



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Daniel Franc

Implementace autonomního železničního provozu do
systémů reálné infrastruktury

Bakalářská práce

2022

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K620..... Ústav dopravní telematiky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Daniel Franc

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – ITS – Inteligentní dopravní systémy

Název tématu (česky): **Implementace autonomního železničního provozu do systémů reálné infrastruktury**

Název tématu (anglicky): Implementation of Autonomous Railway Operation Into Real Infrastructure Systems

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Analýza současných technologií autonomních vozidel, směr vývoje a porovnání železnice s automotivem
- Popis stavu železniční infrastruktury a potřebných změn pro optimální provoz autonomních železničních vozidel
- Legislativa pro autonomní železnici, analýza stávající legislativy u autonomních vlaků a autonomního provozu
- Návrh postupu implementace autonomního provozu na železnici, definice možných pozitiv a negativ a s tím spojených nezbytných úprav
- Návrh interoperability a využitelnosti dat autonomní železnice s ostatními dopravními systémy, systémy infrastruktury a municipalit



FAKULTA V PRAZE



- Rozsah grafických prací: Dle požadavků vedoucích práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: P. Singh, M. A. Dulebenets, J. Pasha, E. D. R. S. Gonzalez, Y. -Y. Lau and R. Kampmann, "Deployment of Autonomous Trains in Rail Transportation: Current Trends and Existing Challenges," 91427-91461, 2021, doi:10.1109/ACCESS.2021.3091550.
M. Svítek, M. Postránecký a kol. - Města budoucnosti

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Patrik Horažďovský, Ph.D.**
Ing. Vítězslav Landsfeld

Datum zadání bakalářské práce: **5. října 2021**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **8. srpna 2022**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

Ing. Zuzana Bělinová, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravní telematiky



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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Daniel Franc
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 5. října 2021

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji panu Ing. Patriku Horažďovskému Ph.D. za odborné vedení a konzultování bakalářské práce a za rady, které mi poskytoval po celou dobu mého studia a dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Vítězslavu Landsfeldovi, za konzultace a umožnění přístupu k mnoha důležitým informacím a materiálům. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat svým rodičům a blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

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

V Praze dne 7. srpna 2022

.....

Daniel Franc

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Implementace autonomního železničního provozu do systémů reálné infrastruktury

Srpen 2022

Daniel Franc

Abstrakt

Předmětem bakalářské práce je analyzovat současný stav vývoje autonomních drážních vozidel, nynější železniční infrastrukturu a existující legislativu spojenou s autonomními drážními vozidly a autonomním provozem, následně na základě těchto analýz definovat překážky bránící implementaci autonomního provozu a navrhnout řešení postupu implementace autonomního provozu na železnici a nastítnit možnou kooperaci systémů autonomních vozidel a dalších systémů.

Klíčová slova

Autonomní vozidlo, autonomní provoz, železniční doprava, interoperabilita

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of transportation sciences

Implementation of autonomous railway operation into real infrastructure systems

August 2022

Daniel Franc

Abstract

The subject of the bachelor's thesis is to analyze the current state of development of autonomous railway vehicles, the current railway infrastructure and existing legislation related to autonomous railway vehicles and autonomous traffic, then based on these analysis to define the obstacles preventing the implementation of autonomous traffic and to propose a solution for the implementation of autonomous traffic on railways and to outline possible cooperation autonomous vehicle systems and other systems.

Keywords

Autonomous vehicle, autonomous operation, rail transport, interoperability

Obsah

1. Úvod	9
2. Analýza současných technologií a vývoje.....	11
2.1 Úrovně a stupně automatizace	11
2.1.1 Úrovně automatizace u silničních vozidel	11
2.1.2 Stupně automatizace u kolejových vozidel	13
2.1.3 Porovnání automatizace kolejové a silniční dopravy	14
2.2 Analýza technologií pro autonomní jízdu.....	14
2.2.1 Systémy automatického řízení vlaku.....	15
2.2.1.1 Systémy nutné pro autonomní provoz.....	16
2.2.1.2 Technologie pro sledování prostoru v okolí vlaku.....	17
2.2.1.3 Popis dalších detektorů	18
2.2.1.4 Popis kooperace systémů autonomního kolejového vozidla	19
2.3 Existující automatizace kolejových vozidel.....	21
2.3.1 Zprovozněné provozy	21
2.3.1.1 Osobní vlaková doprava	21
2.3.1.2 Nákladní vlaková doprava	23
2.3.2 Plánované projekty.....	25
2.3.2.1 Projekty ve světě	25
2.3.2.2 Projekty v ČR.....	26
3. Popis stavu železniční infrastruktury	28
3.1 Nynější stav železniční infrastruktury v České republice.....	28
3.1.1 Obecné statistiky a organizační členění	28
3.1.2 Elektrizace a systémy trakčních proudových soustav	28
3.1.3 Systémy zabezpečení.....	29
3.1.3.1 Traťové zabezpečovací zařízení (TZZ).....	29
3.1.3.2 Staniční zabezpečovací zařízení (SZZ).....	31
3.1.3.3 Přejezdové zabezpečovací zařízení (PZZ)	32
3.1.3.4 Vlakové zabezpečovací zařízení (VZZ)	33
3.1.3.5 Shrnutí vhodnosti systémů zabezpečení pro autonomní provoz.....	35
3.1.4 Železniční koridory	36
3.1.5 Oblasti rozvoje české železniční infrastruktury	37
3.1.6 Tratě s autonomním provozem v ČR.....	38
3.2 Potřebné změny pro optimální provoz autonomních kolejových vozidel.....	39
3.2.1 Nutné změny pro autonomní provoz	39
3.2.1.1 Spojení pro komunikaci, optimalizaci a dohled nad vozidlem	39

3.2.1.2 Dispečerské pracoviště autonomního provozu	41
3.2.2 Doporučené změny	41
4. Legislativa Autonomních vlaků a autonomního provozu	44
4.1 Analýza legislativy ČR pro autonomní drážní vozidla a jejich provoz	44
4.1.1 Legislativa v železničním sektoru	44
4.1.2 Legislativa v silničním sektoru	45
4.2 Analýza světové legislativy v oblasti autonomní dopravy a provozu	45
5. Návrh postupu implementace autonomního provozu	47
5.1 Překážky zavedení autonomních vozidel do provozu	47
5.2 Začátek implementace autonomního provozu	49
5.3 Další otázky příchodu autonomie	50
5.4 Definice možných pozitiv a negativ zavedení autonomního vlakového provozu	52
5.4.1 Možná pozitiva	52
5.4.2 Možná negativa	54
6. Návrh interoperability a využitelnosti dat autonomní železnice s ostatními dopravními systémy, systémy infrastruktury a municipalit	55
6.1 Kooperace mezi autonomními systémy a využitelnost dat	55
6.2 Interoperabilita dopravních systémů s autonomní železnicí	56
6. Závěr	63
7. Seznam zdrojů	65
8. Seznam obrázků	71
9. Seznam tabulek	72

Seznam použitých zkratk

ASVC	Automatické stavění vlakových cest
ATC	Automatic train control
ATO	Automatic train operation
ATP	Automatic train protection
ATS	Automatic train supervision
AVV	Automatické vedení vlaku
BSM	Basic safety message
CRV	Centrální regulátor vozidla
ČVUT	České vysoké učení technické
DTO	Driverless train operation
ERTMS	European Rail Traffic Management System
ETCS	European train control system
GNSS	Global navigation satellite system
GOA	Grade of automation
GTN	Graficko-technologická nástavba
IEC	International Electrotechnical Commission
IoT	Internet of Things
NTO	Non-automated train operation
PZS	Přejezdové zabezpečení světelné
PZZ	Přejezdové zabezpečovací zařízení
SAE	Society of automotive engineers
STO	Semi-automated train operation
SZZ	Staniční zabezpečovací zařízení
TMS	Traffic management system
TOS	Train operation On-Sight
TSI	Technical specifications for interoperability
TZZ	Traťové zabezpečovací zařízení
UGTMS	Urban guided transport management and command/control systems
UIC	International union of railways
UITP	International Association of Public Transport
UTO	Unattended train operation
VUT	Vysoké učení technické
VUZ	Výzkumný Ústav Železniční
VZZ	Vlakové zabezpečovací zařízení
ZU	Západočeská univerzita

1. Úvod

Autonomní neboli samoříditelná vozidla jsou vozidla, které jsou schopna se dostat z výchozí destinace do cílové bez interakce s řidičem, tedy řidič je vlastně pasažérem. V dnešní době jsou hojně využívána vozidla, která sice nejsou plně autonomní, ale mají v sobě implementovány určité autonomní prvky, jedná se o vozidla automatická, která jejich řidičům a pasažérům zvyšují komfort a bezpečnost jízdy. U silničních vozidel se může jednat např. o systémy hlídání mrtvého úhlu a u vozidel dráhy speciální (metra) o systém automatické jízdy dle optimálního jízdního profilu. Plně autonomní vozidla, která obsahují celou řadu těchto systémů, mohou představovat vysoce komfortní, a hlavně bezpečnou dopravu.

Autonomní vlakový provoz musí překonat ještě řadu překážek, než bude moci být implementován. Drážní vozidla schopná autonomní jízdy musí být vybavena technologiemi, které dokážou snímat okolí vozidla a reagovat na dané podněty. Vozidlo také musí obsahovat technologie, které umožní jeho samostatnou jízdu. Dále je nutné vybavit infrastrukturu různými zařízeními, které jsou pro autonomní provoz nezbytné (komunikační systémy). Výhodné bude také obsadit určitá místa trati detektory (zejména železniční přejezdy či stanice) či dalšími pomocnými zařízeními. Další překážkou je neexistující legislativa, která momentálně nedovoluje využití plně autonomních vozidel. V práci jsou výše zmíněné body popsány i s případnými návrhy, jak situaci řešit. Dále jsou zde nastíněny i další otázky týkající se autonomního provozu, jedná se např. o otázky finanční či lidského myšlení.

V momentě, kdy už budou autonomní vozidla implementována, bude možnost jejich kooperace s dalšími systémy, autonomní vozidla budou obsahovat velká množství dat, která mohou být využita např. v informačních systémech a aplikacích. Kooperace může také probíhat s dalšími dopravními systémy (autonomními i neautonomními). U těchto systémů dojde díky jejich kooperaci ke zvýšení efektivity a uživatelské přívětivosti.

Tato práce se věnuje implementaci autonomních drážních vozidel do železničního provozu a jejich možné propojitelnosti s ostatními systémy. Oproti autonomním automobilům jsou autonomní vlaky zatím v začátcích své implementace do reálného provozu na konvenčních železničních tratích. Pohyb vozidla na železnici je ovšem v určitých aspektech podstatně jednodušší než na pozemní komunikaci. Jeho dráha je daná a při běžné jízdě neprobíhá tolik interakcí s okolním prostředím jako u automobilů. Naopak aspekt, se kterým se v železničním provozu musí počítat jsou dlouhé brzdné dráhy.

V úvodu práce je uvedené rozdělení autonomních vozidel dle úrovně automatizace, dále jsou popsány technologie umožňující autonomní jízdu a vypsány některé již zprovozněné autonomní provozy a plánované projekty. Následně je analyzován nynější stav železniční infrastruktury v České republice. Tato analýza obsahuje obecné statistiky, popis elektrizace tratí, systémů zabezpečení, železničních koridorů a tratí s autonomním provozem v ČR. V další části se autor věnuje potřebným a doporučeným změnám na infrastruktuře pro autonomní provoz, průzkumem legislativy spojené s autonomními vlaky a autonomním provozem v ČR i ve světě. V závěru práce je na základě těchto analýz navržen postup implementace, vyzdvižení hlavních překážek, řešení otázek týkajících se příchodu autonomie a jsou definována možná pozitiva a negativa zavedení autonomního provozu. V poslední části jsou navrženy možnosti kooperace mezi autonomními vozidly a zhodnoceny návrhy této kooperace.

2. Analýza současných technologií a vývoje

Jelikož autonomní provoz má probíhat zcela bez zásahu personálu vozidla, musí být vyvinuty systémy, které dokážou vykonávat činnosti místo provozního personálu (ať už silničního či kolejového vozidla). Pro přehlednost a snadnou rozlišitelnost míry automatizace jsou tyto systémy rozřazeny do určitých úrovní, podle toho, v jaké míře dokáže vozidlo a jeho systémy vykonávat provozní úkony samostatně.

2.1 Úrovně a stupně automatizace

Pro rozlišení jednotlivých úrovní automatizace byl organizací SAE¹ vytvořen standard „SAE J3016 Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles“. Tento standard se původně zabýval úrovněmi automatizace v silniční dopravě, ale principiálně z něj vychází i rozlišení úrovní automatizace v dopravě železniční. [1]

2.1.1 Úrovně automatizace u silničních vozidel

Standard SAE J3016 rozlišuje 6 úrovní autonomního řízení silničních vozidel počínaje stupněm 0 (vozidlo není schopno, jakkoliv zasahovat do řízení, pouze dokáže řidiče informovat) až po stupeň 5 (plně automatické vozidlo).

Úroveň 0 – žádná automatizace

Vozidlo je plně řízeno člověkem, pouze s pomocí senzorů dokáže řidiče informovat. Typickým příkladem je varování na výskyt námrazy. [2]

Úroveň 1 – podpora řidiče

Vozidlo dokáže vykonávat určité akce automaticky, avšak v jeden moment může vykonávat pouze jednu akci, nesmí je kombinovat. Příkladem pro tuto úroveň je hlídání jízdy v jízdním pruhu. [2]

¹ SAE – Society of automotive engineers – Organizace složená z dopravních odborníků, jejichž hlavní funkcí je tvorba standardů v dopravních odvětvích.

Úroveň 2 – částečná automatizace

Úroveň 2 je exaktní jako úroveň 1 ze systémového hlediska, rozdíl oproti první úrovni je možnost kombinace nejméně dvou akcí, typicky rychlosti a směru jízdy. Charakteristické pro tuto úroveň je automatické parkování. [2]

Úroveň 3 – podmíněná automatizace

V této úrovni může již řidič oproti předešlým chvilkově odvracet pozornost od řízení. Vozidlo zvládá fungovat v běžném provozu samostatně, ale stále musí řidič být připraven zasáhnout v případě problému. [2]

Úroveň 4 – Vysoká automatizace

Vozidlo zvládá fungovat ve všech typech provozu zcela samostatně, výjimkou je extrémně špatné počasí, ve kterém může požádat řidiče o převzetí kontroly. I bez převzetí kontroly by si vozidlo mělo být schopné poradit. [2]

Úroveň 5 – Plná automatizace

Vozidlo na úrovni 5 je již zcela samostatné, nedisponuje volantem ani pedály, není tedy již možný zásah člověka do řízení. [2]



SAE J3016™ LEVELS OF DRIVING AUTOMATION™

Learn more here: [sae.org/standards/content/j3016_202104](https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104)

Copyright © 2021 SAE International. The summary table may be freely copied and distributed AS-IS provided that SAE International is acknowledged as the source of the content.

	SAE LEVEL 0™	SAE LEVEL 1™	SAE LEVEL 2™	SAE LEVEL 3™	SAE LEVEL 4™	SAE LEVEL 5™
What does the human in the driver's seat have to do?	You are driving whenever these driver support features are engaged – even if your feet are off the pedals and you are not steering			You are not driving when these automated driving features are engaged – even if you are seated in “the driver's seat”		
	You must constantly supervise these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety			When the feature requests, you must drive	These automated driving features will not require you to take over driving	

Copyright © 2021 SAE International.

	These are driver support features			These are automated driving features		
What do these features do?	These features are limited to providing warnings and momentary assistance	These features provide steering OR brake/acceleration support to the driver	These features provide steering AND brake/acceleration support to the driver	These features can drive the vehicle under limited conditions and will not operate unless all required conditions are met	This feature can drive the vehicle under all conditions	
Example Features	<ul style="list-style-type: none">• automatic emergency braking• blind spot warning• lane departure warning	<ul style="list-style-type: none">• lane centering OR• adaptive cruise control	<ul style="list-style-type: none">• lane centering AND• adaptive cruise control at the same time	<ul style="list-style-type: none">• traffic jam chauffeur	<ul style="list-style-type: none">• local driverless taxi• pedals/steering wheel may or may not be installed	<ul style="list-style-type: none">• same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions

Obrázek 1 - Stupně automatizace dle SAE (zdroj: <https://www.sae.org/blog/sae-j3016-update>)

2.1.2 Stupně automatizace u kolejových vozidel

Ze standardu SAE J3016 vychází také rozlišení stupňů automatizace pro kolejová vozidla. Na jejich tvorbě se podílela Mezinárodní asociace veřejné dopravy (UITP), která určila 5 stupňů automatizace u kolejových vozidel. Tyto stupně se nazývají Grade of Automation (dále jen „GoA“). U vozidel kolejové dopravy se tedy jedná o stupně automatizace a u silničních vozidel o úroveň automatizace. Důvod této slovní změny má za cíl eliminovat nedorozumění vzniklá záměnou silniční a železniční automatizace, automatizace je v obou odvětvích rozdílná. Skrze GoA stupně je také určeno, za které úkony je zodpovědný vlakový personál. Těchto úkonů se zvyšujícím se stupněm ubývá a zodpovědnost přebírají systémy vozidla. [3]

Stupně GoA

GoA0 – TOS – Train operation On-Sight (jízda dle rozhledu) – Za všechny úkony plně zodpovídá personál vlaku, zejména tedy strojvedoucí, který musí dohlížet na správný, bezpečný a plynulý chod všech systémů vozu. Strojvedoucí není kontrolován žádným zařízením. U stupně GoA0 může, ale není to nutné, být přítomno traťové a staniční zabezpečení. [3]

GoA1 – NTO – Non-automated train operation (neautomatizovaný provoz vlaku) – V tomto stupni strojvedoucí ze své kabiny sleduje trať a je zodpovědný za regulaci rychlosti vozidla, kterou upravuje dle informací získaných z návěstidel umístěných podél tratě. Vozidlo obsahuje vlakový zabezpečovač (např. systém ETCS), který dohlíží nad řízením, dává informace strojvedoucímu o omezeních a zároveň jej kontroluje, v případě nesprávné reakce strojvedoucího (např. překročení povolené rychlosti) je schopno vlak nouzově zastavit. [3]

GoA2 – STO – Semi-automated train operation (polo-automatizovaný provoz vlaku) – Vozidlo ve druhém stupni je schopno automatické jízdy, která je pod dohledem vlakového zabezpečovače. Strojvedoucí pouze sleduje trať a má povinnost v případě nebezpečí zasáhnout. Strojvedoucí dále nese odpovědnost za bezpečný odjezd ze stanice. [3]

GoA3 – DTO – Driverless train operation (provoz vlaku bez strojvedoucího) – Ve třetím stupni se již na vlaku nenachází strojvedoucí, jízdu vlaku zajišťuje automatický systém, který je také schopen monitorovat trať. Odpovědnost za bezpečný odjezd ze stanice může mít automatický systém či doprovodný provozní personál, který zasahuje i v případě výskytu nouzové situace. [3]

GoA4 – UTO – Unattended train operation (provoz vlaku bez obsluhy) – Vozidlo je plně autonomní bez jakéhokoli provozního personálu ve vlaku, systémy jsou schopné zajistit

plynulý provoz včetně bezpečného odjezdu vlaku ze stanice. V případě poruchy či nouzové situace je vůz sám schopen reagovat či kontaktovat dispečerské centrum. [3]

2.1.3 Porovnání automatizace kolejové a silniční dopravy

Z definic stupňů a úrovní automatizace je patrné, že automatizace u silniční a kolejové dopravy je si podobná v nultých, pokročilých a nejpokročilejších úrovních jejich automatizace, kdy v nultých úrovních je vozidlo řízeno pouze jeho řidičem/strojvedoucím, naopak v nejpokročilejších úrovních (úroveň 5 a GoA3, GoA4) automatizace je vozidlo schopno samostatné jízdy, která již přítomnost řidiče/strojvedoucího nevyžaduje. V pokročilejších úrovních automatizace (úrovně 3,4 a GoA2) jsou již vozidla schopna automatické jízdy, ale strojvedoucí či řidič musí být stále na palubě a na provoz dohlížet. Drobné odlišnosti se nachází v prvotní automatizaci (úrovně 1,2 a GoA1), u silniční dopravy jsou prvotní úrovně opatřeny systémy, které automatizují určité úkony a zvyšují tak komfort jízdy, ale řidič na tyto systémy musí dohlížet, naopak u prvotních stupňů kolejové dopravy strojvedoucí řídí vlak a je systémy kontrolován.

I přes podobnost úrovní automatizace, je pohyb vozidla na silnici a pohyb vlaku na železnici vcelku rozdílný. U automobilových systémů oproti železničním vozidlům musí systémy dohlížet např. na jízdu ve svém pruhu, řídit se značkami, dávat přednost v jízdě a pozor na přecházející chodce. Železniční vozidla mají jízdu v těchto aspektech jednodušší, ale oproti automobilům mají drážní vozidla horší jízdní dynamiku (jejich brzdné dráhy jsou podstatně delší). Jízda automobilu je tedy složitější, jelikož systém musí zpracovávat více vjemů, ale na druhou stranu může systém na malé vzdálenosti lépe reagovat. U železničních vozidel je okolních vjemů méně, ale jak již bylo zmíněno, kvůli jejich dlouhé brzdné dráze je schopnost reagovat při malé vzdálenosti na nečekaný stav (např. automobil náhle vjede na železniční přejezd) téměř nemožné.

2.2 Analýza technologií pro autonomní jízdu

Autonomní jízdu kolejového vozidla zajišťuje řada technologií, na vozidle i na trati. Na základě traťových dat a dat získaných ze senzorů a detektorů je možné např. zahájit autonomní jízdu vozidla, regulovat rychlost jízdy dle potřeby a zastavit ve stanici nebo v případě překážky na trati. V případě nižší úrovně automatizace (GoA2) dokážou některé tyto systémy snížit pracovní zátěž strojvedoucího.

2.2.1 Systémy automatického řízení vlaku

Automatic train control (dále jen „ATC“)

Systém ATC byl vytvořen kvůli vysokorychlostním vlakům, jelikož ve vysoké rychlosti neměli strojvůdci skoro žádný čas na zpracování informací získaných z trati. Tento systém se skládá ze tří subsystémů automatic train protection (dále jen „ATP“), automatic train operation (dále jen „ATO“) a automatic train supervision (dále jen „ATS“). Subsystém ATP zajišťuje dohled nad bezpečnou jízdou vlaku, je to vlakové zabezpečovací zařízení, které kontroluje aktuální rychlost a porovnává s povolenou rychlostí a v případě nesrovnalostí zasáhne, stejně jako v případě přejetí návěsti stůj. Subsystém ATO je automatické řízení jízdy vozidla, v ČR je tento systém znám pod názvem automatické vedení vlaku (dále jen „AVV“), nejedná se o zabezpečovací zařízení, systém ATP je mu nadřazen. Poslední subsystém ATS zajišťuje dohled nad provozem a řízení vlaků na základě jízdního řádu. [3] Místo ATS se na konvenční dráze užívá termín traffic management system (dále jen „TMS“), v ČR je tento systém znám pod názvem GTN (graficko-technologická nadstavba). Tyto systémy dohromady tvoří systém ATC, který zajišťuje samostatnou jízdu vlaku a v případě potřeby dokáže i nouzově zastavit. Vlaky, které obsahují systém ATC, odpovídají minimálně stupni GoA2. Hlavními výhodami tohoto systému je zvýšení bezpečnosti a optimalizace provozu z hlediska přesného dodržování jízdního řádu a úspory energie. Bezpečnost je zvýšena díky využití dat z tratě, které počítač neustále kontroluje a dle nich uzpůsobuje jízdu. Také počítá a vykresluje jízdní profil, díky kterému dokáže bezpečně a přesně zastavit ve stanici. [3]

Automatic train operation (ATO)

AVV je systém, který umožňuje automatizaci jízdy kolejových vozidel. AVV je část systému CRV&AVV, která zajišťuje automatickou regulaci jízdy dle traťových podmínek a optimalizaci jízdy z energetického a časového hlediska. Systém CRV (centrální regulátor vozidla) zajišťuje přesné udržování potřebné rychlosti, regulaci trakce, kooperaci dynamické a samočinné brzdy a řízení více vozidel ve vlaku. Systém CRV&AVV umožňuje automatické řízení jízdy vozidla (ATO). [4]

Automatic train protection (ATP)

European Train Control Systém (dále jen „ETCS“) je dnes jeden z nejperspektivnějších vlakových zabezpečovačů, který by měl v Evropě nahradit národní vlakové zabezpečovače a eliminovat nutnost přepřahání hnacích vozů. S jeho implementací se očekává zvýšení bezpečnosti provozu a mj. také zvýšení traťových rychlostí a propustností. Společně s GSM-R patří do jednotného evropského systému řízení železniční dopravy (dále jen „ERTMS“),

jehož cílem je automatizace železnice za pomoci moderních zabezpečovacích a přenosových technologií. [5]

ATO over ETCS

Pro autonomní železniční provoz se počítá s využitím synergie systému ATO a ETCS (jedná se o tzv. systém ATO over ETCS). Tyto systémy jsou vysoce efektivní pro automatické řízení kolejových vozidel ve stupni GoA2. Evropské specifikace pro tento systém byly již vytvořeny a plánuje se jejich oficiální vydání v rámci budoucí aktualizace specifikací TSI. Společnost AŽD Praha s.r.o. (dále jen „AŽD“) toto řešení úspěšně otestovala v roce 2021. Specifikace pro systém ATO over ETCS pro GoA3 a GoA4 jsou aktuálně ve vývoji (v rámci některých evropských projektů Shift2Rail a Europe's Rail). [6] Systém ATO optimálně ovládá trakční a brzdové systémy, vypočítává jízdní profil dle traťových informací, a to v kombinaci s ETCS, které sleduje a dohlíží na pohyby vlaků a rychlostní omezení trati. Díky této kombinaci systémů dokážou vlaky bezpečně jezdit s kratšími rozestupy, což vede k lepšímu využití kapacity trati. [7]

2.2.1.1 Systémy nutné pro autonomní provoz

GNSS modul

Další součástí systému je GNSS modul, GNSS je globální navigační satelitní systém, který se využívá primárně jako navigační systém v automobilech či mobilních telefonech. Nejznámější světové GNSS jsou GPS (Amerika), GLONASS (Rusko), Beidou (Čína) a Galileo (Evropa). U autonomních vozidel je GNSS modul využíván pro přesnou lokalizaci vozidla, kterou určuje geometricky pomocí měřené vzdálenosti mezi satelitem a přijímačem. [8] GNSS není jediný zdroj dat o poloze vozidla, autonomní vozidla stále využívají odometrii a soustavu balíz na trati systému ETCS.

Rozhodovací modul ²

Rozhodovací modul má za úkol nahradit rozhodovací procesy a schopnosti strojvedoucího prostřednictvím expertního systému. Tento systém neustále analyzuje a vyhodnocuje vstupní data z různých systémů a detektorů (senzorů) na drážním vozidle, a na základě implementovaných algoritmů rozhoduje o následné reakci systému. Tento systém spolupracuje např. se systémem ATO.

² Zdroj: Technická specifikace AŽD

2.2.1.2 Technologie pro sledování prostoru v okolí vlaku

Jako „náhrada očí“ strojvedoucího slouží detektor objektů, který se skládá z více rozdílných senzorů, které umožňují lepší pokrytí prostoru v okolí vlaku. Využití více typů senzorů je především z důvodu různých vzdáleností dosahu, některé mají daleký dosah, ale neumí efektivně snímat prostor těsně před vlakem, a naopak. Vhodné složení těchto senzorů je zřejmě stále předmětem testování. [9] Detektor objektů se může skládat z lidarů, který měří vzdálenosti objektů. K tomu využívá laserový paprsek, u kterého měří čas mezi vysláním, odrazem a zachycením odrazu od určitého objektu. Dle těchto měření poté dokáže vypočítat vzdálenost objektů v určitém směru a vytvořit 3D reprezentaci okolního prostoru. [10] Další částí detektoru objektů může být stereokamera, která na principu stereovidění sestavuje hloubkovou mapu, která je složena z pohledu více kamer. Dále termokamera, která zobrazuje infračervené záření objektů a HD kamera, která snímá prostý obraz ve vysokém rozlišení. [9]

Odborníci také pracují na senzorech, které umožní vlaku snímat riziková místa, jako jsou třeba železniční přejezdy, vstupy do tunelů, nástupiště a úseky za oblouky. Data z těchto senzorů budou následně vysílána přímo do vlaku, který díky nim může detekovat překážku a bezpečně zastavit. [11]

Kromě senzorů a detektorů je nutná také technologie rozpoznávání obrazu, která umělé inteligenci umožní rozpoznat řadu objektů v okolním prostředí. Systému je dodána řada referenčních snímků, díky které se naučí rozpoznávat objekty dle potřeby (může se jednat o osoby, automobily, orientační body atd.). [9]



Obrázek 2 - Sledování prostoru před vlakem pomocí senzorů (zdroj: <https://zdopravy.cz/wp-content/uploads/2021/12/azdvlak2.jpg>)

2.2.1.3 Popis dalších detektorů

Níže jsou vypsány příklady detektorů, které mohou být umístěny na vozidle. Zdrojem následujícího výčtu je studie společnosti AŽD.

Detektory na trati

Detektor shromažďuje informace o překážkách na trati před jedoucím vlakem (pro který je to relevantní). Zdrojem jsou monitorovací zařízení železničních přejezdů, tunelů, stanic atd.

Detektor otevírání/zavírání dveří

Detektor shromažďuje informace o stavu dveří. Jejich otevření či zavření a případné poruše.

Detektor požáru

Detektor shromažďuje informace o možném požáru v jednotlivých částech vlaku.

Detektor proniknutí do vlaku

Detektor monitoruje vniknutí do vlaku. Využíván zejména v nákladní dopravě.

Sledování integrity vlaku

Detektor monitoruje integritu vlaku.

Monitoring okolí vlaku

Detektor shromažďuje informace o okolí vlaku ve stanici. Informace jsou poté využity pro udělení povolení odjezdu ze stanice.

Monitoring pasažérů uvnitř vlaku

Monitoruje pasažéry uvnitř vlaku.

Detektor vykolejení

Rozpozná vykolejení vlaku.

Detektor nárazu

Detektor rozpozná srážku vlaku s překážkou a odhaduje její rozsah a vliv na integritu vlaku.

Detektor počasí

Detektor dokáže rozpoznat počasí

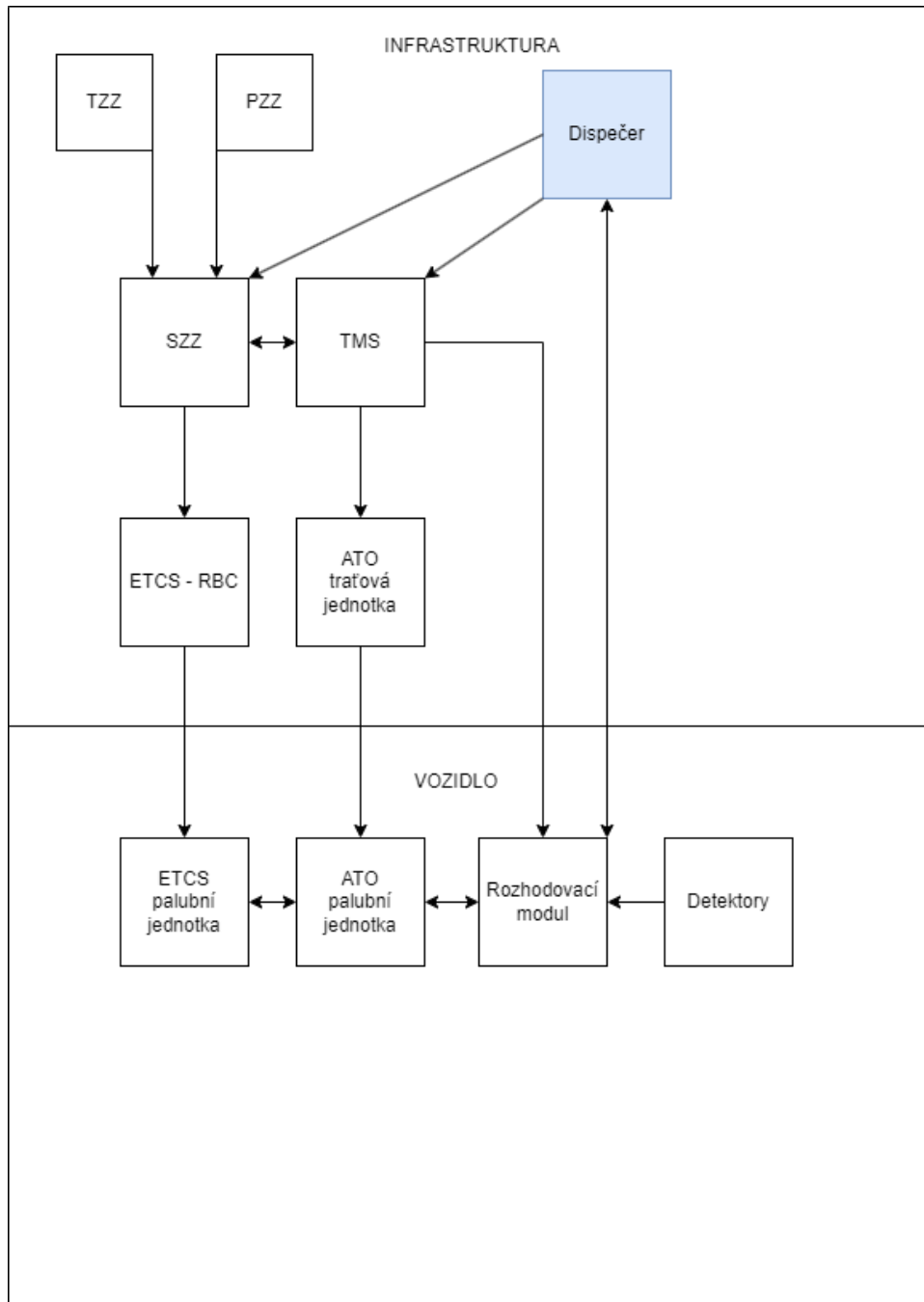
Detektor hluku

Dokáže rozpoznat abnormální (poruchové) zvuky v technologických částech vlaku (motor, nápravy, brzdy atd.)

2.2.1.4 Popis kooperace systémů autonomního kolejového vozidla

Následující odstavec popisuje testovací jízdu autonomního vlaku od společnosti AŽD. Vše začíná systémem TMS, ve které je uveden jízdní řád. Informace z TMS jsou poté zpracovány mobilní a traťovou částí systému ATO. Traťová část systému ATO uděluje vozidlu takzvané segmentové a journey profily, které popisují kudy a kdy má vlak jet. Journey profil je dynamický, tedy může být upraven dle dopravní situace. Poloha vlaku je momentálně určena pomocí vlakového zabezpečovače ETCS a balíz. Dále je dle informací získaných z TMS postavena zabezpečená vlaková cesta pomocí systému automatického stavění vlakových cest (ASVC). To registruje radiobloková centrála systému ETCS, která v případě volné jízdní cesty vydá povolení k zahájení jízdy. V případě udělení povolení k jízdě je mobilní část ATO připravena k odjezdu vozidla. Před samotným odjezdem ještě probíhá kontrola prostoru před vlakem systémem pro detekci překážek. Ten v případě vyhodnocení překážky před vozidlem zašle tuto informaci do rozhodovacího modulu, který na základě vstupů z různých systémů a senzorů neumožní vozidlu zahájit jízdu. Pokud do určitého času překážka opustí kolejiště, vlak zahájí svou jízdu (opět jsou zaslány informace do rozhodovacího modulu, který rozhodne o pokračování v jízdě). V případě překročení časového úseku musí být následně uděleno manuální povolení pro zahájení jízdy dispečerem, který zkontroluje situaci pomocí kamer umístěných na vozidle. [12]

Níže je zobrazeno schéma, které zobrazuje datovou komunikaci mezi systémy autonomního vozidla a infrastrukturou, čtverce značí jednotlivá zařízení, která autonomní vozidla pro svou funkci využívají a šipky mezi nimi značí směr datové komunikace. Modře je zobrazen prvek, se kterým probíhá komunikace pouze za mimořádné situace.



Obrázek 3 - Schéma kooperace systémů autonomního vlaku (zdroj: autor práce)

2.3 Existující automatizace kolejových vozidel

Ve světě již existuje mnoho automatizovaných drážních provozů, některé jsou již zprovozněné, jiné jsou zatím jako projekty, které se teprve realizují a testují. Existující provozy jsou do práce zařazeny, aby se poukázalo na skutečnost, že plně autonomní vlakový provoz je reálný u různých typů tratí a dopravy. Plánované projekty poukazují na postup a stádium realizace autonomního provozu různých společností.

2.3.1 Zprovozněné provozy

Zcela autonomní vlakové provozy již ve světě existují, jedná se především o dráhy speciální (metro), které díky jednoduššímu provozu (uzavřené prostředí) je snazší plně automatizovat. Na klasické železnici jsou proto plně autonomní provozy momentálně využívány jen velmi zřídka. O jejich vývoj a implementaci do provozu usiluje mnoho společností jako například AŽD, Siemens, Alstom, CAF, Hitachi apod. Usiluje o to i Evropská unie prostřednictvím podpory technologických grantových projektů zaměřených na společný vývoj specifikací a rozhraní mezi systémy. Autonomní nákladní vlaky již nyní využívá společnost Rio Tinto v Austrálii a Kanadě.

2.3.1.1 Osobní vlaková doprava

Metro

Autonomní linky metra se objevily v 80. letech 20. století v Japonsku. V Asii se nachází největší zastoupení kolejových vozidel se stupněm GoA4, kromě Japonska můžeme autonomní linky metra nalézt také na Tchaj-wanu, Číně či v Singapuru. Autonomními vozy metra disponuje okolo 42 měst v různých státech po celém světě. V Severní a Jižní Americe mají autonomní provoz metra Spojené státy, Kanada či Brazílie. Od roku 2018 disponuje autonomním metrem také Austrálie. Evropským příkladem je Francie, v Paříži a v Lille jsou zřízené autonomní linky metra. Provoz v Lille probíhá na dvou tratích a je obsluhováno 60 stanic. Autonomní linky metra můžeme nalézt také ve Španělsku, Švýcarsku, Německu nebo Dánsku. Konkrétně v dánské Kodani bylo metro od počátku navrženo na autonomní provoz a pyšní se řadou cen za nejlepší metro na světě. [3]

V České republice je část pražského metra obsluhována vozidly ve stupni GoA2 (linky A a C), strojvedoucí tedy jen jízdu mezi stanicemi kontroluje a ve stanici otevírá a zavírá dveře. Linka B je v současné době postupně modernizována na GoA2. Nově připravovaná Linka D by měla být plně automatická, měla by tedy být obsluhována vozidly ve stupni GoA4.

Autonomní provoz metra je o poznání jednodušší než u provozu na konvenční dráze, jelikož se soupravy metra pohybují v tunelech, do kterých by neměl mít nepovolaný člověk přístup. Konvenční vlaky se mohou střetnout s mnoha překážkami, například s člověkem, automobilem na přejezdu, nebo se spadlým stromem. Je zde tedy více problémových situací, na které musí být autonomní vlak schopen reagovat.



Obrázek 4 - Autonomní metro v Barceloně (zdroj: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_automated_train_systems#/media/File:L9.0003.JPG)

Konvenční železnice

Na klasické železnici se autonomních provozů nachází minimum, většinou se jedná o speciální městské dráhy, které mají délku pouze několik jednotek km a provoz na nich je velmi podobný metru. Ačkoliv jsou některé tyto městské dráhy uváděné jako GoA4, tedy provoz bez personálu ve vozidle, obvykle je ve vozidle přítomna osoba, která na vozidlo dohlíží, ve skutečnosti jsou tedy spíše ve stupni GoA3. Lze zmínit např. RapidKL, což je veřejný dopravní systém v Kuala Lumpur, který má některé své linky ve stupni GoA4. Další je Kanadský systém SkyTrain, který obsluhuje 49,5 km tratí, které bylo postaveny podél již existujících tratí. Autonomní řízení je také využíváno u některých jednokolejek, jako je například německá H-Bahn na Dortmundské

univerzitě a Düsseldorfském letišti, jejích prvotní provoz začal v roce 1984. V Německu se také nachází několik autonomních vlaků ve smíšeném provozu s konvenčními vlaky, které obsluhují městskou železniční síť S-Bahn v Hamburku. [13]

2.3.1.2 Nákladní vlaková doprava

Rio Tinto

Jedná se o autonomní (GoA4) nákladní vlaky společnosti Rio Tinto, které přepravují železnou rudu v Austrálii. Byly zřízeny v roce 2018 jakožto první autonomní nákladní doprava na světě. Vlaky převážejí železnou rudu mezi 16 doly a čtyřmi přístavními terminály na železniční síti dlouhé přibližně 1700 km, využívají při tom systém AutoHaul. Princip systému je takový, že je vlaku ve středisku nastavena cesta, poté je předáno řízení vlaku, který dle traťových parametrů kontroluje maximální rychlost a zda má povolení jet po dané trati. Jeho dalším úkolem je kontrola volnosti železničních přejezdů pomocí kamer, které jsou umístěna na přejezdech. Vlak je vybaven kamerami, kterými mohou pracovníci ze střediska kontrolovat situaci. Projekt AutoHaul vyšel přibližně na 940 milionů australských dolarů (15 miliard korun). [14] Realizací projektu došlo ke zlepšení výkonnosti vlaků o zhruba 6 procent oproti vlakům, které byly řízeny strojvedoucími. Zlepšení výkonnosti se dosáhlo díky lepšímu brždění a zrychlování, které strojvedoucí nezvládne vždy optimálně. Společnosti Rio Tinto se díky autonomním vlakům zvýší produkce železné rudy o 20 milionů tun ročně. Vlak je sice autonomní, ale musí se brát v potaz, že se pohybuje v západní části Austrálie, která je velice zřídka obydlená a málo členitá, autonomní vlakový provoz na těchto železnicích není tak komplexní, jako v oblastech s vyšší mírou obydlení. [15]



Obrázek 5 - Autonomní vlak společnosti Rio Tinto (zdroj: <https://www.svethardware.cz/nejvetsim-robotem-na-svete-je-2-4km-vlak-od-rio-tinto/47093/img/rio-tinto-vlak.jpg>)

Společnost Rio Tinto provozuje autonomní vlakový provoz také v Kanadě, ve spolupráci se IOC (Iron Ore Company of Canada) a Mitsubishi. Opět se jedná o převoz železné rudy, tentokrát mezi Kanadskými doly a Labrador City. Obdobně jako v Austrálii, vlaky zde pracují ve stupni GoA4, tedy pouze s dálkovým dohledem ze střediska.

Navajo Mine Railroad

Navajo Mine Railroad je železniční dráha provozovaná společností BHP v Novém Mexiku. Jedná se o velmi krátkou dráhu, její délka činí 22,2 km. Byla zřízena pro převoz uhlí z dolů Navajo do nedaleké elektrárny Four Corners generation station. Provoz je zde částečně autonomní (GoA3) s přítomností jedné osoby ve vlaku, která na vlak dohlíží a dává mu povel k jízdě v případě dokončené nakládky či vykládky. Tato osoba zde tedy nahrazuje řídicí středisko. [16]

2.3.2 Plánované projekty

Kromě již zprovozněných provozů existují také projekty ve světě a ČR, které realizují autonomní provoz na určitých tratích. Projekty se nachází v různých stádiích implementace a jejich cíl je plně automatický vlakový provoz.

2.3.2.1 Projekty ve světě

SNCF

Vyvinout prototyp autonomního vlaku se v roce 2019 rozhodla francouzská společnost SNCF a její partneři Alstom, Bosch, Spirops, Thales a Railenium Technology Research institute. Na začátku roku 2021 společnosti modifikovali regionální vlak různými kamerami, senzory a detektory, aby zachytávaly důležitá data. Následně byly testovány systémy rozpoznávání objektů podél trati a geolokační systém, který má určit přesnou polohu vlaku. V této části testování systémy nijak nezasahovaly do řízení, pouze se sledovalo, jak by systém reagoval. Následně byl testován systém pro automatické řízení jízdy. Druhá vlna testů probíhá na trati mezi Busigny a Aulnoye, kde autonomní vlak jezdí společně s klasickými, kromě testovacích jízd je řízen strojvedoucím, ale i během jízdy se strojvedoucím sbírá data, která jsou následně zpracována. Testovací jízdy v autonomním režimu probíhají mimo dopravní špičky a nejčastěji během svátků. SNCF doufá v dosažení plně autonomního provozu do roku 2023. [17] [18]

Proxion

Finská společnost Proxion má za cíl implementovat do finského železničního provozu autonomní nákladní vlaky. Bude se jednat o provoz na krátké vzdálenosti z průmyslových oblastí. Projekt se nachází v testovací fázi, testy započaly na konci roku 2021, předpokládané dokončení projektu je do roku 2023. Na vývoji se podílí i další společnosti, jsou jimi VVT, zajišťující vývoj senzorů, Teräspyörä Oy, která se stará o vývoj vozového parku a Electric power Finland Oy digitalizuje železniční systémy. Doufá se, že zavedení autonomních nákladních vlaků povede k posílení hutnického a dřevařského průmyslu v zemi. [19]

Shift2Rail

Jedná se o první železniční organizaci vyhledávající výzkum, inovace a tržně řízená řešení urychlením implementace moderních a pokročilých technologií do řešení železničních produktů. Také podporuje konkurenceschopnost evropského železničního systému a zajišťuje dopravní potřeby Evropy. Jedním z cílů je dokončit jednotný železniční dopravní prostor

(SERA). Další cíle jsou zdvojnásobit kapacitu evropského železničního systému a také zvýšit spolehlivost a kapacitu služeb, přičemž zároveň dojde ke snížení nákladů. [20]

Europe's Rail

Europe's Rail je zřízena nařízením rady EU 2021/2085 ze dne 19. listopadu 2021. Jedná se o nové evropské partnerství pro železniční výzkum a inovace programu Horizon Europe a nástupce organizace Shift2Rail. Víze Europe's Rail je zajistit vysokokapacitní, spolehlivou, flexibilní a multimodální dopravu zajištěním interoperability železniční sítě. Toto partnerství cílí na urychlení výzkumu, vývoje technologií a provozních řešení. Dále urychlit implementaci integrovaných, interoperabilních a standardizovaných technologických systémů nutných pro vybudování jednotného evropského železničního prostoru. Obdobně jako Shift2Rail podporuje konkurenceschopnost evropského železničního systému. [21]

2.3.2.2 Projekty v ČR

AŽD

Společnost AŽD v roce 2021 uskutečnila první jízdu autonomního vlaku po Švestkové dráze³. Vozidlo při své autonomní jízdě reagovalo například na osobu stojící v kolejišti či porouchaný automobil na železničním přejezdu. AŽD pracuje na zavádění pokročilých technologií do praxe, jedná se o systémy pro autonomní obsluhu bez provozního personálu a také o takzvané asistenty, které ulehčí a podpoří práci strojvedoucího. V blízké budoucnosti plánuje společnost AŽD přistoupit k plné automatizaci provozních procesů, jako je například vlakový posun a nasadit asistenční systémy pro odlehčení pracovní zátěže strojvedoucích. Přechodu na autonomní provoz vlakové dopravy v České republice brání zatím neexistující legislativa pro autonomní provoz. [22]

AŽD se společně se železničním sektorem aktivně účastní evropských projektů (Shift2Rail a pokračující Europe's Rail) a také projektů českých s výzkumnými centry a univerzitami (např. ČVUT v Praze, ZU v Plzni a VUT v Brně). Z těchto projektů stojí za zmínku projekt VEXA, na kterém spolupracuje AŽD s katedrou matematiky Fakulty dopravní ČVUT v Praze. VEXA je expertní vlakový systém, který nahradí rozhodovací procesy strojvedoucího na základě určitých vstupů. Tyto vstupy se získávají z výstupů vozidlových a traťových detektorů a následně se porovnávají s pravidly drážního provozu a vyšlou se povely dalším systémům vlaku. Součástí vývoje systému je také systémová analýza, sběr dat, specifikace vstupů a výstupů, vlastní návrh systému, implementace software a matematická analýza pokročilých simulačních

³ Jedná se o soukromou dráhu společnosti AŽD mezi Lovosicemi a Mostem

nástrojů. [23] Dalším projektem je projekt ADEROS⁴, na kterém spolupracuje AŽD s VUT v Brně. Cíl tohoto projektu je výzkum a vývoj autonomního systému, který bude schopen detekovat rizikové situace v místech křížení silniční komunikace a železnice. Systém bude schopen sbírat data, statisticky je vyhodnotit, odhadnout četnost nebezpečných událostí, rozdělit dle tříd a míst výskytu. Účel projektu je zvýšení plynulosti a bezpečnosti železničního provozu.

V budoucnosti plánuje AŽD přesunout své aktivity pro vývoj autonomních vlaků na svou druhou trať Kopidno – Dolní Bousov⁵. AŽD kromě svých tratí modernizuje také své experimentální vozidlo řady 810, které po úpravách umožní testování nových technologií. U vozidla je cílem, aby bylo schopno samostatné autonomní jízdy a reagovalo na různé situace. Společnost AŽD usiluje, aby se vize o autonomním vlakovém provozu staly brzkou skutečností. [12]

IXPERTA

Cíl projektu je vyvinout zařízení, které bude přesně lokalizovat železniční vozidla v reálném čase. Proces lokalizace má být maximálně nezávislý na současné železniční infrastruktuře a plnit požadavky zabezpečení, robustnosti a interoperability. K dosažení výsledků budou použita kombinace inovativních přístupů a kombinace moderních lokalizačních systémů, systémů bezpečné komunikace, decentralizace dat a jejich umístění do cloudu. [24]

⁴ Zdroj: interní dokumenty AŽD

⁵ Více popsáno v kapitole 3.1.6

3. Popis stavu železniční infrastruktury

Pro zavedení autonomních kolejových vozidel bude nutné nejen upravit samotná vozidla, ale také provést určité změny na železniční infrastruktuře. Ve spojení s úpravou pro autonomní provoz je také možné trať modernizovat a doplnit ji o určitá bezpečnostní zařízení.

3.1 Nynější stav železniční infrastruktury v České republice

V této kapitole je popsán současný stav železniční infrastruktury na území České republiky. Kromě obecných charakteristik jsou zde popsány používané typy zabezpečení (traťové, staniční apod.), nákladní a osobní traťové koridory a vize modernizace českých tratí.

3.1.1 Obecné statistiky a organizační členění

Českou železniční síť tvoří ke dni 31.12.2021 celkem 9 358 km železniční tratí. Z toho je 7 324 km jednokolejných, 1 968 km dvojkolejných a 65 km víceokolejných. [25] Vlastníkem většiny těchto tratí je stát, jež zastupuje Správa železnic, která tratě spravuje, modernizuje a rozvíjí. Na území České republiky se nachází 2 centrální dispečerská pracoviště v Praze a Přerově. Tyto pracoviště se dělí na oblastní dispečerská pracoviště (Praha rozdělena na 9 částí a Přerov na 6 částí) a ty obstarávají řízení železničního provozu na celém území České republiky. V České republice se ročně přepraví až 194 (rok 2019) milionů cestujících. V posledních letech kvůli pandemii COVID-19 počty výrazně klesly, konkrétně na přibližně 130 milionů cestujících ročně. Největším českým dopravcem je akciová společnost České dráhy. [26]

3.1.2 Elektrizace a systémy trakčních proudových soustav

Elektrizovaných tratí je 3 215 km. Tratě jsou elektrizovány různými systémy trakčních proudových soustav. Většina tratí je elektrizována stejnosměrnou trakční soustavou 3 kV (převážně na severní a východní České republiky) a střídavou trakční soustavou 25 kV/50 Hz (převážně na jižní a západní České republiky). Stejnosměrná trakční soustava 1,5 kV se nachází pouze mezi Tábořem a Bechyní. Střídavá trakční soustava 15 kV/16 2/3 Hz se nachází na některých hraničních úsecích s Německem a Rakouskem. [27]

3.1.3 Systémy zabezpečení

Systémy zabezpečení železnice se zpravidla dělí na 4 typy:

1. Traťové zabezpečovací zařízení (dále jen „TZZ“)
2. Staniční zabezpečovací zařízení (dále jen „SZZ“)
3. Přejezdové zabezpečovací zařízení (dále jen „PZZ“)
4. Vlakové zabezpečovací zařízení (dále jen „VZZ“)

Dle technické normy železnic se zabezpečovací zařízení dělí na 3 kategorie:

„3.2.1 Podle úrovně zajištění a kontroly podmínek pro zabezpečenou jízdu drážních vozidel se zabezpečovací zařízení dělí na zařízení:

- a) 1. kategorie, ve kterých za splnění většiny bezpečnostních požadavků pro zabezpečenou jízdu vlaku odpovídají určení zaměstnanci*
- b) 2. kategorie, ve kterých splnění určených bezpečnostních požadavků pro zabezpečenou jízdu vlaku zajišťuje zabezpečovací zařízení a za splnění ostatních bezpečnostních požadavků odpovídají určení zaměstnanci*
- c) 3. kategorie, ve kterých splnění bezpečnostních požadavků pro zabezpečenou jízdy vlaku i posunu zajišťuje zabezpečovací zařízení “ [28, s. 8]*

3.1.3.1 Traťové zabezpečovací zařízení (TZZ)

TZZ zabezpečuje cesty vlaků v mezistaničních úsecích. Zabezpečení jízd zamezuje současné protisměrné jízdě dvou vlaků a také jízdu vlaku do následného obsazeného traťového oddílu. Existují různé typy TZZ, které pomocí lidské či strojové činnosti zajišťují bezpečný pohyb vlaků v mezistaničních úsecích. Níže jsou uvedeny nejrozšířenější TZZ používaná v České republice.

Telefonické dorozumívání (1. kategorie)

Zabezpečení první kategorie, probíhá prostřednictvím telefonické komunikace mezi výpravčími. Výpravčí využívají pro vyšší bezpečnost přesně daných slovních spojení a musí zajistit, aby se protijedoucí vlaky nestřetly a aby následné vlaky nejely příliš blízko za sebou.[29]

Poloautomatický blok (2. kategorie)

Existují 2 typy, hradlový a reléový poloautomatický blok. Obě zařízení fungují na principu tzv. odhlášky a traťového souhlasu. Poloautomatický blok zamezuje vyslání vlaku, pokud nedošla za předchozím vlakem odhláška, odhlášku uděluje obsluhující zaměstnanec po kontrole celistvosti projíždějícího vlaku, jelikož zařízení není schopno kontrolovat skutečnou volnost traťového oddílu. Dalšími podmínkami pro udělení odhlášky je přestavení vjezdového či oddílová návěstidla do polohy zakazující jízdu a detekce průjezdu vlaku kolem vjezdového či oddílového návěstidla. Poloautomatický blok zároveň zamezuje vyslání vlaku, pokud výpravčímu není udělen traťový souhlas, traťový souhlas umožňuje vysílat vlaky pouze v jednom směru a tím zamezuje současné protijedoucí jízdě dvou vlaků na stejné koleji. Udělení traťového souhlasu je možné v případě absence závěru vlakové cesty obou dopraven, volnosti mezistaničního úseku a zhasnutí dovolujících návěstí všech oddílů. Pro udělení traťového souhlasu nesmí být vyjmut traťový klíč a žádný z železničních přejezdů v anulačním stavu. [30]

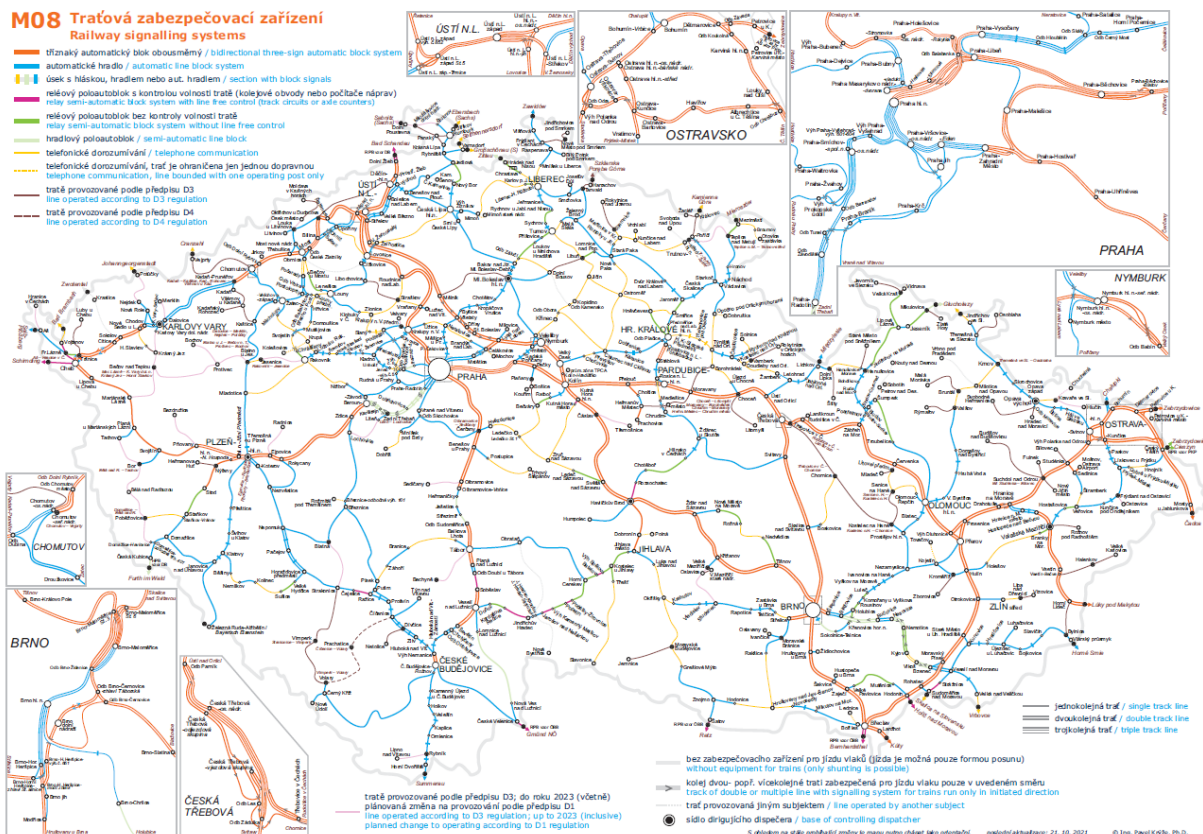
Automatické hradlo (3. kategorie)

Automatické hradlo funguje na podobném principu udělování odhlášky a traťového souhlasu jako reléové zabezpečovací zařízení. U automatického hradla je udělován souhlas k odjezdu, předhláška a odhláška automaticky. Volnost traťových oddílů je zde kontrolována pomocí technických prostředků, zejména pomocí kolejových obvodů nebo počítačů náprav. Oddílová návěstidla mají význam absolutní stůj, zřizuje se tedy přivolávací návěst. Činnost oddílových návěstidel je automatická a mezistaniční úsek smí být rozdělen maximálně na 2 traťové oddíly. [30]

Automatický blok (3. kategorie)

Automatický blok nedovolí vypravení vlaku bez traťového souhlasu. Změna traťového souhlasu je možná v případě absence závěru vlakové cesty obou dopraven, volností mezistaničního úseku, bezanulačního stavu přejezdového zabezpečení a neporušení úplné blokové podmínky. U automatického bloku je také udělován souhlas k odjezdu, předhláška a odhláška automaticky. Volnost traťových oddílů je zde opět kontrolována pomocí technických prostředků. Činnost oddílových návěstidel je automatická s rozdílem, že počet traťových oddílů mezi stanicemi není omezen jako u automatického hradla. Oddílová návěstidla mají význam permissivní stůj, tedy strojvedoucí může jet za návěstidlem dle rozhledových poměrů tak, aby dokázal zastavit před možnou překážkou. [31]

Na následujícím obrázku je barevně znázorněna železniční síť České republiky, tyto barvy označují systémy TZZ, které se na trati využívají (oranžová – automatický blok, modrá – automatické hradlo, světlá a tmavá zelená – poloautomatický blok, žlutá – telefonické dorozumívání)



Obrázek 6 - TZZ v ČR (zdroj: <https://provoz.spravazeleznic.cz/Portal/ViewArticle.aspx?oid=594598>)

3.1.3.2 Staniční zabezpečovací zařízení (SZZ)

SZZ zabezpečuje pohyb vlaků či posunových dílů v dopravnách s kolejovým rozvětvením (železniční stanice, odbočka apod.). Podmínky bezpečné vlakové cesty jsou: volnost všech úseků vlakové cesty (u posunové cesty může být koncový úsek obsazen), vyloučení zakázaných kolizních cest, udělení předepsaných souhlasů, zajištění vazby na PZZ a svítilní návěstidlo na konci cesty. Nižé jsou uvedeny typy staničních zabezpečení. [30]

Mechanické (1. kategorie)

Princip tohoto zabezpečení spočívá v uzamykání výhybek a zavěšování klíčů od výhybek na tabuli (ta napomáhá správnému postavení výhybek pro určitou vlakovou cestu) nebo do klíčového přístroje, který po uzamčení všech potřebných klíčů uvolní výsledný klíč pro

odemčení návěstní páky. Tento systém nedokáže kontrolovat volnost vlakové cesty, tato odpovědnost tedy připadá zaměstnanci. [29]

Elektromechanické (2. kategorie)

Stavění vlakových cest se u tohoto zařízení provádí pomocí pák řídicího přístroje (řídící přístroj má na sobě reliéf kolejiště) a výhybkářského přístroje. Typické uspořádání ve stanici je jeden řídicí přístroj a dva výhybkářské přístroje (na každém zhlaví). Mechanicky se obsluhují výměny a mechanická návěstidla pomocí pák a drátovodů (lze ovládat i světelná návěstidla s elektromotorickými přestavníky), elektronicky probíhá přenos informací. I zde je zapotřebí kontrola volnosti vlakové cesty. [30]

Reléové (3. kategorie)

SZZ třetí kategorie. Reléová SZZ pracují pouze na elektrické závislosti. Tedy všechny výměny a návěstidla (zde jsou nutná světelná návěstidla) jsou ovládány elektronicky. Následně je pomocí návěstní rychlostní soustavy zobrazena informace o rychlostním limitu. Toto zařízení je schopno kontroly volnosti vlakové cesty pomocí technických prostředků, dokáže zabezpečit i posun a je zde možnost dálkového ovládní⁶. Cesty jsou stavěny pomocí pultů s tlačítky, číselné volby nebo pomocí jednotného obslužného pracoviště⁷ (JOP). [31]

Elektronické stavědlo (3. kategorie)

Funguje na podobném principu jako reléové zabezpečovací zařízení. Obsahuje zásobník povelů, pokročilou diagnostiku a je schopno automatizovat tvorbu dopravní dokumentace. [30]

3.1.3.3 Přejezdové zabezpečovací zařízení (PZZ)

PZZ zabezpečuje železniční přejezd a informuje účastníky silničního provozu, že se k přejezdu blíží kolejové vozidlo. Zabezpečení přejezdu se provádí různými způsoby. Jedná se o mechanické či světelné PZZ (se závorami nebo bez závor) a označení výstražným křížem.

Výstražný kříž

Přejezdy zabezpečené pouze výstražným křížem se označují jako nechráněné, jelikož přejezd neobsahuje žádnou světelnou signalizaci či mechanické zařízení zamezující vjezd. Řidič se tedy řídí dle zákona o provozu na pozemních komunikacích a rozhledových podmínkách. [32]

⁶ Dálkové ovládní je řízení většího počtu stanic prostřednictvím dispečerských pracovišť. Možné pouze u 3. kategorie zabezpečení

⁷ Používá se u reléových a elektronických stavědel, unifikuje obsluhu těchto zařízení nezávisle na výrobce. Reliéf je zobrazen na monitorech počítače a ovládní je pomocí klávesnice a myši.

Mechanická PZZ

Zabezpečení přejezdu probíhá pomocí závor a případné zvukové výstrahy (v případě dálkové obsluhy). Pokud je přejezd obsluhován místně, je ovládací stanoviště umístěno ve vzdálenosti menší než 60 m od přejezdu a ze stanoviště je i za nepříznivých podmínek spolehlivě vidět. Zaměstnanec může sklápění závor libovolně zastavit a poté pokračovat ve sklápění. Pro přejezdy obsluhované dálkově je ovládací stanoviště umístěno více než 60 m od přejezdu. Před sklápěním závor se dává zvuková výstraha, po uplynutí doby se začnou sklápět závory. U přejezdu obsluhovaných dálkově nemá zaměstnanec možnost zastavit sklápění závor. Závory jsou u tohoto zabezpečení ovládány pomocí drátovodů. [32]

Světelná PZZ (dále jen „PZS“)

PZS je realizováno pomocí návěstidel a probíhá automaticky, kolejová vozidla jsou detekována pomocí technických prostředků. Výstraha volnosti přejezdu (základní výstraha) je signalizována nepřetržitě, pokud není detekováno kolejové vozidlo. V případě detekce kolejového vozidla nastává stav výstrahy. Po průjezdu kolejového vozidla se vypíná výstraha a přejezd přechází do anulačního stavu a ten trvá, dokud vozidlo neopustí vzdalovací úsek za přejezdem. Pokud je překročena mezní doba anulace, přechází PZS opět do stavu výstrahy. Přejezd může být doplněn zvukovou či mechanickou výstrahou. [32]

3.1.3.4 Vlakové zabezpečovací zařízení (VZZ)

VZZ zabezpečuje jízdu vlaku tím, že dohlíží na strojvedoucího (využívá k tomu informace z trati) a v případě jeho chyby zasahuje zpravidla bržděním. VZZ zvyšuje bezpečnost a plynulost provozu eliminací chyb lidského činitele. Funkce VZZ jsou kontrola bdělosti strojvedoucího, kabinová signalizace, kontrola jízdní rychlosti, automatizace a optimalizace jízdy. [33]

V ČR je používán liniový systém vlakových zabezpečovačů, traťové informace jsou na vozidlo tedy přenášeny liniově pomocí kolejových obvodů, kolejových smyček či radiově. Liniový systém je oproti bodovému (u bodového jsou traťové informace zasílané pouze v určitých bodech na trati) rychlejší v předání informace na vozidlo, ale také dražší na pořízení a provoz. [33]

Vlakový zabezpečovač LS

U vlakového zabezpečení typu LS je na trati umístěn vysílač v kolejovém obvodu, který vysílá proti směru jízdy kód v kolejovém obvodu, ve kterém je přítomné vozidlo. Na samotném vozidle

jsou cívky snímající magnetické pole, které vyvolal kódovaný proud proudící v daném kolejovém obvodu. Dále je dalšími zařízeními signál dekódován a vyhodnocen. Dle opakovací frekvence kódu je návěstním opakovačem zobrazena informace o návěstidle. Zabezpečovač obsahuje také logickou jednotku, která kontroluje strojvedoucího pomocí tlačítka bdělosti, které musí strojvedoucí obsluhovat v určitých časových intervalech dle jízdní situace. [33]

Vlakový zabezpečovač INDUSI/PZB

Tento vlakový zabezpečovač kontrolu jízdu vozidla bodově pomocí magnetických bodů. V případě návěsti "volno" jsou magnety deaktivované a zapínají se v případě návěsti "stůj". Magnety vysílají určité frekvence, kterým je přidělen daný význam (např. 1000 Hz – stůj nebo omezení rychlosti po 1000 m). Při průjezdu těchto magnetů musí strojvedoucí dodržovat rychlost dle jejich frekvence a také obsluhovat tlačítka bdělosti, jinak následuje nouzové brzdění. Kontrola rychlosti probíhá pomocí magnetů a časového spínače. [33]

ETCS (European Train Control System)

Systém ETCS vznikl za účelem interoperability železničního provozu, jelikož vlakové zabezpečovače vyvinuté v ostatních zemích jsou většinou nekompatibilní. Vlakový zabezpečovač ETCS je rozdělen na 3 levely. Předpokládá se jeho využití s nástupem autonomního provozu⁸.

Level 1

Bodový vlakový zabezpečovač, přenos informací probíhá mezi bodovými prvky na trati (balízy) a zařízením na vozidle. ETCS prvního levelu monitoruje pohyby vlaků v určité oblasti a kontroluje, aby nedocházelo k překračování hranic této oblasti. Také dohlíží na dodržování předepsané rychlosti na každém místě trati s oprávněním k jízdě. Pokud dojde k porušení některé z podmínek dochází k varování strojvedoucího a je proveden zásah do řízení. Level 1 spolupracuje se TZZ a SZZ, které mu předávají potřebné informace. PZZ není propojeno se zabezpečovačem ETCS. [33]

Level 2

Liniový vlakový zabezpečovač, využívá radiovou komunikace prvků infrastruktury s vozidlem. I druhý level monitoruje pohyby vlaků, dohlíží na dodržování předepsané rychlosti, zasahuje do řízení při porušení podmínek a spolupracuje se TZZ a SZZ stejně jako level 1. Provoz SZZ a TZZ může probíhat s hlavními návěstidly nebo bez hlavních návěstidel, pokud jsou všechna vozidla provozovaná v oblasti vybavena palubním zařízením ETCS, které je schopno

⁸ ATO over ETCS – popsáno v kapitole 2.2.1

vykonávat funkce úrovně 2. SZZ, TZZ a PZZ předávají informace o zabezpečení do ústředního prvku (RBC). [33]

RBC

Ústřední prvek systému, shromažďuje informace o polohách jednotlivých vlaků vybavené palubním zařízením ETCS, vydává oprávnění k jízdě a informace stavu SSZ, TZZ a PZZ, přijímá povely a předává informace od obsluhujícímu personálu. [33]

Level 3 (předpoklad)

ETCS třetí úrovně funguje na stejném principu dohledu rychlosti, pohybu vozidel a zásahu do řízení jako předchozí úrovně. Předpoklad je vybavení všech provozovaných vozidel palubní jednotkou ETCS, která je schopna vykonávat funkce úrovně 3. SZZ a TZZ nemusí být přítomné u ETCS úrovně 3, pokud jsou jejich funkce integrovány do RBC nebo do jiného zařízení. Nepředpokládá se použití hlavních návěstidel. PZZ jsou propojena s ETCS. [33]

3.1.3.5 Shrnutí vhodnosti systémů zabezpečení pro autonomní provoz

Pro trať s autonomním provozem se předpokládá její vybavení všemi čtyřmi typy zabezpečení. Zabezpečení by mělo být ve třetí kategorii kvůli komplexnosti autonomního systému a jejich nutné provázanosti se systémy zabezpečení. S nižšími kategoriemi by to bylo obtížně proveditelné, jelikož autonomní provoz vyžaduje co nejvyšší digitalizaci trati a výhradně elektrické závislosti.

U SZZ a TZZ je tedy možné využít stávajících zařízení 3. kategorie a upravit je tak, aby dokázali komunikovat s autonomním vozidlem či vytvořit systém, který v sobě bude obsahovat implementované funkce SZZ a TZZ. Tyto funkce mohou být případně implementovány v systému ETCS.

Dnes nejpřespektivnější VZZ je ETCS (level 2), pro který jsou i autonomní systémy vyvíjeny. Evropské železniční organizace nechtějí další rozvoj národních zabezpečovačů a cílí na rozvoj a implementaci ETCS. Pro regionální tratě se nyní diskutuje o vytvoření zjednodušené varianty ETCS. Pro ostatní zabezpečovače by systém autonomního řízení musel být vyvinut, což by vyžadovalo další náklady na vývoj a testování

Jako PZZ by u autonomního železničního provozu mělo být výhradně použito PZS, aby se efektivně zabránilo vjezdu vozidla do prostoru kolejiště, kde by mohlo dojít k nehodě. PZS má také nejlepší předpoklady pro propojení s autonomním systémem.

3.1.4 Železniční koridory

V České republice jsou čtyři tranzitní železniční koridory a čtyři železniční nákladní koridory (RFC koridory). Tranzitní železniční koridory mají být nejmodernější tratě na území ČR a obsahují nejlepší předpoklady pro zavedení autonomního provozu. Modernizace na nich probíhá v souladu s dokumenty AGC (mezinárodní železniční magistrály) a AGTC (Evropská dohoda o důležitých mezinárodních tratích kombinované dopravy a souvisejících zařízeních). Cílem modernizace koridorů je napojení sítě ČD na evropské magistrály, integrace ČR do evropských celků, zmenšení dopadu na životní prostředí, zvýšení bezpečnosti pomocí nejmodernějších technologií, zvyšování rychlosti (rychlosti až 160 km/h a délka předjízdových kolejí 750 m), spolehlivosti, pravidelnosti a třídy zatížení (na D4). [34]

Tranzitní železniční koridory procházející Českou republikou jsou tyto:

„1. železniční koridor („Východo-středomořský“)

Berlín – Drážďany – Děčín – Praha – Pardubice – Česká Třebová – Brno – Břeclav – Vídeň/Bratislava – Budapešť

2. železniční koridor („Baltsko-jadranský“)

Gdaňsk – Varšava – Katowice – Petrovice u Karviné – Ostrava – Přerov – Břeclav

3. železniční koridor („Rýnsko-Dunajský“)

Le Havre – Paříž – Frankfurt n. M. – Cheb – Plzeň – Praha – Ostrava – Žilina – Košice – Lvov, odbočná větev Plzeň – Domažlice – Norimberk

4. železniční koridor

Stockholm – Drážďany – Děčín – Praha – Tábor – Veselí nad Lužnicí – České Budějovice – Horní Dvořiště – Linec – Salcburk – Lublaň – Rijeka – Záhřeb“ [34]

V roce 2010 byla stanovena Evropskou unií a Evropským parlamentem pravidla evropské železniční sítě pro nákladní dopravu. Součástí této sítě je i 9 nákladních železničních koridorů (RFC). Cílem zavedení těchto koridorů je zajistit spolehlivou a kvalitní nákladní dopravu po Evropě, která by dokázala konkurovat i ostatním typům dopravy. Při zavedení této sítě bylo vytvořeno nařízení 913/2010/EU, jehož hlavní myšlenka je zlepšit služby provozovatelů infrastruktury. Nařízení tedy působí v oblasti zlepšení koordinace mezi provozovateli infrastruktury, podmínek přístupu k infrastruktuře, intermodální dopravy a zajištění priority pro nákladní vlaky. [35]

RFC koridory procházející Českou republikou jsou tyto:

„RFC 5 („Baltsko-jadranský“)

Gdyně – Katowice – Ostrava/Žilina – Bratislava/Vídeň/Klagenfurt – Udine – Benátky/Terst/Boloňa/Ravenna/Štýrský Hradec – Maribor – Lublaň – Koper/Terst

RFC 7 („Východní a východo-středomořský“)

Praha – Vídeň/Bratislava – Budapešť – Vidin – Sofia – Soluň – Athény/Budapešť – Bukurešť – Constanța

RFC 8 („Severomořsko-baltský“)

Bremerhaven/Rotterdam/Antverpy – Cáchy/Berlín – Varšava – Terespol – Kaunas

RFC 9 („Rýnsko-Dunajský“)

Praha – Horní Lideč/Bohumín/Havířov/Žilina – Košice – Čierna nad Tisou/Maťovice – slovensko-ukrajinská hranice“ [36]

3.1.5 Oblasti rozvoje české železniční infrastruktury

Prioritní oblasti rozvoje a modernizace v ČR jsou výše popsané železniční koridory, jelikož mají vnitrostátní i mezinárodní význam. Druhotná je modernizace důležitých železničních uzlů, cílem této modernizace je zajištění stejných technických parametrů těchto uzlů, jaké mají přilehlé koridory. Takto modernizované uzly jsou například Děčín, Ústí nad Labem, Kolín, Choceň, Břeclav. Dále se jedná o vybavení tratí systémem ETCS a GSM-R, čímž se zajistí interoperabilita s ostatními evropskými tratěmi. Další priority rozvoje jsou v oblastech příměstské dopravy, zvýšení bezpečnosti železničních přejezdů a elektrizace tratí. V ČR probíhá postupná elektrifikace tratí, přičemž se používají různé trakční proudové soustavy, což vede k potřebě uzpůsobit lokomotivy na obě trakční soustavy. Zatím se ale neplánuje sjednocení na jednu trakční soustavu, jelikož uzpůsobení lokomotiv je prozatím výhodnější než přestavba na jednotnou trakční soustavu. [37]

Další poměrně velkou oblastí rozvoje české železniční infrastruktury jsou vysokorychlostní tratě, Česká republika momentálně zaostává v budování vysokorychlostních tratí oproti ostatním evropským zemím, které je již mají v provozu či výstavbě. Je plánováno postavit tři vysokorychlostní tratě o přibližné délce 700 km. Hrubý odhad jejich dokončení je rok 2035. [38]

Plánované vysokorychlostní tratě:

VRT1

Praha – Brno – Ostrava – Polsko

VRT2

Německo – Ústí nad Labem – Praha – Brno – Břeclav – Rakousko/Slovensko – Maďarsko

VRT3

Německo – Plzeň – Praha

3.1.6 Tratě s autonomním provozem v ČR

Kopidlanka

Trat' mezi Kopidlnem a Dolním Bousovem, tzv. Kopidlanka je postupně přestavována na experimentální dráhu. Dráha je pod správou společnosti AŽD, která jí v roce 2016 odkoupila od Správy železnic a nyní zde testuje systémy autonomního provozu vlaků, kvůli těmto testům byla část trati oplocena a v budoucnu bude vybavena traťovými senzory včetně kontroly volnosti přejezdu a komunikační technologie 5G či WLAN. Na trati je také testováno zařízení traťového souhlasu D3, které umožňuje přenos datových informací přes veřejného operátora a odpadá tak nutnost výstavby kabelizace. Dětenice jsou zde dopravnou s místním řízením. Další instalované technologie budou např. Stavědlo typu ESA 33 (SZZ), jednotný evropský zabezpečovací systém ETCS, PZZ, Graficko-technologická nástavba (GTN) a automatické stavění vlakových cest. Řízení této stanice je možné skrz tablety či telefony výpravčích díky jednoduchosti provozu. [39]

Švestková dráha

Další tratí společnosti AŽD, na které byl testován autonomní vlakový provoz je Švestková dráha (Lvosice – Most). Stejně jako Kopidlanka i Švestková dráha byla v roce 2016 odkoupena společností AŽD od Správy železnic. Vize AŽD byla, že z této zastaralé lokální tratě, která se měla rušit, vytvoří moderní polygon pro testování nejnovějších železničních technologií. Trat' byla opravena a byly na ní instalovány technologie, které se nacházejí zatím pouze na koridorech. Z nových technologií jsou zde testovány nástupištní dveře a diagnostické systémy, které umožní předpovědět určité poruchové stavy. [40]

Zkušební okruh u Velimi

Nedaleko vesnice Cerhenice se nachází Velký a malý železniční testovací okruh, který spravuje Výzkumný Ústav Železniční (dále jen „VUZ“). VUZ plánuje rozvíjet malý železniční okruh pro testování autonomních kolejových vozidel a tramvají. VUZ plánuje v blízké době investovat do testovacího okruhu až 600 milionů korun. Tyto investice budou do infrastruktury, která umožní testovat různé scénáře, se kterými se mohou autonomní vozidla setkat. [41]

3.2 Potřebné změny pro optimální provoz autonomních kolejových vozidel

V této kapitole jsou vypsány nutné změny, které umožní autonomním kolejovým vozidlům zařadit se do provozu na železnici. Dále jsou vypsány změny, jejichž přítomnost na infrastruktuře není nutná pro autonomní provoz, nicméně se jedná o systémy, které přispějí k bezpečnosti, spolehlivosti a celkovému fungování systému.

3.2.1 Nutné změny pro autonomní provoz

3.2.1.1 Spojení pro komunikaci, optimalizaci a dohled nad vozidlem

Jelikož v plně autonomním provozu (GoA4) není na palubě vozidla přítomný žádný provozní personál, musí vozidlo v případě problému, který nebude schopné samo vyřešit (např. spadlý strom na trati), kontaktovat pracovníka, který se připojí dálkově na vozidlo, zhodnotí situaci (např. pomocí kamer umístěných na vozidle/infrastruktuře) a pokud možno vyřeší, popřípadě předá informace dál. Bude tedy potřebné zajistit nepřetržité spojení mezi vozidlem a infrastrukturou.

Dedicated short-range communication (dále jen „DSRC“)

DSRC je systém vysokofrekvenční komunikace krátkého dosahu. Komunikace je vysokorychlostní a obousměrná, lze jí tedy využít ve vztazích vozidlo-vozdlo (V2V) a vozidlo-infrastruktura (V2I). DSRC je schopen vysílat a přijímat informace nepřetržitě a tím předávat informace mezi vozidly. Vozidla vybavená DSRC jsou schopna výměny informací bez jakékoliv mobilní sítě. Protokol přenosu zpráv je Basic safety message (dále jen „BSM“), BSM obsahuje velikost vozidla, kurz, polohu, rychlost, stav brzd a úhel natočení a je možné ji vysílat často (např. každých 100 milisekund). Oproti mnoha jiným komunikačním technologiím typu one-to-one umožňuje DSRC komunikaci one-to-many. Systém DSRC byl vyvinut tak, aby dokázal

efektivně pracovat v rychle se pohybujících vozidlech a je v současné době považován za jeden z nejeftivnějších systémů pro V2V komunikaci. [11]

GSM-R

Systém GSM byl již vybrán jako mezinárodní komunikační systém pro železnici díky jeho rozšíření a spolehlivosti. V roce 1993 byl UIC vytvořen systém GSM pro železnici, tzv. GSM-R. Oproti klasickému GSM je rozdíl v pokrytí dané oblasti. Stanice GSM-R pokrývají území okolo trati tak, aby pokrytí bylo co nejspolehlivější a nedocházelo k výpadkům. Pokrytí je možné i v tunelech a horských oblastech. Systém GSM-R je schopen přenosu informací i v rychlostech překračujících 300 km/h. Dalším rozdílem oproti GSM je přidělování stupňů priorit při přenosu informací. GSM-R nyní slouží především pro komunikaci s provozním personálem drážního vozidla. Nyní je systém GSM-R společně s ETCS součástí ERTMS. GSM-R by měl fungovat do roku 2030, poté by měl být nahrazen jiným komunikačním systémem (FRMCS). [42] [43]

FRMCS

Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) je nástupce systému GSM-R. FRMCS je vyvíjen, jelikož je plánované ukončení podpory GSM-R od roku 2030. Tímto nástupcem bude tedy FRMCS, jehož cílem je stát celosvětovým standardem, který bude v souladu s evropskými i světovými předpisy a potřebami. FRMCS je prvním projektem UIC, který sdružuje i mimoevropské členy a je první z aplikací strategického plánu UIC k vybudování jednotného systému řízení pro celý železniční sektor. [44]

Internet of things

Internet of things (IoT) je technologie využívající vysokorychlostní internet a bezdrátové technologie a zajišťuje tak propojitelnost různých zařízení a autonomních vozidel. Funkce IoT nebude primárně propojit vozidlo s dispečerským pracovištěm, ale využít data ze senzorů vozidla, prvků na infrastruktuře a ostatních vozidel. Kromě senzorů dat bude také nutné vytvořit různé optimalizační algoritmy, využít strojové učení a umělou inteligenci. Tyto získaná a vyhodnocená data pomohou k vyšší efektivitě a bezpečnosti celkového systému. IoT je možné využít se systémem GPS pro směřování autonomních kolejových vozidel a sdělování měnící se polohy vozidla do zařízení na infrastruktuře a dispečerského pracoviště. [11]

5G

Další možností je využití 5G sítí, od kterých se s jejich nástupem očekává navýšení obousměrné přenosové rychlosti (až 10x) a snížení odezvy oproti předchozím generacím. Síť 5G umožní interoperabilitu různých typů zařízení v různých průmyslových odvětvích. Jejich

využití je plánováno u IoT, cloudových služeb, autonomních vozidel, robotiky a virtuální reality. [45] U železnice je využití 5G sítí perspektivní kvůli jejich rychlým reakcím, možnosti přenosu velkých objemů dat vysokou rychlostí a vysokou spolehlivostí. [46]

3.2.1.2 Dispečerské pracoviště autonomního provozu

Během jízdy autonomního vlaku může dojít k nečekané mimořádné události, může se jednat o překážku na trati, poruchu na vozidle atd. Tedy situace, kterou autonomní vlak nedokáže vyřešit samostatně a o dalším postupu musí rozhodnout supervizor dohledového pracoviště. Společnost AŽD momentálně vyvíjí systémy dálkového dohledu pro autonomní vlakový provoz. Systémy dokážou rozpoznat, přidělit prioritu a nahlásit různé incidenty. Supervizor může vzdáleně situaci prověřit pomocí kamer a provést nutné kroky pro její vyřešení (přivolat složky integrovaného záchranného systému, převzít ovládání, obnovit jízdu vlaku apod.). Supervizor má také možnost informovat cestující a ti se mohou během jízdy spojit s dohledovým pracovištěm. Před uvedením autonomních vlaků bude tedy nutné zřídit toto pracoviště, vytvořit systémy a zaškolit personál.

3.2.2 Doporučené změny

Bezúdržbový provoz

Na Švestkové dráze je testován společností AŽD je testován tzv. bezúdržbový provoz, tento systém (inovativní globální diagnostický systém) průběžně sleduje a vyhodnocuje stav trati a jejích technologií. Hlavním cílem systému je predikce poruch a zabránění omezení dopravy. Kolejnice budou monitorovány systémem s optickým kabelem, který bude sledovat vibrace kolejnic a při trhlině či lomu dokáže přesně určit místo. Součástí bezúdržbového provozu bude i kontrola pomocí dronů, kteří poletí k místu s poruchou a zjistí reálnou situaci. Sledovány budou také železniční přejezdy, ETCS, informační systémy, rozhlas a další prvky. [47]

Nástupištní stěna

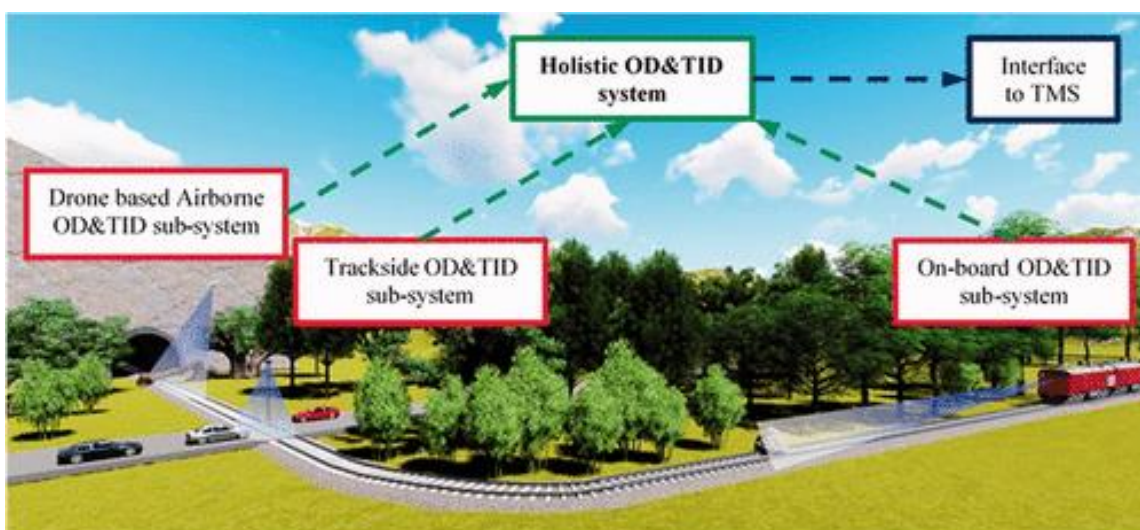
Nástupištní stěna je umístěna na hraně nástupiště a dveře se otevírají až po příjezdu a zastavení vlaku. Jedná se tedy o spolehlivý způsob zabezpečení nástupišť proti pádu osoby či věci. Nástupištní stěny jsou instalovány převážně v metrech, ale již se začíná i s jejich nasazením na konvenční železnici. S tímto nápadem přišla začátkem prosince 2019

singapurská firma ST Engineering. [48] Nástupištní stěna obsahuje dveře, které jsou konstruovány tak, aby se otvíraly na míru vlaku, který bude stavět ve stanici. Kromě této proměnlivé polohy a šířky dveří obsahuje systém také bezpečnostní senzory, které zabrání uvíznutí rukou či oděvu cestujících. Nástupištní stěnu lze konstruovat na stávající nástupiště, jen se musí dbát na zvýšenou hmotnost, kterou musí nástupištní hrana unést.[49]

Detektory na infrastruktuře⁹

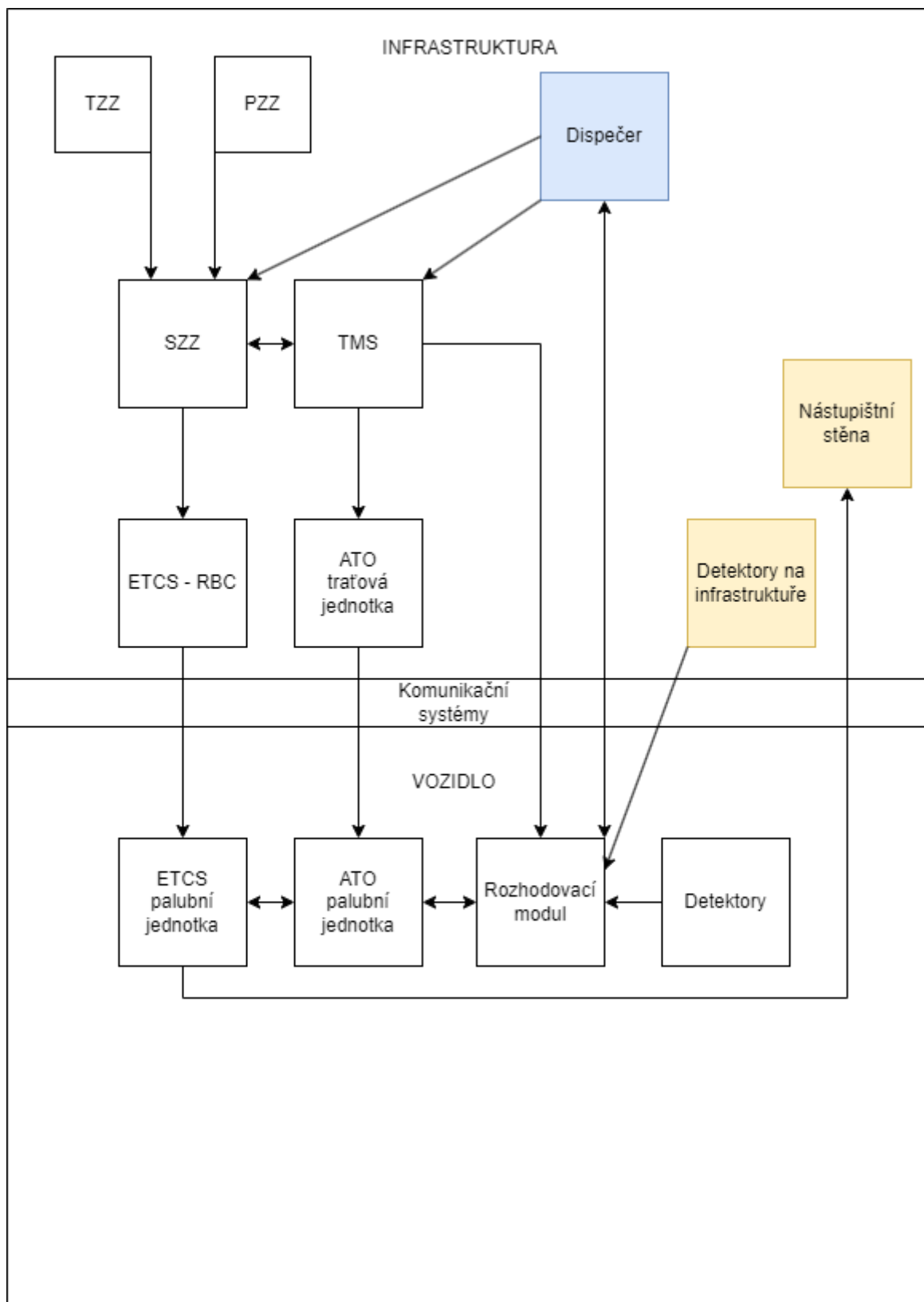
Tyto detektory jsou umístěny na kritických místech trati, kde může např. dojít k výskytu překážky na trati či detekovat osoby na nástupišti. Jedná se o železniční přejezdy, mosty, tunely, železniční stanice a případně na částech některých horských tratí. Detektory dokážou rozpoznat překážku (např. člověk, zvíř, spadlý strom, sesuv půdy apod.) na trati a upozornit příjezdějící vlak, který může tak bezpečně zastavit. U mostů a tunelů jsou tyto detektory doplněny o detektor stavu, který je součástí bezúdržbového provozu. Detektory fungují na principu 3D optického laseru nebo na kamerovém systému, který monitoruje určitou oblast a jeho algoritmy rozpoznají překážku. [11]

Následující obrázek č. 7 ukazuje, jak by mohla vypadat trať s autonomním provozem, tato trať je opatřena výše zmíněnými detektory. Na obrázku č. 8 je zobrazeno schéma datové komunikace mezi infrastrukturou a vozidlem, které je doplněno o výše zmíněné technologie. Čtverce značí jednotlivá zařízení, která autonomní vozidla pro svou funkci využívají a šipky mezi nimi značí směr datové komunikace. Modře je zobrazen prvek, se kterým probíhá výměna dat pouze za mimořádné situace a žlutě jsou zobrazeny prvky, jejichž zřízení se doporučuje u autonomního provozu. Zároveň jsou u těchto prvků doplněny jejich vazby na vozidlo.



Obrázek 7 – Možné schéma trati s autonomním provozem (Zdroj: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/09544097211041020>)

⁹ Výčet detektorů na vozidle obsahuje kapitola 2.2.2.1



Obrázek 8- Schéma propojení autonomního vozidla s infrastrukturou (zdroj: Autor práce)

4. Legislativa Autonomních vlaků a autonomního provozu

Jednou z největších překážek, která brání zavedení autonomních kolejových vozidel do provozu je neúplná či neexistující legislativa, která by povolila jejich použití a plnohodnotný provoz na železnici. V této kapitole je analyzován stav legislativy v České republice a vypsány nalezené zákony z dalších zemí světa.

4.1 Analýza legislativy ČR pro autonomní drážní vozidla a jejich provoz

V této kapitole byly prozkoumány legislativní dokumenty, normy či předpisy týkající se železniční a silniční dopravy v české republice a popsány části zmiňující se o automatizaci či autonomii v daném sektoru.

4.1.1 Legislativa v železničním sektoru

V zákoně č. 266/1994 o dráhách je o automatizaci zmínka pouze ve dvou případech:

*„(1) Řídit drážní vozidlo na dráze místní, tramvajové, trolejbusové, speciální nebo lanové anebo na vlečce mohou jen osoby s platným průkazem způsobilosti k řízení drážního vozidla nebo s platnou licencí strojvedoucího, jde-li o dráhu místní nebo vlečku; tato povinnost se nevztahuje na dráhu speciální při **automatickém provozu**, kdy je drážní vozidlo řízeno technickým systémem bez přítomnosti osoby řídící drážní vozidlo.“* [50, § 45]

*„d) zajistit, aby drážní vozidla na dráze tramvajové, trolejbusové, speciální, lanové, místní a vlečce řídily osoby, které mají platný průkaz způsobilosti k řízení drážního vozidla; tato povinnost se nevztahuje na dráhu speciální při **automatickém provozu**, kdy je drážní vozidlo řízeno technickým systémem bez přítomnosti osoby řídící drážní vozidlo.“* [50, § 35]

Legislativa tedy v současné době nedovoluje autonomním drážním vozidlům fungovat v běžném provozu. Novela zákona o dráhách pojednává pouze o autonomním metru pro nově připravovanou linku D. Pro metro též existuje norma IEC (International Electrotechnical Commission) 62290, která popisuje požadavky pro autonomní provoz metra u městských systémů. Tato mezinárodní norma popisuje architekturu pro UGTMS (Urban guided transport management and command/control systems) a byla zřízena pro stanovení podmínek pro interoperabilitu a intermodalitu jednotlivých systémů. Překážky interoperability jsou nejen technické, ale i právní či institucionální. [51]

Při testování autonomního vlaku společnosti AŽD byl zcela zastaven provoz na dráze a test probíhal dle interních předpisů společnosti pro testování nových technologií.

4.1.2 Legislativa v silničním sektoru

Zákon o provozu na pozemních komunikacích č. 361/2000 Sb. se o autonomním provozu nezmiňuje. V zákoně je považován za řidiče ten, kdo řídí motorové vozidlo, nemotorové vozidlo či tramvaj, případně zvíře a o autonomním nebo automatickém vozidle není zmínka. Ze zákona také vyplývá, že řidičem může být fyzická osoba, nikoliv vozidlo. [52] Novela, která měla pojem řidič a vytyčit pravidla provozu autonomních vozidel nebyla dosud schválena. Akční plán budoucnosti automobilového průmyslu v České republice z roku 2017 v 6 bodech popisuje zavádění autonomního řízení na české silnice, jedná se především o vytvoření podmínek a prostředí pro testování autonomních vozidel, alokaci financí a nezbytné právní aspekty pro zavedení vozidel do provozu. [53]

4.2 Analýza světové legislativy v oblasti autonomní dopravy a provozu

V železniční dopravě momentálně nejsou zavedeny společné regulační rámce, normy či pokyny, které by usnadnily zavedení autonomního provozu. Některé státy či organizace již pracují na jejich vytvoření. V této kapitole jsou vypsány nalezené normy či legislativa týkající se autonomního provozu.

V roce 2021 začal v Německu platit zákon o autonomním řízení, který byl vytvořen kvůli autonomním autobusům, které jezdí autonomně v uzavřených areálech. Zákon měl umožnit autonomním vozidlům jezdit v ulicích měst s maximální rychlostí 20 km/h, ale bohužel nebyl sepsán kompletně, tudíž není přesně definováno, pro jaká vozidla platí, kde a jakou rychlostí smí vozidla jezdit a na otázku odpovědnosti při nehodě není zatím jasná odpověď. [54]

Německá ročenka dopravců z roku 2017 předložila dvě normy, jednalo se o normu prEN 50668, která doplňuje normy pro neautonomní provoz (GoA 0) a došlo k aktualizaci norem EIC 62290. [55]

Australská National transport commission má za cíl do roku 2026 připravit kompletní zákony potřebné pro provoz autonomních vozidel. Jejich již provedené reformy jsou dokumenty o změně dopravních zákonů tak, aby podporovali autonomní vozidla. Jedná se tedy o definici

autonomního vozidla, jeho systémů a bezpečné zavedení do provozu. Nyní pracují na zákoně o odpovědnosti a také na rozvoji národního řídičského práva. [56]

Australský projekt AutoHaul společnosti Rio Tinto dostal v roce 2018 povolení k provozu vlaku bez strojvedoucího. Národním regulační úřad pro bezpečnost železnic (ONRSR) schválil plně autonomní provoz nákladních vlaků z dolů v Riu na západ Austrálie do přístavů. Australská železniční legislativa definuje autonomní řízené, ale před provozem autonomního železničního vozidla musí být uděleno povolení. [57]

The Federal Railroad administration (FRA) je vládní agentura Spojených států amerických, jejíž účel je zajistit bezpečnou, spolehlivou a efektivní osobní i nákladní dopravu. Tato agentura přijímá automatizaci a v posledních letech pracuje na technických specifikacích a standardech potřebných pro autonomní provoz. V současné době žádná legislativa USA nezakazuje vlaky bez strojvedoucích. V roce 2019 FRA stáhla navrhovaný zákon, který by vyžadoval dvoučlenný personál na nákladních vlacích, aby tím podpořila automatizaci. [58]

Existují i další dokumenty vytvořené pro železniční sektor, které neřeší přímo autonomii, ale témata, která jsou s ní blízce spjata. Jedná se např. o dokumenty interoperability (Directive (EU) 2016/797).

Legislativa je tedy, stejně jako autonomní technologie, stále ve vývoji. Mělo by se na ní klást stejný důraz jako na vývoj samotných technologií, jelikož by komplikace či nedokonalosti v tomto odvětví mohly znamenat zpoždění nebo překážku pro nasazení autonomních systémů. Na základě získaných poznatků se doporučuje využít norem či pokynů od mezinárodních organizací, které si jednotlivé státy mohou dále upravit dle potřeb. Tím bude zajištěna provázanost mezi jednotlivými systémy a vznikne tak možnost kooperace.

5. Návrh postupu implementace autonomního provozu

V této kapitole jsou nastíněny překážky zavedení autonomních drážních vozidel do provozu dle jejich důležitosti a uvedeny autorovi náměty na jejich řešení. Dále jsou vzneseny další otázky týkající se autonomních drážních vozidel.

5.1 Překážky zavedení autonomních vozidel do provozu

Technické překážky

Železniční doprava dbá na vysokou bezpečnost vozidel a provozu, proto je nutné, aby s nástupem autonomních drážních vozidel nedošlo ke snížení bezpečnosti na železnici. Systémy autonomního řízení jsou stále ve vývoji a je nutné je před jejich nasazením do provozu důkladně otestovat. Prvotní testování by mělo proběhnout na testovacích polygonech. Při testování by měl být provoz (pokud nějaký je) na trati úplně zastaven kvůli bezpečnosti. Systém musí být před jeho nasazením do ostrého provozu prověřen, že spolehlivě zastane všechny úkony strojvedoucího. Strojvedoucí pozoruje situaci, dokáže předvídat a reagovat na události, tomu musí být porozuměno a implementováno do řídicího systému. Pro senzory by měly být připraveny různé scénáře, např. člověk či zvíře přecházející kolejiště, spadlý strom, simulace požáru na palubě vozidla apod.

Infrastrukturní

Jak bylo popsáno v kapitole 3.2.1, pro autonomní provoz bude nutné zajistit neustálou komunikaci s vozidlem. Na základě poznatků z rešerše by mělo být směřováno k použití IoT a 5G sítí, jelikož mají dobré vlastnosti pro přenos informací a zajišťují interoperabilitu, tyto technologie jsou celosvětově zaváděny a počítá se s jejich využitím v budoucnosti¹⁰.

První dispečerské pracoviště pro dálkový provoz by mělo být zřízeno (alespoň jako dočasné) poblíž tratě s autonomním provozem, aby dohlížející personál mohl co nejdříve dojet k vozidlu v případě chyby.

Jakožto zabezpečení by mělo být využito TZZ a SZZ 3. kategorie a jednotný vlakový zabezpečovač ETCS, který ve vyšších úrovních případně zastane i funkci TZZ A SZZ, dále nebude potřeba zřízení návěstidel v případě vybavení vozidel palubní jednotkou ETCS. Bohužel v České republice zatím není implementace ETCS rozsáhlá, převládá vlakový

¹⁰ U IoT se předpokládá dvojnásobný nárůst připojených jednotek do roku 2025 a příchod 5G je označován jako další průmyslová revoluce. [11]

zabezpečovač LS. Během posledních dvou dekád se počet nehod na železničních přejezdech snížil o přibližně o 70 %, i přesto by měly železniční přejezdy být vybaveny primárně přejezdovým zabezpečením světelným, které bude navíc obsahovat technické prostředky pro kontrolu volnosti. Rozšíření o kontrolu volnosti přejezdu zaručí další snižování počtu nehod.

Dále v rámci Smart přístupu by měly železnice být vybaveny systémy zvyšující bezpečnost (např. nástupištní stěna) a spolehlivost (např. bezúdržbový provoz). Cílem těchto změn je přechod z traťové signalizace a detekce na signalizaci a detekci pomocí bezdrátových sítí, čímž by mohla odpadnout nutnost výstavby návěstidel a technických prostředků pro TZZ či SZZ.

Finanční¹¹

Dle železničních expertů mohou být vysoké pořizovací náklady jako jedna z největších překážek pro rozsáhlejší implementaci autonomních vozidel. Z těchto nákladů značnou část představují náklady na přestavbu infrastruktury, například cena za jednu jednotku DSRC se může vyšplhat až k jednomu milionu korun. [11] Změna ale nemusí proběhnout na celé železniční infrastruktuře najednou, lze tedy modernizovat infrastrukturu po částech. Další možnou úsporou je využívání dotací Evropské unie na výstavbu ETCS. Při výstavbě ETCS na trati Praha-Uhřetěves – Votice byly náklady na výstavbu okolo 211 milionů korun, z čehož dotace Evropské unie činila okolo 162 milionů korun. [59]

Legislativní

V mnoha zemích neexistující či nekompletní legislativa je další překážkou, která by umožnila provoz autonomních vozidel. Z hlediska právní stránky věci bude potřeba definovat pojem "autonomní vozidlo", tedy přesně v zákoně definovat že se jedná o vozidla řízená systémem (umělou inteligencí) a ne strojvedoucím. U zařízení s umělou inteligencí je hrozba zdoluhavého schvalovacího procesu, jelikož současné normy pro schvalování s umělou inteligencí nepočítají. Také bude muset být řešena otázka právní odpovědnosti, zavedeny nové bezpečnostní normy a provozní i technické předpisy. A to nejen pro autonomní vozidlo, ale pro autonomní provoz jako takový.

¹¹ Dále popsáno v kapitole 5.4

5.2 Začátek implementace autonomního provozu

Nákladní či osobní doprava

Na základě získaných poznatků by měla prvotní implementace proběhnout v nákladní dopravě. Dobrým příkladem je již několikrát zmíněná společnost Rio Tinto, jejíž nákladní vlaky vozí železnou rudu v Austrálii. [14] Pro tyto vlaky byla vyhrazena trať, na níž se nenachází žádný další provoz, je tedy možné zde vlaky provozovat bez rizika nehody s lidmi na palubě vozidla. Výhodou je také, že se mohou objevit chyby či nedokonalosti, které nebyly objeveny při testování a opravit je. K přechodu na osobní dopravu by došlo až po osvědčení spolehlivosti systému. Nutno zmínit, že by pouze počátek implementace měl proběhnout v nákladní dopravě, další implementace by měla probíhat zároveň i v osobní dopravě.

Smíšená doprava

Vzhledem k složitému přechodu na pouze autonomní provoz je možné využít smíšenou¹² dopravu, ale předpokladem pro toto řešení je vybavená infrastruktura, která umožní spojení s vozidlem a poskytne vozidlu potřebné informace, např. v případě změny jízdního řádu. Otázkou zde zůstává, jak časově a finančně náročné bude vybavit vozidla a infrastrukturu potřebnou technologií. V případě vyšší časové náročnosti vybavení infrastruktury oproti vozidlům by bylo vhodnější postupně vybavovat vozidla společně s výstavbou infrastruktury a následně po finalizaci infrastruktury přejít na plně autonomní provoz. Vybavená vozidla mohou být řízena strojvůdci, jejich systémy sbírat data a následně je vyhodnotit a případně provést úpravy systému v případě chyb.

Typ tratě pro začátek implementace

Dle zákona č.266/1994 Sb., o dráhách se železniční dráhy dělí do těchto kategorií:

„1) Železniční dráhy se z hlediska významu, účelu a technických podmínek, stanovených prováděcím předpisem, člení do jednotlivých kategorií. Kategoriemi železničních drah jsou:

- a) Dráha celostátní, jíž je dráha, která slouží mezinárodní a celostátní veřejné železniční dopravě a je jako taková označena,*
- b) Dráha regionální, jíž je dráha regionálního nebo místního významu, která slouží veřejné železniční dopravě a je zaústěná do celostátní nebo jiné regionální dráhy,*
- c) Vlečka, jíž je dráha, která slouží vlastní potřebě provozovatele nebo jiného podnikatele a je zaústěná do celostátní nebo regionální dráhy, nebo jiné vlečky,*

¹² Smíšená doprava je zde myšlena jako autonomní s neautonomní

- d) *Zkušební dráha, již je dráha, které slouží zejména k provádění zkušebního provozu drážních vozidel nebo zkoušek pro schválení typu nebo změny typu drážních vozidel a drážní infrastruktury*
- e) *Speciální dráha, která slouží zejména k zabezpečení dopravní obslužnosti obce.* “ [50, § 3]

Dráhy celostátní jsou důležité pro dálkový provoz po ČR a spojení se zahraničím, jsou to nejmodernější dráhy, které obsahují nejlepší předpoklady pro zavedení autonomního provozu, nicméně jsou také velice vytížené a pro počátek implementace autonomních vozidel nevhodné, jelikož by při poruše některé z nových technologií byl značně ovlivněn provoz. Nicméně, po osvědčení autonomního provozu na tratích nižší kategorie by měla být implementace cílena na celostátní dráhy, jako jsou výše zmíněné železniční koridory či vysokorychlostní tratě.

Pro prvotní implementaci by tedy bylo vhodnější zvolit dráhu regionální, vlečku či speciální dráhu¹³, popřípadě je zde i možnost implementace na určité zkušební dráze, která by poté mohla být dle možností předělána na dráhu regionální či speciální. Jak bylo již zmíněno výše, na základě předchozí rešerše by měl prvotní autonomní provoz proběhnout v nákladní dopravě. Tedy na nějaké vlečce, která by mohla být případně využita i jako zkušební dráha. Autonomní vlak by v případě převozu nákladu mohl generovat i určité finance, které by mohly alespoň částečně přispět na pokrytí nákladů.

Při přechodu na autonomní provoz v osobní dopravě by se mělo postupovat vzestupně od dráhy speciální, regionální až po dráhy celostátní, tato vzestupnost je doporučena z důvodu vyšší časové náročnosti vybavení celostátních a regionálních tratí oproti té speciální. Vhodné by bylo zvolit oblast, kde tyto dráhy budou do sebe zaústovat a vytvořit tak autonomní železniční síť, která by se následně mohla dále rozšiřovat.

5.3 Další otázky příchodu autonomie

Myšlení lidí

Důležitou otázkou s příchodem autonomie v železničním sektoru zůstává, jaký to bude mít vliv na cestující a zda u nich kvůli absenci vlakového personálu nebude vytvářen pocit nejistoty či diskomfort. Toto téma nebylo zatím příliš rozebráno, ve světě bylo vytvořeno pár šetření, které popisují uživatelské vnímání autonomních drážních vozidel. Šetření proběhly lokálně (např.

¹³ Speciální dráha je i např. nově připravovaná linka D pražského metra

v Německu, Austrálii [11]) i celosvětově. Respondenti odpovídali na různé otázky týkající se autonomních vozidel a autonomního provozu, dále byli tázáni ohledně faktorů preference dopravy (např. cena jízdenek, vyšší spolehlivost, více spojů apod.) a otázek ovlivňující společnost (např. nezaměstnanost). Ve studiích většina (v celosvětové studii více jak 80 %) respondentů hodnotila technologii a design autonomního vlaku pozitivně. Na otázku, čeho se respondenti nejvíce obávají u autonomních vozidel, byl vznik technické poruchy (přibližně polovina respondentů). Jako největší výhody zavedení autonomních vozidel byly dle respondentů vyšší četnost spojů či nižší cena jízdenek¹⁴. Zajímavostí z celosvětové studie Anny Fraszczyk [60] bylo, že 72 % mužských a 93 % ženských respondentů uvedlo, že by autonomní vozidlo mělo obsahovat kabinu strojvedoucího i přes jeho absenci ve vozidle. Nevýhodou těchto studií byl nízký počet dotazovaných respondentů (u celosvětové to bylo pouhých 50), pro lepší přehled uživatelského vnímání nástupu autonomních drážních vozidel by tedy bylo vhodné několikanásobně zvýšit počet dotazovaných a následně z těchto dat identifikovat možné problémové oblasti a začít s jejich řešením (např. pomocí informativních článků či videí nebo ukázek pro veřejnost).

Změna vlakového personálu při autonomním provozu

Na základě odhadů by mělo dojít ke snížení vlakového personálu o 30-70 %. Dle některých studií by zavedení autonomních vlaků mohlo vést k hromadnému propouštění zaměstnanců či snížení platů a způsobit zhoršení vztahů mezi vlakovým personálem a jejich zaměstnavateli, což by mohlo vést k riziku vzniku stávek. [11]. Na základě získaných poznatků by snížení vlakového personálu neměla být závažná překážka, jelikož k přechodu na autonomní provoz bude docházet pozvolně, otevřou se nové pracovní pozice (např. ve výše zmíněném dispečerském centru) a zároveň se Česká republika podotýká s nedostatkem strojvůdců, což mohou autonomní vlaky pomoci vyřešit. Nedostatek řidičů trápí i další dopravní odvětví, zejména nákladní autonomní vlaková doprava by mohla pomoci s přepravou zboží na velké vzdálenosti.

Úschova/ochrana autonomních vozidel

Další nevyřešenou otázkou je úschova autonomních vozidel. Tyto vozidla budou obsahovat nové technologie, zejména senzory a detektory. Bohužel drážní vozidla jsou často terčem útoku sprejerů a těchto útoků v posledních letech přibývá. Pospřejování autonomního vozidla by mohlo mít za následek zastínění detektorů, které by nemohly vykonávat svou funkci a znemožnily by odjezd vozidla či správnou funkci vozidlového systému. S nástupem autonomního provozu by se měla vyřešit i otázka lepší úschovy vozidel. Na odstavná místa by

¹⁴ Tyto preference vyšly u studií různorodě dle místa šetření.

měly být instalovány kamery či oplocení a zajištěn personál pro jejich ochranu před vandalismem.

5.4 Definice možných pozitiv a negativ zavedení autonomního vlakového provozu

Zavedení plně autonomního vlakového provozu bude mít jistě dopad na spoustu aspektů železniční dopravy, počínaje bezpečností, optimalizací až ke komfortu cestujících. V této části práce jsou tyto dopady popsány, objektivně zhodnoceny a rozřazeny na pozitivní a negativní.

5.4.1 Možná pozitiva

Bezpečnost

Jednoznačně jeden z nejdůležitějších parametrů železniční dopravy. Bezpečnostní systémy (např. traťové, vlakové, staniční) jsou vyvíjeny od počátku zavedení železniční dopravy s cílem maximální možné bezpečnosti vlakových pasažérů, ale i ostatních účastníků provozu. Vzhledem k možné materiální a lidské škodě v případě nehody podléhají tyto systémy vysokým požadavkům a jsou důkladně testovány. Za valnou většinu nehod na železnici je odpovědný lidský faktor, ať už se jedná o chyby strojvedoucích či řidičů automobilu, kteří vjedou na železniční přejezd při průjezdu vlaku. Zavedením autonomních kolejových vozidel se přispěje k zvýšení bezpečnosti odstraněním lidského faktoru, jelikož kolejová vozidla v plné automatizaci jsou schopna zastoupit všechny úkony provozního personálu s větší precizností a přesností. Dále budou autonomní vozidla obsahovat řadu dalších bezpečnostních systémů jako jsou senzory pro detekci překážek, detekce vozidel na železničních přejezdech či technologie pro dohled na nástupištích. Zde mohou vzniknout bezpečnostní rizika selháním nových technologií, ale vzhledem k vysokému standartu bezpečnosti na železnici a důkladnému testování nových technologií by měla jejich poruchovost být minimální. Odstraněním lidského faktoru a využitím dalších bezpečnostních technologií by tedy mělo dojít k významnému zvýšení bezpečnosti železničního provozu.

Optimalizace provozu

Optimalizace provozu může být chápána v případě autonomních kolejových vozidel dvěma způsoby. První je z hlediska zvýšení kapacity železničních tratí. To je dosaženo díky systémům, které autonomní vlaky využívají, například výše zmíněný ATO over ETCS, který umožní autonomním vozidlům jezdit s menšími rozestupy bez ovlivnění bezpečnosti. Menší

rozestupy tedy zajistí plynulejší a spolehlivější dopravu. Někteří železniční experti zdůrazňují, že zvýšení kapacity by měl být jeden z hlavních důvodů pro automatizaci železniční dopravy, protože velké množství konvenčních drah jsou blízko svých kapacitních limitů.

Druhý způsob chápání je energetická optimalizace. Díky optimálnímu zrychlování a brzdění dokážou autonomní vozidla snížit spotřebu elektrické energie potřebné pro jejich provoz. Pro představu úspora energie u systému AVV od společnosti AŽD je 10 až 20 %.[4] Ke zvýšení úspory může přispět také optimalizace klimatizačních systémů a využití obnovitelných zdrojů energie.

Cena provozu

Výhoda autonomních vozidel spočívá v jejich nižší provozní ceně. Vozidlo je schopné fungovat samostatně, tudíž není vyžadován žádný personál ve vozidle, pouze dispečer, který bude vlak dálkově ovládat v případě potřeby. Úspora tedy vznikne zmenšením počtu personálu a úkonům s ním spojeným (výcvik nových strojvedoucích atd.). U automatických linek metra se automatizací podařilo snížit provozní náklady přibližně o 30 %. [11] U konvenčních železnic se předpokládá o něco nižší úspora, která bude také záviset na charakteristice trati.

Spolehlivost

Spolehlivost je dalších z velice důležitých parametrů dopravy, vysoká spolehlivost činí dopravu atraktivnější, což vede k zvýšení množství pasažérů a větším ziskům. Automatizací kolejových vozidel se předpokládá ke zvýšení spolehlivosti železniční dopravy, a to díky zvětšení bezpečnosti novými systémy a eliminací lidského faktoru. Dále by ke spolehlivosti mohlo přispět odstranění některých technických zařízení z tratí (např. návěstidel), které mohou v případě poruchy způsobit zpoždění. Zároveň ale budou pro provoz autonomních vozidel instalována nová zařízení, u kterých bude také možný výskyt technických problémů, zde tedy v současnosti nelze říct, jak moc se zvýší či sníží spolehlivost instalací nových zařízení.

Flexibilita

Flexibilitou se v tomto případě rozumí efektivita využívání vozového parku. Autonomní vozidla nevyžadují přítomnost lidské posádky ve voze a jejich provoz je řízen dálkově. Ke zvýšení flexibility železniční sítě dojde, jelikož nebude vyžadován přesun provozního personálu mezi vozidly, a bude s nimi snazší a rychlejší manipulace.

Komfort

Komfort je rozdělen na komfort cestujících a strojvedoucích. Komfort cestujících zvyšuje bezpečnost, pohodlí při jízdě, vysoká četnost spojů, přesné dodržování jízdního řádu, tyto

body sebou přinese zavedení autonomních vozidel, jak je zmíněno výše. Komfort strojvedoucích je zvýšen díky systémům automatizace jízdy snižující jejich pracovní zátěž.

5.4.2 Možná negativa

Počáteční investice

Na vývoj, testování a zavedení autonomních vozidel do provozu je potřeba vysoká peněžní investice, která může být vnímána negativně. Pro představu vývoj a implementace systému Autohaul, který využívají nákladní autonomní vlaky v Austrálii od společnosti Rio Tinto vyšel zhruba na 940 milionů australských dolarů (15 miliard korun). [14]

6. Návrh interoperability a využitelnosti dat autonomní železnice s ostatními dopravními systémy, systémy infrastruktury a municipalit

Autonomie v dopravě se netýká pouze železničního sektoru, samořiditelné automobily jsou ve vývoji již řadu let a některé se již pohybují na pozemních komunikacích, avšak zatím maximálně ve třetí úrovni automatizace. V lodní dopravě jsou vyvíjeny autonomní lodě na elektrický pohon pro převoz kontejnerů, v letectví je již dlouho dobu využíván autopilot a vyvíjeny jsou autonomní bezpilotní drony. Všechny tyto autonomní vozidla využívají různé systémy pro samostatné fungování, tyto systémy by měly podporovat i určitou interoperabilitu s ostatními systémy dalších typů dopravy. Vzájemná kooperace těchto systémů dále vylepší jejich již dobré vlastnosti.

6.1 Kooperace mezi autonomními systémy a využitelnost dat

Koordinační algoritmy

Jednou z možností optimalizace jednoho či více druhů dopravy je využití koordinačních algoritmů. Pro tyto algoritmy je nutné zajistit komunikaci mezi autonomními vozidly nebo alespoň komunikaci vozidel s prvkem na infrastruktuře. Tyto algoritmy poté vyhodnotí získaná data a provedou určité úpravy. Například v železničním sektoru se může jednat o drobnou úpravu rychlosti vozidel při zpoždění jiného vozidla tak, aby se zpoždění minimalizovalo či úplně vytratilo a nedošlo ke kaskádovému rozšíření zpoždění.

Nové modely dopravy

Vylepšení interoperability mezi systémy je také možné pomocí nových modelů dopravy. Jedná se například o sémantické datové modely, které umožní integraci dat generovaných různými systémy. Sémantický datový model je databázový popis vysoké úrovně, který je navržen tak, aby zachytil více smyslů aplikačního prostředí než dosavadní databázové modely. Sémantický datový model popisuje existující entity, jejich klasifikaci, seskupení a propojení. [11]

Využití informací získaných z detektorů a dalších systémů

Instalace nových systémů a detektorů pro správné fungování autonomního provozu či zvýšení bezpečnosti na železnici umožní i další využití dat získaných z těchto zařízení. Jedná se například o inteligentní informační systémy a aplikace, které budou získávat data a poloze přímo z vozidel a mohou tak zobrazovat, zda je vozidlo v pohybu či stojí a čas příjezdu do

stanice na informačních tabulích či v mobilních aplikacích. Také mohou upozornit na poruchu vozidla. Dále mohou být ukládány data o odchylce jízdy vozidla (zpoždění) od jízdního řádu, která po vyhodnocení poukážou na problémové úseky trati. Data se nemusí týkat pouze vozidel, např. staniční detektory mohou být dalším prostředkem pro stanovení počtu pasažéru na železnicích.

6.2 Interoperabilita dopravních systémů s autonomní železnici

Jak již bylo zmíněno výše, pro využití maximálního potenciálu autonomních vozidel by bylo vhodné zajistit jejich kooperaci. V této kapitole je popsáno, jakým způsobem by tato kooperace mohla být realizována.

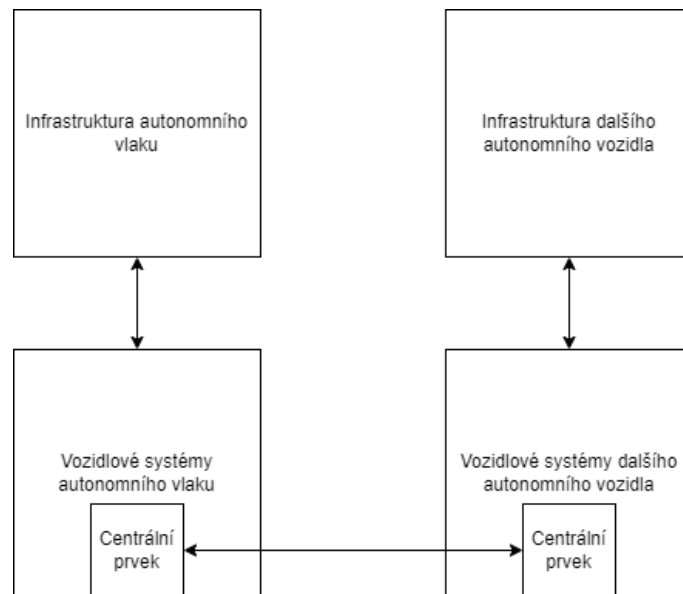
Kooperace s dalšími dopravními systémy

Kooperace s dalšími dopravními systémy by měla být řešena zajištěním komunikace mezi vozidly, infrastrukturami, případně přes společný (centrální) systém. Mezi oběma dopravními systémy bude tedy probíhat komunikace, dle které se mohou vozidla dle sebe koordinovat. Např. se může jednat o přestup vlak-tramvaj, u kterého by došlo ke zpoždění vlaku, vlak tedy vyše informaci (přímo nebo přes infrastrukturu vlaku) o jeho zpoždění, tato informace může být vyslána přímo tramvaji, její infrastruktuře nebo přes centrální prvek. Způsob komunikace bude záležet na lokalitě daných dopravních prostředků, v městských oblastech bude možné využít komunikaci přímo mezi vozidly, naopak v oblastech s většími vzdálenostmi mezi vozidly bude výhodnější jejich komunikace vést přes infrastrukturní prvky. Vlak tedy vyše zprávu o svém zpoždění, tato zpráva je přijata tramvají a ta na ní adekvátně zareaguje dle aktuální dopravní situace. Tedy při menším zpoždění by tramvaj vyčkala na příjezd daného vlaku, ale v případě delšího zpoždění, které překračovalo určitou mez¹⁵ nebo by způsobilo zpoždění dalších tramvajů, by tramvaj jela dle svého jízdního řádu. Tramvaj zde nemusí být nutně autonomní, systém může být nastaven i tak, že předá informace řidiči.

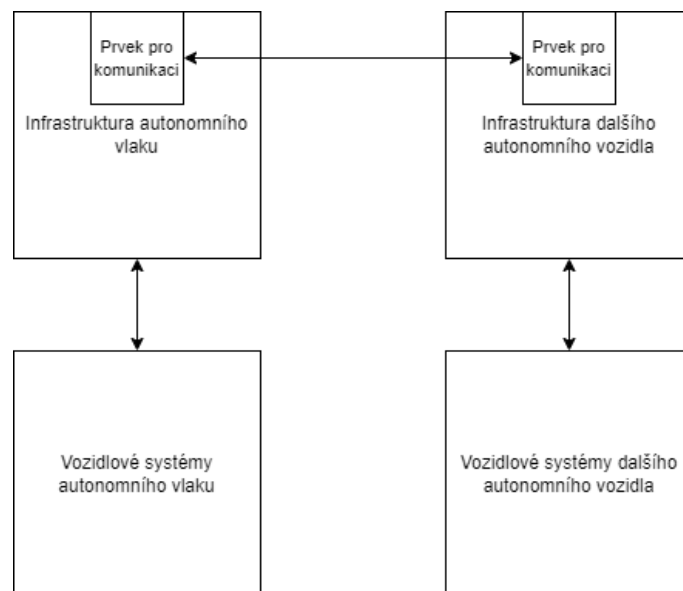
Následující schémata jednoduše znázorňují, jak by mohla probíhat komunikace mezi autonomními vozidly, jak bylo zmíněno výše, schéma dle obrázku č. 9 by mohlo být využito v městských oblastech s menšími vzdálenostmi mezi vozidly, centrálním prvkem systému je u autonomního drážního vozidla rozhodovací modul. Tato komunikace nemusí probíhat pouze skrze centrální prvek, ale může být vytvořen samostatný systém pro komunikaci s ostatními

¹⁵ V případě zavedení interoperability bude tedy nutné řešit různé otázky, např. délka zmíněné meze.

vozidly, který bude následně komunikovat s centrálním prvkem (nebo komunikačním systémem) druhého vozidla. Schéma obrázku č. 10 by bylo vhodnější využít v oblastech mimo město, jelikož autonomní vozidla budou se svou infrastrukturou neustále propojena a zajistit neustálé propojení mezi více vozidly na větší vzdálenosti by bylo obtížné. Na infrastruktuře bude tedy instalován prvek zajišťující komunikaci.



Obrázek 9 - komunikace mezi vozidly – V2V (zdroj: autor práce)



Obrázek 10 - Komunikace mezi infrastrukturami (zdroj: autor práce)

Díky této kooperaci je např. možné efektivně využít nástupiště s tzv. přestupem hrana-hrana, tedy přestup na stejném nástupišti z jednoho vlaku do druhého, popřípadě i s dalším jiným dopravním prostředkem (např. tramvají či autobusem). Tyto přestupy jsou velice komfortní pro cestující a je výhodné takto řešit důležité přestupní vazby, jelikož zkracují cestovní dobu a snižují náklady na výstavbu. Při výstavbě nových či renovaci starších stanic by měla být posouzena i možnost zřízení těchto nástupišť, ale musí se brát v potaz, že výstavba tohoto nástupiště a zásah do okolní infrastruktury by mohly náklady na výstavbu několikanásobně zvýšit, což není žádoucí.



Obrázek 11 - Přestup hrana-hrana (zdroj: <http://www.plzensketramvaje.cz/other/gera.htm>)

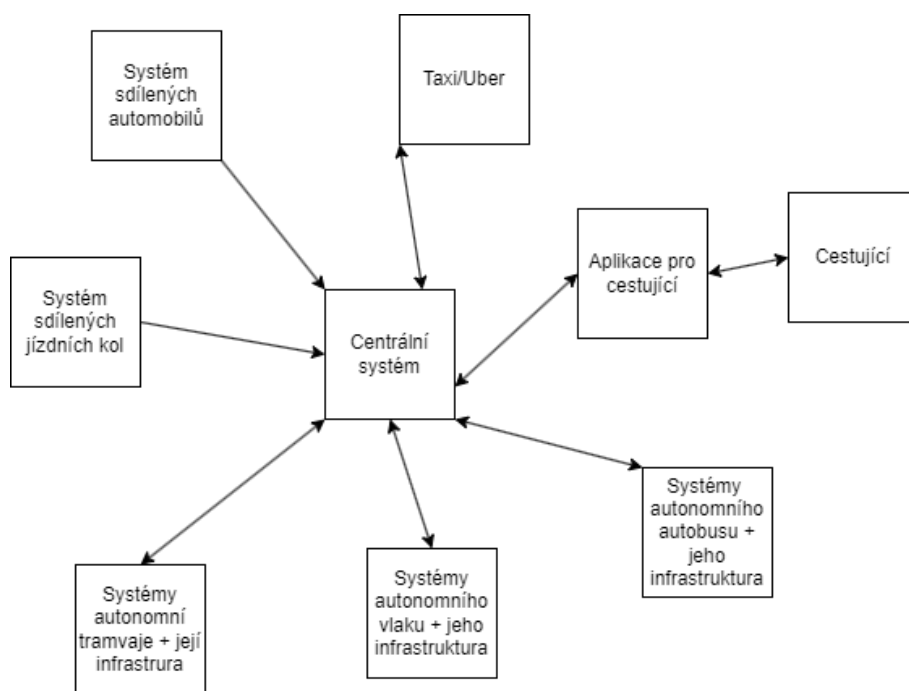
Postupně je takto možné vylepšovat dopravní sektor a propojovat různé typy dopravních systémů, následující schémata ukazují, jak by tato propojení mohla být realizována (obrázek č. 12 a 13). Jednotlivé části systému budou propojeny skrze centrální prvek kvůli velkému množství vozidel a dalších objektů. Tato provázanost umožní efektivní shromáždění, zpracování a následné využití dat. Cestující budou informováni skrze společnou aplikaci, která jim zároveň umožní využívat služeb dopravců. Aplikace v sobě bude obsahovat chytrý platební systém, který bude možné využít u všech propojených systémů. Díky provázanosti dojde také k lepšímu rozdělení cestujících, jelikož systém bude schopen doporučit nejvhodnější způsob dopravy dle požadavků cestujícího a aktuální dopravní situace. Možné scénáře a funkce jsou například: v případě nedostatku sdílených automobilů bude systém schopen zaslat informaci řidičům taxi či dalších přepravních služeb, že se zde mohou nacházet potenciální zákazníci.

Dále pokud dojde ke zpoždění některého z prostředků hromadné dopravy a bude jisté, že cestující nestihne navazující spoj, navrhne systém skrze aplikaci možnosti, jak se dopravit do cíle. Pokud při zpoždění bude mít cestující např. rezervováno sdílené jízdní kolo na určitý čas, bude tento čas systémem automaticky prodloužen dle času zpoždění.

Hlavní překážkou, která může zamezit vytvoření tohoto systému je neochota dopravců spolupracovat na této úrovni a vytvořit jednotný systém. Další překážkou je nutnost investice do úpravy systémů pro tuto kooperaci.

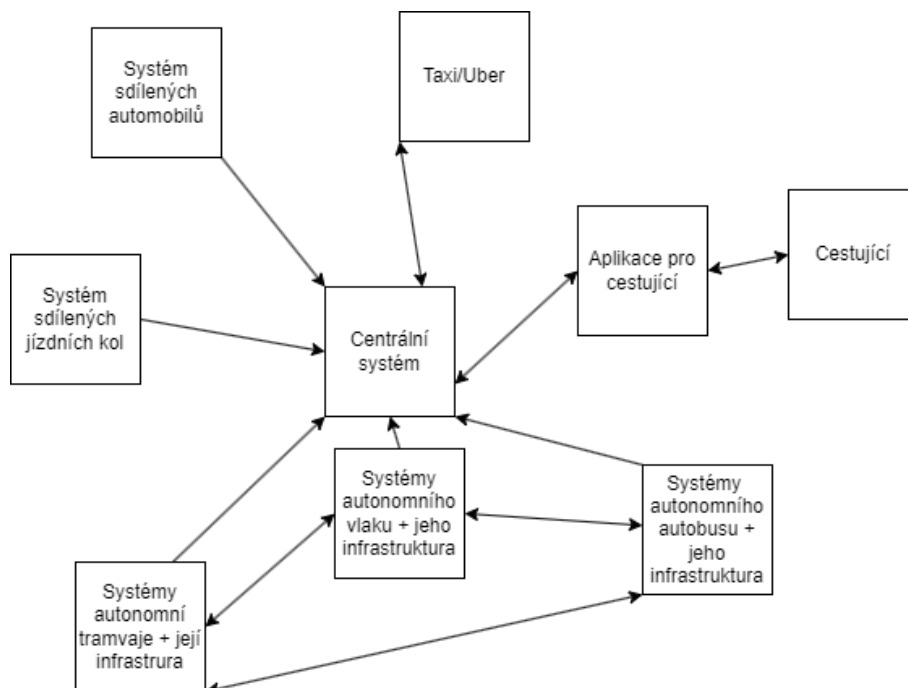
Tento systém by bylo možné zřídit i v běžném provozu, nicméně autonomní provoz bude obsahovat nové technologie (zejména komunikační či lokalizační), které usnadní tvorbu výše popsaného systému.

Schéma obrázku č. 12 zobrazuje variantu, kdy určité systémy pouze poskytují centrálnímu prvku informace (sdílení jízdních kol) a další skrze něj i komunikují (např. Autonomní tramvaj s autonomním vlakem)



Obrázek 12 - Schéma kooperace dopravního sektoru varianta 1 (zdroj: Autor práce)

Schéma obrázku č. 13 zobrazuje variantu, u které většina systémů pouze poskytuje informace a určité systémy komunikují pouze mezi sebou.



Obrázek 13 - Schéma kooperace dopravního sektoru varianta 2 (zdroj: Autor práce)

Centrální systém může tedy sloužit primárně pro shromažďování dat, která budou následně využita pro informování cestujících (případně dalších dopravců, jako jsou např. taxi služby) a usnadnění jejich přesunu do cíle (obrázek č. 13) nebo bude centrální systém využíván pro shromažďování dat a zároveň jako prvek přes který budou určité systémy komunikovat (obrázek č.12). Schéma dle tohoto obrázku by znamenalo větší provázanost systémů, ale zároveň by bylo náročnější na realizaci. Na základě získaných poznatků by bylo vhodnější využít variantu 2, tedy využít propojení systémů primárně jako prostředek pro sdělování informací.

Na zhodnocení výše popsaného systému kooperace¹⁶ byla zhotovena tzv. SWOT analýza. Do následující tabulky byly vypsány silné a slabé stránky, příležitosti a hrozby zavedení kooperace dopravních systémů.

¹⁶ SWOT analýza byla provedena pro druhou variantu systému (obrázek č. 13)

Silné stránky	Slabé stránky
Provázanost a interoperabilita systémů Efektivní využití informací Jednoduchý přístup cestujícím Vyšší efektivita dopravy	Nutná investice do vytvoření či úpravy systému
Příležitosti	Hrozby
Snížení ceny jízdného Vyšší míra využívání sdílené dopravy	Neochota ke spolupráci dopravců Nezájem cestujících

Tabulka 1 - SWOT analýza

Z analýzy je patrné, že systém má řadu silných stránek, jeho zavedení by vylepšilo fungování dnes oblíbených dopravních systémů a pomohlo vyššímu využívání těch méně oblíbených či málo rozvinutých (sdílená doprava). Slabou stránkou systému je nutná finanční investice na vytvoření a úpravu systému, kterou by dopravci nemuseli být ochotni investovat. Hrozí zde rizika, že dopravci nebudou ochotni spolupráce a že cestující nebudou naplno využívat potenciál systému. Závěrem je tedy, že systém by mohl pomoci dopravnímu sektoru, ale záleží, jak se k jeho realizaci postaví dopravci a cestující.

Nutnost ještě dodat, že autonomní železnice může fungovat i jako samostatný celek, není tedy nutné zřizovat další propojení s dalšími systémy, ale na základě získaných poznatků je to důrazně doporučeno. Směr všech dopravců by mělo být vytvoření atraktivní, bezpečné a spolehlivé dopravy. Což jsou vlastnosti, ke kterým může propojení systémů výrazně pomoci.

Smart city

Autonomní vozidla jsou jedním z oblíbených řešení Smart city tematiky. Nástup autonomních vozidel je technologie, která by dle mnohých mohla přetvořit města. Autonomní vozidla by během 20-30 let mohla tvořit až polovinu silniční dopravy. S nárůstem silniční dopravy ve městech vznikají i problémy, jedná se například o nedostatek parkovacích míst, zhoršení stavu ovzduší či snížení cestovních rychlostí vzhledem k jejich vysokému počtu. Různá doporučení pro autonomní vozidla byla již stanovena. Cílí se na snížení soukromého vlastnictví vozidel, dopravních kongescí a znečištění ovzduší. Dále zvýšení sdílené dopravy, bezpečnosti provozu, přístupnosti a zlepšení mobility pro hendikepované. [61]

V železničním sektoru došlo během jeho vývoje k obrovskému posunu v technologiích a řízení jeho provozu. Pro nástup autonomního provozu v železničním sektoru má autor tyto doporučení: cílit na vytvoření atraktivního systému městské hromadné dopravy, která se

následně propojí s konvenční železnicí; využití vzájemně kompatibilních technologií, které umožní spolupráci se zahraničím nebo dalšími typy dopravy; použití nejmodernější systémů pro řízení drážních vozidel s cílem snížit spotřebu energie a využít nové technologií¹⁷

¹⁷ Popsány v kapitole 3.2

6. Závěr

Autonomní železniční doprava je velice perspektivní směr vývoje, jehož klady výrazně převažují nad negativy. Zavedením autonomního provozu sebou přinese řadu pozitiv, např. zvýšení bezpečnosti, spolehlivosti, snížení energetické spotřeby či řešení problému s nedostatkem strojvedoucích. Avšak autonomní provoz má před sebou ještě dlouhý kus cesty, než bude zaveden do běžného provozu. Jeho implementaci stojí v cestě řada překážek, jedná se zejména o překážky technické, infrastrukturní, legislativní, ale také finanční. To vše bude muset být vyřešeno, než budou autonomní vlaky jezdit po českých železnicích. Nemělo by však být cíleno pouze na autonomní železniční provoz, ale také na provázanost tohoto systému s dalšími autonomními, dopravními či městskými systémy.

Cílem této práce je informovat o tématu autonomní železnice, které v současné době není příliš probíráno a upozornit na překážky, kterým autonomní provoz čelí a dle získaných poznatků nastínit směr, kterým by se tyto problémy dali vyřešit. Z hlediska technického se jedná o vybavení vozidel potřebnými technologiemi, ověření že autonomní systém zastane všechny úkony strojvedoucího a nutnost důkladného otestování systému před jeho nasazením do provozu. Další překážkou je nutnost vybavení infrastruktury zařízeními umožňující komunikaci s vozidlem a zabezpečovacími zařízeními, vybudování dispečerských center a zajištění ochrany vlaků před jejich vandalizací. Neméně významnou bariérou jsou vysoké pořizovací náklady, kvůli kterým bude muset přechod na autonomní provoz probíhat postupně. Autonomní provoz bude muset být řešen i legislativně, jelikož současná, téměř neexistující legislativa nedovoluje zavedení autonomních vozidel do provozu. Bude tedy nutné definovat pojmy “autonomní řízení“ a “autonomní vozidlo“, dále budou muset být upraveny i normy a technické předpisy či specifikace. Legislativně bude muset být řešena i otázka využití umělé inteligence jako náhrady za lidský faktor. Vyzdvihnuta byla také otázka myšlení lidí, tedy zda nebudou autonomní vozidla u cestujících vyvolávat pocit nejistoty. Byly rozebrány studie z různých zemí světa, které přinesly zajímavé výsledky, bohužel všechny nalezené měly velice nízkých počet dotazovaných, bylo by tedy vhodné udělat i jednodušší studie s co nejvyšším počtem respondentů. Zhodnoceno bylo i to, jaký dopad bude mít snížení vlakového personálu, což je vnímáno jako negativum, ale v České republice se potýkáme s nedostatkem strojvedoucích, tudíž přechod na autonomní provoz je pozitivem. Zároveň bude tento postup pozvolný a společnosti se podle něj mohou zařídit a postupně utlumovat snahy v nabírání nových zaměstnanců a současní zaměstnanci mohou být přeškoleni na nové pozice, které se s nástupem autonomního provozu otevřou.

Na základě rešerše byly také vypsány důležité parametry železniční dopravy, u kterých byly zhodnoceny dopady zavedení autonomního provozu. Následně byly tyto parametry rozděleny

na pozitivní a negativní. Závěrem vyšlo, že pozitiva zavedení autonomního provozu výrazně převažují negativa.

V závěru práce byly vypsány možnosti kooperace s ostatními systémy pomocí speciálně sestavených algoritmů, implementace nových modelů dopravy a efektivní využití dat např. propojením autonomních vozidel s informačními tabulemi či dopravními aplikacemi, což povede k přesnému a často aktualizovanému zdroji informací pro cestující.

Dále byly vytvořeny návrhy, jak by výše zmíněná kooperace mohla probíhat. Nejprve byl navržen pouze pro dva dopravní systémy a následně rozšířen pro více dopravních systémů. U těchto návrhů byl rozebrán, jakými způsoby by tato koordinace mohla probíhat. Byla vytvořena jednoduchá schémata a byly uvedeny příklady funkcí. Vybraný návrh byl následně zhodnocen pomocí SWOT analýzy. Zde je nutné zmínit, že autonomní železnice může fungovat i pouze jako samostatný celek, není tedy potřebné pro její fungování zavádět tuto provázanost, ale je to důrazně doporučeno pro maximální možnou efektivitu těchto systémů.

Autonomní provoz byl popsán také z pohledu Smart City tematiky, kde byly autorem na základě znalostí získaných při psaní této práce vypsány doporučení pro budoucí rozvoj.

Nastíněné překážky či návrhy byly v práci rozebrány ve větším množství pouze povrchově a nedošlo tedy k hlubšímu zpracování těchto témat. Autor věří, že poznatky získané při tvorbě této práce a navržená řešení využije i ve své další práci.

7. Seznam zdrojů

- [1] *J3016_202104: Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles - SAE International . SAE International* [online]. Copyright ©2022 SAE International. All rights reserved. [cit. 02.08.2022]. Dostupné z: https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/
- [2] *Autonomní řízení - autolexicon.net*. [online]. Copyright © 2022 [cit. 02.08.2022]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/autonomni-rizeni/>
- [3] *www.autonomne.cz | informace o testování, bezpečnosti a provozu autonomních vozidel*. [online]. Copyright © 2022 [cit. 02.08.2022]. Dostupné z: <https://www.autonomne.cz/clanky/autonomie-na-kolejich>
- [4] *Produkty: CRV & AVV. azd.cz* [online]. [cit. 02.08.2022]. Dostupné z: <https://www.azd.cz/cs/produkty>
- [5] *ERTMS/ETCS | O společnosti | AŽD Praha s.r.o.* [online]. [cit. 02.08.2022] Dostupné z: <https://www.azd.cz/cs/o-spolecnosti/ertmsetcs>
- [6] *Produkty: ATO over ETCS. azd.cz* [online]. [cit. 02.08.2022]. Dostupné z: <https://www.azd.cz/cs/produkty>
- [7] *ATO over ETCS | Automatic Train Control | Siemens Mobility Global. 301 Moved Permanently* [online]. Copyright © Siemens Mobility 2022 [cit. 02.08.2022]. Dostupné z: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/rail/automation/automatic-train-control/ato-over-etcs.html>
- [8] *GNSS systémy a jejich složení | Zeměpisec.cz. Geografické předepklí studijních materiálů | Zeměpisec.cz* [online]. Copyright ©2019 [cit. 02.08.2022]. Dostupné z: <https://zemepisec.cz/zaklady-geodezie-gps/gnss-systemy/>
- [9] *AŽD Praha s.r.o. | Novinky | Společnost AŽD testuje systémy pro autonomní provoz vlaků bez strojvedoucích | AŽD Praha s.r.o.* [online]. 2021 [cit. 02.08.2022] Dostupné z: <https://www.azd.cz/cs/historie-aktualit/spolecnost-azd-testuje-systemy-pro-autonomni-provoz-vlaků-bez-strojvedoucich>
- [10] *Čím se LIDAR liší od radaru a jaká je jeho role v autonomních vozidlech – VTM.cz. VTM.cz – Věda, technika, zajímavosti, budoucnost* [online]. Copyright © 2022 Copyright CZECH NEWS CENTER a.s. a dodavatelé obsahu. [cit. 02.08.2022]. Dostupné z:

<https://vtm.zive.cz/clanky/cim-se-lidar-lisi-od-radaru-a-jaka-je-jeho-role-v-autonomnich-vozidlech/sc-870-a-195431/default.aspx>

[11] P. Singh, M. A. Dulebenets, J. Pasha, E. D. R. S. Gonzalez, Y. -Y. Lau and R. Kampmann, "Deployment of Autonomous Trains in Rail Transportation: Current Trends and Existing Challenges," in IEEE Access, vol. 9, pp. 91427-91461, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3091550.

[12] *Autonomní vlaky společnosti AŽD vyjždí na českou železnici. Reportér.* AŽD Praha, 2022, 14-19.

[13] *List of automated train systems and Related Topics. Hyperleap - Uncover and Suggest Relationships* [online]. Dostupné z: https://hyperleap.com/topic/List_of_automated_train_systems?page=2

[14] *Těžké nákladní vlaky v Austrálii vyjždí na trať bez strojívdců.* *Logistika.ekonom.cz* [online]. 2018 [cit. 02.08.2022]. Dostupné z: <https://logistika.ekonom.cz/c1-66196970-tezke-nakladni-vlak-pojedou-bez-strojvudcu-zatim-v-australii>

[15] *Největším robotem na světě je 2,4km vlak od Rio Tinto | Svět hardware.* *Svět hardware | homepage* [online]. Copyright © 1998 [cit. 02.08.2022]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/nejvetsim-robotem-na-svete-je-2-4km-vlak-od-rio-tinto/47093>

[16] *Trainweb: Navajo Mine Railroad - near Farmington, New Mexico* [online]. [cit. 02.08.2022]. Dostupné z: <http://www.trainweb.org/southwestshorts/navajo.html>

[17] *A new step forward for the autonomous train in France | Alstom.* *About Alstom* [online]. Copyright © Alstom [cit. 02.08.2022]. Dostupné z: <https://www.alstom.com/press-releases-news/2021/5/new-step-forward-autonomous-train-france>

[18] *Driverless trains: On track for a rail revolution | SNCF.* *301 Moved Permanently* [online]. Copyright © [cit. 02.08.2022]. Dostupné z: <https://www.sncf.com/en/innovation-development/innovation-research/driverless-trains-to-run-in-2023>

[19] *A Finnish company wants to make freight trains autonomous | RailFreight.com.* *RailFreight.com* [online]. Copyright © 2016 [cit. 02.08.2022]. Dostupné z: <https://www.railfreight.com/railfreight/2021/08/06/a-finnish-company-wants-to-make-freight-trains-autonomous/?gdpr=accept>

[20] *About S2R - Europe's Rail. Home - Europe's Rail* [online]. Copyright © Europe [cit. 02.08.2022]. Dostupné z: <https://rail-research.europa.eu/about-shift2rail/>

- [21] *About Europe's Rail - Europe's Rail. Home - Europe's Rail* [online]. Copyright © Europe [cit. 02.08.2022]. Dostupné z: <https://rail-research.europa.eu/about-europes-rail/>
- [22] *Švestková dráha | U10 | AŽD Praha s.r.o.* [online]. [cit. 03.08.2022] Dostupné z: <https://www.svestkovadraha.cz/novinky/autonomni-vlaky-spolecnosti-azd-vyjizdi-na-ceskou-zeleznici>
- [23] *Vývoj vlakového expertního systému plnící úlohy autonomního vlaku - CEP - TA ČR Starfos.* [online]. Copyright © [cit. 03.08.2022]. Dostupné z: <https://starfos.tacr.cz/cs/project/CK01000111>
- [24] *Přesné určování polohy pro autonomní provoz vlaku se zabezpečenou komunikací na nových standardech sítí 5G+ - CEP - TA ČR Starfos.* [online]. Copyright © [cit. 02.08.2022]. Dostupné z: <https://starfos.tacr.cz/cs/project/FW01010187#project-main>
- [25] *Základní charakteristika železniční sítě. Správa železnic* [online]. 2021 [cit. 02.08.2022]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznice.cz/o-nas/vse-o-sprave-zeleznice/zeleznice-cr/zeleznicni-sit-v-cr>
- [26] *Ministerstvo dopravy ČR - Železniční infrastruktura. Ministerstvo dopravy ČR - Domovská stránka* [online]. Copyright © 2022 Ministerstvo dopravy ČR [cit. 03.08.2022]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Drazni-doprava/Zeleznicni-infrastruktura/Zeleznicni-infrastruktura>
- [27] *Elektrifikace českých železnic. oEnergetice.cz - denní zpravodajství z energetiky* [online]. [cit. 03.08.2022] Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/elektrifikace-ceskych-zeleznice>
- [28] *MDT TECHNICKÁ NORMA ŽELEZNIC: Železniční zabezpečovací zařízení Staniční a traťové zabezpečovací zařízení.* Praha: Generální ředitelství ČD, 2002.
- [29] ŠUSTR, Martin. *Zabezpečovací zařízení na železnici, historie, současnost a budoucnost.* Pardubice, 2018. Univerzita Pardubice - Dopravní fakulta Jana Pernera
- [30] KOUTECKÝ, Petr. *Staniční + traťová zabezpečovací zařízení.* Praha, 2021. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní.
- [31] *Zabezpečovací technika v dopravě* [online]. Brno: Code Creator, 2015 [cit. 03.08.2022]. ISBN 978-80-88058-17-5. Dostupné z: <https://publi.cz/books/191/17.html>
- [32] KAMENICKÝ, Dušan. *Přejezdová zabezpečovací zařízení.* Praha, 2021. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní.

[33] LESO, Martin. *Vlaková zabezpečovací zařízení*. Praha, 2021. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní.

[34] *Ministerstvo dopravy ČR - Tranzitní železniční koridory*. Ministerstvo dopravy ČR - Domovská stránka [online]. Copyright © 2022 Ministerstvo dopravy ČR [cit. 03.08.2022]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Drazni-doprava/Zeleznicni-infrastruktura/Tranzitni-zeleznicni-koridory>

[35] *Evropské nákladní koridory (RFC)*. Správa železnic [online]. 2020 [cit. 03.08.2022]. Dostupné z: <https://provoz.spravazeleznic.cz/Portal/ViewArticle.aspx?oid=1818344>

[36] *Správa železnic: Síť koridorů RFC* [online]. 2018 [cit. 03.08.2022]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/stavby-zakazky/projekty/rfc-9/sit-koridoru>

[37] *Modernizace železniční sítě v České republice*. Časopis SILNICE ŽELEZNICE - Rozvoj dopravní infrastruktury v České republice, na Slovensku i ve světě, moderní trendy, stavební postupy, používané materiály a technologie. [online]. Copyright © Copyright 2002 [cit. 03.08.2022]. Dostupné z: <http://old.silnice-zeleznice.cz/clanek/modernizace-zeleznicni-site-v-ceske-republice/>

[38] *Vysokorychlostní železnice v ČR | Vysokorychlostní železnice*. Vysokorychlostní tratě - VRT, rychlovlaky | Vysokorychlostní železnice [online]. [cit. 03.08.2022] Dostupné z: <https://www.vysokorychlostni-zeleznice.cz/vysokorychlostni-zeleznice-v-cr/>

[39] *AŽD osazuje technologie na Kopidlnku. Část trati kvůli testům samoříditelných vlaků oplotí* - Zdopravy.cz. Zdopravy.cz [online]. Copyright © 2017 [cit. 03.08.2022]. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/azd-zacala-instalovat-technologie-na-kopidlnku-cast-trati-kvuli-testum-samoriditelnych-vlaku-oploti-56695/>

[40] *AŽD Praha s.r.o. | Novinky | Švestková dráha oslavuje 120. narozeniny* | AŽD Praha s.r.o.. [online]. 2018 [cit. 03.08.2022] Dostupné z: <https://www.azd.cz/cs/historie-aktualit/svestkova-draha-oslavuje-120-narozneniny>

[41] *Zkušební okruh u Velimi chce testovat autonomní vlaky, tramvaje i metro* - Zdopravy.cz. Zdopravy.cz [online]. Copyright © 2017 [cit. 03.08.2022]. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/zkusebni-okruh-ve-velimi-se-chce-pripravit-na-testovani-autonomnich-vlaku-a-metra-92410/>

[42] *Technologie GSM-R: mobilní sítě ve službách železnice* – MobilMania.cz. MobilMania.cz – O mobilech víme vše [online]. Copyright © 2022 Copyright CZECH NEWS CENTER a.s. a dodavatelé obsahu. [cit. 03.08.2022]. Dostupné z:

<https://mobilmania.zive.cz/clanky/technologie-gsm-r-mobilni-site-ve-sluzbach-zeleznice/sc-3-a-1112292/default.aspx>

[43] *GSM-R: the railway's mobile communication system - Network Rail. Network Rail – we run, look after and improve Britain's railway* [online]. Copyright © 2022 Network Rail [cit. 03.08.2022]. Dostupné z: <https://www.networkrail.co.uk/running-the-railway/gsm-r-communicating-on-the-railway/>

[44] *FRMCS | UIC - International union of railways. Home | UIC - International union of railways* [online]. Copyright © UIC [cit. 03.08.2022]. Dostupné z: <https://uic.org/rail-system/frmcs>

[45] *Welcome to the 5G railway | Thales Group. Redirecting to https://www.thalesgroup.com/en* [online]. Copyright © 2022 Thales [cit. 03.08.2022]. Dostupné z: <https://www.thalesgroup.com/en>

[46] *Co znamená pojem 5G mobilní síť? | SECTRON s.r.o.* [online]. [cit. 03.08.2022]. Dostupné z: <https://eshop.sectron.cz/cs/co-znamená-pojem-5g-mobilni-sit/a-6407/>

[47] *AŽD Praha s.r.o. | Novinky | Švestková dráha testuje bezúdržbový provoz | AŽD Praha s.r.o.* [online]. [cit. 03.08.2022] Dostupné z: <https://www.azd.cz/cs/historie-aktualit/svestkova-draha-testuje-bezudrzbovy-provoz>

[48] *Proměnlivé dveře pro nástupištní stěny řeší různé vlaky metra na stejné lince. Smart City v praxi* [online]. 2019 [cit. 03.08.2022]. Dostupné z: https://www.smartcityvpraxi.cz/moderni_technologie_101.php

[49] *AŽD otestuje na Švestkové dráze nástupištní dveře pro samořiditelné vlaky - Zdopravy.cz. Zdopravy.cz* [online]. Copyright © 2017 [cit. 03.08.2022]. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/azd-otestuje-na-svestkove-draze-nastupistni-dvere-pro-samoriditelne-vlaky-65089/>

[50] Zákon č. 266/1994 sb.;; Zákon o dráhách. In: . Parlament České republiky, Poslanecká sněmovna, 1994. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1994-266>

[51] *Urban Guided Transport Management System | TRIMIS. Welcome to TRIMIS | TRIMIS* [online]. [cit. 03.08.2022] Dostupné z: <https://trimis.ec.europa.eu/project/urban-guided-transport-management-system>

[52] Zákon č. 361/2000 sb.;; Zákon o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů. In: . Parlament České republiky, Poslanecká sněmovna, 2000.

[53] *Memorando o budoucnosti automobilového průmyslu v České republice „Český automobilový průmysl“: Akční plán o budoucnosti automobilového průmyslu v ČR. 2017.*

[54] Němci již téměř rok mají zákon o autonomním řízení. Co však umožňuje v praxi? – emovio.cz. emovio.cz – portál udržitelné mobility [online]. Dostupné z: <https://emovio.cz/2022/05/08/nemci-jiz-temer-rok-maji-zakon-o-autonomnim-rizeni-co-vsak-umoznuje-v-praxi/>

[55] *Jahresbericht: Herausforderung Standardisierung für neue und bewährte Urban-Rail-Systeme im Bereich Zugsicherung*. 2018.

[56] *Automated vehicle program | National Transport Commission. NTC homepage | National Transport Commission* [online]. [cit. 03.08.2022] Dostupné z: <https://www.ntc.gov.au/transport-reform/automated-vehicle-program>

[57] *Rail Safety National Law & related legislation | ONRSR. Office of the National Rail Safety Regulator | ONRSR* [online]. Copyright © Office of the National Rail Safety Regulator [cit. 03.08.2022]. Dostupné z: <https://www.onrsr.com.au/publications/rail-safety-national-law-related-legislation>

[58] *How autonomous freight trains powered by artificial intelligence could come to a railroad near you. The Seattle times* [online]. 2020 [cit. 03.08.2022]. Dostupné z: <https://www.seattletimes.com/seattle-news/how-autonomous-freight-trains-powered-by-artificial-intelligence-could-come-to-a-railroad-near-you/>

[59] *DotaceEU - Kde fondy EU pomáhají: Koridor z Prahy do Budějovic má nejmodernější vlakové zabezpečení*. [online]. Copyright ©2022 Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, všechna práva vyhrazena [cit. 03.08.2022]. Dostupné z: <https://www.dotaceeu.cz/cs/evropske-fondy-v-cr/novinky/koridor-z-prahy-do-budejovic-ma-nejmodernejsi-vlak>

[60] FRASZCZYK, Anna. *Public Perception of Driverless Trains. Urban Rail Transit* [online]. 2015, 79-85 [cit. 03.08.2022]. Dostupné z: doi:10.1007/s40864-015-0019-4

[61] *Here's How Driverless Vehicles Will Utterly Transform How Our Cities Look. Futurism | Science and Technology News and Videos* [online]. Copyright ©, Camden Media Inc All Rights Reserved. See our [cit. 04.08.2022]. Dostupné z: <https://futurism.com/heres-how-driverless-vehicles-will-utterly-transform-how-our-cities-look>

8. Seznam obrázků

	Název	Strana
Obrázek 1	Stupně automatizace dle SAE	12
Obrázek 2	Sledování prostoru před vlakem pomocí senzorů	17
Obrázek 3	Schéma kooperace systémů autonomního vlaku	20
Obrázek 4	Autonomní metro v Barceloně	22
Obrázek 5	Autonomní vlak společnosti Rio Tinto	24
Obrázek 6	Traťové zabezpečovací zařízení v ČR	31
Obrázek 7	Možné schéma trati s autonomním provozem	42
Obrázek 8	Schéma propojení autonomního vozidla s infrastrukturou	43
Obrázek 9	Komunikace mezi infrastrukturami	57
Obrázek 10	Komunikace mezi vozidly	57
Obrázek 11	Přestup hrana-hrana	58
Obrázek 12	Schéma kooperace v dopravním sektoru 1	59
Obrázek 13	Schéma kooperace v dopravním sektoru 2	60

9. Seznam tabulek

	Název	Strana
Tabulka 1	SWOT analýza	61