

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta dopravní
Ústav Dopravní telematiky

ING. PETR KOUTECKÝ

SYSTÉM DYNAMICKÉHO ŘÍZENÍ A ZABEZPEČENÍ ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY

Doktorský studijní program: *Inženýrská informatika*
Studijní obor: *Inženýrská informatika v dopravě a spojích*

Disertační práce k získání akademického titulu "doktor", ve zkratce "Ph.D."

Chýně, 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou disertační práci vypracoval samostatně a že jsem v příloženém seznamu použitých zdrojů uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Chýni dne 10. 6. 2020

.....

Ing. Petr Koutecký

Anotace

Klíčová slova: ERTMS, ETCS, železniční provoz, zabezpečovací zařízení, flexibilní řízení

Disertační práce se zabývá problematikou řízení a zabezpečení železničního provozu. Nejprve jsou v práci popsány a analyzovány v souvislostech prvky současného systému řízení a zabezpečení železničního provozu (zejména v kontextu ČR) s důrazem na subsystém zabezpečení. Dále se již zabývá vlastním systémovým návrhem nového flexibilního řízení, které je dosud nezavedené, s využitím základních principů systému ERTMS/ETCS L3. Definuje výchozí předpoklady a principy flexibilního řízení, architekturu systému, prvky systému a základní funkční požadavky. Analyzuje pohyb vozidla a operace prováděné s vlaky. Ve všech těchto bodech průběžně detekuje hrozící nebezpečí plynoucí z principů dynamického řízení a minimalizace prvků infrastruktury. Dále popisuje postup ověření základních principů navržených v práci v prostředí laboratoře – na Dopravním sále FD ČVUT. Práce přináší nový přístup k řešení problematiky řízení a zabezpečení železničního provozu vyznačující se datovou komunikací vozidlo-infrastruktura, což vede k možnosti minimalizace prvků na straně infrastruktury s přesahem do oblasti řízení, kde otevírá tento přístup nové možnosti.

Annotation

Keywords: ERTMS, ETCS, railway traffic, interlocking systems, flexible railway traffic control

The dissertation deals with the issue of railway traffic control and interlocking. First, the work describes and analyzes the elements of the current system of railway traffic control & interlocking (especially in the context of the Czech Republic) with emphasis on the interlocking subsystem. It also deals with system design of a new flexible railway traffic control system, which has not yet been implemented, using the basic principles of the ERTMS / ETCS L3 system. It defines the initial assumptions and principles of flexible control, system architecture, system elements and basic functional requirements. Dissertation analyzes vehicle movement and operations performed with trains. At all these points, it continuously detects dangers arising from the principles of flexible traffic control and minimization of infrastructure elements. It also describes the procedure for verifying the basic principles proposed in the work in the laboratory environment – in the Transport Laboratory Faculty of Transportation CTU. The work brings a new approach to solving the problems of control and interlocking railway traffic characterized by data communication vehicle-infrastructure, which leads to the possibility of minimizing elements on the infrastructure side.

Poděkování

Chci poděkovat svému školiteli, doc. Ing. Martinovi Lesovi, Ph.D., za námět k řešení tohoto zajímavého tématu, věcné podmínky, připomínky a čas a energii věnovanou diskuzím o tématu a konzultacím. Také bych rád poděkoval rodině, zejména manželce Karolíně, za trpělivost, pochopení, podporu a vytvoření příjemného prostředí pro vznik této práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval kolegovi Ing. Dušanovi Kamenickému a mnoha dalším kolegům z fakulty i zaměstnání za podmětčné a inspirativní diskuze a připomínky, které vedly k mnoha úvahám, zamyšlením a vylepšením.

Obsah

| | | |
|----------|--|------------|
| 1 | Úvod | 1 |
| 2 | Cíle práce, výchozí předpoklady | 3 |
| 2.1 | Výchozí předpoklady | 3 |
| 3 | Popis a analýza současného stavu, zdůvodnění potřeby řešení | 7 |
| 3.1 | Subsystém řízení..... | 7 |
| 3.2 | Subsystém zabezpečení | 7 |
| 3.3 | Princip prostorové soustavy..... | 8 |
| 3.4 | Současná staniční a traťová zabezpečovací zařízení..... | 9 |
| 3.5 | Přejezdová zabezpečovací zařízení | 10 |
| 3.6 | Vlakový zabezpečovač | 11 |
| 3.7 | Potřeba vlakového zabezpečovače v ČR | 13 |
| 3.8 | System ERTMS..... | 15 |
| 3.9 | System ATO..... | 34 |
| 3.10 | Stručné zhodnocení..... | 35 |
| 4 | Návrh řešení | 36 |
| 4.1 | Flexibilní řízení a zabezpečení | 36 |
| 4.2 | Architektura systému | 41 |
| 4.3 | Analýza vstupních dat do systému | 46 |
| 4.4 | Základní funkce systému | 68 |
| 4.5 | Analýza nebezpečí v procesech systému..... | 79 |
| 4.6 | Návrhy řešení nebezpečí | 90 |
| 5 | Ověření řešení na modelu | 93 |
| 6 | Zhodnocení, závěr | 96 |
| | Použité zdroje, reference | 97 |
| | Použité zkratky | 101 |
| | Použité pojmy | 104 |
| | Seznam obrázků | 106 |
| | Seznam tabulek | 107 |
| | Příloha 1 – výpočet délky pozičního okna | 108 |

1 Úvod

„Toužíme po nových senzácích, které se nám ale brzy stanou lhostejnými. Včerejší zázraky jsou dnešními běžnými jevy.“

— Nikola Tesla [16]

Úvodní citát dle mého názoru nejlépe vystihuje celou dlouhou historii lidských objevů – oblast železniční dopravy a jejího zabezpečení nevyjímaje. Celý systém železniční dopravy prošel během své historie značným vývojem a rozvojem ve všech svých oblastech – jak na straně vozidel, infrastruktury, řízení a zabezpečení provozu, tak ale i v dalších oblastech.

Rostoucí přepravní rychlosti a rostoucí počet vlaků pohybujících se po železniční infrastruktuře se samozřejmě také promítl do požadavků na řízení a zabezpečení jízdy vlaků. Dosavadní technologie řízení a zabezpečení železniční dopravy v ČR (ale i dalších státech) jsou zaměřeny na řízení a zabezpečení vlakových (případně i posunových cest) prostřednictvím infrastrukturních zabezpečovacích zařízení, zabezpečení pohybu vozidel je ale dohlíženo z větší části pouze lidským faktorem, případně s přispěním přenosu informace o návěsti pomocí systému LVZ. V současné době je implementován na základě nařízení EU o interoperabilitě železničního systému jednotný systém řízení a zabezpečení jízdy vlaků ERTMS/ETCS, který nově zavádí možnost zajištění bezpečného pohybu vozidel technickými prostředky nezávisle na strojvedoucím. ERTMS/ETCS je však dosud definován v aplikačních úrovních L1 a L2 jako nadstavba nad klasické zabezpečovací zařízení, což do jisté míry omezuje využití některých možností tohoto systému. Omezení lze spatřovat jak na straně zvyšující se složitosti celého systému řízení a zabezpečení, což se negativně projevuje i v nákladech na pořízení a provoz, a omezuje tak po ekonomické stránce jeho nasazení pouze na páteřní nejvíce vytížené tratě. Z pohledu funkce přináší výrazné zvýšení kontroly bezpečného pohybu vozidel, avšak za cenu snížení kapacity a propustnosti infrastruktury. Proto jsou dnes hledány cenově a technicky výhodnější řešení, která mimo jiné umožní i zvýšení kapacity a propustnosti tratí. Práce se proto zaměřuje na možnosti využití ERTMS/ETCS aplikační úrovně L3, která umožňuje plně přejít k přímému řízení vozidel. Hlavním předmětem této práce je konceptuální návrh tohoto systému.

Práce je rozdělena do šesti kapitol. První kapitola je tato úvodní, druhá kapitola definuje cíle práce a uvádí výchozí předpoklady. Třetí kapitola popisuje současný stav v řešené problematice – tedy v oblasti řízení a zabezpečení železniční dopravy, analyzuje zásadní aspekty současného stavu. Čtvrtá kapitola tvoří jádro práce – zabývá se návrhem systému flexibilního řízení a zabezpečení. Pátá kapitola krátce popisuje laboratorní ověření navrženého systému v prostředí Dopravního sálu FD ČVUT. Šestá kapitola pak shrnuje dosažené výsledky a tvoří tak závěr práce. Zbylé nečíslované kapitoly obsahují seznam použité literatury, seznam zkratk, seznam pojmů, obrázků a tabulek. V příloze je uvedena ukázka výpočtu délky pozičního okna pro jeden vlak.

2 Cíle práce, výchozí předpoklady

Práce má několik cílů, které je potřeba na tomto místě popsat. Většina cílů byla stanovena již ve studii k disertační práci [12], došlo zde pouze k určitému mírnému upřesnění, které je dáno postupem při řešení daného tématu. V názvu práce použitý termín „dynamické řízení“ zavedený při definování tématu práce byl nahrazen vhodnějším a výstižnějším termínem „flexibilní řízení“. Od tohoto místa dále tak v práci používám termín flexibilní řízení. Cíle jsou stanoveny takto:

- i. navrhnout architekturu systému pro flexibilní řízení a zabezpečení provozu,
- ii. analyzovat rizika spojená s minimalizací prostředků v infrastruktuře, přechodem na systém flexibilního řízení a navrhnout opatření pro eliminaci těchto rizik; navrhnout případnou kategorizaci infrastruktury dle typu provozu v souvislosti se specifiky některých rizik,
- iii. definovat požadavky na vstupní data,
- iv. definovat požadavky na datové spojení vozidlo-infrastruktura,
- v. verifikovat navržené řešení na vhodném modelu, např. v prostředí Dopravního sálu FD ČVUT.

Práce by měla přistupovat k zadanému problému co možná nejobecněji, a to hned z několika důvodů. Zaprvé - návrhem řešení pro daný konkrétní typ infrastruktury (např. lokální trať) by již v počátku návrhu snižovalo rozsah možného pozdějšího uplatnění. Druhý důvod je ten, že se jedná o převážně o oblast návrhu systému, kdy některé nedokonalosti návrhu se mohou objevit až v pozdějších fázích, např. při implementaci a prvních testech systému a nelze tedy nyní předjímat detaily finálního technického řešení dané otázky. To dává opět jistou volnost prvotnímu návrhu.

2.1 Výchozí předpoklady

Dále popisovaný návrh řešení systému flexibilního řízení a zabezpečení vychází z těchto základních výchozích předpokladů, ty jsou dále podrobněji popsány v samostatných podkapitolách:

- a. všechna vozidla budou vybavena OBU,

- b. většina vozidel (v ideálním případě všechna) bude vybavena palubní částí systému ATO,
- c. trať bude kontinuálně pokryta datovým spojením (odpovídajících parametrů umožňující kontinuální datovou komunikaci vozidlo - infrastruktura),
- d. návrh bude minimalizovat potřebu prvků v kolejišti infrastrukturní části.

2.1.1 Vybavenost OBU

Vybavenost všech vozidel OBU je nezbytným předpokladem pro funkčnost celého systému flexibilního řízení. Základními rysy systému totiž jsou:

- přenos oprávnění k jízdě (MA) z traťové části přímo na vozidlo datovou cestou (do OBU),
- OBU poskytuje RBC kontinuálně informace o poloze a celistvosti vlaku,
- OBU spolupracuje s vozidlovou částí ATO (viz dále).

Tyto funkce nelze realizovat, pokud všechna vozidla v dané oblasti nebudou vybavena OBU. Samozřejmě je nutné se při návrhu zabývat i situací, kdy OBU sice na vozidle bude, ale dojde k jeho poruše (projev poruchy bude v krajním případě obdobný, jako kdyby od té chvíle vozidlo vybaveno OBU nebylo). To jsou ovšem nouzové a okrajové situace, které budou řešitelné nouzovými postupy pro takové případy. V běžném (bezporuchovém) provozu nelze uvažovat o rutinním/pravidelném provozu vozidel bez OBU, neboť by docházelo k výraznému snížení kvalitativních parametrů systému (propustnost vs. bezpečnost).

2.1.2 Vybavenost ATO

Systém ATO dostupný na vozidle není 100% nezbytnou podmínkou funkce, nicméně kromě oprostění strojvedoucího od rutinních a opakovaných činností přinese jeho využití i zvýšení stability/plnění grafikonu při flexibilním řízení a jako vedlejší efekt přinese i úsporu trakční energie v porovnání s řízením vozidla pouze lidským činitelem (např. prezentace [14] uvádí oproti strojvedoucímu na osobním vlaku úsporu okolo 20 %).

2.1.3 Kontinuální datové spojení

Potřeba kontinuálního datového spojení vyplývá z předchozího bodu, kdy datové spojení je využíváno k zasílání MA na vozidlo, ale i ve směru opačném, kdy vozidlo kontinuálně reportuje svojí polohu a celistvost vlaku do traťové části.

K diskuzi je otázka, zda je potřeba opravdu kontinuálního pokrytí¹ bez předem známých míst bez spojení. Argumenty pro kontinuální spojení jsou tyto:

- možnost kdykoliv se spojit s vlakem a případně i nouzově vzdáleně vlak zastavit v případě hrozícího nebezpečí (např. překážka na trati apod.) odejmutím oprávnění k jízdě,
- v případě realizace úseku bez datového pokrytí nelze v tomto úseku vzhledem k nedostupnosti informace o skutečné poloze vlaku využít:
 - funkce flexibilního bloku,
 - funkce pokročilého ovládání PZZ (viz kap. 4.4.7),
- v případě zastavení vlaku či výrazném prodloužení doby jízdy přes úsek bez datového spojení může dojít k vypršení časové platnosti uděleného oprávnění k jízdě. Opuštění úseku bez pokrytí takovýmto vlakem bude probíhat v degradovaném módu se sníženou bezpečností (se spoluúčastí lidského činitele na bezpečnosti),
- je množné zvažovat další koncepční argumenty potřeby pokrytí pro účely dopravně logistických funkcí (diagnostika vozidel, informační systémy pro cestující, kamerový systém atd.) a internet pro cestující – viz koncepce ITS-R.

2.1.4 Minimalizace prvků v infrastrukturní části

Vzhledem ke změně přístupu k řízení železničního provozu při flexibilním řízení dojde k minimalizaci prvků zabezpečovacího zařízení instalovaných v infrastruktuře v navrženém systému. Jedná se zejména o minimalizaci (či úplnou redukci) proměnných světelných návěstidel a detekčních prostředků (jako

¹ *Problém je do jisté míry technicko – ekonomické úrovně a nespadá do rozsahu této práce.*

jsou kolejové obvody a počítače náprav). S tím jsou spojeny úspory a redukce navazující kabeláže².

Otázka minimalizace infrastrukturních prvků má dopad na finanční náklady při budování a provozu celého systému. Redukci ovšem nelze provést bez analýzy dopadů - v práci je tak potřeba stanovit, za jakých podmínek lze detekční prostředky omezit (v porovnání se současným stavem) a provést analýzu rizika těchto dopadů. Je předpoklad, že ne vždy bude možná úplná (absolutní) redukce detekčních prostředků.

² Článek [18] udává v kap. 5 úsporu již při zavedení výhradního provozu ETCS L2 (kdy zůstávají zachované detekční prostředky a naopak se jejich rozsah oproti současnému stavu zvyšuje) rozsahu kabelizace o 40–70% v závislosti na konfiguraci stanic, množství přejezdů apod.

3 Popis a analýza současného stavu, zdůvodnění potřebnosti řešení

Významným znakem železniční dopravy (na rozdíl například od individuální automobilové dopravy) je vysoká míra determinismu při pohybu vozidel, potažmo vlaků po železniční infrastruktuře. Každý pohyb vlaku je dopředu naplánován, každému vlaku je přidělena trasa, kterou dopravce zamýšlí s daným vlakem projet. Jízda vlaku pak probíhá po železniční infrastruktuře. Vzhledem ke skutečnostem uvedeným dále je potřeba pohyb vlaku po infrastruktuře řídit a zabezpečit, např. proti riziku srážky s jiným vlakem, podhození výhybky pod jedoucím vlakem, střetu s automobilem na přejezdu atd. Můžeme tedy říci, že přímo na organizování a provedení jízdy vlaku se podílejí v kontextu této práce tyto dva relevantní železniční subsystémy:

- subsystém řízení,
- subsystém zabezpečení.

Je potřeba poznamenat, že pro optimální řízení provozu a využití infrastruktury je vhodné, aby oba subsystémy byly úzce funkčně provázány.

3.1 Subsystém řízení

Ačkoliv analýza subsystému řízení a jeho procesů, jako je přidělení trasy vlaku (ať již v dlouhodobém či krátkodobém plánování) nejsou přímo předmětem této práce, je potřeba uvést vzhledem k úzkým návaznostem se subsystémem zabezpečení některé souvislosti a chápat oba subsystémy jako výrazně provázané.

Hlavní úlohou subsystému řízení je definice jednoznačné a nekonfliktní trajektorie každého vlaku, v ideálním případě s maximálním naplněním požadavků dopravce. Tento výstup se pak prostřednictvím obsluhy zabezpečovacího zařízení přenáší k realizaci ve formě zabezpečené cesty na železniční infrastrukturu.

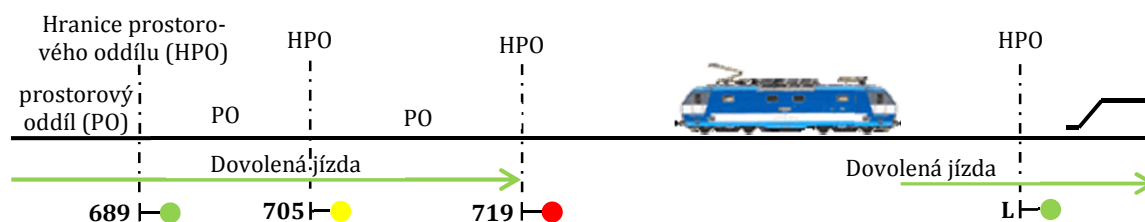
3.2 Subsystém zabezpečení

Současný subsystém zabezpečení na železnici využívá principu prostorové soustavy. Pomocí zadávací úrovně zabezpečovacího řízení se zadávají požadavky na zabezpečení cesty v dopravnách – vjezd vlaku z tratě do stanice, jízda mezi částmi stanice, případně odjezd vlaku ze stanice do dalšího traťového úseku. Pro-

střednictvím návěstidel a návěstí jsou tak strojvedoucímu předávány pokyny dovolující nebo zakazující další jízdu. Dá se tedy říci, že v konečném důsledku je provoz řízen prostřednictvím obsluhy zabezpečovacího zařízení.

3.3 Princip prostorové soustavy

Podle principu prostorové soustavy s pevnými oddíly je provoz řízen, organizován a zabezpečen přibližně od třicátých let 19. století v řadě evropských železnic dodnes bez větších změn. Základním rysem je rozdělení železniční infrastruktury na tzv. pevné prostorové oddíly, které jsou ohraničeny návěstidly – v počátcích mechanickými, dnes již v naprosté většině případů světelnými. Jízdu do dalšího oddílu je pak možné dovolit (za běžných podmínek) návěstním znakem návěstidla pouze pokud je oddíl volný, neboli předchozí vlak jej opustil a návěstidlo na konci oddílu přešlo zpět na návěst STŮJ. Tento princip je využíván jak v mezistaničních oddílech u traťového zabezpečovacího zařízení (TZZ), tak i (při splnění dalších dodatečných podmínek) ve stanicích (u staničního zabezpečovacího zařízení - SZZ), jak ukazuje následující obrázek:



Obrázek 1: Princip prostorové soustavy

Návěstidlo je hlavním (a často bohužel při absenci vlakového zabezpečovače při nižších rychlostech jediným) prostředkem pro přenos povelu či svolení k jízdě směrem ke strojvedoucímu řídicímu hnací vozidlo.

Je potřeba zde zmínit ještě jeden aspekt návěstní soustavy - každé snížení rychlosti či návěst zakazující jízdu je potřeba předvést na minimálně zábrzdnu vzdálenost – při dodržení zábrzdne vzdálenosti mezi návěstidly tedy na předchozím návěstidle – proto je na obrázku 1 na před návěstidlem 719 s návěstí STŮJ na návěstidle 705 návěst VÝSTRAHA – vzdálenost mezi těmito návěstidly stačí k bezpečnému zastavení vlaku při provozním brzdění u návěstidla s výstrahou.

3.4 Současná staniční a traťová zabezpečovací zařízení

Staniční (SZZ) a traťové (TZZ) zabezpečovací zařízení slouží k přípravě cesty pro bezpečnou jízdu vlaku v souladu s principy prostorové soustavy uvedenými v minulé kapitole. V posledních několika letech se upouští od striktního rozdělení na staniční a traťová ZZ, jelikož dochází k integraci logiky TZZ do jádra SZZ a rozdíl se tak stírají.

Skládá se z vnějších prvků v kolejišti – návěstidla, přestavníky výhybek, detekční prostředky pro zjištění volnosti úseků a vnitřního vybavení – zadávací (obslužné) úrovně pro interakci s obsluhou (dnes nejčastěji jeden či několik monitorů, myš, klávesnice), a technologické části.

Detailní požadavky na funkce SZZ a TZZ udává pro síť SŽDC norma TNŽ 34 2620 [35]. Jednotlivé body postupu přípravy cesty na SZZ lze shrnout jako:

1. Je potřeba ověřit, že:
 - a. Všechny předepsané úseky (pojízdené v dané cestě + příp. další dle závěrové tabulky) jsou volné.
 - b. Jsou vyloučeny zakázané kolizní cesty (např. křížící, dotýkající se, protisměrné na tutéž kolej).
 - c. Návěstidlo na konci cesty není zhaslé.
 - d. Je zajištěna případná vazba na PZZ (je v bezporuchovém stavu).
 - e. Jsou uděleny předepsané souhlasy (TZZ).
2. V případě splnění podmínek je možné přestavit výhybky pro zamýšlenou cestu dle závěrové tabulky a zabezpečit je ve správné koncové poloze (provede se tzv. závěr – s prvky nelze dále manipulovat).
3. Je možné rozsvítit dovolující znak na návěstidle na počátku cesty.
4. Nyní je cesta až po její konec zabezpečena pro jízdu vlaku/posunového dílu.
5. Jízdou vlaku dochází k postupnému obsazování jednotlivých úseků cesty a jejich následnému uvolňování, což vede k tzv. rozpadu (rušení) závěru cesty za vlakem. Prvky takto uvolněné lze použít pro přípravu další/jiné cesty.

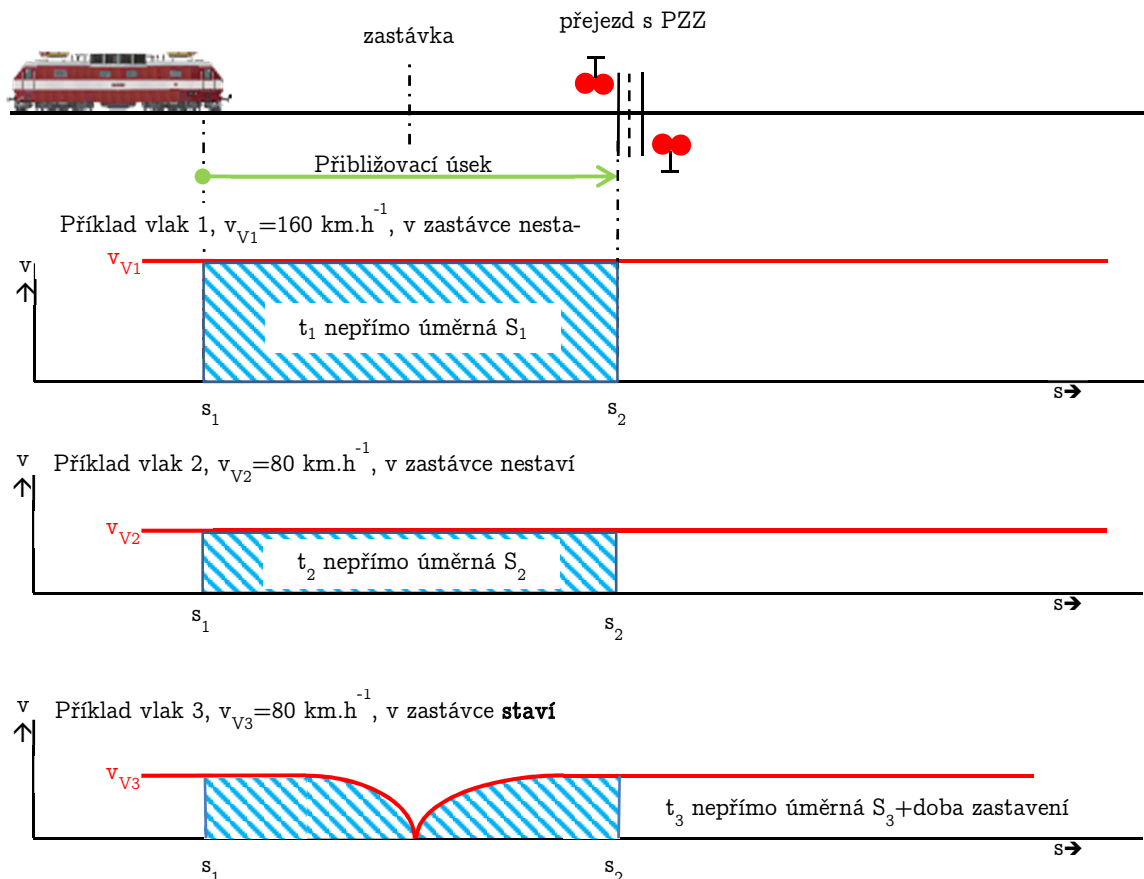
3.5 Přejezdová zabezpečovací zařízení

U ovládání výstrahy na přejezdovém zabezpečovacím zařízení lze vyjít ze základního předpokladu, kdy je potřeba zajistit včasné spuštění výstrahy pro varování silničního vozidla či chodce před blížícím se vlakem. Doba tohoto včasného varování je dána zejména stavebními parametry přejezdu (délka tzv. nebezpečného pásma přejezdu) a traťovou rychlostí. Podle těchto parametrů je za současného stavu projektantem vypočtena potřebná délka přibližovacího úseku, při jehož obsazení dochází ke spuštění výstrahy. Toto relativně technicky jednoduché řešení má některé nevýhody, které se pokusím v návrhu funkčnosti flexibilního řízení odstranit.

Zaprvé, délka přibližovacího úseku bývá navržena podle maximální traťové rychlosti. Tedy např. při traťové rychlosti 160 km.h^{-1} dovolené v celém přibližovacím úseku bude doba od spuštění výstrahy po vjetí čela vlaku 1 jedoucí max. dovolenou rychlostí na přejezd $t_1 = x$ sekund. Pro vlak 2 jedoucí rychlostí 80 km.h^{-1} je ovšem přibližovací úsek stejně dlouhý, což vede k době od spuštění výstrahy k průjezdu vlaku přejezdem v podobě $t_2 = 2 * x$. Polovinu této doby je však přejezd při poloviční rychlosti vlaku 2 uzavřen zcela zbytečně. Doba t_x je nepřímo úměrná ploše S_x modře vyšrafované na následujícím obrázku.

Druhá slabina současného řešení se projeví, pokud je v přibližovacím úseku zastávka, kde zastavují osobní vlaky – viz příklad s vlakem 3 na obrázku. Zde se doba uzavření přejezdu ještě prodlouží vlivem prodloužení jízdní doby k přejezdu z důvodu brždění vlaku až do zastavení, rozjezdu a o dobu pobytu v zastávce.

Oba tyto popsané jevy způsobující prodloužení výstrahy na přejezdu nad minimální nutnou mez způsobují v problematických místech (vícekolejný přejezd s velkou délkou nebezpečného pásma, s hustým železničním provozem a zastávkami v obou přibližovacích úsecích) ve špičkách časté uzavření přejezdu a blokování silniční dopravy.



Obrázek 2: Přibližovací úsek a doba uzavření přejezdu

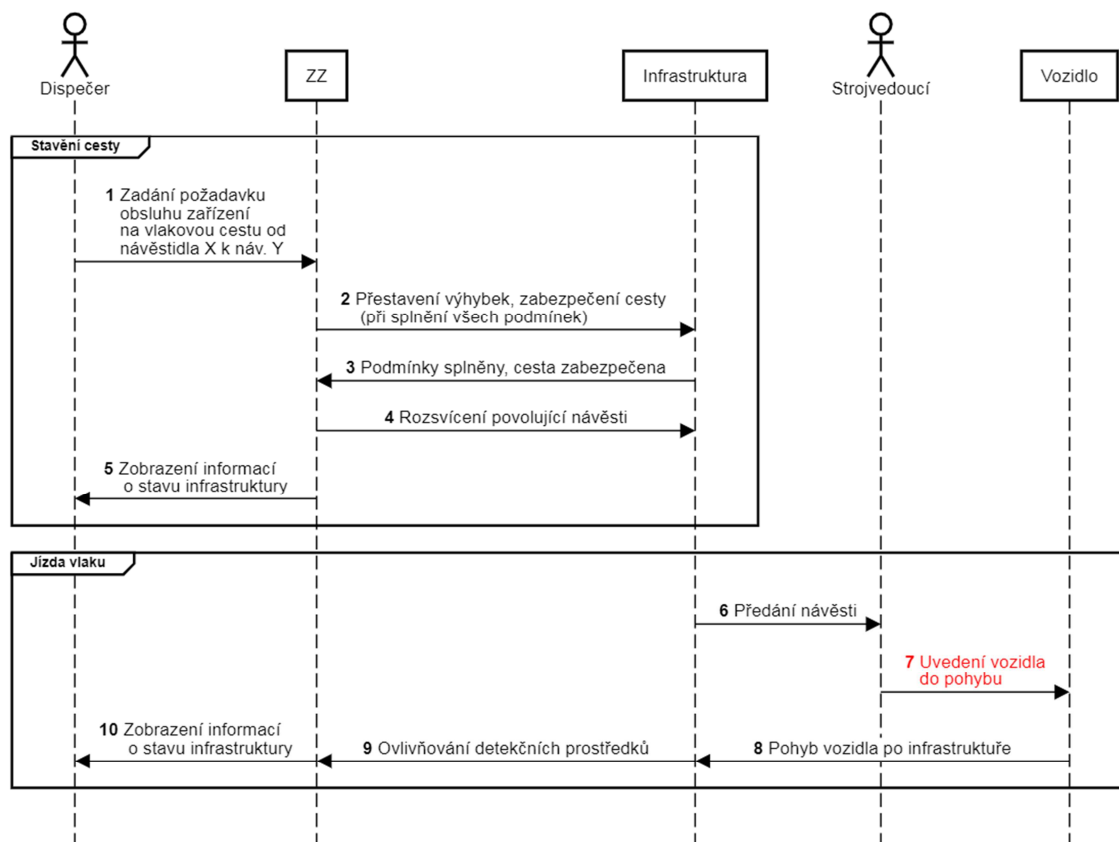
3.6 Vlakový zabezpečovač

Další významný prvek je vlakový zabezpečovač (ATP či VZ). Jeho hlavním úkolem je bezpečně dohlížet nepřekročení nejvyšší povolené rychlosti. Pokud by k němu mělo dojít, reaguje systém akčním zásahem do brzdného systému vlaku – provozním či případně až nouzovým brzděním sníží rychlost vlaku pod povolenou mez, či dokonce vlak zastaví. Bohužel v současném stavu ještě poměrně velká část vozidel v Evropě (zejména střední a východní) není vybavena plnohodnotným systémem ATP (viz komentář k LVZ v kap. 3.7.1) a tak velká část bezpečnosti jízdy vozidla závisí na bezchybném převzetí a reakci na návěsti a pokyny předávané osobě řídící drážní vozidlo, tedy strojvedoucímu.

Tuto situaci zachycuje následující obrázek, kde je červeně zvýrazněn krok č. 7. Ten je (bez ATP) technicky zcela nezávislý na předchozích krocích – za pohyb vozidla je plně zodpovědný pouze strojvedoucí – tedy potenciálně chybující lidský činitel. Ten může bez ohledu na návěst návěstidla uvést vozidlo do pohybu, překročit nejvyšší dovolenou rychlost nebo nezastavit před návěstidlem

s návěstí zakazující další jízdu a tím ohrozit bezpečnost svoji, ale i jiného vlaku. Eliminace těchto rizik je pak hlavní funkcí systému ATP.

Proces stavění cesty a rozjezd vlaku



Obrázek 3: Proces přípravy jízdní cesty a rozjezdu vlaku

U většiny ATP můžeme identifikovat dvě hlavní části:

- vozidlová (mobilní) část,
- traťová (stacionární) část.

Pro plnění své hlavní funkce potřebuje ATP získávat informace ze stacionární části. Z hlediska způsobu přenosu těchto informací dělíme ATP v zásadě na 2 typy – s bodovým přenosem (nebo též bodové) a s liniovým přenosem (liniové). U bodového ATP (jak již název napovídá) probíhá přenos v předem daných místech (bodech) infrastruktury – např. pomocí permanentních magnetů, elektromagnetů apod. Naproti tomu u liniového systému je přenos kontinuální – nejčastěji pomocí bezdrátového spojení.

Nevýhodou bodového systému oproti liniovému je z principu funkce pouze omezený počet pevně daných bodů, kde lze předávat informace na vozidlo (případně i opačným směrem z vozidla do infrastruktury), což může představovat

problém s aktualizací informace na vozidle při změně přenášené informace – např. při dojíždění k návěsti „Stůj“, která se následně změní na návěst „Volno“.

Vzhledem k útlumu národních systémů ATP se zaváděním ERTMS a jejich počtu zde nebude dále podrobně rozebrána jejich funkce.

3.7 Potřeba vlakového zabezpečovače v ČR

V posledních přibližně třech desetiletích probíhá postupná modernizace staničních a traťových zabezpečovacích zařízení na české železniční síti. Zejména na hlavních tratích docházelo často k náhradě morálně i technicky zastaralých elektromechanických staničních zabezpečovacích zařízení³ nižších kategorií moderními zařízeními třetí kategorie, kde bezpečnostní podmínky pro vlakové i posunové cesty kontroluje a dohlíží při bezporuchovém provozu plně zařízení.

Obdobný posun a modernizace nastala i u traťových zabezpečovacích zařízení. Bohužel, poslední součást – instalace vlakového zabezpečovacího zařízení – obdobným vývojem v posledních třech dekáдах téměř neprošla⁴, ačkoliv pro plné využití investic a potenciálu modernizovaného SZZ a TZZ je nezbytnou součástí.

Pro zvýšení kvality a především bezpečnosti železničního provozu je nezbytné dokončit modernizaci zabezpečení i na rozhraní infrastruktura–vozidlo.

3.7.1 Výchozí stav v ČR

Dle Statistické ročenky SŽDC za rok 2018 [21] je v ČR 9 406 km tratí ve správě SŽDC. Z této délky je dle Ročenky 2 123 km vybaveno traťovou částí vlakového zabezpečovače typu LVZ, což představuje přibližně 22 %, tedy cca pětinu z celkové délky.

Je potřeba podotknout, že se jedná o většinu hlavních tratí vybavených automatickým blokem, na kterých se odehrává většina přepravních výkonů v osobní i nákladní dopravě. Podle Vyhlášky č. 173/1995 Sb. [38] je potřeba zajistit také přenos návěsti na stanoviště strojvedoucího při dovolené rychlosti

³ S vysokou spoluúčastí lidského činitele na bezpečnosti provozu – např. kontrola volnosti vlakové cesty pohledem v kolejišti.

⁴ Snad jen s výjimkou Pilotního projektu ETCS a prvního komerčního projektu ETCS Kolín–Břeclav.

> 100 km.h⁻¹, což také implikuje skutečnost, že se jedná převážně o tratě s vyšší traťovou rychlostí, než právě uvedených 100 km.h⁻¹.

Důležitým faktem je, že LVZ pouze informuje strojvedoucího o návěstním znaku dalšího návěstidla (a to ještě omezeným způsobem v podobě 4 možných kódů). V případě příjmu restriktivního kódu vyžaduje potvrzení tlačítkem, ale již nedohlíží snižování rychlosti (brždění), ani neprojetí zakazující/omezující návěsti vyšší rychlostí, než je dovoleno. Systém také nedohlíží snižování rychlosti před omezením/snížením rychlosti na trati (před omezením daným stavebními parametry nebo pomalou jízdou, kde může být např. potřeba snížit rychlost ze 160 km.h⁻¹ na PJ 30 km.h⁻¹, tedy o 130 km.h⁻¹) Je to dáno zejména dobou vzniku systému (dle [17] se počátky vzniku datují rokem 1953) – tedy morální zastaralostí a technickými možnostmi té doby.

Celoevropským krokem ke zlepšení tohoto stavu je systém ERTMS/ETCS (podrobněji viz kap. 3.8). Klíčovým dokumentem ohledně oficiálních plánů v ČR na zavádění ERTMS/ETCS je tzv. Národní implementační plán z roku 2017 [15] (dále jen NIP). Ten mj. počítá s **výhradním** provozem pod ETCS L2 od 1. 1. 2025 na těchto třech úsecích:

1. Děčín – Praha – Česká Třebová – Brno – Břeclav (cca 440 km),
2. Břeclav – Bohumín (cca 195 km),
3. Česká Třebová – Přerov (cca 105 km).

Výhradní provoz na těchto tratích mj. znamená nutnost vybavit OBU všechna vozidla pohybující se po této páteřní síti.

3.7.2 Stav v Německu

Pro porovnání diametrálně rozdílné výchozí pozice zde ve stručnosti uvedu stav v oblasti vlakových zabezpečovačů u našeho souseda – v Německu.

Přibližně necelé 3 000 km tratí (zj. ty s rychlostí > 160 km.h⁻¹, kdy je liniový systém nutnou podmínkou pro umožnění této rychlosti) v Německu je vybaveno liniovým systémem LZB (Linienförmige Zugbeeinflussung).

Naprostá většina zbylých tratí je vybavena systémem PZB, který je sice bodový, ale spolu s dodatečnými opatřeními na straně infrastruktury (prokluzové vzdálenosti za koncem oprávnění k jízdě) vede k výraznému snížení rizika ohrožení jiné vlakové cesty při neoprávněném projetí návěstidla. Navíc umožňuje po

měrně elegantně pomocí dvou bodů kontrolovat i dodržení snížení rychlosti, zejména na místech, kde dochází k velkému poklesu.

Ohledně vybavení vozidlovou částí systému PZB je situace také v porovnání s ČR příznivější – již od roku 1998⁵ (dle [9]) totiž musí být všechna vozidla povinně vybavena mobilní částí.

Ohledně implementace systému ERTMS/ETCS v Německu dle NIP [9] je v roce 2017 v provozu 252 km traťové části, do roku 2023 plán předpokládá vybavení traťovou částí systému dalších 1 817 km tratí.

3.8 Systém ERTMS

3.8.1 *Motivace*

ERTMS je projekt, který se skládá se dvou podprojektů:

- jednotný komunikační systém (GSM-R),
- jednotný systém řízení a zabezpečení železniční dopravy (ETCS).

Hlavním impulsem pro vývoj systému ETCS byl fakt, že v evropských státech se používají více než dvě desítky (navzájem většinou nekompatibilních) vlakových zabezpečovačů. Průjezd hnacího vozidla (potažmo celého vlaku) více evropskými zeměmi tak představoval problém – na vozidlo je zejména z prostorových důvodů nemožné nainstalovat některé kombinace vlakových zabezpečovačů. V omezeném prostoru mezi podvozky vozidla (a před nimi) jsou pro každý typ ATP přesně definované prostory, na které je potřeba pro jednotlivé typy ATP nainstalovat jejich součásti – např. přijímací antény či snímací cívky a oblasti některých ATP se překrývají. Další problém představují různé národní návěštní soustavy a národní předpisy. I zde je snaha o sjednocení – a tak v devadesátých letech minulého století vznikaly první reálné obrysy jednotného evropského vlakového zabezpečovače – ETCS a interoperabilní železniční sítě napříč evropskými státy.

V oblasti rádiových sítí byla situace podobná – několik navzájem nekompatibilních (z větší části ještě analogových) národních systémů. Navíc kromě hla-

⁵ Před tímto datem existovala výjimka pro vozidla jezdící na tratích s traťovou rychlostí do 100 km.h⁻¹

sové komunikace mezi zaměstnanci (strojvedoucí, řízení provozu, vlaková četa, posunovači, údržba apod.) s vývojem systému ETCS vzešel požadavek u vyšších úrovních (L2, L3 – viz dále) na datové spojení vozidla s infrastrukturní částí. Tento požadavek bylo potřeba také reflektovat a naplnit.

Ačkoliv se už podle názvu zdá, že jde o projekt čistě evropský, opak je pravdou. Dle interaktivní mapy [6] lze nalézt tratě mimo evropský kontinent s traťovou částí ETCS a příslušně vybavená vozidla – např. v Maroku, Turecku, Jihoafrické republice, Mexiku, Brazílii, Spojených arabských emirátech, Číně, Iránu, Indii atd.

3.8.2 Specifikace a architektura systému

Vlastnosti a parametry systému ETCS jako celku i jeho dílčích komponent jsou určeny specifikacemi, jejichž obsah vytváří sdružení UNISIG⁶ (Union Industry of Signalling) spolu s ERA (European Railway Agency). Tyto specifikace jsou seskupovány a zveřejňovány na webu ERA, a to většinou ve formě dokumentů označovaných jako SUBSETy – např. [23], [24], [25], [28], [34].

Systém ETCS se skládá se dvou vzájemně komunikujících částí:

- vozidlové (mobilní) části – OBU,
- traťové (stacionární) části.

V Subsetu 026-2 [22] jsou definovány tři základní aplikační úrovně⁷ označované L1, L2 a L3. Zatímco vozidlová část je u všech 3 úrovních obdobná (liší se potřebou datové radiostanice systému GSM-R a detekci celistvosti – viz dále), větší odlišnosti mezi úrovněmi jsou v traťové části systému. Návrh systému flexibilního řízení a zabezpečení v této práci vychází z L3.

3.8.3 Jazyk ETCS

Jazyk ETCS je definován v [25] a [26] a slouží pro komunikaci a výměnu dat mezi vozidlovou a infrastrukturní částí systému. Základní elementární entitou

⁶ Dle [37] jsou zakládajícími členy sdružení společnosti Alstom, Ansaldo, Bombardier, Inven-sys, Siemens, Thales, dalšími členy jsou AŽD Praha (přidružený člen od 1. 1. 2009) a CAF od 1. 1. 2012). Přidruženými členy jsou MERMEC Group (od 1. 1. 2010).

⁷ Záměrně vynechány úrovně L0 a LNTC – nejsou pro práci podstatné.

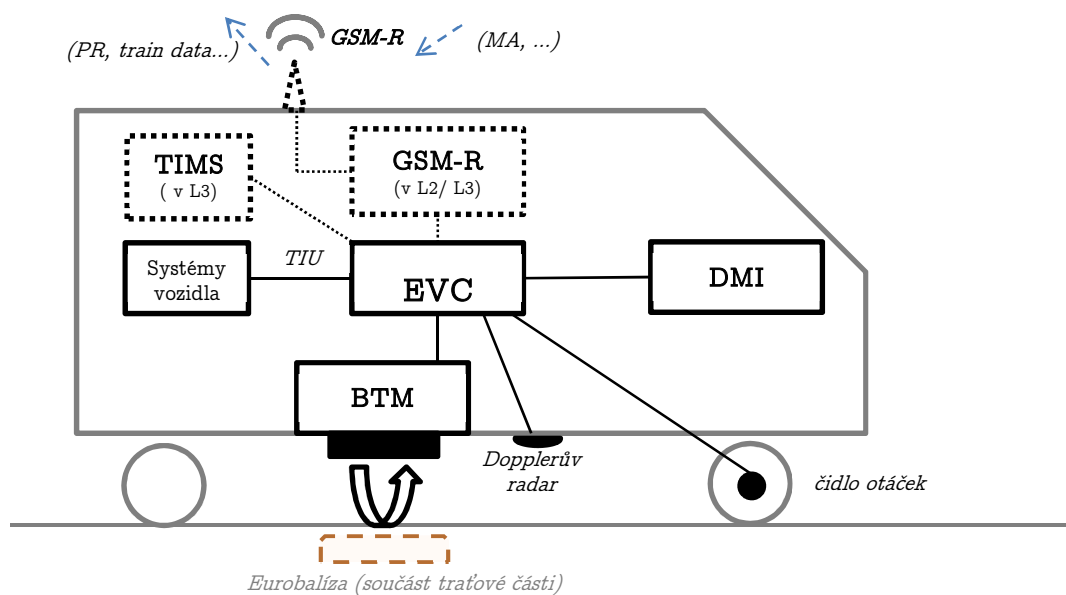
je proměnná – definovaná svým názvem, délkou v bitech, rozsahem hodnot a jednotkami, případným přiřazením speciálních významových hodnot. Přesně definovaná množina proměnných tvoří paket (pkt) – např. pkt popisující konkrétní rychlostní profil. Definovaná množina paketů a proměnných tvoří zprávu (msg) nebo telegram balízy (tlg).

Prefix v názvu proměnné udává významovou kategorii dat proměnné:

| Prefix | Význam |
|--------|---------------------|
| A_ | zrychlení |
| D_ | vzdálenost |
| G_ | gradient |
| L_ | délka |
| M_ | různé |
| N_ | číslo |
| NC_ | zařazení do skupiny |
| NID_ | Jedinečné ID |
| Q_ | kvantifikátor |
| T_ | datum/čas |
| V_ | rychlost |
| X_ | text |

Tabulka 1: Prefixy proměnných ETCS

3.8.4 Vozidlová část (OBU)



Obrázek 4: Architektura vozidlové části ETCS

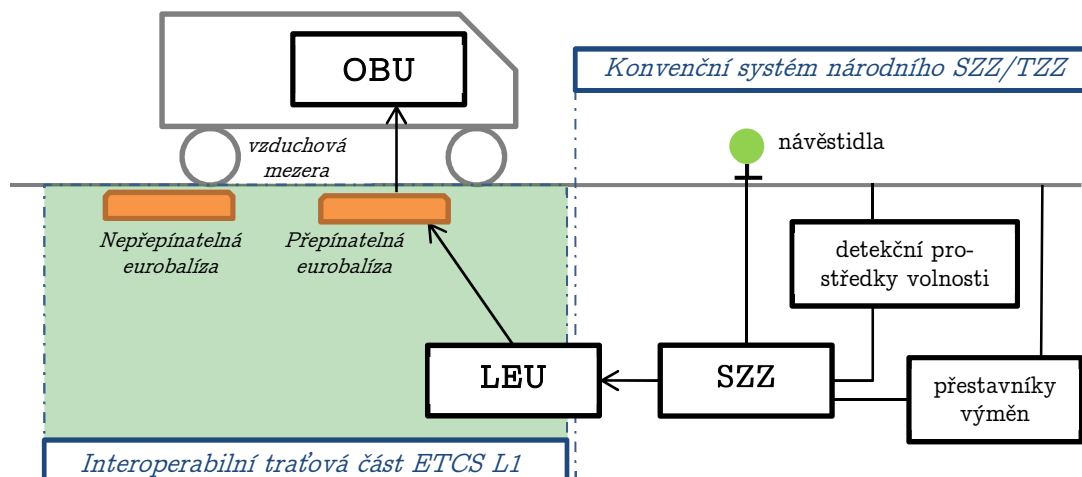
Jak je vidět na obrázku 4, jádrem vozidlové části je tzv. EVC – European Vital Computer. V této komponentě probíhají veškeré funkční algoritmy jádra – např. určení polohy vlaku, příjem a zpracování MA (oprávnění k jízdě), výpočty brzdných křivek a dohled dodržování tzv. dynamického profilu. Součástí EVC je také JRU, což je datový záznamník stavů OBU – obdoba černé skříňky s daty pro případnou diagnostiku či vyšetřování mimořádných událostí. Ostatní komponenty systému tvoří rozhraní s okolím:

- **DMI** – driver machine interface – rozhraní ke strojvedoucímu – zobrazuje informace z EVC a slouží k zadávání dat do EVC,
- **GSM-R** – datové komunikační rozhraní přes síť GSM-R k RBC (pouze u L2 a L3 – viz dále),
- **BTM** – balise transmission unit – jednotka pro bezdrátové čtení telegramu z balíz při jejich míjení (vybudí bezdrátově balízu a dekoduje zachycený telegram),
- **Systém odometrie** (Dopplerův radar + čidlo otáček) – slouží k bezpečnému měření ujeté dráhy, spolu s balízou se využívá se pro lokalizaci vlaku,
- **TIU** – rozhraní k systémům vozidla – např. ovládání ventilu brzdového potrubí pro aktivaci nouzového brzdění a vstupy pro detekci aktivního stanoviště; volitelně lze realizovat např. ovládání provozní brzdy, podrobněji viz Subset 119 [34], table 2-1,
- **TIMS** – zařízení bezpečně detekující celistvost vlaku (pouze u L3).

3.8.5 Traťová část L1

Traťová část má různou podobu v jednotlivých aplikačních úrovních.

Podobu systému traťové části ETCS L1 zachycuje obrázek 5. Jak je patrné z obrázku, jediným prostředkem pro přenos dat z traťové části do OBU je tzv. eurobalíza.



Obrázek 5: Architektura ETCS L1

Eurobalíza (dále též pouze balíza) je přenosový prostředek pro přenos dat z balízy na vozidlo. Balíza je při míjení vozidlem bezkontaktně vybudena budícím signálem z BTM (o frekvenci 27,095 MHz) a po dobu míjení vozidlem vysílá zpět na vozidlo opakovaně daná data – tzv. telegram – o délce 1023 b⁸ (dlouhý telegram) nebo 341 b⁹ (krátký telegram). Nepřepínatelná (nebo též pevná) balíza má telegram dle projektu systému ETCS v sobě nahraný a za běžného provozu se nemění. Oproti tomu přepínatelná balíza je kabelovým rozhraním připojena k tzv. jednotce LEU. Funkce LEU je prostá – na základě stavových informací od konvenčního SZZ/TZZ vybírá právě jeden z n telegramů, které má uložené v paměti a vybraný telegram předává přepínatelné balíze pro vysílání na vozidlo. Výběr telegramu je nejčastěji řízen SZZ v závislosti na postavené vlakové cestě od daného návěstidla.

V telegramech balíz v systému ETCS L1 jsou uloženy především tyto typy informací, popis vybraných dat je uveden v kapitole 3.8.10.:

- oprávnění k jízdě (pkt 12),
- sklonový profil (pkt 21),
- statický rychlostní profil (pkt 27),
- změna módu OBU (pkt 41),
- národní hodnoty (pkt 3),

⁸ Z toho pouze 830 b je uživatelských, zbylé jsou kontrolní a synchronizační.

⁹ Z toho pouze 210 b uživatelských, zbylé jsou kontrolní a synchronizační.

- linkovací informace (pkt 5),
- doplňující informace (jako např. změny trakční soustavy – pkt 39, dovolené nápravové zatížení – pkt 51 atd.)

Na základě předešlého funkčního popisu lze prohlásit, že systém ETCS L1 se vyznačuje tím, že:

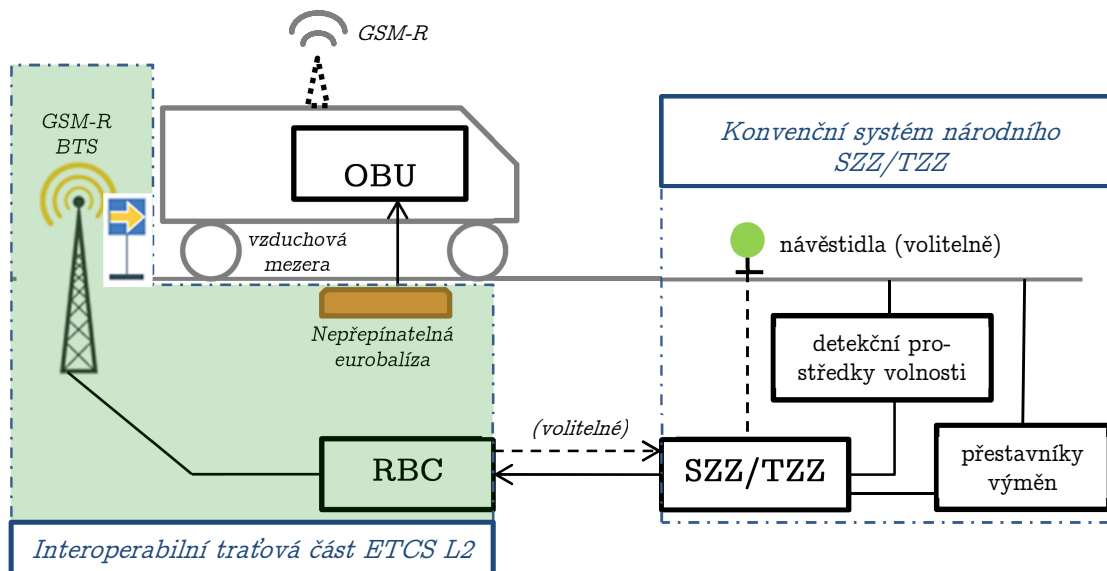
- Jde o bodový systém vlakového zabezpečovače (případně semibodový, pokud jsou kromě balíz použity i infill přenosové smyčky – RIU¹⁰).
- Podmínky pro bezpečnou jízdu (volná jízdní cesta, zapevněné výhybky, vazby na PZZ atd.) jsou kontrolovány a dohlíženy konvenčním národním systémem SZZ a TZZ. Jsou stále použity detekční prostředky obsazenosti částí infrastruktury (kolejové obvody, počítače náprav) a návěstidla s národní návěstní soustavou. ETCS L1 je zde v roli „nadstavby“ v podobě vlakového zabezpečovače, tak jak byl definován v kapitole 3.6. Je možné prohlásit, že traťová část ETCS zde slouží jako adaptér (konverzní prvek) mezi národním SZZ/TZZ a OBU s interoperabilním rozhraním popsaném subsety. K dynamickým parametrům daných stavem konvenčního ZZ a získaných přes LEU přidává statické parametry infrastruktury pro danou cestu (např. sklonový profil).
- Na infrastruktuře s ETCS L1 lze provozovat jak vozidla vybavená OBU jedoucí pod dohledem ETCS L1, tak vozidla bez OBU (resp. s vypnutým/nefunkčním OBU) – u nich je bezpečnost zajištěna národním vlakovým zabezpečovačem, případně předpisovými ustanoveními pro jízdu bez vlakového zabezpečovače, pokud jím vozidlo není vybaveno. To může být výhodné v migračním období¹¹. Na druhou stranu vozidlo jedoucí bez dohledu ATP představuje bezpečnostní riziko, zejména při vyšších rychlostech.

¹⁰ Z důvodu nižšího využití v instalacích ETCS v praxi zde nebyly zmíněny.

¹¹ Období, kdy je funkční traťová část ETCS, ale nejsou vybavena OBU všechna vozidla provozovaná na dané trati. V případě tzv. záporného migračního období jsou vozidla vybavena OBU, ale není v tu dobu ještě přítomna (či spuštěna) traťová část.

3.8.6 Traťová část L2

Základní architektura traťové části systému ETCS L2 je znázorněna na obrázku 6¹².



Obrázek 6: Architektura ETCS L2

Prvním podstatnou odlišností je změna v kanálu pro předávání informací na vozidlo – v infrastruktuře jsou přítomny pouze nepřepínatelné balízy, jednotka LEU tedy pozbyla významu. Ústřední součástí traťové části je u L2 tzv. RBC – radio block centre. Jedná se o počítačový systém, který zpracovává data od konvenčního zabezpečovacího zařízení – staničního, případně traťového a přejezdového. Při splnění podmínek pak vydává na příslušné vozidlo, resp. jeho OBU přes digitální síť GSM-R oprávnění k jízdě. Vozidlo, resp. OBU pak zpět RBC hlásí svoji polohu – RBC má tedy přehled o pohybu všech vozidel s aktivní OBU (resp. s OBU v příslušných režimech, kdy posílají PR – viz kap. 4.3.2).

Vazba mezi RBC a SZZ/TZZ může být jednosměrná (např. u aplikací RBC od společností Ansaldo na pilotním projektu v ČR pro úsek Poříčany–Kolín, RBC AŽD pro komerční projekt Kolín–Břeclav). RBC touto cestou přebírá od SZZ/TZZ stavy příslušných kolejových úseků (obsazeno/volno, závěry VC/PC), stavy vlakových cest, stavy PZZ, stavové informace z TZZ (např. směr traťového souhlasu) apod.

¹² Key Management Centre (KMC) není pro přehlednost uvedeno.

V případě využitá obousměrné vazby RBC \leftrightarrow SZZ/TZZ lze plně využít výhod, které tento zpětný přenos informací nabízí – např. možnost okamžitého zrušení závěru neprojeté cesty s definitivním závěrem před stojícím vozidlem jedoucím pod odhledem ETCS (příp. po zastavení vozidla) bez pevného časového zpoždění 3 minuty. Obousměrná vazba ovšem přináší i jisté nevýhody, ať již v podobě nutnosti úpravy (zejména SW) v SZZ při instalaci RBC, jelikož SZZ na možnost nebývá dopředu připraveno nebo ve složitějším schvalovacím procesu celého systému.

Rovněž je potřeba zdůraznit, že v době psaní práce není rozhraní RBC \leftrightarrow SZZ/TZZ standardizováno a není tedy předmětem interoperability. To spolu s poměrně velkým počtem kombinací počtu různých výrobců a typů SZZ vs. výrobců RBC vede v některých případech¹³ k potřebě konverzního prvku – v podobě tzv. IRI (Interlocking – RBC Interface).

U ETCS L2 je možné zavést i tzv. výhradní provoz s ETCS L2¹⁴ – v tom případě je potřeba pro bezpečný a spolehlivý provoz mít všechna vozidla jedoucí v oblasti vybavena funkční OBU. V případě výhradního provozu lze pak významně zredukovat světelná návěstidla, zejména ta oddílová v mezistaničních úsecích. Jsou nahrazena neproměnnými ETCS markery¹⁵. Jako příklad tratě s výhradním provozem lze uvést 123 km novostavby vysokorychlostní tratě Leipzig – Erfurt [8].

Na základě předešlého popisu lze prohlásit, že systém ETCS L2 se vyznačuje tím, že:

- Jde o liniový systém vlakového zabezpečovače. Umožňuje okamžitý update MA při změně (prodloužení, krácení), nouzové adresné nebo generální zastavení vlaku.
- Podmínky pro bezpečnou jízdu (volná jízdní cesta, zapevněné výhybky, vazby na PZZ atd.) jsou kontrolovány a dohlíženy konvenčním národním systémem SZZ a TZZ. Jsou stále použity detekční prostředky obsazenosti

¹³ Např. u pilotního projektu ETCS Poříčany-Kolín – RBC fy Ansaldo, SZZ a IRI společnosti AŽD Praha.

¹⁴ Opakem je provoz smíšený.

¹⁵ Žlutá šipka na modrém čtvercovém poli.

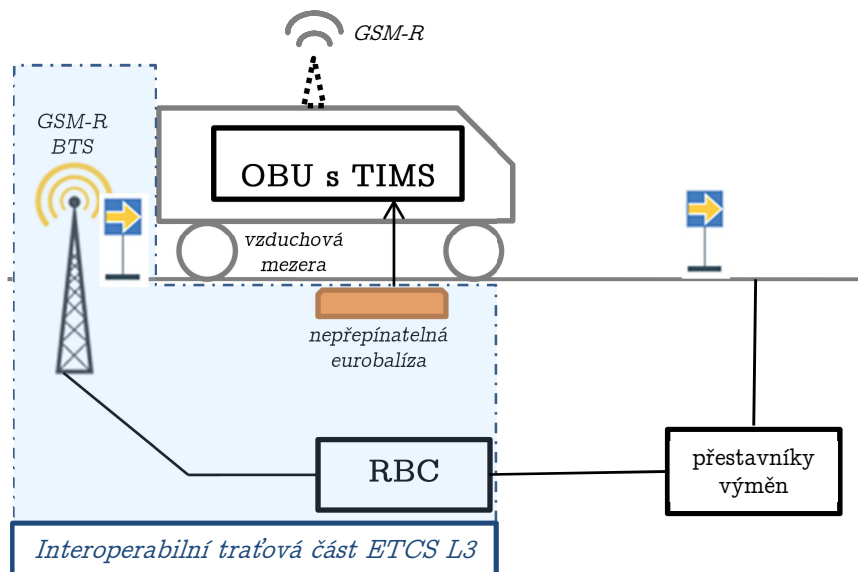
částí infrastruktury (kolejové obvody, počítače náprav) dle národních regulativ a v případě smíšeného provozu i návěstidla s národní návěstní soustavou.

- ETCS je zde v opět v roli „nadstavby“ v podobě vlakového zabezpečovače ATP, tak jak byl definován v kapitole 3.6. Je možné prohlásit, že RBC zde slouží jako adaptér (konverzní prvek) mezi národním SZZ a OBU s interoperabilním rozhraním popsaném subsety.
- V případě výhradního provozu nelze provozovat bez dopadu na parametry systému (zj. bezpečnost) vozidla nevybavená OBU/s nefunkční OBU. Pro smíšený provoz platí stejné závěry, jako v předchozí kapitole pro ATP u L1.

3.8.7 Traťová část L3

Možnou architekturu¹⁶ ETCS L3 ukazuje obrázek 7. Oproti L2 je nutností výhradní provoz a vybavení každého OBU funkcí detekce celistvosti vlaku (TIMS). Podle specifikace Subset 026-2 [22], kap. 2.6.7 nejsou potřeba v infrastruktuře detekční prostředky, jelikož RBC zná polohu všech vlaků v oblasti a dokáže tedy na základě těchto informací určit spolu s informacemi o celistvosti vlaku a délce vlaku část infrastruktury obsazenou daným vlakem.

¹⁶ Přesná podoba systému ETCS L3 není v současných specifikacích definována – viz následující odstavce. Obrázek ukazuje pravděpodobnou podobu podle velmi omezených údajů uvedených ve specifikaci [22], kap. 2.6.7.



Obrázek 7: Architektura ETCS L3

Zatímco u L1 a u L2 se ve specifikaci [22] mluví o nadstavbě nad národním systémem zabezpečovacího zařízení, který stále na národní úrovni zajišťuje funkce detekce volnosti (a prostřednictvím ní i detekce celistvosti vlaku) a jsou vysloveně vyjmuty z rozsahu systému ERTMS/ETCS¹⁷, u L3 jsou funkce zajišťující bezpečný pohyb přisuzovány RBC jakožto součástí traťové části ETCS L3. Lze se tedy na základě tohoto domnívat, že u L3 se neuvažuje s národním zabezpečovacím zařízením a např. funkce ovládání přestavníků výhybek bude integrována do RBC. Můžeme tedy pravděpodobně hovořit o integrálním zabezpečovacím zařízení, kde jsou funkce SZZ, TZZ, (případně PZZ) a RBC sloučeny.

Komentář k L3 a jeho specifikacím v subsetech:

Na rozdíl od úrovně L1 a L2, které jsou poměrně detailně specifikovány (což je pochopitelné vzhledem ke komerčnímu nasazení L1 a L2 na stovkách kilometrů tratí a potřebě dodržet interoperabilitu mezi výrobky různých výrobců, ať už mobilní nebo stacionární části ETCS), působí popis L3 v Subsetu 026-2 [22] jen jako jakýsi koncept – podrobnějšími analýzami bude v dalších kapitolách této práce identifikováno řada problémů a rizik, jejichž popis (natož návrh řešení) specifikace neobsahuje.

¹⁷ Dle [22] odstavec 2.6.6.1.4, cit.: „Train detection and train integrity supervision are performed by the trackside equipment of the underlying signalling system (interlocking, track circuits etc.) and are outside the scope of ERTMS/ETCS.“

Jedním podkladů pro toto tvrzení je např. Subset 113 – ETCS Hazard Log [33], který ve své úvodní části výslovně uvádí (např. v kapitole 4.86), že rozsahem se týká pouze L1, L2 a rizika spjatá s L3 nezahrnuje. Rovněž Subset 091 [32] přímo ve svém názvu vymezuje platnost pro bezpečnostní požadavky pouze na úrovni L1 a L2.

V době vzniku práce nejsou autorovi dostupné informace o žádné trati s komerčním provozem ETCS L3.

3.8.8 Koncept ETCS L3 Hybrid

ETCS L3 Hybrid je koncept vytvořený ERTMS User Group, popsany detailněji v dokumentu [10], který byl ověřován v rámci simulací. Principiálně jde o sloučení konceptů ETCS L2 a L3 v jeden celek. Je umožněn smíšený provoz jak vlaků nevybavených TIMS (OBU na úrovni L2), tak i vlaků vybavených OBU s TIMS (OBU v úrovni L3). Na straně infrastruktury jsou stále přítomny detekční prostředky, které se využívají stejně jako u L2 pro potvrzení volnosti úseku u vlaku bez TIMS. Pokud jedou za sebou 2 vlaky vybavené TIMS, je možné řídit jejich jízdu ve virtuálních úsecích (např. jeden fyzický úsek vybavený detekčními prostředky je rozdělen např. na 3 virtuální úseky). Předpokládá se tedy navýšení kapacity, a to zejména v ranní/odpolední špičce, kdy lze předpokládat provoz několika osobních vlaků vybavených TIMS (např. ucelené jednotky) ve sledu, kdy budou moci využít výhody virtuálních úseků.

Koncept je dle mého názoru vhodný jako případný mezistav při migraci od L2 k L3 v době, kdy nejsou vybavena všechna vozidla OBU. Jinak s sebou nese dříve pospané nevýhody L2 bez výhradního provozu (nutnost konvečních SZZ, TZZ, světelných návěstidel, detekčních prostředků atd.)

3.8.9 ERTMS Regional

ERTMS Regional principiálně vychází z ETCS L3. Uvedený systém je (jak již slovo Regional v názvu napovídá) vhodný především pro regionální tratě. Základní myšlenkou je minimalizace potřebného vybavení na straně infrastruktury. Nejsou již zřizována světelná návěstidla (vjezdová, odjezdová a další), nejsou zapotřebí prostředky pro zjišťování volnosti úseků (kolejové obvody, počítače náprav). Ovládání a dohledy přestavníků výhybek jsou decentralizovány a umístěny přímo v kolejišti do tzv. Object controllerů (dále jen OC). OC komunikuje

s řídicí centrálou, tzv. Traffic Control Centre (TCC) převážně bezdrátově, minimalizuje se tak oproti centralizovanému konvenčnímu řešení s umístěním ve stavební ústředně potřebná délka výkopů a spotřeba kabeláže. OC pak slouží i jako vazební blok pro vazbu na další zařízení – ať již zabezpečovací zařízení přejezdů či elektromagnetické zámky pro vazbu např. na místně přestavované výměny.

Pilotní instalace systému ERTMS Regional se nachází ve Švédsku na trati Repbäcken – Malung. Dle [5] je délka této trati 134 km, nachází se zde 6 stanic a 33 přejezdů, maximální rychlost dosahuje 90 km.h^{-1} . Bylo instalováno 1 TCC dálkově obsluhované z centra v Gävle severně od Stockholmu, 54 OC a 350 eurobalíz. Všechna vozidla s výjimkou vozidel údržby jsou vybavena palubní částí.

Bohužel o provozních zkušenostech z této instalace ani o plánech na další rozšiřování nebyly dohledány žádné relevantní veřejně dostupné podklady/články.

3.8.10 Základní funkce systému ERTMS/ETCS

V následujících podkapitolách budou analyzovány a popsány vybrané funkce systému ERTMS/ETCS, zejména ty s přímou vazbou na další části práce.

3.8.10.1 Lokalizace vlaku

Základním předpokladem pro další funkce systému ETCS je, že OBU zná svojí polohu v železniční infrastruktuře. Princip určování polohy využívá balíz jakožto pevných vztažných bodů v infrastruktuře – při přejetí balízy BTM vyhodnotí podle úrovně signálu vysílaného balízou pravděpodobný okamžik minutí středu balízy. Pokud jsou balízy seskupeny do tzv. balízové skupiny (2–8 balíz), BTM podle pořadí přečtených balíz určí směr přejetí přes BG (nominální¹⁸ nebo reversní). Každý telegram v balíze pak také obsahuje ve své hlavičce jedinečný identifikátor balízy (proměnné NID_C – id země, NID_BG – id BG a N_PIC – pořadí v BG). Systém odometrie pak dokáže bezpečně odměřovat ujetou vzdálenost od tzv. poslední relevantní balízové skupiny (LRBG), a u L2 a L3 ji repor-

¹⁸ Při jízdě v nominálním směru vnitřní identifikátory balíz (N_PIC) v BG rostou, v reversním směru klesají.

tovat do RBC. S LRBG také pracuje přímo OBU při orientaci v infrastrukturních datech přijatých z traťové části (MA, SSP, GP).

3.8.10.2 Linkování balíz

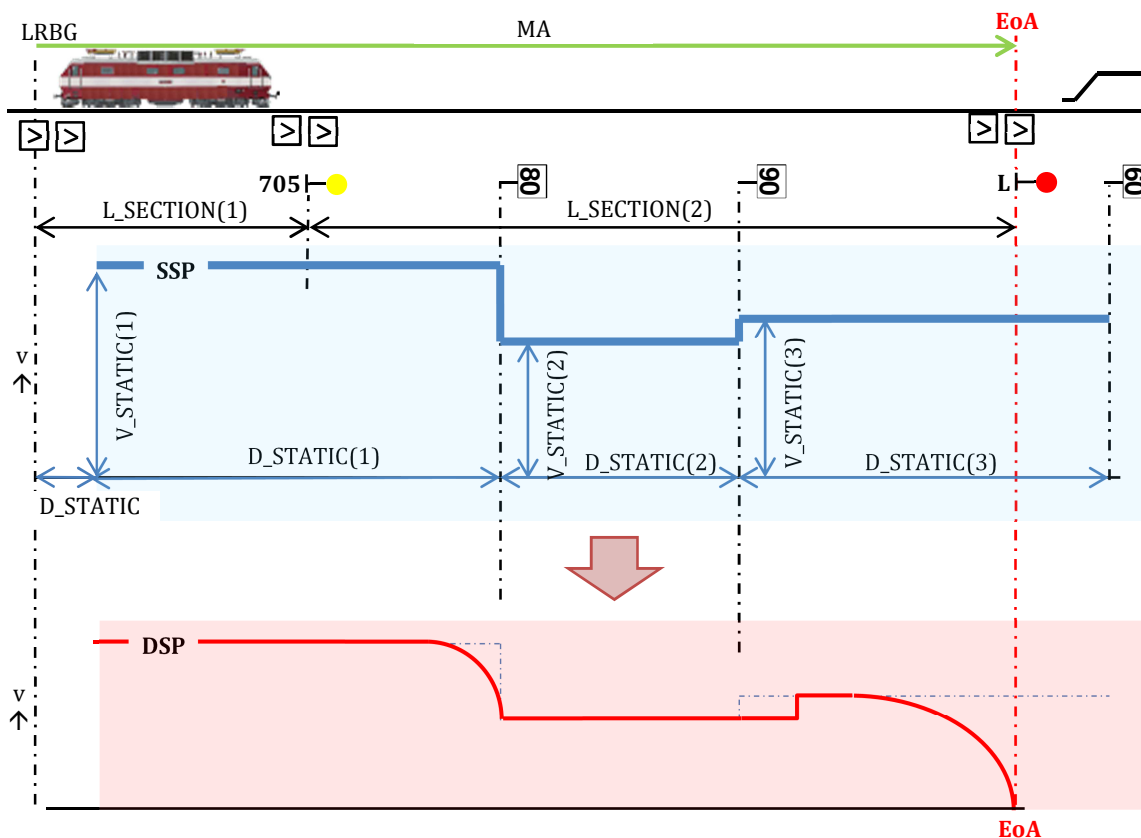
Tzv. linkování balíz slouží k detekci nefunkční či chybějící (např. v případě krádeže) balízy. U L1 je součástí tlg balízy s linkovací informací pkt 5 Linking Information. Ten udává seznam možných následujících BG s intervalem vzdáleností, ve kterých by OBU měla danou BG načíst. Lze také nastavit reakci OBU při nepřechzení další BG dle linkovací informace – bez reakce, brždění provozní brzdou a brždění nouzovou brzdou. U úrovně L2 a L3 linkovací informace zasílá do OBU RBC přes rádiové spojení GSM-R dle vydávaného MA.

3.8.10.3 Vydání oprávnění k jízdě

Oprávnění k jízdě (MA) je základní informace pro OBU od traťové části. Udává, na jakou vzdálenost je zabezpečena jízda pro dané vozidlo/vlak. Oprávnění se skládá z jedné nebo více tzv. sekcí, přičemž první sekce začíná u dané LRBG. Délka každé sekce je udána v proměnné $L_SECTION(k)$, jak ilustruje obrázek 8. Pro každou sekci lze omezit její časovou platnost – tu udává proměnná $T_SECTION_TIMER(k)$ (rozsah 0–1022 s, rozlišení 1 s, speciální hodnota 1023= ∞).

Pro úplnost je potřeba dodat, že u L1 je MA získáno z tlg přepínatelných balíz (kde tlg vybírá jednotka LEU podle postavené cesty – pkt 12), u vyšších úrovní MA zasílá OBU RBC (pkt 15).

Vydané oprávnění k jízdě je možné také zkrátit (podrobněji viz [23], kap 3.8.6). U L2/L3 vstupuje do procesu krácení MA kromě RBC také OBU, které musí se zkrácením MA souhlasit. Konkrétně RBC zašle na vozidlo msg č. 9: Request to Shorten MA. OBU odpoví msg č. 137 Request to Shorten MA is granted, případně msg č. 138: Request to Shorten MA is rejected v případě, že by dle výpočtu v OBU provedeném nad dynamickým profilem se zkráceným MA nebylo možné vlak zastavit před novým koncem MA.



Obrázek 8: Udělení MA, SSP a výpočet DSP

3.8.10.4 Statický profil a sklonový profil

Kromě vzdálenosti, na kterou je dovolena jízda, potřebuje OBU pro dohled nad jízdou vlaku i data o traťové rychlosti. Ty jsou obsažena v tzv. statickém rychlostním profilu (SSP). Ten je obsahem pkt 27 – základní data jsou přenášena jako seznam sekcí s dovolenou rychlostí ($V_STATIC(k)$) a jejich délkou ($D_STATIC(k)$) opět s využitím LRBG jako vztažného bodu, resp. ve vzdálenosti D_STATIC od ní (viz obrázek 8 modře podbarvená část).

SSP musí být v OBU přítomen minimálně na délku uděleného MA, může být ale znám i na delší vzdálenost. Stejně jako MA se přenáší u L1 tlg balíz u vyšších úrovní ho zasílá RBC před udělením MA nebo ve zprávě současně s ním.

V obdobném formátu, jako SSP je traťovou částí poskytován i sklonový profil (gradient profile – GP) v pkt 21. GP obsahuje popis infrastruktury před vlakem z hlediska sklonových poměrů – opět jako seznam úseků charakterizova-

ných délkou ($D_GRADIENT(k)$), směrem sklonu ($Q_GDIR(k)$) a hodnotou klesání/stoupání v ‰ ($G_A(k)$).

3.8.10.5 Dynamický profil

OBU z dat MA, SSP, GP, parametrů vlaku (hmotnost, režim brždění, brzdící ‰ nebo brzdný model) a daných konstant vypočítává tzv. dynamický profil, ve kterém se projeví dynamické parametry vozidla, zejména při brždění. Vypočtený dynamický profil tak již neobsahuje skokové změny rychlosti při snižování rychlosti, jak ilustruje červeně podbarvená část obrázku 8. Detailně celý postup výpočtů popisuje [23], kap. 3.13.

OBU pak v příslušných provozních módech bezpečně dohlíží dodržování vypočtené rychlosti podle DSP a její nepřekročení. V případě překročení tzv. intervenční křivky (SBI pro provozní brždění resp. EBI pro nouzové) vykoná OBU zásah do jízdy vlaku a aktivuje příslušnou brzdu.

3.8.11 Módy OBU

Současná verze specifikací – Subsetu 026 3.6.0 [24] definuje následujících 17 módů, ve kterých se může OBU nacházet. Jak vyplývá z následujícího popisu, módy lze rozdělit do kategorií neprovozní, s omezeným odhledem, s plným odhledem. Tabulka přechodů mezi módy (viz Subset 026-4 [24], kap. 4.6.2 a popis podmínek v kap. 4.6.3) pak uvádí možné přechody a přesné nutné podmínky pro přechod z jednoho módu do módu jiného.

- **Non Power (NP)**

OBU není napájeno (např. při odstavení vozidla a vypnutí palubní elektrické sítě). V tomto módu je trvale vydán povel k nouzovému brždění (otevřen ventil na hlavním potrubí brzdy). Pokud je potřeba pohybovat s nečinným vozidlem (jako tažený vůz) v módu NP, je potřeba náhradním způsobem uzavřít ventil nouzové brzdy.

- **System Failure (SF)**

OBU do módu SF přechází při selhání některých bezpečnostních testů. OBU není v tomto módu schopné bezpečné funkce. Podobně jako v módu NP trvale aktivuje nouzovou brzdu.

- **Isolation (IS)**

OBU je izolováno od zbytku vozidla (např. ovládání nouzové brzdy), tudíž nemůže vykonávat dohled nad jízdou vlaku. Zodpovědnost za následky přechodu do módu IS nese plně osoba uvádějící OBU do tohoto módu.

- **Stand By (SB)**

Výchozí mód před zadáním údajů o vlaku strojvedoucím. OBU v tomto módu zabrání případnému pohybu vlaku.

- **Shunting (SH)**

Mód slouží pro posun s hnacím vozidlem. V módu posunu je pouze omezený dohled – dohlíží se nepřekročení max. rychlosti¹⁹. Je možné nadefinovat seznam balízových skupin, přes které lze posunovat nebo naopak tlg vybraných balíz doplnit o pkt 135 zajišťující zastavení posunu zásahem OBU. Přechod do módu SH v L2 a L3 musí potvrdit RBC a může ho odmítnout.

- **Passive Shunting (PS)**

Mód pro posun s dalším vozidlem v posunovém dílu (podobně jako mód NL u jízdy vlaku).

- **Sleeping (SL)**

*Mód SL se použije při vícenásobné trakci (**neobsazené** hnací vozidlo dálkově řízené z vedoucího hnacího vozidla). Nad bezpečným pohybem vlaku dohlíží OBU na vedoucím hnacím vozidle.*

- **Full supervision (FS)**

V případě dostupnosti všech potřebných dat (např. statický rychlostní a sklonový profil, zadaná vlaková data) v OBU a splnění všech bezpečnostních podmínek může OBU plně dohlížet pohyb vlaku v režimu FS. Přechod do režimu FS nastává automaticky. V tomto režimu dohlíží OBU pohyb vlaku podle vypočteného dynamického rychlostního profilu, podrobněji viz kap. 3.8.10.

¹⁹ Národní hodnota, např. v ČR u SŽDC dle [19] $V_{NVSHUNT} = 40\text{km.h}^{-1}$

- **Limited Supervision (LS)**

Tento mód byl zaveden pro použití zejména na lokálních tratích. Je omezeno množství informací přenášených z traťové části k OBU, což se projevuje na snížení investičních a provozních nákladů. Např. se může jen rozlišovat, zda návěstidlo povoluje nebo zakazuje jízdu (případně některá návěstidla nejsou vybavena LEU vůbec). OBU pak dokáže dohlížet zastavení před návěstidlem s návěstí stůj, ale již nedokáže dohlížet omezení rychlosti dané návěstidlem, pokud o něm nemá informace.

- **Staff Responsible (SR)**

Degradovaný mód, kdy např. OBU nezná polohu vlaku v souřadném systému po startu OBU nebo v případě potřeby projetí EoA (písemný rozkaz). Bezpečnost pohybu vlaku je v zodpovědnosti strojvedoucího, OBU dohlíží nepřekročení max. rychlosti pro jízdu v SR²⁰. Délka možného pohybu v módu SR bývá omezena.

- **On Sight (OS)**

Degradovaný mód, kdy není zaručena volnost některé části infrastruktury – např. při jízdě na přivolávací návěst na obsazenou kolej. Přepnutí do módu OS nastává automaticky na základě podnětu z traťové části. Strojvedoucí je zodpovědný za zjištění volnosti koleje, např. pohledem.

- **Trip (TR)**

V případě hrozícího nedovoleného projetí EoA OBU aktivuje nouzové brzdění a přejde do režimu TR. OBU dohlíží zastavení vlaku a jeho setrvávání v klidu.

- **Post Trip (PT)**

Po zastavení a potvrzení důvodu zastavení v režimu TR přechází OBU do režimu PT. V režimu PT OBU deaktivuje otevření ventilu nouzové brzdy a je tedy možné opět naplnit hlavní potrubí. Následně v L1 je možné pokračovat v SR módu, v L2/L3 na podnět obsluhy OBU požádá RBC o nové MA.

²⁰ Národní hodnota, např. v ČR u SŽDC dle [19] $V_{NVSTFF} = 40 \text{ km.h}^{-1}$

- **Reversing (RV)**

V tomto módu OBU dovolí zpětný pohyb vlaku při řízení z původně čelního stanoviště. Zpětný pohyb musí být povolen traťovou částí (u L1 v balíze pkt 139, u L2/L3 stejný pkt zasláný na vozidlo rádiem). Součástí povolení je max. vzdálenost pro zpětný pohyb a omezení max. rychlosti.

- **Non Leading (NL)**

*Podobný význam, jako mód SL. Hlavním rozdílem je, že vozidlo s OBU v módu NL je **obsazené** a není dálkově řízené z vedoucího vozidla.*

- **Unfitted (UN)**

Tento režim slouží pro umožnění pohybu vlaku v oblasti, která není vybavena traťovou částí ETCS (případně když je v poruše). OBU dohlíží pouze nepřekročení max. rychlosti vlaku.

- **National System (SN)**

V módu SN přebírá zodpovědnost za bezpečnost národní vlakový zabezpečovač (např. PZB, LZB). Ke své funkci může prostřednictvím STM modulu využívat komponenty ETCS OBU (odometrie, ovládání brzdy, DMI displej)

3.8.12 GSM-R

GSM-R je komunikační systém vycházející z komerčního systému GSM (GSM-P) doplněný o aplikaci specifických požadavků pro použití na železnici. Funkční a systémové specifikace vznikaly v rámci projektu EIRENE (European Integrated Railway Radio Enhanced Network). Systém GSM-R, tak jako každý radiokomunikační prostředek, sestává z části infrastrukturní a části mobilní (představované koncovými mobilními terminály uživatele).

GSM-R slouží jak pro hlasovou komunikaci mezi účastníky, tak pro datové přenosy, především právě v systému ETCS. U hlasové komunikace byly oproti GSM-P standardům doplněny specifické požadavky železnice, jako jsou např. skupinové hovory, volání účastníka podle funkce/lokace, nouzové volání s prioritou atd.

Podstatným omezením datových služeb je použitá zastaralá technologie přepínaných okruhů, která dle specifikace GSM-R SRS [36] umožní realizovat

transparentní datový kanál s přenosovou rychlostí 2,4, 4,8 nebo 9,6 kbps. To je dostatečné pro současné aplikace ETCS²¹, ovšem v případě potřeby přenosu dat pro další aplikace, jako je ATO, diagnostická data, informační systémy pro cestující apod. je tento parametr již značně omezující.

Dalším nepříznivým faktorem je dle [13] nízká efektivita využití pásma, nízká šířka pásma (4 MHz v Evropě), která spolu s předchozím vede k tomu, že v železničních uzlech s mnoho přihlášenými terminály, nebude dostačovat. Jako další nevýhoda je uváděna dlouhá doba sestavení bezpečného spojení na úrovni Euroradia (zdroj [13] uvádí až 27s).

3.8.13 CBTC

Systém CBTC (communications-based train control) je v mnoha ohledech a principech podobný systému ETCS L3 a principům flexibilního řízení a zabezpečení definovaných v této práci. Stejně jako v L3 je hlavním znakem systému nepřetržitá komunikace mezi vlakem a traťovou částí, kdy každý vlak zná svoji polohu v infrastruktuře a celistvost vlakové soupravy a tyto informace zasílá infrastrukturní částí. Od té poté dostává oprávnění k jízdě s daným rychlostním profilem.

V čem se systém odlišuje od nasazení na konvenční železniční síti, jsou podmínky provozu – systém byl vyvinut a je instalován především na linkách metra a nadzemních drahách se separátní infrastrukturou. Také charakter infrastruktury a provozu je odlišný od většiny konvenčních železničních tratí – většina úseků je dvojkolejných se separátní traťovou kolejí pro každý směr jízdy, velká část nácestných stanic neobsahuje složité kolejové rozvětvení (často ani kolejové spojky mezi traťovými kolejemi – takové stanice jsou pak z hlediska zabezpečení vlastně tratí), provoz je organizován ve formě rovnoběžného grafikonu, kdy je snahou provozovat homogenní ucelené soupravy s pokud možno stejnými parametry (max. rychlost, dynamické parametry), kromě dep a servisního zázemí zde za běžného provozu nedochází k posunům a sestavování vlaků ve stanicích.

Při splnění dalších bezpečnostních požadavků (jako je např. oddělení prostoru nástupiště a kolejiště do doby zastavení vlaku pro nástup) je možné nad

²¹ V Subsetu 088-3 [31], kap. 5.3.2.5 a 5.3.2.6 je pro L2 uvedeno přibližně 100 – 360 zpráv za hodinu z traťové části na vlak a 100 – 650 zpráv za hodinu opačným směrem.

systémem CBTC instalovat automatizační nastavby umožňující provoz vlakových souprav bez strojvedoucího.

3.9 Systém ATO

Systém ATO (automatic train operation) je důležitý automatizační a optimalizační systém vozidla. Na trhu systémů ATO je významný produkt českého výrobce AŽD Praha označovaný jako AVV – automatické vedení vlaku. Ten osvobozuje strojvedoucího od rutinních činností při řízení vozidla – při znalosti jízdního řádu vlaku vypočte optimální rychlostní profil s ohledem na úsporu energie a dojezd do dalšího dopravního bodu v zadaný čas. Přebírá pak řízení vozidla (s možným ručním zásahem) s maximální snahou o následnou jízdu dle vypočtené rychlosti v daném bodě. Klíčová je pro funkci systému znalost infrastruktury – digitální mapa tratě, jízdní řád daného vlaku, jeho parametry a dovolený rychlostní profil.

V instalacích na síti SŽDC probíhala dosud lokalizace vlaku na trati pomocí tzv. magnetických informačních bodů (MIB), případně na lokálních tratích s podporou systému GPS. Mapa tratě byla nahrána na vozidlo a informace o návěstním znaku získával systém z kódu LVZ na kódovaných tratích²² nebo prostřednictvím klávesnice od strojvedoucího.

Snaha o interoperabilitu se projevila v posledních letech i u systémů ATO, zejména v případě, pokud má jako ATP být na vozidle ETCS. ATO pak může ze systému ETCS čerpat poziční lokalizaci vlaku (viz kap. 4.3.2) a rychlostní profily, čímž odpadá potřeba duplicitního lokalizačního systému výhradně pro ATO a problém s nedostatkem informací o povoleném rychlostním profilu. Od roku 2012 vzniká koncept a následně specifikace na tzv. AoE – ATO over ETCS, v současné době probíhá dle článku [1] proces standardizace přenosu informací mezi infrastrukturní a palubní částí systému ATO (popsán v zatím neveřejném Subsetu 126) a mezi systémy ATO a ATP na úrovni palubní části ve vozidle (připravovaný Subset 130).

²² Vzhledem k pouze 4 možným přenášeným kódům v systému LVZ bylo potřeba upřesnění při omezení rychlosti také pomocí klávesnice strojvedoucího – bez upřesnění byla očekávána nejvíce restriktivní návěst pro daný kód LVZ.

3.10 Stručné zhodnocení

Provedená analýza ukazuje, že díky technologickému vývoji v posledních desetiletích, který umožňuje masivní využití počítačových technologií i na palubě vozidel (včetně mobilní bezdrátové komunikace vozidlo – infrastruktura), lze v současné době reálně uvažovat o změně funkčních principů zajištění řízení a zabezpečení jízdy drážních vozidel, které až doposud nebylo v podmínkách ČR uvažovatelné. Jak je vidět v předchozích kapitolách, jednotlivé subsystémy jsou do značné míry provázané a jejich plná síla a využití všech přínosů se ukáže až při integraci a společném nasazení. Proto tato práce dále detailněji věnuje využití technologie ERTMS/ETCS v třetí úrovni (L3), která umožní při integraci s dalšími subsystémy (ATO, TMS) zavedení nových principů flexibilního řízení, ovšem s podmínkou analýzy a vyřešení mnoha bezpečnostních a technických otázek.

4 Návrh řešení

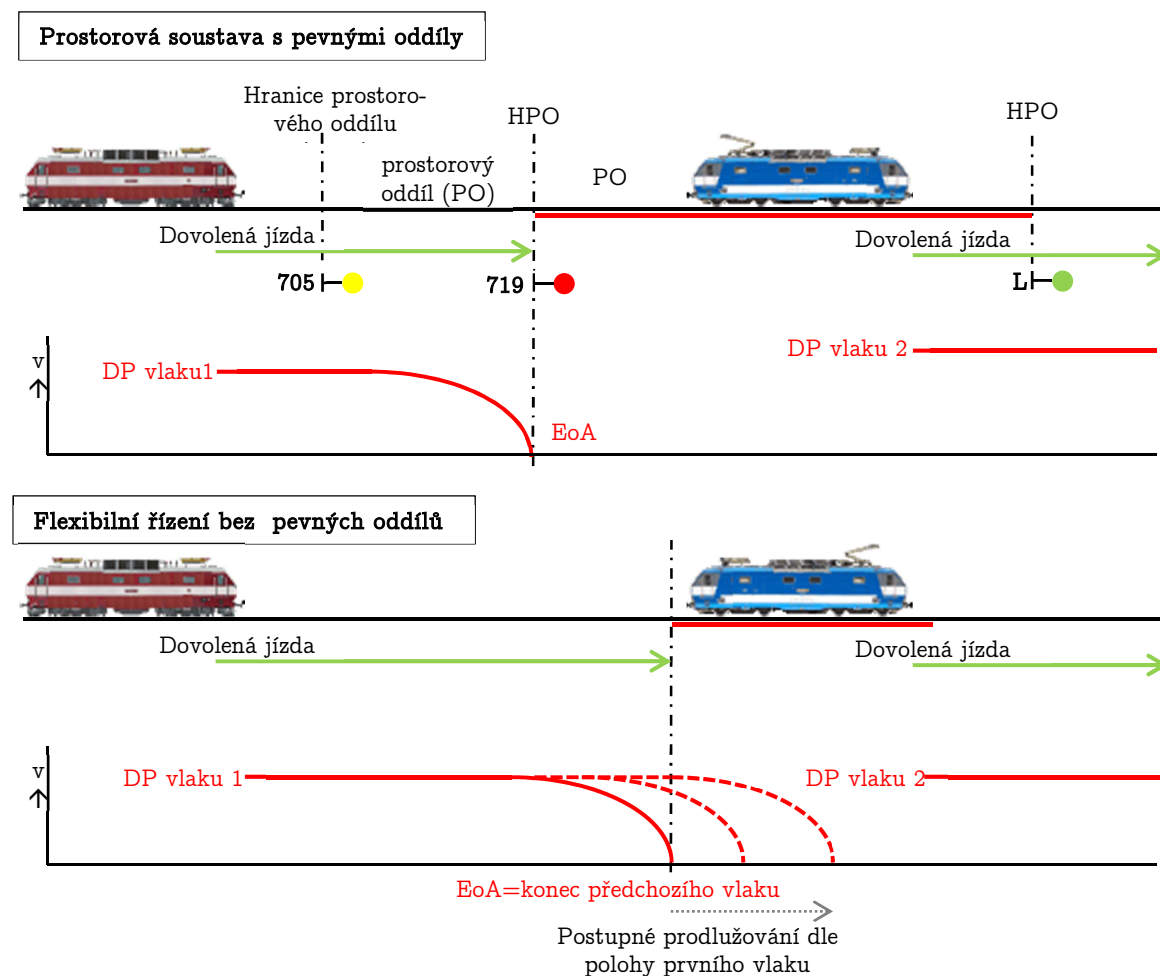
Návrh řešení prezentovaný v této kapitole vychází z cílů práce a výchozích předpokladů popsanych v kapitole 2. Uvádí základní principy flexibilního řízení a rozdíly oproti prostorové soustavě s pevnými oddíly. Definuje možnou architekturu systému flexibilního řízení a zabezpečení, popisuje základní rozhraní systému, jeho funkce a analyzuje události v systému.

V samotném systému a v jeho procesech existuje a byla identifikována řada rizik. U každého takového rizika je pak pořízen záznam o nebezpečí v podobě příslušné tabulky, který popisuje identifikované nebezpečí a hodnotí riziko v případě, že nebezpečí nastane, ve dvou rovinách – v oblasti četnosti výskytu a závažnosti rizika, jak uvádí metodika dle ČSN EN 50 126 [4]. Na základě tohoto hodnocení jsou poté navržena případná opatření vedoucí ke snížení závažnosti a/nebo četnosti rizika, tedy vedoucí ke zmírnění úrovně rizika.

4.1 Flexibilní řízení a zabezpečení

4.1.1 Základní principy flexibilního řízení a zabezpečení

Princip flexibilního řízení a zabezpečení vychází ze základní myšlenky spočívající v odstranění pevných oddílů (použitých při dosavadním způsobu řízení v prostorové soustavě – viz kap. 3.3). Tyto pevné oddíly jsou nahrazeny dynamickou kontrolou podmínek pro bezpečnou jízdu ve flexibilních oddílech, které již nemají pevné hranice. Lze pak tedy flexibilně prodlužovat oprávnění k jízdě (pokud je to požadováno) v závislosti na pohybu dalších vlaků namísto čekání na uvolnění celého prostorového oddílu. To přinese větší flexibilitu vedoucí k většímu využití kapacity infrastruktury a nové možnosti při řízení provozu.



Obrázek 9: Porovnání principů prostorové soustavy a flexibilního řízení

4.1.2 Rozlišovací schopnost detekce volnosti infrastruktury

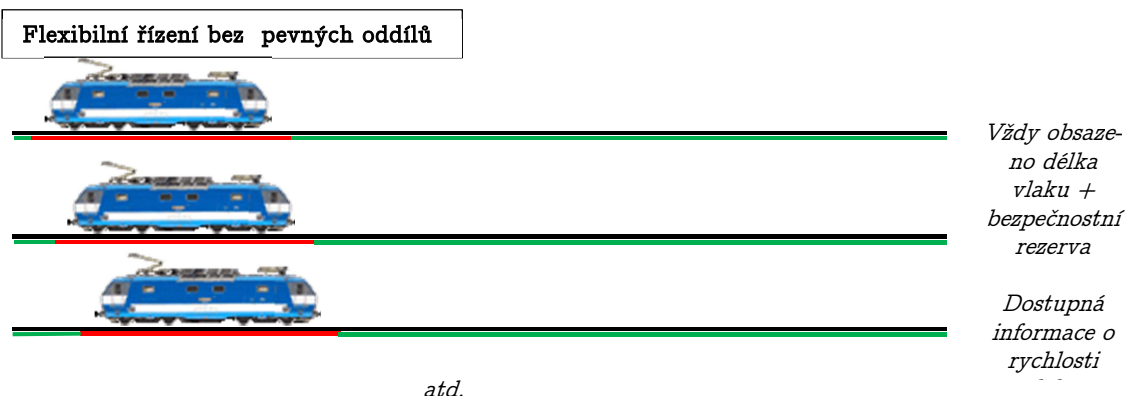
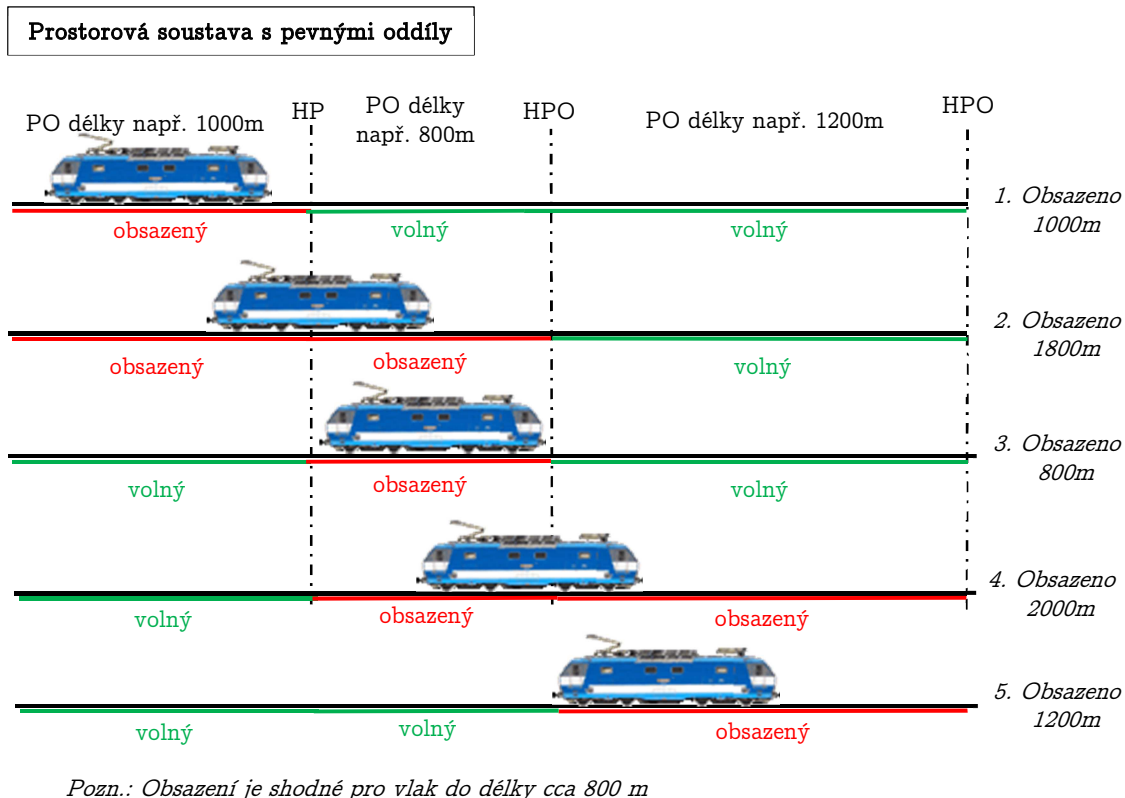
Klíčové pro dovození bezpečné jízdy vlaku je volnost infrastruktury v celém rozsahu možného dovoleného pohybu vlaku. Stávající systémy používají pro detekci obsazenosti či volnosti určité části železniční infrastruktury v zásadě dva technické prostředky – kolejové obvody, případně počítače náprav. Oba tyto přístupy se vyznačují tím, že oblast detekce je ohraničena body v infrastruktuře, které je dáno umístěním počítačích bodů u počítačů náprav či izolovaných styků u kolejových obvodů. Délka těchto úseků bývá od 25 m (což je minimální délka daná ČSN 34 2613 [2] dle maximální vzdálenosti náprav železničního vozidla) až po několik kilometrů, přičemž hranice úseků se zřizují v blízkosti návěstidel a ve výhybkových úsecích mezi výhybkami či skupinou výhybek.

Výstupem je tedy pouze binární informace volný/obsazený úsek, bez možnosti zjistit přímo, kterým vlakem²³ a bez informace o rychlosti vlaku uvnitř úseku.

Oproti tomu navrhovaný systém flexibilního řízení pracuje přímo s informací o poloze vlaku, jeho délce, celistvosti a aktuální rychlosti – tyto informace získává periodicky od mobilní části každého vlaku. Zanikají tak pevně dané úseky a pracuje se s informací o obsazení části infrastruktury mezi dvěma body, přičemž tyto body (začátek a konec vlaku) se jízdou vlaku pohybují, nejsou pevně dané.

Následující obrázek ukazuje příklad pro srovnání – v horní polovině obrázku je znázorněn pohyb vlaku v prostorové soustavě s pevnými prostorovými oddíly (PO). Pokud budeme uvažovat extrémně krátký vlak o délce 20 m (např. samostatná lokomotiva), pak dle popisu v pravé části vidíme, že je postupně obsazeno vlakem v infrastruktuře 1000 m, 1800 m, 800 m, 2000 m a 1200 m, což je i 100× více, než je délka vlaku. Je to dáno nízkou granularitou danou použitím dlouhých prostorových oddílů. Oproti tomu červeně znázorněná část infrastruktury obsazená v dolní části obrázku vlakem mnohem více odpovídá skutečné délce vlaku. Je potřeba zde na úvod říci, že např. pro 20 m vlak nebude prostor obsazený tímto vlakem přesně 20 m, ale vlivem nepřesností současných systémů určení polohy delší. Ukázkový výpočet je pak uveden v příloze 1.

²³ Informaci o pravděpodobném vlaku v úseku lze odvodit na základě postupného obsazování a uvolňování úseků jízdou daného vlaku; problém nastává např. na tratích s automatickým blokem, kde lze podle provozních předpisů za určitých podmínek projet okolo návěstidla s návěstí stůj do pravděpodobně obsazeného úseku – takové projetí (a tudíž posun vlaku do dalšího úseku) nelze kolejovým obvodem detekovat.



Obrázek 10: Porovnání z pohledu zabezpečovacího zařízení

4.1.3 Potřeba a potenciál flexibilního řízení

Hlavní potřebu a potenciál pro nasazení flexibilního řízení je možné spatřovat v situacích popsaných v následujících podkapitolách.

4.1.3.1 Vyčerpaná kapacita infrastruktury

Mnoho nejvytíženějších úseků železniční infrastruktury (zejména v příměstských oblastech velkých aglomerací – např. té pražské) je dnes na hranici svých kapacitních možností, či vzhledem k očekávanému růstu poptávky po

kapacitě brzy této hranice dosáhnou. Tento předpoklad potvrzuje i záměr zmíněný v NIP [15], cituji: „*Je záměr v kapacitně kritických úsecích zkrátit prostorové oddíly (již bez oddílových návěstidel) a umožnit jízdu vlaků pod dohledem ETCS v těsnějším sledu.*“

Jedním z možných řešení je pochopitelně novostavba dalších traťových kolejí, nicméně ta v často hustě zastavěném území velkých sídel bývá problematická, zejména v otázce projednatelnosti a průchodnosti takové novostavby a často velmi nákladná. V některých případech pak bývá nutné přikročit dokonce z prostorových důvodů k vedení v tunelové variantě pod povrchem.

Druhým řešením pro zvýšení kapacity exponovaných úseků mlže být právě flexibilní řízení. Výhodou této možnosti oproti předchozí je využití současné infrastruktury (je-li ve stavebně vyhovujícím stavu) bez potřeby stavebních úprav a rozšiřování železničního svršku.

U současných pevných oddílů v prostorové soustavě se při přenosu kódu vlakového zabezpečovače LVZ uvažuje s pevnou zábrzdou vzdáleností 1 000 m, bez ohledu na skutečnou nejvyšší povolenou rychlost a bez ohledu na brzdící schopnosti vlaku. Návěstidla pak bývají ve většině případů umístěna nejméně na tuto vzdálenost, v případě rozmístění na vzdálenost kratší se zde uplatňuje pravidlo předvést každé snížení rychlosti/návěst stůj minimálně na zábrzdou vzdálenost, což vede k návěstění návěstí na nedostatečnou zábrzdou vzdálenost (s bílým světlem), kde u takového návěstidla není jednoznačně dopředu poznat, kde končí vlaková cesta/resp. odkud bude snížena dovolená rychlost. Při přenosu kódu LVZ je pak často kódován před takovýmto návěstidlem červený kód. To vše vede ke snížení reálné kapacity infrastruktury s pevnými oddíly oproti flexibilnímu řízení.

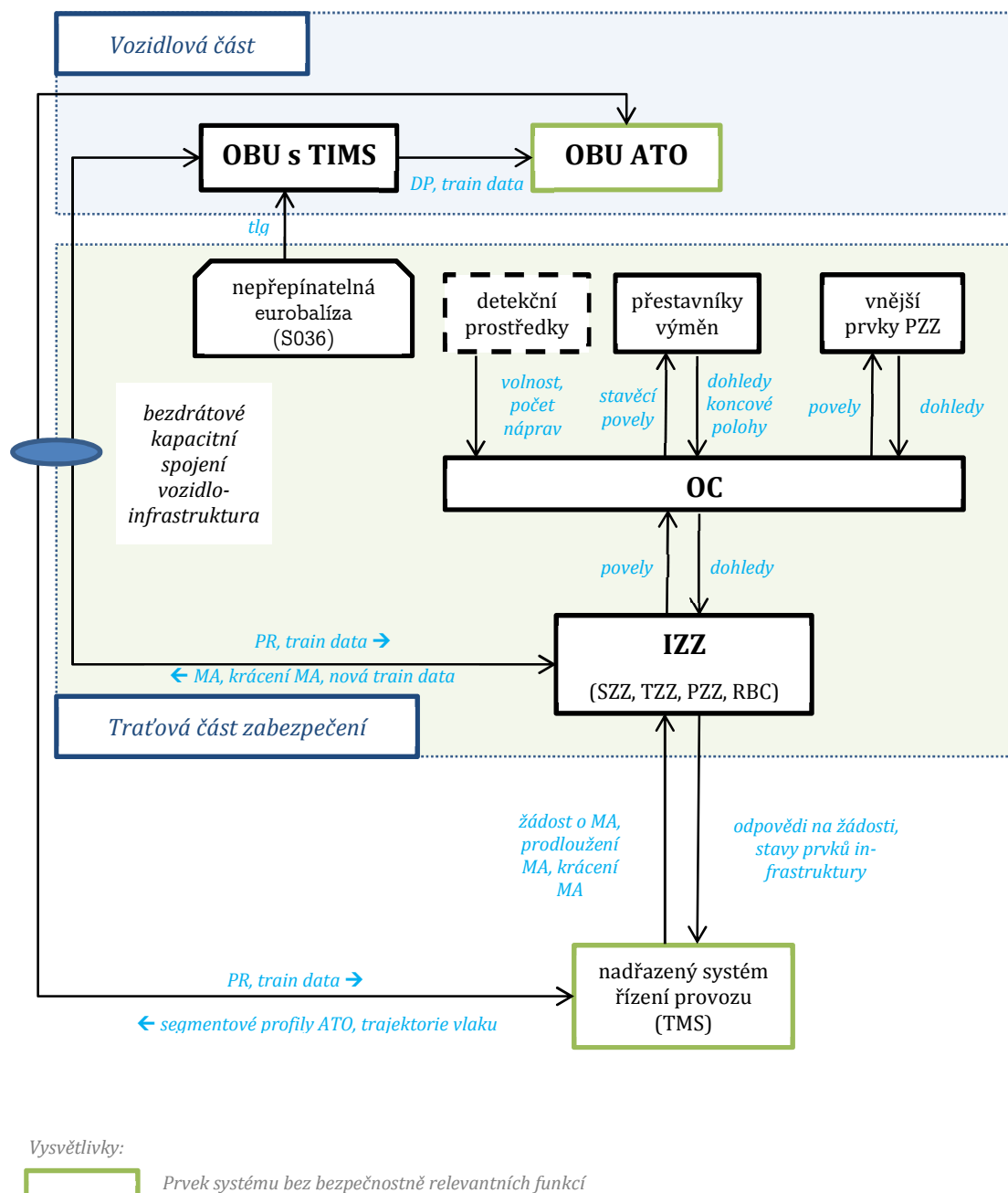
4.1.3.2 Nedostatečné/žádné zabezpečovací zařízení

Další příležitost pro uplatnění systému flexibilního řízení a zabezpečení lze spatřovat na tratích, které mají potenciál přilákat nové zákazníky, ovšem jedna z podmínek je provedení zvýšení traťové rychlosti, která může být omezena z důvodu způsobu zabezpečení (výměnové zámky, přejezdy bez PZZ apod.).

Předpokládá se, že navrhované flexibilní řízení vzhledem k minimalizaci prvků v infrastruktuře umožní snížit náklady na výstavbu zabezpečovacího zařízení v takovýchto případech oproti ceně konvenčního SZZ, navíc často s množstvím přejezdů v mezistaničních úsecích.

4.2 Architektura systému

Jako výchozí pro návrh můžeme uvažovat architekturu systému ETCS L3 uvedenou v kapitole 3.8.7. Ta je následně rozšířena a upřesněna, jak ukazuje obrázek 11. Popisu jednotlivých komponent systému se věnují následující podkapitoly.



Obrázek 11: Koncept architektury systému flex. řízení a zabezpečení

4.2.1 OBU s TIMS

V tomto místě návrhu uvažujeme interoperabilní vozidlovou část (OBU s TIMS) popsanou a specifikovanou v Subsetu 026 [22], [23] a navazujících. V případě potřeby budou v následujících částech práce navrženy některá doplnění funkcí OBU. Předpokládá se, že OBU plní tyto základní funkční požadavky:

1. OBU je schopné hlásit polohu vlaku a jeho celistvost.
2. OBU zamezí nedovolenému pohybu vlaku (bez MA).
3. OBU bezpečně dohlíží nepřekročení vydaného MA.
4. OBU poskytne potřebná data (dle Subsetu 130) nadřazenému automatizačnímu systému ATO.

4.2.2 OBU ATO

Předpokládá se interoperabilní vozidlová část ATO dle vznikajících specifikací na AoE (ATO over ETCS – viz kap. 3.9). AoE by mělo plnit tyto základní požadavky:

1. OBU ATO na základě přijatých segmentových profilů a dat z OBU ETCS vede vlak dle uděleného oprávnění maximálně takovou rychlostí, kterou dovolí v daném místě infrastruktury OBU ETCS na základě dynamického profilu, aby nedošlo k intervenčnímu zásahu ATP ETCS.
2. OBU ATO informuje traťovou část TMS v případě, kdy není schopno dosáhnout předané trajektorie vlaku. (např. v případě poruchy vozidla, snížených adhezních podmínek, omezení tažné síly apod.)

4.2.3 Balíza

Je uvažována nepřepínatelná eurobalíza dle Subsetu 036 [28] a navazujících, zejména pro účely lokalizace vlaku v infrastruktuře. V případě dalšího vývoje v oblasti lokalizace vlaku, jako je např. odvětví bezpečné satelitní lokalizace (či jiných alternativních metod), lze tuto komponentu systému v budoucnu nahradit tzv. „virtuální balízou“.

4.2.4 *Systém řízení provozu (TMS)*

TMS představuje entitu, která obsahuje a spravuje data o zamýšlených úkonech s jednotlivými vlaky – tedy jednoznačně danou trajektorií v infrastruktuře, kterou má vlak projet. Dále pak plánované operace s vlaky, jako je dělení, spojování a další manipulace. Pro svoji činnost potřebuje z IZZ informace o pohybu a stavu jednotlivých vlaků (mód, PR, vydaná MA apod.).

Systém může být realizován pouze člověkem – dispečerem s příslušným HMI, výhodnější se ovšem jeví automatizace rutinních činností a kvalitní informační podpora pro rozhodování o optimálním řešení budoucích konfliktů v jízdách vlaků, zejména v krizových situacích. Návrh tohoto navazujícího TMS není předmětem této práce, detailněji se jím zabývá např. [11]. Předpokládá se, že vnitřní funkce v systému TMS nejsou bezpečnostně relevantní – bezpečnost zpracování (bezpečné vyhodnocení požadavku a případné odmítnutí zadání) má na starosti IZZ jakožto prvek přímo zodpovědný za bezpečnost.

4.2.5 *Integrální zabezpečovací zařízení*

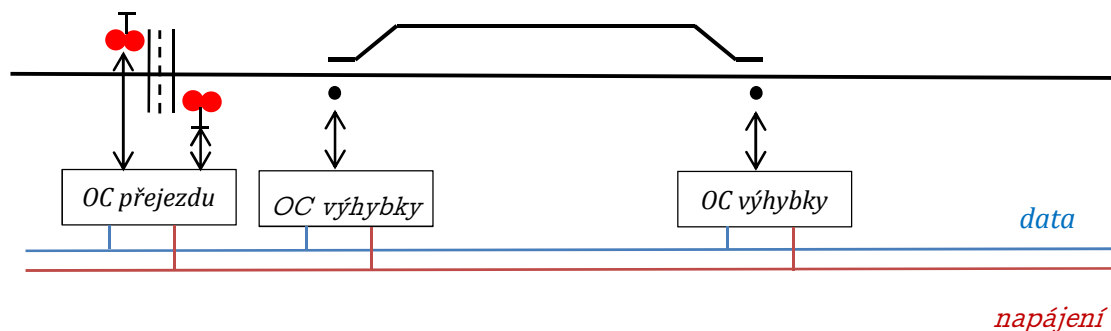
Jedná se o komponentu systému integrující funkce SZZ, TZZ, PZZ a RBC pro potřeby flexibilního řízení provozu. Představuje hlavní prvek v infrastrukturní části zodpovědný za bezpečnost železničního provozu v řízené oblasti – prostřednictvím OC řídí přestavování výhybek v kolejišti, přes bezdrátové spojení komunikuje s vozidlovými částmi OBU, vydává oprávnění k jízdě, dohlíží pohyb vozidel, zajišťuje ovládání výstrahy na přejezdech apod. Podrobněji jsou jednotlivé funkce popsány v kapitole 4.4.

4.2.6 *Objektový kontrolér*

Objektový kontrolér (OC) tvoří bezpečné (ve smyslu EN 50 129) obousměrné rozhraní k venkovním prvkům zabezpečovacího zařízení – tedy hlavně přestavníkům výhybek, venkovním prvkům PZZ (výstražníky, pohony závor) a případně detekčním prostředkům (PN, kolejovým obvodům – pokud se ukáže v dalších analýzách, že budou na vybraných částech infrastruktury potřeba).

Objektový kontrolér by měl umožnit umístění co nejbližší ovládanému prvku či skupině prvků, ideálně ve skříní v kolejišti, v případě větší koncentrace prvků lze uvažovat o umístění několika OC do jedné lokality ve větším objektu –

např. na zhlaví větší dopravní. OC vyžaduje napájení a datovou komunikaci s jádrem IZZ, jak ukazuje následující obrázek:



Obrázek 12: Koncept topologie OC

Touto sběrnicovou topologií bude odstraněna potřeba nákladné a dlouhé kabeláže u současných centralizovaných řešení s hvězdicovou topologií, kdy ke každému vnějšímu prvku v kolejišti je veden jeden či několik párů v příslušném kabelu vycházejícímu ze stavědlové ústředny a vedoucí k danému prvku, či jejich skupině.

Na OC jednotlivých prvků jsou kladeny tyto funkční požadavky:

OC výhybky musí umožnit:

1. bezpečné (ve smyslu fail-safe) ovládání výhybky, resp. jejího přestavníku,
2. bezpečné načítání dohledů obou koncových poloh výměny.

OC počítače náprav (případně kolejového obvodu) musí umožnit:

3. bezpečné načítání stavu kolejového úseku, minimálně jako dvojice binárních informací volno/obsazeno.

OC pro navázání prvků přejezdu slouží pro ovládání červených světel výstražky, bílého světla pozitivního signalizace (pokud je zřízena), případně ovládání pohonu doplňkové výstražky – břevnen závor a akustické výstražky a dohledy jejich bezchybné funkce. Musí tedy umožnit:

4. bezpečné ovládání červených a bílého světla výstražníku a dohled jejich svícení (není nutný pro bílé světlo),
5. bezpečné ovládání pohonu závor a dohledy obou koncových poloh, vč. celistvosti břevna,
6. bezpečné ovládání akustické výstrahy a dohled její funkce.

V případě výpadku komunikace s jádrem IZZ je u OC ovládajícího prvky přejezdu požadován přechod výstupů do bezpečného stavu, což je přerušované svícení červených světél, zhasnutí světla bílého, zpožděné spuštění břeven závor a spuštění akustické výstrahy.

4.2.7 Bezdrátové kapacitní spojení vozidlo – infrastruktura

Vzhledem k nevýhodám současného systému GSM-R uvedeným v kapitole 3.8.12 je uvažována náhrada GSM-R modernějším komunikačním systémem. Podoba této náhrady je řešena přibližně posledních 5 let na půdě organizace UIC (International Union of Railways), koncept vznikající náhrady GSM-R dostal název Future Railway Mobile Communication System – FRMCS. Funkční požadavky jsou uvedeny v dokumentu FRMCS-URS [7]. Uvedené požadavky odpovídají požadavkům na zastřešení komunikačních funkcí v systému flexibilního řízení (zejména „fundamental principles“ Pr1, Pr2, Pr4–Pr8 a požadavkům v kap. 5.9 a 5.10 v uvedeném FRMCS-URS [7]).

V průběhu posledního roku byla ustanovena pracovní skupina FRMCS Migration Scenarios, která v několika podskupinách připravuje scénáře pro bezproblémový přechod z GSM-R na FRMCS.

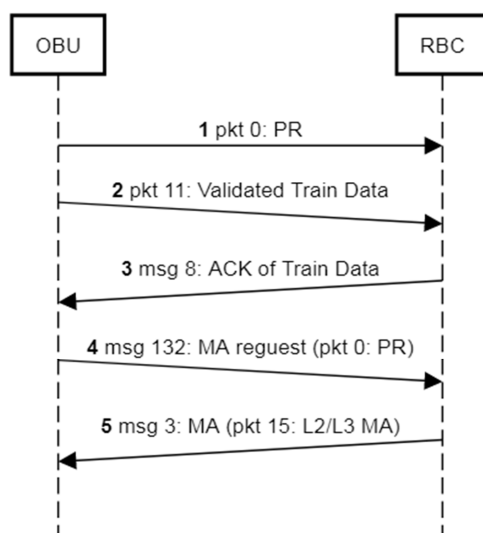
Důležitým znakem FRMCS v úrovni aplikační je přechod na paketové síť (IP²⁴), kdy pak z pohledu aplikační úrovně víceméně nezáleží, jaká rádiová technologie bude použita ve fyzické vrstvě (LTE, 5G síť apod.).

²⁴ První pokusy o přechod na ETCS over IP lze zaznamenat již u sítí GSM-R prostřednictvím paketových přenosů GPRS. Nicméně se jedná o zastaralou technologii s řadou omezení, zejména ohledně přenosové kapacity.

4.3 Analýza vstupních dat do systému

Cílem této kapitoly je popsat a analyzovat data vstupující do popisovaného systému traťové části – co se týče zdroje dat, rozsahu dat a případně popsat jejich význam a analyzovat základní principy práce s nimi.

V první řadě jde o data získávána od OBU, znázorněna v následujícím sekvenčním diagramu:



Obrázek 13: Vstupní data od OBU

4.3.1 Train data v OBU

Před SoM je potřeba znát tzv. train data. Některá train data jsou fixní hodnoty bez možnosti změny (zadána fixně při zástavbě dané OBU na dané vozidlo), jiné zadává strojvedoucí přes DMI, jak ukazuje následující výčet:

a) Kategorie vlaku

Zdroj dat: zadává strojvedoucí na DMI

Proměnná v pkt 11: NC_TRAIN

Rozsah hodnot: osobní vlak, nákladní vlak – brzdy v „P“, nákladní vlak – brzdy v „G“

Bezpečnostně relevantní: Ano, *potencionální chyba nebezpečným směrem při výběru kategorie vlaku s kratší dobou náběhu brzd, než má skutečný vlak (např. skutečný nákladní vlak v „G“, zadáno osobní) způsobí potenciálně chybný výpočet brzděné křivky.*

Identifikovaná nebezpečí:

| Záznam o nebezpečí | H01 |
|--------------------|--|
| Název nebezpečí | <u>Chybně zadaná kategorie vlaku v OBU</u> |
| Popis nebezpečí | <p><i>Při výběru kategorie vlaku v OBU může dojít k zadání chybné kategorie – nebezpečný je směr, kdy je zadána kategorie vlaku s kratší dobou náběhu brzd, než má skutečný vlak (např. skutečný nákladní vlak v ,G', ale v train data chybně zadáno osobní). To způsobí potenciálně chybný výpočet brzdne křivky počítající s kratším náběhem brzd, než je skutečný vlak schopen dosáhnout. To může vést k chybnému dohlížení rychlosti a projetí konce oprávnění/resp. místa se sníženou rychlostí, rychlostí vyšší, než je rychlost dovolená.</i></p> |
| Hodnocení rizika | <p><i>Nebezpečí není v navrhovaném systému nové – je přítomno i u současných OBU. Jako jisté opatření se může jevit následné potvrzení korektnosti zadaných train data.</i></p> <p><i>Závažnost následků by mohla být až katastrofická – s možnými ztrátami na životech v případě nehody v důsledku vykolejení nebo projetí EoA a následnému střetu s jiným vlakem. Nicméně obecně závažnost případných následků snižuje to, že kategorie vlaku s delším náběhem brzdy mají obecně spíše nižší skutečná brzdící %, než krátké osobní vlaky, a mají nižší stanovenou maximální rychlost, což vede k tomu, že doba náběhu brzdy²⁵ ve většině případů nehraje majoritní roli v procesu brždění.</i></p> <p><i>Četnost výskytu se dá však charakterizovat jako malá – je rozumné předpokládat, že nebezpečí nastane. Celkově lze tedy úroveň rizika hodnotit jako nežádoucí.</i></p> |

²⁵ Např. hodnoty náběhu brzdy dle Subsetu 026-3 [23], kap. A.3.8 vycházejí pro vlak délky 750 m, osobní vlak v ,P' vs. nákladní vlak v ,G' cca 13 s vs. 16 s.

| | |
|---------------------------|---|
| Požadavky, opatření | <i>Četnost chybného zadání údajů v train data by se dala snížit automatizovaným přebíráním train data z nadřazeného informačního systému TMS a jejich zasláním na vozidlo namísto ručního zadávání strojvedoucím.</i> |
| Následné hodnocení rizika | <i>Lze pak předpokládat snížení četnosti na nepravděpodobnou a celkovou úroveň rizika lze tak hodnotit jako přípustnou.</i> |

b) Délka vlaku

Zdroj dat: zadává strojvedoucí na DMI

Proměnná v pkt 11: L_TRAIN

Rozsah hodnot: 0–4095 m, rozlišení 1 m

*Bezpečnostně relevantní: Ano, **potencionální chyba nebezpečným směrem = zadání kratší délky, než je skutečná délka vlaku***

*Na hodnotě závisí správné **určení bezpečného konce vlaku u L3;** u nižších úrovní může např. zadání kratší délky vlaku způsobit chybné dohlížení při zvýšení rychlosti, kdy je možné zrychlovat (pokud není stanoveno jinak) až pokud celý vlak projede místem, kde se zvyšuje traťová rychlost.*

Bylo identifikováno nebezpečí chybného zadání délky vlaku v systému.

Identifikovaná nebezpečí:

| Záznam o nebezpečí | H02 |
|--------------------|--|
| Název nebezpečí | <u>Chybně zadaná délka vlaku – zrychlování</u> |
| Popis nebezpečí | <i>Správný údaj o délce vlaku je bezpečnostně relevantní údaj. Využívá se ve výpočtu statického rychlostního profilu v místech, kde se zvyšuje rychlost. Není-li uvedeno jinak²⁶, je zvyšování rychlosti možné až po té, co celá délka vlaku mine bod se zvýšením dovolené rychlosti.</i> |

²⁶ Např. rychlostník nebo konec pomalé jízdy doplněný symbolem „mašinky“ nebo zavedené Op na přejezdu z důvodu jeho poruchy – v těchto případech lze zrychlovat ihned po minutí konce omezení čelem vlaku.

| | |
|------------------|---|
| | <p><i>Situace, kdy bude zadaná délka vlaku větší, než skutečná, nevyvolává přímo k nebezpečí – dojde pouze ke zhoršení výkonnostních parametrů systému – zj. propustnosti v místě jízdy takového vlaku – jízda vlaku potrvá takovýmto místem zbytečně déle.</i></p> <p><i>Riziková je ale situace, kdy bude zadána menší délka vlaku, než je jeho skutečná délka – dojde tak k chybné modelaci SSP, MRSP a následně DSP. Existuje riziko, že nebude dohlížen korektně rychlostní limit v celé délce omezení až po úplné opuštění celé prostoru omezení celým vlakem.</i></p> |
| Hodnocení rizika | <p><i>Nebezpečí není v navrhovaném systému nové – je přítomno i u současných OBU ETCS. Jako jisté opatření se může jevit následné potvrzení korektnosti zadaných train data, jejichž součástí je i délka vlaku.</i></p> <p><i>Závažnost následků by mohla být až kritická – s možnými ztrátami na životech v případě vykolejení v místě omezení v důsledku nedodržení rychlosti. Četnost výskytu se dá však charakterizovat jako nepravděpodobná – autorovi není znám jediný takovýto případ v ČR, kdy by za současného stavu za dohledu pouze lidským činitelem vlak dodržoval rychlostní omezení, ale z důvodu chybného odhadu délky vlaku začal zrychlovat dříve, než celý opustí místo se sníženou rychlostí a následně v důsledku toho vykolejil. Celkově lze tedy úroveň rizika hodnotit jako přípustnou.</i></p> <p><i>Potencionální následky jsou do značné míry omezeny reálnými hodnotami zrychlení, které je schopné hnací vozidlo vyvinout. Nebezpečnější jsou v tomto ohledu dlouhá omezení (např. na 10 km.h⁻¹) např. z důvodu instalovaného mostního provizoria při rekonstrukci mostu, kde např. krátký osobní vlak se zadanou délkou vlaku jako by se jednalo jen o samostatné hnací vozidlo, dokáže na dráze dané rozdílem těchto dvou délek dosáhnout i rychlosti přibližně dvojnásobné (20 km.h⁻¹). Oproti tomu u dlouhých a těžkých vlaků, případně u snížené rychlosti na vyšší hodnoty (např. na 100 km.h⁻¹) jsou schopnosti vlaku zrychlovat omezené a případná překročení o jednotky km.h⁻¹ zane-</i></p> |

| | |
|---------------------|---|
| | <i>dbatejnější, než v nízkých rychlostech.</i> |
| Požadavky, opatření | <i>Četnost chybného zadání údajů v train data by se dala snížit automatizovaným přebíráním train data z nadřazeného informačního systému TMS a jejich zasláním na vozidlo namísto ručního zadávání strojvedoucím.</i> |

| Záznam o nebezpečí | H03 |
|---------------------|---|
| Název nebezpečí | <u>Chybně zadaná délka vlaku – bezpečný konec vlaku</u> |
| Popis nebezpečí | <p><i>Přesná délka vlaku je vzhledem k redukci detekčních prostředků klíčový bezpečnostně relevantní údaj, neboť se využívá k výpočtu bezpečného konce vlaku (viz kap. 4.3.2.2). Situace, kdy bude zadaná délka vlaku větší, než skutečná, nevyvolává přímo k nebezpečí – dojde „pouze“ ke zhoršení výkonnostních parametrů systému – zj. propustnosti infrastruktury v místě jízdy takového vlaku. Vlak se také v tomto případě při zastavení nemusí vejít mezi námezníky (neuvolní zadní námezník) dvou výhybek ve stanici, ačkoliv fyzická délka nepřesahuje vzdálenost těchto námezníků.</i></p> <p><i>Riziková je ale situace, kdy bude zadána menší délka vlaku, než je jeho skutečná délka – dojde tak k chybnému výpočtu bezpečného konce vlaku nebezpečným směrem. To může vést např. k najetí následného vlaku na vlak s chybně zadanou délkou nebo k podhození výhybky pod vlakem.</i></p> |
| Hodnocení rizika | <i>Závažnost následků by mohla být až katastrofická – s možnými ztrátami na životech v případě najetí dalšího vlaku nebo podhození vlaku. Četnost výskytu se dá však charakterizovat jako občasná – pravděpodobně se vyskytnou několikrát. Celkově lze tedy úroveň rizika hodnotit jako nepřípustnou.</i> |
| Požadavky, opatření | <i>Vzniká zde tedy požadavek na snížení celkové úrovně rizika, nejlépe technickým prostředkem.</i> |

| | |
|---------------------------|--|
| | <i>Vzhledem k rozsáhlosti se mu věnuje samostatná kapitola 4.6.1.</i> |
| Následné hodnocení rizika | <i>Následnou verifikací délky technickým prostředkem se sníží četnost chybné délky v systému na nepravděpodobnou. Celkově lze pak tedy úroveň rizika hodnotit jako přípustnou.</i> |

| Záznam o nebezpečí | H04 |
|--------------------|--|
| Název nebezpečí | <u>Chybně zadaná délka vlaku – brzdná křivka</u> |
| Popis nebezpečí | <i>Parametr délky vlaku také vstupuje do výpočtu brzdných parametrů v OBU (S026-3 [23], kap. A.3.8 a A.3.9 – doba náběhu brzdy). V případě zadání kratší délky, než je skutečná délka vlaku, mohou být negativně ovlivněny vypočtené doby nebezpečným směrem.</i> |
| Hodnocení rizika | <p><i>Nebezpečí není v navrhovaném systému nové – je přítomno i u současných OBU. Jako jisté opatření se může jevit následné potvrzení korektnosti zadaných train data.</i></p> <p><i>Závažnost následků by mohla být až katastrofická – s možnými ztrátami na životech v případě nehody v důsledku vykolejení při překročení rychlosti nebo projetí EoA a následnému střetu s jiným vlakem. Nicméně obecně závažnost případných následků snižuje to, že dlouhé vlaky s delším náběhem brzdy mají obecně spíše nižší skutečná brzdící % a nižší dovolenou rychlost, než krátké osobní vlaky., což vede k tomu, že doba náběhu brzdy²⁷ ve většině případů nehraje majoritní roli v procesu brzdění.</i></p> <p><i>Četnost výskytu se dá však charakterizovat jako nepravděpodobná – lze předpokládat, že nebezpečí může výjimečně nastat. Celkově lze tedy</i></p> |

²⁷ Např. hodnoty náběhu brzdy dle Subsetu 026-3 [23], kap. A.3.8 vycházejí pro nákladní vlak délky 750 m v G cca 16 s oproti 13 s u vlaku délky 50 m, tedy 15x kratšího.

| | |
|---------------------|---|
| | <i>úroveň rizika hodnotit jako přípustné.</i> |
| Požadavky, opatření | <i>Četnost chybného zadání údajů v train data by se dala snížit automatizovaným přebíráním train data z nadřazeného informačního systému TMS a jejich zasláním na vozidlo namísto ručního zadávání strojvedoucím.</i> |

c) Dynamické parametry (brzda, trakce)

Trakční model, brzdny model (brzdící procenta), pozice přestavovače brzd, korekční faktory, koeficienty rotujících hmot.

Tyto parametry slouží jako vstupy do OBU pro výpočet brzdnych křivek vlaku v dynamickém rychlostním profilu. Do traťové části se v pkt 11 neposílají. Většina jich je napevno zadána při zástavbě OBU na vozidlo.

Bezpečnostně relevantní: Ano, brzdící procenta vlaku.

Identifikovaná nebezpečí:

| Záznam o nebezpečí | H05 |
|---------------------------|--|
| Název nebezpečí | <u>Zadání vyšších brzdících %</u> |
| Popis nebezpečí | <i>Existuje zde riziko, že strojvedoucí zadá při SoM do OBU vyšší brzdící %, než kterých reálně dosahuje vlak s danou sestavou. Chybně zadané br% povedou k chybné modelaci brzdnych křivek a potencionálnímu riziku projetí EoA, resp. místa se snížením rychlosti, rychlostí vyšší rychlostí, než je dovolená.</i> |
| Hodnocení rizika | <i>Nebezpečí není v navrhovaném systému nové – je přítomno i u současných OBU. Jako jisté opatření se může jevit následné potvrzení korektnosti zadaných train data. Kritický může být „překlep“ zejména na pozici stovek – např. zadání 150 br% namísto reálných 50 br%.</i> <i>Závažnost následků by mohla být až katastrofická – s možnými ztrátami na životech v případě nehody v důsledku vykolejení při překročení rychlosti nebo projetí EoA a následnému střetu</i> |

| | |
|---------------------|---|
| | <p>s jiným vlakem.</p> <p>Četnost výskytu se dá však charakterizovat vzhledem k dvojímu potvrzení jako nepravděpodobná – lze předpokládat, že nebezpečí může výjimečně nastat. Celkově lze tedy úroveň rizika hodnotit jako přípustné.</p> |
| Požadavky, opatření | <p>Četnost chybného zadání údajů v train data by se dala snížit automatizovaným přebíráním train data z nadřazeného informačního systému TMS a jejich zasláním na vozidlo namísto ručního zadávání strojvedoucím, případně načítáním z vlakové sběrnice (viz kap. 4.6.2.)</p> |

d) Maximální rychlost vlaku

Zdroj dat: zadává strojvedoucí na DMI

Proměnná v pkt 11: V_MAXTRAIN

Rozsah hodnot: 0–500 km.h⁻¹, rozlišení 5 km.h⁻¹

Bezpečnostně relevantní: Ano

Identifikovaná nebezpečí:

| Záznam o nebezpečí | H06 |
|--------------------|--|
| Název nebezpečí | <u>Zadání vyšší max. rychlosti</u> |
| Popis nebezpečí | <p>V train data může dojít k chybnému zadání maximální rychlosti vlaku – potenciální chybou nebezpečným směrem je zadání vyšší rychlosti, než je konstrukční/dovolená rychlost vlaku. To může vést k překročení max. konstrukční rychlosti vozidla/vozidel při jízdě s negativními následky (vykolejení, mechanické poškození vozidla/infrastruktury apod.).</p> |
| Hodnocení rizika | <p>Nebezpečí není v navrhovaném systému nové – je přítomno i u současných OBU. Jako jisté opatření se může jevit následné potvrzení korektnosti zadaných train data. Kritický může být „překlep“ zejména v pozici stovek – např. zadání 150 km.h⁻¹ namísto reálných 50 km.h⁻¹.</p> |

| | |
|---------------------|--|
| | <p><i>Závažnost následků by mohla být až katastrofická – s možnými ztrátami na životech v případě nehody v důsledku vykolejení při překročení rychlosti nebo projetí EoA a následnému střetu s jiným vlakem.</i></p> <p><i>Četnost výskytu se dá však charakterizovat vzhledem k dvojímu potvrzení jako nepravděpodobná – lze předpokládat, že nebezpečí může výjimečně nastat. Celkově lze tedy úroveň rizika hodnotit jako přípustné.</i></p> |
| Požadavky, opatření | <p><i>Četnost chybného zadání údajů v train data by se dala snížit automatizovaným přebíráním train data z nadřazeného informačního systému TMS a jejich zasláním na vozidlo namísto ručního zadávání strojvedoucím, případně načítáním z vlakové sběrnice.</i></p> |

e) Průjezdny profil

Zdroj dat: zadává strojvedoucí na DMI

Proměnná v pkt 11: M_LOADINGGAUGE

Rozsah hodnot: výčet viz Subset 026 [25], kap. 7.5.1.68

Bezpečnostně relevantní: Ano, potenciální chyba nebezpečným směrem = zadání menšího průřezu, než je potřeba pro daný vlak

RBC neumožní vydání MA na místa, která nejsou vhodná pro daný vlak; chybně zadaný průjezdny profil umožní jízdu vlaku na nekompatibilní železniční infrastruktuře s potenciálním rizikem kolize vlaku s překážkou.

f) Třída nápravového zatížení

Zdroj dat: zadává strojvedoucí na DMI

Proměnná v pkt 11: M_AXLELOADCAT

Rozsah hodnot: výčet viz [25], kap. 7.5.1.62

Bezpečnostně relevantní: Ano, potenciální chyba nebezpečným směrem = zadání nižší třídy, než je potřeba pro daný vlak.

RBC neumožní vydání MA na místa, která nejsou vhodná pro daný vlak; chybně zadaná třída nápravového zatížení umožní jízdu vlaku

na nekompatibilním železničním svršku/spodku s rizikem možného poškození, vykolejení apod.

g) Napájecí soustava/y hnacího vozidla

Zdroj dat: napevno zadané hodnoty při zástavbě OBU na dané vozidlo

Proměnná v pkt 11: M_VOLTAGE (k) , NID_CTRACTION (k)

Rozsah hodnot: 0–4095 m, rozlišení 1 m

Bezpečnostně relevantní: Ano, RBC omezuje generování MA na místa, která nejsou vhodná pro dané hnací vozidlo; chybně zadaný trakční systém umožní zajetí činného vozidla pod nekompatibilní trakční systém.

Identifikovaná nebezpečí (souhrnně pro e), f), g):

| Záznam o nebezpečí | H07 |
|--------------------|---|
| Název nebezpečí | <u>Chybné přiřazení rychlostního/průjezdného profilu/trakční soustavy</u> |
| Popis nebezpečí | <p><i>V train data může dojít k chybnému zadání průjezdného profilu, třídy nápravového zatížení pro daný vlak. Potencionální chybou nebezpečným směrem je získání více dovolujícího profilu, než by odpovídalo správným údajům (např. rychlostní profil pro vozidla s naklápěcí skříní pro HV bez naklápěcí skříně). V případě průjezdného profilu je situace obdobná – vlak se pak nemusí vejít do průjezdného průřezu dané části infrastruktury s potenciálem poškození; v případě max. nápravového zatížení daná část infrastruktury nemusí vyhovovat pro skutečné nápravové zatížení vlaku (s potenciálním poškozením železničního svršku/spodku a následnému vykolejení). V případě g) se může činné hnací vozidlo dostat pod nekompatibilní trakční soustavu.</i></p> |
| Hodnocení rizika | <p><i>Nebezpečí není v navrhovaném systému nové – je přítomno i u současných OBU. Jako jisté opatření se může jevit následné potvrzení korektnosti zadaných train data. V případě napájecí soustavy vozidla pak kontrola údajů po instalaci a oživení</i></p> |

| | |
|----------------------------|--|
| | <p><i>OBU (fixní data zadaná při instalaci OBU).</i></p> <p><i>Závažnost následků by mohla být až katastrofická – s možnými ztrátami na životech v případě nehody v důsledku vykolejení při překročení rychlosti při chybném profilu/překročení přechodnosti.</i></p> <p><i>Četnost výskytu se dá však charakterizovat vzhledem k dvojímu potvrzení a kontrole parametrů přechodnosti na straně infrastruktury jako nepravděpodobná – lze předpokládat, že nebezpečí může výjimečně nastat – autorovi není v ČR znám žádný takový případ. Celkově lze tedy úroveň rizika hodnotit jako přípustné.</i></p> |
| <p>Požadavky, opatření</p> | <p><i>Četnost chybného zadání údajů v train data by se dala snížit automatizovaným přebíráním train data z nadřazeného informačního systému TMS a jejich zasláním na vozidlo namísto ručního zadávání strojvedoucím.</i></p> |

h) Vybavení vlaku vzduchotěsným systémem

Zdroj dat: zadává strojvedoucí na DMI

Proměnná v pkt 11: M_AIRTIGHT

Rozsah hodnot: {vybaven | nevybaven}

Bezpečnostně relevantní: Ne

i) Přehled dostupných národních VZ

Zdroj dat: napevno zadané hodnoty při zástavbě OBU na dané vozidlo

Proměnná v pkt 11: NID_NTC (k)

Bezpečnostně relevantní: Ne, případný chybějící STM v seznamu uvedený modul bude detekován při pokusu o použití.

j) Počet náprav²⁸

Zdroj dat: napevno zadaná hodnoty při zástavbě OBU na dané vozidlo

Proměnná v pkt 11: N_AXLE

Rozsah hodnot: 0–1022 náprav nebo „neznámé“

Bezpečnostně relevantní: Ne

Data, u kterých je v přehledu výše uvedena příslušná proměnná v pkt 11, jsou následně po dokončení zadání právě ve zmíněném pkt 11 Validated train data zaslána do RBC. RBC jejich příjem potvrdí msg 8 Acknowledge of train data.

4.3.2 Informace o pozici vlaku

V systému ETCS podle v době psaní práce platných specifikací – Subsetu 026-4 [24] oznamuje vlak (přesněji aktivní OBU v příslušném módu – viz dále) traťové části (RBC) svoji polohu periodicky zasíláním zprávy s paketem číslo 0 - Position Report (dále PR, podrobněji viz kap. 7.4.3.1 Subsetu 026-4 [24]).

4.3.2.1 Zasílání PR dle módu OBU

Požadavky, ve kterých módech při kterých situacích musí OBU zasílat PR, jsou stanoveny v Subsetu 026-4 [24], tabulka 1: Active Functions table. Relevantní data pro tuto práci z tabulky na zasílání PR lze shrnout jako:

| Mód OBU | OBU zasílá PR | | Komentář |
|---|-------------------------------------|----------------------------|---|
| | Dle požadavků RBC, viz kap. 4.3.2.4 | Při ztrátě integrity vlaku | |
| Non Power (NP) System Failure (SF) Isolation (IS) | ne | ne | OBU není napájeno, případně v neprovozním stavu/izolaci => neposílá PR, RBC není informováno o pohybu! |
| Stand By (SB) | ano | ano | OBU v tomto módu zabrání |

²⁸ Počet náprav hnacího vozidla/ucelené jednotky vybavené OBU – nikoliv celého vlaku.

| | | | |
|---|-----|-----|---|
| | | | případnému pohybu vlaku |
| Shunting (SH) Passive Shunting (PS) Sleeping (SL) | ne | ne | Neposílá PR, RBC není informováno o pohybu! |
| Full supervision (FS) Limited Supervision (LS) Staff Responsible (SR) On Sight (OS) Trip (TR) Post Trip (PT) Reversing (RV) | ano | ano | |
| Non Leading (NL) Unfitted (UN) | ano | ne | V módu NL reportuje celistvost vlaku OBU na vedoucím hnacím vozidle |

Tabulka 2: Zasílání PR v závislosti na módu OBU

Identifikovaná nebezpečí:

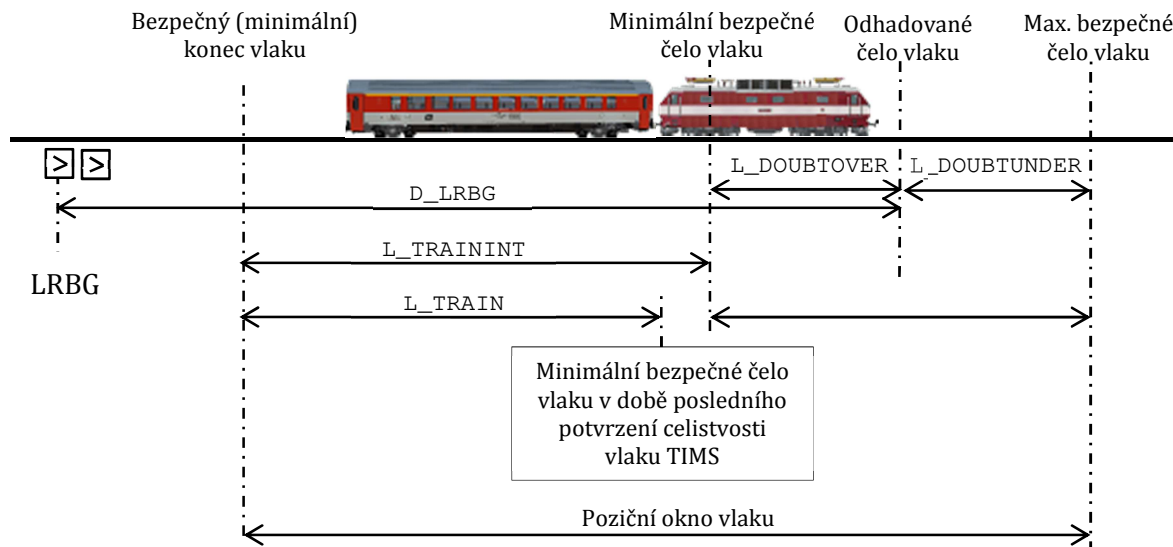
| Záznam o nebezpečí | H08 |
|---------------------|---|
| Název nebezpečí | <u>Módy OBU, kdy se nevysílá PR – ghost train</u> |
| Popis nebezpečí | <i>Analýzou chování OBU dle současných specifikací byly nalezeny módy OBU (NP, SF, IS, SH, PS, SL), ve kterých OBU nevysílá position report (PR), což je při uvažované redukci detekčních prostředků zásadní informace pro monitorování pohybu vozidel. Vlak pohybující se bez dalších opatření a nevysílající PR (v anglické literatuře označován jako „ghost train“) představuje bezpečnostní riziko.</i> |
| Hodnocení rizika | <i>Závažnost následků by mohla být až katastrofická – s možnými ztrátami na životech v případě střetu či podhození takového vlaku. Četnost výskytu se dá charakterizovat jako častá – jedná se o běžně používané módy. Celkově lze tedy úroveň rizika hodnotit jako nepřípustnou.</i> |
| Požadavky, opatření | <i>V módech, ve kterých je to technicky možné (SH, PS, SL) upravit specifikace tak, aby vozidlo vysílalo své PR.</i> |

| | |
|---------------------------|---|
| | <p><i>V případě aplikace požadavku zůstávají módy NP, SF, IS. V případě prvních dvou jmenovaných je otevřen ventil nouzové brzdy a je znemožněno pohybovat s vozidlem. V případě zavedení IS je provedena izolace OBU od ovládání nouzové brzdy. Je potřeba minimalizovat používání módu IS pouze na případy nezbytného stažení vlaku s poruchou některé části systému pomocí dalšího vozidla/vlaku zavedením dodatečných předpisových opatření a pravidelným školením personálu.</i></p> |
| Následné hodnocení rizika | <p><i>Lze pak předpokládat snížení četnosti na nepravděpodobnou a celkovou úroveň rizika lze tak hodnotit jako přípustnou.</i></p> |

4.3.2.2 Princip určení pozice

Pro určení pozice je klíčový obsah proměnné NID_LRBG v pkt 0, který obsahuje jedinečný identifikátor poslední relevantní přečtené balízové skupiny (LRBG) jakožto vztažného bodu v infrastruktuře na systému známém umístění. V proměnné D_LRBG je zasílána tzv. odhadovaná vzdálenost (aktivního) čela vlaku od LRBG. Vzhledem k nepřesnostem jak při měření ujeté vzdálenosti (systém odometrie), tak i při určení středu referenční balízy v balízové skupině²⁹ a bezpečnostní relevanci informace o pozici čela vlaku jsou v pkt 0 uvedeny také meze odhadované ujeté vzdálenosti – tzv. konfidenční interval uvádějící možný rozptyl skutečné polohy čela vlaku – dolní hranici rozptylu udává proměnná L_DOUBTOVER, horní L_DOUBTUNDER, přičemž rozdělení pravděpodobnosti se uvažuje Gaussovo rozdělení. Při přičtení těchto mezí pak hovoříme o minimálním bezpečném a maximálním bezpečném čelu vlaku – tyto vztahy zachycuje obrázek 14. Podrobně je celý postup určení pozice v infrastruktuře popsán a vysvětlen v Subsetu 026 [23], kap. 3.6.

²⁹ Subset 041 [30] v kap. 5.3.1.1 požaduje přesnost $\pm (5 \text{ m} + 5\% \text{ z ujeté vzdálenosti od poslední balízy; neboli } 5 + 0,05 * D_LRBG \text{ [m]})$, nebo lepší, což můžeme tedy považovat za maximální hodnoty proměnných L_DOUBTOVER, resp. L_DOUBTUNDER; při překročení tohoto maxima musí OBU přejít do stavu SF – System Failure



Obrázek 14: Bezpečné čelo a konec vlaku dle S026 [23]

Z hlediska zde popisovaného systému s důrazem na minimalizaci prvků v infrastruktuře jsou podstatné i další proměnné – Q_LENGTH a $L_TRAININT$, které se u ETCS nižších úrovní (L1 a L2) nevyužijí. Dále jsou uvedeny významy 4 možných hodnot proměnné Q_LENGTH dle Subsetu 026-7 [25], která přenáší informaci o celistvosti vlaku:

| Hodnota | Význam |
|---------|--|
| 0 | Není dostupná informace o integritě vlaku (vlak není vybaven zařízením pro kontrolu integrity vlaku) |
| 1 | Integrita vlaku potvrzena technickým zařízením |
| 2 | Integrita vlaku potvrzena strojvedoucím (lidský činitel) |
| 3 | Ztráta informace o integritě vlaku |

Tabulka 3: Význam hodnot Q_LENGTH

Identifikovaná nebezpečí:

| Záznam o nebezpečí | H09 |
|--------------------|---|
| Název nebezpečí | <u>Falešné potvrzení celistvosti vlaku – lidský činitel</u> |
| Popis nebezpečí | <i>Informace o celistvosti vlaku je při redukci detekčních prvků klíčovým údajem pro výpočet části infrastruktury obsazené vlakem. Současný Subset 026 [25] udává bez dalších podrobností možnost</i> |

| | |
|---------------------|--|
| | <i>potvrzení celistvosti lidským činitelem (vyjádřeno proměnnou Q_LENGTH=2), ve specifikacích DMI se ovšem tato možnost nevyskytuje. V případě využití této možnosti hrozí riziko falešného potvrzení celistvosti.</i> |
| Hodnocení rizika | Závažnost následků by mohla být až katastrofická – s možnými ztrátami na životech v případě střetu s utrženou částí vlaku, o které systém nemá informace. Četnost výskytu se dá však charakterizovat jako občasná . Celkově lze tedy úroveň rizika hodnotit jako nepřípustnou . |
| Požadavky, opatření | <i>Doporučuji tento způsob potvrzení celistvosti obecně nepoužívat.</i> |

| Záznam o nebezpečí | H10 |
|---------------------|--|
| Název nebezpečí | <u>Falešné potvrzení celistvosti vlaku – technický prostředek</u> |
| Popis nebezpečí | <i>Informace o celistvosti vlaku je při redukci detekčních prvků klíčovým údajem pro výpočet části infrastruktury obsazené vlakem. Předchozí záznam o nebezpečí řešil riziko falešného potvrzení celistvosti obsluhou, nicméně v obecné rovině hrozí i riziko falešného potvrzení celistvosti technickým zařízením (systém TIMS).</i> |
| Hodnocení rizika | Závažnost následků by mohla být až katastrofická – s možnými ztrátami na životech v případě střetu s utrženou částí vlaku, o které systém nemá informace. Četnost výskytu se dá však charakterizovat vzhledem k požadavkům na TIMS jakožto technické zařízení s vlivem na bezpečnost jako nepravděpodobná . Celkově lze tedy úroveň rizika hodnotit jako přípustnou . |
| Požadavky, opatření | <i>Nejsou.</i> |

V případě, kdy je potvrzená celistvost vlaku (Q_LENGTH=1 nebo 2), je v proměnné L_TRAININT dostupná tzv. bezpečná délka vlaku, což je vzdálenost

mezi minimálním čelem vlaku v době posledního potvrzení celistvosti a bezpečným koncem vlaku – zohledňuje tedy ujetou vzdálenost za dobu, kdy naposledy od zařízení pro detekci celistvosti vlaku (TIMS) přišla validní informace o celistvosti vlaku³⁰. Pro budoucí potřeby si nadefinujeme pojem **Poziční okno vlaku (PO)** – jedná se o prostor v infrastruktuře mezi max. bezpečným čelem vlaku a minimálním koncem vlaku.

Posledním parametrem, který je potřeba zmínit, je proměnná V_TRAIN , která s rozlišením 5 km.h^{-1} udává aktuální rychlost vlaku. Při dalším použití této hodnoty je potřeba zahrnout přesnosti měření – podle kapitoly 5.3.1.2 Subsetu 041 [30] je požadovaná přesnost měření rychlosti na vozidle $\pm 2 \text{ km.h}^{-1}$ pro rychlosti nižší než 30 km.h^{-1} , nad touto rychlostí dovolená nepřesnost lineárně roste až do hodnoty $\pm 12 \text{ km.h}^{-1}$ při rychlosti 500 km.h^{-1} . Kapitola 5.3.1.3 v Subsetu 041 [30] udává maximální stáří poskytované informace o rychlosti v proměnné V_TRAIN v pkt 0 PR na méně než 1 s.

4.3.2.3 Stáří informací v PR

Při zpracování informací uváděných v PR je potřeba uvažovat s časovým zpožděním, od vzniku dat zaslaných v PR po obdržení zprávy v IZZ až do jejího zpracování. Během této doby může být vlak v pohybu ($V_TRAIN > 0$) a v tomto případě během této doby se reálné čelo i konec vlaku pohybují. V okamžiku obdržení zprávy v traťové části již tedy reálná pozice vlaku může být jiná.

První část možného zpoždění vzniká na vozidle. Subset 041 [30] definuje v kapitole 5.3.1.3 maximální možnou dobu zpracování informace o poloze v OBU od okamžiku výskytu vozidla v ohlašované poloze do okamžiku odeslání hlášení polohy do stacionární části na 1 s – tedy $\max(t_{PR-OBU}) = 1s$.

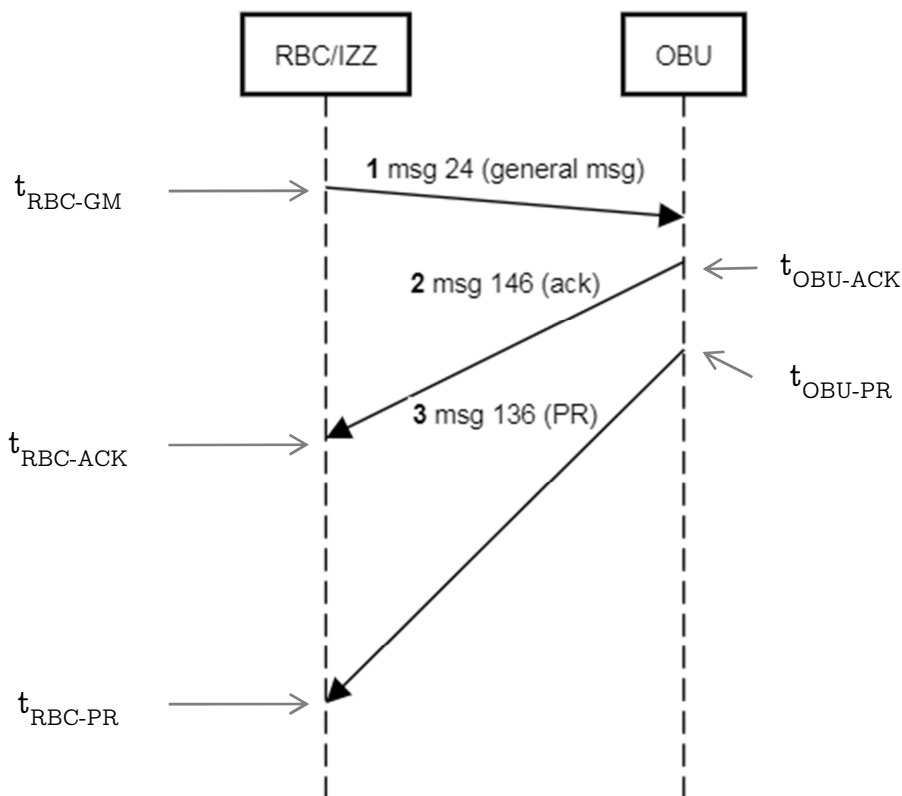
Další část zpoždění je způsobena přenosovou sítí vozidlo – traťová část (RBC/IZZ) a jedná se o čas od příjmu zprávy po doručení zprávy na konec komunikačního řetězce – označíme ji t_{kom} . Bohužel maximální hodnota tohoto zpoždění není v subsetech definována a není ani obecně doložitelná, což může činit problémy při určení projetí čela vlaku nějakým bodem v infrastruktuře (v rámci uděleného MA) – tato informace se do traťové části může dostat se zpožděním,

³⁰ Předpokládá se dopravní zpoždění při roztržení vlaku, které případně na zjištění ztráty celistvosti v TIMS a přenos informace do OBU.

jehož maximální hodnotu pro všechny zprávy nelze z pohledu bezpečnosti vyčíslit a garantovat.

Lze však určit hodnotu maximální pro danou konkrétní PR zprávu. Při postupu se využije zpracování informací z časových značek ve zprávách (OBU i RBC vkládají do zpráv časové značky). Postup je tento:

1. RBC/IZZ odešle OBU msg 24 General Message (obecná zpráva) s žádostí o potvrzení jejího korektního přijetí ($M_ACK = 1$) a s pkt 58 obsahujícím požadavek o okamžité ohlášení polohy (viz kapitola 4.3.2.4, bod e) $M_LOC=0$).
2. OBU po jejím přijetí odešle RBC/IZZ potvrzení o přijetí – msg 146 ACK s časovou značkou dle hodin OBU. Součástí odpovědi je i původní časová značka zprávy od RBC, ke které se potvrzení (ACK) vztahuje.
3. Poté OBU určí aktuální polohu vozidla a odešle msg 136 PR. Na základě znalosti okamžiku odeslání msg 24 a okamžiku přijetí msg 146 je možné určit konkrétní maximální hodnotu zpoždění pro tento PR.



Obrázek 15: Zpoždění přenosu PR – časové parametry

Jak je znázorněno na obrázku výše, obecně přenosy zpráv (zde ACK a PR) z vozidla do traťové části mohou trvat různou dobu. Rozdíl v době přenosu msg 146 (ACK) a msg 136 (PR) pak můžeme vyjádřit jako:

$$\Delta t_{ACK-PR} = t_{RBC-PR} - t_{RBC-ACK} - t_{OBU-PR} - t_{OBU-ACK} \quad (1)$$

Horní mez zpoždění přenosu PR pak můžeme definovat jako:

$$\max(t_{kom PR}) = t_{RBC-ACK} - t_{RBC-GM} + \Delta t_{ACK-PR} \quad (2)$$

Celkový maximální čas od načtení dat posílaných v PR po doručení do traťové části tedy bude:

$$t_{kom max} = \max(t_{kom PR}) + \max(t_{PR-OBU}) \quad (3)$$

Vyjádřeno v maximální ujeté dráze za tuto dobu:

$$\max(s_{diff}) = \int_{t_0}^{t_0+t_{kom max}} v(t) * dt \quad (4)$$

4.3.2.4 Četnost zasílání PR

Pkt 0 s PR může být zasílán:

- a) Periodicky v čase.
- b) Periodicky po dané ujeté vzdálenosti.
- c) Pokud daným bodem infrastruktury projede bezpečné čelo vlaku nebo bezpečný konec vlaku.
- d) Při změně LRBG, změně módu OBU, ztrátě integrity vlaku.
- e) Okamžitě na základě zaslání požadavku RBC.

Ad a) + b) Jak často bude zpráva s pkt číslo 0 PR palubní částí zasílána, může RBC ovlivnit prostřednictvím zprávy s pkt číslo 58 – Position Report Parameters (viz Subset 026-7 [6], kap. 7.4.2.15) zaslání OBU. Periodické zasílání PR je možné nastavit po určitém časovém intervalu (proměnná T_CYCLOC, rozsah 0–254 s, rozlišení 1 s).

Ad c) Pro zaslání PR v určitém bodě od LRBG je možné vytvořit seznam k hodnot (max(k)=32) – k tomu slouží proměnná D_LOC(k), s rozsahem 0 – 327,660 km, rozlišením 10 cm, 1 m nebo 10 m podle hodnoty Q_SCALE. Lze

také určit pomocí proměnné $Q_LGTLOC(k)$, zda PR bude zasláno, pokud zadaným bodem projede bezpečné čelo vlaku nebo bezpečný konec vlaku.

Ad d) Jedná se o výchozí chování OBU.

Ad e) Pkt číslo 58 s speciální hodnotou proměnné $M_LOC=0$ je žádost o okamžité zaslání pkt 0 PR.

4.3.2.5 Protahování pozičního okna

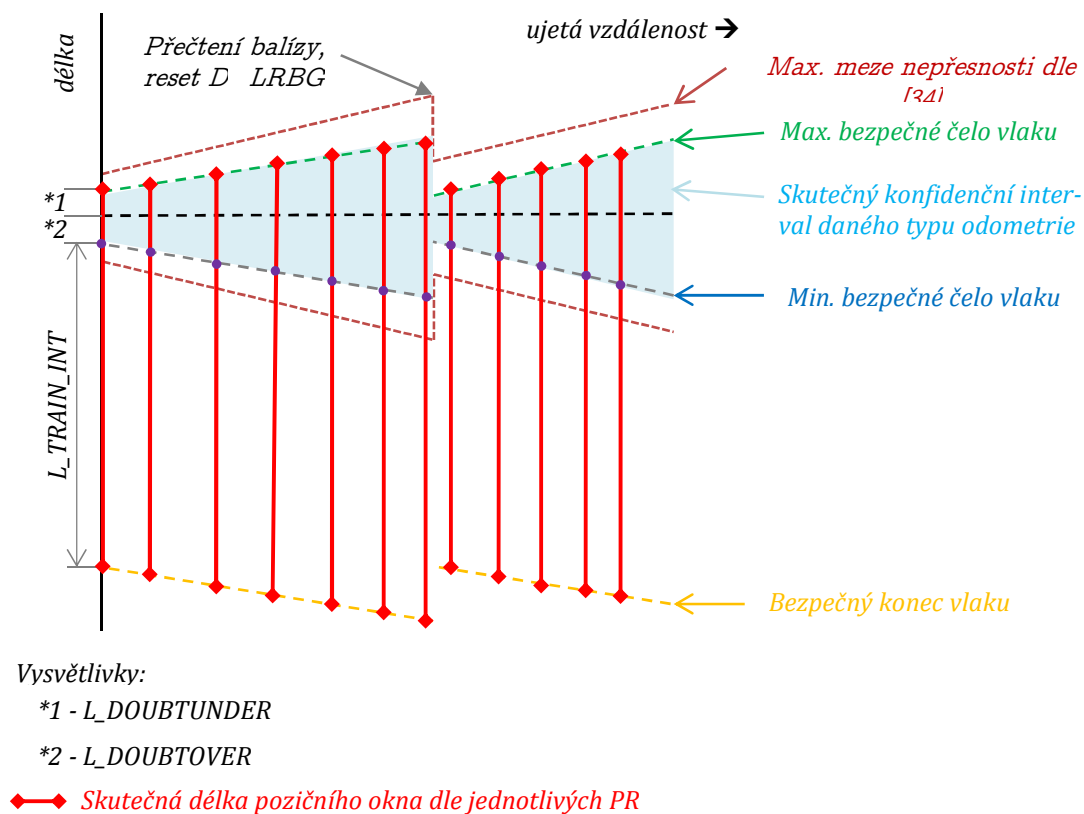
Vlivem nepřesností v určení pozice uvedených v předchozích kapitolách (kap. 4.3.2.2 a dle obrázku 14) se dá předpokládat, že bude docházet k „pulsování“³¹ délky pozičního okna vlaku při jeho pohybu, jak ukazuje obrázek 16.

Maximální délka pozičního okna je dána vztahem:

$$l_{PO\ max} = L_TRAIN_INT + (5 + 0,05 * D_LRBG) \quad (5)$$

Délka pozičního okna v jednotlivých iteracích je znázorněna svislou červenou úsečkou mezi dvěma kosočtverci. Z obrázku je vidět, že po přečtení balízy ($D_LRBG = 0$) a tudíž resetu konfidenčního intervalu ($L_DOUBTOVER = \max. 5$ m, $L_DOUBTUNDER = \max. 5$ m) se skokově sníží i délka pozičního okna, která postupně s rostoucím $L_DOUBTOVER$ a $L_DOUBTUNDER$ opět zvětšuje.

³¹ *Prodlužování a skokovému zkrácení při přečtení balízy.*



Obrázek 16: Znárodnění pulsování pozičního okna

4.3.3 Adresná konfigurace IZZ

Adresnou konfigurací (ASW) se rozumí všechna konfigurační data generického systému spjatá s jeho konkrétní (adresnou) instalací v dané lokalitě, v tomto případě na dané železniční infrastruktuře.

Jedná se tedy o data z těchto oblastí:

- Topologie železniční sítě v dohlížené oblasti (popis ve formě orientovaného grafu).
- Parametry jednotlivých prvků infrastruktury (výhybek, umístění balíz, umístění přejezdů + jejich parametry, rychlostní profily pro dané úseky infrastruktury, délky úseků, třídy přechodnosti, trakční systémy, místa s překlenutím záchranné brzdy, názvy dopravních bodů apod.).
- Data pro vazbu prvků a příslušných objektových kontrolérů.

Identifikované nebezpečí:

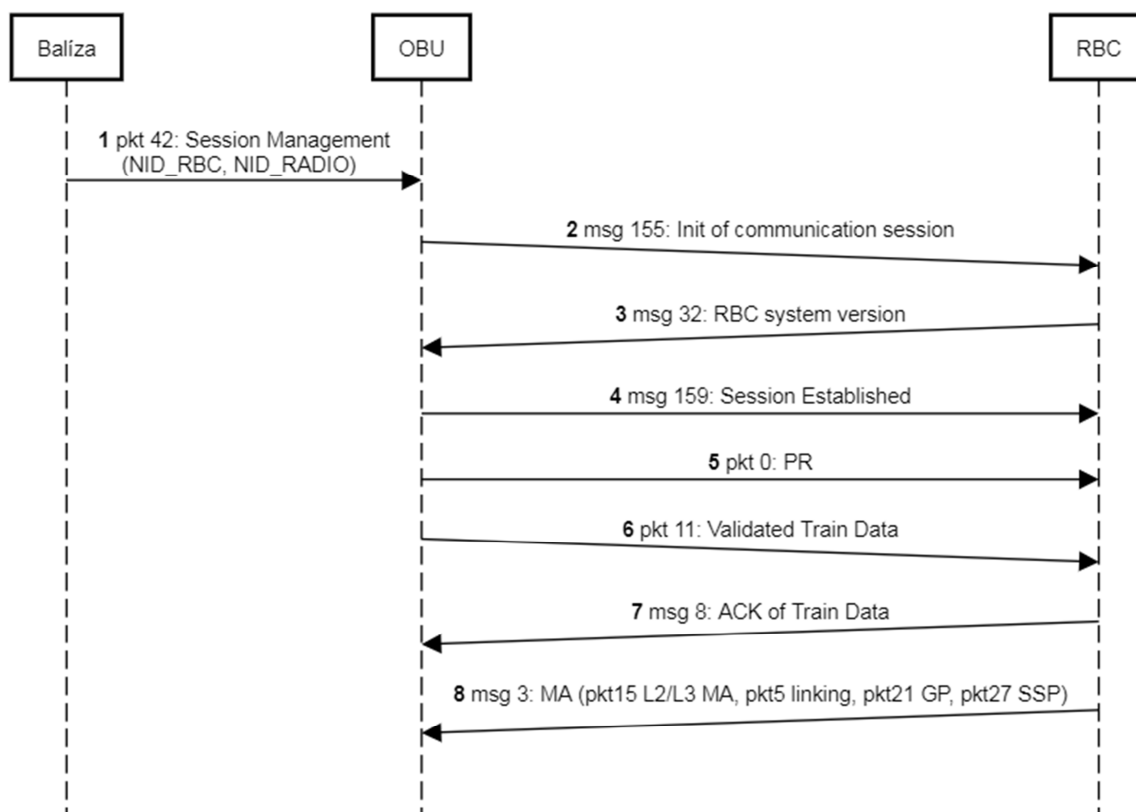
| Záznam o nebezpečí | H11 |
|---------------------|---|
| Název nebezpečí | <u>Chybná data v adresné konfiguraci IZZ</u> |
| Popis nebezpečí | <p><i>Na správnosti dat obsažených v adresné konfiguraci IZZ závisí mnoho bezpečnostně relevantních funkcí. Jedná se například o délky úseků, nejvyšší dovolené rychlosti v daných úsecích, sklonové parametry (vše s vlivem udělení MA a následné výpočty DSP).</i></p> |
| Hodnocení rizika | <p>Závažnost následků by mohla být až katastrofická – s možnými ztrátami na životech v případě nehody (vykolejení při chybném rychlostním profilu, srážka s jiným vlakem kvůli chybným datům o délce koleje apod.). Četnost výskytu se dá však charakterizovat jako občasná. Celkově lze tedy úroveň rizika hodnotit jako nepřípustnou.</p> |
| Požadavky, opatření | <p><i>Ke snížení četnosti rizika mohou vést opatření jak při tvorbě, tak i následné verifikaci vytvořené adresné konfigurace.</i></p> <p><i>Mnoho kontrol lze nad konfiguračními daty provádět automatizovaně, byť mohou mít omezený rozsah, kdy zjistí chybu. Například u dvojkolejné tratě se společným směrovým vedením lze automatizovaně porovnávat délky mezistaničních úseků v obou traťových kolejích, sklonové poměry v obou kolejích apod. S verifikací délkových parametrů pak pomohou zkušební jízdy, kdy např. musí při zohlednění příslušných nepřesností odometru souhlasit vzdálenosti balízových skupin apod.</i></p> <p><i>Jako součást vstupních podkladů je možné s výhodou využít již dříve zpracovaný a např. jízdami měřícího vozu verifikovaný popis topologie a parametrů infrastruktury ve standardizovaném formátu, jako je např. UIC RailTopomodel. U novějších projektů se nabízí i využití digitálního modelu železniční stavby jako jednoho ze vstupních podkladů.</i></p> |

| | |
|---------------------------|--|
| Následné hodnocení rizika | Při zavedení systematických opatření lze pak předpokládat snížení četnosti na nepravděpodobnou a celkovou úroveň rizika lze tak hodnotit jako přípustnou . |
|---------------------------|--|

4.4 Základní funkce systému

4.4.1 Komunikace OBU–IZZ

Navázání spojení proběhne při zapnutí OBU. Parametry spojení jsou uloženy v balížích v oblasti. V případě probuzení OBU je možné využít poslední známé komunikační parametry, v případě neznámých parametrů je možné zadání strojvedoucím na DMI. Následuje kontaktování IZZ/RBC, navázání zabezpečeného spojení, výměna informací o verzích, zaslání PR a train data, jak bylo popsáno dříve. Po potvrzení train data od RBC je možné zaslat informace o trati spolu s MA.



Obrázek 17: Informační toky – navázání komunikace

4.4.2 Udržování informací o obsazených částech infrastruktury

Informace o obsazených částech infrastruktury se odvozují z hlášených position reportů (PR). Jako obsazená se považuje část infrastruktury mezi bezpečným čelem a bezpečným koncem vlaku (viz kapitola 4.3.2.2). V případě, kdy by za jízdy vlaku došlo k roztržení vlaku (ztráta informace o celistvosti vlaku v OBU/TIMS), přestává se posouvat bezpečný konec vlaku a zůstává v místě, kde naposledy byla potvrzena celistvost.

V případě výpadku spojení s OBU se vlak může pohybovat pouze v případě, že mu ještě před výpadkem bylo udělené MA. Konec tohoto MA vlak nesmí překročit, na to stále dohlíží OBU. Jako obsazený je pak potřeba v případě výpadku spojení počítat celý prostor uděleného MA. Po opětovném obnovení spojení je možné obsazený prostor zkrátit podle skutečných údajů o poloze bezpečného čela/konce vlaku. Je potřeba připomenout, že MA, resp. jeho sekce, mají omezenou časovou platnost.

Identifikovaná nebezpečí:

| Záznam o nebezpečí | H12 |
|---------------------|---|
| Název nebezpečí | <u>Nekontrolovaný pohyb vlaku s vypnutou nebo nefunkční OBU.</u> |
| Popis nebezpečí | <i>Bylo identifikováno nebezpečí spojené s pohybem vlaku, o kterém z důvodu vypnuté/nefunkční OBU nemá IZZ informace/ nemá nad ním dohled a pro systém je tudíž „neviditelný“.</i> |
| Hodnocení rizika | <i>Závažnost následků by mohla být až katastrofická – s možnými ztrátami na životech v případě střetu. Četnost výskytu se dá charakterizovat jako pravděpodobná – lze očekávat, že nebezpečí nastane často. Celkově lze tedy úroveň rizika hodnotit jako nepřípustnou.</i> |
| Požadavky, opatření | <i>V případě výpadku funkcí OBU je nutné odejmout oprávnění k jízdě následným vlakům jedoucím v mezistaničním úseku, případně mající oprávnění vjet do mezistaničního úseku za vlakem s nefunkční OBU. Celý mezistaniční úsek je potřeba považovat za „obsazený“, jelikož od doby selhání OBU nemusí být známy informace o celistvosti vla-</i> |

| | |
|----------------------------------|--|
| | <p><i>ku ani poloze bezpečného čela/konce. Pro odtah vlaku s poruchou OBU se jeví jako řešení s nejméně riziky odtah dalším hnacím vozidlem s funkční OBU – pak je pohyb celé soupravy systému znám a není potřeba řešit bezpečnost na přejezdech z důvodu jejich nefunkčnosti při jízdě bez funkční mobilní části. Rovněž rychlost jízdy vlaku s funkční OBU táhnoucí vlak s poruchou OBU není třeba omezovat z důvodu neznámého stavu infrastruktury – to ani pro následné vlaky.</i></p> <p><i>Je také vysoce doporučeno vybavovat vozidla detektorem pohybu při vypnuté OBU (tzv. cold movement detector).</i></p> |
| <p>Následné hodnocení rizika</p> | <p><i>Při aplikaci navržených opatření lze pak předpokládat snížení četnosti na nepravděpodobnou a celkovou úroveň rizika lze tak hodnotit jako přípustnou.</i></p> |

| Záznam o nebezpečí | H13 |
|----------------------------|--|
| <p>Název nebezpečí</p> | <p><u>Existence a pohyb vozidel bez OBU</u></p> |
| <p>Popis nebezpečí</p> | <p><i>Obecně existuje riziko výskytu železničního vozidla bez instalovaného OBU na infrastruktuře. Navíc v případě pracovních mechanismů se může jednat i o dvoucestná vozidla (např. bagr), která se mohou např. na železničním přejezdu nakolejit ze silniční komunikace. Takováto vozidla jsou systému bez dalších opatření neznámá („ghost train“) a hrozí možný střet s jiným vlakem.</i></p> |
| <p>Hodnocení rizika</p> | <p><i>Závažnost následků by mohla být až katastrofická – s možnými ztrátami na životech v případě střetu. Četnost výskytu se dá charakterizovat jako pravděpodobná – lze očekávat, že nebezpečí nastane často. Celkově lze tedy úroveň rizika hodnotit jako nepřípustnou.</i></p> |
| <p>Požadavky, opatření</p> | <p><i>Požadavky jsou jednak technického a jednak předpisového charakteru.</i></p> |

| | |
|---------------------------|---|
| | <p><i>Je potřeba dovolit pohyb takovýchto vozidel za přijetí bezpečnostních opatření spočívající v označení oblasti pohybu takového vozidla (viz 4.4.3.) a vyloučení jízdy dalších vozidel v mezistaničním úseku. Obecně je potřeba minimalizovat pohyb vozidel bez OBU pouze na výjimečné situace, jako je např. údržba vyloučené koleje. Pro obnovení „sjízdnosti“ a volnosti je potřeba následné projetí úseku vozidlem vybaveným OBU. Je potřeba zajistit bezpečnost na přejezdech náhradním způsobem, jelikož bezpečné spuštění výstrahy nebude funkční. Je potřeba zajistit bezpečnost pohybu v navazující části infrastruktury (např. v pokračování vyloučené koleje do provozní části dopravní/trati bez přímé boční ochrany).</i></p> <p><i>Případné nakolejení dvojcestného vozidla je potřeba ošetřit obdobně, jako v současném systému (PN také nedetekuje např. zmíněné nakolejení bagru).</i></p> |
| Následné hodnocení rizika | <p><i>Při aplikaci navržených opatření lze pak předpokládat snížení četnosti na nepravděpodobnou a celkovou úroveň rizika lze tak hodnotit jako přípustnou.</i></p> |

4.4.3 Ruční označení obsazeného úseku

Základní definice funkce: IZZ umožní označení úseku jako obsazený. IZZ umožní zrušení tohoto označení.

Ruční označení obsazeného (blokováného) úseku slouží v případech např. údržby daného úseku traťovou mechanizací či personálem a v případech, kdy je potřeba v částech bez detekčních prostředků provádět složitější manipulace (posun), odstavení vozů apod.

Vybrané místo infrastruktury mezi dvěma (či více v případě rozvětvení) body je označeno příznakem „obsazeno“.

Po zrušení označení prostoru jako „obsazený“ je označení prostoru změněno na stav „bez potvrzené volnosti“. Pokud má takovýmto prostorem být uděleno MA, pak v části „bez potvrzené volnosti“ nelze udělit MA FS, ale bude zde

omezení rychlosti v módu OS. Teprve po projetí prvního vlaku je možné prostor považovat za volný s potvrzenou volností a dále lze již udělovat MA FS.

4.4.4 Vydání MA FS

Základní definice funkce: IZZ vydá na základě požadavku (od obsluhy nebo TMS) vlaku po splnění bezpečnostních podmínek MA.

Funkce vydání MA je jednou ze základních funkcí IZZ. Po přijetí požadavku na vydání MA je potřeba ověřit podmínky pro bezpečnou jízdu vlaku až do místa konce požadovaného MA. V případě splnění všech podmínek je možné MA vydat. Zároveň je potřeba po celou dobu platnosti MA kontrolovat neustálé plnění všech podmínek pro bezpečnou jízdu vlaku – v případě změny stavu infrastruktury vedoucímu k nesplnění některé z podmínek je potřeba MA zkrátit (viz kap. 4.4.8), případně odejmout, což může vést až k intervenci OBU a k nouzovému zastavení, tedy uvedení vlaku do bezpečného stavu.

Podmínky a potřebné kroky algoritmu udělení MA FS pro bezpečnou jízdu jsou následující:

1. Ověřit, zda v celém prostoru zamýšleného MA se nenachází:
 - a. MA pro jiný vlak,
 - b. poziční okno jiného vlaku,
 - c. prostor označený jako „obsazený“ nebo „bez potvrzené volnosti“ (viz 4.4.3),
 - d. prvek, jehož stav je neznámý (např. výpadek komunikace OC výhybky; v případě výpadku OC přejezdu je možné automatické zavedení TSR umožňující jízdu přes přejezd v režimu „Op“ sníženou rychlostí s předáním upozornění strojvedoucímu).

Pokud ano, nelze udělit MA až do zamýšleného bodu EoA, ale max. po první takovýto bod ve směru jízdy vlaku (je možné udělit pouze **neúplné** (zkrácené) MA oproti původnímu požadavku, původní požadovaný konec MA se uloží, viz obrázek 18).

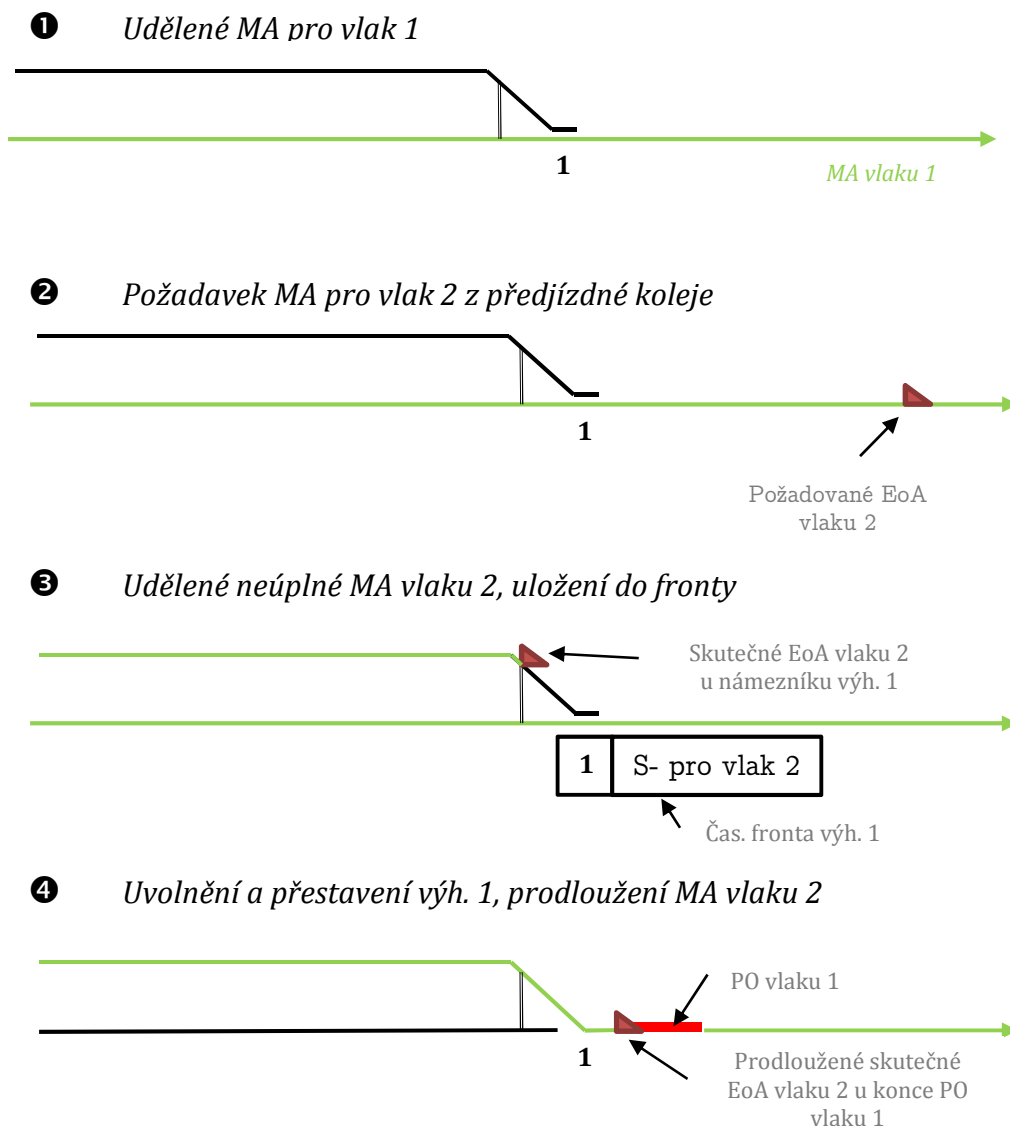
2. V prostoru zamýšleného MA (příp. zkráceného MA) je potřeba přestavit a následně zabezpečit všechny výhybky do správné polohy (dle směru pojíždění, případné odvrtné výhybky do směru odvratu).

3. Nachází-li se v prostoru MA nějaký přejezd vybavený PZZ, je provedeno vyhodnocení místa pro uzavření přejezdu (podrobněji viz kap. 4.4.7).
4. Následně je možné vydat MA za stálé kontroly podmínek dle prvního bodu.

4.4.5 Automatické prodlužování neúplného MA, časová fronta

Pokud dojde k udělení tzv. neúplného MA, je zapamatován požadovaný konec MA (EoA) a u prvků (výhybek, přejezdů s PZZ) je vložen do časové fronty požadavek na přestavení do dané polohy s odkazem na MA v případě výhybky, nebo požadavek na uzavření v případě přejezdu.

Časová fronta je prioritní fronta (ve smyslu abstraktního datového typu), kam jsou řazeny jednotlivé požadavky ke každému prvku typu výhybka a přejezd. Oba tyto prvky totiž v konceptu flexibilního řízení tvoří při nesprávné poloze, resp. stavu překážku pro pokračování MA, jak bylo uvedeno v popisu algoritmu udělení MA. Klíčový atribut – čas vykonání ve smyslu „nejdříve“ – je u každé položky ve frontě získáván ze systému TMS. V případě požadavku obsluhy zadaného přímo z HMI je časový údaj nedostupný. Uvažuje se, že napřímo zadané požadavky mají přednost/prioritu, proto se v takovém případě doplní aktuální systémový čas, čili požadavek by měl být vykonán co nejdříve po uvolnění daného prvku a dostává prioritu před jinými položkami ve frontě s pozdějším požadovaným časem vykonání.



Obrázek 18: Udělení a prodloužení neúplného MA

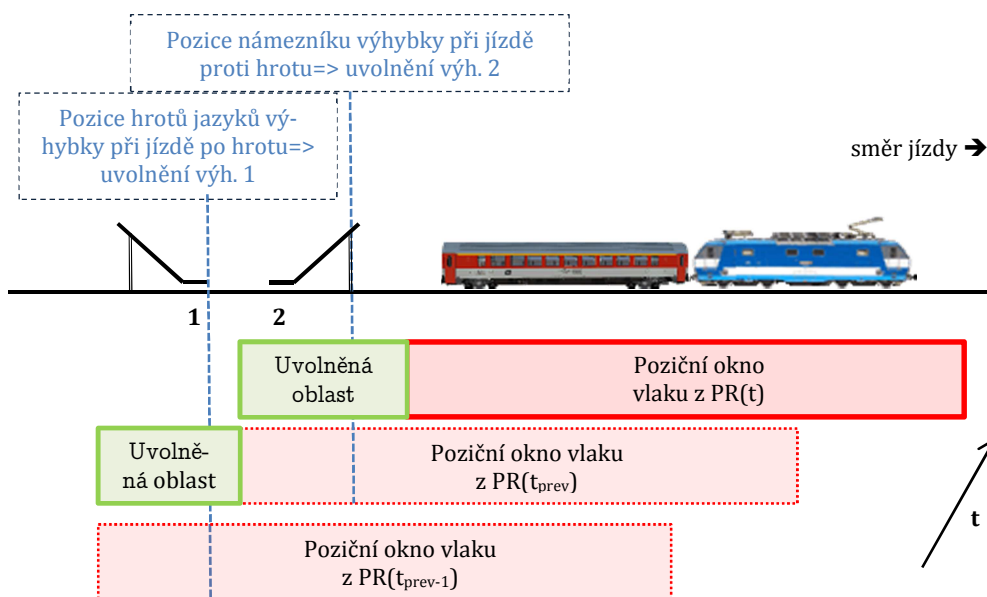
4.4.6 Uvolňování prvků za vlakem

Proces uvolňování projetých prvků za vlakem se na jednu stranu podobá postupnému rozpadu cesty na současných staničních zabezpečovacích zařízeních 3. kategorie, při druhém bližším pohledu však zjistíme, že u flexibilního řízení nejsou žádné pevné kolejové úseky, u kterých by se závěr uvolňoval uvolněním příslušného kolejového úseku na základě informace od kolejového obvodu/počítače náprav.

Proces uvolňování prvků se u flexibilního řízení redukuje na uvolňování závěru výhybek a případně zrušení uzavření přejezdu po průjezdu vlaku.

Navržený algoritmus vypadá následovně:

1. Pro každý nový PR v čase t ($PR(t)$) od vlaku se vyhodnotí, zda se poloha liší od předešlého $PR(t_{prev})$. Pokud se neliší nebo $PR(t_{prev})$ není známé, algoritmus končí; jinak pokračuje dalším krokem.
2. Je potvrzena celistvost vlaku ($Q_LENGTH=1$ nebo $Q_LENGTH=2$)? Pokud ano – pokračuje dalším krokem, pokud ne, algoritmus končí.
3. Na základě informace o bezpečném konci vlaku v $PR(t_{prev})$ a $PR(t)$ se vypočte oblast mezi těmito dvěma body – tzv. uvolněná oblast. Body nacházející se v této oblasti mohou být uvolněny. Takovýmto bodem je v případě výhybky v závislosti na směru poježdění její námezník, resp. hroty jazyků. U přejezdu je to pak konec prostoru přejezdu ve směru jízdy vlaku pro danou kolej.
4. Pokud po uvolnění výhybky existuje ve frontě tohoto prvku na prvním místě nějaký požadavek, který již dosáhl času naplnění požadavku, je možné tento požadavek realizovat – konkrétně v případě výhybky tedy přestavit výhybku.



Obrázek 19: Princip uvolňování prvků za vlakem

4.4.7 Flexibilní ovládání výstrahy přejezdu

4.4.7.1 Uzavření přejezdu

V případě udělování nebo prodlužování MA přes přejezd vybavený výstražníky je potřeba zajistit bezpečnost na tomto křížení pozemní komunikace

a železnice. Obdobně jako u konvenčního PZZ (viz kap. 3.5) vycházíme ze základního předpokladu, kdy je potřeba v dostatečném předstihu před příjezdem železničního vozidla varovat uživatele pozemní komunikace (silniční vozidla, chodce). Vzhledem k tomu, že u flexibilního řízení je vozidlo, resp. jeho dovolený a dohlížený rychlostní profil plně pod kontrolou IZZ, je možné této skutečnosti využít k minimalizaci doby uzavření přejezdu na dobu nezbytně nutnou.

Nejjednodušší (naivní) implementace, kdy je vypočtena podle rychlostního profilu před přejezdem potřebná délka přibližovacího úseku a v IZZ je dohlížen okamžik, kdy vlak vstoupí do tohoto virtuálního přibližovacího úseku, trpí závažným bezpečnostním nedostatkem v podobě prodlevy mezi obdržením PR v IZZ a skutečným výskytem čela vlaku v místě uvedeném PR (viz analýza v kapitole 4.3.2.3). Tento rozdíl navíc není konstantní a nelze dopředu určit jeho hodnotu (a tu využít ke korekci místa spuštění výstrahy). Je tedy potřeba s touto možností uvažovat a navrhnout robustnější řešení algoritmu pro spuštění výstrahy.

Navržené řešení vychází z myšlenky, že pokud OBU dohlíží bezpečně nepřekročení daného rychlostního profilu, lze mezi každými dvěma body infrastruktury patřícími do rychlostního profilu (dále označené jako body A a B) spočítat nejkratší možnou (minimální, směrem dolů nepřekročitelnou) dobu jízdy s ohledem na maximální rychlost udanou rychlostním profilem, tedy:

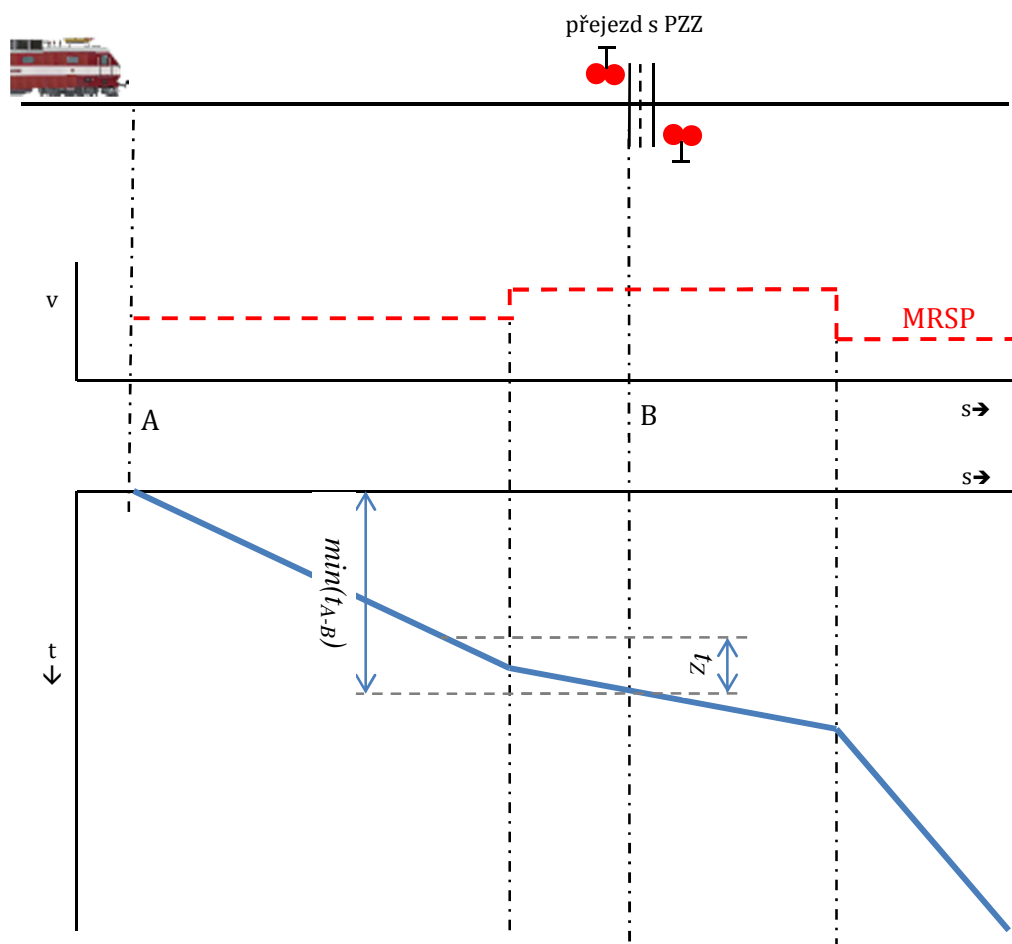
$$\min(t_{A-B}) = \frac{S_{A-B}}{\int_{S_A}^{S_B} v(s) * ds} \quad (6)$$

S ohledem na aktuální polohu vlaku (bod A), s provedenou korekcí zahrnující možnou diferenci polohy čela dle kap. 4.3.2.3, je možné dle rovnice (6) vypočítat minimální dobu jízdy k přejezdu (tedy k bodu B) – $\min(t_{A-B})$.

Doba $\min(t_{A-B})$ je následně porovnána s předzváněcí dobou příslušného přejezdu (t_Z). Pokud je $\min(t_{A-B})$ větší nebo rovna, je možné odložit spuštění výstrahy o rozdíl těchto dvou dob (v případě rovnosti je doba odložení nula sekund, tedy okamžitě spustit výstrahu). Pokud je doba jízdy $\min(t_{A-B})$ menší, než předzváněcí doba přejezdu (a přejezd není uzavřen obsluhou nebo z důvodu jízdy jiného vlaku), je na přejezdu ihned spuštěna výstraha, ovšem vydání prodloužení MA přes přejezd je potřeba zpozdít o chybějící část předzváněcí doby.

V případě naplánovaného zastavení je potřeba z důvodu minimalizace doby uzavření přejezdu udělit nejdříve MA jen do místa zastavení (ve směru

jízdy před přejezdem) a následně v dostatečném předstihu před odjezdem požádat o prodloužení MA přes přejezd, což je ideálně úloha pro systém TMS, který zná ideální naplánovanou trajektorii vlaku z pohledu řízení provozu.



Obrázek 20: Princip ovládání PZZ

4.4.7.2 Ukončení výstrahy

Ukončení výstrahy na přejezdu je řízeno uvolněním prostoru přejezdu koncem vlaku (postup dle kapitoly 4.4.6), přičemž u vícekolejného přejezdu je potřeba uzavření, resp. otevření, vyhodnocována v každé koleji vedoucí přes přejezd samostatně. Přejezd je tedy otevřen, až když v žádné koleji není vyhodnocena potřeba mít přejezd uzavřen, ani není uzavřen ručním povelům obsluhy. V případě, že již v některé koleji běží měření doby odložení výstrahy pro další vlak a tato doba je menší, než minimální doba otevření daná ČSN 34 2650 [3] (7 s), přejezd se již nesmí otevřít.

4.4.7.3 Zhodnocení řešení

Uvedené řešení umožňuje zkrátit dobu uzavření v závislosti na skutečné dovolené rychlosti vlaku. Taktéž eliminuje zbytečné prodloužení uzavření přejezdu při plánovaných pobytech v zastávkách a stanicích nacházejících se v přibližovacím úseku.

Na druhou stranu může vlivem nepřesností odometrie (kap. 4.3.2), vlivem restriktivního určení doby zpoždění přenosu informace o pozici (kap. 4.3.2.3) a vlivem použití MRSP namísto DSP (který není v traťové části dostupný) dojít k mírnému prodloužení doby uzavření přejezdu v řádu sekund v případech, kdy se tyto vlivy více projeví (dlouhá vzdálenost od LRBG, velké změny dovolené rychlosti a z toho plynoucí velké rozdíly mezi $\min(t_{A-B})$ a skutečnou dobou jízdy, velké komunikační zpoždění).

Vlivem nepřesnosti odometru a komunikačního zpoždění PR může také dojít k nepatrnému posunutí okamžiku otevření přejezdu při vzdalování vlaku směrem od přejezdu oproti srovnání s počítačím bodem / ASE umístěným jednotky metrů od hrany vozovky. Problém by pak mohl způsobovat zastavení koncem vlaku těsně za přejezdem, kdy sice prakticky zanikne vliv komunikačního spojení (vlak hlásí v PR opakovaně stále stejnou pozici bezpečného konce), ale vliv nepřesnosti odometrie uvedený dříve zůstává. V případě, že se jedná o pravidelné zastavení např. v zastávce, je potřeba toto zohlednit/řešit např. redukcí nepřesnosti odometrie umístěním BG poblíž přejezdu.

4.4.8 Krácení MA

V případě změny provozních dispozic/provozní situace nebo v případě možného ohrožení jízdy vlaku může být potřeba již udělené MA zkrátit (případně úplně odebrat, tedy zkrátit na nulovou délku).

Krácení MA probíhá v kooperaci IZZ a OBU, které musí se zkrácením MA souhlasit. Konkrétně v případě krácení IZZ zašle na vozidlo msg č. 9: Request to Shorten MA. OBU odpoví msg č. 137 Request to Shorten MA is granted, případně msg č. 138: Request to Shorten MA is rejected v případě, že by dle výpočtu v OBU provedeném nad dynamickým profilem se zkráceným MA nebylo možné vlak zastavit před novým koncem MA.

V případě souhlasu s krácením MA je možné po potvrzení OBU provést uvolnění všech prvků, které se nacházely v části MA, která byla zrušená. Při

opačném případě, kdy kooperativní krácení OBU odmítlo a pakliže je potřeba vlak bez dalšího prodlení co nejrychleji zastavit, je možné zasláním msg 16 Unconditional Emergency Stop vyvolat téměř okamžitě nouzové brzdění až do zastavení vlaku.

4.4.9 Vydání MA OS

V případě, kdy nelze vydat MA FS z důvodu neznámého stavu obsazení některé části infrastruktury podle kap. 4.4.4, bod 1c), je možné přes dané úseky vydat restriktivní MA OS (on sight – jízda podle rozhledu omezenou rychlostí).

4.5 Analýza nebezpečí v procesech systému

4.5.1 Roztržení vlaku

Událost „roztržení vlaku“ nastává, pokud dojde k násilnému (nechtěnému) rozpojení vlaku, nejčastěji způsobeném únavou materiálu ve spřahovacím ústrojí v mezivozovém prostoru. Nejpravděpodobnější výskyt lze očekávat při rázech v soupravě způsobených během rozjezdu či prudkého brždění nerovnoměrným bržděním/odbrzděním brzd celé soupravy (postupný náběh tlakové brzdy).

Iniciátor události: Náhodný výskyt, bez úmyslu zúčastněných osob

Projev v systému: Ztráta informace o celistvosti vlaku

Identifikovaná nebezpečí:

| Záznam o nebezpečí | H14 |
|--------------------|---|
| Název nebezpečí | <u>Možný pohyb zadní části vlaku po roztržení</u> |
| Popis nebezpečí | <p><i>Při roztržení vlaku bylo identifikováno riziko možného ujetí utržené části (v závislosti na spádu trati – po spádu směrem proti směru původní jízdy, či ve směru původní jízdy s možnou srážkou se stojící přední částí roztrženého vlaku).</i></p> <p><i>Toto riziko je již v dnešním stavu minimalizováno principem funkce samočinné tlakové brzdy – kdy po roztržení vlaku dojde vlivem poklesu tlaku v průběžném potrubí k samočinnému zastavení obou částí. Byly však identifikovány dva okrajové stavy, kdy k tomu dojít nemusí:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Při zanedbání provozních předpisů ohledně</i> |

| | |
|---------------------|---|
| | <p><i>zkoušky brzdy (např. nezjištěný uzavřený kohout na průběžném potrubí a tudíž nebrzdící část vlaku za kohoutem dále).</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Nedostatečně bržděná utržená část vlaku – jelikož se brzdící schopnost pro danou rychlost a max. spád posuzuje pro celý vlak jako celek, mohlo by teoreticky dojít k tomu, že utržená část vlaku nebude mít dostatečné brzdící schopnosti pro úplné zastavení na daném spádu.</i> |
| Hodnocení rizika | <p><i>Nebezpečí není v navrhovaném systému nové – je přítomno i u současného způsobu řízení dopravy, ovšem vzhledem k možnosti flexibilně měnit vzdálenost mezi následnými vlaky v závislosti na rychlosti se zde zkracují vzdálenosti mezi dvěma vlaky jedoucími ve sledu stejným směrem a tudíž se v některých případech zmenšuje čas, během kterého by ujetá zadní část vlaku mohla ohrozit vlak následný, pokud nebude zastavena.</i></p> <p><i>Závažnost následků by mohla být až katastrofická – s možnými ztrátami na životech v případě střetu. Četnost výskytu se dá však charakterizovat jako nepravděpodobná – autorovi není znám jediný takovýto případ v ČR. Celkově lze tedy úroveň rizika hodnotit jako přípustnou.</i></p> |
| Požadavky, opatření | <p><i>Riziko by bylo možné snížit např. tím, že by byl následný vlak informován o události – roztrženém vlaku jedoucím před ním a byl by ihned zastaven.</i></p> <p><i>I když dojde po roztržení vlaku k zastavení obou částí, je potřeba zajištění obou částí vlaku proti ujetí (vlivem netěsností může unikat vzduch z brzdového válce, potažmo celého brzdového ústrojí) dle příslušných provozních předpisů (zajišťovací brzda, podložky apod.).</i></p> |

4.5.2 *Nepředvídané zastavení vlaku o překážku/vykolejení*

K tomuto jevu dojde, pokud při pohybu vlaku dojde k nehodě – nezamýšlenému střetu s překážkou (v nejhorších případech velice masivní a převyšující i hmotnost vlaku – např. do kolejiště spadlou mostní konstrukcí). V takovém případě velice pravděpodobně dojde k zastavení vlaku s odrychlením výrazně převyšujícím obvyklé hodnoty dosahované při plném brzdění provozní či dokonce nouzovou brzdou vlaku ($a \gg 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$).

K vykolejení může dojít také vlivem mechanické závady (lom kolejnice, jazyka výhybky, závady na pojezdu vozidla apod.). V případě vykolejení bez střetu s překážkou může dojít k vlečení vykolejeného vozidla na poměrně velké vzdálenosti. Problém pak představují překážky v mezikolejnicovém prostoru, jako jsou konstrukce výhybek, přejezdů a krycí části mostních konstrukcí.

Iniciátor události: Náhodný výskyt, bez úmyslu zúčastněných osob

Projev v systému:

- a) Prudký pokles hlášené rychlosti (v případě, že událost nemá dopad na funkčnost mobilní části na vozidle) – jednoduše detekovatelné³²,
- b) rozpad datového spojení na vozidlo v případě destrukce klíčových komponent OBU, přerušení napájení apod. – detekovatelné, ale těžko rozeznatelné od jiných příčin rozpadu spojení (porucha apod.),
- c) v případě vykolejení a vlečení vozidla bez poškození/rozpojení brzdového potrubí – není v systému zaznamenán žádný projev.

Identifikovaná nebezpečí:

| Záznam o nebezpečí | H15 |
|--------------------|--|
| Název nebezpečí | <u>Ohrožení jízdy ostatních vlaků kolem místa nehody</u> |
| Popis nebezpečí | <i>Ohrožení ostatních vlaků (jedoucích kolem místa nehody) po souběžných kolejích – částmi vlaku/troskami zasahujícími mimo průjezdný průřez do průjezdného průřezu sousedních kolejí.</i> |

³² Je potřeba odlišit od nouzového brzdění v případě intervence OBU – režim TR a případného použití záchranné brzdy např. cestujícím.

| | |
|----------------------------------|---|
| <p>Hodnocení rizika</p> | <p><i>Nebezpečí není v navrhovaném systému nové – je přítomno i u současného způsobu řízení dopravy, kdy narušení průjezdného průřezu v sousedních kolejích není nijak technicky detekováno a jediný faktor, který může přispět k omezení následků je zrak strojvedoucího. V některých případech může jako sekundární efekt dojít k poškození vnějších prvků zabezpečovacího zařízení, které může vést ke ztrátě dohledu výhybky, svícení návěstidla nebo např. k obsazení kolejového obvodu v sousední koleji.</i></p> <p><i>Závažnost následků by mohla být až katastrofická – s možnými ztrátami na životech v případě střetu. Četnost výskytu se dá však charakterizovat jako malá – odhadem v ČR jednou za deset let. Celkově lze tedy úroveň rizika hodnotit jako nežádoucí.</i></p> |
| <p>Požadavky, opatření</p> | <p><i>V případě projevu v systému dle bodu a) výše může být v systému zavedeno podmíněné zastavení vlaků v sousední/souběžných kolejích až do potvrzení sjízdnosti infrastruktury po zjištění důvodů zastavení.</i></p> |
| <p>Následné hodnocení rizika</p> | <p><i>Po aplikaci opatření lze pak předpokládat snížení četnosti na nepravděpodobnou a celkovou úroveň rizika lze tak hodnotit jako přípustnou.</i></p> |

| Záznam o nebezpečí | H16 |
|-------------------------|---|
| <p>Název nebezpečí</p> | <p><u>Ohrožení jízdy ostatních vlaků vlečeným vykoľejeným vozidlem</u></p> |
| <p>Popis nebezpečí</p> | <p><i>Ohrožení ostatních vlaků jedoucích po souběžných kolejích vykoľejeným vozidlem zasahujícími mimo průjezdný průřez do průjezdného průřezu sousedních kolejí.</i></p> |
| <p>Hodnocení rizika</p> | <p><i>Nebezpečí není v navrhovaném systému nové – je přítomno i u současného způsobu řízení dopravy, kdy narušení průjezdného průřezu v sousedních kolejích není</i></p> |

| | |
|---------------------|---|
| | <p><i>nijak technicky detekováno a jediný faktor, který může přispět k omezení následků je zrak strojvedoucího. V některých případech může jako sekundární efekt dojít k poškození vnějších prvků zabezpečovacího zařízení, které může vést ke ztrátě dohledu výhybky, svícení návěstidla nebo např. k obsazení kolejového obvodu v sousední koleji.</i></p> <p><i>Závažnost následků by mohla být až katastrofická – s možnými ztrátami na životech v případě střetu. Četnost výskytu se dá však charakterizovat jako nepravděpodobná – autorovi není znám žádný takový případ. Celkově lze tedy úroveň rizika hodnotit jako přípustné.</i></p> |
| Požadavky, opatření | <p><i>V případě potřeby snížení rizika je možné uvažovat o nasazení detektorů vykolejení na vozidla – jedná se o technický prostředek, který dokáže dle rázů ve vozidle vyhodnotit pravděpodobné vykolejení a tažení vozidla a vyvolat nouzové brždění. Jde tedy ale o prostředek, který nepředchází vykolejení, řeší až jeho projevy a nebezpečí plynoucí z tažení vykolejeného vozidla.</i></p> |

4.5.3 Inicializace/restart systému

Iniciátor události: Náhodný výskyt, bez úmyslu zúčastněných osob – např. reset po výpadku napájení; restart systému udržujícím personálem; tak i chtěný restart např. při opravě

Projev v systému: Při výpadku a následném (re)startu celého systému (respektive přesněji klíčového IZZ) může dojít k tomu, že IZZ v době neaktivity/výpadku nemá informace o pohybu vlaků po dobu výpadku. Dalo by se zde vycházet z posledního známého konzistentního stavu před výpadkem, kdy žádný z vlaků by během výpadku neměl překročit (do výpadku udělené) oprávnění k jízdě. Rizikem zde zůstává pohyb vozidel s vypnutou/nefunkční OBU (viz záznam o nebezpečí **H12 Nekomrovaný pohyb vlaku s vypnutou nebo nefunkční OBU**) a pohyby vlaků podle nouzových postupů v případě déle trvajícího výpadku.

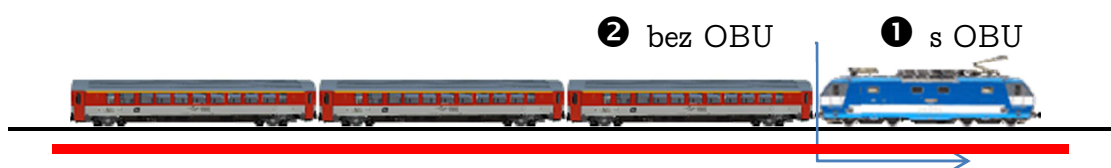
Identifikovaná nebezpečí:

| Záznam o nebezpečí | H17 |
|---------------------------|--|
| Název nebezpečí | <u>Neznámý předchozí konzistentní stav</u> |
| Popis nebezpečí | <i>I při pamatování předchozího posledního konzistentního stavu před restartem se musíme zabývat otázkou, jak postupovat, pokud předchozí stav nebude znám (např. při prvním startu nového IZZ, po výměně SW či některých komponent apod.).</i> |
| Hodnocení rizika | <i>Závažnost následků by mohla být až katastrofická – s možnými ztrátami na životech v případě, kdy by došlo ke střetu s vozidly, o kterých systém nemá informace. Četnost výskytu se dá charakterizovat jako malá s ohledem na četnost případů s neznámým předchozím stavem. Celkově lze tedy úroveň rizika hodnotit jako nežádoucí.</i> |
| Požadavky, opatření | <i>V případě, kdy nelze jednoznačně získat informaci o platnosti stavu je potřeba uvažovat restriktivním způsobem – což v případě kolejiště bude znamenat zavedení příznaku „obsazeno“ na všech relevantních částech kolejiště, o kterých nejsou relevantní informace o posledním známém stavu (nebo jsou zastaralé).</i> |
| Následné hodnocení rizika | <i>Při aplikaci opatření lze pak předpokládat snížení četnosti na vysoce nepravděpodobnou a celkovou úroveň rizika lze tak hodnotit jako zanedbatelnou.</i> |

4.5.4 Dělení vlaku

Událost „dělení vlaku“ nastává, pokud dojde k zamýšlenému rozpojení vlaku, za účelem další manipulace. V zásadě lze identifikovat dvě podskupiny podle vstupních podmínek:

- a) Všechny nově vzniklé části mají provozuschopné OBU (typicky při dělení soupravy složené z více ucelených jednotek, lokomotivního vlaku složeného z více hnacích vozidel apod.)
- b) Některá nově vzniklá část nemá (provozuschopné) OBU – typické situace:
- i. odpojení vedoucí lokomotivy, případně lokomotivy a několika vozů bezprostředně za ní, pokud je lokomotiva jediná s OBU na vlaku (není např. další postrková lokomotiva),
 - ii. odpojení skupiny vozů od konce vlaku.



Obrázek 21: Dělení vlaku bez OBU v nové části dle b) i.

Situace podle bodu a) je jednodušší v tom smyslu, že vzhledem k existenci OBU v každé nově vzniklé části je možné dohlížet případný nedovolený pohyb takovéto části a případně mu přes vazbu OBU na ventil na brzdovém potrubí zabránit. Nevzniká tak zde riziko nekontrolovaného pohybu.

U případu dle b) zde toto riziko existuje.

Identifikovaná nebezpečí:

| Záznam o nebezpečí | H18 |
|--------------------|---|
| Název nebezpečí | <u>Nekontrolovaný pohyb části bez OBU</u> |
| Popis nebezpečí | <p><i>Při dělení vlaku podle bodu b) výše hrozí nebezpečí nedetekovaného pohybu odpojené části bez OBU. Odpojená část může být nedostatečně zabrzděna a může se samovolně dát do pohybu na spádu, kde by mohla ohrozit jiné vlaky.</i></p> <p><i>I po provedení operace dělení vlaku může stále být odpojovaná část fyzicky spojena s druhou částí a může tak dojít k nedetekovanému pohybu odpojované části, která nemá OBU, pohybem přední části.</i></p> <p><i>U odstavených vozů při najíždění na ně hrozí riziko pohybu/posunutí těchto vozů. Vzhledem</i></p> |

| | |
|---------------------------|--|
| | <i>k nepřesnosti odometrie nemůže být tomuto posunu vozů ze strany OBU zabráněno.</i> |
| Hodnocení rizika | <i>Závažnost následků by mohla být až katastrofická – s možnými ztrátami na životech v případě, kdy by došlo ke střetu s ujetými vozidly, o kterých systém nemá informace. Četnost výskytu se dá charakterizovat jako malá s ohledem na četnost takovýchto případů v současném železničním systému. Celkově lze tedy úroveň rizika hodnotit jako nežádoucí.</i> |
| Požadavky, opatření | <i>Odstavovat vozy na vyhrazené části kolejí, kde se nejezdí v módu FS a/nebo jsou tam detekční prostředky a přímá boční ochrana směrem do tratě/k ostatním cestám s vysokou rychlostí.</i> |
| Následné hodnocení rizika | <i>Při aplikaci opatření lze pak předpokládat snížení četnosti na nepravděpodobnou a celkovou úroveň rizika lze tak hodnotit jako přípustnou.</i> |

Aktuální je zde také nebezpečí **H03 Chybně zadaná délka vlaku – bezpečný konec vlaku**, jelikož se mění sestava vlaku a tím i jeho délka a existuje zde potenciaální riziko chybného zadání.

4.5.5 Spojování vlaků

Proces, kdy spojením dvou vlaků vznikne nový vlak, je opět rizikovou operací, při které se mění parametry vlaku, zejména jeho délka. Pro další popis uvažujme pohybující se (vjíždějící) vlak 1 (dále V1), který je potřeba spojit se stojícím vlakem 2 (V2).

Potenciálním problémem je zajištění bezpečné jízdy V1 až na okraj PO(V2) tak, aby se mohla obě vozidla spojit. Lze uvažovat jízdu V1 v módech FS, SR, OS, SH. V případě např. spojování dvou ucelených jednotek a vjíždějícího V1 je žádoucí, aby V1 vjížděl v módu FS, tedy s nejvyšším stupněm zabezpečení. Ovšem jak bylo popsáno v kapitole 4.3.2, bezpečná délka vlaku (resp. délka pozičního okna) převyšuje díky nepřesnostem jeho skutečnou délku a tak nelze vydat MA FS až bezprostředně k reálnému začátku/konci druhého vlaku. Řešením je udělení MA FS až po okraj PO(V2) podle standartního scénáře

(viz 4.4.4) a dále dovolit V1 jízdu v režimu OS (On Sight). Po fyzickém spojení je možné iniciovat proceduru Spojení.



Obrázek 22: Pohyb vlaku 1 před spojováním vlaků

SPOJENÍ VLAKŮ

Primární aktér, iniciátor: **dispečer/systém TMS**

Ostatní aktéři: **RBC, vlak 1 (V1), OBU vlaku 1, vlak 2 (V2), OBU vlaku 2**

Vstupní podmínky:

1. V1 i V2 vybavený OBU se nachází v oblasti RBC/IZZ.
2. Je známa platná poloha V1 i V2 včetně kontinuální celistvosti, oba vlaky stojí ($v=0 \text{ km.h}^{-1}$).
3. Poziční okna PO(V1) a PO(V2) se překrývají nebo dotýkají.
4. Žádné ze zařízení nevykazuje poruchu (komunikační systém, OC, IZZ, obě OBU).

Spouštěcí událost: IZZ obdrží požadavek na spojení vlaků V1 a V2 spolu s údaji o „spojeném vlaku“ (dále jen SV) – train data + informace, který z {V1, V2} bude v čele nového vlaku – „vedoucí vlak“, druhý je „nevedoucí vlak“.

Algoritmus pak vypadá takto:

1. IZZ v train data pro nový vlak ověří, že délka nového vlaku \geq délka vlaku 1 + délka vlaku 2.
2. IZZ zašle požadavek na OBU nevedoucího vlaku k přepnutí OBU do módu SL (sleep), případně NL (non leading).
3. OBU nevedoucího vlaku potvrdí IZZ přepnutí módu do SL/NL.

4. RBC/IZZ zašle train data nového vlaku OBU vedoucího vlaku.³³
5. OBU vedoucího(=spojeného) vlaku potvrdí nová train data (msg 8).
6. OBU vedoucího(=spojeného) vlaku potvrdí celistvost spojeného vlaku (pkt 0).



Obrázek 23: Ilustrace k scénáři užití – spojení vlaků

4.5.6 Odstavení vozů, posun

Odstavení vozů a případný posun s jednotlivými vozy či skupinou vozů je z pohledu navrhovaného systému riziková operace. Při posunu se relativně často může měnit sestava vlaku a směr jízdy, čímž se stávají aktuální některá rizika (viz záznamy o nebezpečí **H03** Chybně zadaná délka vlaku – bezpečný konec vlaku, **H09** Falešné potvrzení celistvosti vlaku). Existuje zde také nezanedbatelné riziko nedetekovaného pohybu již dříve odstavených vozů (viz **H18** Nekontrolovaný pohyb části bez OBU).

Jak vyplynulo z navržených opatření ve zmíněných záznamech o nebezpečí, je potřeba tato rizika minimalizovat. Toho lze dosáhnout v zásadě dvěma způsoby s různými vlastnostmi navržených řešení, jak popisují následující kapitoly.

³³ Jedná se o návrh nové funkce do OBU, v současných specifikacích tato funkce není zavedena.

4.5.6.1 Dovolení posunu ve vyhrazené oblasti

Vyhrazená oblast je automaticky označena jako „obsazená“ (viz 4.4.3). V případě potřeby přestavení výhybky v této vyhrazené oblasti je tak potřeba potvrdit volnost takovéto výhybky – je nutná spoluúčast lidského činitele. Řešení nevyžaduje další technické prostředky (PN, kolejové obvody) a vzhledem k vyššímu podílu lidského činitele při posunu není vhodné pro místa s častým posunem, případně místa bez oddělení od části kolejiště, kde jsou dovolovány jízdy vlaků vyšší rychlostí (jako hranici navrhuji 80 km.h^{-1} , oproti dnešním 120 km.h^{-1} pro přímou boční ochranu dvou cest, ovšem stanovení přesného čísla je v tomto místě obtížné). Také je potřeba, jak je uvedeno v kapitole 4.4.3, pro odstranění příznaku „obsazeno“ projet úsek v degradovaném režimu OS (podle rozhledu).

4.5.6.2 Doplnění detekčních prostředků

Druhou možností, která z větší části eliminuje nevýhody uvedené u předchozího řešení, spočívá v doplnění vybraných míst s častým posunem detekčními prostředky, tedy zejména počítači náprav, eventuálně kolejovými obvody.

Lze tak kontrolovat volnost vybraných částí infrastruktury, jako je zejména výhybka či skupina výhybek v případě potřeby jejího přestavení při posunu. Sekundární funkcí je pak detekce případných ujetých vozů nebo nedovoleného projetí posunu v případě sunutých vozů.

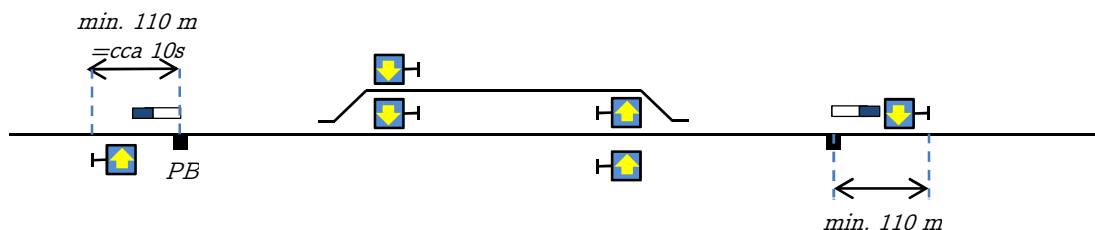
Následující obrázek ukazuje příklady několika návrhů:

Návrh 1 řeší omezení posunu na dopravnu. V případě např. sunutých vozů při ovlivnění počítačícího bodu PB ve směru ze stanice dojde jednak k vyslání Non-conditional Emergency Stop na posunující vozidlo. Budeme-li uvažovat maximální dovolenou rychlost 40 km.h^{-1} při posunu, dává nám ochranná dráha v navržené délce 110 m přibližně 10 s jízdy plnou rychlostí na zastavení. V případě, že nebude doručeno potvrzení zprávy o příjmu povelu k nouzovému zastavení posunujícího dílu, je žádoucí zkrátit případné udělené MA vlaku, pokud se blíží ke stanici ve směru z trati.

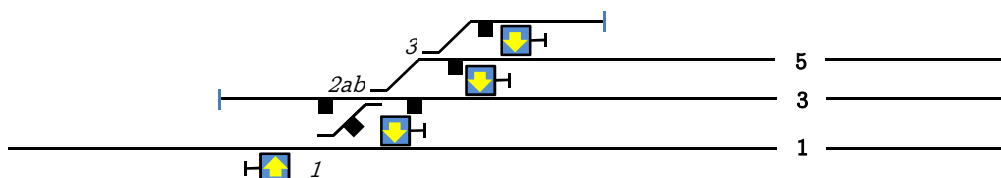
Návrh 2 ukazuje oddělenou oblast (pomocí přímé boční ochrany spojkou 1/2) pro realizaci posunu a odstavování vozů – koleje 3, 5 a další kusé koleje. Volnost výhybek 2ab a 3 je kontrolována počítači náprav tak, aby bylo znemož-

něno jejich přestavení pod vlakem/odstavenými vozy zasahujícími do profilu. Pro povolení posunu v oddělené oblasti kolejí 3–5 po vjezdu vlaku je potřeba přestavit spojku 1/2 do základní polohy pro oddělení oblasti a teprve poté je možné vydat oprávnění k posunu.

1. řešení omezení posunu, detekce ujetí do tratě, ověření délky vlaku



2. oddělení části skupiny kolejí pro posun/odstavování vozů



Obrázek 24: Řešení vybraných konfigurací doplnění detekčních prostředků

Většinu navržených počítačích bodů lze také využít pro funkci popsanou v kapitole 4.6.1 – návrh ověření délky vlaku.

4.5.7 Orientace provozních zaměstnanců na trati/stanici

V případě výrazné redukce proměnných návěstidel a jejich náhradě plechovými neproměnnými ETCS markery je potřeba se zabývat také otázkou orientace provozních zaměstnanců (zejména strojvedoucího) na trati/ve stanici v případě nouzových postupů a provozu zařízení v degradovaném módu. Existuje zde riziko záměny těchto neproměnných návěstidel mezi sebou (např. návěsti nalevo i napravo od koleje), tak i riziko přehlédnutí neproměnné návěsti při snížené viditelnosti (noc/mlha).

4.6 Návrhy řešení nebezpečí

Řešení některých nebezpečí si vyžádalo rozsáhlejší popis/vysvětlení. Ta jsou uvedena v následujících podkapitolách.

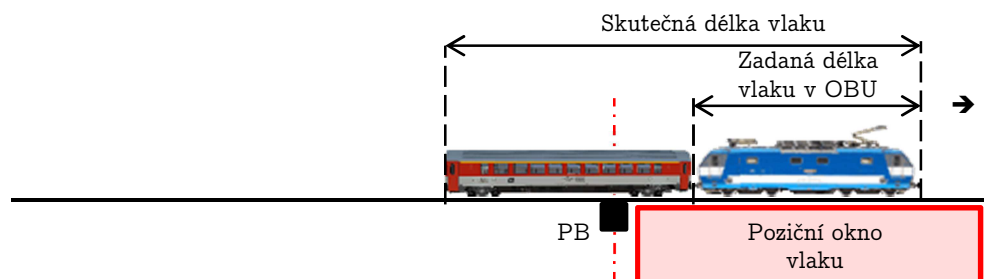
4.6.1 Návrh způsobu verifikace zadané délky vlaku pomocí PN

Jak vyplynulo z analýzy rizika (viz záznamy o nebezpečí **H02** a **H03**), bude potřeba ověřit zadanou délku vlaku, nejlépe technickými prostředky.

Jedna z možných cest je využít detekční prostředky, konkrétně počítače náprav. Kromě klasické funkce detekce volnosti daného úseku se nabízí se možnost využít tento prostředek i k verifikaci zadané délky vlaku. Na obdobném principu by bylo možné využít i případný kolejový obvod.

Dle předchozí kapitoly je riziková situace, kdy bude zadána menší délka vlaku, než je jeho skutečná délka. Z tohoto požadavku vychází návrh postupu. Ten je následující:

1. Na základě PR od vlaku počkat, než celé poziční okno vlaku projede nad příslušným počítacím bodem (PB).
2. Od té doby dohlížet, zda PB nezapočte nějaké nápravy jedoucí stejným směrem, jak kontrolovaný vlak. Pokud ano, s největší pravděpodobností byla zadána chybná délka vlaku nebezpečným směrem. Informace o délce takového vlaku tudíž nemůže být považována za důvěryhodnou a platnou.
3. Minimální doba této kontroly dle předchozího bodu vychází z maximální vzdálenosti mezi nápravami vozidla (lze vycházet z délky 24 m, což je minimální délka kolejového obvodu dle ČSN 34 2613 [2]). Pokud konec pozičního okna vlaku je od PB vzdálen více, než tato vzdálenost, je možné detekční algoritmus ukončit a informaci o délce vlaku lze považovat za platnou – validní.



Obrázek 25: Ověření informace o délce vlaku – princip, krok 2

4.6.1.1 Omezující faktory

Další otázkou je umístění počítačícího bodu. Vzhledem k tomu, že při načtení balízy je korigována nepřesnost odometru (viz kapitola 4.3.2.2) – max. 5 m + 5 % z ujeté dráhy, bude vhodné umístit PB v blízkosti některé BG. Čím bude PB dále od BG, tím delší bude poziční okno vlivem nejistot oproti reálné délce vlaku a tím bude menší rozlišovací schopnost popsaného algoritmu.

Dalším faktorem omezujícím použitelnost je faktor rychlosti vlaku. Např. při rychlosti 160 km.h^{-1} ujede vlak každou sekundu přibližně 44 m. Pokud zohledníme při určení polohy vlaku dopravní zpoždění přenosu informace z OBU do IZZ a taktéž dopravní zpoždění přenosu informace od počítače náprav, budou tyto prodlevy omezovat přesnost ve vyšších rychlostech. Proto by bylo vhodné pro omezení těchto vlivů kontrolovat délku vlaku pokud možno co nejdříve po jeho vzniku či změně sestavy – např. na spojovací koleji ze seřadovacího nádraží do traťové koleje, kde lze předpokládat, že ještě většina vstupujících vlaků nedosáhne maximální rychlosti. Pokud by to bylo potřeba, bylo by možné pomocí zavedení TSR omezit maximální rychlost vlaku v takovémto kontrolním bodě, pokud by informace o délce vlaku nebyla validována již dříve.

4.6.2 Návrh způsobu zjištění délky vlaku

Další možností, jak zjistit nejenom délku vlaku, celistvost, ale i další parametry vozů, jako např. brzdící % apod., představuje vlaková sběrnice.

Výhody tohoto řešení představuje kompletní enumerace (výčet) sestavy vlaku, automatizované zjištění jeho délky a při periodickém udržování komunikace s každým vozem může toto řešení představovat i řešení v otázce kontroly celistvosti vlaku. Většina moderních ucelených jednotek a moderních vozů osobní dopravy je vybavena průběžnou vlakovou sběrnici (např. UIC dle normy IEC 61375 a definovaná vyhláškou UIC 556).

Nevýhoda tohoto řešení spočívá v nutnosti mít vybavena všechna vozidla na daném vlaku, což zejména u nákladních vlaků se značně pestrá sestavou vozů různých držitelů/železničních správ představuje problém, který je ale spíše ekonomický než technický.

5 Ověření řešení na modelu

Pro ověření vybraných částí navrhovaného systému flexibilního řízení (zj. jeho funkčních algoritmů a základních principů) byla zvolena infrastruktura laboratoře – Dopravní sálu FD ČVUT (DSFD). Dominantou tohoto pracoviště je model infrastruktury v podobě modelového kolejiště v měřítku 1:87, které představuje smyšlenou část železniční infrastruktury s hlavní dvojkolejnou tratí, odbočnou lokální tratí a 7 dopraven s kolejovým rozvětvením. Infrastruktura je vybavena elektromotorickými přestavníky na všech výhybkách (96 ks), kolejovými obvody dle běžné konfigurace současných SZZ a TZZ (182 ks) a hlavními i seřaďovacími světelnými návěstidly (132 ks), která však nebyla využívána, neboť se s nimi v konceptu flexibilního řízení nepočítá.

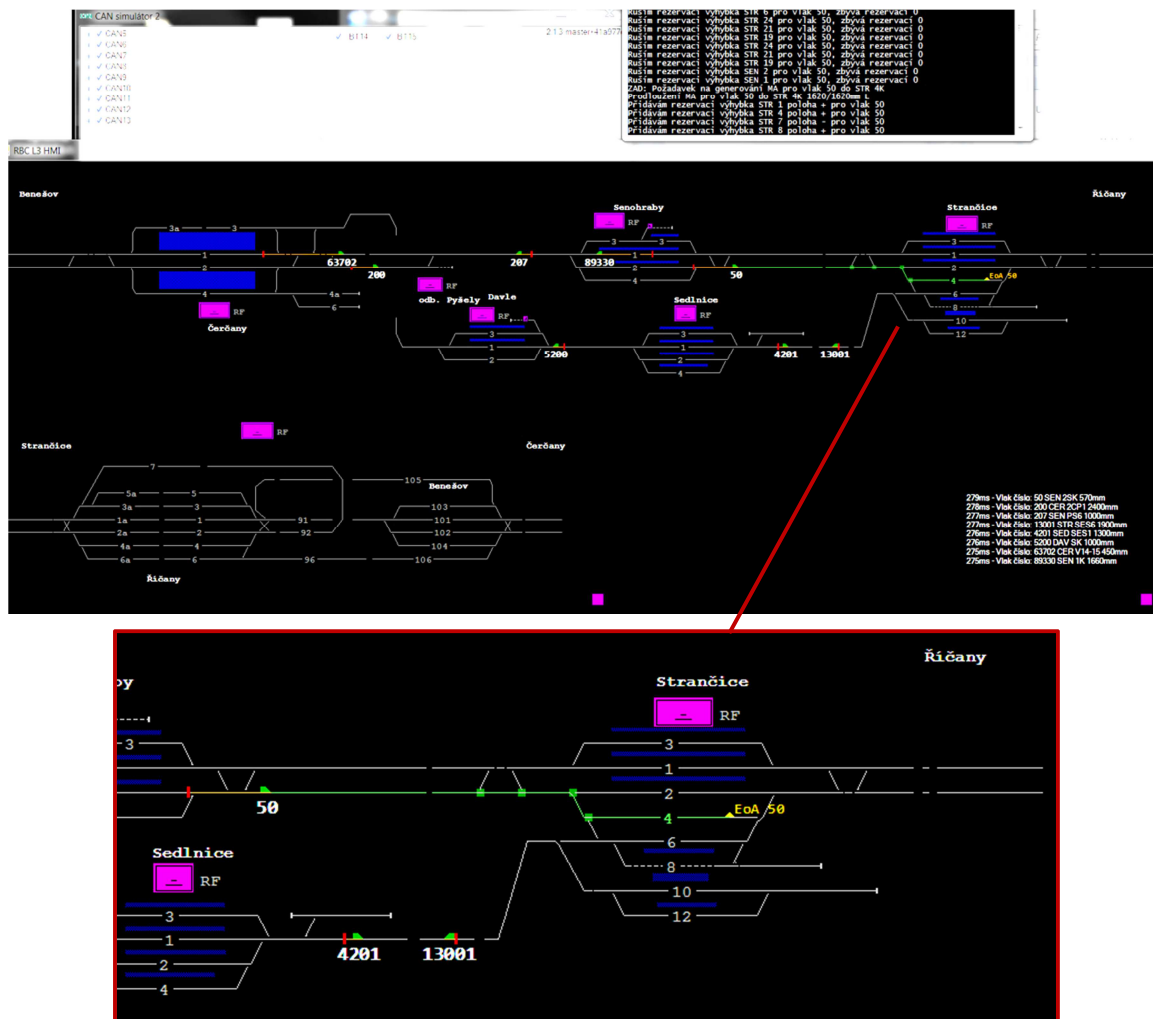
Z hlediska vozového parku bylo k dispozici 8 hnacích vozidel a množství nehnaných vozů. Každé hnací vozidlo bylo vybaveno elektronikou umožňující realizaci principů obousměrné bezdrátové komunikace s vozidlem (zde byla použita technologie Bluetooth) a lokalizace vlaku na infrastruktuře pomocí balíz a odometrie vozidla dle principů popsanych v této práci. Funkce systému TIMS nebylo možno fyzicky jednoduše v modelovém kolejišti zrealizovat, proto je informace o celistvosti vlaku přítomna a je možné ji v případě potřeby zneplatnit z obslužného PC.

Zejména pro účely rychlejšího odlaďování funkcí byl navržen a implementován simulátor simulující všechny prvky v modelovém kolejišti s možností simulace poruch jednotlivých prvků a OC. Simulátor také simuluje OBU dané mašinky, simuluje její jízdu po virtuálním kolejišti a vypočítává parametry do jejího PR (LRBG, vzdálenost od LRBG apod.).

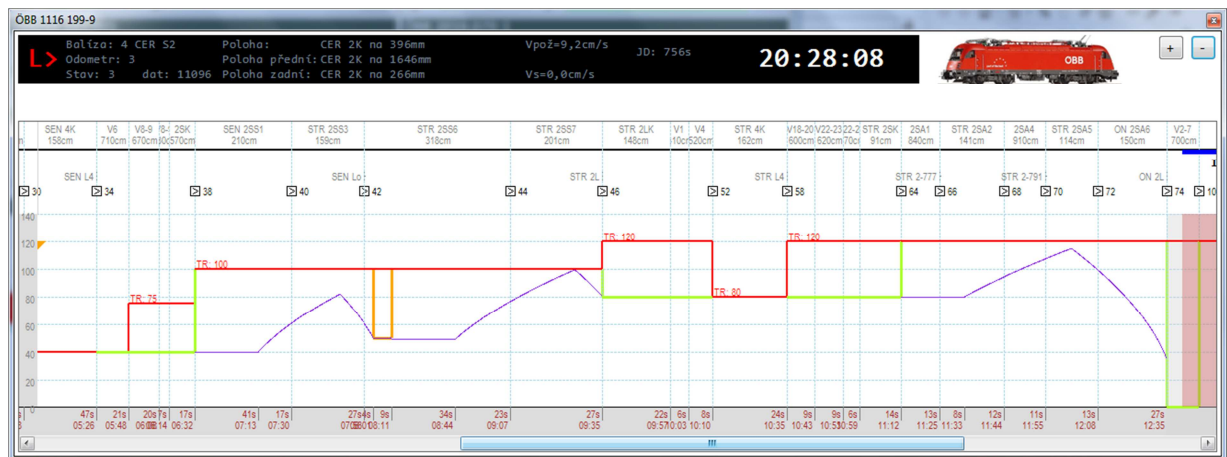
Byl navržen a z větší části realizován funkční vzorek integrálního zabezpečovací zařízení (bez nároku na bezpečnost prováděných funkcí) včetně návrhu HMI. Navržené HMI vychází z úpravy rozhraní JOP, které se používá u současných elektronických staničních zabezpečovacích zařízení.

Je navrženo a z větší části realizováno rozhraní pro napojení na systém TMS pro automatizaci zadávání povelů a řízení jízdy vlaků na modelovém kolejišti. Do doby jeho plného dokončení je možné zadávat povely alternativně ruční obsluhou myši přes HMI, jehož část ukazuje následující obrázek:

OVĚŘENÍ ŘEŠENÍ NA MODELU



Obrázek 26: Testovací vzorek systému – HMI, jádro, udělené MA FS



Obrázek 27: Testovací vzorek – vizualizace dat v OBU – MA, SSP a DSP

Celá testovací platforma umožňuje rozšíření do budoucna, jak o další funkce, tak i škálovatelnost ve smyslu rozsahu simulovaného kolejiště, počtu simulovaných vozidel. Jedním z hlavních plánovaných rozšíření je zejména integra-

ci s vyvíjenou implementací systému TMS v prostředí DSFD. Uvedené simulační prostředí umožnilo prvotní vyzkoušení většiny navržených algoritmů v praxi, byť tedy v první iteraci „pouze“ na modelovém kolejišti. Na základě těchto zkušeností pak mohly být provedeny drobné úpravy a vylepšení v práci navrhovaných algoritmů a provozních postupech.

6 Zhodnocení, závěr

„Vědecký člověk nemá za cíl dojít k okamžitému výsledku. Neočekává, že se jeho pokročilé nápady a myšlenky snadno uchytí. Jeho práce je jako práce plantážníka – pro budoucnost. Jeho povinností je položit základy a ukázat cestu těm, kteří přijdou.“

— Nikola Tesla [16]

Práce ukazuje směr, kterým by se mohl vývoj v oblasti zabezpečení a řízení železniční provozu v budoucnosti ubírat. Odráží se v ní logické požadavky na zvýšení bezpečnosti, propustnosti, atraktivity a případně i rychlosti železniční dopravy, včetně snížení podílu lidského činitele v rutinních úkonech při provozu, řízení a zabezpečení železniční dopravy, při využití prostředků v úrovni a možnostech současné doby.

Hlavní přínosy práce lze spatřovat v systematické analýze současného stavu, pojmenování hlavních nevýhod a nedostatků současného systému a následném systémovém přístupu k návrhu řešení v podobě nového systému flexibilního řízení a zabezpečení v podobě, která respektuje nově zaváděný systém (ERTMS/ETCS). Ten ovšem v třetí aplikační úrovni obsahuje řadu principiálně nedořešených otázek a rizik spojených zejména s minimalizací prvků v infrastruktuře, která nejsou v současně dostupných specifikacích uspokojivě vyřešena. V práci jsou tato rizika proto systematicky identifikována a vyhodnocena, včetně návrhu možných řešení. Práce navíc řeší i přesah do oblasti automatizace řízení, v systémovém návrhu počítá s příslušnými rozhraními pro navázání dalších prvků systému řešících úlohy TMS a ATO.

Cíle práce uvedené v kapitole 2 byly naplněny, včetně posledního bodu, kterým bylo ověření navrženého řešení na modelu, byť v omezeném rozsahu daném rozsahem simulované infrastruktury. Je zde oprávněný předpoklad dalšího pokračování zkoumání vlastností navrženého řešení a upřesňování některých funkcí systému v následujícím období, včetně dopracování vazby na systém TMS pro následné simulace a kvantifikování přínosů celého systému flexibilního řízení v daných konfiguracích kolejiště a při daném rozsahu simulovaného železničního provozu v rámci navazujících projektů.

Použité zdroje, reference

- [1] *ATO over ETCS*, časopis Reportér 4/2018, Praha: AŽD Praha s.r.o., s. 42–45 [online] [cit. 2019-05-10]
Dostupné z: <https://www.azd.cz/admin-data/storage/get/326-2018-4.pdf>
- [2] ČSN 34 2613 ed. 3 *Železniční zabezpečovací zařízení - Kolejové obvody a vnější podmínky pro jejich činnost*. Praha: Český normalizační institut, 2014. 44 s.
- [3] ČSN 34 2650 ed 2. *Železniční zabezpečovací zařízení – přejezdová zabezpečovací zařízení*, Praha: Český normalizační institut, 2010, 68 s.
- [4] ČSN EN 50126-1 ed. 2. *Drážní zařízení – Stanovení a prokázání bezporuchovosti, pohotovosti, udržitelnosti a bezpečnosti (RAMS)*. Část 1: Generický proces RAMS. Praha: Český normalizační institut, 2007. 72 s
- [5] *Elestedt P.: ERTMS Regional - Leading the way to the future*, UIC ERTMS World Conference, Stockholm, 2012
- [6] *ERTMS DEPLOYMENT WORLD MAP* [online] [cit. 2019-05-09]
Dostupné z: http://www.ertms.net/?page_id=55
- [7] *FRCMS Functional Working Group: Future Railway Mobile Communication System – User Requirements Specification*, version 3.0.0, 110 s., ISBN 978-2-7461-2474-5
- [8] *From Leipzig to Erfurt at 300 km/h – with European Train Control System* [online] [cit. 2019-07-21]
Dostupné z: <https://www.siemens.com/press/en/feature/2015/mobility/2015-12-vde8.php>
- [9] *Germany National ETCS Implementation Plan, version 1.11*, prosinec 2017 [online] [cit. 2019-07-24] Dostupné z: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/rail-nip/nip-ccs-tsi-germany-en.pdf>
- [10] *Hybrid ERTMS/ETCS Level 3 – Principles*, v. 1A, ERTMS User Group, 2017, 48s. [online] [cit. 2019-08-22]
Dostupné z: http://www.ertms.be/sites/default/files/2018-03/16E0421A_HL3.pdf
- [11] *Kamenický D.; Optimalizační algoritmy pro systémy řízení a zabezpečení železniční dopravy*, Studie k disertační práci, Praha: ČVUT FD, 2015
- [12] *Koutecký P.: Studie k disertační práci - Systém dynamického řízení a zabezpečení železniční dopravy*. Praha: ČVUT FD, 2015, 15 s.

- [13] *Magyla T.: European Train Control System over IP – The Challenges*, listopad 2015, 24 s. [online] [cit. 2019-04-06]
Dostupné z: <http://railknowledgebank.com/Presto/home/home.aspx>
- [14] *Myslivec I., Lieskovský A.: ATO AVV – Systém pro automatické vedení vlaku ČD*, prezentace na konferenci ŽelAktuel 2011, Praha: 2011
- [15] *Národní implementační plán ERTMS, Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 2017, 52s.* [online] [cit. 2019-09-18]
Dostupné z: <https://www.mdcz.cz/getattachment/Dokumenty/Drazni-doprava/Evropska-unie-na-zeleznici/Evropska-unie-na-zeleznici/NIP-ERTMS-2017.pdf.aspx?lang=cs-CZ>
- [16] *Nikola Tesla citáty* [online] [cit. 2019-08-21]
Dostupné z: <https://citaty.net/autori/nikola-tesla/>
- [17] *Poupě O.: Liniový vlakový zabezpečovač*. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1965, 244 s.
- [18] *Raibr M.: Pohled projektanta na proces zavádění ETCS na železniční infrastrukturu ČR – 9. Konference Zabezpečovací a telekomunikační systémy na železnici*, s. 22-28, 2019, Praha: SŽDC s.o., ISBN 978-80-907189-1-3
- [19] *Seznam národních/defaultních hodnot a SŽDC dat, ZTP příloha 2*, Praha: SŽDC s. o., 3s. [online] [cit. 2019-08-22]
Dostupné z: https://smlouvy.gov.cz/smlouva/soubor/7011348/E618-S-666_2018_PH_P%C5%99%C3%ADloha%20ZTP%20%C4%8D.%202.pdf
- [20] *Stanley P.: ETCS for Engineers*, Hamburg: Eurail Press, 2011, 310 s., ISBN: 978-3777104164
- [21] *Statistická ročenka SŽDC 2018. Praha: SŽDC s.o., 2019, 26 s.* [online] [cit. 2019-07-02]
Dostupné z: <http://www.szdc.cz/documents/Statistická+ročenka+2018.pdf>
- [22] *Subset 026-2 System Requirements Specification - Chapter 2 - Basic System Description*, v 3.6.0, Brusel: ERA, 2016, 25 s. [online] [cit. 2019-04-02]
Dostupné z: https://www.era.europa.eu/node/641/1091973_en
- [23] *Subset 026-3 System Requirements Specification - Chapter 3 - Principles*, v 3.6.0, Brusel: ERA, 2016, 204 s. [online] [cit. 2019-04-02]
Dostupné z: https://www.era.europa.eu/node/641/1091973_en

-
- [24] Subset 026-4 *System Requirements Specification - Chapter 4 - Modes and Transitions*, v 3.6.0, Brusel: ERA, 2016, 75 s. [online] [cit. 2019-04-02].
Dostupné z: https://www.era.europa.eu/node/641/1091973_en
- [25] Subset 026-7 *System Requirements Specification - Chapter 7 - ERTMS/ETCS language*, v 3.6.0, Brusel: ERA, 2016, 87 s. [online] [cit. 2019-04-02].
Dostupné z: https://www.era.europa.eu/node/641/1091973_en
- [26] Subset 026-8 *System Requirements Specification - Chapter 8 - Messages*, v 3.6.0, Brusel: ERA, 2016, 33 s. [online] [cit. 2019-04-02].
Dostupné z: https://www.era.europa.eu/node/641/1091973_en
- [27] Subset 034 *Train Interface FIS*, v 3.2.0, Brusel: ERA, 2015, 18 s. [online] [cit. 2019-04-02]
Dostupné z: https://www.era.europa.eu/node/641/1091973_en
- [28] Subset 036 *FFFIS for Eurobalise*, v 3.1.0, Brusel: ERA, 2015, 155 s. [online] [cit. 2019-04-02]
Dostupné z: https://www.era.europa.eu/node/641/1091973_en
- [29] Subset 037 *EuroRadio FIS*, v 3.2.0, Brusel: ERA, 2015, 126 s. [online] [cit. 2019-04-21]
Dostupné z: https://www.era.europa.eu/node/641/1091973_en
- [30] Subset 041 *Performance Requirements for Interoperability*, v 3.2.0, Brusel: ERA, 2015, 16 s. [online] [cit. 2019-04-21]
Dostupné z: https://www.era.europa.eu/node/641/1091973_en
- [31] Subset 088-3 *ETCS Application Levels 1 & 2 – Safety Analysis, Part 3 – THR Apportionment*, v 3.6.0, Brusel: ERA, 2016, 89 s. [online] [cit. 2019-04-02]
Dostupné z: https://www.era.europa.eu/node/641/1091973_en
- [32] Subset 091 *Safety Requirements for the Technical Interoperability of ETCS in Levels 1 & 2*, v 3.6.0, Brusel: ERA, 2016, 55 s. [online] [cit. 2019-04-02]
Dostupné z: https://www.era.europa.eu/node/641/1091973_en
- [33] Subset 113 *ETCS Hazard Log*, v 1.3.0, Brusel: ERA, 2018, 194 s. [online] [cit. 2019-04-06]
Dostupné z: https://www.era.europa.eu/node/641/1091973_en
- [34] Subset 119 *Train Interface FFFIS*, v 0.1.13, Brusel: ERA, 2014, 59 s. [online] [cit. 2019-04-06]
Dostupné z: https://www.era.europa.eu/node/641/1091973_en
-

- [35] TNŽ 34 2620 *Železniční zabezpečovací zařízení, staniční a traťové zabezpečovací zařízení*. Olomouc: České dráhy, 2002. str. 83.
- [36] *UIC code 951: GSM-R System Requirements Specification, version 16.0.0*, Paříž: UIC, ISBN 2-7461-1832-4, 200 s.
- [37] *UNISIG AN INDUSTRIAL CONSORTIUM TO DEVELOP ERTMS/ETCS TECHNICAL SPECIFICATIONS*
[online] [cit. 2019-07-11]
Dostupné z: http://www.ertms.net/wp-content/uploads/2014/09/ERTMS_Factsheet_8_UNISIG.pdf
- [38] *Vyhláška č. 173/1995 Sb. - Vyhláška Ministerstva dopravy, kterou se vydává dopravní řád drah. Praha: MD ČR, 1995*. [online] [cit. 2019-07-02]
Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-173>

Pro kreslení sekvenčních diagramů byl použit online nástroj Sequence diagram <https://sequencediagram.org>.

Použité zkratky

| | |
|---------------|--|
| ATO | Automatic Train Operation |
| ATP | Automatic Train Protection (vlakový zabezpečovač) |
| AoE | ATO over ETCS |
| ASE | anulační soubor elektronický |
| ASW | adresný software |
| BG | Balise Group (balízová skupina) |
| BTM | Balise Transmission Module (čtečka balíz) |
| CBTC | Communications-Based Train Control |
| ČSN | Česká státní norma |
| DMI | Driver Machine Interface |
| DSP | Dynamic Speed Profile (dynamický rychlostní profil) |
| EBI | Emergency Brake Intervention (zásahová křivka nouzového brždění) |
| EIRENE | European Integrated Railway Radio Enhanced Network |
| EN | Evropská norma |
| EoA | End of Authority (konec oprávnění k jízdě) |
| ERA | European Railway Agency |
| ERTMS | European Railway Traffic Management System |
| ETCS | European Train Control System |
| EVC | European Vital Computer |
| FFFIS | Form Fit Function Interface Specification |
| FIS | Functional Interface Specification |
| FRMCS | Future Railway Mobile Communication System |
| FS | Full supervision (mód OBU) |
| GP | Gradient Profile (sklonový profil) |
| GSM | Global System for Mobile Communications |
| GSM-P | Global System for Mobile Communications – Public |
| GSM-R | Global System for Mobile Communications – Railway |
| HMI | Human Machine Interface (rozhraní člověk-stroj) |
| HPO | hranice prostorového oddílu |
| IRI | Interlocking - RBC Interface (rozhraní zabezpečovací zařízení – RBC) |
| IS | Isolation (mód OBU) |
| IP | internet protocol |

| | |
|--------------|---|
| ITS-R | Intelligent Transport System - Railway |
| IZZ | integrální zabezpečovací zařízení |
| JOP | jednotné obslužné pracoviště |
| JRU | Juridical Recording Unit (datový záznamník - "černá skříňka") |
| LEU | Lineside Electronic Unit (rozhraní mezi SZZ a přepínatelnou balízou) |
| LRBG | Last Relevant Balise Group |
| LS | Limited Supervision (mód OBU) |
| LZB | Linienzugbeeinflussung (typ liniového vlakového zabezpečovače typického pro Německo a Rakousko) |
| MA | Movement Authority (oprávnění k jízdě) |
| MIB | magnetický informační bod |
| msg | Message (zpráva jazyka ETCS) |
| NIP | národní implementační plán ERTMS |
| NL | Non Leading (mód OBU) |
| NP | Non Power (mód OBU) |
| OBU | On Board Unit (palubní část systému ETCS) |
| OC | Object Controller (objektový kontrolér) |
| OS | On Sight (mód OBU) |
| PB | počítací bod (počítače náprav) |
| PC | posunová cesta |
| PJ | pomalá jízda |
| pkt | packet (paket – blok přenášených dat) |
| PN | počítač náprav |
| PO | poziční okno |
| PO | prostorový oddíl |
| PR | Position Report |
| PS | Passive Shunting (mód OBU) |
| PT | Post Trip (mód OBU) |
| PZB | Punktförmige Zugbeeinflussung (typ bodového vlakového zabezpečovače) |
| PZZ | přejezdové zabezpečovací zařízení |
| RAMS | Reliability, Availability, Maintainability, Safety (spolehlivost, dostupnost, udržitelnost, bezpečnost) |
| RBC | Radio Block Centre (radiobloková centrála systému ETCS) |
| RIU | Radio-Infill Unit |

| | |
|---------------|---|
| RV | Reversing (mód OBU) |
| SB | Stand By (mód OBU) |
| SBI | Service Brake Intervention |
| SF | System Failure (mód OBU) |
| SH | Shunting (mód OBU) |
| SL | Sleeping (mód OBU) |
| SoM | Start of Mission |
| SR | Staff Responsible (mód OBU) |
| SSP | Static Speed Profile (statický rychlostní profil) |
| STM | Specific Transmission Module |
| SŽDC | Správa železniční dopravní cesty, s. o. |
| TCC | Traffic Control Centre |
| TIMS | Train Integrity Monitoring System |
| TIU | Train Interface Unit (rozhraní mezi OBU a vozidlem) |
| tlg | telegram (balízy) |
| TMS | Traffic Management System (systém řízení provozu) |
| TNŽ | technická norma železnic |
| TSR | Temporary Speed Restriction |
| TR | Trip (mód OBU) |
| UIC | International Union of Railways |
| UN | Unfitted (mód OBU) |
| UNISIG | Union Industry of Signalling |
| VC | vlaková cesta |
| VZ | vlakový zabezpečovač |

Použité pojmy

| | |
|----------------------------|--|
| balízová skupina | jedna nebo více balíz se shodnou lokací a shodným BG ID |
| bezpečně | ve smyslu fail-safe, s definovanou integritou bezpečnosti funkce |
| eurobalíza | prvek pro bezkontaktní přenos telegramu z balízy na vlak |
| fail-safe funkce | funkce s definovaným chováním v případě poruchy, kdy selhání se projeví přechodem systému do bezpečnějšího stavu |
| integrita vlaku | potvrzující informace, že vlak je celý (nedošlo k odtržení vozidla/vozidel) |
| interoperabilita | schopnost umožnit bezpečný a nepřetržitý pohyb vlaků, které splňují stanovené požadavky |
| intervence | zásah OBU do řízení vozidla (aplikace provozní nebo nouzové brzdy) |
| nebezpečí (hazard) | situace, která může vést ke zranění lidí [1] |
| nouzová brzda | brždění maximálním brzdícím účinkem s nejkratší dobou náběhu u instalovaných brzd na vlaku/vozidle |
| paket | definovaná sada proměnných v jazyku ETCS přenášející ucelenou informaci |
| permisivní stůj | návěst stůj, u které lze za splnění podmínek daných provozními předpisy pokračovat definovaným způsobem v jízdě |
| pevná balíza | balíza s neproměnnou přenášenou informací (telegramem) |
| poziční okno vlaku | prostor v infrastruktuře mezi max. bezpečným čelem vlaku a minimálním koncem vlaku (viz obr. 14) |
| provozní brzda | brždění vozidla s daným omezeným max. brzdícím účinkem a danou dobou náběhu brzdy |
| přepínatelná balíza | balíza s možností výběru vysílané informace (telegramu) dle vnějších podmínek (vazba na jednotku LEU) |

| | |
|----------------------------|--|
| riziko (risk) | pravděpodobnost výskytu nebezpečí způsobujícího škodu a stupeň závažnosti této škody [1] |
| subset | dokument specifikující požadavky na části systému ETCS |
| telegram | datová zpráva systému ERTMS vysílaná balízou směrem k míjejícímu vozidlu |
| zábrzdná vzdálenost | vzdálenost pro bezpečné zastavení vlaku, v české právní úpravě 500, 700 a 1000 m v závislosti na traťové rychlosti |
| zpráva | kombinace aplikačních dat v aplikačním protokolu ETCS |

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obrázek 1: Princip prostorové soustavy | 8 |
| Obrázek 2: Přibližovací úsek a doba uzavření přejezdu..... | 11 |
| Obrázek 3: Proces přípravy jízdni cesty a rozjezdu vlaku | 12 |
| Obrázek 4: Architektura vozidlové části ETCS | 17 |
| Obrázek 5: Architektura ETCS L1 | 19 |
| Obrázek 6: Architektura ETCS L2 | 21 |
| Obrázek 7: Architektura ETCS L3 | 24 |
| Obrázek 8: Udělení MA, SSP a výpočet DSP | 28 |
| Obrázek 9: Porovnání principů prostorové soustavy a flexibilního řízení | 37 |
| Obrázek 10: Porovnání z pohledu zabezpečovacího zařízení | 39 |
| Obrázek 11: Koncept architektury systému flex. řízení a zabezpečení..... | 41 |
| Obrázek 12: Koncept topologie OC | 44 |
| Obrázek 13: Vstupní data od OBU..... | 46 |
| Obrázek 14: Bezpečné čelo a konec vlaku dle S026 [23]..... | 60 |
| Obrázek 15: Zpoždění přenosu PR – časové parametry | 63 |
| Obrázek 16: Znázornění pulsování pozičního okna | 66 |
| Obrázek 17: Informační toky – navázání komunikace | 68 |
| Obrázek 18: Udělení a prodloužení neúplného MA..... | 74 |
| Obrázek 19: Princip uvolňování prvků za vlakem | 75 |
| Obrázek 20: Princip ovládání PZZ | 77 |
| Obrázek 21: Dělení vlaku bez OBU v nové části dle b) i..... | 85 |
| Obrázek 22: Pohyb vlaku 1 před spojováním vlaků | 87 |
| Obrázek 23: Ilustrace k scénáři užití – spojení vlaků..... | 88 |
| Obrázek 24: Řešení vybraných konfigurací doplnění detekčních prostředků | 90 |
| Obrázek 25: Ověření informace o délce vlaku – princip, krok 2 | 91 |
| Obrázek 26: Testovací vzorek systému – HMI, jádro, udělené MA FS..... | 94 |
| Obrázek 27: Testovací vzorek – vizualizace dat v OBU – MA, SSP a DSP | 94 |

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1: Prefixy proměnných ETCS | 17 |
| Tabulka 2: Zasílání PR v závislosti na módu OBU | 58 |
| Tabulka 3: Význam hodnot Q_LENGTH | 60 |

Příloha 1 – výpočet délky pozičního okna

Následující tabulka ukazuje jako příklad výpočet maximální délky pozičního okna vlaku pro tyto vstupní parametry (šedá pole):

| | |
|--------------------------------------|------------------------|
| Časový interval posílání PR | 2 s |
| Rychlost vlaku | 160 km.h ⁻¹ |
| Délka vlaku | 300 m ³⁴ |
| Mezi PR vlak ujede | 89 m |
| Perioda hlášení celistvosti do OBU | 0 s |
| Přesnost polohy (Subset 041 kap 5.3) | |
| Fixní + | 5 m |
| Pohyblivá * | 0,05 z ujeté dráhy |
| Vzdálenost balíz | 1000 m |

| čas [s] | D_LRBG [m] | D celkem [m] | Max L_DOUBT-OVER [m] | Max L_DOUBT-UNDER [m] | konf. interval (max) [m] | konf interval z délky vlaku | délka PO (max) [m] | obsazeno vlakem vůči jeho reálné délce (max) |
|-----------|------------|--------------|----------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------|--|
| 0 | 0 | 0 | 5 | 5 | 10 | 3% | 310 | 103% |
| 2 | 89 | 89 | 9 | 9 | 19 | 6% | 319 | 106% |
| 4 | 178 | 178 | 14 | 14 | 28 | 9% | 328 | 109% |
| 6 | 267 | 267 | 18 | 18 | 37 | 12% | 337 | 112% |
| 8 | 356 | 356 | 23 | 23 | 46 | 15% | 346 | 115% |
| 10 | 444 | 444 | 27 | 27 | 54 | 18% | 354 | 118% |
| 12 | 533 | 533 | 32 | 32 | 63 | 21% | 363 | 121% |
| 14 | 622 | 622 | 36 | 36 | 72 | 24% | 372 | 124% |
| 16 | 711 | 711 | 41 | 41 | 81 | 27% | 381 | 127% |
| 18 | 800 | 800 | 45 | 45 | 90 | 30% | 390 | 130% |
| 20 | 889 | 889 | 49 | 49 | 99 | 33% | 399 | 133% |
| 22 | 978 | 978 | 54 | 54 | 108 | 36% | 408 | 136% |
| 24 | 67 | 1067 | 8 | 8 | 17 | 6% | 317 | 106% |
| 26 | 156 | 1156 | 13 | 13 | 26 | 9% | 326 | 109% |
| 28 | 244 | 1244 | 17 | 17 | 34 | 11% | 334 | 111% |

³⁴ Délka přibližně odpovídá vlaku sestavenému z 11 osobních vozů typu Bmz + lokomotivy.

| čas [s] | D_LRBG [m] | D celkem [m] | Max L_DOUBT-OVER [m] | Max L_DOUBT-UNDER [m] | konf. interval (max) [m] | konf interval z délky vlaku | délka PO (max) [m] | obsazeno vlakem vůči jeho reálné délce (max) |
|-----------|------------|--------------|----------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------|--|
| 30 | 333 | 1333 | 22 | 22 | 43 | 14% | 343 | 114% |
| 32 | 422 | 1422 | 26 | 26 | 52 | 17% | 352 | 117% |
| 34 | 511 | 1511 | 31 | 31 | 61 | 20% | 361 | 120% |
| 36 | 600 | 1600 | 35 | 35 | 70 | 23% | 370 | 123% |
| 38 | 689 | 1689 | 39 | 39 | 79 | 26% | 379 | 126% |
| 40 | 778 | 1778 | 44 | 44 | 88 | 29% | 388 | 129% |
| 42 | 867 | 1867 | 48 | 48 | 97 | 32% | 397 | 132% |
| 44 | 956 | 1956 | 53 | 53 | 106 | 35% | 406 | 135% |
| 46 | 44 | 2044 | 7 | 7 | 14 | 5% | 314 | 105% |
| 48 | 133 | 2133 | 12 | 12 | 23 | 8% | 323 | 108% |
| 50 | 222 | 2222 | 16 | 16 | 32 | 11% | 332 | 111% |
| 52 | 311 | 2311 | 21 | 21 | 41 | 14% | 341 | 114% |
| 54 | 400 | 2400 | 25 | 25 | 50 | 17% | 350 | 117% |
| 56 | 489 | 2489 | 29 | 29 | 59 | 20% | 359 | 120% |
| 58 | 578 | 2578 | 34 | 34 | 68 | 23% | 368 | 123% |
| 60 | 667 | 2667 | 38 | 38 | 77 | 26% | 377 | 126% |
| 62 | 756 | 2756 | 43 | 43 | 86 | 29% | 386 | 129% |
| 64 | 844 | 2844 | 47 | 47 | 94 | 31% | 394 | 131% |
| 66 | 933 | 2933 | 52 | 52 | 103 | 34% | 403 | 134% |
| 68 | 22 | 3022 | 6 | 6 | 12 | 4% | 312 | 104% |

Jak je vidět z tabulky, maximální délka pozičního okna je na základě PR těsně před přečtením balízy (viz šedě podbarvené řádky v tabulce), kdy se složka nepřesnosti závislá na D_LRBG nuluje. V uvedeném případě činí přibližně 35% navíc vůči reálné délce vlaku.

Ke snížení této hodnoty dojde pochopitelně u delšího vlaku (větší podíl délky vlaku vůči nepřesnostem v odometrii), ale i snížením hodnot konfidenčního intervalu (v tabulce uvedené hodnoty jsou maximální dle Subset 041 [30], kap. 5.3.1.1), reálně lze tedy uvažovat s nepřesností menší. Další vliv má pochopitelně i rozmístění balíz – vzdálenost BG – čím častěji umístěné balízy, tím častěji dochází k nulování chyby odometrie.