



# VYBRANÉ METODY ŘÍZENÍ PŘI NARUŠENÉM ŽELEZNIČNÍM PROVOZU

Vítězslav Křevký<sup>1</sup>

**Abstrakt** *Oblast řízení železničního provozu se v posledních letech těší vzrůstajícímu zájmu odborné veřejnosti. Důkazem je nejedna odborná publikace z let minulých, ale také zvýšený zájem o informace týkající se podstaty metod dálkového řízení železniční dopravy prostřednictvím Centrálních dispečerských pracovišť. Cílem tohoto příspěvku je poskytnout přehled vybraných vědeckých publikací z této oblasti za několik posledních let. Za tímto účelem byly použity především články z Web of Science (WoS) z let 2020 až 2023. Autor se v článku zabývá možností aplikace vybraných metod řízení při narušeném železničním provozu v prostředí České republiky.*

**Klíčová slova** *řízení železniční dopravy, železnice, matematické metody, plánované a neplánované narušení železniční dopravy*

**Summary** *The field of railway traffic management has been gaining increasing attention from the professional public in recent years. This is evident not only from various expert publications from previous years but also from the growing interest in information related to the nature of remote railway traffic control methods through Central Dispatch Centers. The aim of this contribution is to provide an overview of selected scientific publications in this field from the past few years. For this purpose, primarily articles from Web of Science (WoS) from the years 2020 to 2023 were used. The author of the article explores the potential application of selected control methods in the event of disrupted railway traffic in the environment of the Czech Republic.*

**Keywords** *railway transport management, railways, mathematical methods, planned and unplanned disruption of railway transport*

## 1 ÚVOD

Každým rokem dochází nejen v celoevropském, ale i ve světovém měřítku k nezanedbatelnému počtu dopravních nehod, majících za následky ztráty jak na majetku, tak lidských životech.

Následky těchto nehod musí řešit dopravci, provozovatelé a vlastníci drah. Dopady tedy pocítíují všechny zúčastněné subjekty, cestující nevyjímaje. Každé zpoždění nebo přerušení plynulosti dopravy se promítá ve formě finanční újmy všech zúčastněných stran. Aby se těmto nehodám předcházelo, je kladen v posledních desetiletích velký důraz na zvýšení bezpečnosti železničního provozu. V rámci Evropské unie jsou zaváděny bezpečnostní systémy, které napomáhají ke zvýšení bezpečnosti a efektivity řízení železniční dopravy.

Otázkou řízení železniční dopravy při událostech bránících její plynulosti dopravy se zabývá poměrně velké množství autorů. Přístupy jednotlivých vědeckých studií se různí, ovšem cíl je stejný. Tyto studie se dělí na přístupy při plánovaných omezeních provozu a přístupy při neplánovaných (mimořádných) omezeních provozu. U plánovaných omezeních provozu se uplatňují preventivní přístupy, které se snaží snížit kolizní rizika na trati s částečně omezeným provozem. U přístupů při neplánovaných (mimořádných) událostech se uplatňují metody, jenž se snaží o optimální stabilizaci systému a co nejrychlejší návrat do stavu před narušením.

1, Univerzita Pardubice, Dopravní Fakulta Jana Pernera, Katedra dopravního managementu, marketingu a logistiky, Studentská 95, 532 10 Pardubice, Česká republika. email: [krovi@post.cz](mailto:krovi@post.cz)

## 2 NARUŠENÍ ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY

V pravidelném železničním provozu dochází k nepředvídatelným omezením provozu, ale také k plánovaným výlukám z důvodů údržby infrastruktury. Při těchto uzavírkách dochází k částečnému nebo úplnému omezení provozu. Hlavním stěžejním bodem při hledání východisek u plánované i neplánované výluky je délka časového období, za kterou je nutné najít konkrétní řešení, tak aby nedošlo k významným odchylkám od stanového jízdného řádu. Tento časový horizont se různí a je odpovídající konkrétní situaci a hustotě provozu dotčeného úseku.

### 2.1 Plánované narušení železniční dopravy

Bezporuchový provoz na železnici vyžaduje pravidelnou údržbu infrastruktury. Údržbové zásahy zasahují do běžného provozu a omezují plnění stanoveného jízdného řádu. Aby bylo možné těmto komplikacím předcházet, je při stanovení plánu výluk potřeba neopomenout všechna omezení a navrhnout jejich druh a počet. Snahou je, aby se výlukový jízdní řád přiblížil k jízdnímu řádu původnímu a co nejvíce pokryl všechny stávající požadavky na železniční dopravu.

I přes precizní naplánování výlukového jízdního řádu mohou nastat situace, že výlukový jízdní řád není schopen odbavit stávající požadavky, např. z důvodů zpoždění dotčených vlaků a jiných okolností. Takto vzniklé situaci je nutné přistupovat jako k narušení neplánovanému. Tato nově vzniklá narušení vyvolávají odchylky ve výlukových jízdních řádech a způsobují zpoždění v cílových stanicích.

### 2.2 Neplánované narušení železniční dopravy – mimořádné události

*Dle § 49 zákona č. 266/1994 Sb., o dráhách mimořádnou událost nazýváme nehodu nebo incident, ke kterému došlo v souvislosti s provozováním drážní dopravy na dráze nebo pohybem drážního vozidla na dráze nebo v obvodu dráhy a, které ohrozila nebo narušila:*

- a) bezpečnost drážní dopravy,
- b) bezpečnost osob,
- c) bezpečnou funkci staveb nebo zařízení,
- d) životní prostředí.

Takto zajisté lze chápat mimořádnou událost, ale z hlediska řízení provozu mohou nastat i jiné příčiny, jež nejsou přímo spojeny se samotným řízením vlakové dopravy, jako například:

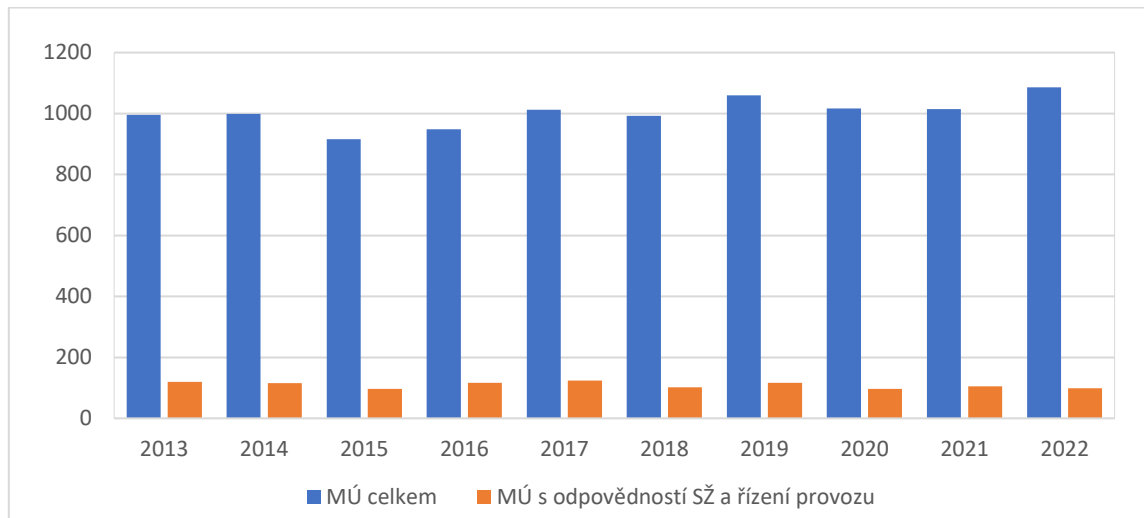
- nesprávně postavená vlaková cesta,
- přestavení výhybky před/pod jedoucím vozidlem,
- nesprávně postavená posunová cesta,
- nedostatečné brzdění v kolejových brzdách,
- nezpravení vlaku o jízdě se staženými sběrači,
- nesklopená výkolejka,
- nesprávně přestavená výhybka,
- nedovolené vypravení vlaku,
- nezpravení vlaku rozkazem Op 1, aj.

Toto je jen malý výčet těch příčin majících za následky mimořádné události. Je však známo, že každá taková událost je jen důsledkem série chyb a skutečná příčina tkví i v malých detailech. Sled těchto událostí pak vede ve většině případů k fatálním chybám.

Všechny tyto zmiňované příčiny mohou mít ve větší či menší míře zásadní vliv na plynulost železničního provozu. Jejich dopady závisí na rozsahu, místě a délce narušení železničního provozu.

V tabulce Tab. č.1 a grafu Graf č. 1 jsou zobrazeny statistické přehledy mimořádných událostí za období desíti let, jež se staly na tratích Správy železnic, s. o.

### 2.2.1 Vývoj mimořádných událostí v prostředí Správy železnic



Graf. č. 1: Počty mimořádných událostí Správy železnice za období 2013–2022 ; zdroj: Drážní inspekce

V grafu č. 1 je znázorněn počet mimořádných událostí řešených Drážní inspekci. Souhrn dat zahrnuje mimořádné události zapříčiněné nesprávnými nebo chybnými úkony pracovníků dotčených řízením provozu jako jsou např. výpravčí, signalisté, dozorcí výhybek, pracovníci určení k řízení sledů vlaků, a zaměstnanci provozovatele dráhy.

Tab. č. 1: Srovnání mimořádných událostí Správy železnic za období 2013–2022 ; zdroj: Drážní inspekce

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
MU celkem	996	999	916	948	1012	992	1060	1017	1014	1086
MU s odpovědností SŽ a řízení provozu	120	116	97	117	124	102	117	97	105	99
Procentuální zastoupení MÚ SŽ	12,05	11,61	10,59	12,34	12,25	10,28	11,04	9,54	10,36	9,12

Příčiny a vstupní faktory, jenž stojí za vznikem mimořádné události se různí. Z hlediska Drážní inspekce se jedná o popis průběhu mimořádné události, určení příčiny a odpovědnosti bez zohlednění lidského hlediska. Psychologie zaměstnance je samostatnou kapitolou, na niž se při mimořádné události zřetel bere jen výjimečně. Do této problematiky vstupuje další řada příčin, jak ze soukromého života, (zdraví, rodinná pohoda, spokojenost se zaměstnáním), ale jde také o soubor systémových informací a přístupů zaměstnavatele, jeho vnitřních předpisů a sociální politiky. Všechny tyto faktory mohou mít v důsledku dopad na psychickou spokojenost pracovníků a jejich pracovní výkonnost.

### 3 ANALÝZA VĚDECKÝCH ČLÁNKŮ A PŘÍSTUP JEDNOTLIVÝCH AUTORŮ

Řízení dopravy, jako proces zahrnující operativní zásahy do dopravního děje (zákazy a příkazy), obvykle krátkodobějšího charakteru, vnímají autoři jako klíčový problém.

Přístupy jednotlivých autorů se liší v základních myšlenkách, jejichž podstatou jsou optimalizační modely tvořící základní přístupy k dané problematice.

Optimalizační modely přeplánování toků železniční dopravy se zabývají strategií řízení, tak aby se minimalizovaly negativní dopady náhodných poruch v železničních systémech. Právě tato strategie je jedním z základních pilířů problematiky vědeckého zkoumání.

Z problematiky řízení železniční dopravy můžeme vyvodit dva hlavní směry výzkumu, a to v situaci při plánovaných výlukách nebo mimořádných událostech. Při hledání optimálního řešení se zohledňují požadavky dopravních společností. Jedním z nejdůležitějších ukazatelů přepravní výkonnosti je odchylka od základního jízdního řádu. Autoři zabývající se touto problematikou si kladou za cíl minimalizaci zpoždění, minimalizaci dopadu na cestující a minimalizaci celkové doby zpoždění dotčených vlakových spojů.

Zde vyvstává výzkumná otázka, jak se má vytvořit nový jízdní řád vlaků za podmínky uspokojení protichůdných požadavků na kvalitu služeb, cestujících, dopravců a nákladů na obnovu provozu daného traťového úseku. Obecně vzato, malá až střední zpoždění vlaků, která jsou způsobena vnějšími vlivy, je možné uzpůsobit úpravou jízdního řádu, bez toho, aniž by musel být změněn plán přidělování vlakových čet a oběhu hnacích vozidel. V případě déle trvajících přerušení provozu je nutné použít odlišný přístup řešení provozní situace. Za malé zpoždění autor článku považuje dobu zpoždění do 60ti minut, střední do 119ti minut a nad 120 minut za velká zpoždění. Tuto definici autor odvodil na základě požadavků na náhradu škody (vrácení jízdného) definované v NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2021/782 ze dne 29. dubna 2021.

V případě neplánovaného narušení železniční dopravy mají řídicí pracovníci železničního provozu nemnoho možností, jak aktuální situace řešit. Jednu z možností, pokud to infrastruktura a provozní a situace umožňuje, je hledání optimálního řešení formou použití objízdnych tras.

#### 3.1 Plánované výluky železniční dopravy

Plánované výluky v železniční dopravě a jejich dopady na plynulost železniční dopravy přinášejí z hlediska organizace a řízení značné komplikace, a to před samotným zahájením i během jejich vlastní realizace. Plánovaným výlukám předchází náročné přípravy na výlukových poradách, kde se zohledňují všechny dopady na provoz a požadavky na zajištění všech služeb poskytovaných železnicí. Plánování je komplikovaný proces, na jehož konci má být vytvoření optimálního výlukového jízdního řádu železniční dopravy. Cílem výlukového jízdního řádu je sestavení takového jízdního řádu, který je realizovatelný a proveditelný pro danou oblast, dotčenou omezením železničního provozu. Přičemž je snahou, aby výlukový jízdní řád pokryl v maximální možné míře požadavky dopravců.

Touto problematikou se zabývají celé vědecké týmy a přicházejí s novátorskými přístupy, z nichž některé by mohly být aplikovány na prostředí české železnice. Příklady různých přístupů a řešení této problematiky jsou uvedeny v této kapitole.

Pravidelná údržba železničních tratí je nezbytnou součástí železničního provozu. Tyto zásahové údržby mají významný dopad nejen na plynulost dopravy, ale také na doplňkové služby poskytovaných železnicí. Staniční i mezistaniční úseky bývají nezřídka vyloučeny na několik týdnů či měsíců. Z hlediska dlouhodobějších omezení není možné dodržet pravidelné rozložení jízd vlaků. Je zapotřebí naplánovat výlukové jízdní řády, zajistit jejich realizaci, případně provést koordinaci s dalšími subjekty jako jsou např. autobusoví dopravci zajišťující náhradní autobusovou dopravu ve vyloučených úsecích. Tomuto

problému se věnují autoři (Jacob Trepát Borecka, Nikola Besinovic et al. 2021). Základem jejich práce je metoda založená na heuristickém přístupu s lineárním programováním se smíšenými čísly. Výstupem je víceúčelový jízdní řád, který zahrnuje úpravu stávajícího jízdního řádu, a to buď úpravou délky vlakového spoje, zrušením, přesměrováním anebo náhradou za autobusovou dopravu.

Nedílnou součástí železničního provozu je také údržba a kontrola železničních tratí spojená s částečným nebo úplným omezením provozu. V případě plánovaných výluk traťových úseků jsou tyto omezení předem známa (délka, časová poloha, rozsah omezení), a dají se předpovídat dopady na plynulost železniční dopravy. Efektivní úpravy stávajícího jízdního řádu zmírní dopady na provoz dotčeného traťového úseku. U větších dopravních omezeních zahrnujících rozsáhlejší dopravní síť nebo velký železniční uzel s velkou hustotou vlakových spojů je složité vyhledat optimální řešení. V těchto případech si nevystačíme jen se zkušenostmi pracovníků spojených s plánováním řízením výluk. Zde nelze dosáhnout optimálních výsledků bez použití podpůrných nástrojů pro optimalizaci a plánování železniční dopravy při výlukových činnostech. Touto problematikou se ve své práci zabývají autoři (Maciej Hojda, Grzegorz Filcek, et al. 2020). Jejich cílem bylo stanovení optimálního modelu a algoritmu umožňující efektivní přeplánování vlaků při plánovaných traťových uzavírkách, stanovení algoritmu společného přeplánování jízdy vlaků a plánů traťových uzavírek. Hlavní tézí práce je využití objízdných tras při výlukách a jejich efektivní využití. Při využití tohoto řešení vyvstávají komplikace při provozu. Z globálního hlediska však tato možnost může vést k lepším řešením z hlediska velikosti zpoždění a organizaci dopravy. Na tomto předpokladu pracuje heuristický algoritmus nutných řešení v rámci traťových uzavírek a s ohledem na charakter probíhajících výluk. Ze znalostí plánovaného provozu dokáže algoritmus najít vhodnou časovou polohu a délku traťových výluk. Následný algoritmus se snaží o minimalizaci časové odchylky nového jízdního plánu ve srovnání s plánem stávajícím. Hlavní částí algoritmu je soubor vstupních podmínek využitých při optimalizaci. Algoritmus pracuje na principu vícestupňového systému výběru plánování. Plánování tras vlaků se realizuje ve více fázích zohledňujících pořadí jednotlivých kritérií a priorit stanovených obsluhou.

Údržbové zásahy na železnici jsou neodmyslitelnou součástí provozované dopravní cesty. Údržba je prováděna nejen za účelem minimalizace vzniku rozsáhlejších poruch, jejího dalšího šíření, ale také k udržení provozuschopnosti železniční infrastruktury. Při řádném plánování a optimálně stanovené periodicitě údržbových zásahů můžeme je možno efektivně minimalizovat provozní omezení, která se mohou promítnout v podobě dodatečných nákladů. (např. použití objízdné trasy nebo využití náhradní dopravy). Systematický přístup k údržbě tratí a jejího plánování umožňuje také více možností k provádění údržby a přizpůsobení provozu. Ve studii autorů (B. Buurman, K. Gkiotsalitis, E.C. van Berkum) si stanovili jako cíl nalezení optimální rovnováhy harmonogramu údržby, dopravců a vlastníků infrastruktury. Práce bere v úvahu překážky a flexibilitu přizpůsobení se všech zúčastněných stran, tj. dopravců provozující osobní i nákladní dopravu, správců infrastruktury a subjektů provádějící údržbové práce. Každá z těchto zúčastněných stran má rozdílné požadavky na omezení provozu. Na jedné straně jsou dopravci osobní a nákladní dopravy, pro něž je prvořadým požadavkem jezdit bez omezení. Jakákoliv omezení v dopravě se promítají ve zvýšených provozních nákladech. Náklady na provoz vlaků vzrůstají přímo úměrně s dobou přepravy. Na druhé straně jsou složky zajišťující údržbu a správci železniční infrastruktury. Jejich zájmem je, aby mohli bez omezení provádět všechny požadované činnosti údržby k zajištění vysoké spolehlivosti a kvality infrastruktury. Dosažení těchto cílů lze dosáhnout pouze v případě značného omezení kapacity dráhy, což odporuje zájmů dopravců. Podstatou výzkumu je vytvoření vícekritériálního matematického modelu, který přiřadí údržbové zásahy k určité železniční síti a vyhotoví harmonogram údržbových zásahů. Matematický model vygeneruje optimální plán údržby, rozpis míst údržbových zásahů za konkrétní časové období. Dále stanoví novou časovou polohu vlaků dotčených výlukou, navrhne možnosti použití objízdných tras, popř. stanoví časový posun plánovaných výluk. Model také poskytuje možnost pružné změny počtu výlukových míst nad rámec původních požadavků a jejich rozmístění v požadované oblasti.

V následující práci (Grzegorz Filcek, Dariusz Gasior, Maciej Hojda, Jerzy Jozefczyk, et al., 2021) se autoři zabývají plánováním jízd vlaků a stanovením plánu výluk jako nelineárního problému optimalizace smíšených celých čísel pomocí víceúrovňového heuristického algoritmu, pracující na víceúrovňovém přístupu a dělící tyto přístup do dílčích podcelků. Toto řešení dává uživateli možnost přesměrování vlaků či zadání náhradní přepravy. Model nezávisle řeší jednotlivé vlaky nebo výlukové události samostatnými přístupy a zároveň dotčenou oblast jako navzájem propojený celek. Tato sofistikovaná funkce je realizovaná prostřednictvím heuristického algoritmu pro reálné funkce.

### 3.2 Neplánované narušení železniční dopravy

V literatuře se lze setkat s širokou škálou přístupů autorů, z nichž práce (Jie Luo, Chao Wen, Wen Wen, Ping Huang, et al., 2022) popisuje řízení železniční dopravy, jako komplexní proces, který je ovlivněn mnoha faktory v rámci železnice, ale i mimo železniční systém, jako je struktura jízdnicích řádů a dostupnost infrastruktury. Řídící pracovníci se musí rozhodovat v reálném čase a rychle reagovat na změny v systému. Tento proces je náročný a může způsobovat stres u řídicích pracovníků, což může vést k chybám v rozhodování a ohrožovat bezpečnost. Snížení pracovní zátěže řídicích pracovníků a zajištění bezpečnosti a vysoké kvality dopravního servisu vyžaduje sofistikované nástroje poskytující pokročilou rozhodovací podporu. Autoři dále pojednávají o významu pokročilého rozhodovacího systému pro řízení železničního provozu a jeho přínosu pro bezpečnost a kvalitu služeb železniční dopravy. Zaměřují se na využití metod založených na analýze dat, které prokázaly silné učební schopnosti a rozšiřitelnost pro predikci, klasifikaci a rozhodování. Navrhují hybridní prediktivní model založený na souboru „Deep Forest“, analyzující dvě běžné akce při řízení železničního provozu – změnu doby stání a jízdnicích dob vlaků na dotčeném traťovém úseku. Cílem modelu je napodobit rozhodování řídicích pracovníků železniční dopravy a navrhnout jim možnosti volby řešení.

Se vznikem mimořádné události a narušením provozu dochází k nezvratným změnám v pravidelnosti dopravy. Tyto narušení, je potřeba v co nejkratší možné době vrátit do normálu a minimalizovat stávající i následná zpoždění. Jedním z možných způsobů, jak dynamicky optimalizovat železniční dopravu ve své práci navrhuje (Robin Vujanic a Andrew J. Hill, et al. 2021). Jejich práce navrhuje možnosti dynamické optimalizace dopravy v železničních systémech a konkrétně zkoumá jejich chování v čase, při řízení optimalizačními modely s konečnými prvky. Koncept rekurzivní proveditelnosti hraje klíčovou roli při dosahování tohoto výsledku a práce předkládá dostatečné podmínky pro jeho dosažení. Studie zkoumá různé důsledky rekurzivní proveditelnosti, které usnadňují efektivní výpočty, jako je rozložení optimalizačních modelů na menší části s kratšími horizonty nebo zaměření na podmnožiny vlaků. K řešení těchto problémů autoři navrhují nové postupy pro stanovení konečných predikčních horizontů zajišťujících, že provoz systému dodržuje omezení fyzické sítě a zabraňuje zablokování s ohledem na minimalizaci výpočtových kroků.

Ostatně, jako v železničním, silničním provozu, tak i na trasách metra vznikají poruchy a tím i nutnost řešení těchto situací. V článku se autoři (M. L. Tessitore, M. Sama, A. D'Ariano, L. Hérouth, D. Pacciarellia, et al. 2022) zabývají analýzou šíření zpoždění metra v důsledku poruch. Pokud nastane při provozu metra narušení, pracovníci pověřeni řízením dopravy mají za úkol provést úkony, jež povedou k co nejrychlejšímu návratu pravidelnému odjezdu a příjezdů vlaků. Výchozím bodem pro simulaci provozu metra byl použit simulátor SIMSTORS, simulující reálný systém řízení dopravy. V rámci této práce byl navrhnout simulačně-optimalizační model, který zkoumá několik provozních otázek. Návrh vhodné strategie, periodicity, přeplánování, nastavení vývoje předpovědi provozu a rozhodnutí o frekvenci a délce optimalizačního procesu. Práce analyzuje šíření zpoždění vlaků v metru v souvislosti s různými strategiemi obnovy. Při hodnocení výkonu metra je důležité zohlednit potenciální konflikty mezi vlaky. Ty mohou vzniknout, když více vlaků požaduje stejné nástupiště nebo se nachází ve stejném úseku trasy v časovém intervalu, jenž je příliš krátký. Pro řízení dopravy v reálném čase se používají různé strategie, mající za úkol minimalizovat tyto konflikty. Tyto konflikty mohou zahrnovat změny



časového rozvržení, přeskupení vlaků nebo úpravy při křížení a průjezdů. Dalším aspektem je zpoždění vlaků vznikající v důsledku poruch a narušení provozu. Minimalizace zpoždění závisí na použití vhodné strategie obnovy. Z hlediska provozního hlediska je méně náročné provést přeplánování zpožděného vlaku, neboť tato změna má ovlivnit pouze dotčený vlak. Toto lze provést pomocí akcí jako je urychlení zpožděného vlaku (průjezdů, zkrácení prostojů) s cílem docílit snížení na nejmenší možnou míru nebo pozdržení následného vlaku a tím umožnění průjezdu vlaku zpožděného. Závěrem práce však bylo zjištěno, že rozhodnutí o změně pořadí vlaků může vést k vyššímu šíření zpoždění ve srovnání s rozhodnutími o změně časového rozvrhu bez zohlednění dopadu na všechny okolní vlaky. Je proto důležité pečlivě vyhodnotit a vybrat strategii obnovy s ohledem na její globální dopad a celý systém metra.

### 3.3 Oblast řízení silničního provozu při dopravních omezeních

I silniční doprava musí v případě uzavírek, ať už plánovaných či neplánovaných, čelit podobným úskalím souvisejícím s návrhem objízdnych tras jako doprava železniční. Výzkumy zabývající se touto problematikou jdou podobnými cestami jako výzkumy dané problematiky v dopravě železniční. A proto je možno pokusit se zužitkovat poznatky z problematiky silniční dopravy a aplikovat je na dopravu železniční. Jistou paralelou problému uzavírek železniční tak i silniční dopravy tkví v jeho samém jádru podstaty dopravy. Budeme-li brát na zřetel poměrně hustou silniční síť, jeví se automobilová doprava v případě dopravních omezení jako snadno řešitelná. Pokud však vezmeme v úvahu především dopravu kamionovou, pohled na tuto situaci se v zásadě odlišuje. Nákladní kamionová doprava má mnohé společné znaky s dopravou železniční. Hlavním znakem je omezené nebo nemožné použití objízdnych tras při částečné nebo úplné blokaci stanovených tras. Z hlediska technických parametrů objízdnych tras (únosnost mostů, snížená výška podjezdů a nadjezdů) a jejich propustnosti se výběr pro možné využití kamionové dopravou značně zužuje. V železničním, tak i silničním provozu nastávají obdobné situace, tedy vzniku absencí objízdnych tras nebo jejich vhodných alternativ. Z těchto příčin vznikají vícenáklady (penále, mzdy pracovníků) za opožděné nebo odřeknuté dodání zásilek, komplikace s obraty vozidel a posádek. To je jen krátký výčet podobných znaků silniční a železniční dopravy, jenž musí řešit dotčení dopravci a dispečeri.

Kolizní situace, zácpy i uzavírky a z toho plynoucí dopravní omezení neomezují jen individuální, ale také hromadnou dopravu a v neposlední řadě dopravu nákladní. Nejcitlivějšími na narušení plánů přepravy jsou již zmiňované systémy městských hromadných linek a nákladní dopravy, kde hledání nových objízdnych tras může být velmi obtížné. V těchto případech dochází k nejvýraznějším finančním újmám ze vzniku zpoždění a narůstající délky přepravní trasy. Dopady zpoždění pocítují nejen cestující, ale projeví se i na opožděných dodávkách zásilek a zboží.

V práci se autorský tým (Chaoxiong Wang, Chao, Hai Huang, Jing Qiu, Jianfeng Qu, Lihua Yin, et al. 2023) zamýšlí nad problematikou návrhu nejrychlejší trasy v daných podmínkách ovlivněných měnícím se provozem. Na základě znalostí výchozího a cílového bodu trasy, času předpokládaného odjezdu je možné vygenerovat nejrychlejší trasu. Přínosem je návrh trasy pomáhající zvýšit účinnost dopravního systému a optimalizovat nové trasy. Podstatou tohoto modelu je stanovení nejrychlejší trasy zohledňující provoz využitím neuronových sítí postavených na obecném algoritmu. Dopravní síť je brána jako adaptivní konvoluční rekurentní síť, která umožňuje určit rychlost na dotčených úsecích a tím i předpovědět jízdní dobu. Po zpracování vstupních hodnot algoritmus vyhledá nejrychlejší trasu v reálném čase.

Autoři (Ahmed Karam a Kristian Hegner Reinau, et al. 2022) se zaměřují na řízení silniční nákladní dopravy při nečekaných přerušeních, které jsou způsobeny špatnými povětrnostními podmínkami, dopravními nehodami a podobně. Tyto výpadky mají negativní dopad na zásobovací kapacitu a vyžadují efektivní řízení dopravy. V práci autoři popisují nový hybridní přístup kombinující simulační model, optimalizační algoritmy a analýzu nákladů. Tento přístup umožňuje analýzu dopadů narušení,

identifikaci postižených tras a rychlou změnu tras v reálném čase po přerušení dopravy. Tento model zahrnuje šest možností přeplánování, které jsou hodnoceny z hlediska nákladů, spolehlivosti a emisí CO<sub>2</sub>. Zmiňovaný model sloužící pro podporu rozhodování, využívá navržený přístup a umožňuje řízení narušené dopravy v reálném čase.

Danou problematikou o řízení a efektivním směřování vozidel v přetížených či zablokovaných trasách a jejich přesměrování se zabývají i autoři (Yassine Sabri, Najib El. Kamoun, et al., 2022). Tato práce využívá výstupů řídicích systémů určených k lokalizaci dopravních komplikací a zablokovaných tras. Navrhovaný systém dokáže efektivně směřovat dopravní toky při velkém nárůstu požadavků na provoz. Autoři vycházejí z inteligentního dopravního systému zahrnující rovnováhu mezi dopravním zatížením a použitými trasami. Pro identifikaci dopravních toků v reálném čase jsou využity výpočetní metody pracující na základě hlubokých neuronových sítí.

### 3.4 Dílčí závěry při plánovaných i neplánovaných mimořádnostech

V prostředí železničního, ale také silničního, provozu dochází k plánovaným i nepředvídatelným omezením, což způsobuje odchylky od stanoveného plánu a zpoždění. Cílem je plánování výluk a hledání optimálních řešení pro neplánovaná narušení dopravy.

Autoři ve svých vědeckých článcích popisují různé přístupy a modely pro plánování železničních tras, včetně použitých heuristických algoritmů, analýzy dat a simulací ve snaze minimalizovat dopady omezení na železniční dopravu a zajistit bezpečnost a kvalitu služeb na železnici. Hlavní myšlenkou studií v prostředí železničního tak i silničního je stanovení optimálního algoritmu nebo simulačního modelu usnadňující řešení postupů při částečné nebo úplné blokaci vytýčené trasy. Podstata je v použití matematického aparátu, který má za úkol analýzu dopadů narušení, identifikaci postižených tras a rychlou změnu tras v reálném čase po přerušení dopravy, optimalizace nákladů a minimalizaci zpoždění úpravou jízdnicích řádů nebo tras. Totožné přístupy jsou také použity v oblasti silniční dopravy, které mohou být zpětně aplikovatelné na železniční prostředí.

### 3.5 Metody predikce ztrát kapacit tratí při mimořádných událostech

V budoucích letech se předpokládá výrazné zvýšení poptávky po železniční dopravě v Evropě. Již dnes se některé železniční systémy nacházejí na hranici svých kapacit, a proto je zapotřebí efektivněji využívat stávající infrastrukturu. Na základě těchto faktů vznikají nové studie proveditelnosti, které by byly schopny navrhnout nové přístupy pro efektivní využití infrastruktury. Cíle tkví v návrhu, co nejlépe a nejefektivněji plánovat železniční služby, tak aby byly schopny vyrovnat se s narůstající poptávkou kladenou na železnici. Rozvoj železniční dopravy má zásadní vliv na vývoj dopravních problémů. Efektivita řízení a dostatečná kapacita dopravní sítě je podmínkou plynulosti dopravních proudů. Možnost použití alternativních tras a jejich budování napomáhá k udržitelnému rozvoji železniční dopravy. Zvyšování kapacity dopravy tratí je možné cestou zefektivnění řízení, tvorbou robustních jízdnicích řádů, zvýšením cestovní rychlosti nebo rozšiřováním a stavbou nových dopravních cest.

Důležitými hledisky železniční dopravy jsou přesnost, robustnost a doba jízdy. A tyto body je možné brát jako cíle. Aby mohly tyto cíle být naplněny, je potřeba vytvořit předpoklady pro splnění vstupních podmínek, které jsou důležité pro úspěšné plánování železniční dopravy. V plánování železniční dopravy se jedná o nalezení rovnováhy mezi plánovanými cestovními časy a předpokládanými zpožděními. Touto problematikou se zabývají (Johan Högdahl, Markus Bohlin, et al. 2023) a ve svém výzkumu se specializují na strukturalizaci modelů a metod pro generování jízdnicích řádů, s možností předcházet chybám zapracovaných při návrhu a schopných odolat drobným zpožděním a poruchám. Práce nabízí kombinovaně simulačně-optimalizační přístup pro dvoukolejnou trať, který využívá úprav jízdnicího řádu minimalizací zpoždění za použití váženého součtu plánované doby jízdy a celkového předpokládaného zpoždění.



Jak již bylo zmiňováno, příčiny vzniku zpoždění na železnici mohou mít mnoho podob. Zpoždění vznikají z vnějších nebo z vnitřních příčin případně jejich kombinací. Do typů závad vnějších započítávají např. extrémní počasí a nehody a do vnitřní např. poruchy zabezpečovacího zařízení nebo poruchy vozidel. V běžném provozu jsou zpoždění nevyhnutelná a přesné určení velikosti zpoždění je základem pro naplánování a změnu časové stopy dotčených vlakových spojů.

Řešení těchto situací leží na bedrech traťových dispečerů určených pro řízení a provoz vlaků. Rozvoj moderní vysokorychlostní železnice však předstihl vývoj nástrojů pro podporu řízení. Tuto problematiku, z hlediska existujících faktorů ovlivňujících zpoždění vlaků majících vliv na konflikty tras, zkoumají ve své vědecké práci. (Zhongcan Li, Ping Huang, Chao Wen, Xi Jiang, Filipe Rodrigues, et al. 2022) Říká, že: *vytvoření spolehlivého systému predikce zpoždění je základem k předpovídáním zpoždění*. Podstatou této výpočetní metody je vytvoření hybridní architektury neuronové sítě s účelem predikce velikosti zpoždění ve stanicích s odbočnými tratěmi, kde dochází během provozu ke kolizním trasám dotčených vlaků.

Železniční síť můžeme také chápat jako orientovaný graf s uzly a hranami s různou vahou, přičemž uzly bereme jako železniční stanice s rozvětvením a hrany jako mezistaniční úseky. Do takovéto sítě mohou vstupovat požadavky prosté, ale také vstupy pokročilých logistických systémů. Do systémů vstupují propojené dopravní operace zvyšující složitost dopravních sítí. Více vstupů se rovná náročnější možnost predikování vzniku poruchy (Ezaki Takahiro, Naoto Imura, Katsuhiko Nishinari, et al. 2022). Autoři ve své práci představili simulační model zkoumající logistické sítě. Výstupem modelu je určení závad v dané síti a doporučení jejich řešení. Model pracuje se třemi základními scénáři a umožňuje změny požadavků. Za první, pokud nastane zvýšená poptávka během určitého časového období pro určitou oblast. Za druhé, pokud nastane zvýšená celosíťová poptávka během časového období a za třetí trvalá změna poptávky pro vyhledání nové trasy s dostatečnou přepravní kapacitou.

Tvorba jízdních řádů je složitý a komplexní proces založený na zkušenostech a odbornostech jejich tvůrců a v současnosti i velké podpoře softwarových nástrojů. Tvůrci čelí výzvám, aby konstruované jízdni řády byly dostatečně robustní (odolné) a byla zachována přesnost provozu i přes vysokou poptávku a minimální spotřebě kapacity. Aby bylo možné splnit tyto protichůdně znějící požadavky, navrhuji autoři ve své práci (Emma Solinen, Carl-William Palmqvist, et al. 2023) alternativní přístupy tvorby jízdních řádů, které vedou ke změně politiky tvorby jízdních řádů, a to formou nových pravidel k dosažení vyšší robustnosti jízdních řádů. V praxi se používá několik typů meto vedoucí ke zvýšení robustnosti. Mezi nejběžnější patří časové rezervy, jenž se připočítávají k minimálním jízdním dobám nebo prostojům v nácestných stanicích. Další možnou metodou je tzv. předstih, tj. prodloužení časů pro vlaky po sobě jedoucí (vlakové mezidobí), tak aby se snížilo riziko po sobě navazujících zpoždění. Tyto metody však spotřebovávají kapacitu tratě a je zapotřebí stanovovat tyto doby na přijatelné úrovni. Dle UIC (2000) je tento časový doplněk doporučen ve výši na ujeté vzdálenosti a to 1-1,5 min/100 km nebo 3-7 % z celkové jízdni doby. Podstatou této práce je sestavení robustnějších jízdni řádů, pomocí definovaných pravidel, jež jsou méně citlivé na rušivé vlivy a schopné se „zotavit“ z malých zpoždění. Proces navrhování nových pravidel je založen na identifikaci klíčových bodů, kde dochází ke konfliktům mezi vlaky, a následném vytvoření pravidel pro jejich řešení. Výběr těchto kritických bodů se provádí na základě praktických znalostí tvůrců jízdni řádů a zohledňuje faktory jako rozdíly v rychlosti mezi vlaky, doba interakce mezi vlaky a možnosti předjíždění.

Práce (Florian Fuchs, Alessio Trivella, Francesco Corman, et al. 2022) se zaměřuje na inovativní přístup k plánování železničního systému. Ten řeší dvě důležité fáze – plánování trati a současně tvorbu jízdni řádů. Pomocí této metody lze stanovit nejmenší počet neproveditelných služeb v případě, že je stávající jízdni řád neproveditelný. Tato metoda efektivně využívá dostupnou železniční infrastrukturu a zohledňuje všechny možné trasy vlaků, což jsou často nezohledňované funkce. Práce je zaměřena na dvě fáze, které jsou řešeny v časově odlišných horizontech. První fáze obsahuje strategická a taktická rozhodnutí, tedy problematiku traťového plánování a problém časového rozvrhu. Ve druhé fázi systém

zohledňuje i omezení infrastruktury, tedy zohledňuje problémy trasování. Systém nezohledňuje rozšiřování stávajících železničních sítí, ale vychází jen z její optimalizace. Jedním z hlavních cílů práce je navrhnout inovativní opakovatelný přístup z hlediska problematiky traťového plánování a časového rozvrhu. Tento přístup stanoví množinu konfliktních služeb pro nalezení bezkonfliktního řešení týkajícího se traťového a časového rozvrhu. Dále navrhuje trasu schopnou využít dostupnou infrastrukturu umožňující přiřazení tras, popisu cesty vlaků, jízdních řádů, trasování a přiřazování nástupišť.

### 3.6 Dílčí závěry predikce ztrát kapacit tratí při mimořádných událostech

Rozvoj železniční dopravy je klíčovým krokem k řešení dopravních problémů. Efektivní řízení a dostatečná kapacita dopravní sítě jsou nezbytné pro plynulost dopravního provozu. Možnost využití alternativních tras a jejich rozšíření přispívá k udržitelnému rozvoji železniční dopravy.

Cesty, jak dosáhnout zvýšení kapacity dopravy v současnosti jsou: zefektivněním řízení, tvorba robustních jízdních řádů, zvýšením cestovní rychlosti, výstavba nových dopravních tras a nalezení rovnováhy mezi plánovanými cestovními časy a předpokládanými zpožděními.

## 4 ŘÍZENÍ ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY PROSTŘEDÍ ČESKÉ REPUBLIKY

### 4.1 Organizace řízení dopravy

*Řízením provozu se nazývá souhrn činností zahrnující vzájemné předávání informací, pokynů a požadavků mezi zaměstnanci operátora obsluhy dráhy, provozovatele dráhy a dopravců tak, aby byla zajištěna plynulost a bezpečnost železniční dopravy. (SŽDC D7, Předpis pro operativní řízení provozu, et al. 2014).*

V České republice je železniční provoz řízen dle vnitřních předpisů Správy železnic.

Vnitřní předpisy Správy železnic musí být v souladu s vyššími legislativními dokumenty, předpisy, vyhláškami, zákony a nařízeními Ministerstva dopravy ČR. Za základě této legislativy je vypracovávána základní dopravní dokumentace a dopravní předpisy popisující konkrétní situace a provozní podmínky. Znalost těchto dopravních předpisů je vyžadován u všech pracovníků zúčastněných v procesu řízení dopravy.

Řízení železničního provozu (Konopáč T., Leso M., Marvan M., et al. 2013) spočívá na základu regulace dopravních procesů. Podstata dopravního procesu je organizace systému a aktivit, které slouží k efektivnímu přemístování a přepravě dopravních prostředků, zboží, osob nebo informací z jednoho místa na druhé. Tento proces zahrnuje plánování, řízení, sledování a zajišťování bezpečnosti, aby bylo dosaženo účinného a spolehlivého pohybu a doručení. Aby bylo dosažena maximální efektivnosti při uspokojení všech dopravních potřeb, je zapotřebí usměrnění a koordinaci všech činností zaměstnanců dráhy.

Při řízení vlakové dopravy je nutná znalost informací, jenž podávají informace o bezporuchové činnosti technologických procesů. Na základě těchto informací můžeme rozdělit řízení železničního provozu do tří kategorií:

- základní řízení provozu,
- operativní řízení provozu,
- přímé řízení provozu.

Základní řízení železničního provozu je zastoupeno formou časového plánu, jenž je prezentován v podobě nákrešného jízdního řádu a souvisejících dokumentů platných obvykle po dobu jednoho roku

(tzv. období JŘ), zobrazující organizovaný způsob provozu veřejné dopravy. Pokud nastanou odchylky od základního jízdního řádu, jsou tyto odchylky řešeny tzv. v rámci operativního řízení dopravy a pomocí dispečerského aparátu.

Operativní řízení má na starosti sestavování a hodnocení opatření zaměřených na dodržení předem stanoveného jízdního řádu vlakové dopravy a případných dodatečných požadavků dopravců. Toto zahrnuje řešení nečekaných situací, které mají významný vliv na železniční systém. Výsledkem operativního řízení provozu jsou informace a směrnice pro přímé řízení železniční dopravy. Klíčovým referenčním bodem pro operativní řízení dopravy je platný jízdní řád vlakové dopravy.

Přímé řízení železničního provozu je využito v situacích vyžadující okamžité rozhodnutí, nejčastěji při mimořádnostech, zpožděních, nehodových událostech výlukách, živelných pohromách, nepříznivých povětrnostních podmínkách apod. Přímé řízení provozu má za cíl udržovat běžné a bezproblémové fungování železničního systému. Toto řízení využívá aktuální jízdní řád vlakové dopravy a směnový plán s dohodnutými požadavky dopravců. K podpoře práce dispečerského týmu je k dispozici informační systém operativního řízení (ISOR).

## 4.2 Způsoby řízení dopravy

Současnost řízení dopravy české železnice spočívá v několika způsobech řízení. Druh a způsob řízení dopravy se odvíjí od historického vývoje železnic na daném území, místních specifik.

Jako nejstarší typ řízení dopravy je tzv. „klasický přístup řízení“. Tento přístup řízení vlakové dopravy je realizován prostřednictvím výpravčích v jednotlivých dopravnách. Tyto dopravní s kolejovým rozvětvením (železniční stanice, výhybny) jsou rozmístěny v železniční síti a spolu s dispečerským aparátem zajišťující vyšší úroveň řízení pro určitou oblast. Tento dispečer komunikuje s výpravčími mezilehlých stanic na daném traťovém úseku a koordinuje řízení vlakové dopravy. Na méně vytížených a dopravně významných tratích je zaveden zjednodušený způsob řízení dopravy, kde jen vybrané dopravní jsou obsluhovány dopravním zaměstnancem. Tento traťový úsek je řízen z jednoho místa prostřednictvím řídicího dispečera.

Současný trend vývoje na České železnici jde směrem dálkového řízení železničního provozu. Systém řízení spočívá v kumulaci funkcí traťového dispečera, a výpravčích v dopravnách s podporou adekvátního způsobu obsluhy zabezpečovacího zařízení.

Vývojově mladším a technicky vyšším stupněm řízení vlakové dopravy, je řízení dálkové. Podmínkou aplikovatelnosti tohoto řízení je dálková obsluha zabezpečovacího zařízení. Proto také organizace řízení provozu částečně vyplývá z tohoto typu zabezpečovacího zařízení. Dálkově ovládané zabezpečovací zařízení je takové zařízení, které je možno obsluhovat z jednoho místa umožňující ovládat několik dopravní (stanice, odbočky, dopravní). Dálkového řízení železniční dopravy je možné rozdělit na menší podcelky. Tedy na dálkové řízení jedné dopravní, úsekového řízení a dálkové řízení oblasti.

Řízení jedné dopravní je základním příkladem dálkového řízení (odbočka, menší dopravní přidružená s blízkou železniční stanicí). Řízení je prováděno pomocí dopravního zaměstnance. Úsekové řízení spočívá na principu rozdělení trati na menší mezistaniční traťové úseky a zahrnující malý počet (jednotek) dopravní s kolejovým rozvětvením. Toto řízení je prováděno zaměstnancem v některé z dopravní (řídicí) na trati a obsluhující místně domovskou dopravní a dálkově dopravní zbývající. Dálkové řízení dopravy vychází ze základů „úsekového řízení“. Tento způsob je rozšířen na větší počet dopravní a traťových úseků vycházející z předpokladů, že jedno pracoviště obsluhuje ucelený traťový úsek mezi dvěma železničními uzly. Velkou výhodou tohoto způsobu řízení je vysoká operativnost řízení provozu.

### 4.3 Podpůrné nástroje řízení

Jedním z nástrojů používanými pro predikci jízdy vlaků, je využití Centrálního dispečerského systému (CDS), který zaznamenává pohyb vlaků mezi dopravními dané trati a řídicím pracovníkům poskytuje odhady jízdy v následující části tratě. Těmito odhady se mohou pracovníci při řízení provozu řídit.

Dalším podpůrným systémem je systém ISOŘ (Správa železnic 2023) (Informační systém operativního řízení). Jedná se o moderní systém pro řízení železniční dopravy mající řadu funkcí. Systému ISOŘ umožňuje centralizovat řízení železniční dopravy z dispečerského pracoviště. Dispečerům poskytuje přehled o provozu na celé síti. Pro usnadnění řízení provozu systém umožňuje optimalizaci jízdnicích řádů a plánování tras vlaků. Dispečeré mohou efektivně koordinovat jízdu vlaků a minimalizovat zpoždění. Z dalších možných funkcí nepřímo související s řízením provozu, jsou funkce pro monitoring provozních dat, archivaci a jejich analýzu.

Nedílnou součástí řízení provozu v prostředí železnice České republiky jsou prováděcí předpisy Správy železnic, které vychází ze zákona 266/1994 Sb. a vyhlášky 173/1995 Sb. Mezi hlavní předpisy pro řízení provozu jsou předpis SŽ D1 „Dopravní a návěstní předpis pro tratě nevybavené evropským vlakovým zabezpečovačem“, předpis SŽ D3 „Předpis pro zjednodušené řízení drážní dopravy“ Správy železnic, státní organizace a předpis SŽDC D7, „Předpis pro operativní řízení provozu“

Z těchto předpisů vychází řada „psaných, ale i nepsaných“ dispečerských pravidel a postupů, jimiž se pracovníci řízení provozu řídí. Jedno z těchto pravidel je pravidlo kategorie vlaků. Nejdřív odjíždí ten vlak, který má vyšší prioritu. Není to však úplně závazným pravidlem. Dispečeré operativně rozhodují o pořadí vlaků na základě svých profesních zkušeností, vnějších informací a podmínek. Tato rozhodnutí jsou většinou spontánní a vycházejí ze stávající dopravní situace.

I přes všechny vyjmenované nástroje je dispečer poslední instancí vydávající konečné rozhodnutí o pohybu a jízdě vlaků.

## 5 VYBRANÉ METODY A JEJICH MOŽNÉ VYUŽITÍ V PROSTŘEDÍ SPRÁVY ŽELEZNIC

V prostředí Správy železnic se nabízí poměrně široké uplatnění a zavedení podpůrných nástrojů, jenž by napomohly a usnadnily rozhodovací procesy řízení vlakové dopravy. Při vzniku mimořádné události pracovníci centrálního řídicího pracoviště řídí dopravu na základě zkušeností, doporučených pravidel vycházejících z dopravních předpisů. Tato rozhodnutí musí být provedena v co nejkratším čase. Tento fakt má za následek zvýšený nápor na psychiku řídicích pracovníků, jenž může vést k nesprávným rozhodnutím a ve výsledku k dalšímu možnému navýšení zpoždění vlaků v dotčené oblasti.

Jak již bylo zmíněno, v případě vzniku situace odlišující se od pravidelného provozu, je prvořadým úkolem dispečerů tyto krizové situace v reálném čase zvládnout, po ukončení poruchy co nejrychleji stabilizovat dopravu a vrátit provoz do stanoveného jízdnicího řádu. Se zvyšujícím se počtem centrálně obsluhovaných tratí v prostředí české železnice, se jeví jako aktuální hledání optimalizačních metod, které se mohou stát vhodnou pomůckou v rozhodovacím procesu při centrálním řízení vlakové dopravy.

Pro řešení metod je zapotřebí stanovit cíle, počátečních podmínky, pravidla a jejich řešení. Jsou to například tato pravidla:

- pravidlo priority: první odjíždí vlak, který má vyšší prioritu,
- pravidlo pořadí: první odjíždí vlak, který dřív přijel,
- pravidlo nejmenšího zpoždění: Nejdřív odjíždí vlak, který má nejmenší zpoždění,
- pravidlo konečné stanice: Nejdřív odjíždí vlak, který má nejmenší čas do konečné stanice.

Pro případovou studii, z hlediska výpočtu, je zapotřebí stanovit několik vstupních podmínek:

- zohlednit délku přerušení, tedy zda se bude jednat o krátkodobou či dlouhodobější blokaci trati,
- určit druh přerušení (plánované či neplánovaného výluky),
- stanovit podmínky minimalizace zpoždění a cestovního času,
- při dlouhodobějším přerušení provozu nezanedbat možnost přeplánování vlaků a vlakových čet,
- zvážit možnost zrušení, odřeknutí nebo odklonění vlaku.

Aby tento systém za těchto podmínek optimálně pracoval, je nutné stanovit víceúčelový simulační rámec, jenž by řídil účinně vlakovou dopravu při částečné nebo úplné blokaci tratě. Přístupy autorů a vědeckých týmů se různí a používají různé metody výpočtů např.: matematické modelování, teorie grafů, lineární programování, heuristické algoritmy, se snahou o docílení minimalizace dopadů omezení na železniční dopravu a zajištění bezpečnosti a kvalit služeb.

Z hlediska univerzálnosti a novátorských přístupů, se jeví jako jedna z možností využití metod Fuzzy logiky nebo metody „Deep Forest“.

### 5.1.1 Fuzzy logika

Slovo „Fuzzy“ se dá volně přeložit z anglického jazyka jako „mlhavý, nejasný či neurčitý“ (Jura Pavel, et al. 2003). Fuzzy logika je tedy volně řečeno logikou „mlhavou, neurčitou“. Jedná se o matematický přístup sloužící ke zpracování neurčitostí a nejasností v rámci rozhodování a řízení ve formě vícehodnotové logiky, kde výsledná hodnota je jakékoliv reálné číslo z intervalu 0 nebo 1. Tradiční binární logika pracuje pouze s hodnotami "pravda" (1) nebo "nepravda" (0). Základem fuzzy logiky jsou fuzzy množiny zahrnující prvky s hodnotami příslušnosti mezi 0 a 1, kde 0 znamená nulovou příslušnost k množině a 1 značí plnou příslušnost (Navara M., Olšák P., et al. 2007).

V rámci řízení provozu vlaků fuzzy logika je možné využít k různým přístupům, z nichž by některé mohly efektivně usnadnit procesy řízení provozu. Zavádění moderních metod v oblasti řízení železniční dopravy a snahy o její zefektivnění, pomocí výpočetní techniky, umělé inteligence s využitím neuronových sítí umožní díky její schopnosti modelovat, řešit neurčitosti, změny v prostředí, které jsou často přítomné v dopravních systémech.

Systém fuzzy logiky může pomoci v rozhodování ohledně rychlosti vlaků, intervalů mezi vlaky, změně trasy a dalších aspektů. Na základě vstupních dat, jako je hustota provozu, předpověď toků cestujících, předpovědi počasí a další, mohou být definovány fuzzy pravidla určující optimální akce pro řízení provozu vlaků.

Jsou situace, ve kterých se dá Fuzzy logika úspěšně použít, např. při řízení rychlosti vlaků v různých dopravních situacích. Kupříkladu na základě aktuálního provozu, povolené rychlosti na úseku tratě, přítomnosti cestujících a dalších faktorů může fuzzy systém rozhodnout o optimální rychlosti vlaku, minimalizaci zpoždění, intervalech mezi vlaky, změně tras apod.

Fuzzy systémy mohou automaticky upravovat své rozhodovací pravidla a parametry v závislosti na aktuálních vstupních datech. To umožňuje dynamické a flexibilní řízení provozu vlaků v reálném čase. Při použití Fuzzy logiky je podstatné hledisko multikriteriální rozhodování. Místo jednoho jediného kritéria (např. minimální zpoždění), fuzzy systémy mohou zohlednit více kritérií současně, například zpoždění, spotřebu energie, náklady na provoz a další. Tím se umožňuje vyvážení různých faktorů a nalezení kompromisních řešení.

Další možný směr aplikovatelnosti fuzzy logiky je ve pro simulaci a optimalizaci provozu vlaků. Simulační modely založené na fuzzy logice umožňují zkoumat různé scénáře a jejich dopady na provozní výkonnost a efektivitu. Optimalizační techniky mohou být použity k nalezení nejlepších parametrů pro řízení provozu vlaků na základě definovaných cílů. Pomocí fuzzy systémů lze modelovat a hodnotit rizika spojená s různými aspekty provozu jako je bezpečnost, přetížení sítě, kolize a další. To umožňuje identifikovat a předcházet potenciálním problémům a minimalizovat následná rizika.

Potenciál fuzzy logiky může být úspěšně využit při integraci do systémů řízení provozu vlaků a přinést výhody jako jsou zlepšení efektivity, bezpečnosti a spolehlivosti provozu. Konkrétní implementace a využití fuzzy logiky závisí na konkrétním kontextu a požadavcích systému řízení provozu vlaků.

### 5.1.2 Deep Forest

Tato metoda je založena na základě konkrétního přístupu v oblasti strojového učení, přesněji s metodami hlubokého učení jako jsou neuronové sítě. Hluboké učení je technika strojového učení schopná automaticky odhalovat složité vzory a struktury ve velkých datových sadách. Podstata metody Deep Forest je založená na kombinaci několika lesů (rozhodovacích stromů), jenž jsou trénovány pomocí techniky „ensemble learning“ (učení výběrem). Tato metoda se používá jako alternativa k hlubokým neuronovým sítím. Podstata metody spočívá ve využití hierarchické struktury stromů, které jsou trénovány na různých podmnožinách dat s následnými kombinacemi jejich výstupů pomocí hlasování nebo průměrování. Každý strom je trénován na různých extraktech příznaků z dat a následně se jejich výstupy propojí, aby se dosáhlo konečného rozhodnutí.

Z hlediska poptávky mohou být hluboké neuronové sítě trénovány na historických datech z poptávky po cestování, z nichž je možné předpovědět budoucí poptávku. Tato zjištění umožňují přizpůsobit provoz a kapacitu vlaků na základě očekávaného počtu cestujících. Neuronové sítě mohou být dále využity pro optimalizaci tras vlaků na základě různých faktorů, jako je provoz na tratích, dostupnost nástupišť, plánovaných výlukách a další. Dále mohou neuronové sítě analyzovat data o aktuálním stavu železniční sítě, dopravních toků, návrh optimální trasy a případných úprav jízdního řádu. V případě znalosti detekce poruch a údržby k vytvoření harmonogramu údržbových zásahů. V kombinaci Deep Forest s řízením provozu vlaků je nutné vhodně formulovat úlohy a využít tento přístup pro specifické problémy a datové sady v rámci řízení provozu vlaků.

Příkladem použití této metody v praxi je vědecká práce (Data-driven decision support for rail traffic control: A predictive approach) v níž autoři (Jie Luo, Chao Wen, Wen Wen, Ping Huang, et al. 2022) úspěšně aplikovali metodu pokročilého rozhodovacího systému pro řízení železničního provozu.

## 6 ZÁVĚR

Plánování a řízení dopravy v předem očekávaných či nenadálých situacích se stává výzvou pro pracovníky řízení provozu. Cílem zahraničních prací je minimalizovat dopady omezení na železniční dopravu, zajistit bezpečnost a kvalitu služeb a stanovit její důsledky. Stanovené úkoly vědeckých prací byly naplněny a výsledky studií více či méně úspěšně aplikovány v reálném železničním provozu. Šíře a rozsah použití metod v praxi a jejich aplikovatelnost závisela na jejich univerzálnosti a způsobu použitelnosti v konkrétních případech.

Z vědeckých prací je zřejmé, že problematika přeplánování tras není zkoumána výhradě v železniční dopravě. Není tedy nutné se zabývat pouze touto oblastí. Tako problematika zasahuje i do oblastí silničního a leteckého provozu, prostředí podzemních drah metra atd. V těchto oblastech jsou využívány obdobné metody využívané při anomáliích a komplikacích při řízení železničního provozu.

S rozvojem dálkového řízení železničního provozu se v prostředí Správy železnic otevírá prostor pro výzkum, aplikaci metod a zavádění těchto metod do praxe. Podpůrné metody řízení české železnice čekají na novátorské přístupy z hlediska zavádění matematicko-analytických nástrojů, jenž s rozšiřováním centrálního řízení budou v budoucnu nezbytnou součástí a pomocníkem dispečerských pracovišť.

## Literatura

- SŽ D1. **2023**. Dopravní a návěstní předpis pro tratě nevybavené evropským vlakovým zabezpečovačem. Dostupné z URL: [Platné a účinné dokumenty a předpisy \(szdc.cz\)](#)
- SŽDC SŽ D3. **2022**. Předpis pro zjednodušené řízení drážní dopravy. **2022**. Dostupné z URL: [Portál provozování dráhy \(spravazeleznice.cz\)](#)
- SŽDC D7, Předpis pro operativní řízení provozu. **2014**. [Portál provozování dráhy \(spravazeleznice.cz\)](#)
- Jura, P., **2003**. Základy fuzzy logiky pro řízení a modelování. Brno. Vysoké učení technické v Brně.
- Navara, M., Olšák P., **2007**. Základy Fuzzy množin. Praha. České vysoké učení technické v Praze.
- NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) **2021/782** ze dne 29. dubna 2021 o právech a povinnostech cestujících v železniční přepravě ([EU 2021/782 - Nařízení Evropského parlamentu a Rady ... | Esipa.cz](#) [Přístup: 2022]
- Drážní inspekce. **2023**. Statistiky mimořádných událostí. Dostupné z URL: [Statistiky mimořádných událostí | Drážní inspekce \(dicr.cz\)](#)
- Konopáč, T. **2013**. Silnice a železnice: Řízení železniční dopravy. [Online]. Dostupné z URL: [Řízení železniční dopravy 1. část \(silnice-zeleznice.cz\)](#). [Přístup: 2022].
- Konopáč, T., Leso, M., Marvan M. **2013**. Koncepční záměr řízení železničního provozu na tratích ve vlastnictví státu – České republiky. [Online]. Dostupné z URL: [Koncepni-zamer-rizeni-zelezniciho-provozu-na-tratich-ve-vlastnictvi-statu---Ceske-republiky.pdf.aspx \(mdcr.cz\)](#). [Přístup: 2023].
- Správa Železnic, ISOŘ KADR. **2023**. Dostupné z URL: [Portál provozování dráhy \(spravazeleznice.cz\)](#). [Přístup: 2023].
- Česká republika. **1994**. Zákon č. 266/1994 Sb., o dráhách, ve znění pozdějších předpisů. Dostupné z URL: [266/1994 Sb. Zákon o dráhách \(zakonyprolidi.cz\)](#) [Přístup: 2023].
- Česká republika. **1995**. Vyhláška č. 173/1995 Sb., Vyhláška Ministerstva dopravy, kterou se vydává dopravní řád drah. Dostupné z URL: [173/1995 Sb. Vyhláška, kterou se vydává dopravní řád drah \(zakonyprolidi.cz\)](#). [Přístup: 2023].
- Borecka, T., Besinovic, N. **2021**. Scheduling multimodal alternative services for managing infrastructure maintenance possessions in railway networks. Transportation Research Part B: Methodological. Vol. 154, (147-174). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0191261521001946>
- Buurman, B., Gkiotsalitis, K., E.C. van Berkum. **2023**. Railway maintenance reservation scheduling considering detouring delays and maintenance demand. Journal of Rail Transport Planning & Management. Vol. 25. [Journal of Rail Transport Planning & Management | Vol 25, March 2023 ScienceDirect.com by Elsevier](#)
- Chithra, Devi, S., Maheswari, D., **2022**. An Embellished Particle Swarm Optimization Technique in VANET for Finding Optimal Route (E-PSO). SN Computer Science, vol. 4, (109). [An Embellished Particle Swarm Optimization Technique in VANET for Finding Optimal Route \(E-PSO\) | SpringerLink](#)
- Ezaki, T., Imura, N., Nishinari, K. **2022**. Towards understanding network topology and robustness of logistics systems. Communications in Transportation Research. Vol. 3, (1-20). [Communications in Transportation Research | Journal | ScienceDirect.com by Elsevier](#)
- Filcek, G., Dariusz, G., Hojda, M., Józefczyk, J. **2021**. An Algorithm for Rescheduling of Trains under Planned Track Closures. MDPI Journal List, vol. 11(5), (2-41). [Applied Sciences | Free Full-Text | An Algorithm for Rescheduling of Trains under Planned Track Closures \(mdpi.com\)](#).
- Fuchs, F., Trivella, A., Corman, F. **2022**. Enhancing the interaction of railway timetabling and line planning with infrastructure awareness. Transportation Research Part C: Emerging Technologies,



- vol. 142. [Enhancing the interaction of railway timetabling and line planning with infrastructure awareness - ScienceDirect](#)
- Hojda, M., Filcek, G. **2020**. A Joint Problem of Track Closure Planning and Train Run Rescheduling with Detours, International Conference on Systems Science, No. 539, (285–294). [A Joint Problem of Track Closure Planning and Train Run Rescheduling with Detours | SpringerLink](#)
- Högdahl, J., Bohlin, M. **2023**. A Combined Simulation-Optimization Approach for Robust Timetabling on Main Railway Lines. *Transportation Science* vol. 57(1), (52-81). <https://doi.org/10.1287/trsc.2022.1158>
- Karam, A., Hegner, K. R, A. Real-Time. **2022**. Decision Support Approach for Managing Disruptions in Line-Haul Freight Transport Networks, vol. 23, No. 12. [A Real-Time Decision Support Approach for Managing Disruptions in Line-Haul Freight Transport Networks | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore](#)
- Li, Z, Huang, P., Wen Ch., Xi, Jiang, Rodrigues, F. **2022**. Prediction of train arrival delays considering route conflicts at multi-line stations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, (1-20). [Transportation Research Part C: Emerging Technologies | Journal | ScienceDirect.com by Elsevier](#)
- Luo, J., Peng, Q., Wen Ch., Wen, W., Huang, P., **2022**. Data-driven decision support for rail traffic control: A predictive approach. *Expert Systems with Applications*., vol. 207. [Data-driven decision support for rail traffic control: A predictive approach - ScienceDirect](#)
- Moa B., Koutsopoulos H. N., Max Jun Z. S., Zhao J. **2022**. Robust Path Recommendations During Public Transit Disruptions Under Demand Uncertainty. *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 169, (82-107). [Robust path recommendations during public transit disruptions under demand uncertainty - ScienceDirect](#)
- Rodriguez-Deniz, H., Villani, M. **2022**. Robust Real-Time Delay Predictions in a Network of High-Frequency Urban Buses. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 23. (16304 – 16317). [Robust Real-Time Delay Predictions in a Network of High-Frequency Urban Buses | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore](#).
- Sabri, Y., Kamoun, E. N., **2023**. Traffic management in vehicular adhoc networks using hybrid deep neural networks and mobile agents. *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, No. 1. vol. 12, (114-123). [10.11591/ijai.v12.i1.pp114-123](https://doi.org/10.11591/ijai.v12.i1.pp114-123)
- Shakibayifar, M., Sheikholeslami, A., F. Corman, and Hassannayebi, E. **2017**. An integrated rescheduling model for minimizing train delays in the case of line blockage. *SpringerLink*, vol. 20, (59–87). [An integrated rescheduling model for minimizing train delays in the case of line blockage | SpringerLink](#)
- Solinen, E., Palmqvist, C. W., **2023**. Development of new railway timetabling rules for increased robustness. *Transport Policy*, vol. 133, (198-208). [Development of new railway timetabling rules for increased robustness - ScienceDirect](#)
- TAN, D., LI, Y. **2022**. Modelling the passenger flow potential of rail stations from the perspective of sustainable TOD construction. *Journal of Geoinformation. Science*, vol. 24(12), (2356-2372). [DOI:10.12082/dqxxkx.2022.220315](https://doi.org/10.12082/dqxxkx.2022.220315)
- Tessitore, M. L., M. Sama, M., D'Ariano, A., Hérouet, L., Pacciarelli, D. **2022**. A Simulation-Optimization Framework for Traffic Disturbance Recovery in Metro Systems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 136, (1-23). [DOI: 10.1016/j.trc.2021.103525](https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103525)
- Vujanic, R., Hill, A. J., **2021**, Computationally Efficient Dynamic Traffic Optimization of Railway Systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 5, (4706 – 4719). [Computationally Efficient Dynamic Traffic Optimization of Railway Systems | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore](#)
- Wang, Ch., Li Ch., Huang, H., Qiu, J., Qu, J., Yin, L. **2023**. ASNN-FRR: A traffic-aware neural network for fastest route recommendation. *GeoInformatica* 27, (39–60). <https://doi.org/10.1007/s10707-021-00458-7>