedná o citlivé informace a zdroje o nich mluví velmi okrajově a vágně. I přesto z analýzy plyne skutečnost, že v zahraničí přístup ke krizovému řízení odpovídá legislativě, která upravuje podmínky provozování a řízení železniční dopravní cesty. V zemích, kde je řízení dopravy z CDP aplikováno, zpravidla není případný výpadek CDP řešený. I tato skutečnost indikuje, že problematika řešená v této práci je málo prozkoumaná a je oprávněné ji věnovat pozornost.

### **3 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE**

Cílem práce je vytvořit systémové řešení nahrazení řízení dopravy z CDP tak, aby byl zajištěn provoz v potřebném rozsahu na železniční síti, a to bez snížení kvality provázení vlaků a bez snížení kapacity dopravní cesty.

Ke splnění cíle je nezbytně nutné stanovit dílčí cíle. Na základě analýzy je potřeba určit, jakým způsobem je možné řízení dopravy v rámci CDP vytvořit odolnější. Zde jako slabý článek systému vystupuje člověk a jeho schopnost zajišťovat rychle a efektivně řízení provozu, i přes značný pokrok v automatizaci jeho řízení. Je tedy žádoucí zvýšit odolnost na úrovni řízení železniční dopravy, a to při současném stavu automatizace řízení provozu a využití stávajících lidských sil.

Pro splnění tohoto cíle bude zvolena metoda fuzzy logiky, jež umožní zhodnotit práci řídicích dispečerů a kvalitu příkazů pro pohyby drážních vozidel. Disertační práce tímto navrhuje možnosti, jak eliminovat riziko přerušování provozu, a to při současném zachování funkce řízení železničního provozu na kvalitativní a kvantitativní úrovni, která byla zavedením CDP nastavena.

Pomocí fuzzy logiky je možné určit, kolik pohybů drážních vozidel dokáže v požadované kvalitě obsloužit jeden výpravčí. Tímto krokem bude vytvořen základ pro následné vyčíslení spolehlivosti provázení vlaků. Jinými slovy, pokud bude číselně stanovena hodnota spolehlivosti provázení vlaků, je možné zároveň určit i hladinu kvality provázení vlaků při splnění všech vstupních podmínek. Tento údaj poskytne jasnou odpověď na otázku, jaký musí být počet záložních pracovníků pro řízení provozu, a to jak u CDP s lokálně situovanými výpravčími, tak i bez nich.

#### **3.1 Výklad pojmů používaných v disertační práci**

Jak je evidentní z předcházejících kapitol, tak pro potřeby práce je nejdříve nezbytné definovat důležité pojmy, jež jsou v práci používány.

V dílčím cíli práce byl použit pojem **odolnost**, který je v různých zdrojích definován odlišným způsobem. Pro potřeby disertační práce se odolností rozumí takové zabezpečení, které při negativním působení sil a jevů zajistí, aby nedošlo k narušení či omezení požadované činnosti. Konkrétně na řízení provozu lze pojmenovat odolnost tak, že odolný je takový stav provozu, kdy pohyb drážních vozidel není ovlivněn negativním působením sil a jevů působících na CDP. Odolnost samotná je tedy vagním pojmem. Avšak exaktně lze vyjádřit snížení odolnosti, přičemž snížení odolnosti se může rovnat nižší kvalitě provázení, ať už v rovině omezené kapacity dopravní cesty, nebo v rovině nedostatečné kvality vlakových tras. Omezení kapacity dopravní cesty je možné vypočítat dle směrnice SŽDC SM124 (2019).

V části disertační práce, jež hodnotí práci dispečerů řídících železniční provoz, je nutné dále stanovit důležité pojmy, které jsou pro výpočty vytížení dispečerů dále využívány. Obzvláště je nezbytné určit nejmenší časový úsek rozhodný pro práci dispečera řízení železničního provozu. Jako hlavní údaj pro tento výpočet bude zvolen **úkon**.

**Úkon** je aktivita, která vede k postavení vlakové či posunové cesty. Úkon se může skládat z jednotlivých činností.

**Činnost** odpovídá provedené aktivitě ze strany dispečera. Činností může být například výběr návěstidla v systému JOP, od něhož bude stavěna vlaková cesta. Činnost může být také závislá na jiném kroku, který je pro dispečera dána předpisem. Několik činností za sebou vytváří úkon.

**Činnost s odezvou** je taková činnost, při níž je potřeba vždy vyčkat, než daný prvek zareaguje a uskuteční požadovaný úkol. Mezi činnosti s odezvou patří například uzavření přejezdu, kdy je nutné po obsluze prvku vyčkat na uzavření přejezdu. V případě uzavření přejezdu probíhá předzváněcí doba a sklápění břevna závor, což patří do doby odezvy (vyčkávání na reakci a uskutečnění požadovaného úkolu).

**Činnost s potvrzením** je specifická činnost s odezvou, kdy je potřeba vykonat potvrzení dané činnosti např. pomocí zadání potvrzovací sekvence zabezpečovacího zařízení.

**Pohybem drážních vozidel** se rozumí jízdni cesta, bez ohledu na to, zda se jedná o vlakovou cestu, posunovou cestu nebo posun mezi dopravnami, které jsou dovolovány a řízeny výpravčím. Pro uskutečnění pohybu drážních vozidel je nezbytné, aby byl vykonán minimálně jeden úkon.

## **4 METODY DISERTAČNÍ PRÁCE**

V průběhu zpracování disertační práce je nezbytné pracovat s vědeckými metodami. V části 4.1 jsou uvedeny metody, jež jsou používány v celé disertační práci. V části 4.2 jsou uvedena vstupní data, která pak jsou klíčová pro fuzzy logiku, což je metoda uvedená v části 4.3, jenž je následně v kapitole 5 aplikována na řešený problém.

### **4.1 Používané vědecké metody**

Jako vědecké metody se dle Janíčka (2013) používají metody analýzy, syntézy, dedukce, indukce, konkretizace, abstrakce, analogie, komparace, explorace, explanace a literární rešerše.

#### **4.1.1 Analýza a syntéza**

Jak uvádí Hendl (2005), analýza spočívá v tom, že rozděluje složité systémy na podsystémy a jednotlivé prvky. Díky tomu jsou prvky relativně snadno hodnotitelné a je možné je posoudit zvlášť. Důležitou součástí však je i vazba mezi těmito prvky, jak mimo jiné uvádí i Bulíček (2011). Syntéza naopak jednotlivé prvky skládá do jednoduššího celku a tím, dle Bulíčka (2011), zobrazuje vazby jednotlivých částí, případně i organizační principy.

#### **4.1.2 Dedukce**

Metoda dedukce je, jak uvádí Hendl (2005), výběr z možných premis, přičemž je zvolena právě ta premisa, která je dle logiky pravdivá. Dedukce zpravidla postupuje od obecného k jedinečnému, od obecného k obecnému nebo od jedinečného k jedinečnému.

#### **4.1.3 Indukce**

Metoda indukce spočívá v pozorování členů jednotlivých jevů. Dle Hendla (2008) se tyto členové jevu, vyznačují zvláštní vlastností. Indukce usuzuje, že zvláštní vlastnost budou mít i jiní představitelé daného jevu. Metoda začíná pozorováním daného procesu a klade důraz

na zaměření se na pravidelnosti, které objektivně v procesu existují. Tyto pravidelnosti jsou dále popsány ve formě předběžných závěrů. Závěry jsou dále pozorovány a výsledkem může být nová teorie.

#### **4.1.4 Koncretizace a abstrakce**

Jako koncretizaci lze chápat přidělování názorné, předmětné vlastnosti určitému prvku. Avšak Janíček (2013) koncretizaci popisuje jako vyhledávání konkrétně specifikovaného znaku z dané skupiny prvků. Z tohoto hlediska je abstrakce velmi podobná koncretizaci a Bulíček (2011) ji popisuje jako zaměření se na podstatné znaky, vlastnosti a skutečnosti u daného prvku.

#### **4.1.5 Analogie**

Analogie je podle Bulíčka (2011) popsána jako přenesení zmapovaného průběhu procesu ve známém systému na hodnocení procesu v jiném systému podobného rozsahu, a to na základě podobnosti chování obou systémů.

#### **4.1.6 Komparace**

Komparace vychází dle Janíčka (2013) z chování systémů. Komparace hodnotí chování systémů při zachování podmínek. Komparace však také zkoumá chování daného systému při změně vstupních podmínek.

#### **4.1.7 Explorace**

Explorace je metoda, kterou Hendl (2008) popisuje jako prozkoumávání nového tématu. Celkově vede k hlubší znalosti zkoumaného systému. Při prozkoumávání systému se formulují otázky, jež musí být zodpovězeny. Zodpovězené otázky pak slouží jako podklad k rozsáhlejšímu systematickému výzkumu.

#### **4.1.8 Explanace**

Jak uvádí Bulíček (2011), explanace se využívá v situaci, kdy je daný systém již exaktně popsán. Explanace je cestou, jak osvětlit, proč je chování systému právě takové, jaké je.

#### **4.1.9 Literární rešerše**

Literární rešerše je v podstatě kvalitativní výzkum pramenů, které jsou pro dané téma k dispozici. Dle Sebery (2012) je pro zpracování rešerše nutné vyhledat literaturu, jež je následně analyzována. Po analýze literatury je vytvořena rešerše. Sebera dále uvádí, že pro tradiční recenzi je potřeba dostatečná znalost výzkumníka, aby se zorientoval v široké škále zdrojů a dokázal k nim přistupovat dostatečně kriticky.

### **4.2 Datové podklady**

Pro dosažení cíle disertační práce je nezbytné nejdříve určit, jaké činnosti dispečer CDP vykonává a jak jsou pro něj tyto činnosti zatěžující. Po zjištění toho, kolik činností daný dispečer vykonává, lze systémově rozhodnout o jejich převedení na jiné zaměstnance, případně rozhodnout o možném navýšení počtu činností pro daného dispečera (výpravčího).

Bohužel aktivita, kterou dispečer řídící pohyb drážních vozidel vykonává, je různorodá a je složitě normovatelná. Proto pro potřeby disertační práce byla tato činnost rozбором rozdělena na jednotlivé kroky, které jsou shodné pro přípravu vlakové i posunové cesty, případně i jiné aktivity, jež jsou vykonávány prostřednictvím zabezpečovacího zařízení.

Jako první krok je tedy nutné si pojmenovat jednotlivé kroky, které budou později datovým podkladem do systému hodnotícího práci dispečera. V kapitole 3.1. jsou definovány pojmy potřebné k rozborům a výpočtům. Tyto jednotlivé kroky pak slouží právě k rozboru toho, jakou měrou je dispečer řídící provoz zatížen a zda je takové zatížení únosné. Z toho důvodu, že tento systém patří mezi matematicky složitě definovatelné, byla pro jeho řešení zvolena metoda fuzzy logiky.



Pro možné měření a hodnocení práce dispečerů řídících pohyb drážních vozidel jsou v disertační práci hodnoceny data z reálného provozu a také výsledky ze simulačního programu.

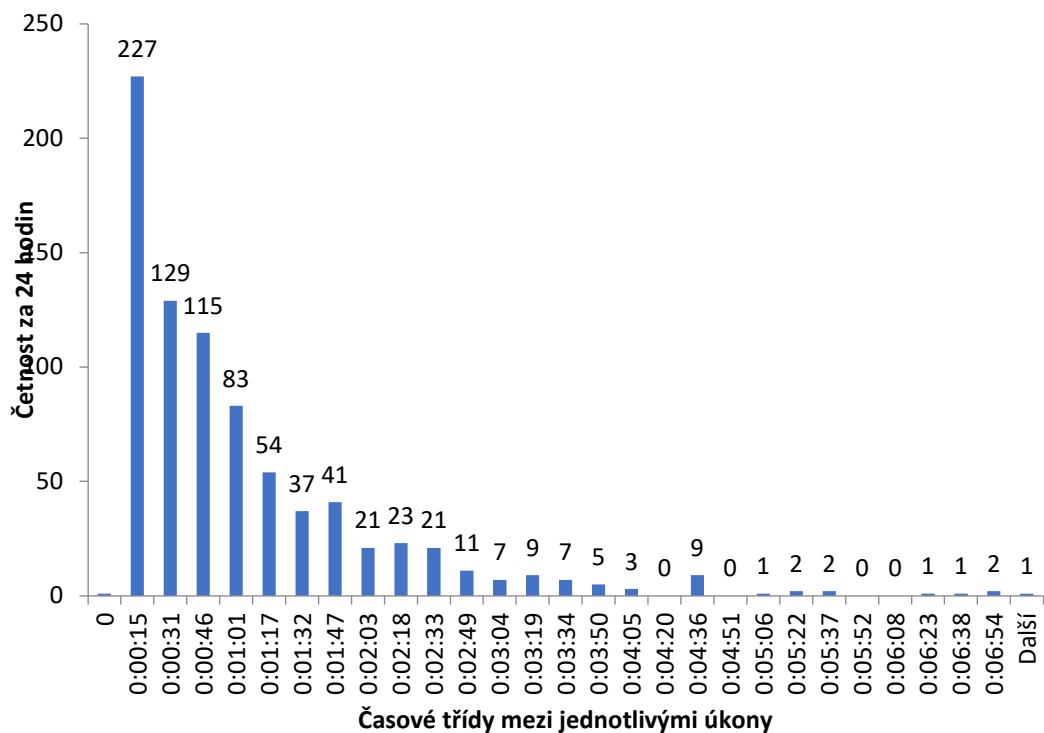
#### 4.2.1 Výstupy z provozu

Jako výstupy z reálného provozu jsou použita data z CDP Praha (2018), které představuje jedno ze dvou provozních dispečerských pracovišť v České republice. Údaje byly poskytnuty autorovi přímo ze strany SŽDC a jsou součástí přílohy disertační práce.

Tyto výstupy hodnotí práci dispečera řídicího stanice Velim, Pečky, dále pak stanici Poříčany a Praha – Libeň. Stanice z tohoto úseku byly zvoleny proto, že se jedná o trať s velkým počtem pohybů drážních vozidel, a to během denní i noční doby. Z těchto dostupných dat je znám čas mezi jednotlivými úkony. Bohužel není znám čas mezi jednotlivými činnostmi, ani doba trvání činnosti s odezvou. Počet činností a činností s odezvou není v dokumentu znám, avšak díky údajům z CDP Praha (2018) je možné určit u každého úkonu počet činností a činností s odezvou k vykonání tohoto úkonu. Následné pohyby drážních vozidel jsou již realizovány nezávisle na těchto údajích, avšak je v nich tento pohyb také zaznamenáván.

Jedním z důležitých údajů je pro autora práce hodnota mezi jednotlivými úkony. Právě úkon je jedním ze základních prvků, který je sledován.

Obrázek 2 je histogram. Tento histogram ukazuje klouzavý průměr mezi jednotlivými úkony. Hranice klouzavého průměru byly zvoleny po 1, 2, 5, 10, 15 a 30 minutách, přičemž výsledky pro časy delší než 10 minut byly téměř totožné. Proto histogram ukazuje klouzavý průměr s hranicemi po 10 minutách. Jednotlivé časy byly rozděleny do skupin po 15 sekundách. Je zde zřetelně vidět, že nejvíce úkonů následuje v průměru do 15 vteřin po sobě (227 výsledků). Naopak nejdelší čas mezi úkony je 6 minut a 54 vteřin.



Obrázek 2: Četnost mezer mezi jednotlivými úkony

zdroj: Autor s využitím CDP Praha (2018)

Ze zjištěného jasně vyplývá, že průměrný čas mezi jednotlivými operacemi byl v časové třídě mezi 0 a 15 vteřinami. To znamená, že ve většině případů má dispečer řídicí pohyb drážních vozidel na rozmyšlení a vykonání úkonu méně než 15 vteřin. Je však nutné upozornit i na to, že do těchto činností patří i např. vlakové cesty pro průjezd vlaku, kdy výpravčí k postavení vlakové cesty pro průjezd nenavolí jako jeden úkon, ale navolí ji na dvakrát. V rozboru činností a činností s odezvou, které jsou součástí této disertační práce, je tento fakt také zahrnut do hodnocení. Výpočty doby jednotlivých úkonů, přičemž společné úkony, jež byly součástí vlakové cesty pro průjezd, byly počítány jako jeden úkon. Danou situaci ukazuje Obrázek 2.

Pro zjištění skutečnosti, zda kvalita provázení byla zachována i v případě nejkratších časů mezi úkony, již slouží simulace v softwaru, o němž je v rámci této práce také pojednááno.

Úkony byly tedy autorem rozděleny na činnosti a činnosti s odezvou. Přičemž každý úkon (postavení vlakové cesty nebo postavení posunové cesty) se skládá minimálně ze 2 činností, respektive s činností s odezvou. Údaje prezentující úkony obsahují činnosti a činnosti s odezvou, jsou součástí závěrových tabulek daných stanic. Závěrové tabulky jsou dostupné pod názvem Pomůcky GVD (2020). Údaje o počtu úkonů a z kolika činností se skládají byly vypočteny autorem, který pro všechny údaje o úkonech využil metodu hrubé síly.

### ***Stanice Velim***

Stanice Velim je mezilehlou stanicí mezi stanicemi Kolín a Pečky v km 355,772 trati Kolín – Praha, Libeň. V případě stanice Velim je 27 vlakových cest a 29 posunových cest činnostmi s odezvou, kdy je ve stanici uzavírán přejezd s označením P4927 (u 11 vlakových cest a 13 posunových cest) a přejezd P4926 (u 16 vlakových cest a 16 posunových cest). Uzavření přejezdů P4926 a P4927 je dle závěrových tabulek nezbytnou součástí činností vedoucích k postavení těchto vlakových nebo posunových cest.

Celkem je možné ve stanici Velim realizovat následující počet úkonů:

- 32 vlakových cest, které se skládají ze 2 činností
- posunových cest skládajících se ze dvou úkonů je možné postavit 67
- úkonů obsahujících dvě činnosti nebo činnosti s odezvou je ve stanici celkově možných 99
- úkonů obsahujících 3 činnosti nebo činnosti s odezvou je ve stanici možných 33
- úkonů, které obsahují 4 činnosti nebo činnosti s odezvou, je ve stanici možných 8
- úkon skládající se z pěti činností je možný pouze jeden.

Přičemž je vždy počítáno s tím, že úkon k postavení posunové cesty se skládá pouze ze 2 činností, respektive činností s odezvou. Tento precedent odpovídá provozní praxi a je aplikován i pro všechny následující stanice. Podle dat z CDP Praha (2018) nebyl ani jednou za sledované období použito úkonu skládajícího se z 5 činností. Navíc úkon skládající se ze 4 činností byl použit ve sledovaném období jen jednou.

### ***Stanice Poříčany***

Stanice Poříčany je odbočnou stanicí nacházející se v km 371,094 trati Kolín – Praha, Libeň a v km 0,000 trati Poříčany – Nymburk. V případě stanice Poříčany nejsou při základní obsluze zabezpečovacího zařízení realizovány činnosti s odezvou.

Ve stanici Poříčany je možné realizovat:

- 86 úkonů vedoucích k postavení vlakové cesty, které se skládají ze 2 činností
- 108 úkonů vedoucích k postavení posunové cesty, které se skládají ze 3 činností
- 89 úkonů vedoucích k postavení vlakové cesty, které se skládají ze 4 činností
- 56 úkonů vedoucích k postavení vlakové cesty, které se skládají z 5 činností
- 16 úkonů vedoucích k postavení vlakové cesty, které se skládají z 6 činností

S velikostí stanice samozřejmě roste počet variantních jízdnicích cest, k jejichž postavení vedou právě provedené úkoly, které mohou být pro zaměstnance zadávajícího povely zabezpečovacímu zařízení různě časově náročné. Z dat CDP Praha (2018) bylo zjištěno, že ani jednou nebyl ve sledovaném období uskutečněn úkon skládající se z 5 a 6 činností.

### ***Stanice Pečky***

Stanice Pečky je odbočnou stanicí nacházející se v km 363,144 trati Kolín – Praha, Libeň a v km 0,000 trati Pečky – Bošice. Ve stanici Pečky je možné provádět 34 úkonů obsahujících činnost s odezvou a z tohoto počtu obsahují činnosti s odezvou 2 posunové cesty. Celkově je ve stanici možné realizovat:

- 59 úkonů, které po vykonání dvou činností respektive činností s odezvou, zabezpečí požadovanou vlakovou cestu
- po vykonání dvou činností nebo činností s odezvou může pro 106 úkonů ve stanici Pečky vzniknout posunová cesta

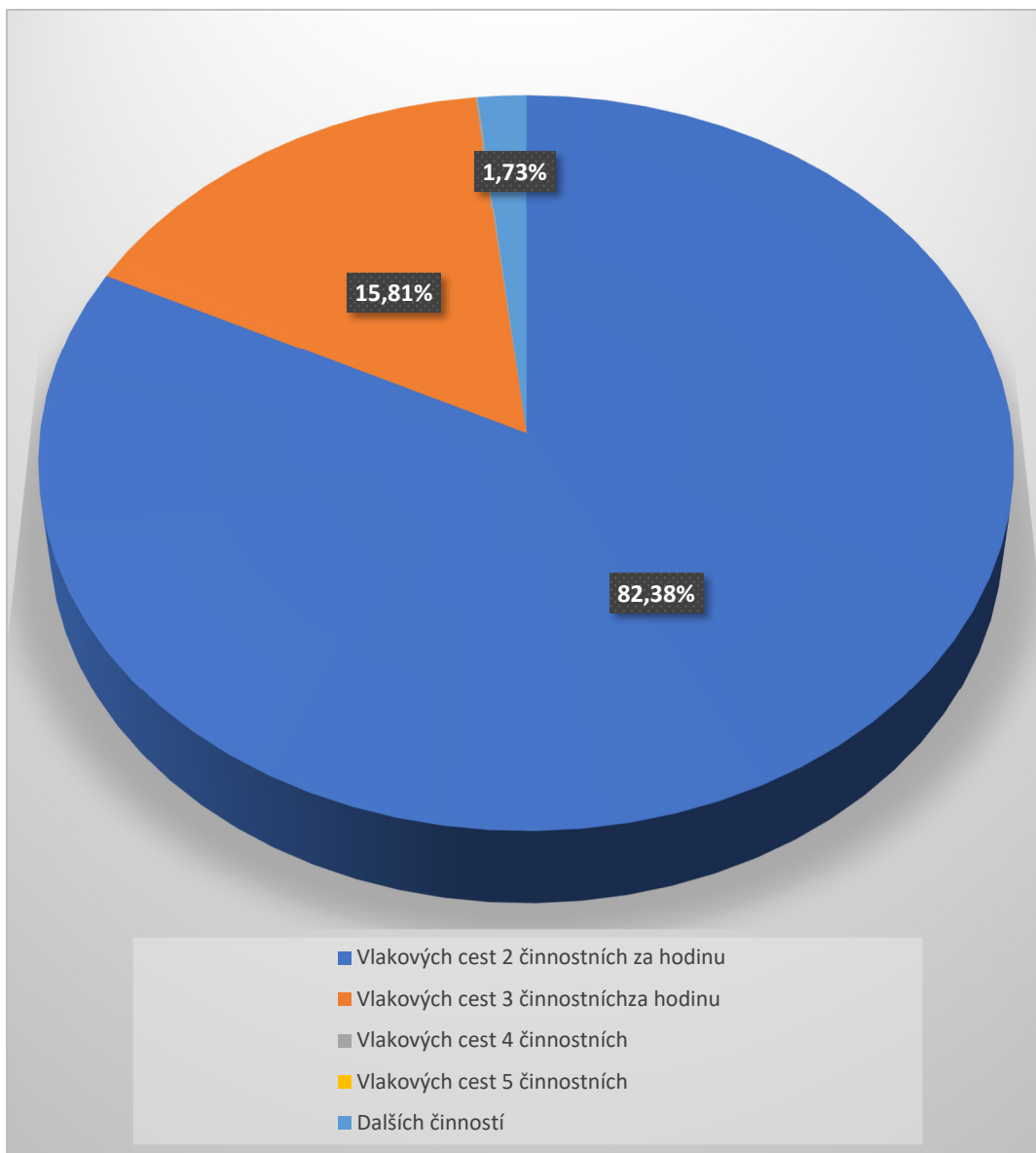
- 62 úkonů, které po vykonání třech činností nebo činností s odezvou vedou ke vzniku vlakové cesty
- 15 úkonů, kde po vykonání čtyřech činností nebo činností s odezvou vznikne vlakové cesta

Dále bylo rozborem dat zjištěno, že průměrně bylo vykonáno v průběhu sledovaných 14 dnů za denní směnu ve sledované oblasti v průměru 815 úkonů a v průběhu noční směny průměrně 407 úkonů. Ze sledovaného období jsou vyloučeny dny, během nichž je pro sledovaný úsek evidovaný rozkaz o výluce.

Tyto úkony mohou být dále autorem děleny podle toho, kolik činností jednotlivý úkon obsahuje. Informace o počtu úkonů je možné zjistit rozborem z Pomůcek GVD (2020). Úkony jsou tedy pro potřeby práce děleny podle počtu činností a bez ohledu na to, zda jsou součástí činnosti nebo činnosti s odezvou, na:

- skládající se ze dvou činností (např. vždy postavení posunové cesty, postavení vlakové cesty od návěstidla na kolej), používaný název v disertační práci je 2 činnostní úkon
- skládající se ze tří činností (např. vlaková cesta s variantní trasou, vlaková cesta pro průjezd, nejsou-li ve stanici cestová návěstidla), používaný název v disertační práci je 3 činnostní úkon
- skládající se ze čtyř činností (např. vlaková cesta pro průjezd po koleji s cestovými návěstidly, volba variantní vlakové cesty), používaný název v disertační práci je 4 činnostní úkon
- úkony skládající se z 5 a více činností se za celou dobu sledování řízení provozu neobjevily
- mezi další úkony patří např. rušení vlakové cesty, které obsahuje více činností. Zde je velmi variabilní jejich časová náročnost na obsluhu, na niž má vliv mnoho faktorů jako závěry vlakové cesty, omezení vlakových cest a podobně

Rozborem bylo zjištěno, že 98 % úkonů je 2 činnostní nebo 3 činnostní. Detailně tento stav ukazuje Obrázek 3.



Obrázek 3: Graf úkonů dle počtu činností v úkonu

zdroj: Autor s využitím CDP Praha (2018)

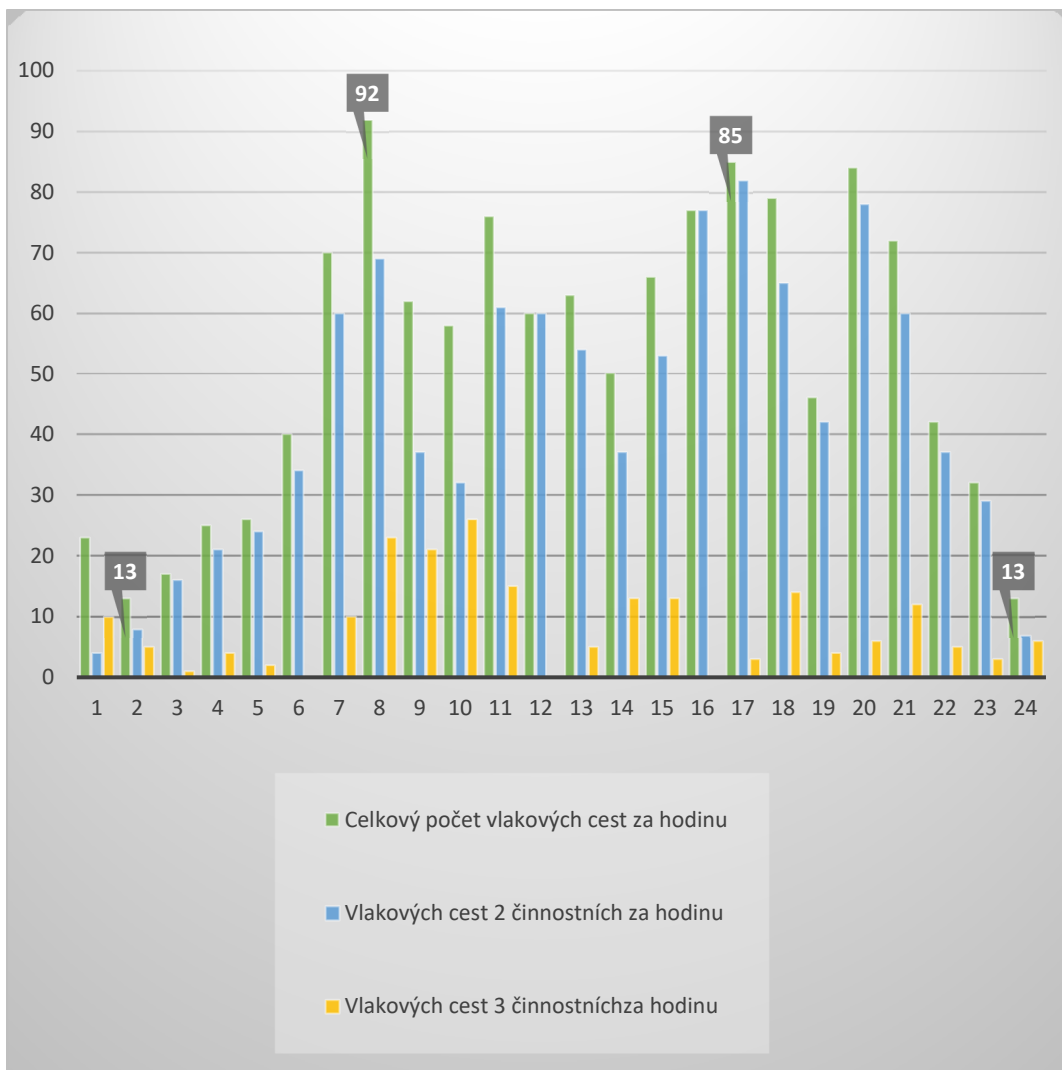
Stav, který zobrazuje Obrázek 3, jasně ukazuje, že je pro potřeby disertační práce dostatečně vypovídající zabývat se pouze úkony obsahujícími dvě nebo tři činnosti.

Pro hodnocení je však nezbytné, znát čas mezi jednotlivými úkony, jak již bylo uvedeno na začátku této kapitoly. Tento čas je doba, po kterou má dispečer řídicí pohyb drážních vozidel prostor pro rozhodnutí vykonat další úkon. Samozřejmě, hodnota času úkonů po sobě následujících je dostatečně vypovídající, avšak neméně důležitý je i počet operací za jednu hodinu. Obě tyto hodnoty právě reprezentují, zda úkon, který byl vykonáván bezprostředně za předchozím, byl takto bezprostředně vykonáván několikrát za sebou, nebo zda se jednalo o nahodilou událost.

Nejvíce úkonů ve stanicích bylo v průměru:

- nejčastěji mezi 7. a 8. hodinou ranní, kdy bylo vykonáno 92 úkonů, z nichž 69 úkonů obsahovalo dvě činnosti a 23 úkonů obsahovalo činnosti tři
- jako druhý nejrušnější časový úsek byl nalezen čas mezi 16. a 17. hodinou, kdy bylo v průměru realizováno 85 úkonů za hodinu a z toho 3 úkony byly se třemi činnostmi, zbytek byl se dvěma činnostmi
- avšak nejvíce úkonů složených ze 3 činností bylo realizováno mezi 9. hodinou dopolední a 10. hodinou dopolední, přičemž počet úkonů celkově byl v průměru pouze 58 úkonů za daný časový úsek

Je nepochybné, že počet úkonů dosti kopíruje křivku dopravních špiček a sedel v osobní dopravě. Velmi pěkně to ilustruje i Obrázek 4, na němž je zobrazen graf počtu úkonů v hodinových časových úsecích.



Obrázek 4: Graf počtu úkonů rozdělený po hodinách

zdroj: Autor s využitím CDP Praha (2018)

#### 4.2.2 Porovnání úseku s jinými úseky železniční sítě v ČR

Úsek pro validaci dat byl vybrán na I. železničním koridoru, a to v úseku mezi stanicemi Poříčany a Kolín. Tento úsek byl vybrán z toho důvodu, že je jedním z nejvytíženějších úseků železniční sítě v České republice. Větší intenzita dopravy je dle Prohlášení o dráze (2020) pouze na úseku z Prahy-Libně do Českého Brodu. Tento úsek je však svou topologií jiný než většina sítě v České republice, a to hlavně proto, že v mezistaničním úseku se nenacházejí dvě, ale tři traťové koleje. Ovšem cílem autora není navrhované řešení ověřovat na úseku, který neodpovídá většině sítí řízených z CDP, navrhované řešení má však být použitelné univerzálně.



Tříkolejný provoz klade na dispečera řídicího pohyby drážních vozidel jiné nároky na řízení provozu než provoz dvojkolejný, případně čtyřkolejný. Z důvodu možnosti srovnání s jinými úseky s nehomogenním jízdním řádem a možnosti ověřit univerzální aplikace navrhovaného řešení je hodnocen tento dvojkolejný úsek, který je na konvenční železniční síti častější (běžný).

Pro porovnání se autorovi jeví jako vhodné srovnání s úsekem řízeným bez PPV s podobnou intenzitou provozu a důležitostí. Za takový úsek byl zvolen ten ze stanice Prosenice do stanice Hranice na Moravě. Tento úsek je méně vytížen, stále je řízen z CDP, avšak nedisponuje lokálně situovanými výpravčími, bylo by tedy nezbytné při výpadku CDP jeho funkci plně nahradit jiným pracovištěm. O práci řízení provozu bez PPV pojednává Ponížil (2015), jenž také upozorňuje na eventuální výpadek DOZ a nutnosti jeho nahrazení. Avšak možnost využít zaměstnance PPV je považlivější variantou, proto je pro validaci výsledků použito této varianty. Zaměstnanci PPV navíc mohou figurovat jako záložní pracoviště. Dále je ověřováno, zda jsou pracovníci PPV dostatečnou zálohou v případě výpadku CDP.

Jiné úseky řízené z CDP, ať už s lokálně situovanými výpravčími, nebo bez nich, řídí úseky s nižším vytížením, proto případný přenos činností na záložní pracoviště bude jednodušší. O tomto možném přenosu pojednává kapitola 5 a kapitola 6, kde je dále vyčísleno i přenesení povinností pro daný konkrétní úsek. Toto vyčíslení je však možné aplikovat i na jiné úseky dopravní sítě, a to kdekoliv, čímž se navržené řešení stává univerzálním.

#### **4.2.3 Dílčí závěr**

Jak je z této kapitoly patrné, dispečer řídicí pohyby drážních vozidel je vytížen značně nerovnoměrně. Práce dispečera řídicího pohyby drážních vozidel může být hodnocena dle rozličných metod. Práci dispečera se okrajově věnuje i Zeman (2008) a Ponížil (2015). Obě publikace však pojednávají o práci dispečerů řídicích pohyby drážních vozidel, bez obsazení funkce lokálně situovaných výpravčích, a tedy bez možnosti řízení např. na srovnávacím úseku.

## 4.3 Využití fuzzy logiky

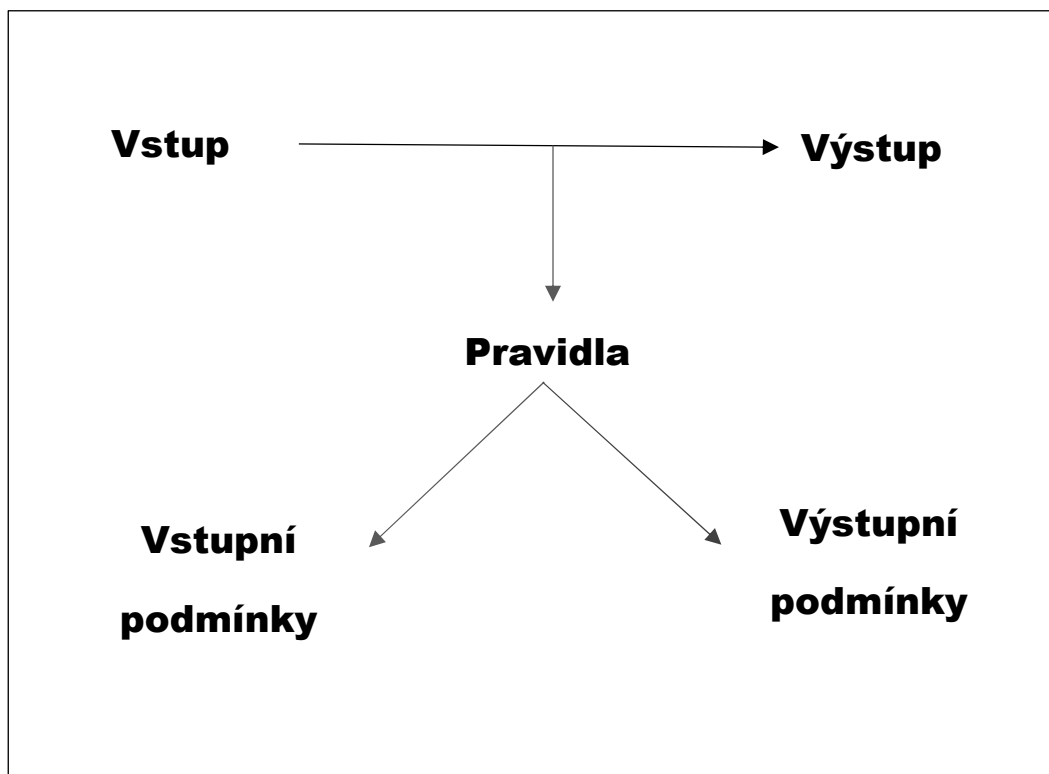
V posledních letech se fuzzy logika aplikuje v mnoha oborech a rozsah použitelnosti sahá od spotřebního zboží, přes výběr portfolia až po systémy pro podporu rozhodování (Běhounek, 2012). Je tedy oprávněné tvrdit, že fuzzy logika je vhodná i pro hodnocení práce řídicích dispečerů. Pro pochopení rostoucího významu fuzzy logiky je nejprve nutné uvést fuzzy logiku v souvislostech.

### 4.3.1 Fuzzy logika

Fuzzy logika pojednává o relativním vyjádření přesnosti. Jak hovoří Běhounek (2012), logika je věda pracující ze své podstaty se dvěma hraničními hodnotami, a to 0 a 1 (respektive ano a ne). Tímto hodnocením však není vždy možné přesně pojmenovat daný děj v praktickém příkladu. Pro skutečné děje může být právě fuzzy logika vhodnější než běžná logika. Fuzzy logika totiž počítá i se stavy, které nejsou ostře ohraničené, tedy s hodnotami mezi 0 a 1. Logika totiž není schopna počítat s hodnotami „málo“, „hodně“ nebo „tak akorát.“ Díky fuzzy logice je možné vyčíslit jiné hodnoty a hranice si stanovit neostře.

Dle Zadeha (1973) má fuzzy logika dva různé významy. V užším chápání je fuzzy logika a její logický systém rozšířením vícehodnotové logiky, ale v širším slova smyslu je fuzzy logika téměř synonymem pro teorii fuzzy množin, která se vztahuje k objektům s neostrými hranicemi, mezi kterými je příslušnost dána mírou dané příslušnosti. Z tohoto pohledu je nepochybné, že fuzzy množina je větví fuzzy logiky. Mezilidská komunikace byla formována po velmi dlouhou dobu tak, aby byla dostatečně pohodlná, a přesto efektivní. Fuzzy logika čerpá z této běžné neexaktní komunikace a je na ní její fungování založeno. Z tohoto důvodu je fuzzy logika vhodným nástrojem pro spojení běžné komunikace a přesnosti vyjádření. Je tedy nepochybné, že fuzzy logika je z podstaty velmi odlišná od tradičních vícehodnotových logických systémů. Fuzzy logika patří mezi plnohodnotné způsoby, jak mapovat vstupní prostor pro data výstupního prostoru. Tato logika je výchozím bodem pro všechny vstupní veličiny a je zde kladen velký důraz na jednoduchost zpracování. Mapování vstupního prostoru jde nejlépe popsat na jednoduchých příkladech. Například zjištění rychlosti jízdy automobilu a zatížení jeho motoru, určení, jaký převodový stupeň bude zařazen. Jako poslední lze zmínit frázi: „Zítra bude velmi studený den“, kde není přesně dáno,

kolik stupňů Celsia, vzhledem k ročnímu období, opravdu bude. Fuzzy logika je tedy založena na běžném popisu fungování světa. Informace v běžné lidské komunikaci není exaktní informací dané problematiky.



Obrázek 5: Zobrazení obecného případu fuzzy interferenčního systému

zdroj: Autor s využitím Zadeh (1996)

Úkolem fuzzy logiky je mapovat vstupní veličiny na výstupní prostor pomocí primárního mechanismu, kterým je seznam příkazů „If-Then“. Tento seznam primárních mechanismů je nazýván Fuzzy Logic Toolboxem (1995-1999) jako Pravidla. Pravidla jsou velmi důležitá, protože odkazují na proměnné, případně na přídavná jména, která popisují tyto proměnné. Než je vytvořen systém, jenž bude interpretovat pravidla, tak je nutné definovat všechny pojmy, které je plánováno využívat a také přídavná jména tyto pojmy definující.

Základem fuzzy logiky je fuzzy množina. Tato fuzzy množina je množina bez ostře definované hranice a může obsahovat prvky, které jsou součástí dané množiny jen částečně. V této oblasti je důležitá tzv. funkce členství, jež se musí pohybovat mezi 0 a 1 (tedy hodnotami

logiky). Samotný průběh funkce pak může být i libovolná křivka, jejíž tvar je definován jako průběh funkce a vyhovuje potřebám výpočtu. Klasická množina může být vyjádřena např. jako:

$$A = \{x | x > 6\} \quad (3)$$

Přičemž fuzzy množina je rozšířením klasické množiny. Pokud  $x$  je množina vyjádření a jeho prvky jsou označeny jako  $x$ , pak je fuzzy množina  $A$  v  $X$  definována jako množina prvků:

$$A = \{x, \mu_A(x) | x \in X\} \quad (4)$$

Kde  $\mu_A$  se nazývá příslušnost členství  $x$  v  $A$ . Členství funkce mapuje každý prvek  $X$  na hodnotu členství mezi 0 a 1.

Jednou z nejdůležitějších věcí u fuzzy logiky je skutečnost, že fuzzy logika je nadmnožinou standardní logiky (Zadeh, 1996). Jak již bylo uvedeno, fuzzy logika rozšiřuje klasickou logiku i o hodnoty mezi 0 a 1. Stejně tak mezi dvěma hodnotami logiky může být spojení konjunkcí, disjunkcí, případně negací.

### ***Pravidlo If-Then***

Důležité je ve fuzzy logice pravidlo If-Then (Zadeh, 1996). To se používá k formulaci podmíněných příkazů obsahujících fuzzy logiku. Pro potřebu fuzzy logiky a převedení lingvisticky vyjádřených hodnot z fuzzy množiny musí platit pravidlo: když  $x$  je množina  $A$ , pak  $y$  je množina  $B$ . Tyto množiny jsou definovány v rozsahu  $X$  a  $Y$ . V tomto bodě se část pravidla „když“ nazývá premisou a část pravidla „pak“ se nazývá konsekvencí. Příkladem takového tvrzení může být: „Když je počet vlakových cest (úkonů vykonaných výpravčím) veliký, pak vlaky často mimořádně zastavují (pohyby drážních vozidel jsou realizovány se zavadami).“ V tomto tvrzení je nepochybné, že počet pohybů drážních vozidel je reprezentována číslem mezi 0 a 1, tedy premisa je interpelace zadávající určitou hodnotu čísla mezi 0 a 1. Na druhou stranu kvalita průjezdu vlaků a realizace posunu (průběh pohybu drážních vozidel) jsou reprezentovány jako fuzzy množina následná (konsekventní), která přiřazuje celou fuzzy množinu  $B$  výstupní proměnné  $y$ . Pravidlo If-Then tedy určuje různou funkci slovu „je“ („jsou“), podle toho, zda se nachází v premise, či konsekvenci. Aktuální hodnota vstupu je proměnná.

Obecně tedy platí, že vstupem pravidla If-Then je hodnota vstupní proměnné (v tomto případě počet vlakových a posunových cest, pro potřeby práce upravených dle počtu činností a označených jako počet pohybů drážních vozidel). Výstupem je fuzzy množina (v tomto případě tedy průjezd vlaků, respektive provádění posunu dle jízdního řádu, pro potřeby práce nesoucí souhrnné pojmenování jako realizace pohybů drážních vozidel). Tato sada bude dále defuzzyfikována a výstupu bude přiřazena jedna hodnota. Použití pravidla If-Then je podmíněno vyhodnocením vstupní proměnné (premisy) a později implikace (použití tohoto výsledku).

Pro fuzzy logiku tedy neplatí, že pokud: „Počet pohybů drážních vozidel je velký, tak vlaky mimořádně zastavují a posun není realizován dle plánu.“ Samozřejmě, že konsekvence je ovlivněna premisou, ale v tomto případě je ovlivněna několika premisami. A to, jak výrazně vstupní veličina (premisa) ovlivňuje tu výstupní, je dáno stupněm příslušnosti každé veličiny.

### ***Fuzzy interference***

Fuzzy interference je, jak bylo uvedeno v předešlé části kapitoly, proces, jak mapovat vstupní prostor na výstupní prostor. Mapování poté poskytuje základ, ze kterého lze vyvozovat rozhodnutí (Zadeh, 1996). Proces fuzzy závěru obsahuje funkce příslušnosti, operátory fuzzy logiky i pravidlo If-Then. Následující část hodnotí fuzzy interferenční systém pro potřeby disertační práce a více se zaměřuje na tuto problematiku.

Právě vytížení dispečerů řídicích pohyby drážních vozidel je obor, v němž není možné použít běžnou logiku. Není možné říct, že  $p$  pohybů za hodinu je vhodný počet a  $p+1$  již vhodný není.

### ***Fuzzy vstupy***

Vstupy do fuzzy systému musí být fuzzyfikovány (Zadeh, 1996). To znamená že u každého časového údaje je potřeba určit míru příslušné funkce členství. Tento údaj je klíčový pro rozhodnutí, jaký čas má dispečer řídicí pohyb drážních vozidel na rozhodnutí o pohybech drážních vozidel.

V případě dispečerů řídicích pohyby drážních vozidel byla popsána verbálně vyjádřená situace: „Jak krátká je doba na rozhodování mezi dvěma úkony.“ A dále byla popisována verbálně vyjádřená situace: „Jak často byl narušen pohyb drážních vozidel oproti plánu (oproti jízdnímu řádu).“

### ***Aplikace fuzzy operátorů***

Jsou-li vstupy již fuzzyfikovány, tak je znám i stupeň, jakým jsou jednotlivé části příslušné každému pravidlu (Zadeh, 1996). V případě náročnosti práce dispečerů a narušení pohybů drážních vozidel nabývají více hodnot. Fuzzy operátor se využívá právě v případech, kdy je potřeba získat jednu hodnotu, která představuje výsledek předchůdce tohoto pravidla. Tato hodnota je pak aplikována na výstupní funkci. Vstupem do fuzzy operátorů je několik (až nekonečně mnoho zanesených na křivce) hodnot členství z fuzzyfikovaných vstupních proměnných. Výstupem je potom jediná pravdivá hodnota.

### ***Aplikování implikační metody***

Použití metody implikace musí předcházet určení váhy zvoleného kritéria. Každé z kritérií má danou svou váhu (hodnotu oscilující mezi 0 a 1), která je aplikována na číslo stanovené jako vstupní hodnota. Určení váhy tohoto vstupu bylo pro potřeby disertační práce stanoveno z části za použití expertního systému a z části dle podmínek stanovených v EUROCONTROL ESARR 2 (2009).

Po přiřazení správné váhy pro každé kritérium je implementována implikační metoda. Následkem je fuzzy množina, která je reprezentována funkcí příslušnosti. Funkce příslušnosti je vlastně vhodně lingvisticky určená váha. Výsledkem je upravená hodnota, využívající funkci spojenou se vstupem (jedno číslo). Vstupem implikačního procesu je jednotlivé číslo dané předchůdcem a výstupem je fuzzy množina (Zadeh, 1996). Jak již bylo řečeno, implikace je implementována pro každé pravidlo.

### ***Agregace všech výstupů***

Agregace představuje proces, pomocí kterého jsou fuzzy množiny, představující výstupy každého pravidla, sloučeny do jedné fuzzy množiny. Každý výstup je agregován pouze jednou proměnnou, a to jako předposlední krok před defuzzyfikací. Vstupem je agregací proces, představující seznam zkrácených výstupních funkcí vrácených implikačním procesem pro každé pravidlo (Zadeh, 1996). Výstupem procesu agregace je pak jedna fuzzy množina

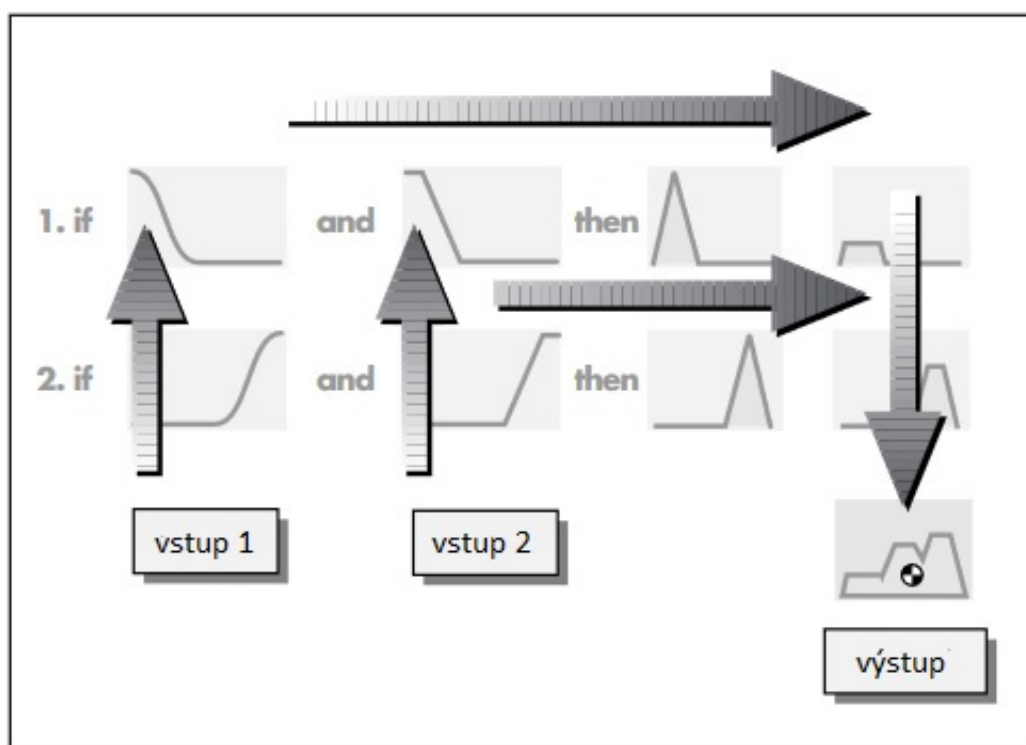
pro každou výstupní proměnnou. Metoda agregace musí být komutativní, to znamená, že pořadí, ve kterém jsou pravidla prováděna, není vůbec důležité.

### ***Defuzzyfikace***

Fuzzy množina, přesněji agregovaný výstup fuzzy množin, je začátek procesu defuzzyfikace (Zadeh, 1996). Výstupem je pak jednotlivé číslo. Stejně jako fuzzy proces pomáhá vyhodnocení pravidel během jednotlivých kroků, tak konečný požadovaný výstup pro každou proměnnou je zpravidla jednotlivé číslo. V každém případě, agregované fuzzy množiny zahrnují rozsah výstupních hodnot, a proto musí být defuzzyfikovány, aby bylo možné vyřešit individuální výstupní hodnotu ze sady.

### ***Fuzzy interferenční diagram***

Fuzzy interferenční diagram zobrazuje všechny části fuzzy interferenčního procesu, který je v této části popisován. Informační tok je výmluvně popsán na diagramu, který zobrazuje Obrázek 6.



Obrázek 6: Fuzzy interferenční diagram

zdroj: Fuzzy Logic Toolbox (1995 – 1999) upraveno autorem

Grafy, jež zobrazuje Obrázek 6, jsou jen ilustrační, důležité na nich demonstrovat, jak daný informační tok postupuje, kdy probíhá prostup každým řádkem, a to ve všech sloupcích. Tento způsob dokládá kompaktně vše, od lingvistické variabilní fuzzyfikace až po agregovanou defuzzyfikaci.

Tento popsaný proces prakticky ilustruje aplikaci fuzzy logiky na řízení provozu a vytížení dispečerů řídících pohyb drážních vozidel. Tento proces je použit z toho důvodu, že činnost těchto dispečerů popisuje lépe než klasická logika.

Následující kapitola blíže přibližuje vstupy a výstupní hodnoty dané fuzzy logikou.

#### **4.3.2 Aplikace fuzzy logiky na řízení provozu**

Fuzzy logika byla v disertační práci aplikována z toho důvodu, že lépe popisuje činnosti dispečerů řídících pohyb drážních vozidel, může lépe reflektovat jejich odborné schopnosti a v neposlední řadě i jejich aktuální vyčerpání. Tyto vstupy jsou zároveň proměnnými a patří mezi faktory, které nabývají v určitém čase danou specifickou hodnotu, čímž ovlivňují právě hodnotu kvality pohybů železničních kolejových vozidel. Tuto hodnotu však není možné vyčíslit exaktní hodnotou, ale nabývá hodnot v intervalech, které navíc nejsou ostře ohraničené. Z toho důvodu, že vstupní hodnoty nelze vyčíslit exaktně, bylo pro jejich hodnocení vybráno hodnocení právě pomocí fuzzy logiky. Odborné schopnosti jsou určeny podle počtu odsloužených směn ve funkci dispečera centrálního dispečerského pracoviště. Tato veličina by opět mohla vzniknout pomocí hodnocení fuzzy logiky, není však cílem této disertační práce tyto hodnoty vypočítávat, proto byl tento údaj získán z expertního systému a z posouzení CDP Praha (2018). Aktuální vyčerpání je určené podle doby od nástupu zaměstnance na příslušnou směnu. Předpokladem je, že zaměstnanci přichází na směnu řádně odpočatí a v dobré fyzické i psychické kondici a v průběhu směny se tato dobrá kondice postupně snižuje. Stejně tak tento prvek byl stanoven expertním systémem za využití hodnocení dle EUROCONTROL ESARR 2 (2009) a EUROCONTROL ESARR 5 (2002). Z těchto



proměnných lze vytvořit seznam pravidel, podle nichž je systém dále posuzován. Tato pravidla jsou:

- Když je dispečer řídící provoz velmi zkušený a odpočatý a když je počet pohybů drážních vozidel nízký, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány bez závad (jízda vlaku bez zastavení).
- Když je dispečer řídící provoz velmi zkušený a odpočatý a když je počet pohybů drážních vozidel střední, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány bez závad.
- Když je dispečer řídící provoz velmi zkušený a odpočatý a když je počet pohybů drážních vozidel vysoký, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány bez závad.
- Když je dispečer řídící provoz velmi zkušený a odpočatý a když je počet pohybů velmi vysoký, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány s mírnými závadami.
- Když je dispečer řídící provoz velmi zkušený a unavený a když je počet pohybů drážních vozidel nízký, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány bez závad.
- Když je dispečer řídící provoz velmi zkušený a unavený a když je počet pohybů drážních vozidel střední, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány bez závad.
- Když je dispečer řídící provoz velmi zkušený a unavený a když je počet pohybů drážních vozidel vysoký, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány s mírnými závadami (pohyb je narušen v méně než 5% případech).
- Když je dispečer řídící provoz velmi zkušený a unavený a když je počet pohybů drážních vozidel nízký, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány s mírnými závadami.
- Když je dispečer řídící provoz velmi zkušený a odpočatý a když je počet pohybů drážních vozidel velmi vysoký, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány bez závad.

- Když je dispečer řídící provoz zkušený a odpočatý a když je počet pohybů drážních vozidel nízký, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány bez závad.
- Když je dispečer řídící provoz zkušený a odpočatý a když je počet pohybů drážních vozidel střední, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány bez závad.
- Když je dispečer řídící provoz zkušený a odpočatý a když je počet pohybů drážních vozidel vysoký, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány s mírnými závadami.
- Když je dispečer řídící provoz zkušený a odpočatý a když je počet pohybů drážních vozidel velmi vysoký, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány se závadami.
- Když je dispečer řídící provoz zkušený a unavený a když je počet pohybů drážních vozidel nízký, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány bez závad.
- Když je dispečer řídící provoz zkušený a unavený a když je počet pohybů drážních vozidel střední, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány s mírnými závadami.
- Když je dispečer řídící provoz zkušený a unavený a když je počet pohybů drážních vozidel vysoký, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány se závadami.
- Když je dispečer řídící provoz zkušený a unavený a když je počet pohybů drážních vozidel velmi vysoký, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány se závadou pro každý pohyb drážního vozidla.
- Když je dispečer řídící provoz začátečník a odpočatý a když je počet pohybů drážních vozidel nízký, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány bez závad.
- Když je dispečer řídící provoz začátečník a odpočatý a když je počet pohybů drážních vozidel střední, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány s mírnými závadami.

- Když je dispečer řídící provoz začátečník a odpočatý a když je počet pohybů drážních vozidel vysoký, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány se závadami.
- Když je dispečer řídící provoz začátečník a odpočatý a když je počet pohybů drážních vozidel velmi vysoký, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány se závadou pro každý pohyb drážního vozidla.
- Když je dispečer řídící provoz začátečník a unavený a když je počet pohybů drážních vozidel nízký, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány s mírnými závadami.
- Když je dispečer řídící provoz začátečník a unavený a když je počet pohybů drážních vozidel střední, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány s mírnými závadami.
- Když je dispečer řídící provoz začátečník a unavený a když je počet pohybů drážních vozidel vysoký, pak jsou pohyby drážních vozidel realizovány se závadou pro každý pohyb drážního vozidla.
- Když je dispečer řídící provoz začátečník a unavený a když je počet pohybů drážních vozidel velmi vysoký, pak již provoz nefunguje (závad v pohybech drážních vozidel je tolik, že se nestačí rozposunovávat soupravy, všechny vlaky do cílových stanic přijíždějí natolik zpožděné, že nestíhají obrátové spoje, strojvedoucím nevycházejí turnusové směny apod.).

Důležitým faktorem je, jak již bylo uvedeno, kvalita průjezdů vlaků. To, aby vlaky projížděly dostatečně kvalitně, je nezbytné pro zachování pravidelnosti a včasnosti železniční dopravy. Kvalita průjezdu vlaků záleží na kvalitě jednotlivých činností a úkonů, které vedou k pohybům vlaků na železniční síti. Úkon (resp. činnost) je tedy základním stavebním kamenem pro určení vytížení dispečerů řídících provoz.

Jak bylo zjištěno z rozboru dat CDP Praha (2018) práce dispečera řídícího pohyby drážních vozidel, tak průměrně za minutu dispečer řídící pohyb drážních vozidel vykoná 1,534 úkonů (medián je 1,5 úkonu). Avšak toto je průměrné číslo, resp. medián. Jak bylo zjištěno z dostupných dat, není výjimkou, že úkony po sobě navazují po méně než 15 sekundách. Ve špičkové hodině se jedná o 21 úkonů. 7 úkonů po sobě navazuje po méně než

5 sekundách. To jasně ukazuje na značnou nerovnoměrnost činností prováděných dispečerem řídicím pohyb drážních vozidel. I v takto krátkém časovém úseku se musí dispečer řídicí pohyb drážních vozidel rozhodnout o jízdě cestě tak, aby byla dostatečně kvalitní. V průměru za celý den se jedná o 27,3 % ze všech úkonů bezprostředně navazujících na jiný. Při zhodnocení v rámci jednotlivých hodin se jednalo až o 67 % úkonů, které navazovaly po méně než 15 sekundách na úkon jiný.

Pro potřeby fuzzyfikace bylo určeno, že 15 sekund je dostatečně dlouhá doba pro kvalitní rozhodnutí o vlakové cestě. Celkově 72,6 % z úkonů z CDP Praha (2018) mělo dostatečný čas na zhodnocení kvality vlakové cesty. Hodnoty nacházející se v čase mezi úkony do 15 sekund jsou hodnoceny fuzzy logikou dle kritérií uvedených v této kapitole. Hodnota 15 sekund však není definitivní a je dále v práci hodnocena.

Jako vstupní hodnoty jsou určeny právě zkušenosti daného dispečera řídicího pohyb drážních vozidel. Tyto vstupní hodnoty byly stanoveny expertním systémem na základě empiricky naměřených hodnot získaných simulačním programem. Výstupy ze simulačního programu byly sledovány pomocí funkce keylogger s obrazovým výstupem a potom byly dále hodnoceny. Hodnocení probíhalo dle počtu činností, které v danou chvíli bylo potřeba vykonat, stejně tak byl řešen čas od začátku běhu simulace pro zohlednění únavy. Z výsledovaného bylo zhodnoceno, že zkušenost dispečera má vyšší váhu než jeho vyčerpání. To odpovídá i tvrzení uvedeném v EUROCONTROLL ESARR 5 (2002) v tom, že podmiňuje práci začínajícího dispečera za asistence dispečera zkušenějšího. Daná podmínka také jasně určila, že funkce příslušnosti u zkušenosti daného dispečera má vyšší hodnotu než jeho aktuální vyčerpání. Proto hodnota zkušenosti dispečera má hodnotu váhy příslušnosti 0,75 a vyčerpání dispečera jen 0,25. Tyto hodnoty jsou určeny expertním systémem a při validaci nejlépe odpovídají reálně získaným hodnotám.

## 5 VLASTNÍ ŘEŠENÍ DISERTAČNÍ PRÁCE

Jak již bylo uvedeno na začátku práce, zabezpečení jízdy vlaků řízených z CDP je z technického hlediska dostatečné. Slabým prvkem začínají být pracovníci, kteří řídí provoz (dispečeri). Právě pracovníci řídící provoz se stávají, díky stále se zlepšujícímu zabezpečovacímu zařízení, omezujícím prvkem propustnosti tratí řízených z regionálních a centrálních dispečerských pracovišť. Vliv práce dispečerů řídících provoz na kvalitu provázení je značný. Pro určení zatížení dispečerů řídících provoz byla pro potřeby této práce zvolena vědecká metoda fuzzy logiky. Teoretický základ této metody uvádí kapitola 4.3.1, kde je také uvedeno, jak je práce řídících dispečerů hodnocena a co patří mezi vstupy pro fuzzyfikaci.

Kapitola 4.3.2 dále popisuje proces fuzzyfikace vstupních údajů do systému fuzzy logiky. Avšak pro určení výstupů je důležitější defuzzyfikace, která poskytuje ověřitelné výstupy.

Defuzzyfikací je určeno, kolik pohybů je schopen obsloužit jeden dispečer bez toho, aniž by byla snížena kvalita provázení vlaků, případně o kolik je daná kvalita provázení vlaků snížena. Právě tato hodnota je vyčíslena dle vstupních dat a díky fuzzy logice.

Vstupní hodnoty do systému fuzzy logiky reflektují skutečná data uvedená v CDP Praha (2018) a výstupy ze simulačního programu. Zde je dobré zmínit, že počet operací, jejich rozložení v čase, přesnost operací, a tedy i následná kvalita provázení, jsou si velmi podobné. Podobnost dat je způsobena stejným způsobem využívání dopravní sítě v České republice, kde na dispečera řídícího provoz v době dopravních špiček jsou kladeny větší požadavky.

### 5.1 Návrh systému založeného na fuzzy logice

Návrh a simulace řešení pro potřebu disertační práce byly provedeny v systému Fuzzy Logic Toolbox, jenž rozšiřuje výpočetní prostředí systému MATLAB o nástroje pro návrh systémů na bázi fuzzy logiky. Grafická uživatelská rozhraní zpřehledňují všechny kroky návrhu inferenčního fuzzy systému. K dispozici jsou funkce pro mnoho obvyklých metod používaných ve fuzzy logice, které jsou uvedeny v části 4.3.1.

Následující obrázek zobrazuje postup řešení popsany v této kapitole. Detailnější zobrazení se nachází v Příloze č. 3

Vstupní data: upravené dle reálných činností (Příloha 1 a Příloha 2):

Vstupní data: vlevo editor pravidel, vpravo grafické zobrazení pravidel

Obrázek 7: Návrh systému založený na fuzzy logice

zdroj: Autor

Informace, jež zobrazuje Obrázek 7, jsou také popsány v souboru *fis*, který je uveden

zde:

```
[System]
Name='KvalitaKuUkonumKuVycerpani'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=9
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
Name='Zamestnanci'
Range=[0 1]
NumMFs=3
MF1='pardal':'trimf',[0.6 0.999 1]
MF2='zkuseny':'trimf',[0.399736147757256 0.9 1]
MF3='novacek':'trimf',[0 0.1 0.9]

[Input2]
Name='Cinnost'
Range=[0 1]
NumMFs=3
MF1='malo':'trimf',[-0.5 0.15 0.4]
MF2='dost':'trimf',[0 0.967018469656992 1]
MF3='zadny':'trimf',[-2 0 0.1]

[Output1]
Name='provezeni'
Range=[0 1]
NumMFs=3
MF1='bez':'trimf',[0 0 1]
MF2='obcas':'trimf',[0.1 0.5 0.9]
MF3='kazdeho':'trimf',[0.7 1 1.3]

[Rules]
3 2, 2 (1) : 1
3 1, 3 (1) : 1
2 2, 1 (1) : 1
2 1, 2 (1) : 1
2 3, 2 (1) : 1
1 2, 1 (1) : 1
1 1, 1 (1) : 1
1 2, 2 (1) : 1
3 3, 3 (1) : 1
```

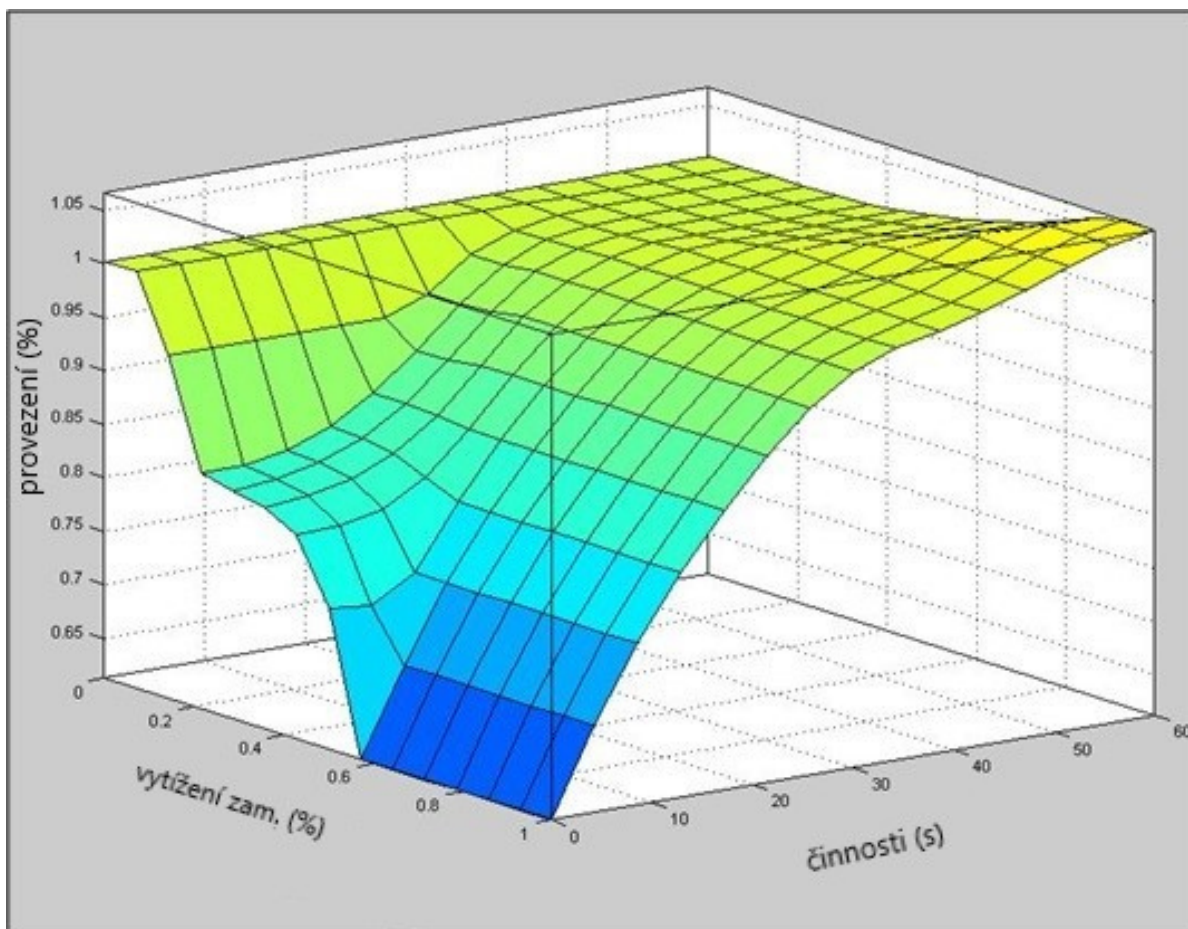
## 5.2 Určení počtu činností pro dispečery

Jak bylo již uvedeno v předchozích částech práce, jako rozhodný čas byla prvotně zvolena hodnota 15 sekund mezi jednotlivými činnostmi. Tato doba byla zvolena z toho důvodu, že je zvládnutelná i při dlouhodobější práci dispečera řídicího dopravy a v žádné části dne není překročený maximální počet úkonů, které jsou v dané hodině vykonávány.

Avšak dle výsledků defuzifikace není možné stanovit jeden časový úsek, který by byl dostatečně dlouhý na to, aby činnosti vedoucí k pohybům drážních vozidel byly prováděny při zachování plné kvality provázení. Výstupní hodnota defuzifikace bude vždy ve vybraném intervalu (viz Obrázek 8).

Ze vstupních dat, která vzešla ze informací o znalosti dispečera a celkového počtu činností, je zřejmé, že bezchybné provezení je v případě úkonů, které po sobě následují po 15 sekundách a méně, jen v necelých 86 % u nejpovážlivější varianty. Je tedy žádoucí prodloužit limitní dobu mezi jednotlivými operacemi, čímž se zároveň snižuje kapacita dopravní cesty, a to proto, že dispečer za daný čas bude schopen zprostředkovat méně pohybů drážních vozidel za definovaný časový úsek.



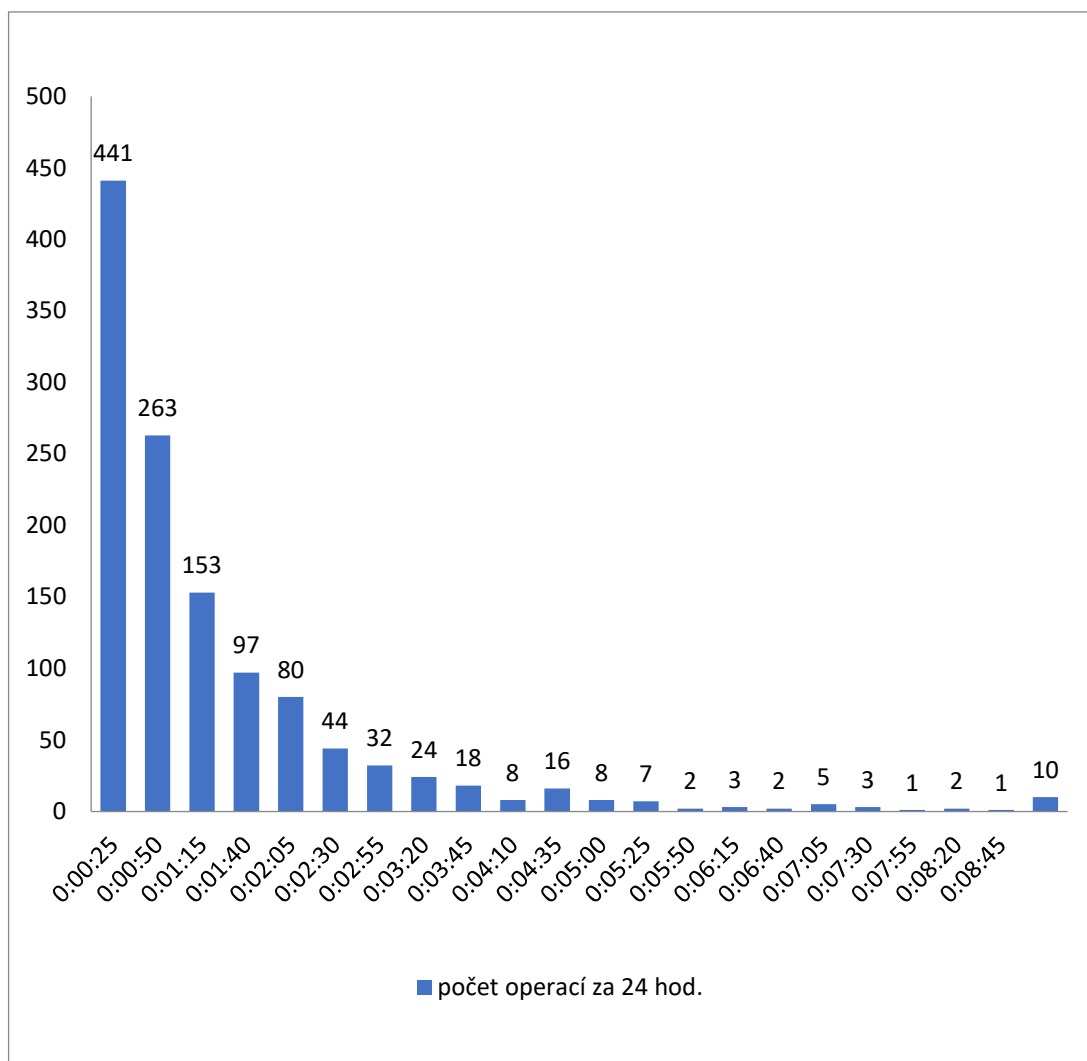


Obrázek 8: Vliv počtu činností a zaměstnanců na provezení – graf

zdroj: Autor

Graf zobrazuje oblasti, v nichž jsou vykonávané úkony chybové (horní část) a bez chyby (spodní část). Graf zohledňuje dlouhodobé činnosti zaměstnanců, jejich profesní způsobilost a vliv těchto jevů na celkovou kvalitu provezení.

Zvýší-li se mezera mezi jednotlivými úkony o 10 sekund, tedy na 25 sekund mezery mezi jednotlivými úkony, tak se kvalita v provázení zvýší na téměř 93 % i v nejpovážlivější variantě. Přičemž kvalita provázení stoupne samozřejmě i ve variantách, kdy je využíván takový dispečer, který za daný časový úsek dokáže bezchybně provádět i více úkonů. Na tomto místě je potřeba upozornit na to, že i chybný úkon dispečera nesmí v žádném případě způsobit nebezpečnou situaci (jen snižuje kvalitu provázení vlaků). Za zajištění naprosté bezpečnosti v případě provázení je zodpovědná technická základna zabezpečovacího zařízení, o níž důkladně pojednává kapitola 5.3.1.



Obrázek 9: Četnost mezer mezi jednotlivými úkony, dle optimalizované varianty

zdroj: Autor s využitím CDP Praha (2018)

V případě hraniční hodnoty 25 sekund na jednotlivou činnost je oproti 15 sekundám tato hranice posunuta. Obrázek 2 ukazuje situaci, při níž jsou hodnoceny operace po 15 sekundách. Jsou-li řešeny operace po 25 sekundách, tak tento stav znázorňuje Obrázek 9.

Na grafu je vidět, že počet operací, které po sobě následují po méně než 25 sekundách je v průměru 441, což značí, že tyto operace je potřeba distribuovat, ať už na PPV či pomoci dispečerovi s těmito operacemi jinak.

Tato distribuce je potřeba pro případy, kdy je žádoucí zachovat kvalitu provázení na požadované úrovni. V daném úseku je tedy nutné, aby byl dispečer doplněn o dalšího pracovníka (zpravidla se jedná o výpravčího PPV), kterému část činností bude dislokována tak, aby dispečer řídící provoz dané činnosti zvládal provádět bezchybně.

Výsledky uvedené v této kapitole jsou vybrané hodnoty, jež jsou výstupem z dané funkce příslušnosti z fuzzy logiky. Celkové výstupy a výsledky jsou uvedeny v příloze disertační práce.

### **5.3 Možnost převedení funkce dispečera CDP na jiné DOZ nebo RDP**

Převedení funkce dispečera z jednoho místa na druhé musí reflektovat rozložení funkčních částí zabezpečovacího zařízení a jejich systémové vazby. Vazby v systému jízdnicích cest nesmí být nijak narušeny a úroveň bezpečnosti nemůže být snížena. Stejně tak musí být reflektovány veškeré požadavky předpisů provozovatele dráhy. V první řadě je nutné hodnotit technické podmínky zabezpečení jízd vlaků a také personální převedení řízení provozu.

#### **5.3.1 Technické podmínky**

V případě technických podmínek je nezbytné hodnotit, zda se samotné logické jádro zabezpečovacího zařízení nachází v místě CDP, či jinde. Jak uvádí Vicherek (2013), většina systémů funguje tak, že logické jádro zabezpečovacího zařízení se nachází v řízené dopravně. Dispečer pouze manipuluje s ovládacími prvky zabezpečovacího zařízení, a to dálkově z CDP, případně z jiného místa. Pokud je tedy funkce výpravčího z dopravní převedena na dispečera, případně i na lokálně situovaného výpravčího, pak je technicky možné funkci ovládání zabezpečovacího zařízení převádět jinam. Disertační práce bude dále řešit možnost řízení dopravy pouze u případů, kdy se logické jádro zabezpečovacího zařízení nachází v řízené stanici, neboť se jedná o systém využívaný na většině tratí a případné kompletní vyřazení CDP systém dále nijak neovlivní.

Technické zabezpečení řízení provozu je na vysoké úrovni. O technickém zabezpečení například hovoří i Vicherek (2013). U tratí řízených z DOZ jsou plněny podmínky zabezpečení SIL4 dle normy CENELEC.

Hlavní vlastností sítí v železniční dopravě je, že z důvodu ochrany provozu je infrastruktura datových sítí pro řízení provozu zpravidla fyzicky oddělena od veřejné počítačové sítě, jedná se tedy o uzavřenou síť. U uzavřených sítí musí útočník v případě plánovaného útoku fyzicky proniknout k řízené síti. Není možné, aby útočník podnikl útok z internetu nebo jiné veřejné počítačové sítě. Tato vlastnost sítě, která je pro případ útoku výhodou, se v případě přerušení provozu stává zároveň nevýhodou. Při výpadku není možné provoz řídit odkudkoliv, ale pouze z předem daných míst (Zeman, 2008), jež jsou součástí této vnitřní sítě. Těmito místy mohou být pracoviště regionálně situovaných výpravčích, ale např. i RDP, která jsou již obsazena dispečery regionálních tratí.

Další výhodou je, že logické jádro zabezpečovacího zařízení se nachází v daných stanicích. Je tedy nejen softwarově, ale i hardwarově chráněno před útokem a neumožňuje vytvořit situaci, která ohrožuje bezpečnost v pohybu kolejových vozidel. Tedy i v případě, že by zabezpečovací zařízení v dané stanici bylo napadnuto kybernetickým útokem, tak není možné za běžného fungování zabezpečovacího zařízení vytvořit takovou situaci, aby byl ohrožen provoz. V SŽDC Z1 (2007) a SŽDC D24 (1965) je takovéto zabezpečovací zařízení nazýváno jako zabezpečovací zařízení IV. kategorie. A právě Dušek (2010) u zabezpečovacího zařízení IV. kategorie uvádí, že není možné, ať už jakkoliv lidskou vůlí nebo neúmyslně, vytvořit běžnou obsluhu zabezpečovacího zařízení takovou situací, kdy bude ohrožen železniční provoz.

V této práci tedy primárně není řešeno řízení v krizových situacích, při nichž není funkční zabezpečovací zařízení, ale naopak, když není možné provoz na železnici řídit z důvodu nedostatečných kapacit zaměstnanců. Text tedy neobsahuje hlubší analýzu hodnocení práce zabezpečovacího zařízení, ale zaměřuje se na dispečery, kteří řídí provoz. Jak je uvedeno v této kapitole, případná porucha zabezpečovacího zařízení nebo přerušení jeho funkčnosti již bylo řešeno Zemanem (2008), Ponížilem (2015), Duškem (2010), a částečně i Vicherkem (2013).

### **5.3.2 Podmínky personálního obsazení**

V současné době je nezbytné, aby zabezpečovací zařízení bylo ovládáno zaměstnancem (dispečerem), který bude svou činností rozhodovat o pohybech drážních vozidel v řízené oblasti, prioritách vlaků a staničních kolejích. Dispečer zajišťující ovládání zabezpečovacího zařízení musí znát i místní ustanovení a podmínky provozu v řízené oblasti. Podmínkou pro činnost dispečera je jeho zdravotní, psychologická a také odborná způsobilost. O podmínkách pro absolvování, pozbytí či odebrání způsobilosti dispečera k řízení provozu hovoří SŽDC Z1 (2007). Na tomto místě je také vhodné uvést, že pokud nahrazuje funkce zaměstnance CDP jiný zaměstnanec (ať už lokálně situovaný výpravčí, případně zaměstnanec RDP), tak musí splňovat stejné odborné znalosti jako zaměstnanec CDP, stejně tak musí pro vybrané stanice, které má řídit, disponovat místní znalostí.

O problematice hovoří kapitola 2.4.2, kde je uvedeno, že navrhované řešení v oblasti železniční dopravy není autorovi známo. Z toho důvodu bylo v disertační práci vypočteno zatížení dispečerů řídicích pohyby drážních vozidel a rozložení jejich práce v čase pomocí metod fuzzy logiky.

### **5.4 Finanční náklady spojené s návrhem autora**

Z důvodu nutnosti určit finanční náklady na provoz CDP s podpůrnými RDP musí být návrhy konkretizovány a vyčísleny na určité území. Náklady, které s rozšířením pracovních míst pro řízení provozu mohou vznikat, jsou především svázané se mzdou daných zaměstnanců. Jedná se tedy o mzdy, povinné odvody, případně benefity pro zaměstnance.

Avšak další nedílnou součástí nákladů je vytvoření zázemí pro tyto zaměstnance, přičemž musí být udržovány budovy, kde se dané pracovní místo bude nacházet. Stejně tak provoz těchto budov vyžaduje určité náklady, případně i investice (např. na rekonstrukci těchto budov, nebo chybí-li v daném místě budova, tak případně i na její výstavbu). Řešením tohoto problému může být i lokace těchto zaměstnanců na jedno místo, tato logika je mimo jiné aplikována i na CDP, čímž se náklady sníží. Avšak jak je již uvedeno v této práci, toto řešení je z části problematické, a to z toho důvodu, že odolnost takového řízení klesá. Snižování

případných nákladů na provoz proto není dobré řešit přesunem zaměstnanců do jednoho místa, protože se opět zvyšuje kritičnost daného prvku infrastruktury. Řešením může být např. rozdělit dané náklady, kdy provozní budova s výpravčími (např. výpravní budova železniční stanice) bude sloužit i jiným subjektům, které se budou spolupodílet na nákladech na provoz této budovy. Tato problematika však opět nemá přímou souvislost s tématem disertační práce, i když disertační práci značně ovlivňuje a je řešena v kapitole 2.3.

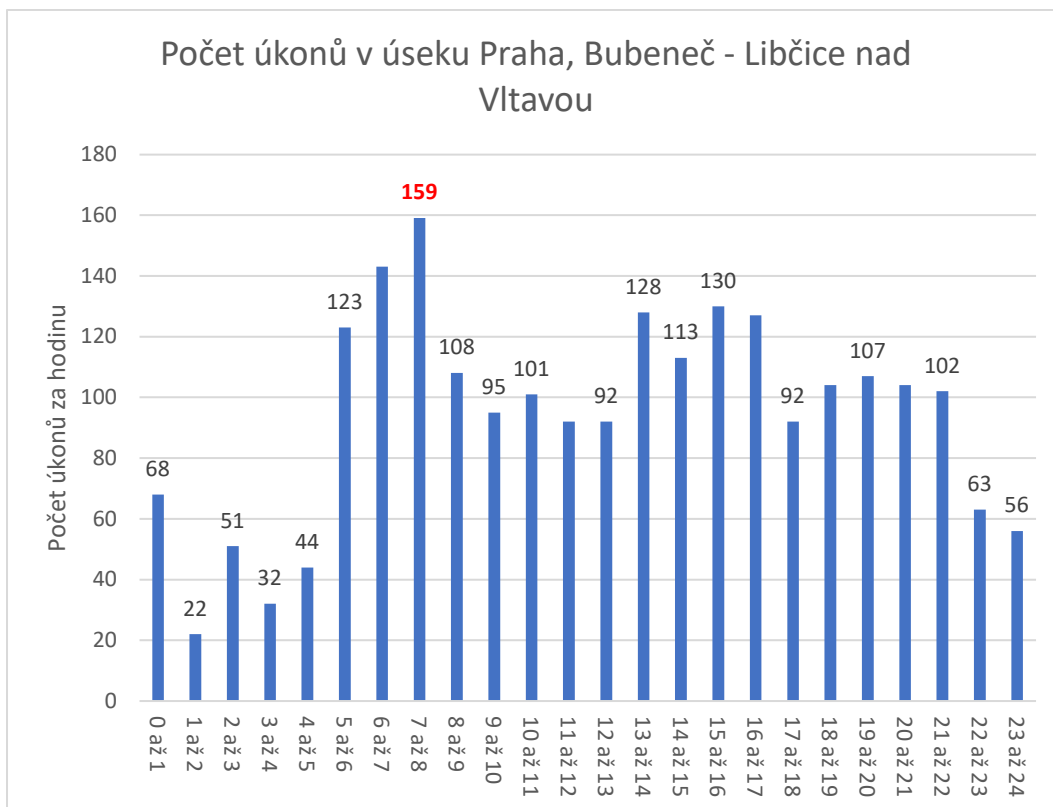
## 6 OVĚŘENÍ NAVRHOVANÉHO ŘEŠENÍ

Ověření navrhovaného řešení bohužel není možné realizovat pokusem v reálném provozu, protože by tím mohla být vážně přerušena funkčnost železniční dopravy. Z toho důvodu je uvedený pouze výpočet ověřující výpadek CDP matematicky, a to na konkrétním případě v České republice.

### 6.1 Ověření navrhovaného řešení na úseku řízeném z CDP Praha s lokálně situovanými výpravčími PPV

V případě CDP Praha byl pro vstup dat použit úsek Poříčany – Velim. O zatížení tohoto úseku, počtu činností dispečerů řídicích provoz, hovoří kapitola 4.2.1. Z toho důvodu, že data, která byla v kapitole 4.2.1 hodnocena, pochází z jízdního řádu 2019, bude i validace výsledků hodnocena na datech z jízdního řádu pro stejné období. V neposlední řadě byl rok 2019 posledním rokem s neomezeným provozem, který ještě nebyl omezen celosvětovou pandemií, a data tedy více odpovídají běžnému provozu.

Pro ověření navrhovaného řešení byl vybrán úsek ze stanice Praha – Holešovice do stanice Kralupy nad Vltavou, přičemž krajní stanice nejsou součástí, protože nejsou řízeny stejným dispečerem řídicím provoz. Zahrnutý proto jsou jen stanice Roztoky u Prahy, Libčice nad Vltavou a výhybna Praha – Bubeneč. Celkový počet úkonů, který dispečer řídicí provoz v tomto úseku vykoná, ukazuje Obrázek 10.



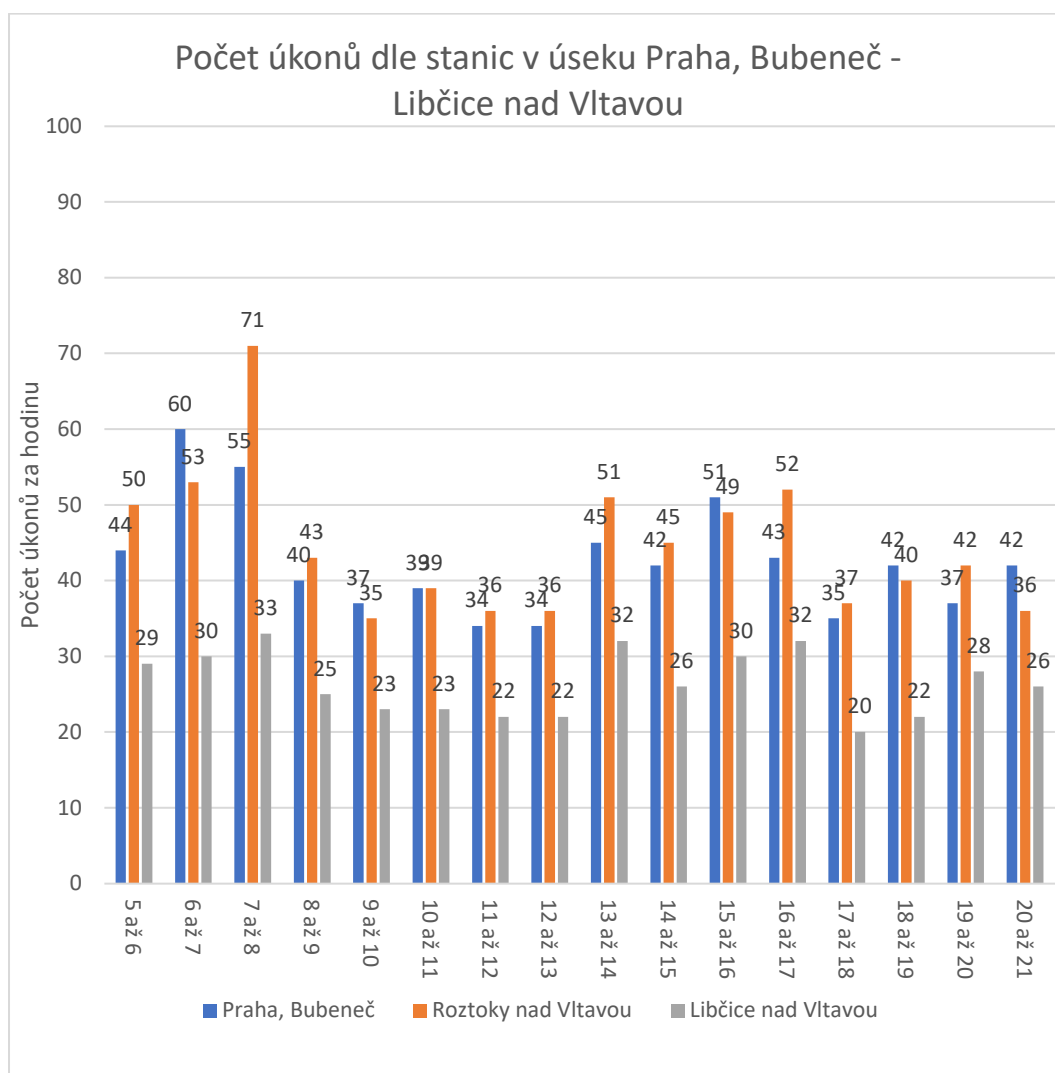
Obrázek 10: Graf počtu úkonů v úseku Praha, Bubeneč – Libčice nad Vltavou po hodinách

zdroj: Autor s využitím Pomůcek GVD (2020)

Při aplikaci pravidla daném v části 5.1 vychází, že počet tras, které dokáže daný dispečer řídicí provoz za daný čas obsloužit, je překročen pouze v případě špičkové hodiny. Nejen tedy v případě výpadku CDP, ale také pravidelně je potřeba delegovat činnosti dispečera řídicího provoz z CDP na jiného zaměstnance mezi 7 a 8 hodinou ranní. Jako vhodné řešení se zde jeví přenést řízení jízd vlaků z jedné z vybraných dopraven na zaměstnance PPV, který je méně zatížen a slouží právě pro tyto případy. Z tohoto důvodu jsou jednotlivé úkony, které ukazuje Obrázek 10, rozdělené po jednotlivých stanicích. Takové rozdělení zobrazuje Obrázek 11. Tento graf z důvodu přehlednosti obsahuje pouze data v denní době. Kompletní tabulka s počtem úkonů se nachází v příloze této práce.



Řízení provozu je za běžného stavu možné předat výpravčímu PPV pouze u jednotlivé stanice nejen ve špičkové hodině. Z důvodu topologie sítě se jako vhodná jeví krajní stanice, tedy Libčice nad Vltavou, protože dispečera řídicího provozu na CDP potom zatěžuje jen jeden mezistaniční úsek. Případně se jako vhodná stanice pro předání řízení nabízí také Roztoky nad Vltavou, přičemž v Roztokách dochází pravidelně k obratu vlaků osobní příměstské dopravy. Roztoky jsou však pro dispečera řídicího provozu z CDP mezilehlou stanicí a musí v ní stále sledovat dění.



Obrázek 11: Stanice v úseku Praha, Bubeneč – Libčice nad Vltavou, jednotlivě, výběr dat

zdroj: Autor s využitím Pomůcek GVD (2020)

Avšak v případě nastání mimořádné situace, kdy CDP není schopno řídit provoz na určeném úseku tak, jak uvádí část 2.4.2, je řízení provozu převzato plně výpravčím PPV (který plní funkci lokálně situovaného výpravčího). V případě, že by v tomto definovaném úseku nastal výpadek ve špičkové hodině, není výpravčí PPV schopen obsluhovat všechny stanice dostatečně kvalitně a mohlo by docházet ke snížené kvalitě provázení vlaků. V danou chvíli je tedy žádoucí snížit výpravčímu PPV zatížení odebráním části úkonů, které vykonává. Ty lze odebrat tak, že ve vybrané stanici proběhne tzv. výluka dopravní služby. Avšak tento stav omezí kapacitu dopravní cesty. Dalším řešením je již uvedené převedení povinností dispečera řídicího provozu na jiného dispečera, který řídí provoz a je stále schopen obsluhovat i další definovanou oblast. Obě dvě varianty jsou zhodnoceny v části 6.1.1 a 6.1.2.

### **6.1.1 Výluka dopravní služby ve vybrané dopravně**

Jak již bylo uvedeno výše, jedním z řešení v případě výpadku CDP a řízení dopravy výpravčím PPV je uzavřít vybranou dopravnu. Uzavření dopravní s kolejovým rozvětvením lze uskutečnit tak, že jízda vlaků bude povolena jen po hlavních kolejích, posun ve stanici bude zakázán a návěstidla platná pro danou kolej budou zneplatněna, nebo přepnuta do funkce návěstidla automatického bloku.

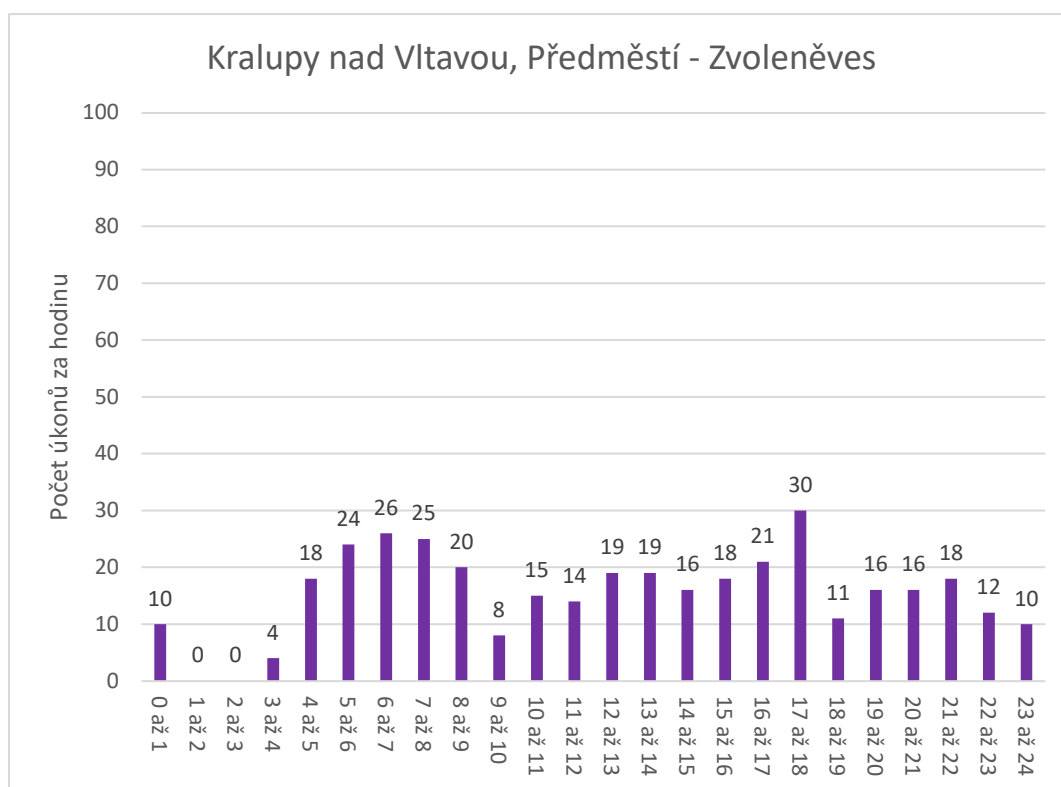
Tímto krokem se však sníží kapacita dopravní cesty a problém provázení vlaků se pouze přesune na sousední dopravnu s kolejovým rozvětvením. Práce se tedy dispečerovi řídicímu provozu nijak neusnadní, pouze se nutné operace s vlaky zúží na menší počet stanic. V tomto bodě je také nezbytné zmínit, že v případě posunu ve vyloučené stanici (např. přistavení vozů k nakládce, ukončení vlaků vedených lokomotivou a jejich otáčení) se budou muset tyto činnosti realizovat v sousední dopravně, případně budou zrušeny, respektive odloženy na jinou dobu.

Je tedy nepochybné, že výluka dopravní služby je kompromisní řešení a při výluce dopravní služby klesá propustnost dopravní cesty.

### 6.1.2 Převedení činnosti dispečera na jiné místo

Jinou variantou nahrazení dispečera řídicího provoz je převedení jeho funkce na jiného dispečera, který řídí provoz z RDP, případně z řídicí stanice DOZ. V případě kvalitního rozvržení činností v mimořádných a krizových situacích je možné zajistit provoz na železniční síti zcela bez omezení kvality provázení vlaků.

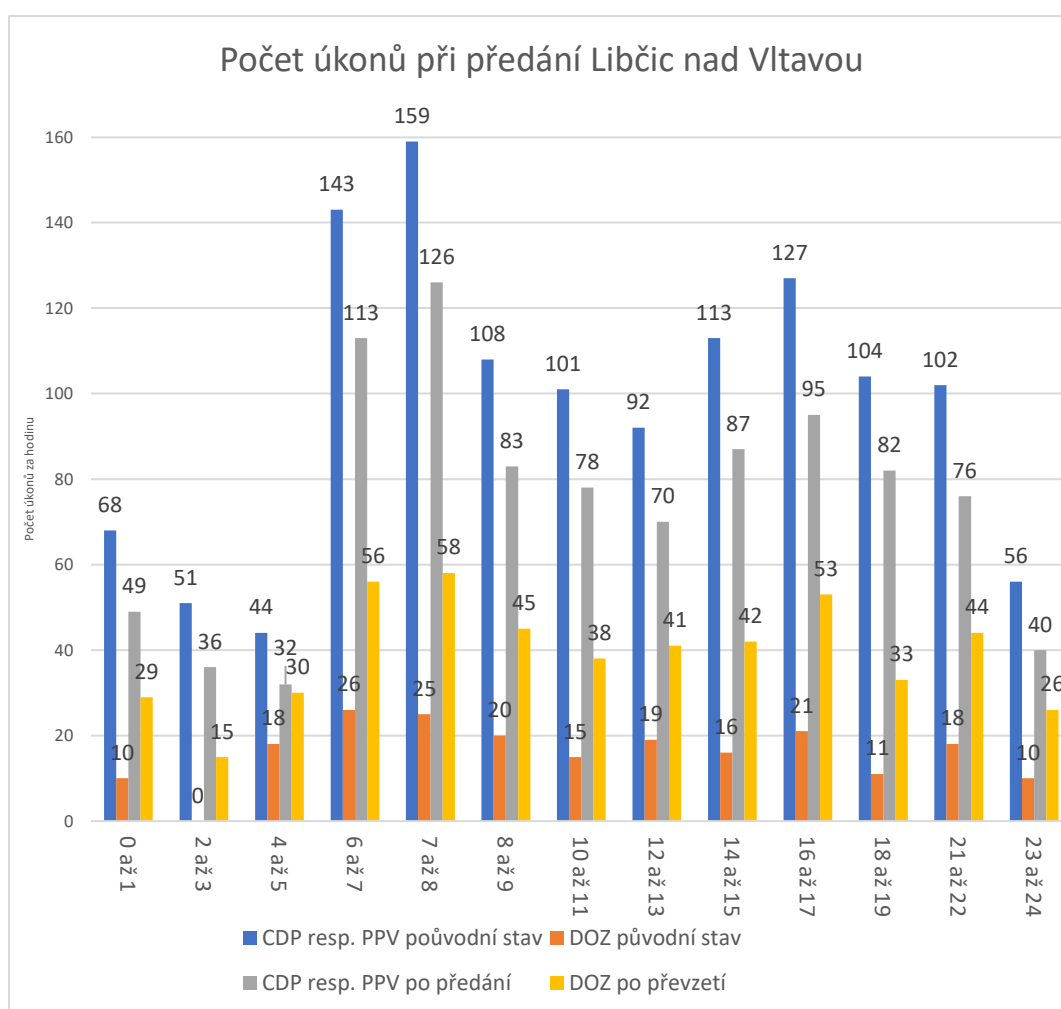
Pro hodnocenou oblast bylo vzorově autorem vybráno přenesení povinností dispečera řídicího provoz na úseku pod dohledem CDP (ať už se jedná o dispečera CDP, nebo dispečera PPV) na dispečera DOZ pro regionální trať, a to v úseku Kralupy nad Vltavou, Předměstí až Zvoleněves. Jedná se v tomto případě o trať regionální s velmi nízkou intenzitou provozu.



Obrázek 12: Graf počtů úkonů v úseku Kralupy nad Vltavou, Předměstí – Zvoleněves

zdroj: Autor s využitím Pomůcek GVD (2020)

Díky této nízké intenzitě je v případě splnění daných podmínek možné přenést řízení provozu z oblasti pod dohledem dispečera řídicího provoz z CDP nebo z PPV na dispečera řídicího provoz na této dálkově řízené trati. I v případě předání stanice Roztoky nad Vltavou, kde je největší počet úkonů, tak nedojde k přetížení dispečera řídicího provoz na trati řízené z DOZ, a to Kralupy nad Vltavou, Předměstí – Zvoleněves. Avšak jak je již v této kapitole zmíněno, je doporučeno předat řízení v krajní stanici řízené oblasti, a to v Libčicích nad Vltavou. Stav před předáním řízení stanice Libčice nad Vltavou a po předání reprezentuje graf, který uvádí Obrázek 13. Obrázek 13 obsahuje z důvodu přehlednosti, pouze výběr dat. Všechna data jsou uvedena v tabulce, která je součástí přílohy disertační práce.



Obrázek 13: Počet úkonů daného dispečera před a po přenesení činností, výběr dat

zdroj: Autor s využitím Pomůcek GVD (2020)

### **6.1.3 Dílčí závěr části**

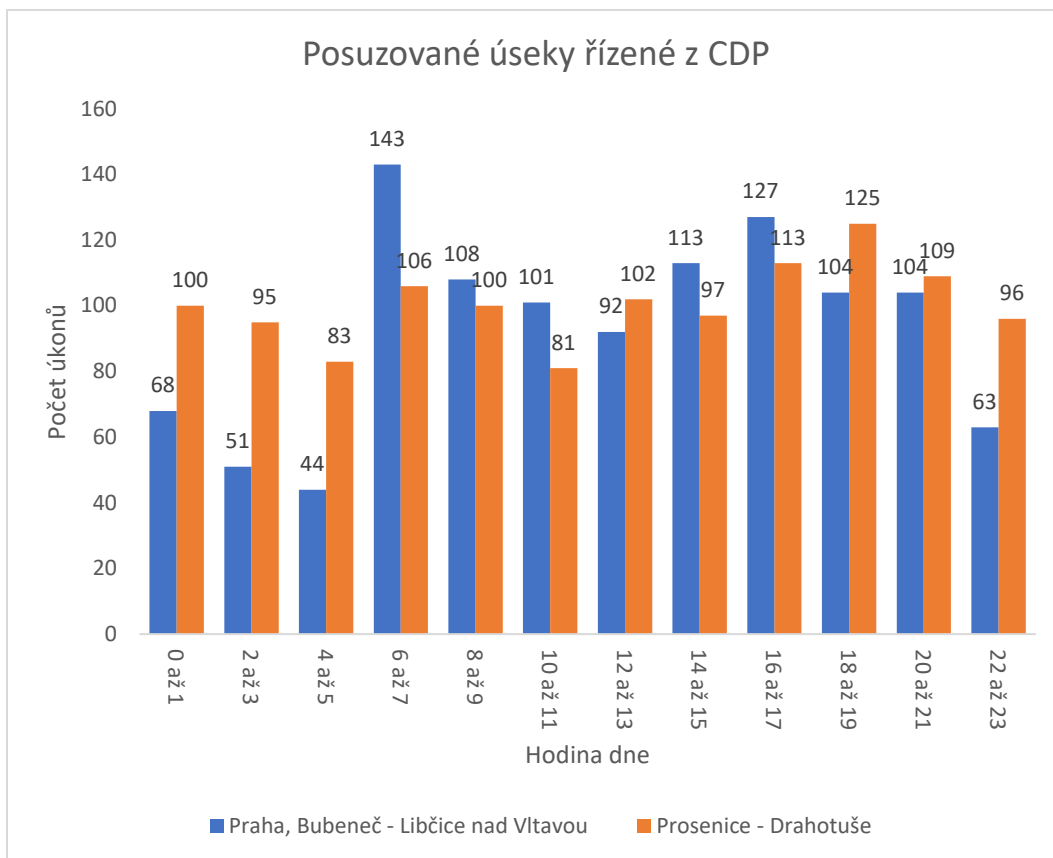
Je evidentní, že výpravčí PPV je prvkem, který značně zvyšuje odolnost řízení dopravy z CDP, avšak jak bylo výpočty dokázáno, jeho přítomnost nemusí být při výpadku CDP, zejména na velmi vytížených úsecích se značným pohybem drážních vozidel, dostatečnou zálohou. To například ukazuje i případ tratě Praha, Bubeneč – Kralupy nad Vltavou. Jako záloha může sloužit přenesení povinností na dispečera, který spravuje jinou trať. Takovéto přenesení povinností však musí splňovat další podmínky, dispečer řídící regionální trať musí mít i místní znalost stanic spadající pod CDP, které má přebírat. Nutná místní znalost opět zvyšuje náklady na výcvik takového dispečera, avšak zvýšení odolnosti dané infrastruktury je nezpochybnitelné. Navíc i výcvik jednoho výpravčího pro více úseků (ať už DOZ na regionálních tratích, současně s dispečerem řídícím provoz na CDP anebo výpravčím PPV) dále zvyšuje odolnost řízení dopravy jako celku, kdy daný zaměstnanec může univerzálně nahradit dispečery řídící provoz jak na PPV, tak i v CDP či DOZ.

## **6.2 Ověření navrhovaného řešení na úseku řízeném z CDP Přerov bez lokálně situovaných výpravčích PPV**

Pro úplnost je na tomto místě potřeba uvést i variantu bez lokálně situovaných výpravčích na pracovištích PPV. Tato varianta v případě ČR nastává na většině tratí řízených z CDP v Přerově, kde logika řízení s lokálně situovanými výpravčími nebyla aplikována. V případě CDP Praha je na všech řízených úsecích uplatněna logika řízení provozu s lokálně situovanými výpravčími neboli PPV. Jak je z předcházející části zřejmé a jak dokazuje i Zeman (2008), odolnost systému bez lokálně situovaných výpravčích PPV je nižší a v případě výpadku CDP je potřeba buď zastavit provoz, nebo, dle návrhu disertační práce, přenášet činnost zcela na dispečery řídící provoz DOZ regionálních tratí. Tento stav však není ideální, protože dispečeré regionálních tratí nebudou schopni bez podpory výpravčích PPV převzít provoz na regionálních tratích zcela.

### **6.2.1 Porovnání úseku Praha, Bubeneč – Libčice nad Vltavou s úsekem Prosenice – Drahotuše**

Pro potřeby disertační práce byl vybrán úsek Prosenice – Drahotuše. Tento úsek je řízen z CDP Přerov a je bez lokálně situovaných výpravčích. Z toho důvodu, že tento úsek se nenachází v oblasti, která by byla výrazně ovlivněna příměstskou dopravou, je rozložení jednotlivých pohybů vlaků a na ně navazujících úkonů jiné. I když celkový počet pohybů je velmi podobný již zde zmíněným úsekům (a to jak úseku Praha, Bubeneč – Libčice nad Vltavou, tak i Velim – Pečky), tak rozložení pohybů drážních vozidel daleko více reflektuje skutečnost, že daný úsek se nachází na trati, jež je páteří zejména pro nákladní železniční dopravu mezi Polskem a alpskými zeměmi. Nákladní doprava zde využívá technologii tzv. nočního skoku. Z toho důvodu jsou pohyby drážních vozidel, a především jízda vlaků, daleko rovnoměrnější v rozložení, a to v průběhu celého dne (v úseku nejsou výraznější rozdíly mezi dopravní špičkou a sedlem). Rozložení počtu úkonů v porovnání s úsekem Praha, Bubeneč – Libčice nad Vltavou zobrazuje Obrázek 14. Sloupcový graf je z důvodu přehlednosti zobrazen pouze každou druhou hodinu. Kompletní data jsou uvedena v Příloze 4.



Obrázek 14: Posuzované úseky řízené z CDP

zdroj: Autor s využitím Pomůcek GVD (2020)

### 6.2.2 Přenesení povinností CDP bez lokálně situovaných výpravčích

Jak je z uvedeného zřejmé, přenesení povinností dispečera řídicího provozu na CDP by v případě výpadku CDP bylo nutné zcela. Možnost výluky dopravní služby ve vybraných stanicích by byla možná stejně jako v případě úseku s výpravčími PPV, avšak tak jako v předchozím případě dochází ke snížení kapacity dopravní cesty a tím ke snížení kvality železniční sítě. Přenesení povinností dispečera řídicího provozu na CDP by tedy probíhalo systémově stejně. Jediným rozdílem je skutečnost, že se zde nenachází lokálně situovaný výpravčí, který je prvkem zvyšující celkovou odolnost řízení dopravy z CDP.

### **6.3 Závěr kapitoly**

Logika přenesení činností dispečera CDP se neliší v závislosti na tom, zda systém využívá, či nevyužívá lokálně situovaných výpravčích. Skutečností však zůstává, že v případě použití lokálně situovaných výpravčích je stabilita systému řízení CDP mimo dopravní špičky taková, že na mnoha řízených úsecích není potřeba podpora jiných subjektů, kromě výpravčích PPV. Výpočet ukazující jejich skutečnou potřebnost je uveden v příloze a výstupy z těchto výpočtů jsou součástí kapitoly 6.



## 7 PŘÍNOSY DISERTAČNÍ PRÁCE A DISKUZE

Disertační práce má přínosy jak v oblasti teoretické, tak praktické, a to zejména z hlediska zabezpečení provozu na železniční síti vzhledem k vyřazení CDP. CDP je prvkem dopravní kritické infrastruktury a je nutné jeho stavu věnovat příslušnou pozornost.

V práci byla vytvořena metoda k určení zatížení řídicích dispečerů za krizových situací. Tato metoda se ukázala jako použitelná pro běžný provoz, tudíž lze výsledek hodnotit jako univerzálnější, než jak byl původně zamýšlen.

Navržený postup ukazuje, jak je možné doplnit, případně i z části nahradit stávající systém řízení dopravy tak, aby byl zajištěn provoz v potřebném rozsahu. Pokud by došlo k nahrazení řídicího dispečera, zvyšuje se odolnost řízení železniční dopravy jako celku, protože již není závislá pouze na jednom prvku (v případě použití PPV na dvou prvcích), který řízení dopravy limituje.

Disertační práce není univerzálním návodem, ale výpočtem ukazuje jednu z možností nahrazení dispečera řídicího provozu.

Důležitým výsledkem disertační práce je využití fuzzy logiky pro hodnocení vytížení dispečerů řídicích provozů s cílem stanovení hodnoty vytížení dispečera, který řídí provoz. To je nezbytné pro určení toho, jak velký objem práce je nutné přenášet na jiné prvky. Tento výsledek práce je aplikovatelný nejen v případě řešení za krizových situací, ale také za nestandardních situací, které lze řešit operativně. Dokonce je žádoucí navrženou logiku aplikovat častěji z důvodu výcviku potřebného personálu.

Experimenty bylo zjištěno poznání v rovině práce a vytížení řídicích dispečerů aplikováním metod fuzzy logiky. Úroveň poznání byla zvýšena o vyčíslení zatížení řídicího dispečera a stanovení limitů pro jeho kvalitní a bezchybnou práci, což je klíčové pro funkčnost dopravy. Důležitým výsledkem zkoumání dané problematiky je vytvoření návrhu pro hodnocení limitů řídicích dispečerů.

Na základě zhodnocení práce řídicích dispečerů je možné určit, kolik jejich činností je potřeba přenést na jiné místo. Výhodnější je samozřejmě stav, kdy je dálkově řízená trať podpořena pracovníkem PPV.

Na základě výsledků disertační práce je možné zlepšit přípravu na řešení krizových situací v plánech krizové připravenosti a vyčíslit počet náhradních pracovníků pro řízení provozu. Ten je možné stanovit na základě znalosti počtu pohybů drážních vozidel v jednotlivých stanicích, jejichž ovládání je převáděno na jiné místo. Práce definuje, kolik činností za daný časový úsek může dispečer vykonat a určuje tak, jaké je zatížení dispečera řídicího provozu.

Praktickým přínosem této práce je, že díky známé hodnotě počtu činností za určený časový úsek lze stanovit, u kterých stanic a kam bude přenášeno řízení. Tento přenos ilustruje i návrh uvedený v kapitole 6.2, jenž demonstruje možnost přenesení řízení dopravy stanice Libčice nad Vltavou (které jsou řízené výpravčím CDP) na zaměstnance PPV, případně na dispečera řídicího provozu v úseku Kralupy nad Vltavou Předměstí až Zvoleněves. Dalším praktickým přínosem je určení počtu činností, které nepřetěžují dispečery řídicího provozu. Díky tomuto kroku, jež nepřetěžuje dispečery, je možné lépe plnit hygienické normy v pracovněprávní rovině.

Navrhovaná řešení mají také svá úskalí. Jedním z problémů je skutečnost, že komunikace mezi dispečery, kteří řídí přilehlé oblasti, musí probíhat telefonicky, či za využití jiných telekomunikačních prostředků. V případě práce na CDP tito dispečeré komunikují osobně. Avšak jak už uvádí kapitola 2.5.1 tato skutečnost je zároveň nevýhodou, neboť zaměstnanci sloužící společně na jednom místě jsou více náchylní na kapénkové onemocnění, které může následně zapříčinit přerušování provozu z důvodu nemoci zaměstnanců. Za další nevýhodu je možné považovat i nutnost udržovat budovy v provozuschopném stavu, nejen pro funkci zabezpečovacího zařízení a jeho příslušenství (např. pracoviště s umístěním logických jader zabezpečovacího zařízení bez trvalé lidské obsluhy), ale i pro zaměstnance, kteří potřebují na svých pracovních místech zázemí (např. osvětlení, toalety, prostory pro přípravu jídla). V neposlední řadě je nevýhodou i to, že mimo CDP nemá zpravidla dispečer přesné informace o dění mimo svou oblast, čímž mohou hlavně na vstupu či výstupu z řízené oblasti vznikat problémy, např. v určení sledu vlaků.

Vývoj řízení železniční dopravy v budoucnosti bez pochyb směřuje k automatizaci řízení provozu na železnici. Už dnes jsou testovány (a částečně fungují) systémy automatického stavění vlakových cest. Jejich návrh a případnou aplikaci uvádí Vicherek (2013). Nástup

automatického stavění vlakových cest dále sníží zatížení dispečerů řídicích provozů. Logika určení činností pro řídicí dispečery, která je uvedena v kapitole 5.2, bude v průběhu času dopracována vzhledem k novým podmínkám řízení provozu. Protože počet činností, které dispečeré budou po spuštění systému automatického stavění vlakových cest vykonávat, se sníží. Avšak náročnost těchto operací se naopak zvýší. Logika výpočtu za pomoci fuzzy logiky však bude stále funkční a při úpravě vstupních dat bude použitelná i v novém systému, využívajícího automatického stavění vlakových cest. Úprava vstupních dat bude pravděpodobně představovat prodloužení času mezi jednotlivými úkony, stejně tak jako zkušenost dispečerů řídicích provozů bude odlišná. Pro stanovení vstupních dat s využitím automatického stavění vlakových cest by bylo potřeba dalšího měření a zkoumání, jež by určilo případné hodnoty vstupů do fuzzy systému.

V případě rozšiřování CDP, které bude spojeno většinou s výstavbou a rekonstrukcí tratí (jež jsou v České republice reprezentovány zejména stavbou vysokorychlostních tratí) bude metoda vytížení řídicích dispečerů dále použitelná. Avšak je otázkou, zda budou pro krizové situace vysokorychlostní tratě nezbytné. Případně zda tyto tratě budou během krizových situací provozovány. Jejich provoz v poměrech České republiky bude nejspíše řízený z dalšího, (nově vybudovaného) CDP. Nicméně i při řízení provozu na vysokorychlostních tratích je koncepce provozu navržená v této disertační práci aplikovatelná. Řízení provozu na vysokorychlostních tratích se od řízení provozu na konvenční síti příliš neliší. Stejně tak technické zabezpečení je podobné. Navíc už v současnosti používané zabezpečovací zařízení splňuje podmínky SIL4, které jsou nezbytné pro splnění požadavků řízení provozu vysokorychlostních železnic. Je však oprávněné předpokládat, že při řízení provozu na vysokorychlostních tratích bude již uplatněn systém automatického stavění vlakových cest. V tom případě by metoda, kterou tato disertační práce uvádí, potřebovala dílčí úpravy v rovině vstupních dat fuzzy logiky (ale to záleží také na tom, jaký systém VRT bude v ČR realizován).

## 8 ZÁVĚR

Cílem práce bylo vytvořit systémové řešení nahrazení řízení dopravy z CDP tak, aby byl zajištěn provoz v potřebném rozsahu na železniční síti, a to bez snížení kapacity dopravní cesty a bez snížení kvality provázení vlaků. Smyslem tak je, aby došlo ke zvýšení odolnosti dálkového řízení železniční dopravy za krizových situací. Tento cíl byl splněn a řešení se ukázalo jako obecnější, lze jej tudíž také použít pro běžnější mimořádné situace.

Pro práci bylo zvoleno řešení, které je v současné době opomíjeno, a to možnost řízení provozu z pozice zaměstnanců řídících provoz na jiných úsecích. Vytyčený cíl je naplněn a práce ukazuje možnosti nahrazení řídicího dispečera přenesením jeho povinností na jiné místo a zároveň udává, kolik tras je schopný každý dispečer obsloužit v daném čase. Navržené řešení je navíc použitelné i mimo krizové situace, v běžném provozu. Tyto závěry odpovídají logice Souška (2010), který tvrdí, že příprava na krizové situace musí být přirozená a nijak nenarušovat běžný provoz.

V práci je navržena metoda hodnocení výpravčích řídicích provoz na tratích s DOZ. Postup uvedený v práci využívá metod fuzzy logiky, kde vstupní data odpovídají reálným datům z provozu a také simulaci řízení provozu. Nastavení fuzzy interferenčního systému je dáno expertně, přičemž toto nastavení může být dále hodnoceno a nemusí být zcela konečné. Avšak systém s takto nastavenými funkcemi příslušnosti nejvíce odpovídá reálnému provozu a v případě validace dat se údaje nejvíce blíží reálným provozním podmínkám, tedy datům získaným od SŽDC, jež jsou uvedeny v přílohách disertační práce.

Navrhované řešení respektuje a dodržuje veškeré předpisy a podmínky SŽDC, které se vztahují k práci zaměstnanců, zejména se jedná o maximální pracovní dobu a dodržení doby odpočinku mezi směnami. Je tedy nezbytné disponovat několika skupinami zaměstnanců, které jsou schopny, za splnění podmínek uvedených v disertační práci, nahradit, případně doplnit práci CDP (případně PPV).

## LITERATURA

- ŠUSTR Martin, 2017. *Vzdálené řízení dopravy v krizových situacích*. Odborná práce. Pardubice: Dopravní fakulta Jana Pernera Univerzity Pardubice.
- BĚHOUNEK Libor, 2012. *Jak je důležité být fuzzy. Matematická fuzzy logika. Behounek-Fuzzy* [online]. Olomouc: Ústav informatiky AV ČR, 21. 6. 2012 [cit. 2020-3-10]. Dostupné z: <http://www.cs.vsb.cz/duzi/Behounek-Fuzzy.pdf>.
- BULÍČEK J., V. MOJŽÍŠ a T. MOLKOVÁ, 2011. *Modelování technologických procesů v dopravě*. Pardubice: Univerzita Pardubice. ISBN 978-80-7395-442-0.
- CDP Praha, 2018. *Výstupy z funkce elektronického stavědla centrálního dispečerského pracoviště* [CSV dokument]. Praha: Centrální dispečerské pracoviště Praha. Vnitřní dokument SŽDC, s. o.
- ČERNÁ Anna a Jan ČERNÝ, 2004. *Teorie řízení a rozhodování v dopravních systémech*. Pardubice: Institut Jana Pernera. ISBN 80-865-3015-9.
- DORA M. J., J. LANE a G. WOODROFFE, 2005. *Operations and Management to adapting to extreme climate change*, [PDF dokument]. Vnitřní dokument správce infrastruktury Network Rail. Spojené království Velké Británie a Severního Irsku.
- DUŠEK Lukáš, 2010. *Vliv lidského faktoru na celkovou propustnost železniční dopravní cesty*. Diplomová práce. Pardubice: Dopravní fakulta Jana Pernera Univerzity Pardubice.
- DVOŘÁK Z., R. SOUŠEK, E. SVENTEKOVÁ, B. LEITNER a M. ČIŽLÁK, 2010. *Riadenie rizík v železničnej doprave*. Pardubice: Institut Jana Pernera. ISBN 978-80-86530-71.
- ESARR1\_E2.0\_RI, 2009. *ESARR 1 - Safety Oversight in ATM*. 2.0. Bruxelles, Belgie: Safety Regulation Unit EUROCONTROL.
- ESARR2\_E3.0\_RI, 2009. *ESARR 2 Reporting and Assessment of Safety Occurrences in ATM*. 3.0. Bruxelles, Belgie: Safety Regulation Unit EUROCONTROL.

ESARR3\_E1.0\_RI, 2000. *EUROCONTROL Safety Regulatory Requirement - ESARR 3 Use of Safety Management Systems by ATM Service Providers*. Bruxelles, Belgie: Safety Regulation Unit EUROCONTROL.

ESARR4\_E1.0\_RI, 2001. *EUROCONTROL Safety Regulatory Requirement - ESARR 4 Risk Assessment and Mitigation in ATM*. Bruxelles, Belgie: Safety Regulation Unit EUROCONTROL.

ESARR5\_E2.0\_RI, 2002. *Safety Regulatory Requirement - ESARR 5 ATM Services' Personnel*. 2.0. Bruxelles, Belgie: Safety Regulation Unit EUROCONTROL.

FUJIYAMA Taku, 2014. *Tomorrow's Railway and Climate Change Adaptation* [PDF document]. Vnitřní dokument RSSB. Spojené Království Velké Británie a Severního Irsku: Founders: Railway Safety & Standard Board (RSSB) and Network Rail.

Fuzzy Logic toolbox, 1995 - 1998. *Fuzzy Logic toolbox, user guide* [online]. Natick, MA, USA: The MathWorks [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: [http://faculty.petra.ac.id/resmana/private/matlab-help/pdf\\_doc/fuzzy/fuzzy\\_tb.pdf](http://faculty.petra.ac.id/resmana/private/matlab-help/pdf_doc/fuzzy/fuzzy_tb.pdf).

HE J., X. CHEN, X. CHEN A Q. LIU, 2019. *Distributed production planning based on ATC and MOILP considering different coordination patterns*. In: *Journal of Intelligent Manufacturing* 27, (5). pp. 1067-1084. ISSN: 10845-014-0935-2.

HENDERSON A., J. MAYNARD a M. DORAN, 2016. *Making the Trains Run On Time: The Development of a Self-Regulating, Real-Time Model Railroad System*. Orlando, USA: The 20th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics: WMSCI 2016. pp. 104 – 109. ISBN – 13: 978-1-941763-46-9.

HENDL Jan, 2005. *Kvalitativní výzkum: základní metody a aplikace*. Praha: Portál. ISBN 978-80-7367-485-4.

HUM.ET1.ST03.1000.GUI-01, 2000. *Guidelines for Personal and Career Development Processes*. Bruxelles, Belgie: Traffic Organization Unit EUROCONTROL.

CHOW A., B. HEYDECKER, T. FUJIYAMA, F. XU a T. GHASEMPOUR, 2015. *Developing and Evaluating Dynamic Optimisation for Train Control Systems*, [PDF document]. Vnitřní dokument RSSB. Spojené Království Velké Británie a Severního Irsku: Founders: Railway Safety & Standard Board (RSSB) and Network Rail.

JANÍČEK P., P. MÁCHAL, J. MAREK a J. MAREČEK, 2013. *Expertní inženýrství v systémovém pojetí*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4127-7.

KOMEŠTÍK Michal, 2014. *Koordinace výluk na železniční infrastruktuře*. Pardubice: Diplomová práce. Dopravní fakulta Jana Pernera Univerzity Pardubice.

KRATOCHVÍL P., F. ANDRLÍK a J. ENGLICH, 2008. *Zkušenosti z řešení krizových situací na železnici ve Spolkové republice Německo*. In: *Krizové stavy a doprava*, sborník z 8. mezinárodní odborně-vědecké konference. Pardubice: Dopravní fakulta Jana Pernera Univerzity Pardubice. ISBN 978-80-86530-49-9.

Ministerstvo dopravy České republiky, odbor krizového řízení, 2016. *Strategie krizového řízení v dopravě do roku 2018*. [online]. Praha: Ministerstvo dopravy České republiky [cit. 2016-10-01]. Dostupné z: [cep.mdcz.cz/odd540/doc/strategie\\_kr\\_2018.doc](http://cep.mdcz.cz/odd540/doc/strategie_kr_2018.doc).

Nařízení vlády č. 432/2010 Sb. o kritériích pro určení prvku kritické infrastruktury.

PACHEKO Keil, 2017. *The road ahead: Liberty railway plans route to expansion*. *Welding Journal*. Volume 96, Issue 3. pp. 32 – 35. ISSN: 00432296.

PONÍŽIL Jiří, 2015. *Práce výpravčích DOZ ve stanicích řízených z CDP Přerov*. Pardubice: Bakalářská práce. Dopravní fakulta Jana Pernera Univerzity Pardubice.

Pomůcky GVD, 2020. *Portál provozování dráhy: Pomůcky GVD* [online]. Olomouc: OLTIS Group a.s., Dr. Milady Horákové 1200/27a, 779 00, Olomouc, 2020 [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: <https://provoz.szdc.cz/Portal/ViewArticle.aspx?oid=397961>.

Prohlášení o dráze, 2020. *Portál provozování dráhy: Prohlášení o Dráze* [online]. Olomouc: OLTIS Group a.s., Dr. Milady Horákové 1200/27a, 779 00, Olomouc [cit. 2020-8-15]. Dostupné z: <https://www.szdc.cz/documents/50004227/50162921/szdc-prohlaseni-o-draze-2019-c-r-4-zmena.pdf>.

Přístup na ŽDC, 2020. *Portál provozování dráhy: Přístup na ŽDC* [online]. Olomouc: OLTIS Group a.s., Dr. Milady Horákové 1200/27a, 779 00, Olomouc [cit. 2020-8-20]. Dostupné z: <https://provoz.spravazeleznic.cz/Portal/ViewArticle.aspx?oid=1792708>.

*Prováděcí nařízení pro trať s dálkově ovládaným zabezpečovacím zařízením: trať: Praha, Libeň – Kolín.* [PDF dokument]. Vnitřní dokument SŽDC. Praha: Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1.

*Prováděcí nařízení pro trať s dálkově ovládaným zabezpečovacím zařízením: trať: Přerov – Ostrava, Svinov.* [PDF dokument]. Vnitřní dokument SŽDC. Praha: Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1.

*Prováděcí nařízení pro trať s dálkově ovládaným zabezpečovacím zařízením: trať: Praha, Holešovice – Kralupy nad Vltavou.* [PDF dokument]. Vnitřní dokument SŽDC. Praha: Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1.

*Prováděcí nařízení pro trať s dálkově ovládaným zabezpečovacím zařízením: trať: Rokycany – Nezvěstice.* [PDF dokument]. Vnitřní dokument SŽDC. Praha: Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1.

Předpis SŽDC (ČD) Z1, 2007. *Předpis pro obsluhu staničních a traťových zabezpečovacích zařízení.* [PDF dokument]. Praha 1: Odbor Řízení provozu a organizování drážní dopravy České dráhy.

ROSENBERGER J. M., A. J. SCHAEFER, D. GOLDSMAN, E. L. JOHNSON, A. J. KLEYWEGT a G. L. NEMHAUSER, 2020. *A stochastic model of airline operations.* In: *Transportation Science*. Volume 36, Issue 4, pp. 357 – 377. ISSN: 0041-1655.

SEBERA Martin, 2012. *Vybrané kapitoly z metodologie.* Brno: Masarykova univerzita. ISBN 978-80-210-5963-4.



SCHAEFER A. J., E. L. JOHNSON, A. J. KLEYWEGT a G. L. NEMHAUSER, 2005. *Airline crew scheduling under uncertainty*. In: Transportation Science. August 2005V. olume 39, Issue 3, pp. 340 – 348. ISSN: 0041-1655.

Služební předpis ŠŽDC (ČD) D23, 2002. *Předpis pro stanovení provozních intervalů a následných mezidobí*. Olomouc; JERID spol. s r.o., účinnosti od 1. 7. 2002.

SMITH P. J., R. BEATTY, A. SPENCER a C. BILLINGS, 2003. *Dealing with the challenges of distributed planning in a stochastic environment: Coordinated contingency planning*. In: IAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference – Proceedings, The 22nd Digital Avionics Systems Conference – Proceedings. Indianapolis IN 61845: 12 October 2003 - 16 October 2003, Volume 1, Pages 5.D.1/1-5.D.1/82003. ISSN: 2155-7209.

SOUŠEK Radovan a kol, 2008. *Doprava v krizových situacích*. Pardubice: Institut Jana Pernera, o.p.s. ISBN 80-86530-46-9.

SOUŠEK Radovan, 2001-2005. *Komplexní systém řízení kolejové dopravy v krizových situacích* [výzkumný projekt]. Ministerstvo dopravy a spojů ČR. MDS ČR CE 802030105.

SOUŠEK Radovan, 2003-2004. *Teoretické řešení krizových situací v dopravě* [výzkumný projekt]. GAČR103/03/1077.

SOUŠEK Radovan, 2004-2007. *Dopravní infrastruktura jako kritický prvek národní infrastruktury z hlediska zabezpečení základních funkcí státu* [výzkumný projekt]. Ministerstvo dopravy ČR. MD ČR 1F44E/015/030.

SOUŠEK Radovan, 2009-2010<sup>a</sup>. *Metodika hodnocení kritičnosti dopravní infrastruktury* [výzkumný projekt]. Ministerstvo dopravy ČR. MD ČR 117/2009-030/CRS/1.

SOUŠEK Radovan, 2009-2010<sup>b</sup>. *Návrh výstavby smluvního systému údržby a obnovy krizové železniční infrastruktury s podporou informačních systémů, využitelného pro řešení krizových stavů a specifikace úlohy státu, samosprávných orgánů a soukromoprávních subjektů při jeho zajišťování* [výzkumný projekt]. Ministerstva dopravy ČR. MD ČR 1F84C/003/030.

SOUŠEK Radovan, VISKUP Pavel a kol, 2011. *Nový systém obnovy železniční infrastruktury za krizových stavů*. Pardubice: Institut Jana Pernera. ISBN 978-80-86530-75-8.

SOUŠEK Radovan a kol, 2010. *Doprava a krizový management*. Pardubice: Institut Jana Pernera. ISBN 978-80-86530-64-2.

SOUŠEK Radovan a Petr KOPČÁK, 2004. *Krizové řízení v železniční dopravě*. Pardubice: Institut Jana Pernera. ISBN 80-86530-06-X.

SŽDC (ČD) D32, 2006. *Předpis pro přepravu uranového koncentráту, čerstvého a vyhořelého paliva*. Olomouc: JERID spol. s r.o.

SŽDC D17, 2018. *Předpis pro hlášení a šetření nehodových událostí v železničním provozu*. Praha: Správa železniční dopravní cesty, s.o.

SŽDC D24, 1965. *Předpis pro zjišťování propustnosti železničních tratí*. Praha: Nakladatelství dopravy a s spojů.

SŽDC D31, 2015. *Směrnice pro přepravu zásilek s PLM, zásilek dlouhých nebo těžkých*. Praha: Správa železniční dopravní cesty, s.o.

SŽDC D33, 2001. *Předpis o vojenské přepravě po železnici*. Olomouc: JERID spol. s r.o.

SŽDC D7, 2014. *Předpis pro operativní řízení provozu*. Praha: Správa železniční dopravní cesty, s.o.

SŽDC D7/2, 2013. *Předpis pro organizování výluk na síti SŽDC*. Praha: Správa železniční dopravní cesty, s.o.

SŽDC E4, 2010. *Směrnice pro provoz záložních zdrojů elektrické energie*. Praha: Správa železniční dopravní cesty, s.o.

SŽDC O3, 1962. *Předpis pro obnovu rozrušené železniční sítě za válečného stavu*. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů.

SŽDC O4, 1962. *Předpis pro technickou ochranu a obnovu železnic za branné pohotovosti státu*. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů.

SŽDC O5, 1962. *Předpis pro organizaci a činnost obnovovacích jednotek ČSD za branné pohotovosti státu.*; Praha: Nakladatelství dopravy a s spojů.

SŽDC SM124, 2019. *Směrnice pro zjišťování kapacity dráhy.* Praha: Správa železniční dopravní cesty, s.o.

ŠEBESTA Milan a Rudolf SCHWARZ, 2003. *Management Rizik s Pravděpodobnostním přístupem.* Brno: Vojenská akademie v Brně.

TOMEK M., M. SEIDL, I. MILATA, E. SVENTEKOVÁ, V. KAŠPAR a M. MONOŠI, 2005. *Riešenie krízových situácií v dopravnej infraštruktúre* [výzkumný projekt]. Žilina: Žilinská Univerzita v Žilině. KEGA 3/101503.

US DHS, 2003. *The National Strategy for Physical Protection of Critical Infrastructures and Key Assets* [online]. Washington D.C.: U. S. Department of Homeland Security, the White House. February 2003, [2016-10-01]. Dostupné z: <https://www.dhs.gov/national-strategy-physical-protection-critical-infrastructure-andkey-assets>.

VICHEREK Tomáš, 2013. *Dopravní inteligence pro automatizaci železniční dopravy.* Pardubice: Disertační práce. Dopravní fakulta Jana Pernera Univerzity Pardubice.

VISKUP Pavel, 2015. *Zabezpečení technické ochrany a obnovy železniční sítě v krizových situacích civilními stavebními organizacemi.* Pardubice: Disertační práce. Dopravní fakulta Jana Pernera Univerzity Pardubice.

VOLEK Josef, 2004. *Modelování a řešení rozhodovacích situací.* Pardubice: Institut Jana Pernera. ISBN 80-865-3015-9.

ZADEH Aliasker Lofti, 1965. *Fuzzy sets.* In: *Information and Control*, Vol. 8, no. 2 1965, Pages 338-353. ISSN 0019-9958.

ZADEH Aliasker Lofti, 1973. *Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes.* In: *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics.* s. 28 – 44. ISSN: 2168-2909

ZADEH Aliasker Lofti, 1996. *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Systems*. State University of New York at Binghamton, USA. ISBN: 978-981-4499-81-1.

Zákon č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému.

Zákon č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a změně některých zákonů.

Zákon č. 241/2000 Sb., o hospodářských opatřeních pro krizové stavy (HOPKS) a o změně některých souvisejících zákonů.

Zákon č. 77/2002 Sb., o akciové společnosti České dráhy, státní organizaci Správa železniční dopravní cesty a o změně zákona č. 266/1994 Sb., o dráhách, ve znění pozdějších předpisů.

ZEMAN Aleš, 2008. *Posouzení pracovní náročnosti Centrálního dispečerského pracoviště*. Pardubice: Diplomová práce. Dopravní fakulta Jana Pernera Univerzity Pardubice.

ZIMMERMANN M., E. FREJINGER a P. MARCOTTE, 2021. *A strategic Markovian traffic equilibrium model for capacitated networks*. In: *Transportation Science*, Volume 55, Issue 3, Pages 574 – 591. ISSN: 0041-1655.

# PUBLIKAČNÍ ČINNOST DOKTORANDA SOUVISEJÍCÍ S TÉMATEM DISERTAČNÍ PRÁCE

## Publikace ve světové databázi Web of Science

ROZOVÁ D., M. ŠUSTR a P. ŠOHAJEK, 2019. *Continuity of activities for railway undertaking*. In: 23rd International Scientific Conference on Transport Means: Transport Means 2019 - Proceedings of the International Conference. Palanga, Lithuania: Kaunas University of Technology. pp. 1508–1511. ISSN 1822-296X.

ROZOVÁ D., M. ŠUSTR M., R. SOUŠEK a P. ŠOHAJEK, 2018. *Crisis management in the railway transport and their additions*. In: 22nd International Scientific Conference on Transport Means: Transport Means 2018 - Proceedings of the International Conference. Trakai, Lithuania: Kaunas University of Technology. pp. 1043 – 1049. ISSN 1822-296X.

ŠUSTR Martin a Tomáš ROLNÍK, 2017. *Operation of remote-controlled railway section during the crisis situations*. In: 21th International Scientific Conference on Transport Means: Transport Means 2017 - Proceedings of the International Conference. Juodkrante, Lithuania: Kaunas University of Technology. pp. 935 – 938. ISSN 1822-296X.

PLUHAŘ Martin a Martin ŠUSTR, 2017. *Railway Lockouts in the Czech Republic and possibility of their optimization*. In: 21th International Scientific Conference on Transport Means: Transport Means 2017 - Proceedings of the International Conference. Juodkrante, Lithuania, Kaunas University of Technology. pp. 878 – 880. ISSN 1822-296X.

DYBAL J., J. ENGLICH, R. SOUŠEK a M. ŠUSTR, 2016. *Extension of the New Temporary Railway Bridge in the Czech Republic, Draft of the Reinforcement*. In: 20th International Scientific Conference on Transport Means: Transport Means 2016 - Proceedings of the International Conference. Juodkrante, Lithuania: Kaunas University of Technology. pp. 1051 – 1057. ISSN 1822-296X.

ŠUSTR M., R. SOUŠEK, A. KOLONIČNÝ a V. NĚMEC, 2016. *Transport Modelling of Citizens Evacuation*. In: 3rd International Conference on Traffic and Transport Engineering (ICTTE): Proceedings of the Third International Conference on Traffic and Transport Engineering (ICTTE). Belegade, Serbia: Assoc Italiana Ingn Traffico Trasporti Res Ctr, pp. 1026 – 1030. ISBN 978-86-916153-3-8.

FUCHS P., V. NĚMEC, R. SOUŠEK, S. SZABO, M. ŠUSTR a P. VISKUP, 2015. *The Assessment of Critical Infrastructure in the Czech Republic*. In: 19th International Scientific Conference on Transport Means: Transport Means 2015 - Proceedings of the International Conference. Kaunas, Lithuania: Kaunas University of Technology. pp. 418 – 426. ISSN 1822-296X.

DYBAL J., J. ENGLICH, R. SOUŠEK a M. ŠUSTR, 2015. *Draft of the New Temporary Railway Bridge in the Czech Republic*. In: 19th International Scientific Conference on Transport Means: Transport Means 2015 - Proceedings of the International Conference; Kaunas, Lithuania. Kaunas University of Technology. pp. 712 – 716. ISSN 1822-296X.

ŠUSTR, M., P. VISKUP a P. FUCHS, 2016. *Monetary Costs of Transport Process Members, in the Railway Transport Caused by Irregularity*. In: 20th International Scientific Conference on Transport Means: Transport Means 2016 - Proceedings of the International Conference. Juodkrante, Lithuania: Kaunas University of Technology. pp. 1058 – 1063. ISSN 1822-296X.

### **Publikace ve světové databázi Scopus**

ŠUSTR M., R. SOUŠEK, V. NĚMEC, D. ŘEHA, M. NOVÁK, E. ENDRIZALOVÁ, P. MRÁZEK, V. ZHARKOVA, O. STRÁDAL a L. FÖZÖ, 2019. *Assessment of critical infrastructure for air transport in the Czech Republic*. In: WMSCI 2019 - 23rd World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Proceedings. Volume 2. Orlando 152460, FL: 6 July 2019 - 9 July 2019, pp. 28 – 31. ISBN: 978-195049209-1.

SOUŠEK R., M. ŠUSTR, P. FUCHS, E. ENDRIZALOVÁ, M. NOVÁK a J. MÜLLEROVÁ, 2018. *Evaluation of risks in air transport*. In: WMSCI 2018 - 22nd World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Proceedings. Volume 3. Orlando 140272, FL: 8 July 2018 - 11 July 2018, pp. 149 – 153. ISBN: 978-194176391-9.

FUCHCS P., R. SOUŠEK, M. ŠUSTR, D. ROZOVÁ a P. ŠOHAJEK, 2018. *Critical infrastructure in the railway transport systém*. In: WMSCI 2018 - 22nd World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Proceedings. Volume 1. Orlando 140272, FL: 8 July 2018 - 11 July 2018, pp. 182 – 186. ISBN: 978-194176381-0.

SOUŠEK R., D. ROZOVÁ, V. NĚMEC a M. ŠUSTR, 2017. *Business continuity management system in the transport*. In: WMSCI 2017 - 21st World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Proceedings. Volume 2. Orlando 130927, FL: 8 July 2017 - 11 July 2017, pp. 185 – 190. ISBN 978-194176364-3.

VISKUP P., R. SOUŠEK a M. ŠUSTR, 2017. *Provision of technical protection of the railroads in crisis situations by the private construction companies*. In: WMSCI 2017 - 21st World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Proceedings. Volume 2. Orlando 130927, FL: 8 July 2017 - 11 July 2017, pp. 191 – 196. ISBN: 978-194176381-0.

ŠUSTR M., M. PLUHAŘ, R. SOUŠEK, P. FUCHS a E. NEDELIAKOVÁ, 2016. *Methodologies for the crisis states in the Czech Republic*. WMSCI 2016 - 20th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Proceedings. Volume 2. Orlando 126203, FL: 5 July 2016 - 8 July 2016, pp. 242 – 246. ISBN: 978-194176343-8.