

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA
KATEDRA ELEKTROTECHNIKY, ELEKTRONIKY
A ZABEZPEČOVACÍ TECHNIKY V DOPRAVĚ

ZPRACOVÁNÍ INFORMACÍ V RBC SYSTÉMU ERTMS/ETCS
DISERTAČNÍ PRÁCE

AUTOR PRÁCE: Ing. JAN OUŘEDNÍČEK
ŠKOLITEL: Doc. Ing. MILAN KUNHART, CSc.

2010

UNIVERSITY OF PARDUBICE
JAN PERNER TRANSPORT FACULTY
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING AND SIGNALING IN TRANSPORT

INFORMATION PROCESSING IN RBC OF ERTMS/ETCS
DISSERTATION

AUTHOR: Ing. JAN OUŘEDNÍČEK
SUPERVISOR: Doc. Ing. MILAN KUNHART, CSc.

2010

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích 5. 9. 2010

Ing. Jan Ouředníček

ABSTRAKT

Tato disertační práce se věnuje problematice funkčních algoritmů RBC systému ERTMS/ETCS. Práce je zaměřena na problém metody určení pořadí dvou vozidel na základě hlášení polohy posílaných jejich mobilními částmi ETCS. Je v ní provedena analýza vlastností hlášení polohy zaměřená na odchylky v určení polohy vozidel, které vznikají zejména vlivem zpoždění při přenosu informací mezi mobilní částí na vozidle a RBC, a analýza vztahů konfidenčních intervalů hlášení polohy. Výstupem práce je obecný návrh metod určení pořadí vozidel při eliminaci negativních faktorů ovlivňujících možnosti vyhodnocení tohoto pořadí.

KLÍČOVÁ SLOVA: ETCS, vlakové zabezpečovací systémy, RBC, hlášení polohy, sekvenční diagram, systémová analýza.

ABSTRACT

This dissertation entitled 'Information Processing in RBC of ERTMS/ETCS' deals with the functional algorithm of the Radio Block Centre. The main part of the dissertation focuses on the determination of the two trains order based on the position reports sent from their ETCS Onboard. The dissertation contains an analysis of the position reports examining train position errors especially caused by delays during the information transmission between Onboard and RBC. The relationships between confidence intervals of the position reports are also considered. The outcome of the dissertation is a set of suggested methods for the ETCS trains order determination when eliminating the factors which negatively influence the result of the trains order determination.

KEYWORDS: ETCS, automatic train protection, RBC, position report, sequence diagram, system analysis.

TITLE: Information processing in Radio Block Centre of ERTMS/ETCS.

PODĚKOVÁNÍ

Na prvním místě bych rád tímto poděkoval svému školiteli a kolegovi Doc. Ing. Milanu Kunhartovi, CSc. za jeho vedení během mého postgraduálního studia, odbornou a morální podporu a za poskytnutí zdrojů a prostoru ke zpracování této disertační práce.

V nemalé míře toto poděkování patří rovněž ostatním kolegyním a kolegům ze závodu Technika, oddělení Výzkumu a vývoje, pracovišť VP13 a VP15, kteří jsou součástí řešitelského týmu, jehož jsem členem.

Autor

1. CÍL PRÁCE

Radiobloková centrála (RBC – *Radio Block Centre*) je klíčovým elementem stacionární části systému Evropského vlakového zabezpečovacího zařízení (ETCS – *European Train Control System*) v jeho 2. a 3. aplikační úrovni (ETCS L2 a ETCS L3). Z ekonomických i čistě technických důvodů je 3. aplikační úroveň stále záležitostí experimentálních a testovacích instalací. Naopak 2. aplikační úroveň se postupně, s menšími či většími úspěchy, uplatňuje jak v pilotních, tak i komerčních instalacích nejen v rámci států Evropské Unie (UNIFE, 2010), ale ve stále větší míře i v podobě regionálních derivátů ve státech mimo unii, zejména v Číně tzv. CTCS – *Chinese Train Control System* (Chinese Train Control System, Wikipedia, 2010), Austrálii, Mexiku a zemích blízkého východu. Zvládnout technologii ETCS jako celek nebo v podobě dílčích komponent je snahou každého z evropských dodavatelů železničních zabezpečovacích systémů.

RBC jako charakteristická součást ETCS L2 představuje rozsáhlý řešitelský problém z pohledu jak architektury komponenty (RBC) samotné, tj. zabezpečovacího systému v našich podmínkách splňujícího požadavky na HW a SW řešení dle EN 50 128 (2001), EN 50 129 (2003), tak i v kontextu řízeného dopravního procesu (včetně provozních zvyklostí a pravidel), okolních zabezpečovacích a ostatních systémů, právních a legislativních norem platných v regionu nasazení komponenty. Náročnost vyhovění těmto aspektům se samozřejmě u jednotlivých výrobců značně liší. O vývoj komponenty RBC jako konkurence schopného produktu na poli ETCS usiluje i tuzemská společnost AŽD Praha s. r. o. Autor této práce je členem řešitelského týmu na závodě Technika společnosti AŽD, týmu, který se tomuto úkolu věnuje.

S ohledem na tuto disertační práci je, z výše zmíněné skupiny obecných řešitelských problémů, vhodné uvést jeden konkrétní, charakteristický pro železniční prostředí ČR, a tím i pro množinu znalostí, kterou tuzemští odborníci v oblasti železničních zabezpečovacích systémů disponují. Doposud nebylo totiž v ČR nasazeno, a v běžném provozním prostředí používáno, vlakové zabezpečovací zařízení s úplnou kontrolou rychlosti. Existující vlakové zabezpečovací zařízení LS, rozšířené na hlavních tratích a instalované i na většině vozidel, zajišťuje pouze omezenou kontrolu strojvedoucího – ve smyslu, zda je schopen vykonávat požadované činnosti – bez efektivnější vazby na rychlostní omezení vyžadovaná infrastrukturou. Díky tomu chybí u odborné veřejnosti jak obecné povědomí o problematice úplné kontroly rychlosti zabezpečovacím systémem, tj. s přenesením zodpovědnosti za

do držování restrikcí určených infrastrukturou z lidského činitele (strojvedoucího) na technický systém, tak i konkrétní expertní zkušenosti a poznatky související s vývojem, instalací a provozováním takových systémů. Znalostní deficit ohledně ETCS není tedy spojen pouze s tím, že se jedná o *nový* systém, který kromě svých zabezpečovacích úloh má plnit i úlohy spojené s problematikou známou pod pojmem *interoperabilita*, ale týká se i obecnějšího problému bezpečnostně relevantní kontroly držování limitů ve vzdálenosti a v rychlosti.

Z hlediska dostupnosti expertních znalostí, lze informace o ETCS rozdělit do třech skupin.

- Informace obsažené v tzv. specifikacích ETCS – většinou dostupné dokumenty spravované Evropskou železniční agenturou (ERA – *European Railway Agency*) a dostupné na webu ERA(2010).
- Zkušenosti z probíhajících projektů, připravované verze specifikací – příslušné dokumenty jsou dostupné zainteresovaným subjektům, které se na realizaci konkrétních projektů účastní, resp. se podílí na tvorbě specifikací ETCS.
- Vlastnosti konkrétních komponent systému – prakticky nedostupné informace, patřící mezi klíčová know-how dodavatelů jednotlivých komponent.

Obecně přístupné informace se tedy týkají zejména vlastností obecných, a to nezbytných pro fungování bezpodmínečně interoperabilního rozhraní – kterým je rozhraní mezi stacionární částí (trať) a mobilní částí (vozidlo) – a souvisejících funkčních vlastností příslušných komponent. Zpětná vazba, tj. zkušenosti z projektů, jsou k dispozici v omezené míře, stejně tak i připravované změny specifikací. Detailní informace o reálných komponentách a zkušenosti s jejich integrací do celého systému, tzn. to nejpodstatnější co každého dodavatele zajímá, je k dispozici pouze náhodně, v omezeném množství až během realizací konkrétních projektů (při vazbě na sousední komponenty).

Z tohoto důvodu je velká pozornost řešitelů RBC, mezi které patří autor práce, věnována analytickým činnostem, jejichž cílem je na základě dostupných informací definovat modelové chování ETCS pro podmínky železničního prostředí ČR, a odhalit tak potenciální problémy co nejdříve v procesu vývoje komponenty RBC, kdy ještě náklady spojené s řešením takových problémů jsou výrazně nižší než v případě po HW a SW stránce dokončené komponenty. Ostatně takový postup je vyžadován i příslušnou normou (ČSN EN 50 126, 2001). Tato disertační práce tedy navazuje na realizované analýzy, specifikuje konkrétní dílčí problém, který z těchto analýz vyplynul, podrobně ho analyzuje a uvádí varianty jeho řešení.

Cílem této práce je analýza problému určení pořadí dvou vozidel v RBC na základě hlášení polohy, které mobilní část systému ETCS těchto vozidel předává do RBC, a návrh metody určení pořadí vhodné pro reálnou implementaci do funkčních algoritmů RBC.

Výsledek práce má mít podobu obecných vztahů platných pro široké spektrum možností nasazení RBC, tj. bez omezení na konkrétní, specifikacemi ETCS neharmonizované, vlastnosti OBU a potažmo samotných vozidel i bez omezení na případné specifické vlastnosti okolních stacionárních zabezpečovacích a komunikačních subsystémů.

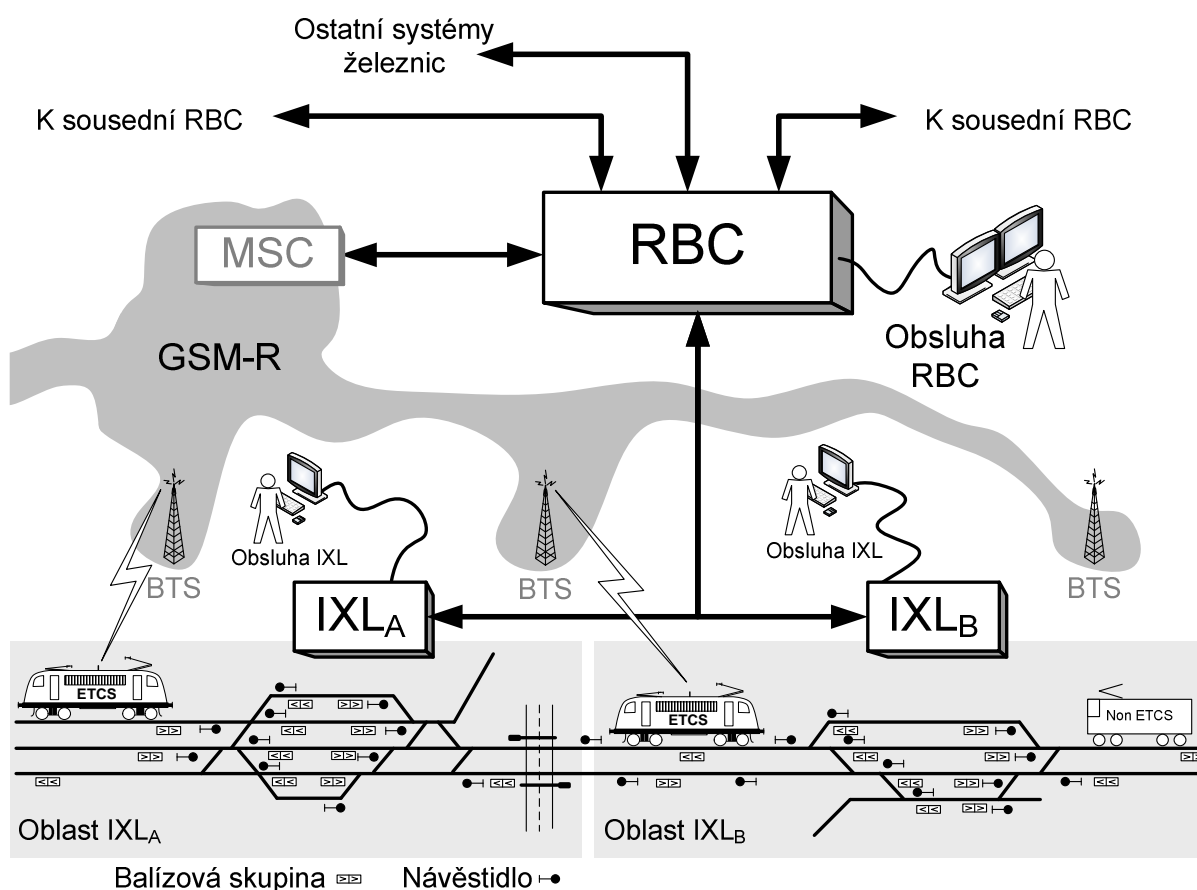
Práce je strukturována do pěti hlavních kapitol

1. Cíl práce
2. Současný stav problematiky, která obsahuje:
 - Ideový popis systému ETCS 2. aplikační úrovně s důrazem na vlastnosti související s řešeným problémem.
 - Shrnutí dosavadních poznatků a výsledků, které představují podnět k problému řešenému v této práci
3. Zvolené metody zpracování, která obsahuje:
 - Popis zvolené metody zpracování analýz
 - Odůvodnění volby příslušné metody
4. Dosažené výsledky – jedná se o hlavní část práce, která obsahuje:
 - Analýzu hlášení polohy z hlediska informací v něm obsažených a z hlediska vlastního přenosu
 - Stanovení obecného postupu určení pořadí vozidel
 - Návrh a analýzu metod vedoucích k naplnění uvedeného postupu
5. Závěr

2. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

2.1 Architektura ETCS L2

Architektura systému ERTMS/ETCS (dále jen ETCS) 2. aplikační úrovně (ETCS L2) v obecné podobě je uvedena na Obr. 2-1. Charakteristickou komponentou 2. aplikační úrovně je právě Radiobloková centrála RBC. Ta, na základě informací od stavědel (IXL) resp. od existujících stacionárních zabezpečovacích systémů (stavědla, traťové systémy, přejezdy) o stavu infrastruktury a postavených jízdních cestách, generuje informace pro vozidla s dispozicemi k jízdě. Tyto dispozice se předávají prostřednictvím mobilní rádiové sítě GSM-R mobilní části ETCS (OBU – *Onboard Unit*) na vozidlech, která příslušné dispozice zobrazuje strojvedoucímu a dohlíží podle nich nad pohybem vozidla. Naopak RBC může zpětně ovlivňovat stavědla – například v souvislosti s rušením neprojeté jízdni cesty, jak o tom pojednává Kunhart (2005) a Kunhart et al. (2004).

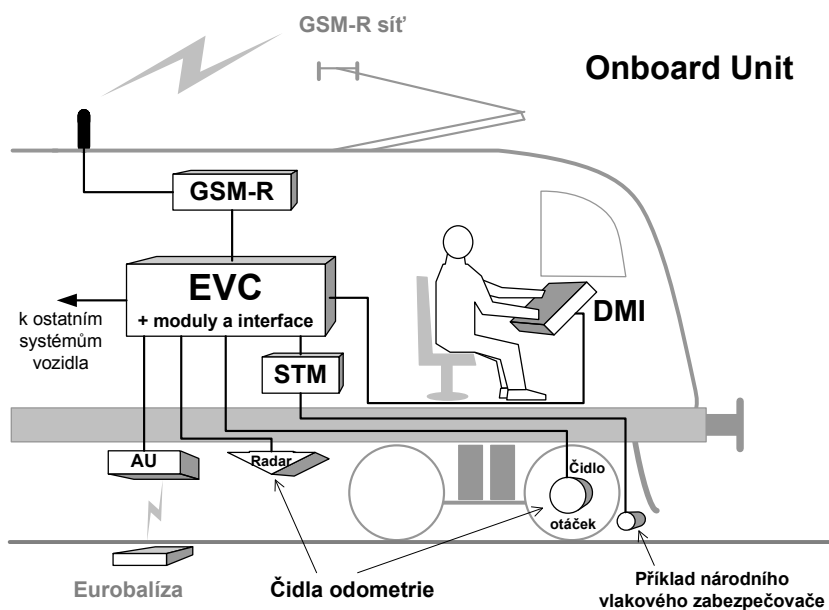


Obr. 2-1: Obecná architektura ETCS 2. aplikační úrovně

V situaci, kdy má RBC k dispozici všechny potřebné informace, což by mělo být vždy, kdy nedošlo k žádné mimořádnosti (porucha, nestandardní provozní situace), generuje a

posílá do OBU zprávu s tzv. oprávněním k jízdě (MA – *Movement Authority*). To obsahuje veškeré informace potřebné k plnému převzetí zodpovědnosti za bezpečnost jízdy systémem ETCS – vzdálenost, do které se může vozidlo pohybovat, rychlostní profily (tj. polohy a hodnoty změn rychlostí), sklonové profily a další.

K orientaci vozidla na infrastruktuře slouží takzvaný balízový souřadný systém (S-026-3, 2006, § 3.4.2), kdy každý vzdálenostní údaj uváděný v informacích předávaných z RBC do OBU je vztažen k některé z balízových skupin (BG – *Balise Group*), která byla kontaktována palubní částí ETCS vozidla (podrobnosti o Eurobalízách, či balízách, a balízových skupinách, viz Ouředníček (2004) popřípadě online dostupná prezentace Ouředníček (2010a)). Stejně tak, když OBU předává do RBC informace, je součástí příslušné zprávy aktuální poloha charakterizovaná vzdáleností ujetou vozidlem od poslední korektně kontaktované balízové skupiny. Ta se označuje jako LRBG – *Last Relevant Balise Group* (poslední platná balízová skupina).



Obr. 2-2: Obecná architektura mobilní části systému ETCS

Architektura mobilní části je znázorněna na Obr. 2-2. Jádrem OBU představuje tzv. EVC – *European Vital Computer*. Ten jednak zpracovává informace přijímané skrze anténní jednotku (AU – *Antenna Unit*) od balíz a prostřednictvím terminálu GSM-R od RBC, dále přes rozhraní (DMI – *Driver Machine Interface*) zajišťuje zobrazení informací pro a přijímání povelů od strojvedoucího a ve spolupráci s čidly otáček a dopplerovským radarem realizuje funkci tzv. *odometrie*, což je bezpečné měření ujeté dráhy a rychlosti. Kromě toho musí mít EVC zajištěnou vazbu na další systémy vozidla – minimálně na nouzovou brzdu. Prvek

označený na Obr. 2-2 jako STM je zvláštní přenosový modul (*Specific Transmission module*) umožňující vazbu mezi ETCS a konkrétním národním vlakovým zabezpečovacím zařízením, kterým příslušné vozidlo disponuje.

Podle míry rozdělení zodpovědnosti za bezpečnost jízdy mezi strojvedoucího – popřípadě jiný národní vlakový zabezpečovací systém – a systém ETCS (na straně jedné) a podle informací, které OBU přijme od traťové části, stavu vozidla a aktuálních provozních potřeb vozidla (na straně druhé), se OBU vozidla může nacházet v jednom z šestnácti tzv. módů. Tyto módy jsou podrobně specifikovány v S-026-2 v230 (2006). V zásadě je situace taková, že v případě plné funkčnosti OBU, dostupnosti kompletního oprávnění k jízdě a při běžných provozních okolnostech se vozidlo nachází v tzv. módu plného dohledu – FS (Full Supervision), kde plná zodpovědnost za bezpečnost jízdy je na straně ETCS. V ostatních případech se může pohybovat pouze v některém z degradovaných módů, kdy část zodpovědnosti (OS – Jízda podle rozhledu), nebo téměř celá zodpovědnost (SR – Jízda pod zodpovědností strojvedoucího) přechází na strojvedoucího. Pokud jsou překročeny mezní dispozice k jízdě, OBU přejde do módu, který vynutí nouzové zastavení (TR – *Trip*). Další módy jsou vyhrazeny pro jízdu mimo oblast ETCS L2 (UN, SL), jiné pro situace, kdy je vozidlo ve výkonu, ale není v čele soupravy (NL, SL). V článku 4.2.7 jsou jednotlivé módy diskutovány s ohledem na jejich možnosti změny směru jízdy, protože schopnost vozidla v konkrétních situacích měnit směr jízdy, má vliv na výsledky v této práci řešeného problému.

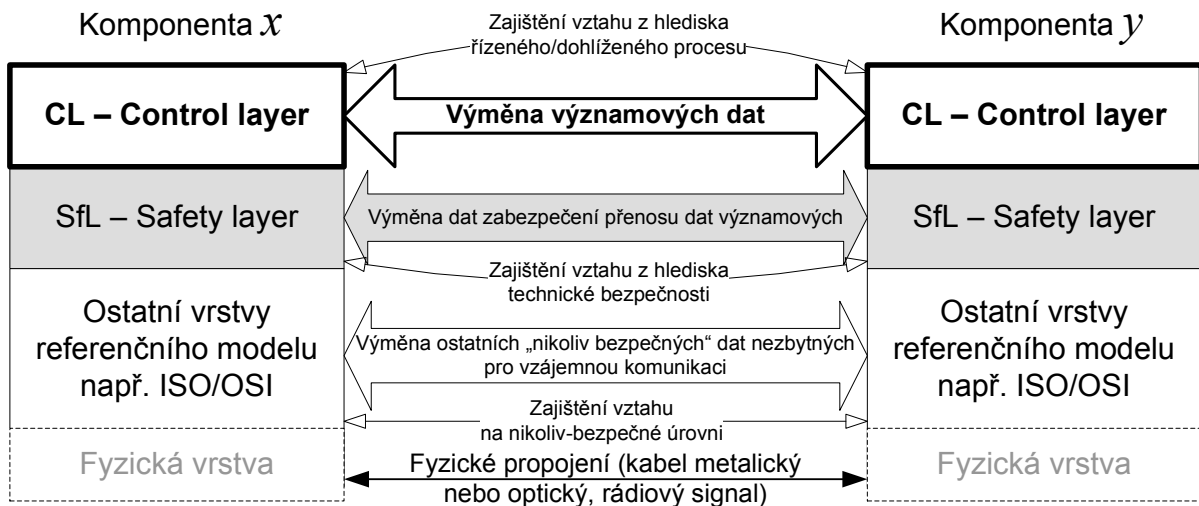
2.1.1 Jazyk ETCS

Základním pilířem interoperability je unifikovaný přenos informací mezi stacionární částí systému ETCS a jeho mobilní částí. V případě 2. aplikační úrovně se jedná o dva komunikační subsystémy, kterých se toto týká. Je to uzavřený balízový komunikační subsystém (S-036 v241, 2007) a otevřený přenosový subsystém – radiová síť GSM-R s bezpečnostně relevantním přenosovým protokolem Euroradio (S-037 v230, 2007). V obou těchto případech se k přenosu významových dat používá jednotný formát – tzv. jazyk ETCS, viz S-026-7 v230 (2006) a S-026-8 v230 (2006), kde jsou definovány objekty tohoto jazyka ETCS, což jsou proměnné (týkají se jednoho konkrétního parametru např. délky, rychlosti, času), pakety (soubor proměnných vytvářející určitou souhrnnou informaci, např. rychlostní profil, sklonový profil) a zprávy (ty představují objekty sdružující pakety a zprávy do podoby určené k přenosu).

Všechny objekty jazyka ETCS týkající se problematiky řešené v této práci jsou uvedeny, kromě odkazovaných specifikací, i v příloze 1.

2.1.2 Významová data

Pojmem významová data se myslí takové informace, které se vztahují k řízenému dopravnímu procesu a buď zcela nebo v naprosté většině neobsahují další informace určené k zabezpečení dat při přenosu ve smyslu EN 50 159-1 (2001) a EN 50 159-2 (2001).



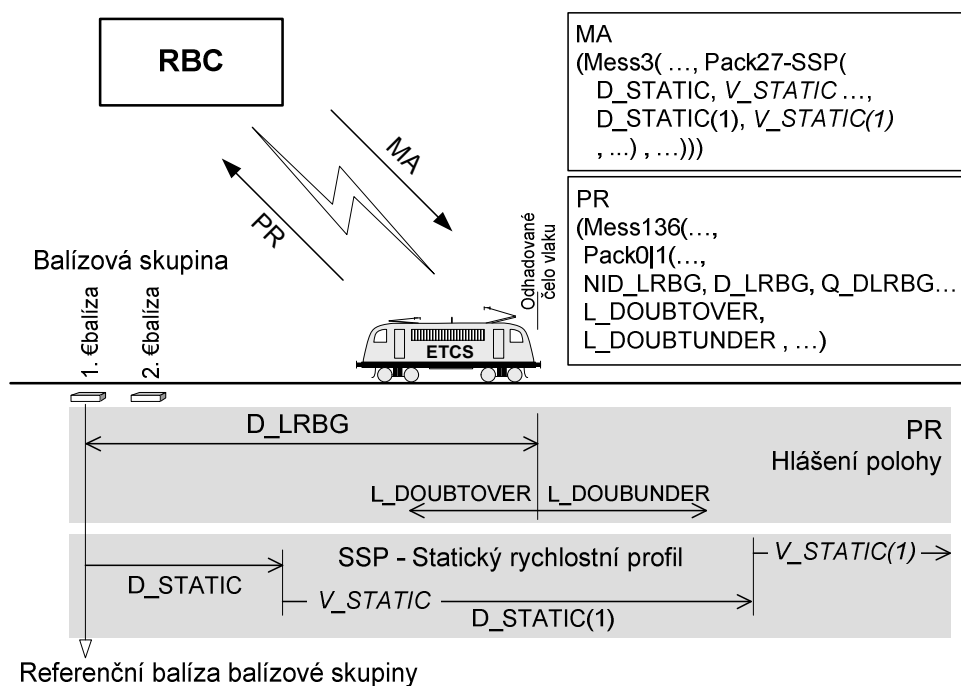
Obr. 2-3: Referenční vrstvý model bezpečnostně relevantních komponent a jejich vzájemné komunikace

Při znázornění referenčního vrstvého modelu obecných bezpečnostně relevantních komponent (subsystémů, systémů) a jejich vzájemné komunikace dle Obr. 2-3., kdy se k vrstvám referenčního modelu informačních systémů (např. ISO/OSI) přidává vrstva označovaná jako SfL (*Safety Layer*) – ta zajišťuje zabezpečení přenášených informací a samotného systému proti neúmyslným a popř. i úmyslným modifikacím přenášených informací při současné odolnosti komunikujících komponent proti vlastním náhodným selháním – a vrstva označovaná jako CL (*Control Layer*) popř. jako vrstva funkčních algoritmů (FA) – její úloha spočívá v realizaci, dle řízeného dopravního procesu definovaného, funkčního chování systému – dochází k výměně těchto významových dat právě mezi funkčními algoritmy, tj. mezi CL vrstvami.

2.1.3 Hlášení polohy

Schopnost vozidla orientovat se na infrastruktuře, je důležitým předpokladem pro funkci každého vlakového zabezpečovacího zařízení s úplnou kontrolou rychlosti. V systému ETCS k tomuto účelu tedy slouží balízový souřadný systém, kdy každá informace týkající se určité polohy nebo vzdálenosti je – buď přímo nebo skrze vazbu přes jinou délkovou informaci (přírůstková vzdálenost) – vztahena k balízové skupině. Na Obr. 2-4 je naznačen způsob

určení polohy vozidla a příklad určení rozsahu platnosti určitého parametru pomocí přírůstkové vzdálenosti (statický rychlostní profil). Poloha vozidla je určena vzdáleností, změřenou odometrií, od referenční Eurobalízy, v poslední balízové skupině kontaktované vozidlem, po čelo vozidla. Tato hodnota je ve zprávě s hlášením polohy předávána prostřednictvím proměnné *D_LRBG*. V hlášení polohy je dále uvedena identifikace poslední platné balízové skupiny *NID_LRBG* a směr, v jakém byla vozidlem minuta *Q_DLRBG*. Směr minutí je určen rostoucím nebo klesajícím interním identifikátorem jednotlivých Eurobalíz ve skupině (1. €balíza, 2. €balíza), podrobněji se o směrových vlastnostech zmiňuje článek 4.2.7. Díky omezené přesnosti v zaměření infrastruktury a přesnosti odometrie v OBU nemá údaj *D_LRBG* sám o sobě, s ohledem na bezpečnost, téměř žádnou vypovídací hodnotu. Poloha čela vlaku určená tímto parametrem je označena jako *odhadované* čelo vlaku. Z důvodu zajištění bezpečnostní relevance je v hlášení polohy uveden i tzv. konfidenční interval. Ten uvádí možný rozptyl skutečné polohy čela vlaku, a krajní hodnoty tohoto intervalu se ve vztahu k poloze odhadovaného čela vlaku přenáší délkovou proměnnou *L_DOUBTOVER* resp. *L_DOUBTUNDER*. O těchto mezích se hovoří jako o *minimálním bezpečném* čelu resp. *maximálním bezpečném* čelu.



Obr. 2-4: Hlášení polohy a příklad přírůstkové vzdálenosti v SSP

Použití přírůstkové vzdálenosti je demonstrováno na příkladu statického rychlostního profilu (SSP – *Static Speed Profile*), který je zaslán z RBC do OBU jako součást zprávy s oprávněním k jízdě (MA). Paket č. 27 SSP definuje rychlosti pro jednotlivé části

infrastruktury kombinací proměnných D_STATIC a V_STATIC. První proměnná D_STATIC udává polohu místa od LRBG, od kterého platí rychlostní omezení definované první proměnnou V_STATIC. Následující proměnná D_STATIC(1) v paketu se již nevztahuje k LRBG, ale k místu, které definovala první proměnná. Takovýmto postupem, tj. přírůstkem k předchozí vzdálenosti, lze definovat další změny rychlosti.

Ve významových datech předávaných z RBC do OBU se používají oba způsoby – jak přímé určení polohy, tak i přírůstkové. O aktuální poloze informuje OBU RBC pouze přímým určením vzdálenosti od příslušné BG (výjimkou je situace, kdy namísto BG kontaktované vozidlem určí jiný referenční bod přímo sama RBC).

2.2 Radiobloková centrála

Jak je uvedeno výše, představuje RBC klíčovou komponentu stacionární části ETCS L2, která, vlivem požadavků na bezpečnost a pohotovost, má podobu bezpečného logického jádra – založenou na redundantní struktuře 2 ze 3 popřípadě 2 x 2 ze 2 – s komunikačními a případně diagnostickými částmi ve struktuře 1 ze 2 a s rozhraním k obsluze. Komponenta RBC tedy představuje rozsáhlý subsystém s HW a SW vlastnostmi, které zajišťují jak nikoliv-bezpečné funkce, tak funkce související s technickou bezpečností a s implementací a realizací funkčního chování v podobě FA. Funkční algoritmy tvoří sice jednu konkrétní vlastnost, nicméně vlastnost značně rozsáhlou a lze i říci, že vlastnost jedinou, kterou nelze použít jinde než ve funkci RBC. Ostatní prvky HW, SW moduly vrstev pod CL, komunikační protokoly lze při kvalitním a promyšleném postupu jejich vývoje využívat i v jiných komponentách než jen v RBC. Tato vlastnost je označována jako *generičnost*, tj. schopnost přejímat a sdílet společné prvky a vlastnosti pro různé komponenty – tedy ve smyslu opakovatelnost, znovu použitelnost za daných podmínek. Opakem generičnosti je *specifičnost*, tj. výhradní použití určité vlastnosti nebo prvku pro jeden účel – tedy ve smyslu jednoznačné použitelnosti jen pro konkrétní instalaci. Podrobnosti uvádí článek 2.2.1.

2.2.1 Realizace železničních zabezpečovacích systémů jako GP, GA a SA

S pojmy *generický* a *specifický* zásadně pracuje norma EN 50 129 (2001, § 5.5), a to ve třech úrovních realizace příslušné komponenty (subsystému, systému): GP – Generický Produkt, GA – Generická Aplikace, SA – Specifická aplikace. Norma přímo uvádí:

- *Generic product* – Generický produkt (nezávisí na aplikaci, ve které je použit).

- *Generic application* – Generické použití nebo také Generická aplikace, tj. určitá třída aplikace.
- *Specific application* – Specifické použití nebo také Specifická aplikace, tj. konkrétní instance aplikace.

Při podrobnější diskusi tedy:

GENERICKÝ PRODUKT

Jedná se o takové vlastnosti, charakteristiky a parametry (fyzicky reprezentované HW prvky SW celky), které, při dodržení pravidel použití (vzájemné propojení, parametrizace), umožňují uplatnění pro více různých aplikací. Jde tedy o jakousi funkční bázi, která poskytuje základní technologii pro vytváření konkrétních systémů, a to pro konkrétní aplikace. Prakticky to znamená, že jsou k dispozici dílčí HW moduly, SW funkce a podpůrné nástroje, které představují *Generický produkt*, jenž umožňuje sestavit různé vyšší funkční celky, tj. *generické aplikace*. Např. stavědla, traťové systémy, přejezdové systémy, RBC, Výhodou tohoto přístupu je nejen fyzická (HW i SW) opakovatelnost *generického produktu* pro různé aplikace, ale, a to je s ohledem na problematiku zabezpečovacích systémů třeba zdůraznit, zejména pak opakovatelnost výstupů již jednou realizovaných procesů týkajících se RAMS ve vztahu ke *generickému produktu*.

GENERICKÁ APLIKACE

Ta představuje konkrétní vyšší funkční celek, ve kterém je implementován *generický produkt* pro konkrétní *generické použití*. Pokud *generický produkt* získal požadovaná hodnocení RAMS, pak je použitelný, při splnění jeho předepsaných aplikačních podmínek (tj. způsobů a metod použití), pro danou *generickou aplikaci*, bez potřeby jeho dalšího hodnocení v rámci dané *generické aplikace*. Hodnocení RAMS podléhá ale samotná *generická aplikace* – součástí tohoto procesu hodnocení je i splnění aplikačních podmínek předepsaných ze strany *generického produktu*. *Generická aplikace* poté sama představuje HW a SW bázi realizující určitou sadu funkcí vztahující se k dané třídě aplikace, které využívá *specifická aplikace* v konkrétní instalaci.

V případě *generického produktu* a *generické aplikace* lze dosáhnout tzv. vzájemného uznání – angl. *Cross-Acceptance*, kdy hodnocení RAMS, provedené jedním orgánem podle příslušných evropských norem, je přijato jiným orgánem bez nutnosti dalšího opětovného hodnocení (EN 50 129, 2003, § 3.1.10).

SPECIFICKÁ APLIKACE

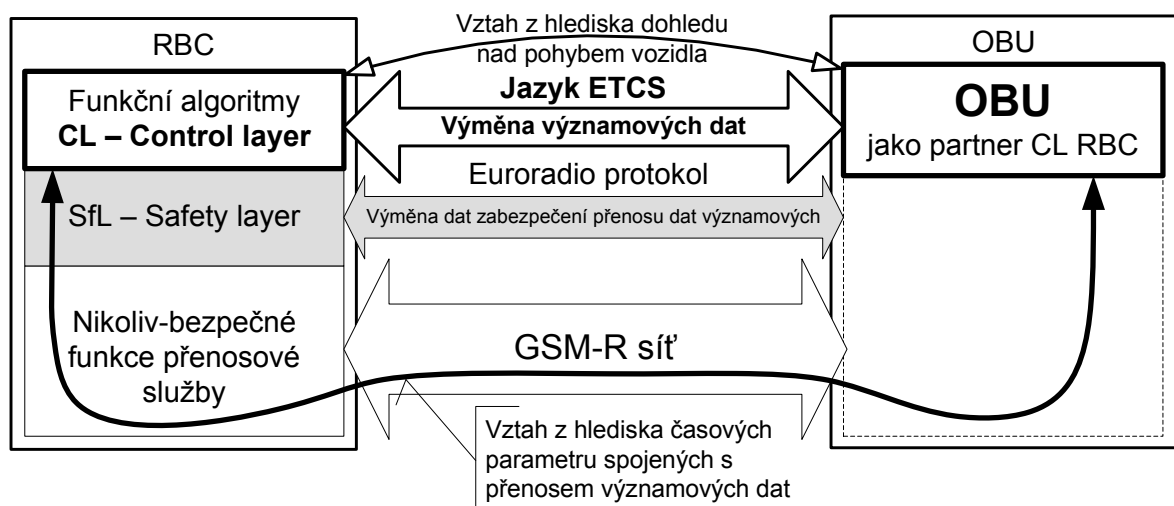
Jedná se o jedno určité jednoznačné nasazení či uplatnění *generické aplikace* na určitou část infrastruktury (stanice XY, mezistaniční úsek A-B, přejezd v km EFG, RBC pro ...), či na konkrétní jedno vozidlo. *Generická aplikace* stanoví aplikační podmínky (pravidla použití) pro *Specifickou aplikaci*, za jakých je možné *generickou aplikaci* použít.

2.2.2 Vztah RBC – OBU

Vztah mezi radioblokovou centrálou a mobilní částí systému ETCS lze, na základě referenčního modelu dle Obr. 2-3, rozdělit do tří kategorií podle typu problematiky, s jakou souvisí:

- Výměna dat na nikoliv bezpečné úrovni prostřednictvím sítě GSM-R.
- Výměna bezpečnostně relevantních dat na úrovni protokolu Euroradio.
- Výměna významových dat v kontextu řízeného dopravního procesu, tj. zajištění dohledu nad pohybem vozidla.

Z výše uvedeného je zřejmé, že poslední vztah, kterým je tedy spolupráce funkčních algoritmů nebo-li řídicí vrstvy RBC (CL RBC) s OBU, je relevantní pro problém řešený v této práci. Z tohoto pohledu je pro řešení RBC resp. CL RBC konkrétní struktura OBU neznámá a do značné míry i nepodstatná. Důležitá je existence „partnera“ na straně OBU, který vykonává příslušné funkce pro dohled na pohybem vozidla a přijímá a poskytuje s tím související významová data.



Obr. 2-5: OBU jak sousední komponenta z hlediska funkčních algoritmů RBC.

Jak je zřejmé z Obr. 2-5 CL RBC a její „partner“ v OBU si nemohou žít pouze svým životem, zcela nezávisle na dění v jejich nikoliv–funkčním – tzn. „neřízeně nedopravním“ –

okolí. Jejich činnost bude ovlivňována minimálně časovými parametry spojení (zpoždění při přenosu dat a jejich zpracování na nižších vrstvách), tj. dobou, kterou potřebují významová data od odeslání z CL RBC k přenosu „partnerovi“ na straně OBU. Tato zpoždění ovlivňují řízení dopravního procesu (dohledu na pohybu vozidla) jak v případě potřeby přenosu v jednom směru (pro realizaci určité funkce dohledu je třeba jen přenos dat jedním směrem), tak i v situaci, kdy se očekává odezva od druhého účastníka.

Poznámka: V druhém případě se dále v práci hovoří také o tzv. komunikační smyčce: Jeden z účastníků odešle významová data druhému, ten provede příslušná zpracování a odešle odezvu zpět prvnímu.

Pro eliminaci rizik, která mohou být způsobena zpožděními při přenosu významových dat mezi RBC a OBU, jsou v jazyce ETCS definovány časové značky, které umožňují RBC realizovat bezpečný odhad hodin OBU, a slouží tím jako ochrana proti změně pořadí zpráv, a v důsledku i umožňují, pomocí mechanismu popsaného dále v článku 4.1.4, určit v RBC stáří od OBU přijatých informací. V opačném směru (RBC – OBU) lze ochranu proti případnému zastarání povolujících informací řešit časovým omezením platnosti povolujících informací v příslušném MA (S-026-3, 2006, § 3.8.3, § 3.8.4).

Z pohledu řešení funkčních algoritmů RBC má výměna informací s OBU, pro zajištění dohledu na pohybu vozidla a obecně pro řízení dopravního procesu, charakter interakce mezi CL RBC a OBU. Proto se dále v práci mnohdy namísto RBC používá CL RBC, pro zdůraznění této skutečnosti.

2.3 Kontext řešeného problému

2.3.1 Dosavadní relevantní dostupné analýzy funkčního chování

Jak již bylo zmíněno v kapitole 1, autor je členem řešitelského týmu, který se zabývá vývojem RBC. Na základě metodiky prezentované např. v Ouředníček et al. (2010b), která vychází z modelování požadavků na systém, a potažmo vlastností takového systému, pomocí tzv. Případů užití – *Use Cases* (Cockburn, 2005), byly vypracovány případy užití specifikující funkční chování systému ETCS L2 v podmínkách českého železničního prostředí (PT-RBC, 2009). Tyto (autorovi dostupné) případy užití definují funkcionalitu formou scénářů, tj. přirozeným jazykem popsaných kroků událostí, s možností odskoků a větvení, se specifikovanými počátečními podmínkami, za jakých může být daný scénář zahájen, a podmínkami koncovými, které charakterizují stav systému po ukončení scénáře. Případy užití poskytují ucelený pohled na problém, ale nezabývají se jednotlivými detaily, nicméně jasně

ukáží, kde a jaké problémy lze v dalších fázích vývoje a realizace RBC očekávat. Jedním z takových problémů se ukázala potřeba funkcionality RBC, která je schopna na základě hlášení polohy OBU dvou vozidel určit jejich pořadí.

2.3.2 Specifikace v disertační práci řešeného problému

Jak vyplývá z cíle definovaného v kapitole 1, disertační práce se soustředí na analýzu možností určení pořadí dvou vozidel postupem proveditelným ve funkčních algoritmech RBC na základě hlášení polohy z OBU těchto vozidel. Přičemž pořadím vozidel se myslí taková informace, která pro konkrétní vzájemnou polohu dvou vozidel na infrastruktuře a určitý referenční směr uvádí, jaké z vozidel je první a jaké druhé. Podrobněji lze problém a jeho okolnosti charakterizovat následovně:

- Vozidla jsou vybavena mobilní částí systému ETCS pro provoz v jeho 2. aplikační úrovni.
- Vozidla jsou ve stavu, kdy poskytují nebo mohou poskytovat hlášení polohy s uvedenou platnou polohou.
- Implementace řešení problému, dle metod určených v kapitole 4, má být proveditelná na úrovni funkčních algoritmů – CL RBC.
- Řešení má být založeno čistě na výměně významových dat mezi RBC a OBU, ostatní údaje musí být uvažovány jako dostupné pouze offline (konfigurace).
- Jedná se o problém na úrovni GA RBC, jehož analytické řešení, kterému se věnuje kapitola 4, má odpovídat rovněž úrovni GA. Takové řešení má ale obsahovat charakteristiku vlivů, jejichž konkrétní kvantitativní účinek není aktuálně znám a bude dán až použitým GP – generickým produktem (HW a SW komponenty) – a SA – specifickou aplikací (konkrétní nasazení v určitém místě infrastruktury).

3. ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

V analýzách provedených v disertační práci byly použity metody matematického modelování, časově-polohové analýzy založené na sekvenčních diagramech UML – *Unified Modelling Language* a, v některých případech, samostatné modifikované sekvenční diagramy standardu UML.

3.1 *Matematické modelování*

Matematické modelování je v této práci použito v poměrně jednoduché formě matematických výrazů k popisu podmínek a chování zúčastněných systémů, objektů a prostředí.

Matematickými výrazy jsou definovány a analyzovány vztahy časového a dráhového charakteru, např. se jedná o:

- Stanovení vztahů mezi okamžiky odeslání a příjmu zpráv v CL RBC a OBU.
- Stanovení dob k dosažení maximálních rychlostí nebo klidu.
- Stanovení odchylek polohy během příslušných zpoždění při počátečních rychlostech a mezních změnách těchto rychlostí.
- Stanovení časových intervalů mezi výskyty vozidel v ohlášených polohách.
- Stanovení poloh bezpečných čel po provedení kritických korekcí polohy.

Přehled symbolů parametrů a funkcí se stručným popisem významu je uveden v příloze 2.

3.2 *Časově-polohová analýza*

3.2.1 UML

UML – *Unified Modelling Language* je velmi rozšířený standard pro semi-formální modelování, popis, návrh a analýzu širokého spektra problémů. O UML pojednává celá řada publikací, přičemž autor čerpal zejména z Arlow et al. (2007), Kanisová et al. (2006) a z poměrně rozšířené publikace Schmuller (2001).

Co se týče použití UML v oblasti železničních zabezpečovacích systémů je třeba zmínit práci Meyer zu Hörste (2004), která je sice věnována formalizaci s použitím Petriho Sítí, ale používá i objektů a metod společných se standardem UML. Velkou pozornost formalizaci, a to přímo specifikací ETCS, věnuje právě Evropská železniční agentura (ERA), která, zhruba

před dvěma lety, zahájila aktivity v tomto směru. K procesu modelování, formalizace a analýzy zde slouží právě nástroje založené na standardu UML (Cimatti et al., 2008).

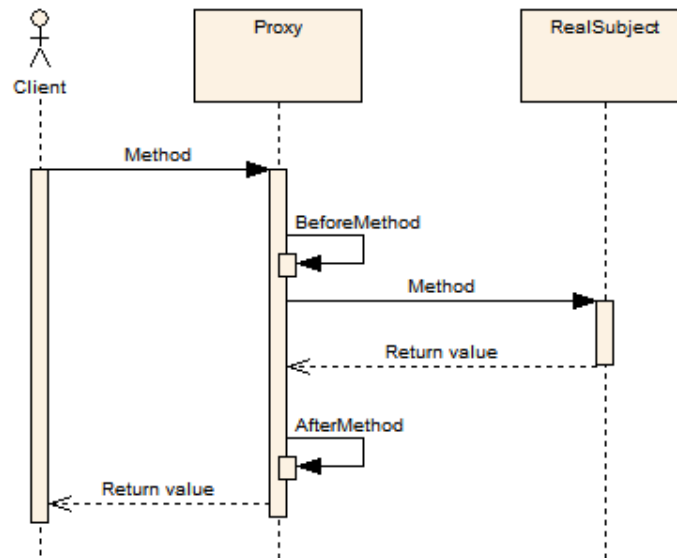
Případy užití, které jsou používány pro specifikaci a analýzu chování, jak uvádí článek 2.3.1, jsou rovněž definovány jako součást standardu UML. Je sice pravda, že metoda popsaná v Ouředníček et al. (2010b), a rovněž tak výchozí podklady k této metodě v Cockburn (2005), jsou podstatně bohatší než tzv. diagramy případů užití ve standardu UML, ale vazby na ostatní modely (diagramy) UML jsou využitelné. Což byl ostatně jeden z hlavních argumentů pro použití případů užití při specifikaci a analýze funkčního chování ETCS L2.

Diagramy, které UML nabízí, se různí podle jednotlivých verzí UML. Následující diagramy jsou nečastěji používané a v UML se vyskytují vlastně od počátku jeho masovějšího rozšíření:

Diagramy případů užití. – Popisují systém z pohledu uživatele. Každou interakci uživatele se systémem lze popsat sekvencí událostí (scénářem) s alternativními a poruchovými sekvencemi. Každý takový scénář s okolnostmi s ním souvisejícími představuje případ užití (viz také článek 2.3.1).

Diagramy tříd. – Nabízí statický pohled na systém. Podle typu systému (problému) lze jeho jednotlivé vlastnosti (funkce, komponenty) typizovat do tříd, a následně pomocí diagramu tříd definovat statické vlastnosti těchto tříd a vztahy mezi nimi.

Sekvenční diagramy. – Jedná se o dynamický pohled na systém. Popisují komunikaci objektů s jejich okolím a komunikaci objektů mezi sebou graficky uspořádanou podle časového sledu výměny jednotlivých informací. Příklad sekvenčního diagramu je uveden na Obr. 3-1. Tento sekvenční diagram znázorňuje celkem dva objekty systému a jednoho uživatele, kteří spolu interagují. Čas plyne odshora dolů podél tzv. životočar (čárkované svislé čáry pod objekty a uživatelem), šípkami je naznačena výměna zpráv mezi objekty a obdélníky na životočarách jsou aktivace příslušných objektů resp. uživatele.



Obr. 3-1: Příklad sekvenčního diagramu (vyvojar.cz, 2010)

Diagramy (objektové) spolupráce. – Jedná se o alternativu nebo doplněk k sekvenčním diagramům. V tomto diagramu jsou objekty mezi sebou přímo propojeny podle toho, jak si ty které objekty mezi sebou vyměňují informace. Dynamičnost chování je podchycena číslováním pořadí vyměňovaných informací.

Stavové diagramy. – Znázorňují dynamický pohled na systém a jsou asi nejznámější technikou modelování chování rozšířenou i mimo standard UML. Model chování reprezentuje charakteristické stavy (systému, objektu) a přechody – tj. podmínky a události, při kterých se stavy mění.

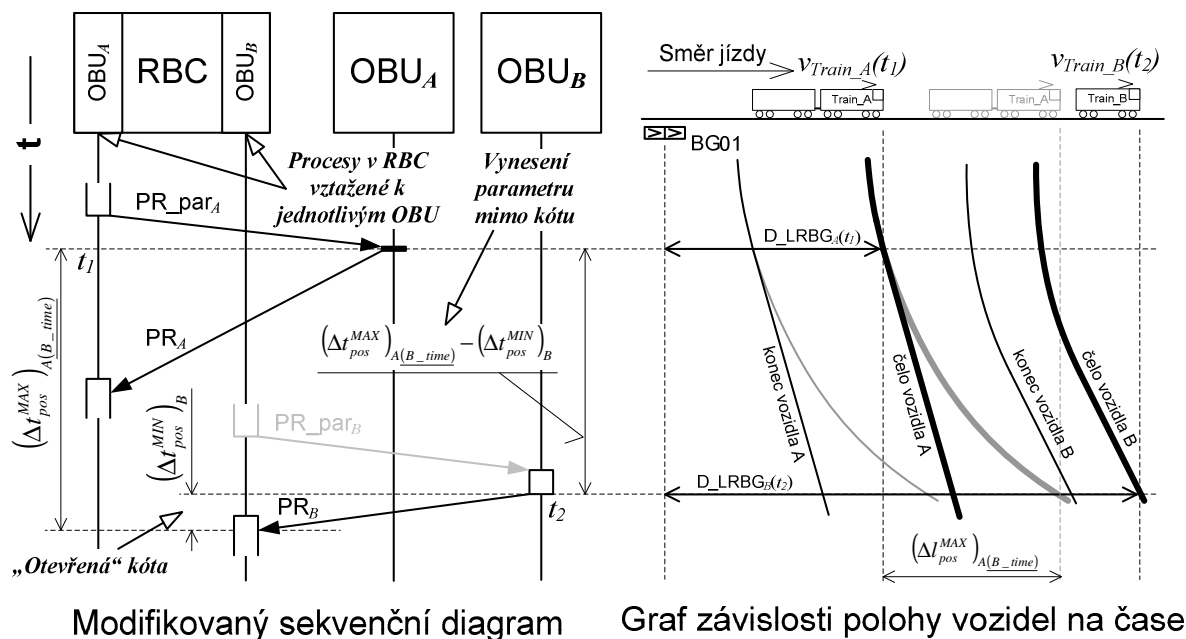
Diagramy činností (aktivit). – Rovněž prezentují dynamický pohled na systém, který kombinuje vlastnosti stavových diagramů a (do určité míry) diagramů vývojových. Umožňují znázorňovat paralelní aktivity.

Právě sekvenční diagramy byly pro autora inspirací pro vytvoření **použití** metody časově-polohové analýzy.

3.2.2 Popis metody časově-polohové analýzy

Poznámka: V předchozím odstavci je záměrně uvedena kombinace výrazů vytvoření/použití s důrazem na použití. Autor se s uvedenou metodou v takové podobě, jako je použita v této práci, nesetkal, proto zvolil její vlastní označení. Nicméně autor této práce si neklade žádné nároky na originalitu uvedené metody, protože její odvození je zcela logické a intuitivní, a bezpochyby tak k ní nebo k jejímu blízkému ekvivalentu dospěje každý, kdo se zabývá obdobnou třídou problémů.

Metoda je kombinací sekvenčních diagramů popsaných v článku 3.2.1 a dále grafů znázorňujících závislost dráhy vozidla na čase – s naznačením vlivu na související systémy – zavedených v Pachel (2002, § 2.4, Figure 2.8, Figure 3.6) a v celé této publikaci hojně používaných. Metoda časově-polohové analýzy, je tedy založena na grafickém znázornění vztahu pohybu vozidel po infrastruktuře (graf z Pachel, (2002)) a aktivitách a vzájemné komunikaci příslušných systémů (sekvenční diagram). Typická podoba časově-polohové analýzy, použité v této práci, je znázorněna na Obr. 3-2.



Obr. 3-2: Příklad časově-polohové analýzy

V levé části je uveden modifikovaný sekvenční diagram, který se od diagramu UML liší zejména šikmými šipkami zasílaných zpráv, jejichž sklon v tomto případě naznačuje zpoždění, ke kterému dochází při přenosu informací mezi RBC a OBU. Tyto šipky jsou v sekvenčních diagramech dle standardu UML vodorovné, a zpoždění při přenosu je nutné vyjádřit vytvořením nového objektu „komunikační systém“ s vlastní životocárou a příslušnou délkou jeho aktivace. V případě problému analyzovaného v této práci se však ukázalo jako praktičtější použití šikmých šipek, a ponechání tak komunikačního systému „v anonymitě“. Kóty mezi jednotlivými časovými okamžiky symbolizují dobu trvání časových intervalů s uvedením označení parametru jeho délky. Toto označení poté figuruje v matematických výrazech týkajících se analyzovaného problému. Z čistě grafických důvodů je používána i „otevřená“ forma kóty (vlevo dole) nebo je parametr vynesena mimo kótu (střední část Obr. 3-2). U šipek mezi aktivacemi jsou většinou naznačeny příslušné objekty jazyka ETCS, které se, mimo jiné, danou zprávou přenáší (např. PR_A – danou zprávou se přenáší hlášení polohy,

PR_{par_A} – zpráva obsahuje paket s parametry hlášení polohy). Šedivé méně výrazné šipky a aktivace naznačují alternativní chování (nejedná se o případ znázorněný na Obr. 3-2) nebo nejsou důležité z hlediska určení příslušných časových parametrů (viz Obr. 3-2). Parametry t_1 a t_2 symbolicky označují významné časové okamžiky, v tomto případě se jedná o časy, ve kterých se nacházelo příslušné vozidlo v poloze, která byla následně ohlášena z OBU do RBC. Třídy resp. objekty sekvenčního diagramu mají klasickou podobu s drobným rozdílem, že v RBC jsou pro lepší přehlednost rozlišeny dva samostatné procesy, pro každou z obou OBU jeden.

V pravé části časově-polohové analýzy je znázorněna závislost polohy vozidel na čase, přesněji poloha vozidel v souvislosti s přenosem a zpracováním informací přenášených mezi RBC a OBU. V horní části jsou symbolicky znázorněna vozidla v poloze odpovídající významným časovým okamžikům (v tomto případě je to v okamžiku výskytu v ohlášené poloze – t_1 a t_2 – a šedivě naznačena poloha vozidla A, která odpovídá určitému předpokladu o jeho pohybu a poloze v okamžiku t_2). Tlusté čáry naznačují právě závislost polohy čela příslušného vozidla na čase, tenké potom závislost polohy konce. Šedivé čáry znázorňují nějaké předpokládané, kritické či alternativní chování vozidla. Poloha odhadovaného čela každého z vozidel ve vztahu k balízové skupině je určena proměnnou D_LRBG. Poloha balízové skupiny (BG01) je v Obr. 3-2 také uvedena. V pravé části mohou být rovněž uvedena označení parametrů intervalů polohy (příklad vpravo dole). Exaktní analytické vztahy mezi polohou vozidel (intervaly ve vzdálenosti znázorněné v pravé části) a časem (časovými intervaly znázorněnými většinou v levé části) jsou pak určeny metodami matematického modelování, tj. matematickými vztahy.

Čárkované čáry mají úlohu vynášecích čar časových okamžiků i poloh vozidel. Příslušné průsečíky těchto čar musí být v souladu s polohou tlustých čar znázorňujících závislost polohy na čase.

V práci se vyskytují i obrázky pouze se samostatnými modifikovanými sekvenčními diagramy případně se samostatnými grafy závislosti polohy vozidel na časy.

3.3 K důvodům volby uvedených metod

Popsaná kombinace, grafického semi-formálního přístupu a matematického modelování v podobě jednoduchých analytických vztahů, byla zvolena z důvodů její názornosti zachycení vazeb mezi ději v řídicím systému (ETCS s důrazem na komunikaci mezi příslušnými

komponentami – CL RBC, OBU) a v řízeném procesu (pohyb vozidel), bez nároků na znalosti zvláštních technik či nástrojů čitatele.

Vzhledem k tomu, že pro praktické použití výsledků, dále v práci uvedených, je nutná jejich verifikace, přináší absence potřeby zvláštního nástroje či netradičních znalostí výhodu i v tomto směru.

Obecný, softwarově nezávislý, model resp. analýza dále nijak neomezuje možnosti její přenositelnosti. Ať už do programovacího jazyka nebo nástroje pro formální modelování.

4. DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

V této kapitole jsou popsány závěry analýzy možných metod realizace funkčního chování RBC systému ETCS pro určení pořadí vozidel na základě hlášení polohy.

4.1 Vyhodnocení polohy vozidla v RBC – vlivy chyb a tolerancí

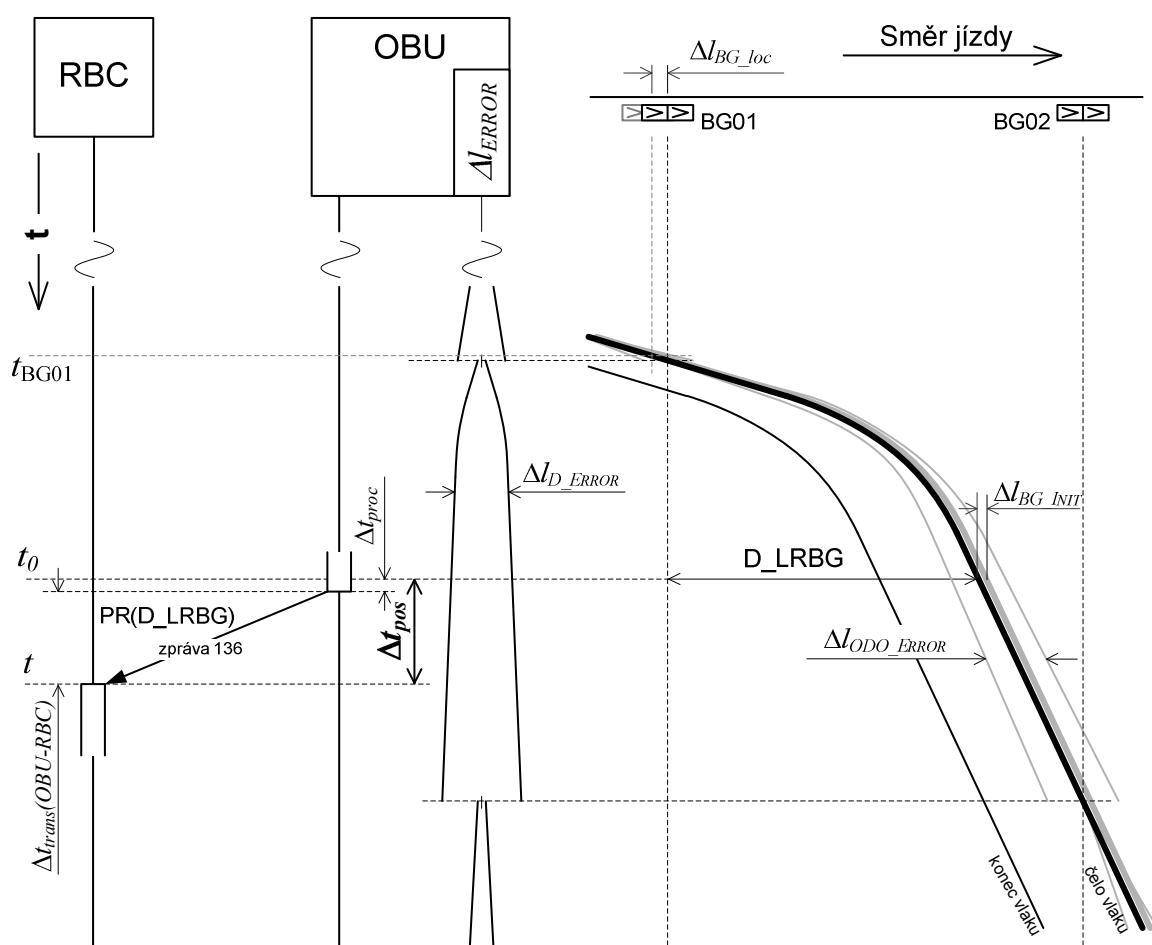
4.1.1 Přehled dílčích vlivů ovlivňujících přesnost určení polohy.

Přesnost určení polohy vozidla v RBC (vztaženo k okamžiku přijetí významových dat na vstupu řídicí vrstvy – CL RBC) je ovlivněna následujícími chybami, odchylkami a zpožděními:

1. Přesnost určení polohy balízové skupiny ve vztahu k ostatním objektům infrastruktury a ostatním BG – Δl_{BG_loc} . Jedná se o odchylku, která je v S-026-3 v230 (2006, § 3.6.4.2 b)) označena jako *location accuracy of LRBG*. Jde o parametr čistě závislý na vlastnostech infrastruktury, který lze nicméně přenést na OBU, a to v podobě přesnosti určení polohy balízové skupiny, jako součást vazebních informací balízových skupin (S-026-3 v230, 2006, § 3.6.4.3.1) v proměnné Q_LOCACC (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.115).
2. Přesnost určení referenčního bodu BG při jejím kontaktování z OBU vozidla – Δl_{BG_INT} . Jedná se o parametr v S-026-3 v230 (2006, § 3.6.4.2 a) označený jako *determining the balise group location reference*. Závisí na:
 - Přesnosti detekce maxima pole příslušné (referenční) balízy ve skupině. Δl_{BG_ref}
 - Době nezbytné pro vyhodnocení maxima pole referenční balízy. Δt_{BG_ref}
3. Chyba (nepřesnost) odometrie – Δl_{ODO_ERROR} . Dle S-026-3 v230 (2006, § 3.6.4.2 a) se jedná o *location accuracy*.
4. Odchylka polohy plynoucí z přenosu a zpracování – Δl_{pos} . Tato odchylka je tedy závislá na celkovém zpoždění, které uplyne od okamžiku, kdy OBU zahájí vyhodnocení polohy vozidla (tj. okamžik, kdy je aktuální poloha vozidla směrodatná pro určení vzdálenosti D_LRBG pro hlášení polohy – nebo-li vozidlo se nachází v ohlášené poloze), do okamžiku příjmu významových dat zprávy hlášení polohy do CL RBC – Δt_{pos} . Stanovení tohoto času je závislé na následujících faktorech:
 - Doba nezbytná pro zpracování informací v OBU. Δt_{proc}

- Doba nezbytná pro přenos informací – tj. zpoždění při přenosu – konkrétně hlášení polohy (PR – *Positron Report*), mezi OBU a RBC. $\Delta t_{trans}(OBU - RBC)$

Přehled chyb, odchylek a zpoždění je uveden v časově-polohové analýze na Obr. 4-1. V pravé části je znázorněna poloha vozidla ve vztahu k infrastruktuře v závislosti na čase (černé čáry) s naznačením nepřesností na straně vozidla (šedé čáry) i infrastruktury (šedá balíková skupina). V levé části je modifikovaný sekvenční diagram, kde je jednak naznačen vývoj celkové chyby určení polohy vozidla z pohledu OBU, a dále zpoždění při přenosu informací z OBU do RBC a jejich zpracování způsobující další odchylku v určení polohy v okamžiku přijetí hlášení polohy v RBC.



Obr. 4-1: Časově polohová analýza - přesnost určení polohy vozidla v RBC.

4.1.2 Rozbor dílčích faktorů ovlivňujících přesnost určení polohy.

Exaktně vzato, přesnost určení referenčního bodu BG Δl_{BG_INI} v OBU je dána vztahem:

$$\Delta l_{BG_INIT} = \Delta l_{BG_ref} + \int_{t_{BG}}^{t_{BG} + \Delta t_{BG_ref}} v(\tau) d\tau, \quad (4.1)$$

kde t_{BG} je okamžik skutečné fyzické shody osy kontaktované referenční balízy dané BG a osy anténní jednotky vozidla v podélném směru. Ze vztahu je zřejmé, že tato odchylka roste se vzrůstající dobou pro vyhodnocení maxima pole a s rychlostí v době kontaktování příslušné referenční balízy. Technicky lze pravděpodobně složku závislou na rychlosti eliminovat (časové parametry jednotlivých částí systému jsou známé), ale takové informace, týkající se řešení konkrétních OBU, nejsou k dispozici.

Chyba odometrie představuje funkci ujeté vzdálenosti od referenčního bodu, tzn. od referenční balízy příslušné balízové skupiny – od LRBG (s rostoucí vzdáleností roste odchylka), a aktuální hodnoty rychlosti (rychlost vozidla ovlivňuje přesnost odometrie), tj. $\Delta l_{ODO_ERROR} = \Delta l_{ODO_ERROR}(D_LRBG, v)$.

Relativní chyba určení polohy, tj. ujeté vzdálenosti od referenčního bodu LRBG, jako funkce času, je dána součtem nepřesnosti určení referenčního bodu BG při jeho kontaktování vozidlem a chyby odometrie, tj.: $\Delta l_{BG_INIT} + \Delta l_{ODO_ERROR}$,

$$\Delta l_{D_ERROR}^{rel}(t_0) = \Delta l_{BG_INIT}(t_{BG01}) + \Delta l_{ODO_ERROR} \left(\int_{t_{BG01}}^{t_0} v(\tau) d\tau, v(t) \right), \quad (4.2)$$

kde t_{BG01} představuje čas, ve kterém došlo ke kontaktování BG01 a t_0 je čas, ve kterém se vozidlo reálně vyskytuje v ohlášené poloze. Ta samá chyba tentokrát jako funkce ujeté vzdálenosti:

$$\Delta l_{D_ERROR}^{*rel}(D_LRBG) = \Delta l_{BG_INIT}(0) + \Delta l_{ODO_ERROR}(D_LRBG, v^*(D_LRBG)) \quad (4.3)$$

Takto pojatá chyba určení polohy je čistě závislá jen na vlastnostech OBU a ostatních systémů vozidla.

OBU informuje RBC o přesnosti určení ujeté vzdálenosti prostřednictvím tzv. konfidenčního intervalu – *Confidence Interval* (článek 2.1.3), (S-026-3 v230, 2006, § 3.6.4). Velikost konfidenčního intervalu není ovšem jen výše uvedeným součtem přesnosti odometru a určení referenčního bodu BG (vztahy 4.2, 4.3), ale zohledňují se i nepřesnosti na straně infrastruktury – Δl_{BG_loc} – tj. přesnost umístění balízové skupiny na infrastruktuře, o kterých je OBU buď informována prostřednictvím vazebních informací balízových skupin, nebo v případě nedostupnosti vazebních informací bere v úvahu pevnou hodnotu ± 12 m (S-026-3 v230, 2006, § 3.6.4.2, § 3.6.4.3, § 3.6.4.3.1) uloženou v OBU. Celková chyba určení polohy z pohledu OBU, při zohlednění nepřesností na infrastruktuře, bude tedy dána vztahem:

$$\Delta l_{D_ERROR}(t_0) = \Delta l_{BG_INIT}(t_{BG01}) + \Delta l_{ODO_ERROR} \left(\int_{t_{BG01}}^{t_0} v(\tau) d\tau, v(t) \right) + \Delta l_{BG_loc}(BG01), \quad (4.4)$$

resp.:

$$\begin{aligned} \Delta l_{D_ERROR}^*(D_LRBG) &= \\ &= \Delta l_{BG_INIT}(0) + \Delta l_{ODO_ERROR}(D_LRBG, v^*(D_LRBG)) + \Delta l_{BG_loc}(BG01) \end{aligned} \quad (4.5)$$

Vzdálenost čela vlaku od LRBG vyhodnocená v OBU vozidla je poté dána výrazem:

$$D_LRBG(t_0) \pm \begin{cases} + \Delta l_{D_ERROR}^{*PosMAX}(D_LRBG) \\ - \Delta l_{D_ERROR}^{*NegMAX}(D_LRBG) \end{cases} \quad (4.6)$$

Kde $+ \Delta l_{D_ERROR}^{*PosMAX}(D_LRBG)$ představuje maximální horní mez celkové chyby určení polohy a $- \Delta l_{D_ERROR}^{*NegMAX}(D_LRBG)$ maximální dolní mez celkové chyby určení polohy ve vzdálenosti D_LRBG . Konfidenční interval je poté tedy:

$$\left\langle - \Delta l_{D_ERROR}^{*NegMAX}(D_LRBG), + \Delta l_{D_ERROR}^{*PosMAX}(D_LRBG) \right\rangle, \quad (4.7)$$

přičemž se reálné čelo vlaku může nacházet kdekoli v příslušném konfidenčním intervalu.

V paketech hlášení polohy jsou pro účel informování o aktuální velikosti konfidenčního intervalu vyhrazeny proměnné $L_DOUBTOVER$ a $L_DOUBTUNDER$ (S-026-7 v230, 2006, § 7.4.3.1, § 7.4.3.2, § 7.5.1.43, § 7.5.1.44). Konfidenční interval nemusí být symetrický! Maximální velikost konfidenčního intervalu definuje S-041 v210 (2005, § 5.3.1.1) jako hodnotu $\pm(5 \text{ m} + 5\% \text{ z ujeté vzdálenosti})$, tj. $\pm(5 \text{ m} + 0,05 D_LRBG)$.

Je zodpovědností OBU, aby v případě výpočtu většího konfidenčního intervalu, než připouští S-041 v210 (2005, § 5.3.1.1) – což představuje bezpečnostně kritickou chybu – došlo k přechodu OBU do módu SF – *System Failure*, a s tím spojenému nouzovému zastavení vozidla (S-026-4 v230, 2006, § 4.4.5.1.1, § 4.4.5.3.1) včetně ukončení sledování jeho polohy (S-026-4 v230, 2006, § 4.5.2 – řádek: *Determine train location referenced to LRBG*).

Celková chyba určení polohy v podobě konfidenčního intervalu je tedy kromě vlastností OBU a ostatních systémů vozidla závislá na přesnosti umístění balíz na infrastruktuře resp. na hodnotách tolerancí předaných v rámci vazebních informací z trati do OBU. Za informování RBC o aktuální velikosti konfidenčního intervalu je plně zodpovědná OBU.

Při vyhodnocení polohy vozidla v samotné RBC je nutno dále uvažovat odchylky, které vznikají díky zpožděním při zpracování (Δt_{proc}) a přenosu informací ($\Delta t_{trans}(OBU - RBC)$) o poloze vozidla. Pokud je rychlost vozidla nenulová, je zřejmé, že během součtu těchto zpoždění $\Delta t_{pos} = \Delta t_{proc} + \Delta t_{trans}(OBU - RBC)$ dojde ke změně reálné polohy vozidla o Δl_{pos} :

$$\Delta l_{pos}(t_0 + \Delta t_{pos}) = \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t_{pos}} v(\tau) d\tau, \quad (4.8)$$

kde Δt_{pos} představuje výsledné uvažované zpoždění při zpracování a přenosu a t_0 čas začátku tohoto zpoždění (okamžik reálného výskytu vozidla v ohlášené poloze). Je záležitostí řešení RBC, zejména pak funkčních algoritmů v CL RBC, aby byl vliv této odchylky patřičně zohledněn. S ohledem na kritičnost použití informace o poloze vozidla v RBC přichází v úvahu dva mezní způsoby určení výsledného zpoždění Δt_{pos} :

1. Zpoždění je minimální možné – Δt_{pos}^{MIN} , tj. lze dokázat, že od okamžiku výskytu vozidla v ohlášené poloze do okamžiku přijetí příslušného hlášení polohy na CL RBC neuplyne hodnota kratší než toto zpoždění.
2. Zpoždění není větší než určitá maximální doložitelná hodnota – Δt_{pos}^{MAX} , tzn. že existují takové bezpečnostně relevantní mechanismy, které dokládají, že výskyt vozidla v ohlášené poloze nenastal dříve než doba odpovídající maximální doložitelné hodnotě před příjmem příslušného hlášení polohy v CL RBC.

Zbývající část kapitoly 4.1 se věnuje metodice stanovení těchto mezních hodnot a analýze vlivů, které působí na velikost odchylky polohy vozidla, způsobených těmito zpožděními.

4.1.3 Metoda stanovení minimálního možného zpoždění a jeho použití

Určení velikosti minimálního možného zpoždění je „offline“ záležitostí, protože hodnota tohoto parametru je stanovitelná pouze analyticky na základě známých vlastností – pokud takové jsou k dispozici – OBU, přenosového řetězce a RBC. Pro určení minimálního možného zpoždění lze v zásadě uplatnit přístupy reprezentované jak následujícími krajními možnostmi, tak i jejich kombinacemi:

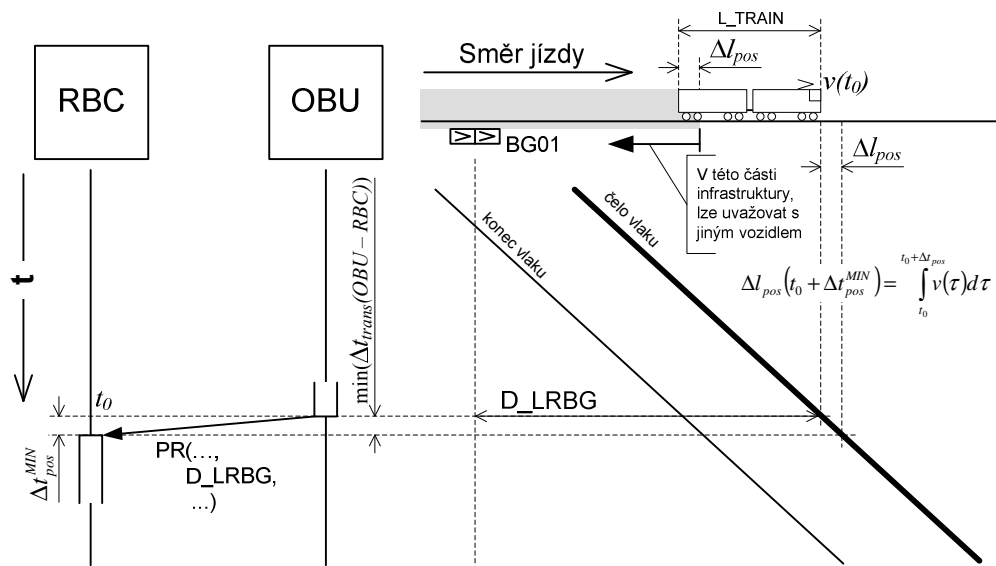
- Uvažuje se $\Delta t_{pos}^{MIN} = 0$ s, což je krajní případ, který ale může být zbytečně omezující, protože nemůže k němu vlastně reálně dojít.

- $\Delta t_{pos}^{MIN} = \min(\Delta t_{proc}(PR))$, tj. minimální doba zpracování hlášení polohy na straně OBU. Problémem je stanovení této hodnoty s ohledem na interoperabilní funkčnost systému, protože každá OBU může mít různé vlastnosti. Rychlost reakce není specifikacemi shora nijak omezena (tzn. zpoždění není omezeno zdola) a lze předpokládat, že s rozvojem řešení OBU se bude rychlost zvyšovat.
- $\Delta t_{pos}^{MIN} = \min(\Delta t_{trans}(OBU - RBC))$, tj. minimální doba přenosu (zaručené minimální zpoždění při přenosu), kdy se na základě známých a neměnných vlastností příslušných prvků v přenosové cestě (od GSM-R modulu na vozidle až po nižší vrstvy RBC) analyticky určí zaručená minimální velikost zpoždění, kterou způsobují. Toto zpoždění musí být jednoznačně dokladovatelné analýzou skutečných vlastností nikoliv souborem měření komunikačního řetězce. Pro ostatní prvky přenosové cesty, jejichž vlastnosti nejsou známy nebo není jejich minimální hodnota zaručena, je nutné uvažovat nulové zpoždění.

V dalších analýzách a úvahách je uvažováno s poslední variantou, protože vzhledem k uvedenému nelze předpokládat blíže určenou a stabilní hodnotu obecného příspěvku OBU do celkového minimálního zpoždění. Pro minimální možné zpoždění při přenosu informací mezi OBU a CL RBC dále platí:

$$\Delta t_{pos}^{MIN} = \min(\Delta t_{trans}(OBU - RBC)) \quad (4.9)$$

Minimální možné zpoždění Δt_{pos}^{MIN} má význam v takových situacích, kdy je – vzhledem k bezpečnosti – při přijetí hlášení polohy třeba určit, před jakou nejkratší možnou dobou se mohlo vozidlo nacházet v ohlášené poloze. Této hodnoty je dále použito při hledání mezních vzájemných časových závislostí mezi okamžiky výskytu vozidel v ohlášených polohách a k určování krátkých vzdáleností ujetých vozidly. S ohledem na ujetou vzdálenost se jedná o situace, kdy je třeba určit, zda již vozidlo s jistotou vyklidilo určitou polohu, tj. určitě „tam“ vlak již není, a je tak možné příslušnou část infrastruktury uvažovat jako eventuelně obsazenou jiným vozidlem – viz Obr. 4-2.



Obr. 4-2: Odchylka určení polohy odvozená na základě minimálního možného zpoždění v komunikaci OBU – RBC.

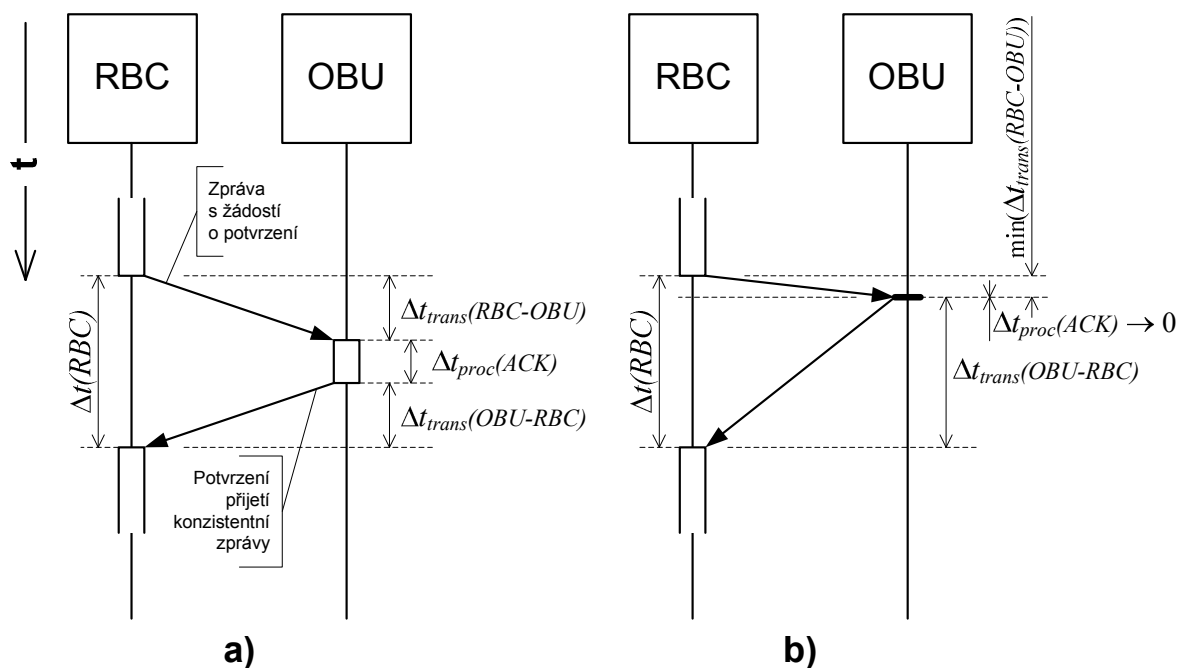
Pozn.: Samozřejmě pro bezpečné určení volné infrastruktury za vozidlem je nezbytné znát bezpečnou délku vozidla $L_TRAININT$. Pro určení hodnoty této proměnné – lze ji případně přenášet v hlášení polohy – je však nezbytné, aby vozidlo bylo vybaveno prostředkem pro detekci celistvosti vlaku, což je doposud uspokojivě nevyřešený problém. Určení odchylky polohy, vzhledem k uvažování minimálního možného zpoždění, může tedy brát v potaz pouze délku vlaku L_TRAIN , která je součástí vlakových dat a nemá bezpečnostní relevanci (S-026-3 v230, 2006, § 3.6.4.4.1)) z hlediska možnosti řízení jízd vlaků v pohyblivých prostorových oddílech – pro tu je určena právě $L_TRAININT$. Zde uvažovaná poloha konce vozidla má smysl pouze ve vztahu k řešení situací vznikajících při přiblížení dvou vozidel vybavených ETCS (sjetí vozidel v prostorovém oddíle, spojování či rozpojování na staniční koleji), kdy je právě nutné určit jejich pořadí.

4.1.4 Metoda určení maximálního doložitelného zpoždění a jeho použití

Určitá mezní hodnota tohoto zpoždění, kterou by bylo možné analyticky stanovit a dále s ní pracovat, neexistuje. Teoreticky může nastat při přenosu a zpracování libovolně velké dlouhé zpoždění, a je záležitostí správné architektury a realizace komunikujících systémů, aby dokázaly maximální dobu zpoždění při přenosu a zpracování měřit resp. reagovat na překročení mezní hodnoty tohoto zpoždění. Pojem *maximální doložitelné zpoždění* má význam v tom smyslu, že příslušné mechanismy RBC jsou řešeny takovým způsobem, kdy

umožňují doložit, že výskyt vozidla v ohlášené poloze nenastal více jak před příslušnou (doložitelnou) hodnotou času – vztaženo k okamžiku přijetí daného hlášení polohy v RBC.

Tento mechanismus je založený na známém principu výměny časových značek účastníky komunikace, tak jak je popsán např. v EN 50 159-2 (2001, § 6.3.2, § 6.3.3) nebo v Zahradník et al. (2004, s. 220 – 222) popř. ve Franeková et al. (2007, s. 211 – 212). ETCS v případě komunikace RBC – OBU přímo neřeší určení zpoždění při přenosu informací, nicméně specifikace S-026-3 v230 (2006, § 3.16.3.2.2) vyžadují, aby RBC – na základě časových značek zasílaných ve zprávách od OBU – odhadovala čas hodin OBU, a to tak, že odhadovaný čas nepředchází před skutečným časem OBU. Stanovení zpoždění je možné realizovat pomocí mechanismu potvrzování zprávy (S-026-3 v230, 2006, § 3.16.3.5). RBC odešle do OBU zprávu, pro níž požaduje potvrzení (tj. proměnná M_ACK nastavená na hodnotu 1). Podle doby trvání této komunikační smyčky, tj. času jaký uplyne mezi odesláním zprávy z RBC a příjmem jejího potvrzení v RBC od OBU $\Delta t(RBC)$ – měřeno dle hodin RBC, lze usuzovat na maximální zpoždění při přenosu informace. Obecný princip je znázorněn na Obr. 4-3 část a).



Obr. 4-3: Určení maximálního doložitelného zpoždění komunikace RBC – OBU v RBC

Hledané zpoždění $\Delta t_{trans}(OBU - RBC)$ lze v tomto případě při uvažování symetrických vlastností přenosové sítě (shodné zpoždění při přenosu v obou směrech) odhadnout na základě vztahu 4.10.

$$\Delta t_{trans}(OBU - RBC) = \frac{\Delta t(RBC) - \Delta t_{proc}(ACK)}{2} \quad (4.10)$$

Z hlediska bezpečnosti však tento odhad nepředstavuje doložitelnou hodnotu, kterou by bylo možné považovat za mezní (nepřekročenou). Jako nejkritičtější může být uvažováno zpoždění přenosu odpovídající změřené době $\Delta t(RBC)$. Naopak se ale v takovém případě jedná o pesimistický případ, protože k němu díky reálným vlastnostem přenosového prostředí nemůže dojít. Přijatelným řešením je tak část b) na Obr. 4-3, kdy je od doby $\Delta t(RBC)$ odečtena minimální doba přenosu informací mezi RBC a OBU, tj. minimální možná doba přenosu zprávy s žádostí o potvrzení, $\min(\Delta t_{trans}(RBC - OBU))$. Stejně jako v případě přenosu informací z OBU do RBC se tato hodnota určí analyticky. Pokud by byly k dispozici podrobnosti a vlastnostech různých OBU přicházejících v úvahu, bylo by dále možné odečíst i hodnotu minimální doby zpracování pro potvrzení na straně OBU – $\min(\Delta t_{proc}(ACK))$. Vztah by tedy měl poté tvar:

$$\Delta t_{trans}(OBU - RBC) = \Delta t(RBC) - \min(\Delta t_{trans}(RBC - OBU)) - \min(\Delta t_{proc}(ACK)) \quad (4.11)$$

V případě potřeby určení největší doložitelné hodnoty zpoždění pro účel vyhodnocení polohy vozidla bude konkrétní postup následující (viz také Obr. 4-4): RBC pošle OBU zprávu č. 24 (*General Message*) jednak s žádostí o potvrzení jejího korektního přijetí ($M_ACK = 1$) a dále s paketem 58 (*Position Report Parameters*, PR_par) obsahujícím požadavek o okamžité ohlášení polohy (proměnná M_LOC nastavena na hodnotu 000, viz S-026-7 v230 (2006, § 7.4.2.15, § 7.5.1.69)). OBU hned po jejím přijetí a vyhodnocení její konzistence odešle RBC potvrzení o přijetí, tj. zprávu č. 146 (ACK), přičemž první proměnnou T_TRAIN této zprávy nastaví na aktuální hodnotu svých hodin $T_TRAIN(ACK)$, a do druhé proměnné T_TRAIN uvede hodnotu shodnou s hodnotou T_TRAIN ve zprávě od RBC, pro kterou je potvrzení žádáno, viz S-026-8 v230 (2006, § 8.6.7), čímž je umožněno RBC identifikovat, k jaké zprávě se potvrzení váže. Následně určí aktuální polohu vozidla a odešle hlášení polohy, tj. zprávu č. 136 (*Train Position Report*, PR). Na základě znalosti okamžiku odeslání zprávy č. 24 a okamžiku přijetí zprávy č. 146 určí RBC, pomocí mechanismu obecně popsaného výše, maximální zpoždění, k jakému při přenosu potvrzení mohlo dojít, a k této hodnotě navíc přičte:

1. Rozdíl přírůstku času od přijetí potvrzení ACK do přijetí hlášení polohy PR v RBC (tj. dle vlastních hodin provede RBC výpočet přírůstku času) a přírůstku času od odeslání stejného potvrzení do odeslání stejného hlášení polohy z OBU, viz výraz 4.12, čímž se

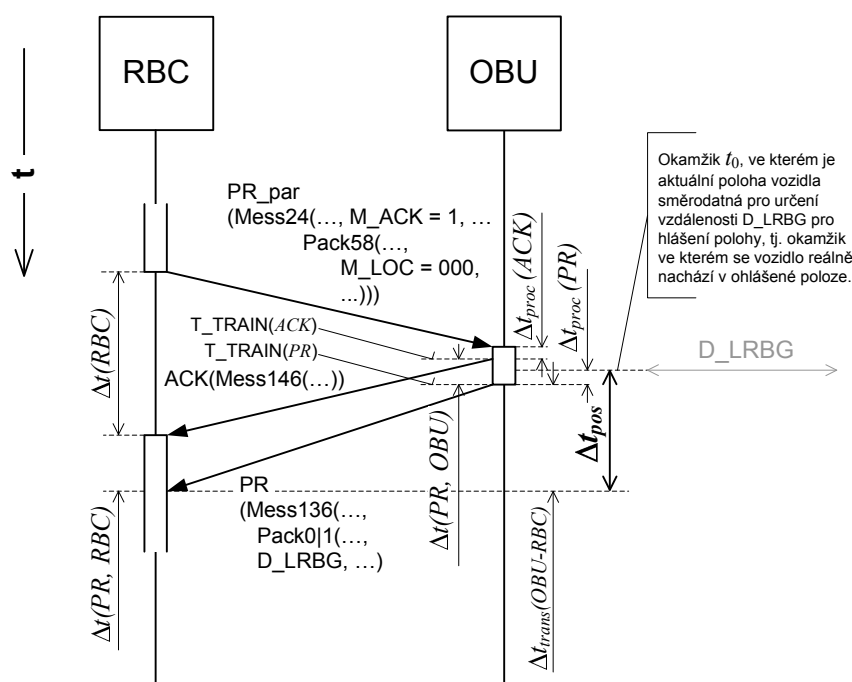
pokryje případná změna zpoždění při přenosu mezi předáním potvrzení a předáním hlášením polohy jak v kladném, tak i v záporném smyslu. Přírůstek času v OBU určí RBC dle časových značek T_TRAIN v přijímaných zprávách – viz výraz 4.13, přičemž při výpočtu tohoto přírůstku je nutné vzít v úvahu cykličnost času hodin OBU, tj. možnost přetečení času při porovnávání časových značek a měření velikosti časových intervalů (S-026-3 v230, 2006, § 3.16.3.2.3).

2. Maximální dobu potřebnou pro zpracování informace o poloze v OBU – $\max(\Delta t_{proc}(PR))$.

$$\Delta t(PR, RBC) - \Delta t(PR, OBU) \quad (4.12)$$

$$\Delta t(PR, OBU) = T_TRAIN(PR) - T_TRAIN(ACK) \quad (4.13)$$

Hlášení polohy, které by do RBC případně přišlo před potvrzením, nemá být bráno v potaz, viz S-026-3 v230 (2006, § 3.16.3.3.3).



Obr. 4-4: Stanovení maximálního doložitelného zpoždění komunikace RBC – OBU v CL RBC

Výsledné maximální doložitelné zpoždění při zpracování a přenosu Δt_{pos}^{MAX} tedy poté bude:

$$\Delta t_{pos}^{MAX} = \Delta t(RBC) - \min(\Delta t_{trans}(RBC - OBU)) - \min(\Delta t_{proc}(ACK)) + \Delta t(PR, RBC) - \Delta t(PR, OBU) + \max(\Delta t_{proc}(PR)) \quad (4.14)$$

Specifikace S-041 v210 (2005, § 5.3.1.3) definuje 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. Tzn. $\Delta t_{proc}(PR) \leq 1$ s a $\max(\Delta t_{proc}(PR)) = 1$ s. Tím pádem vztah 4.14 bude mít podobu:

$$\Delta t_{pos}^{MAX} = \Delta t(RBC) - \min(\Delta t_{trans}(RBC - OBU)) + \Delta t(PR, RBC) - \Delta t(PR, OBU) + 1, [s] \quad (4.15)$$

Jak již bylo uvedeno výše, obecně platí, že uvažovat s jakýmkoliv parametry OBU, které buď OBU sama stacionární části nesdělí nebo nejsou definovány příslušnými mandatorními specifikacemi, jako např. S-041 v210 (2005), je z hlediska interoperability nevhodné. Takové nespecifikované parametry mohou být pro různé OBU různé, a vést tak k odlišnému chování systému ETCS ve stejných provozních situacích u vozidel s různými OBU.

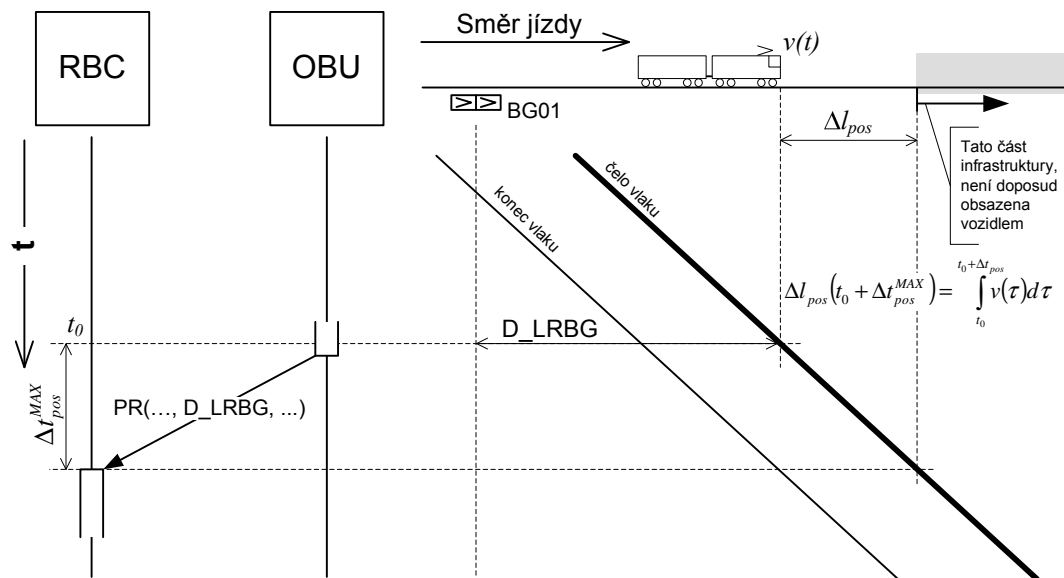
Dále je třeba ve vztahu 4.15 zohlednit požadovanou stabilitou hodin, která je vyjádřena maximálním bezpečným driftem hodin – *safe clock drift* definovaným v S-041 v210 (2005, § 5.3.2.1) jako 0,1 %, z daného (naměřeného) časového intervalu. Modifikovaný vztah s ohledem na kritický přístup tedy bude mít podobu:

$$\Delta t_{pos}^{MAX} = 1,001 \cdot \Delta t(RBC) - \min(\Delta t_{trans}(RBC - OBU)) + 1,001 \cdot \Delta t(PR, RBC) - 0,999 \cdot \Delta t(PR, OBU) + 1, [s] \quad (4.16)$$

V případě mezní doby pro zpracování hlášení polohy $\Delta t_{proc}(PR)$, která je 1 sekunda, není uvažován drift hodin, protože dodržení tohoto specifikacemi stanoveného limitu v OBU je věcí „offline“ řešení konkrétních HW a SW komponent nikoliv záležitost „online“ měření časových intervalů. (Ani ve vztahu 4.9 drift hodin nemá vliv, protože hodnota zpoždění je určena „offline“ a čistě analyticky.) Lze předpokládat, že vzhledem k nízkým hodnotám – v porovnání např. s nepřesnostmi odometrie (jednotky procent) – nebude mít zanedbání driftu hodin (jedna promile) žádné bezpečnostní důsledky. Nicméně, protože se jedná o kvalitativní analýzu problému, je jeho potenciální vliv brán v potaz.

Maximální doložitelné zpoždění Δt_{pos}^{MAX} se použije v situacích, kdy je z hlediska bezpečnosti nutné zjistit, před jakou nejdelší možnou dobou se mohlo vozidlo nacházet v ohlášené poloze. Podobně jako v případě minimálního možného zpoždění, umožňuje maximální doložitelné zpoždění určit mezní časové závislosti mezi vozidly z hlediska jejich výskytu v ohlášených polohách. Ostatně, jak je uvedeno v práci dále, pro tento účel se

používají právě oba typy zpoždění. V případě odchylky polohy však maximální doložitelné zpoždění slouží k určení bezpečnostně kritických dlouhých vzdáleností, tj. použije se v těch situacích, kdy je třeba zjistit, jaká nejzazší poloha může být vozidlem již obsazena – vlak už „tam“ může být, a není tedy možné v příslušné části počítat s jiným vozidlem – viz Obr. 4-5.



Obr. 4-5: Odchylka určení polohy odvozená na základě maximálního doložitelného zpoždění.

Pozn.: Je nutné připomenout, že složky odchylek polohy diskutované v člancích 4.1.3 a 4.1.4 souvisí pouze se zpožděními při přenosu a zpracování, tj. neobsahují odchylky určení polohy plynoucí z nepřesností lokalizace BG a chyby odometrie.

4.1.5 Vliv rychlostí a změn rychlostí na odchylky plynoucí z přenosu a zpracování

Odchylky v určení polohy, k jakým na vstupech hlášení polohy do RBC díky zpožděním při přenosu a zpracování dochází, jsou obecně určeny vztahem 4.8., ve kterém, kromě již diskutovaných parametrů, figuruje rychlost jako funkce času v rozmezí příslušných zpoždění. Rychlost resp. její kritický odhad po dobu integrace je právě určujícím faktorem v důsledcích, jakými se zpoždění při přenosu a zpracování projeví na odchylce polohy vozidel. Počáteční hodnotou rychlosti v čase t_0 je hodnota proměnné V_TRAIN zaslaná v příslušném hlášení polohy. Kritický odhad změny této rychlosti je určen typem zpoždění Δt_{pos} , pro jaké Δt_{pos} se následně provádí výpočet změny polohy Δl_{pos} .

V případě minimálního možného zpoždění Δt_{pos}^{MIN} je nutno, s ohledem na bezpečnostní důvody pro jaké se toto zpoždění uplatňuje – minimální ujetá vzdálenost, uvažovat, že

rychlost V_TRAIN zaslaná v hlášení polohy bude po dobu Δt_{pos}^{MIN} klesat, a to s největším uvažovaným brzdným odrychlením b_{max} (hodnota je dále uvažována jako záporné číslo).

Naopak v případě maximálního doložitelného zpoždění Δt_{pos}^{MAX} je nutno, s ohledem na bezpečnostní důvody pro které se uplatňuje – maximální ujetá vzdálenost, uvažovat, že rychlost V_TRAIN zaslaná v hlášení polohy bude po dobu Δt_{pos}^{MAX} růst, a to s největším uvažovaným zrychlením a_{max} .

Poznámka: Vhodné bude stanovení hodnot mezního odrychlení a zrychlení jednotně pro danou specifickou aplikaci RBC bez ohledu na konkrétní vozidlo, pro něž se právě výpočet odchytky polohy provádí. Rozlišování různých mezních zrychlení a odrychlení podle typů vozidel by sice zefektivnilo výsledky, ale prakticky se stávajícími informacemi, které předává OBU do RBC, je neproveditelné. Stanovením hodnot mezního brzdného odrychlení a mezního zrychlení se již zabývala práce Motyčka et al. (2010, s. 10), kde se pro mezní zrychlení uvažuje hodnota $a_{max} = 2,5 \text{ m/s}^2$ a mezní odrychlením (provozní brzdou) $b = -0,6 \text{ m/s}^2$. V tomto případě je nutné však uvažovat brzdu nouzovou, u které lze předpokládat brzdící schopnosti ne horší než schopnosti akcelerační, proto je nutné v případě kvantitativní analýzy $b_{max} = -2,5 \text{ m/s}^2$.

Lineární interpolace zrychlení a odrychlení jejich mezní hodnotou představuje více kritické hodnoty. Při brzdění se tím ignoruje náběh brzdy popř. její uvolnění v závěru brzdění, což v případě minimálního možného zpoždění, kde se brzdění uplatňuje, vede ke zkrácení Δl_{pos} , a tím ke zvýšení restriktce (menší část infrastruktury je již k dispozici). Při akceleraci ignorování postupného zvyšování zrychlení na mezní hodnotu a postupného snižování při ukončení akcelerace vede k delšímu uplatnění mezní akcelerace, a tím i k prodloužení Δl_{pos} , a tedy ke zvýšení restriktce (větší část infrastruktury může být již obsazena).

Dále je nutné doplnit vliv nepřesnosti měření rychlosti na vozidle (S-041 v210, 2005, § 5.3.1.2), která je $\pm 2 \text{ km/h}$ do 30 km/h ($V_{skutečná} = V_{měřená} \pm 2$), a pak lineárně vzrůstá na hodnotu $\pm 12 \text{ km/h}$ při rychlosti 500 km/h ($V_{skutečná} = V_{měřená} \pm (2 + (V_{měřená} - 30)/47)$). Dále lze očekávat i problém s kvantováním V_TRAIN , protože tato proměnná představuje informace o rychlosti vozidla v celých násobcích 5 km/h . Přesněji, za předpokladu, že OBU posílá v podobě proměnné V_TRAIN vždycky vyšší z násobků 5 km/h , mezi kterými se nachází rychlost vlaku $V_{měřená}$, je níže použitý přístup, kdy je v případě minimálního možného zpoždění rychlost o 5 km/h nižší a v případě maximálního doložitelného zpoždění o 2 km/h vyšší, dostatečně kritický. Tento způsob zohlednění specifikovaných mezních nepřesností

v měření rychlosti je zahrnut ve vzorcích 4.18, 4.19, 4.21, 4.22 níže. Podrobnější způsob zaokrouhlování měřené rychlosti pro proměnnou V_TRAIN v OBU není ze specifikací zřejmý.

Vztah 4.8 tedy v případě uplatnění minimálního možného zpoždění bude mít podobu:

$$\Delta l_{pos}^{MIN} = \Delta l_{pos}(t_0 + \Delta t_{pos}^{MIN}) = \frac{1}{2} b_{\max} \cdot (\Delta t_{pos}^{MIN})^2 + v(t_0) \cdot \Delta t_{pos}^{MIN}, \quad (4.17)$$

kde b_{\max} je záporná hodnota mezního brzdného odrychlení a $v(t_0)$ rychlost vlaku V_TRAIN zasláná v hlášení polohy. Při uvážení přesnosti rychlosti do 30 km/h:

$$\Delta l_{pos}^{MIN} = \Delta l_{pos}(t_0 + \Delta t_{pos}^{MIN}) = \frac{1}{2} b_{\max} \cdot (\Delta t_{pos}^{MIN})^2 + \left(\frac{V_TRAIN - 5}{3,6} \right) \cdot \Delta t_{pos}^{MIN} \quad (4.18)$$

A nad 30 km/h:

$$\begin{aligned} \Delta l_{pos}^{MIN} &= \Delta l_{pos}(t_0 + \Delta t_{pos}^{MIN}) = \\ &= \frac{1}{2} b_{\max} \cdot (\Delta t_{pos}^{MIN})^2 + \left(\frac{V_TRAIN - 5}{3,6} - \frac{V_TRAIN - 30}{3,6 \cdot 47} \right) \cdot \Delta t_{pos}^{MIN} \end{aligned} \quad (4.19)$$

V situaci, kdy v hlášení polohy bude uvedena $V_TRAIN = 0$, platí i pro $\Delta l_{pos}^{MIN} = 0$.

Vztah 4.8 v případě maximálního doložitelného zpoždění má pak podobu:

$$\Delta l_{pos}^{MAX} = \Delta l_{pos}(t_0 + \Delta t_{pos}^{MAX}) = \frac{1}{2} a_{\max} \cdot (\Delta t_{pos}^{MAX})^2 + v(t_0) \cdot \Delta t_{pos}^{MAX}, \quad (4.20)$$

kde a_{\max} je kladná hodnota mezního zrychlení a $v(t_0)$ rychlost vlaku V_TRAIN zasláná v hlášení polohy. Při uvážení přesnosti rychlosti do 30 km/h:

$$\Delta l_{pos}^{MAX} = \Delta l_{pos}(t_0 + \Delta t_{pos}^{MAX}) = \frac{1}{2} a_{\max} \cdot (\Delta t_{pos}^{MAX})^2 + \left(\frac{V_TRAIN + 2}{3,6} \right) \cdot \Delta t_{pos}^{MAX} \quad (4.21)$$

A od 30 km/h:

$$\begin{aligned} \Delta l_{pos}^{MAX} &= \Delta l_{pos}(t_0 + \Delta t_{pos}^{MAX}) = \\ &= \frac{1}{2} a_{\max} \cdot (\Delta t_{pos}^{MAX})^2 + \left(\frac{V_TRAIN + 2}{3,6} + \frac{V_TRAIN - 30}{3,6 \cdot 47} \right) \cdot \Delta t_{pos}^{MAX} \end{aligned} \quad (4.22)$$

V případě $V_TRAIN = 0$ se tentokrát uplatní vztah 4.21.

V těchto vztazích je dále nutné zohlednit:

1. Ukončení brzdění při zastavení v případě minimálního možného zpoždění.
2. Ukončení zrychlování při dosažení maximální rychlosti vozidla V^{MAX} – může se jednat o $V_MAXTRAIN$ (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.160), nebo maximální rychlost v daném místě infrastruktury – pokud je rychlost příslušného profilu nižší nebo je vozidlo v takovém módu, že jeho jízda není podle $V_MAXTRAIN$ dohlížena. Ukončení zrychlování se uplatní v případě maximálního doložitelného zpoždění.

Add 1: Pro případ minimálního možného zpoždění, je tedy v případě nenulové rychlosti V_TRAIN nejprve nutné určit, za jaký časový interval vozidlo zastaví. V případě, kdy je v úvahu brána přesnost rychlosti (pro případ rychlosti 30 km/h a více):

$$\Delta t_{to-STOP} = \frac{-v(t_0)}{b_{max}} = -\frac{1}{b_{max}} \left(\frac{V_TRAIN-5}{3,6} - \frac{V_TRAIN-30}{3,6 \cdot 47} \right), \quad (4.23)$$

Pokud $\Delta t_{to-STOP} \geq \Delta t_{pos}$, pak platí původní vztah 4.19, jinak platí:

$$\Delta l_{pos}^{MIN} = \frac{1}{2} b_{max} \cdot (\Delta t_{to-STOP})^2 + \left(\frac{V_TRAIN-5}{3,6} - \frac{V_TRAIN-30}{3,6 \cdot 47} \right) \cdot \Delta t_{to-STOP}, \quad (4.24)$$

Poznámka: Pro případ rychlostí do 30 km/h odpadá druhý člen rozdílů v závorkách vztahů 4.23 i 4.24.

Add 2: Pro případ maximálního doložitelného zpoždění, je tedy nejprve nutné určit, za jaký časový interval vozidlo dosáhne maximální rychlosti. V případě, kdy je v úvahu brána přesnost rychlosti (pro případ rychlostí 30 km/h a více):

$$\begin{aligned} \Delta t_{to-MAX} &= \frac{v^{MAX}(t_0 + \Delta t_{to-MAX}) - v(t_0)}{a_{max}} = \\ &= \frac{1}{a_{max}} \left[\left(\frac{V^{MAX} + 2}{3,6} + \frac{V^{MAX} - 30}{3,6 \cdot 47} \right) - \left(\frac{V_TRAIN + 2}{3,6} + \frac{V_TRAIN - 30}{3,6 \cdot 47} \right) \right] \end{aligned} \quad (4.25)$$

Pokud $\Delta t_{to-MAX} \geq \Delta t_{pos}$, pak platí původní vztah 4.22, jinak platí:

$$\begin{aligned} \Delta l_{pos}^{MAX} &= \Delta l_{pos}(t_0 + \Delta t_{to-MAX}) = \\ &= \frac{1}{2} a_{max} \cdot \Delta t_{to-MAX}^2 + \left(\frac{V_TRAIN + 2}{3,6} + \frac{V_TRAIN - 30}{3,6 \cdot 47} \right) \cdot \Delta t_{to-MAX} + \\ &+ \left(\frac{V^{MAX} + 2}{3,6} + \frac{V^{MAX} - 30}{3,6 \cdot 47} \right) \cdot (\Delta t_{pos}^{MAX} - \Delta t_{to-MAX}) \end{aligned} \quad (4.26)$$

Protože měření aktuální rychlosti vlaku, které rovněž slouží k porovnání s rychlostním stropem dynamického rychlostního profilu na OBU, podléhá zmíněným nepřesnost, je potřeba i v případě rychlostního limitu V^{MAX} ve vztazích 4.25 a 4.26 tyto nepřesnosti zohlednit.

Poznámka: Pro případ rychlosti do 30 km/h odpadá druhý člen součtu v obou závorkách vztahů 4.25 i 4.26.

4.1.6 Shrnutí vztahů týkajících se určení polohy vozidla a její maximální odchylky v okamžiku vstupu hlášení polohy do CL RBC

Celkové odchylky v určení polohy, k jakým v okamžiku vstupu hlášení polohy do RBC může dojít, jak díky nepřesnostem na straně OBU a na straně infrastruktury, tak i díky zpožděním při přenosu a zpracování, lze definovat intervalem:

$$\left\langle -\Delta l_{D_ERROR}^{*NegMAX} (D_LRBG) + \Delta l_{pos}^{MIN}, +\Delta l_{D_ERROR}^{*PosMAX} (D_LRBG) + \Delta l_{pos}^{MAX} \right\rangle, \quad (4.27)$$

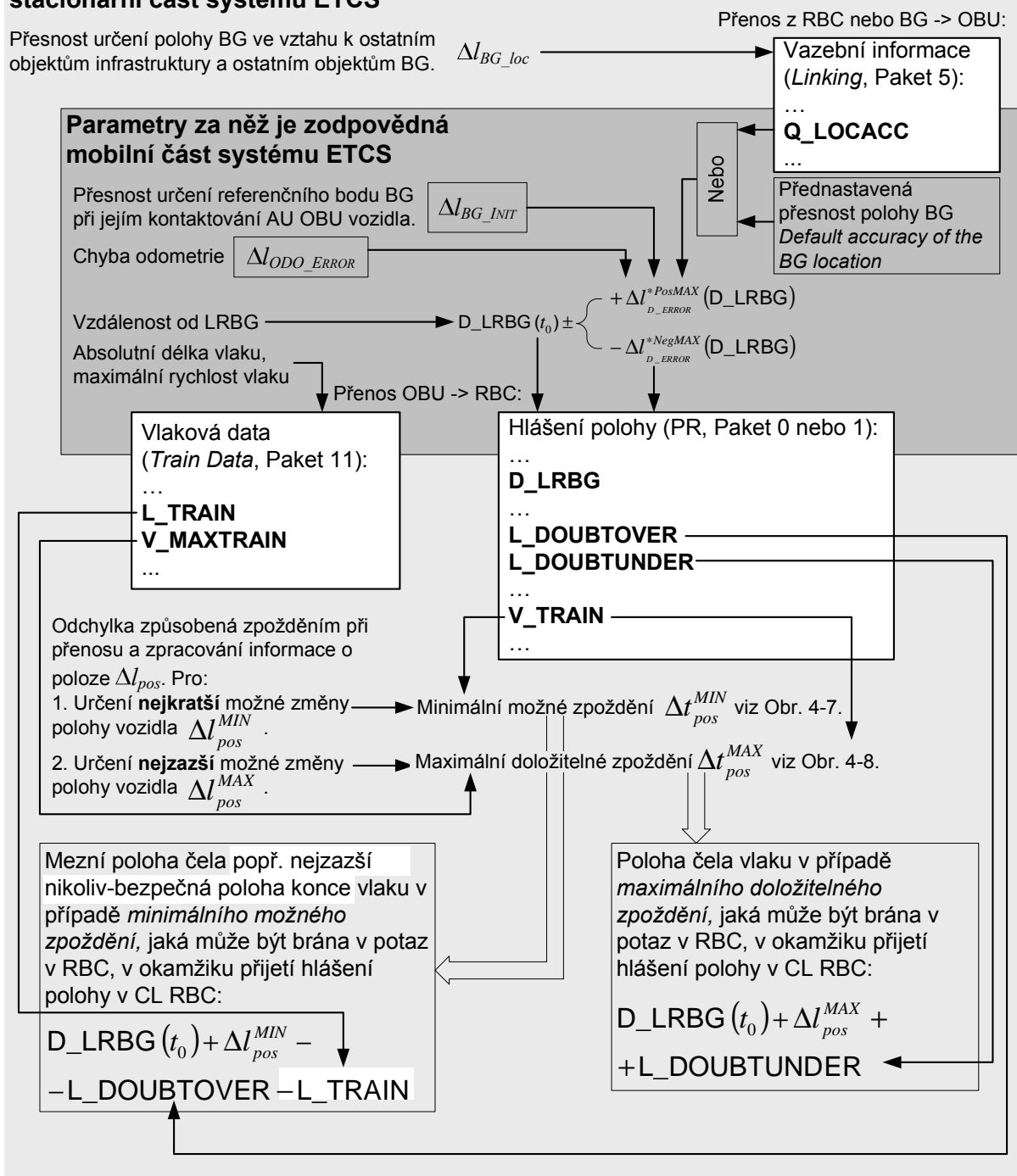
přičemž odchylku polohy Δl_{pos}^{MIN} není nutné z hlediska bezpečnosti brát v úvahu. Pro vzdálenost čela vlaku od LRBG v okamžiku přijetí hlášení polohy v RBC, tj. v čase t , poté tedy platí:

$$D_LRBG(t) = D_LRBG(t_0) \pm \begin{cases} +\Delta l_{D_ERROR}^{*PosMAX} (D_LRBG) + \Delta l_{pos}^{MAX} \\ -\Delta l_{D_ERROR}^{*NegMAX} (D_LRBG) + \Delta l_{pos}^{MIN} \end{cases} \quad (4.28)$$

Na následujících obrázcích jsou shrnuty poznatky diskutované v kapitole 4.1. Na Obr. 4-6 je uveden souhrnný přehled postupu vedoucího k určení polohy vozidla v okamžiku přijetí hlášení polohy v CL RBC, s naznačením rozdělení zodpovědností za jednotlivé činnosti a hodnoty parametrů mezi stacionární a mobilní část systému ETCS. Obr. 4-7 pak shrnuje způsob určení odchylky polohy způsobené minimálním možným zpožděním při přenosu a zpracování, naopak Obr. 4-8 se věnuje odchylce polohy vyvolané maximálním doložitelným zpožděním. Stanovení těchto zpoždění se dále bude týkat hlášení polohy od dvou vozidel současně, proto ve vztazích, kromě zpoždění určených časovými intervaly mezi okamžiky výskytu vozidla v ohlášené poloze a přijetím příslušného hlášení polohy v RBC od stejného vozidla (Δt_{pos}^{MIN} , Δt_{pos}^{MAX}), budou figurovat i zpoždění mezi okamžiky přijetí zpráv od OBU různých vozidel.

Parametry za něž je zodpovědná stacionární část systému ETCS

Přesnost určení polohy BG ve vztahu k ostatním objektům infrastruktury a ostatním objektům BG.



Obr. 4-6: Přehled vyhodnocení polohy při uvažování všech relevantních nepřesností a odchylek.

Určení změny polohy na základě minimálního možného zpoždění

$V_TRAIN = 0:$	$\Delta l_{pos}^{MIN} = 0$ [m]
$V_TRAIN > 0:$	
$\Delta t_{pos}^{MIN} = \min(\Delta t_{trans}(OBU - RBC))$	
$\Delta t_{to-STOP} = -\frac{1}{b_{max}} \left(\frac{V_TRAIN - 5}{3,6} - \frac{V_TRAIN - 30}{3,6 \cdot 47} \right)$	
$\Delta t_{to-STOP} \geq \Delta t_{pos}^{MIN} :$	
$\Delta l_{pos}^{MIN} = \frac{1}{2} b_{max} \cdot (\Delta t_{pos}^{MIN})^2 + \left(\frac{V_TRAIN - 5}{3,6} - \frac{V_TRAIN - 30}{3,6 \cdot 47} \right) \cdot \Delta t_{pos}^{MIN}$ [m]	
$\Delta t_{to-STOP} < \Delta t_{pos}^{MIN} :$	
$\Delta l_{pos}^{MIN} = \frac{1}{2} b_{max} \cdot (\Delta t_{to-STOP})^2 + \left(\frac{V_TRAIN - 5}{3,6} - \frac{V_TRAIN - 30}{3,6 \cdot 47} \right) \cdot \Delta t_{to-STOP}$ [m]	
<div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> <div style="width: 45%;">Hodnota této konstanty závisí na způsobu, jakým OBU určuje hodnotu V_TRAIN.</div> <div style="width: 45%;">Tento člen se uplatní pouze pokud V_TRAIN > 30 km/h</div> </div>	

Obr. 4-7: Přehled stanovení nejkratší možné změny polohy.

Určení změny polohy na základě maximálního doložitelného zpoždění

$\Delta t_{pos}^{MAX} = 1,001 \cdot \Delta t(RBC) - \min(\Delta t_{trans}(RBC - OBU)) +$	
$+ 1,001 \cdot \Delta t(PR, RBC) - 0,999 \cdot \Delta t(PR, OBU) + 1$	
Hodnoty určitelné na základě měření časových intervalů v RBC	Hodnota určitelná v RBC na základě porovnání časových značek zpráv z OBU
$\Delta t_{to-MAX} = \frac{1}{a_{max}} \left(\frac{V^{MAX} + 2}{3,6} + \frac{V^{MAX} - 30}{3,6 \cdot 47} - \frac{V_TRAIN + 2}{3,6} - \frac{V_TRAIN - 30}{3,6 \cdot 47} \right)$	
$\Delta t_{to-MAX} \geq \Delta t_{pos}^{MAX} :$	
$\Delta l_{pos}^{MAX} = \frac{1}{2} a_{max} \cdot (\Delta t_{pos}^{MAX})^2 + \left(\frac{V_TRAIN + 2}{3,6} + \frac{V_TRAIN - 30}{3,6 \cdot 47} \right) \cdot (\Delta t_{pos}^{MAX})$ [m]	
$\Delta t_{to-MAX} < \Delta t_{pos}^{MAX} :$	
$\Delta l_{pos}^{MAX} = \frac{1}{2} a_{max} \cdot \Delta t_{to-MAX}^2 + \left(\frac{V_TRAIN + 2}{3,6} + \frac{V_TRAIN - 30}{3,6 \cdot 47} \right) \cdot \Delta t_{to-MAX} +$	
$+ \left(\frac{V^{MAX} + 2}{3,6} + \frac{V^{MAX} - 30}{3,6 \cdot 47} \right) \cdot (\Delta t_{pos}^{MAX} - \Delta t_{to-MAX})$ [m]	
<div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> <div style="width: 45%;">Potřeba tohoto členu při V_TRAIN = 0 km/h závisí na způsobu, jakým OBU hodnotu V_TRAIN určuje.</div> <div style="width: 45%;">Tento člen se uplatní pouze pokud V_TRAIN > 30 km/h resp. V^{MAX} > 30 km/h.</div> </div>	

Obr. 4-8: Přehled stanovení nejzazší možné změny polohy.

4.2 Vyhodnocení pořadí dvou vozidel v RBC na základě jejich hlášení polohy

Určení pořadí vozidel je důležitá schopnost RBC v situaci, kdy je jeden určitý úsek (dopravní kolej ve stanici, traťový oddíl) obsazen více vozidly, která jsou schopna se pohybovat pod dohledem ETCS, a RBC má prostřednictvím OBU ve spolupráci se strojvedoucím umožnit další jízdu prvního vozidla pod dohledem ETCS. V takových situacích lze použít takzvanou TAF proceduru, kdy OBU na základě žádosti RBC zobrazí strojvedoucímu na DMI žádost o potvrzení volnosti trati před čelem vlaku až po nejbližší potencionální polohu EoA (hlavní návěstidlo, *ETCS marker board*). Nejen z pohledu uživatelského komfortu a důvěryhodnosti ETCS jako vlakového zabezpečovacího zařízení, ale i z hlediska snižování četnosti potencionálních hazardů je důležité, aby TAF procedura byla provedena pouze s jedním vozidlem, a to s prvním v pořadí. Z hlediska bezpečnosti je závažnější situací, ve které se schopnost RBC určit pořadí vozidel uplatní, vjezd vozidel vybavených ETCS do oblasti ETCS L2 v krátkém sledu po sobě (sjetí vozidel v prostorovém oddíle před hranicí oblasti ETCS L2), kdy je RBC nucena rozlišit, k jakému z vozidel se má vázat oprávnění k jízdě v oblasti ETCS L2. Správné určení pořadí vozidel, která již před vjezdem do oblasti ETCS L2 jsou schopna posílat hlášení polohy, přispívá ke snížení počtu situací, ve kterých – pokud se následně objeví pochyby – je nutno dodatečně omezovat již odeslané oprávnění v jízdě.

Z důvodů správného pochopení následujících postupů a závěrů je nutné zdůraznit, že uvedený způsob určení pořadí vozidel nelze uplatnit v případě, kdy jedno z vozidel není vybaveno mobilní částí systému ETCS, přesněji kdy OBU tohoto vozidla není schopno poskytovat RBC hlášení polohy se známou vzdáleností od LRBG a známou velikostí konfidenčního intervalu. Principiálně určení pořadí probíhá ve čtyřech krocích:

- Krok α – Identifikace hlášení polohy. V tomto kroku se identifikují hlášení polohy, přijatá z OBU, vhodná pro určení pořadí vozidel.
- Krok β – Nekritický odhad pořadí vozidel. Prvotní odhad pořadí vozidel bez bezpečnostní relevance, pro stanovení postupu práce s hlášeními polohy v následujících krocích.
- Krok γ – Kritická korekce polohy vozidel. S ohledem na zpoždění při přenosu a zpracování informací mezi OBU a RBC a na časové rozdíly mezi hlášeními polohy navzájem se provede korekce polohy vozidel.

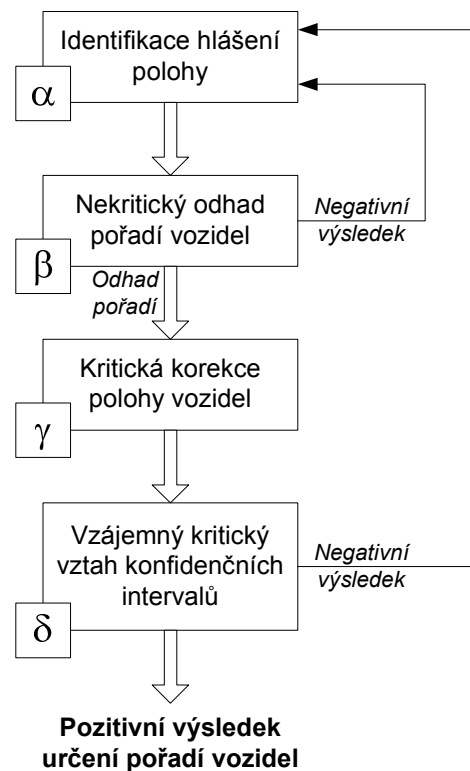
- Krok δ – Vzájemný kritický vztah konfidenčních intervalů. Konečné stanovení výsledku určení pořadí vozidel.

Pozn.: Označení kroků řeckými písmeny bylo voleno z důvodů jednoznačného odlišení od ostatních v práci používaných písmenných a číselných dělení (vozidlo A a B, první; druhý v pořadí, metoda čtyř hlášení polohy, ...).

Funkce určení pořadí vozidel CL RBC poskytuje jeden ze tří výsledku:

1. Podle daných hlášení polohy nelze určit pořadí vozidel (negativní výsledek).
2. Vozidlo A se nachází před vozidlem B (pozitivní výsledek).
3. Vozidlo B se nachází před vozidlem A (pozitivní výsledek).

Přičemž α a γ lze chápat jako kroky, ve kterých probíhá předzpracování informací ze zpráv hlášení polohy a zpráv potvrzení a informací o vzájemných časových parametrech při jejich příjmu; a β a δ jako kroky, které přímo určují výsledek. Viz Obr. 4-9.

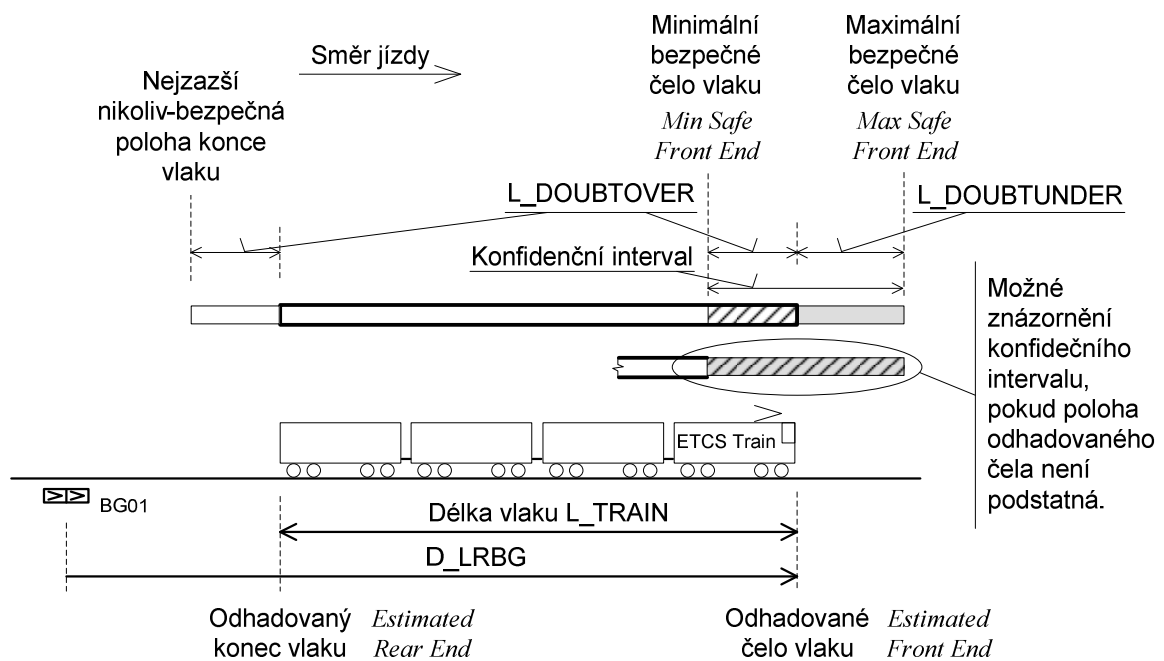


Obr. 4-9: Postup určení pořadí vozidel.

4.2.1 Krok α – Identifikace hlášení polohy.

Spouštěcí krok, který je provázán na ostatní funkce CL RBC. Pokud bude funkce určení pořadí vozidel brána izolovaně, tak tento krok spočívá v odeslání zpráv s parametry hlášení polohy do OBU obou vozidel a skrze potvrzení o přijetí, této zprávy, v identifikaci přijetí

odpovídajících hlášení polohy v CL RBC. Viz mechanismus sledování časových značek popsany výše v článku 4.1.4 a znázorněný na Obr. 4-4. Obecně však nemusí být celý proces zahájen odesláním parametrů hlášení polohy, ale spouštěcím mechanismem může být naopak přijetí hlášení polohy od jednoho z vozidel. Další vlastností hlášení polohy kontrolovanou v tomto kroku mohou být informace o směru pohybu vozidel, ze kterých vyplývá relevantnost nejen hlášení polohy jako takových, ale obecně stavu vozidel resp. OBU jako takového pro smysluplné určení pořadí (viz dále článek 4.2.7). Přesná specifikace tohoto kroku je možná v kontextu všech ostatních funkcí, které se k určení pořadí vozidel vážou, a souvisí i s konkrétním postupem následujících kroků. Pro popis analýz v této práci uvedených není tento krok nezbytně nutný, v reálné implementaci však bude existovat. Pro další úvahy je dostatečná definice, že tento krok končí stavem, kdy jsou v RBC k dispozici od OBU obou vozidel, jejichž vzájemné pořadí se má určit, vhodná hlášení polohy.



Obr. 4-10: Konfidenční interval a související parametry.

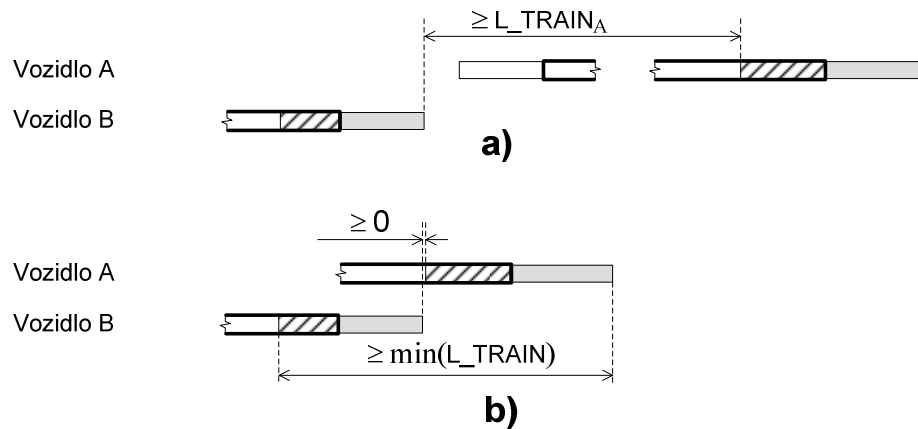
4.2.2 Krok β – Nekritický odhad pořadí vozidel.

Smysl kroku β spočívá v realizaci prvotního odhadu pořadí vozidel, který není z hlediska bezpečnosti relevantní, ale je nezbytný pro určení dalšího postupu zpracování hlášení polohy pro získání údajů k bezpečnostně relevantnímu vyhodnocení pořadí vozidel. *Nekritickým odhadem pořadí vozidel* se myslí takové porovnání údajů v hlášení polohy, přijatých od OBU, ve kterém se nezohledňuje reálná či potenciální různost časových okamžiků, ve kterých se vozidla vyskytovala v ohlášených polohách.

Při tomto odhadu se tedy berou v úvahu pouze vzdálenosti vozidel od LRBG, tj. D_{LRBG} , velikosti konfidenčních intervalů, tj. proměnné $L_{DOUBTOVER}$ a $L_{DOUBTUNDER}$, a případně nikoliv-bezpečné délky vozidel, tj. proměnná L_{TRAIN} . Význam těchto proměnných je zřejmý z Obr. 4-10 (platí v situaci, kdy vozidlo není vybaveno prostředky pro detekci integrity vlaku), podrobnosti jsou uvedeny v S-026-3 v230 (2006) a S-026-7 v230 (2006). Klíčový pro výsledek tohoto odhadu je vztah mezi konfidenčními intervaly. Nabízí se tři základní podoby tohoto vztahu, viz Obr. 4-11 a Obr. 4-12, kde jsou symbolicky znázorněny polohy čel popř. konců vozidel:

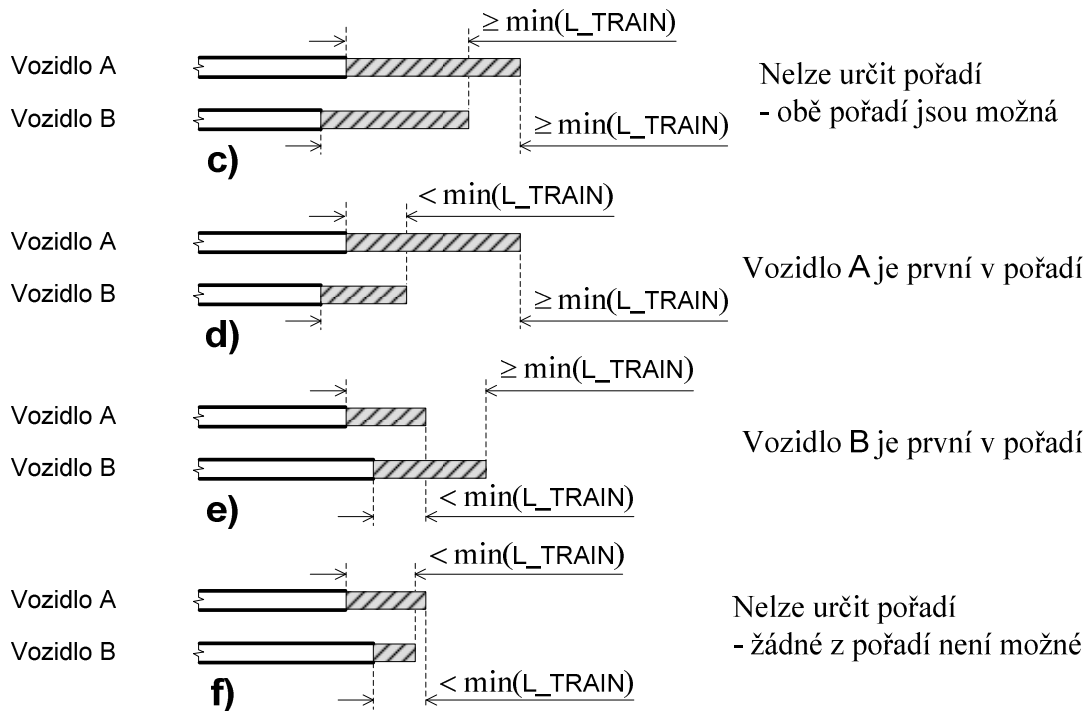
1. Obr. 4-11 a) **Restriktivní vztah vzhledem k délce vlaku** – vzdálenost mezi maximálním bezpečným čelem druhého vozidla a minimálním bezpečným čelem prvního vozidla musí být shodná s nebo větší, než je délka prvního vozidla. Tomuto vztahu odpovídá vozidlo A jako první v pořadí. Pokud se pro nekritický odhad pořadí vozidel uplatní tento vztah, pak nesplnění jeho definice povede k negativnímu výsledku (pro určení pořadí není možné použít daná hlášení polohy). Nevýhodou až zbytečným omezením může být zdroj informací, podle něhož OBU určuje hodnotu proměnné L_{TRAIN} , který není bezpečnostně relevantní (zpravidla se jedná o strojvedoucího), a tudíž se může hodnota této proměnné podstatně lišit od skutečné délky vozidla. Kromě rizika spočívajícího v zadání příliš krátké délky vozidla, čímž při současně krátké délce konfidenčního intervalu hrozí ignorování neadekvátně krátké vzdálenosti mezi čely vozidel (viz dále popis *restriktivního vztahu vzhledem k čelům*), může dojít i k zadání příliš dlouhé délky, a tím i ke zvýšení četnosti situací, kdy nebude splněn *restriktivní vztah vzhledem k délce vlaku*, a výsledek tak bude negativní.
2. Obr. 4-11 b) **Restriktivní vztah vzhledem k čelům vozidel** – konfidenční intervaly obou vozidel se nesmí vůbec překrývat a vzdálenost mezi minimálním bezpečným čelem druhého vozidla a maximálním bezpečným čelem prvního vozidla musí být alespoň rovna délce nejkratšího uvažovaného vozidla vybaveného ETCS – $\min(L_{TRAIN})$. V opačném případě vede uplatnění *restriktivního vztahu vzhledem k čelům vozidel* k negativnímu výsledku odhadu pořadí vozidel. Hodnota $\min(L_{TRAIN})$ musí být zjištěna analyticky, na základě znalosti typů vozidel, jejichž provoz v dané oblasti ETCS L2 připadá v úvahu. Pokud by hodnota skutečné absolutní délky vlaku L_{TRAIN} v případě vozidla A byla zadávána do OBU bezpečnostně relevantně, bylo by možné namísto $\min(L_{TRAIN})$ uvažovat právě tuto hodnotu.

Jednalo by se poté o méně omezující variantu *restriktivního vztahu vzhledem k délce vlaku*. Přirozeně se nabízí dále varianta, kdy běžně bude uvažována hodnota proměnné L_TRAIN , pokud však, díky chybnému zadání do OBU, nebude nižší než $\min(L_TRAIN)$.



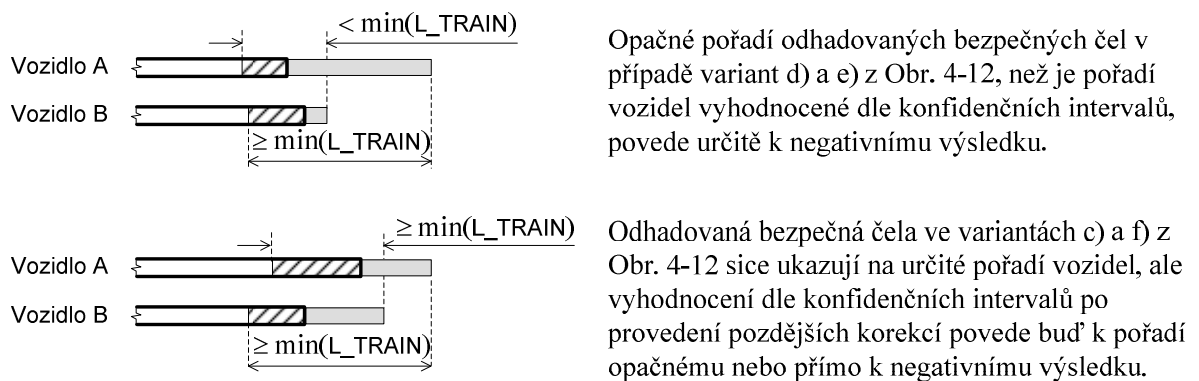
Obr. 4-11: Restriktivní vztahy konfidenčních intervalů pro nekritický odhad polohy.

3. Obr. 4-12 **Vztah s překryvem** – délka překrytí konfidenčních intervalů, tj. vzdálenost od minimálního bezpečného čela prvního vozidla k maximálnímu bezpečnému čelu druhého vozidla, musí být menší než délka nejkratšího uvažovaného vozidla vybaveného mobilní částí systému ETCS – $\min(L_TRAIN)$. Princip vztahu s překryvem vychází z úvahy, že pokud je – dle Obr. 4-12 – vozidlo A skutečně první v pořadí a skutečná poloha jeho čela odpovídá mezní situaci, kdy je totožné s minimálním bezpečným čelem, pak za předpokladu že (opět v mezní situaci) skutečná poloha čela vozidla B bude totožná s maximálním bezpečným čelem, se nemůže vozidlo B před vozidlo A vejít. Všechny ostatní kombinace, skutečných vzájemných poloh čel obou vozidel, prostor pro výskyt vozidla B před vozidlem A ještě zmenšují. Opačně však platí negace, tzn. vozidlo A se před vozidlo B vejít musí. Znamená to tedy, že vzdálenost mezi minimálním bezpečným čelem druhého vozidla a maximálním bezpečným čelem prvního vozidla musí být alespoň $\min(L_TRAIN)$ – to platí i v případě restriktivního vztahu vzhledem k čelům vozidel. Celkem tedy mohou nastat čtyři varianty vztahu konfidenčních intervalů s překryvem, z nichž dvě umožňují určit pořadí vozidel – d) a e) – a dvě vedou k negativnímu výsledku – c) a f).



Obr. 4-12: Varianty vztahů konfidenčních intervalů s překryvem pro nekritický odhad pořadí vozidel.

Volba vhodného z uvedených vztahů pro implementaci nekritického odhadu pořadí vozidel je záležitostí dalších analýz, nad rámec této práce, které zohlední bezpečnostní i provozní dopady jednotlivých variant (viz dále článek 4.2.6).



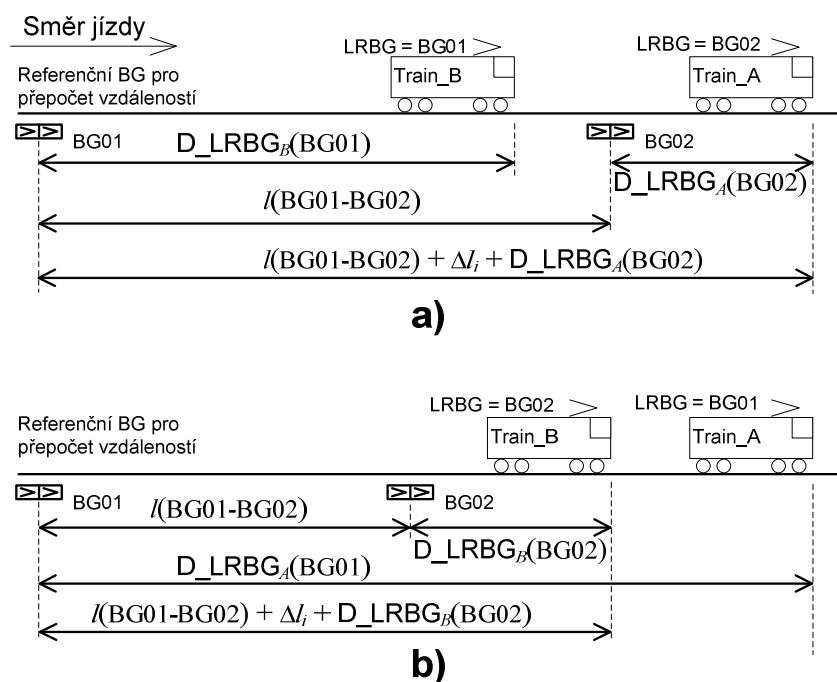
Obr. 4-13: Vztahy s překryvem vs. vztahy odhadovaných čel.

Dále se nabízí možnost nekritického odhadu pořadí vozidel, při kterém by se namísto vztahu konfidenčních intervalů vyhodnocoval vztah vzdáleností odhadovaných čel od LRBG – D_LRBG_A a D_LRBG_B . Při tomto přístupu sice nehrozí konečné vyhodnocení opačného pořadí vozidel (po provedení korekcí se stejně pracuje výhradně z konfidenčním intervalem, viz 4.2.5), ale v porovnání s vyhodnocením dle vztahu s překryvem se sníží četnost

pozitivních výsledků určení pořadí vozidel a prodlouží se čas potřebný pro vyhodnocení negativních výsledků, což vede ke zbytečnému odebrání výpočetní kapacity RBC, viz Obr. 4-13. Tyto skutečnosti budou zřejmější dále, v souvislostmi s postupy uplatňovanými při korekci polohy vozidel.

Je tedy zřejmé, že vztahy mezi konfidenčními intervaly nezávisí na vzájemné poloze odhadovaných čel, tj. na vzájemném vztahu D_LRBG_A a D_LRBG_B . Vzdálenosti odhadovaných čel od LRBG jsou samozřejmě nezbytné pro stanovení poloh maximálních a minimálních bezpečných čel – podstatných pro určení pořadí vozidel.

S proměnnými D_LRBG je ale vhodné primárně pracovat v situacích, kdy, při vyhodnocování pořadí, každé z vozidel ohlašuje svou polohu ve vztahu k jiné balízkové skupině. To znamená, že poloha vozidel není vztažena k jedné referenci, a tak k proměnným resp. k proměnné D_LRBG je nutné přičíst transformační vzdálenost, která zajistí vztažení poloh vozidel k jedné referenci. Tou bude vzdálenější BG (proti směru jízdy vozidel). V úvahu přichází dvě situace znázorněné na Obr. 4-14.



Obr. 4-14: Přepočet vzdáleností k jedné referenci.

- Část a): První vozidlo již minulo a kontaktovalo BG02, pro druhé vozidlo je LRBG stále BG01 (protože BG02 nebyla ještě vozidlem B minuta či, z důvodu poruchy, nebyla kontaktována). Referencí pro další práci se vzdálenostmi je BG01 a pro vozidlo A se tedy bude namísto $D_LRBG_A(BG02)$ uvažovat

$$l(\text{BG01-BG02}) - \Delta l_i + D_{\text{LRBG}_A}(\text{BG02}), \quad (4.29)$$

kde $l(\text{BG01-BG02})$ představuje vzdálenost mezi balízovými skupinami BG01 a BG02 a Δl_i nepřesnost určení této vzdálenosti, která přímo souvisí s nepřesností určení polohy těchto balízových skupin ve vztahu k ostatním objektům infrastruktury – $\Delta l_{\text{BG}_{loc}}(\text{BG01})$ a $\Delta l_{\text{BG}_{loc}}(\text{BG02})$.

- Část b): Obě vozidla již minula BG02, ale kontaktovalo ji pouze druhé vozidlo, pro první vozidlo je LRBG stále BG01 (BG02 nebyla vozidlem A kontaktována například z důvodu dočasného výpadku energetického signálu anténní jednotky). Poté tedy bude namísto $D_{\text{LRBG}_B}(\text{BG02})$ uvažováno s

$$l(\text{BG01-BG02}) + \Delta l_i + D_{\text{LRBG}_B}(\text{BG02}). \quad (4.30)$$

Obecně tedy platí, že při přepočtu vzdáleností ke vzdálenější BG (proti směru jízdy vozidel) se k hodnotě D_{LRBG} , která je vztažena k BG bližší, přičte vzdálenost mezi balízovými skupinami $l(\text{BG01-BG02})$, ve které se musí zohlednit i přesnost určení této vzdálenosti $\pm \Delta l_i$. Tuto přesnost určení polohy je třeba zohlednit, protože $\Delta l_{\text{BG}_{loc}}$ (tj. vlastně Q_{LOCACC} , viz 4.1.1) zohledňuje nepřesnosti mezi balízovou skupinou naposledy kontaktovanou a BG ohlášenou ve vazebních informacích jako následující (vozidlo se nachází mezi těmito BG), tj. nepřesnosti mezi BG02 a případnou následující BG03. Zde je ovšem třeba zohlednit nepřesnosti ve vzájemné poloze BG, které se obě nalézají již za vozidlem. Stanovení konkrétní hodnoty Δl_i (paušálně jako procentní chyba z hodnoty vzdálenosti) resp. hodnot (různé individuální přesnosti pro různé situace) je záležitostí zvolené metodiky zaměření prvků infrastruktury. Zda se nepřesnost určení vzdálenosti Δl_i k přepočtené vzdálenosti přičte nebo od ní odečte, záleží na dopadech zohlednění této přesnosti. Proto v případě, že se přepočet provádí v souvislosti s polohou druhého vozidla v pořadí, se nepřesnost přičítá (viz 4.30), naopak pro první vozidlo se nepřesnost odečítá (4.29). Je nutné si uvědomit, že zohlednění této nepřesnosti určení polohy je možné provést teprve až po té, co se na základě hrubého přepočtu poloh odhadovaných čel vozidel dle 4.31 či 4.32, tj. bez uplatnění této nepřesnosti, provede nekritický odhad pořadí vozidel. Nepřesnost Δl_i má tedy smysl uvažovat až v rámci korekcí prováděných následně po nekritickém odhadu pořadí vozidel.

$$l(\text{BG01-BG02}) + D_{\text{LRBG}_A}(\text{BG02}), \text{ tj. pouze první vozidlo kontaktoval BG02.} \quad (4.31)$$

$$l(\text{BG01-BG02}) + D_{\text{LRBG}_B}(\text{BG02}), \text{ tj. pouze první vozidlo kontaktoval BG02.} \quad (4.32)$$

Samozřejmě je i možné přepočítávat vzdálenosti k balízové skupině BG02, pak by bylo nutné operovat se zápornými délkami, nicméně výsledek by byl ekvivalentní. Nepřesnost určení vzdálenosti mezi balízovými skupinami by se pak zohledňovala opačně.

Je evidentní, že vyhodnocení vztahu mezi konfidenčními intervaly pracuje s polohami vozidel, které pocházejí z různých časových okamžiků, a tudíž reálné polohy v jednom shodném časovém okamžiku mohou být jiné než ty v hlášeních polohy. Ostatně to je i příčinou, proč se mohou konfidenční intervaly vzájemně ocitnout v nesmyslném vztahu (žádné z vozidel se nevejde před to druhé – viz varianta f) na Obr. 4-12). Reálné polohy ve stejný časový okamžik mohou být jak příznivější pro vyhodnocení pořadí (větší skutečná vzájemná vzdálenost mezi vozidly), tak i kritičtější z hlediska možné záměny pořadí (kratší vzájemná vzdálenost vozidel). Metodiky bezpečnostně kritického ověření odhadovaného pořadí jsou záležitostí následujících analýz. Na druhou stranu provedení dalších odhadů či korekcí, které by vedly ke zvýšení četnosti pozitivního výsledku určení pořadí, je nereálné. Možností reálných scénářů chování vozidel a jejich OBU před a po výskytu vozidla v ohlášené poloze je v rámci určitého ohraničeného intervalu možných variant totiž nekonečné množství, ze kterého lze za určitých předpokladů vybrat chování mezní (kritické, hraniční) vedoucí ke zpřísnění odhadu, ale nelze nikterak odůvodnit výběr scénáře, který by podpořil odhad příznivějších podmínek při určování pořadí, než jsou ty, které plynou z informací uvedených v hlášeních polohy.

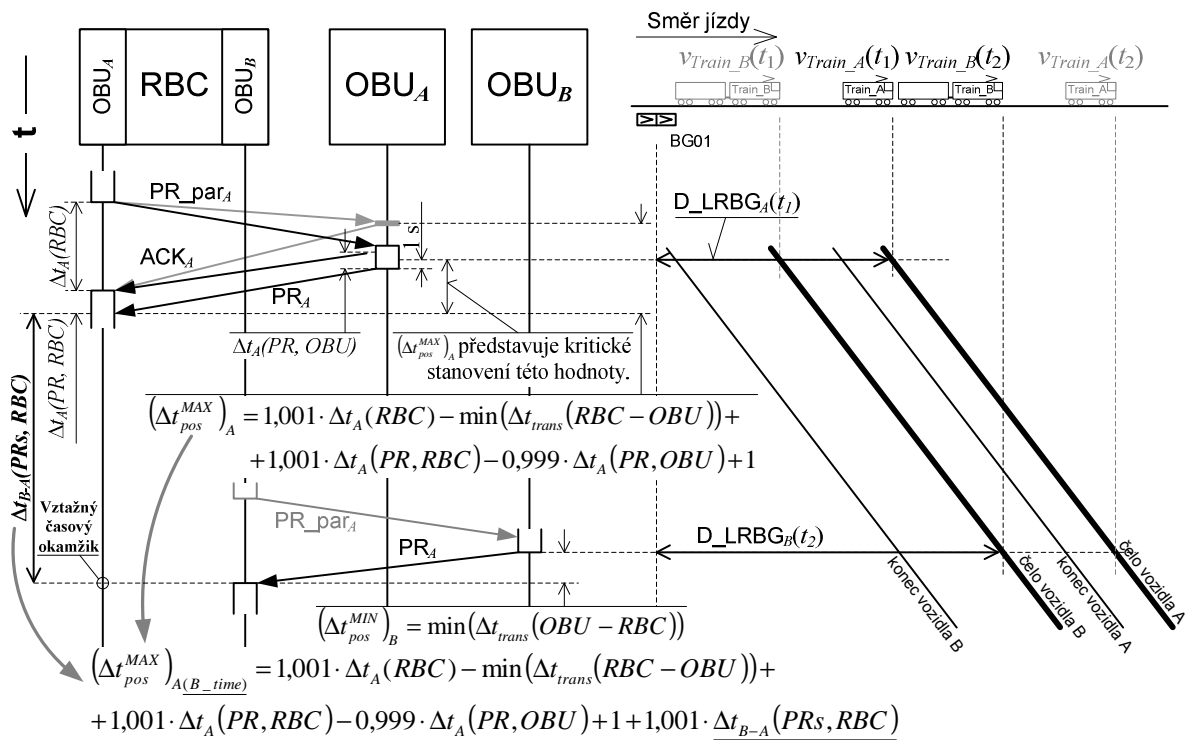
4.2.3 Krok γ – Kritická korekce polohy vozidel, příklad záměny pořadí.

Právě stanovení mezních bezpečnostně kritických chování vozidel a OBU v době mezi výskytem vozidel v ohlášených polohách je úlohou kroku γ . Význam a smysl tohoto kroku lze nejlépe vysvětlit na konkrétním příkladě nesprávného určení pořadí vozidel, které může nastat při určité kombinaci poloh vozidel, jejich rychlosti a zpoždění při přenosu a vzájemném časovém rozdílu přijetí každého z hlášení polohy v RBC (od každého z vozidel).

Časově-polohová analýza na Obr. 4-15 v pravé části znázorňuje závislost reálné polohy vozidel na čase (vozidla se pohybují zleva doprava), přičemž klíčové jsou polohy vozidel v okamžicích t_1 , kdy se vozidlo A (Train_A) reálně nachází v ohlášené poloze, a t_2 , kdy se v ohlášené poloze reálně vyskytuje vozidlo B (Train_B).

Sekvenční diagram v levé části znázorňuje časové parametry týkající se zpracování hlášení polohy a souvisejících zpráv v OBU vozidla A, OBU vozidla B a RBC – činnosti RBC vztahující se k jednotlivým OBU jsou znázorněny samostatně – a jejich přenosu z OBU

do RBC případně z RBC do OBU. Jsou zde uvedeny vztahy, které určují způsob výpočtu jednotlivých časových parametrů. Jako první je přijato hlášení polohy od vozidla A, druhé od vozidla B. Ostatně ve všech dále uvedených analýzách a diagramech bude toto pořadí stejné, tj. vozidlo A je to, od jehož OBU jako prvního RBC přijme hlášení polohy, bez ohledu na to, v jakém pořadí se vozidla v ohlášených polohách skutečně vyskytla. Nehledě na přesný vztah konfidenčních intervalů je z Obr. 4-15 zřejmé, že dle nekritického odhadu, provedeného podle údajů v hlášeních polohy, se vozidlo B nachází před vozidlem A. Toto pořadí tedy určuje mechanismus, podle kterého se následně korigují polohy vozidel dle mezních hodnot zpoždění při zpracování a přenosu Δt_{pos}^{MIN} a Δt_{pos}^{MAX} . Časový okamžik, ke kterému se příslušné korekce vztahují (dále vztažený časový okamžik), je v tomto případě takový čas, kdy jsou v RBC již dostupné všechny informace, které umožňují tyto korekce provést. Je to tedy čas přijetí v pořadí druhého přijatého hlášení polohy, tj. od prvního vozidla v pořadí (dle nekritického odhadu vozidlo B) do CL RBC.



Obr. 4-15: Určení vzájemného pořadí vozidel při nebezpečí záměny – časové parametry.

Pro druhé vozidlo v pořadí (tj. vozidlo A) je nutno ověřit, že v době mezi okamžikem, kdy se skutečně nacházelo v ohlášené poloze, a přijetím druhého hlášení polohy, tj. vztažným časovým okamžikem, nemohlo dojít k takové změně jeho reálné polohy, která by zpochybnila nekritický odhad pořadí vozidel. Tuto korekci polohy vozidla A je nutno, z hlediska

kritického přístupu, určit na základě maximálního doložitelného zpoždění (viz 4.1.4). Velikost tohoto zpoždění je dána vztahem 4.16 a v Obr. 4-15 je označena $(\Delta t_{pos}^{MAX})_A$. K této hodnotě je dále třeba přičíst dobu, která uplyne v RBC mezi přijetím hlášení polohy od vozidla A a od vozidla B (tj. vztažným časovým okamžikem) – $\Delta t_{B-A}(PRs, RBC)$. Celkové maximální zpoždění od výskytu vozidla A v ohlášené poloze do vztažného časového okamžiku je označeno $(\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)}$, a je tedy dáno vztahem 4.33, přičemž v případě doby $\Delta t_{B-A}(PRs, RBC)$ je zohledněn potencionální drift hodin, a to kriticky ve smyslu prodloužení celkového maximálního zpoždění $(\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)}$.

$$\begin{aligned} (\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} = & 1,001 \cdot \Delta t_A(RBC) - \min(\Delta t_{trans}(RBC - OBU)) + \\ & + 1,001 \cdot \Delta t_A(PR, RBC) - 0,999 \cdot \Delta t_A(PR, OBU) + 1 + 1,001 \cdot \Delta t_{B-A}(PRs, RBC) \end{aligned} \quad (4.33)$$

Vozidlo B se od skutečného výskytu v ohlášené poloze do přijetí hlášení jeho polohy v RBC však bude pohybovat s jistotou jen po dobu minimálního možného zpoždění přenosu informace z OBU do CL RBC $(\Delta t_{pos}^{MIN})_B$. Že by se od vozidla A vozidlo B vzdalovalo (stále platí nekritický odhad, že vozidlo B se nachází před vozidlem A) po dobu delší, nelze doložit. Z hlediska bezpečnosti je tedy uvažování minimálního možného zpoždění v případě vozidla B více kritické.

Stanovení mezních vzdáleností potenciálně ujetých vozidly během těchto zpoždění znázorňuje Obr. 4-16. Pravá část obrázku je shodná s pravou částí Obr. 4-15. V levé části Obr. 4-16 je uveden způsob výpočtu mezních vzdáleností na základě ostatních údajů hlášení polohy a časových parametrů. Při těchto výpočtech jsou uplatněny vztahy 4.23, 4.19, 4.24 a 4.25, 4.22, 4.26 (uvedeny pouze plné tvary vztahů platné pro V_TRAIN i V^{MAX} nad 30 km/h). Vzhledem k tomu, že se při určení pořadí vozidel v RBC zpracovávají dvě hlášení polohy, přičemž hlášení polohy vozidla A, tj. dle nekritického odhadu vozidla druhého v pořadí, je přijato jako první v pořadí, je nutné při výpočtu mezní vzdálenosti modifikovat vztahy 4.25, 4.22 a 4.26 a použít v nich namísto maximálního doložitelného zpoždění $(\Delta t_{pos}^{MAX})_A$ právě maximální zpoždění celkové $(\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)}$ dle vztahu 4.33. Konkrétně tedy v případě, kdy V_TRAIN i V^{MAX} jsou vyšší než 30 km/h platí následující vztahy 4.34, 4.35 a 4.36.

$$\Delta t_{to-MAX} = \frac{1}{a_{\max}} \left(\frac{V^{MAX} + 2}{3,6} + \frac{V^{MAX} - 30}{3,6 \cdot 47} - \frac{V_TRAIN + 2}{3,6} - \frac{V_TRAIN - 30}{3,6 \cdot 47} \right), \quad (4.34)$$

Pokud $\Delta t_{to-MAX} \geq (\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)}$:

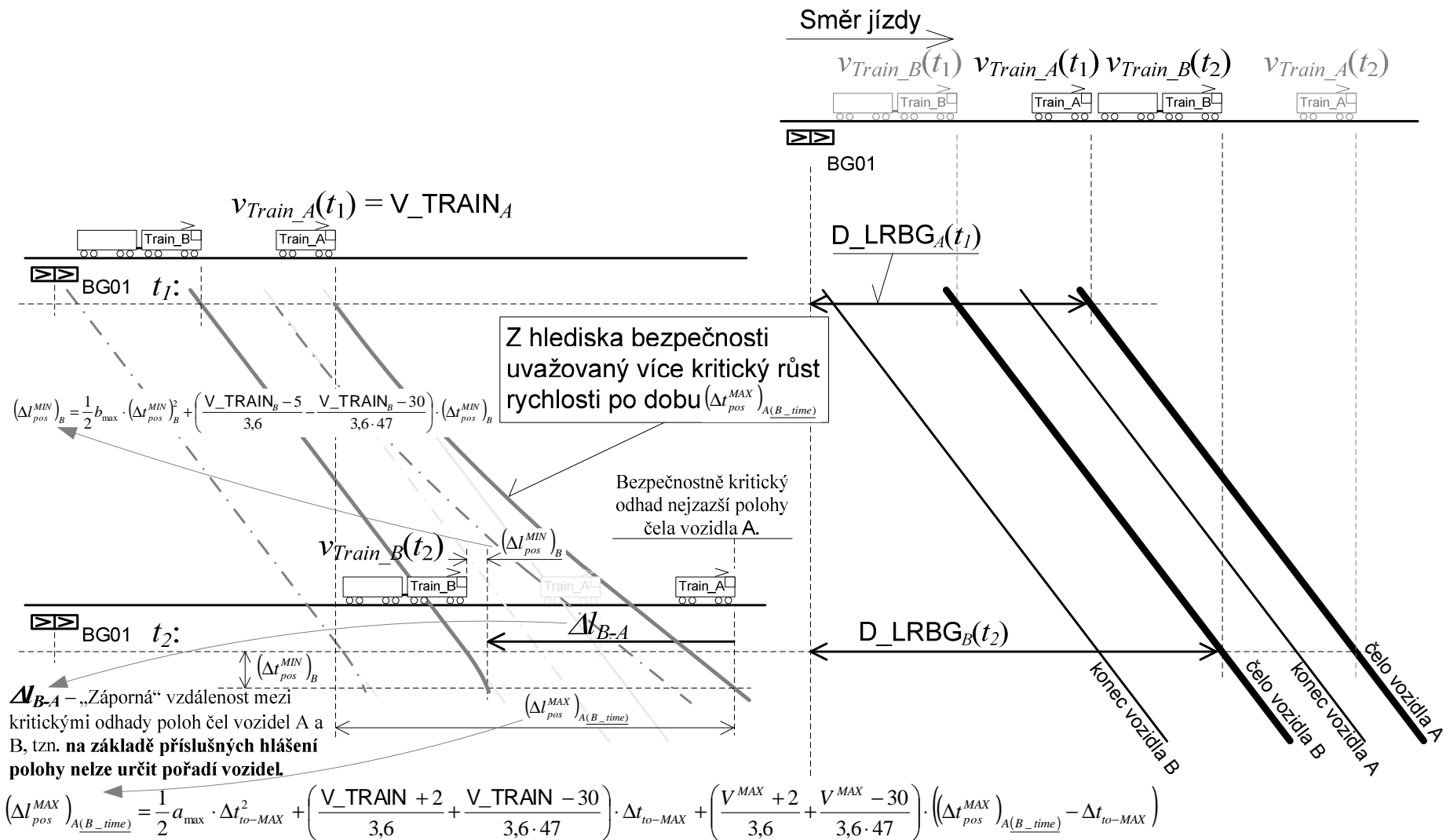
$$\begin{aligned} (\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} &= \\ &= \frac{1}{2} a_{\max} \cdot (\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)}^2 + \left(\frac{V_TRAIN + 2}{3,6} + \frac{V_TRAIN - 30}{3,6 \cdot 47} \right) \cdot (\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} \end{aligned} \quad (4.35)$$

A pro $\Delta t_{to-MAX} < (\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)}$:

$$\begin{aligned} (\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} &= \frac{1}{2} a_{\max} \cdot \Delta t_{to-MAX}^2 + \left(\frac{V_TRAIN + 2}{3,6} + \frac{V_TRAIN - 30}{3,6 \cdot 47} \right) \cdot \Delta t_{to-MAX} + \\ &+ \left(\frac{V^{MAX} + 2}{3,6} + \frac{V^{MAX} - 30}{3,6 \cdot 47} \right) \cdot \left((\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} - \Delta t_{to-MAX} \right). \end{aligned} \quad (4.36)$$

Z levé části Obr. 4-16 vyplývá (pouze zjednodušená analýza vztahů čel vozidel pro ilustraci), že v době mezi hlášením polohy z OBU vozidla A a přijetím v CL RBC hlášení polohy z OBU vozidla B, tj. během doby celkového maximálního možného zpoždění $(\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)}$, mohlo dojít k změně polohy vozidla A o $(\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)}$, oproti poloze uvedené v hlášení polohy, přičemž vozidlo B s jistotou změnilo svou polohu ne více než o $(\Delta t_{pos}^{MIN})_B$ oproti poloze uvedené v hlášení polohy OBU vozidla B, což svědčí o pořadí opačném než v případě nekritického odhadu. Nicméně nelze tvrdit, že pořadí vozidel je skutečně opačné, pouze se vyvrací výchozí hypotéza o pořadí vozidel z kroku β . A to právě z důvodu, že pro výpočet uvažovaná zpoždění, vzdálenosti a rychlosti jsou mezní s ohledem na bezpečné potvrzení nekritického odhadu pořadí, tj. stanovují mezní chování, k jakému mohlo dojít, nepředstavují ale chování, k jakému skutečně došlo.

Výsledek analýzy pořadí vozidel v kroku δ je tedy negativní. Tzn. na základě přijatých hlášení polohy nelze určit pořadí vozidel. K určení správného pořadí vozidel jsou nutná jiná hlášení polohy, pro situaci dle Obr. 4-16 to znamená zejména kratší čas mezi hlášeními polohy $\Delta t_{B-A}(PRs, RBC)$, nebo opačné pořadí odeslání hlášení z OBU vozidel.



Obr. 4-16: Určení vzájemného pořadí vozidel při možnosti záměny – polohové parametry.

Co do složitosti výpočetních algoritmů se nabízí možnost obecně metodu, vyplývající z výše naznačeného postupu shrnutého na Obr. 4-15 a Obr. 4-16, zjednodušit a zároveň tím i dosáhnout možnosti příznivějších výsledků (ne však přímo v uvedeném ilustrativním nepříznivém příkladě). Změna spočívá v tom, že časový okamžik, ke kterému se bude vztahovat korekce polohy obou vozidel, nebude okamžik přijetí druhého hlášení polohy, tj. z OBU vozidla **B**, ale naopak okamžik výskytu vozidla **B** v ohlášené poloze – přesněji kritický odhad tohoto okamžiku. Tím se dosáhne nepotřebnosti celého výpočtu nejkratší možné změny polohy během minimálního možného zpoždění $(\Delta t_{pos}^{MIN})_B$, přičemž ve vztazích korekce polohy 4.35 a 4.36 bude hodnota maximálního **celkového** zpoždění $(\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)}$ nahrazena rozdílem $(\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} - (\Delta t_{pos}^{MIN})_B$, a bude tedy platit:

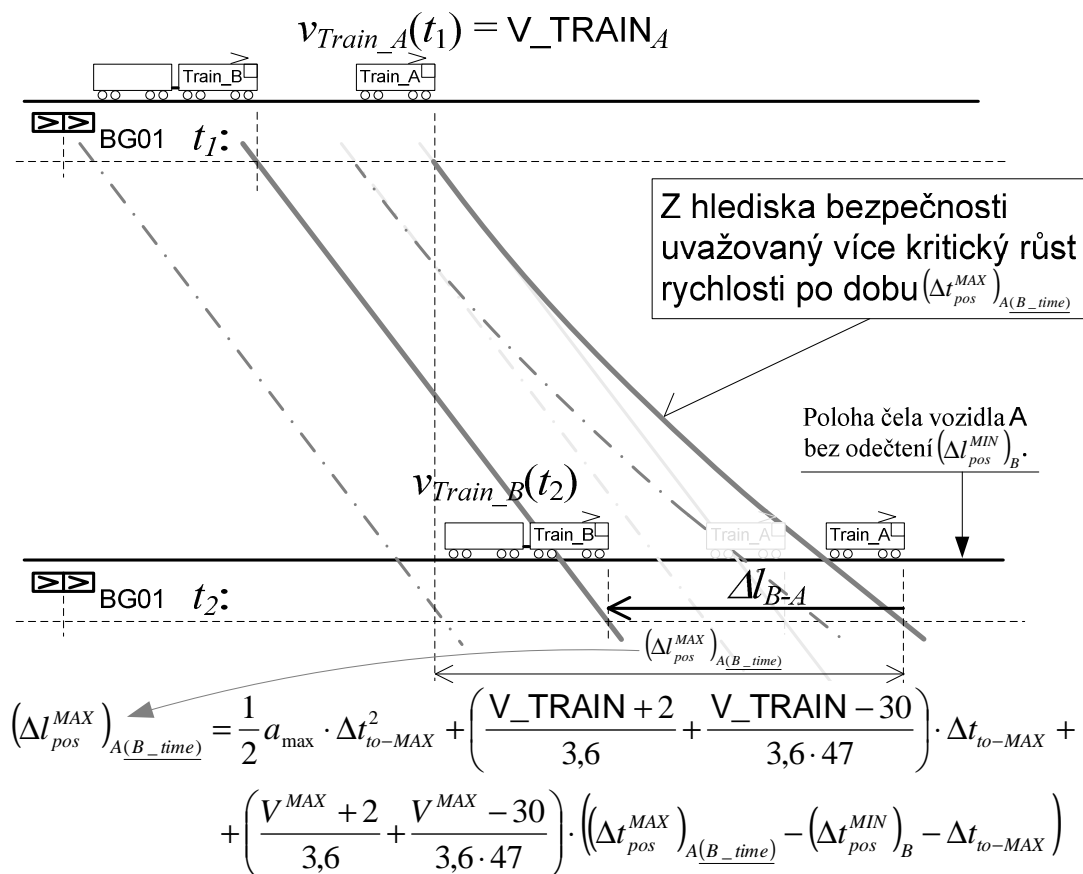
Pokud $\Delta t_{to-MAX} \geq (\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} - (\Delta t_{pos}^{MIN})_B$:

$$\begin{aligned} (\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} &= \\ &= \frac{1}{2} a_{\max} \cdot \left((\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} - (\Delta t_{pos}^{MIN})_B \right)^2 + \\ &+ \left(\frac{V_TRAIN+2}{3,6} + \frac{V_TRAIN-30}{3,6 \cdot 47} \right) \cdot \left((\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} - (\Delta t_{pos}^{MIN})_B \right) \end{aligned} \quad (4.37)$$

A pro $\Delta t_{to-MAX} < (\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} - (\Delta t_{pos}^{MIN})_B$:

$$\begin{aligned} (\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} &= \frac{1}{2} a_{\max} \cdot \Delta t_{to-MAX}^2 + \left(\frac{V_TRAIN+2}{3,6} + \frac{V_TRAIN-30}{3,6 \cdot 47} \right) \cdot \Delta t_{to-MAX} + \\ &+ \left(\frac{V^{MAX}+2}{3,6} + \frac{V^{MAX}-30}{3,6 \cdot 47} \right) \cdot \left((\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} - (\Delta t_{pos}^{MIN})_B - \Delta t_{to-MAX} \right). \end{aligned} \quad (4.38)$$

To znamená, že se tak eliminuje potřeba výpočtu $(\Delta t_{pos}^{MIN})_B$, přičemž do zbývajících vztahů se naopak doplní pouze výpočet rozdílu navíc. Korekce polohy vozidla A v případě použití tohoto postupu je znázorněna na Obr. 4-17.



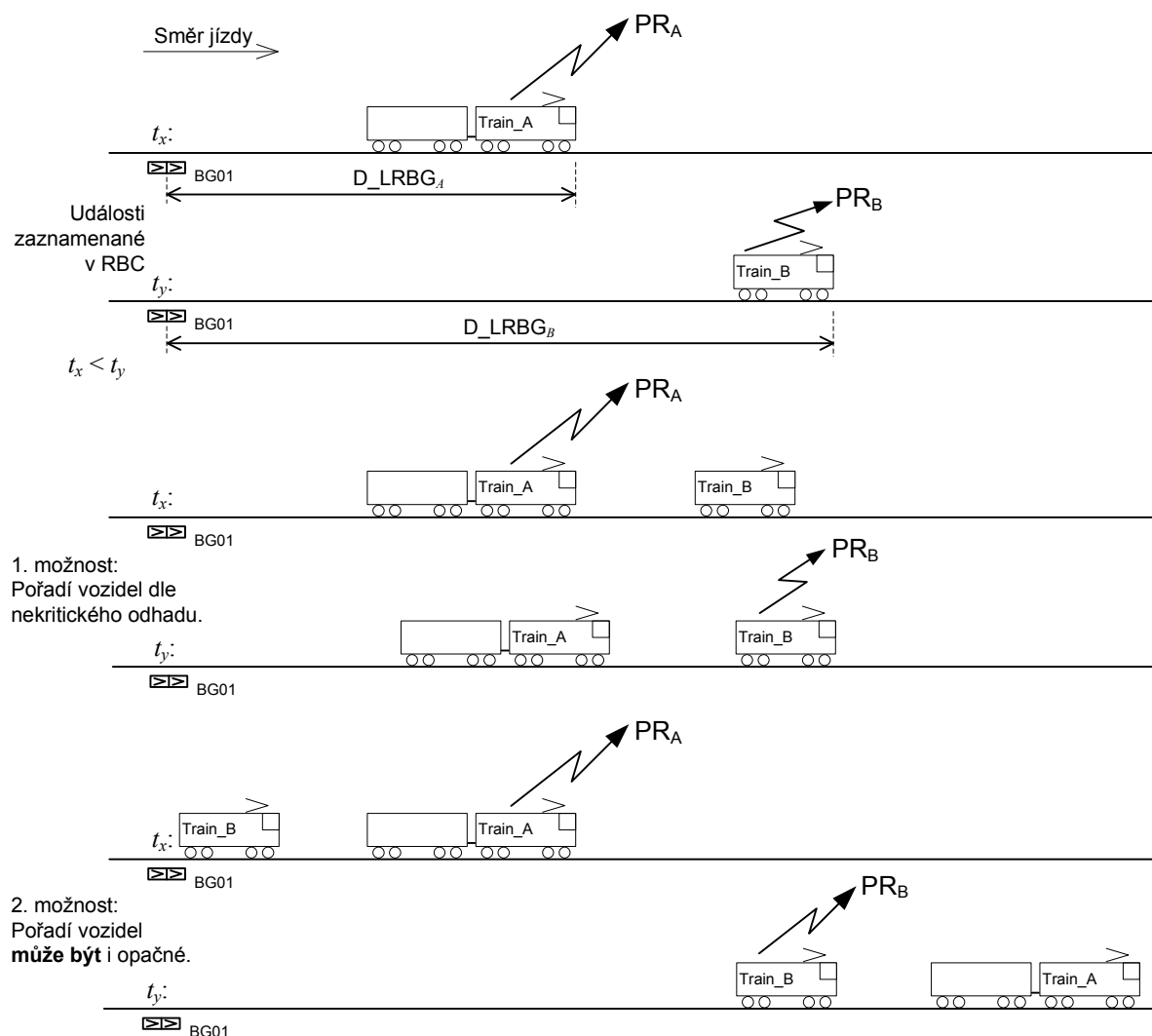
Obr. 4-17: Určení vzájemného pořadí vozidel při nebezpečí záměny – polohové parametry, zjednodušení výpočtu.

Vztažným časovým okamžikem z hlediska určení jednotlivých časových parametrů zůstává okamžik přijetí hlášení polohy v CL RBC od OBU vozidla B, ale z hlediska korekce polohy je to výskyt vozidla B v ohlášené poloze – tedy kritický odhad tohoto okamžiku.

Dosažení příznivějších výsledků (obecně, nikoliv v tomto konkrétním příkladě, kde je záměrně opačné pořadí vozidel) je umožněno díky tomu, že minimální možné zpoždění týkající se hlášení polohy z OBU vozidla B $(\Delta t_{pos}^{MIN})_B$ je z procesu korekce polohy vyloučeno. Tak se sice odebere možnost zlepšit situaci tím, že vozidlo, pro nějž se minimální možné zpoždění uplatňuje, případně prospěšně změní svou polohu – vzdálí se od druhého vozidla (pokud není již jeho rychlost nulová), ale naopak vozidlu, pro které se uplatňuje celkové maximální zpoždění, je zmenšena doba, po kterou mění svou polohu v nepřízeň vyhodnocení pořadí vozidel – přibližuje se k prvnímu vozidlu.

4.2.4 Krok γ – Kritická korekce polohy vozidel, obecný postup.

Možné kombinace vzájemného pořadí vozidel a pořadí přijetí hlášení polohy v RBC jsou znázorněny na Obr. 4-18 a Obr. 4-19. Horní části obrázků představují pořadí hlášení polohy a v nich uvedenou polohu vozidel zaznamenané v RBC, dolní části potom znázorňují možné kombinace pořadí vozidel pro takové pořadí hlášení polohy, při jízdě zleva doprava.



Obr. 4-18: Pořadí přijetí hlášení polohy a nekritický odhad pořadí vozidel jsou opačné.

Obr. 4-18 odpovídá situaci, kdy pořadí přijetí hlášení polohy v RBC je opačné než pořadí vozidel dle nekritického odhadu. Pokud je doba mezi hlášeními polohy dostatečně krátká a rychlost vozidel dostatečně nízká, bude skutečné pořadí vozidel odpovídat pořadí dle nekritického odhadu (1. možnost), v opačném případě může dojít k případu, který je označen jako 2. možnost a jeho analýza byla předmětem předchozího článku 4.2.3. Rozlišení 1. a 2. možnosti spočívá tedy jednak ve výpočtu rozdílu $(\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} - (\Delta t_{pos}^{MIN})_B$, a dále pak, s využitím tohoto rozdílu a vztahu 4.25, v provedení korekce polohy dle vztahu 4.37 resp.

4.38 toho vozidla, které je dle hodnot nekritického odhadu druhé v pořadí. Obecně pak pro různé hodnoty rychlostí T_TRAIN a V^{MAX} (nejen přes 30 km/h) platí postup pro maximální doložitelné zpoždění shrnutý na Obr. 4-6 a Obr. 4-8 s tím, že namísto Δt_{pos}^{MAX} bude ve vztazích figurovat rozdíl $(\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} - (\Delta t_{pos}^{MIN})_B$, čímž tedy výsledkem nebude obecné Δt_{pos}^{MAX} , ale získá se hledaná kritická korekce $(\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)}$. Do kroku δ , kde se rozhodne o 1. nebo 2. možnosti, tedy vstupují polohy vozidel dle vztahů 4.39 a 4.40.

$$D_LRBG_A(t_x) = D_LRBG_A(t_1) + (\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} \pm \begin{cases} +L_DOUBTUNDER_A \\ -L_DOUBTOVER_A \end{cases} \quad (4.39)$$

$$D_LRBG_B(t_y) = D_LRBG_B(t_2) \pm \begin{cases} +L_DOUBTUNDER_B \\ -L_DOUBTOVER_B \end{cases} \quad (4.40)$$

Uvedené korekce polohy jsou bezpečnostně kritické, a v reálu tak bude, v naprosté většině situací, skutečná změna polohy v případě vozidla A menší $(\Delta t_{skutecna})_A < (\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)}$ a v případě vozidla B bude zpoždění přenosu a zpracování větší než minimální $(\Delta t_{skutecna})_B > (\Delta t_{pos}^{MIN})_B$, a tak **při nenulové rychlosti** se vozidlo B případně poněkud vzdálí od vozidla A: $V_TRAIN > 0 \Rightarrow (\Delta t_{skutecna})_B > 0$.

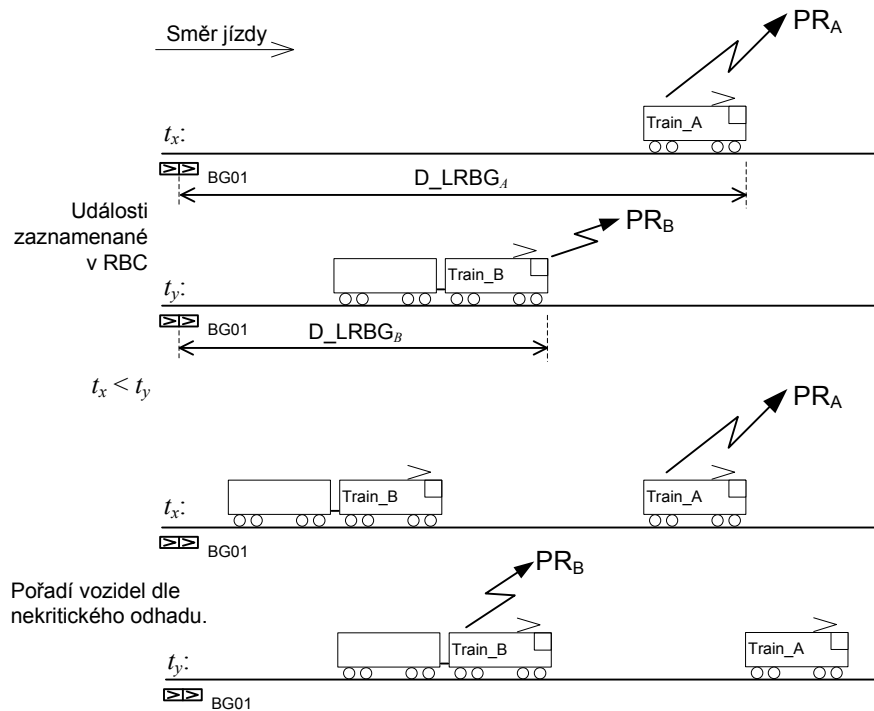
Obr. 4-19 popisuje situaci opačnou, při které pořadí přijetí hlášení polohy v RBC odpovídá nekritickému odhadu pořadí vozidel. V takové situaci je nejprve nutné určit, zdali i pořadí výskytu vozidel v ohlášených polohách určitě odpovídá tomuto pořadí. Pokud platí vztah 4.41, potom pořadí výskytu vozidel v ohlášených polohách odpovídá pořadí přijetí hlášení polohy v RBC (popř. se vozidla vyskytla v ohlášených polohách současně) – viz Obr. 4-20. Pokud vztah 4.41 neplatí, existuje možnost, že výskyt vozidel v ohlášených polohách nastal opačně, viz Obr. 4-21.

$$(\Delta t_{pos}^{MIN})_A + \Delta t_{B-A}(PRs, RBC) = (\Delta t_{pos}^{MIN})_{A(B_time)} \geq (\Delta t_{pos}^{MAX})_B, \quad (4.41)$$

kde $(\Delta t_{pos}^{MIN})_{A(B_time)}$ představuje celkové minimální zpoždění, což je časový interval od okamžiku výskytu vozidla A v ohlášené poloze opět do okamžiku přijetí hlášení polohy vozidla B v CL RBC.

$$\left(\Delta t_{pos}^{MIN}\right)_{A(B_time)} = \left(\Delta t_{pos}^{MIN}\right)_A + 0,999 \cdot \Delta t_{B-A}(PRs, RBC), \quad (4.42)$$

V upravené podobě 4.42, tentokrát je v případě doby $\Delta t_{B-A}(PRs, RBC)$ z hlediska bezpečnosti zohledněn potenciaální drift hodin ve smyslu zkrácení celkového minimálního zpoždění.



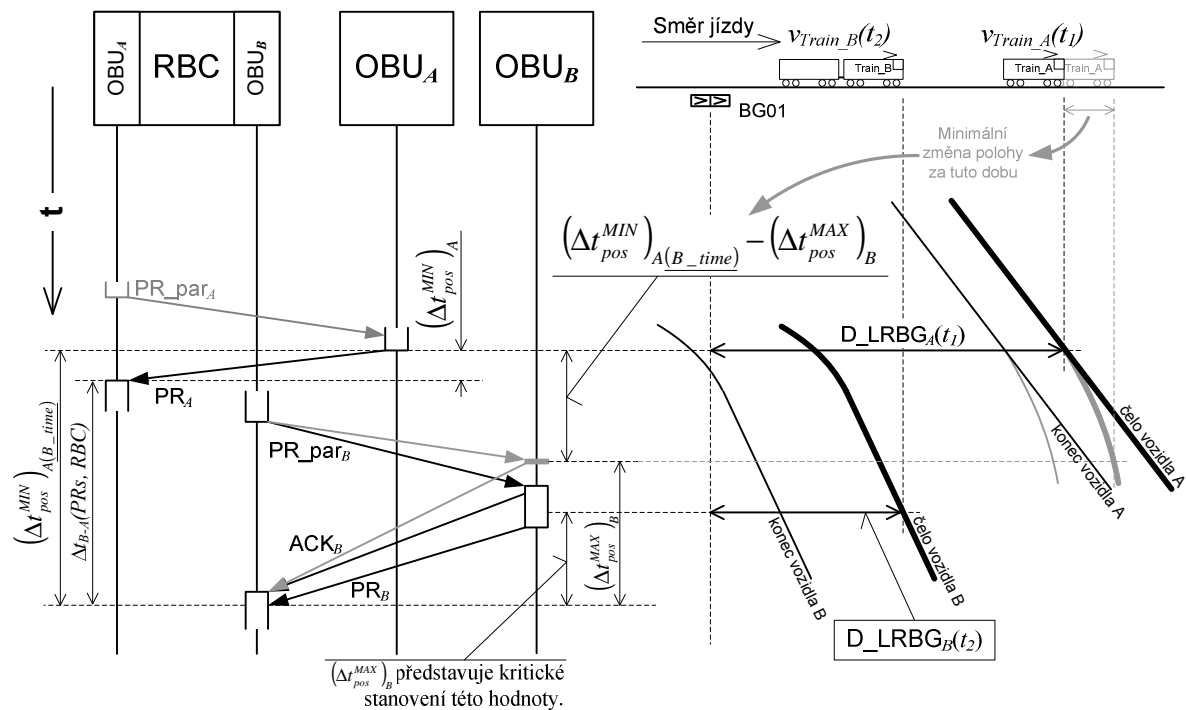
Obr. 4-19: Pořadí přijetí hlášení polohy a nekritický odhad pořadí vozidel si odpovídají.

Podle toho zda jsou obě pořadí shodná nebo rozdílná, se uplatní korekce polohy pro příslušné vozidlo podle odpovídajících mezních zpoždění. V situaci kdy, jak je naznačeno na Obr. 4-20, si budou pořadí odpovídat, lze provést korekci polohy vozidla A (dle nekritického odhadu první v pořadí) o dráhu ujetou za nejkratší možnou dobu odpovídající časovému intervalu mezi okamžiky výskytu obou vozidel v ohlášených polohách, tj.: $\left(\Delta t_{pos}^{MIN}\right)_{A(B_time)} - \left(\Delta t_{pos}^{MAX}\right)_B$. Tento rozdíl se dále použije v příslušném postupu (dle aktuální rychlosti vozidla T_TRAIN_A) pro minimální možné zpoždění shrnutém na Obr. 4-6 a Obr. 4-7, přičemž namísto Δt_{pos}^{MIN} se ve vztazích uvede $\left(\Delta t_{pos}^{MIN}\right)_{A(B_time)} - \left(\Delta t_{pos}^{MAX}\right)_B$, a výsledkem tak bude požadovaná korekce polohy vozidla A, tj. $\left(\Delta t_{pos}^{MIN}\right)_{A(B_time)}$. V kroku δ tedy mohou být následně použity polohy vozidel dle vztahů 4.43 a 4.44.

$$D_LRBG_A(t_x) = D_LRBG_A(t_1) + \left(\Delta t_{pos}^{MIN}\right)_{A(B_time)} \pm \begin{cases} +L_DOUBTUNDER_A \\ -L_DOUBTOVER_A \end{cases} \quad (4.43)$$

$$D_LRBG_B(t_y) = D_LRBG_B(t_2) \pm \begin{cases} +L_DOUBTUNDER_B \\ -L_DOUBTOVER_B \end{cases} \quad (4.44)$$

Korekce polohy dle vztahu 4.43 může, ale nemusí být provedena. Určitě nemá smysl ji provádět, pokud byl nekritický odhad pořadí v kroku β proveden se stejnou nebo vyšší restrikcí mezi konfidenčními intervaly, než s jakou se bude vyhodnocovat kritický vztah konfidenčních intervalů v kroku δ . Pokud to smysl má (v kroku δ se uplatňují vyšší restrikce), a přesto korekce nebude provedena, nemá to přímé negativní důsledky na správné určení pořadí. V případě větší rychlosti vozidla A a/nebo velkých dob mezi výskyty obou vozidel v ohlášených polohách, by však zanedbání této korekce mohlo vést ke snížení dostupnosti pozitivního vyhodnocení pořadí vozidel. O možných důsledcích pojednává dále článek 4.2.6.



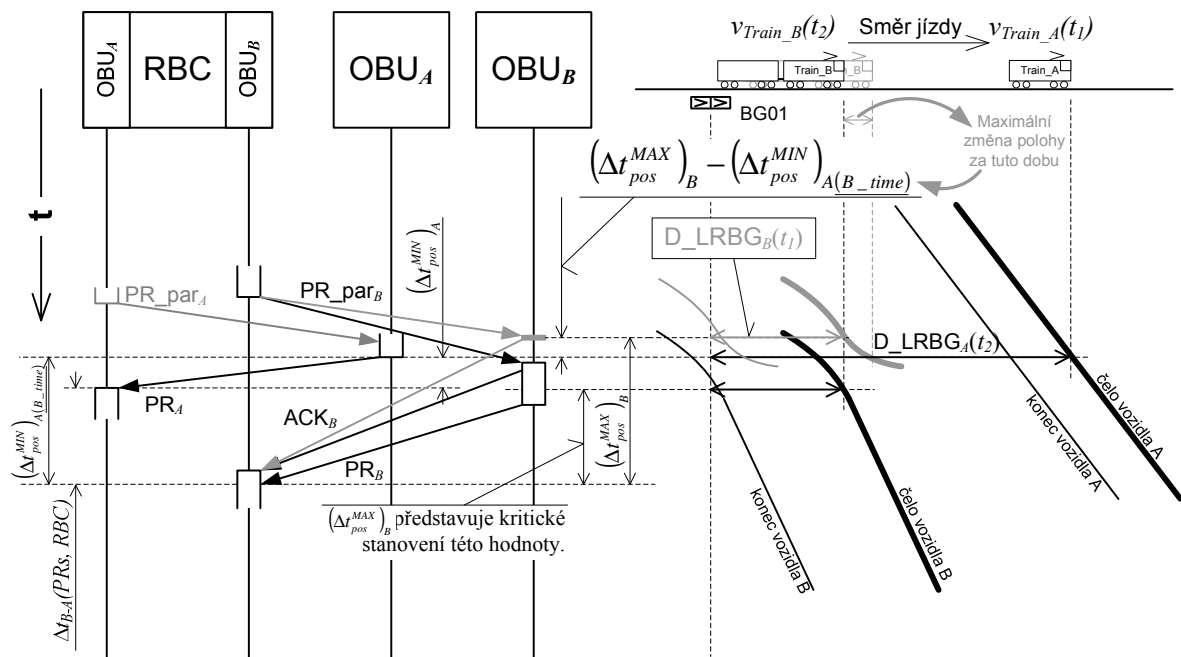
Obr. 4-20: Pořadí přijetí hlášení polohy vždy odpovídá pořadí výskytu vozidel v ohlášených polohách.

Opačný případ, tj. situace znázorněná na Obr. 4-21, kdy mohl reálný výskyt vozidla B v ohlášené poloze nastat před reálným výskytem vozidla A v ohlášené poloze, znamená vlastně uplatnění stejných postupů, jako v případě opačného pořadí přijetí hlášení polohy v CL RBC vedoucích ke kritickým korekcím provedených v souvislosti s potřebou odlišit 1. a 2. možnost dle Obr. 4-18. Časový interval, po který se potencionálně může pohybovat druhé – dle nekritického odhadu – vozidlo (tj. vozidlo B), bude ale tentokrát určen rozdílem

$(\Delta t_{pos}^{MAX})_B - (\Delta t_{pos}^{MIN})_{A(B_time)}$. Ke kritické korekci polohy vozidla B se opět použije postup pro maximální doložitelné zpoždění shrnutý na Obr. 4-6 a Obr. 4-8, kde Δt_{pos}^{MAX} bude nahrazeno rozdílem $(\Delta t_{pos}^{MAX})_B - (\Delta t_{pos}^{MIN})_{A(B_time)}$, a tím získána korekce polohy vozidla B $(\Delta l_{pos}^{MAX})_B$. Vstupy kroku δ budou mít podobu vztahů 4.45 a 4.46.

$$D_LRBG_A(t_x) = D_LRBG_A(t_2) \pm \begin{cases} +L_DOUBTUNDER_A \\ -L_DOUBTOVER_A \end{cases} \quad (4.45)$$

$$D_LRBG_B(t_y) = D_LRBG_B(t_1) + (\Delta l_{pos}^{MAX})_B \pm \begin{cases} +L_DOUBTUNDER_B \\ -L_DOUBTOVER_B \end{cases} \quad (4.46)$$



Obr. 4-21: Pořadí přijetí hlášení polohy nemusí odpovídat pořadí výskytu vozidel v ohlášených polohách.

Stejný postup, jaký se týká situace na Obr. 4-21, se použije i v případě, kdy RBC přijme obě hlášení polohy ve stejný okamžik, tj. $\Delta t_{B-A}(PRs, RBC) = 0$. (Pak z hlediska indexu vztahů – i v dalších případech v práci uvedených – platí, že vozidlo A je takové, které je podle nekritického odhadu první v pořadí.) V takovém případě se bude kritická korekce polohy provádět také pro druhé vozidlo (dle nekritického odhadu pořadí) a v postupu pro maximální

doložitelné zpoždění, znovu dle Obr. 4-6 a Obr. 4-8, bude figurovat rozdíl $(\Delta t_{pos}^{MAX})_B - (\Delta t_{pos}^{MIN})_A$ a výsledkem bude opět $(\Delta t_{pos}^{MAX})_B$. Pro krok δ se použijí rovněž vztahy 4.45 a 4.46

Postup v kroku γ tedy může probíhat ve čtyřech variantách, které jsou shrnuty v Tab. 4-1. Každá ze čtyř variant (sloupec A) nastává podle toho, v jakém vztahu jsou mezi sebou pořadí přijetí hlášení polohy v RBC, okamžik výskytu vozidel v ohlášených polohách (jejich kritický odhad) a nekritický odhad pořadí vozidel. Kombinace těchto vztahů (sloupce B a C) určuje postup provedení kroku γ . Sloupec D definuje jaký postup se uplatní při provádění korekce polohy, ve sloupci E je pak doba, pro kterou se korekce stanovuje (s uvedením odkazů na ilustrační obrázky, pokud existují), sloupec F má formální charakter a uvádí označení výsledné korekce. Polohy vozidel, pro které se uplatňují korekce, a pro vstup do kroku δ se tak liší od původních poloh uvedených v hlášeních polohy, jsou uvedeny ve sloupci G.

A	B	C	D	E	F	G
Varianta	Vztah mezi pořadím PR a pořadím dle nekritického odhadu	Vztah mezi pořadími PR a výskytem vozidel v ohlášené poloze	Postup určení korekce polohy pro...	Zpoždění figurující ve vztazích podle sloupce D.	Označení výsledku korekce polohy dle sloupců D a E.	Vstupy kroku δ a to pro vozidlo, které je dle nekritického odhadu ... <i>Poznámky: V případě zbývajících vozidla se v kroku δ použijí informace o poloze bez korekce. Konfidenční interval je naznačen pouze symbolicky parametrem $\pm \Delta l_{D_ERROR}$.</i>
1	První PR přijato od druhého vozidla v pořadí.	Nemá vliv, resp. kritická jen jedna varianta.	...maximální doložitelné zpoždění dle Obr. 4-8.	$(\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} - (\Delta t_{pos}^{MIN})_B$ Obr. 4-15	$(\Delta l_{pos}^{MAX})_{A(B_time)}$...druhé v pořadí: $D_LRBG_A(t_1) + (\Delta l_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} \pm (\Delta l_{D_ERROR}(t_1))_A$
2	První PR přijato od prvního vozidla v pořadí	Pořadí jsou shodná, tj. platí vztah 4.41	... minimální možné zpoždění dle Obr. 4-7	$(\Delta t_{pos}^{MIN})_{A(B_time)} - (\Delta t_{pos}^{MAX})_B$ Obr. 4-20	$(\Delta l_{pos}^{MIN})_{A(B_time)}$...první v pořadí: $D_LRBG_A(t_1) + (\Delta l_{pos}^{MIN})_{A(B_time)} \pm (\Delta l_{D_ERROR}(t_1))_A$ <i>Poznámka: Korekce není bezpodmínečně nutná, pak výsledek odpovídá nekritickému odhadu.</i>
3	PR přijaty současně (A je označení 1. vozidla v pořadí)	Pořadí může být opačné, tzn. neplatí vztah 4.41	...maximální doložitelné zpoždění dle Obr. 4-8.	$(\Delta t_{pos}^{MAX})_B - (\Delta t_{pos}^{MIN})_{A(B_time)}$ Obr. 4-21	$(\Delta l_{pos}^{MAX})_B$...druhé v pořadí: $D_LRBG_B(t_1) + (\Delta l_{pos}^{MAX})_B \pm (\Delta l_{D_ERROR}(t_1))_B$
4		Nemá vliv, resp. kritická jen jedna varianta.		$(\Delta t_{pos}^{MAX})_B - (\Delta t_{pos}^{MIN})_A$		

Tab. 4-1: Varianty postupu v kroku γ .

4.2.5 Krok δ – Vzájemný kritický vztah konfidenčních intervalů.

S polohami uvedenými v Tab. 4-1 ve sloupci G se tedy dále počítá při vyhodnocování vzájemného kritického vztahu konfidenčních intervalů. Před samotným vyhodnocením, které vychází z principů posuzování konfidenčních intervalů použitých při nekritickém odhadu pořadí vozidel, je ovšem nutné zohlednit potenciální nepřesnosti Δl_i související s případným přepočtem vzdáleností k jedné referenci (viz článek 4.2.2, Obr. 4-14 a související text). Pokud se přepočet prováděl pro vozidlo, které je dle nekritického odhadu druhé v pořadí, Δl_i se přičítá k jeho poloze resp. k poloze maximálního bezpečného čela. Naopak v případě přepočtu polohy u vozidla, které je první v pořadí, se Δl_i odečítá od jeho polohy resp. od polohy minimálního bezpečného čela.

Uplatnit lze opět všechny tři přístupy k posuzování vztahu mezi konfidenčními intervaly jako v případě nekritického odhadu pořadí, tj.

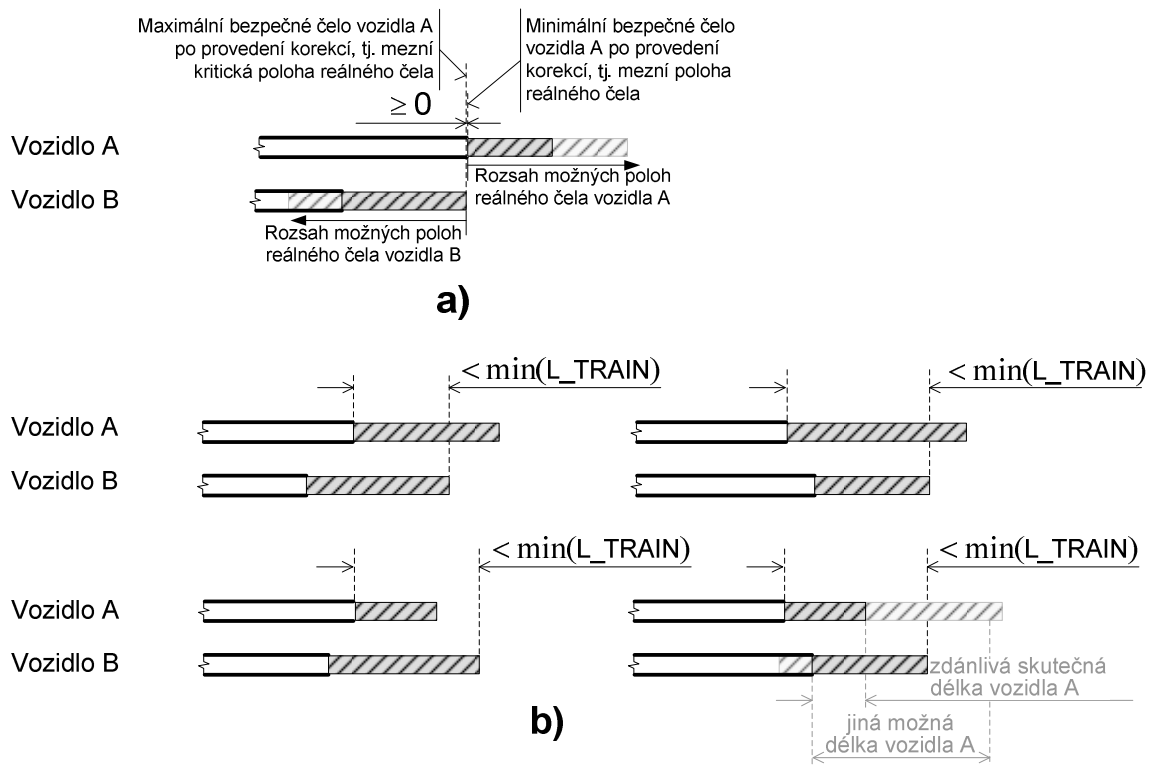
- vztah restriktivní vzhledem k délce vlaku,
- vztah restriktivní vzhledem k čelům vozidel a
- vztah s překryvem,

přičemž hodnoty získané na základě kritické korekce polohy mají být využity pro modifikaci polohy minimálního bezpečného čela prvního vozidla a **musí být** použity pro modifikaci polohy maximálního bezpečného čela druhého vozidla. Je nutné si uvědomit, že vzhledem k tomu, že uvedené korekce minimálního (v případě prvního vozidla) resp. maximálního (v případě druhého vozidla) bezpečného čela jsou určeny potenciálním mezním chování vozidla ve smyslu vzájemného se přiblížení, ke kterému reálně může, ale nemusí po odeslání hlášení polohy dojít, nejsou tyto korekce relevantní pro maximální bezpečné čelo prvního vozidla a pro minimální bezpečné čelo druhého vozidla.

Znamená to tedy, že z hlediska *vzájemného kritického vztahu konfidenčních intervalů* má po provedení korekcí polohy význam vyhodnocovat pouze vztah mezi minimálním bezpečným čelem toho z vozidel, které bylo na základě nekritického odhadu pořadí vozidel vyhodnoceno jako první v pořadí, a maximálním bezpečným čelem druhého z vozidel. *Vzájemné kritické vztahy konfidenčních intervalů* se v případě vztahu restriktivního vzhledem k čelům vozidel, Obr. 4-22 část a), a vztahu s překryvem, Obr. 4-22 část b) (je uvedeno více variant vztahu s překryvem), od vztahů použitých při *nekritickém odhadu pořadí* tedy liší tím, že vzdálenost mezi minimálním bezpečným čelem druhého a maximálním bezpečným čelem prvního vozidla není omezována žádnou minimální délkou. Pokud dle nekritického odhadu

pořadí je prvním vozidlem vozidlo A, pak při splnění uvedených podmínek (≥ 0 resp. $< \min(L_TRAIN)$) všechny příklady situací znázorněné na Obr. 4-22 potvrzují toto pořadí.

U poslední varianty s překryvem (vpravo dole) je pak naznačen příklad, kdy ani při kritickém uvažovaném chování se vozidlo B, i kdyby mělo minimální uvažovanou délku, před vozidlo A nemůže vejít, naopak vozidlo A má před vozidlem B dostatek prostoru, protože v případě příslušných bezpečných čel k uvažování kritického chování vozidel není důvod.



Obr. 4-22: Kritický restriktivní vztah vzhledem k čelům vozidel a kritický vztah s překryvem konfidenčních intervalů.

Pro pozitivní vyhodnocení pořadí vozidel, kdy první v pořadí je dle nekritického odhadu vozidlo A, musí, při uplatnění *vyhodnocení vzájemného kritického vztahu konfidenčních intervalů s překryvem*, platit vztah:

$$D_LRBG_B + (\Delta I_{pos}^{MAX})_{B(x)} + (\Delta I_i)_B + L_DOUBTUNDER_B - \\ - D_LRBG_A - (\Delta I_{pos}^{MIN})_{A(y)} + (\Delta I_i)_A + L_DOUBTOVER_A < \min(L_TRAIN) \quad (4.47)$$

kde obecně $(\Delta I_{pos}^{MIN})_{A(x)}$ a $(\Delta I_{pos}^{MAX})_{B(y)}$ představují korekce polohy vozidel ve vztahu k příslušným zpožděním, pokud jsou korekce uplatněny (buď jedna nebo druhá), přičemž x a y reprezentují možné varianty zpoždění, buď jen při přenosu a zpracování nebo i s pokrytím časového intervalu mezi hlášením polohy, což závisí na pořadí přijetí hlášení polohy – např.

$(\Delta l_{pos}^{MAX})_{A(B_time)}$. Nepřesnosti $(\Delta l_i)_A$ popř. $(\Delta l_i)_B$ buď nefigurují vůbec, nebo pouze jedna z nich a představují právě nepřesnost spojenou s přepočtem poloh vozidel k jedné referenci.

Pro jednoznačnou interpretaci uvedeného je nutno zdůraznit, že smyslem *vyhodnocení vzájemného kritického vztahu konfidenčních intervalů* je potvrzení určitého konkrétního pořadí vozidel, nikoliv určení pořadí opačného. Podobně jako v případě nekritického odhadu pořadí vozidel, tak i zde je volba konkrétního vzájemné kritického vztahu (restriktivní vzhledem k ..., s překryvem) záležitostí dalších analýz (viz článek 4.2.6).

V případě vztahu s překryvem se dále nabízí otázka, zda-li uvažování $\min(L_TRAIN)$, jako rozhodovací meze vzájemného vztahu pro potvrzení pořadí, je oprávněné, tj. zda-li nemůže nastat situace, kdy i při pozitivním vyhodnocení vztahu s překryvem – menším než $\min(L_TRAIN)$ – by pořadí vozidel nemohlo být opačné než u nekritického odhadu.

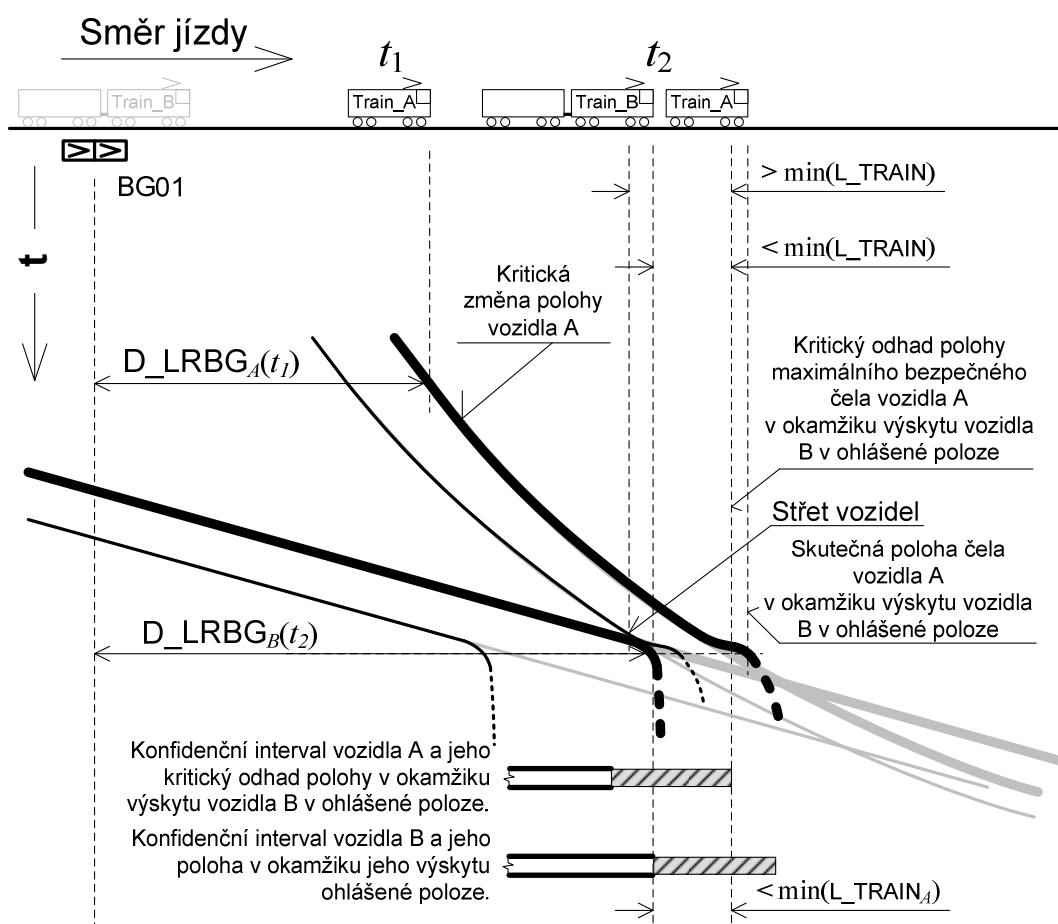
Hypoteticky by taková situace mohla nastat když:

- Hlášení polohy od vozidla **B** je přijato jako druhé,
- reálně je vozidlo **B** druhé v pořadí, ale
- na základě *nekritického odhadu pořadí* je vozidlo **B** první.
- Vozidlo **A** je relativně krátké – smysl této podmínky vyplyne z níže uvedeného,
- skutečná poloha čela vozidla **A** v okamžiku výskytu v ohlášené poloze odpovídá poloze maximálního bezpečného čela.
- Vozidlo **A** začne ihned po odeslání hlášení polohy zrychlovat přesně v souladu kritickými předpoklady (viz Obr. 4-8),
- časový interval mezi okamžikem odeslání hlášení polohy z OBU vozidla **A** a vozidla **B** je minimálně tak dlouhý, že za tuto dobu se poloha vozidla **A** změní alespoň o jeho délku (konec vozidla **A** bude v místě či za místem, kde s před tím nacházelo jeho čelo).
- Strojvedoucí vozidla **B** je velmi nedisciplinovaný a dostatečně nerespektuje fakt, že se při jízdě podle rozhledu blíží k vozidlu před čelem jeho vozidla, a střetne se s ním.
- V okamžiku střetu odpovídá skutečná poloha čela vozidla **B** poloze jeho minimálního bezpečného čela.
- Střetem předá vozidlo **B** vozidlu **A** kinetickou energii, která mu udělí dodatečné zrychlení, a celkové jeho zrychlení tak převýší a_{max} , čímž se vozidlo **A** následně

dostane z polohy, která je pro daný okamžik nejkritičtější ve výpočtech v CL RBC, dále ve směru jízdy.

- V případě, že délka vozidla A bude rovna $\min(L_TRAIN)$, tak hned po nárazu se čelo vozidla B dostane do intervalu, ve kterém splňuje podmínku popsanou na Obr. 4-22 část b) a definovanou vzorcem 4.47, a odešle hlášení polohy. Pokud délka vozidla A bude větší než $\min(L_TRAIN)$, tak pro vstup do tohoto intervalu je sice nutné při střetu vozidel udělení větší kinetické energie vozidlu A od vozidla B pro překonání delší vzdálenosti po střetu vozidel, ale vstup intervalu zcela vyloučit nelze.

Uvedené podmínky a okolnosti, kdy vlastně dojde k jakémusi vytlačení vozidla A z intervalu menšího než $\min(L_TRAIN)$, jsou znázorněny na Obr. 4-23.



Obr. 4-23: Střet vozidel s následkem vytlačení z intervalu menšího než $\min(L_TRAIN)$.

Výše uvedená souhra okolností vede k chybnému vyhodnocení *vzájemného kritického vztahu konfidenčních intervalů s překryvem*, což následně může vést k situaci, kdy se RBC pokusí provést TAF proceduru a nebo případně pošle oprávnění k jízdě druhému vozidlu, které se navíc již střetlo s prvním vozidlem (rovněž vybaveným ETCS). Bez ohledu na to jaké

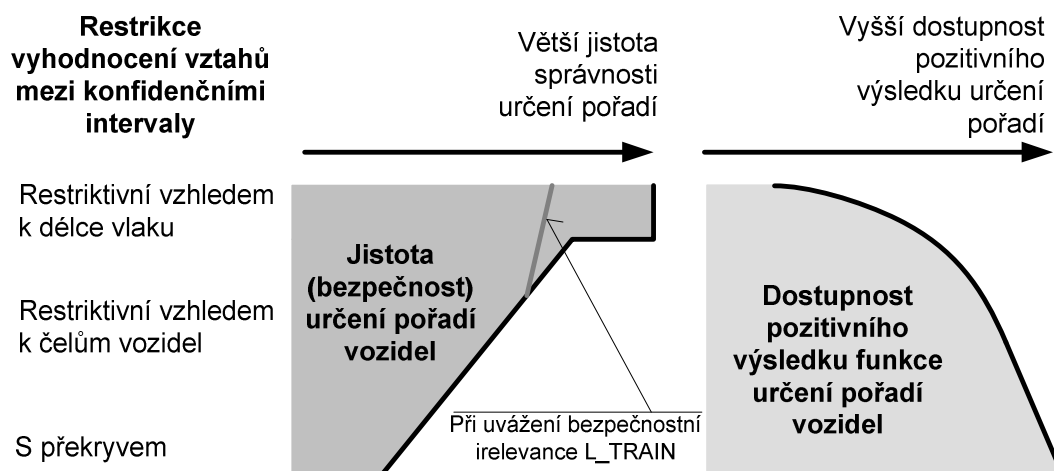
destrukční účinky by takový střet měl a na to, že příčina střetu leží mimo systém ETCS, by uvedené chování ETCS vyvolalo minimálně nedůvěru a pochyby o jeho vlastnostech.

Byť je taková souhra okolností opravdu velmi nepravděpodobná, lze ji případně zcela eliminovat stanovením pravidla, že k pozitivnímu výsledku vyhodnocení pořadí vozidel může RBC dospět pouze v případě, kdy vyhodnotí, že vozidla se v ohlášených polohách vyskytovala v pořadí, které odpovídá nekritickému odhadu pořadí vozidel. Což odpovídá kombinaci dle varianty 2 v Tab. 4-1. Snížení hodnoty $\min(L_TRAIN)$ má stejný efekt jako zvýšení délky vozidla A , a situaci tak může eliminovat jen do určité míry.

4.2.6 Jistota versus dostupnost pozitivního výsledku

Podle míry restriktce, s jakou se přistoupí k vyhodnocování vztahu mezi konfidenčními intervaly (jak v případě nekritického odhadu, tak i v případě kritického vyhodnocení), a míry kritičnosti, s jakou se určí zpoždění a časové intervaly mezi událostmi a následně provedou příslušné korekce polohy, se buď dosáhne větší jistoty v případě pozitivního výsledku, nebo naopak se zvýší dostupnost pozitivního výsledku funkce určení pořadí vozidel.

Čím vyšší restriktce tím vyšší jistota, že pozitivní výsledek odpovídá skutečnému pořadí vozidel, ale zároveň tím roste pravděpodobnost negativního výsledku, tj. že pořadí nebude vůbec určeno. Uvedená závislost je patrná právě na ilustrativním příkladě vyhodnocení vztahů mezi konfidenčními intervaly, jak symbolicky (bez jakéhokoliv měřítka) znázorňuje Obr. 4-24.



Obr. 4-24: Jistota vs. dostupnost pozitivního výsledku vyhodnocení na příkladu vzájemného vztahu konfidenčních intervalů.

V případě posouzení vztahu mezi konfidenčními intervaly s restrikcí vzhledem k délce vlaku, kdy je restriktce nejvyšší, lze při pozitivním výsledku, za předpokladu, že délky vozidel

jsou zadány korektně, mít poměrně neotřesitelnou jistotu o správnosti určení pořadí, protože i sebemenší překrytí délek, od nejzazšího možného konce až po maximální bezpečné čelo, vozidly navzájem povede k negativnímu výsledku. Na druhou stranu to znamená, že i když vozidla od sebe budou reálně dostatečně vzdálena, tak uvažované nepřesnosti, v určení polohy a délek, zapříčiní negativní výsledek. V opačném případě, kdy se vyhodnocuje vztah s překryvem, tak běžné a uvažované nepřesnosti nezmaří určení pozitivního výsledku pořadí, ale správné určení pořadí je značně náchylné na byť i sebemenší těžko předvídatelné vlivy – viz právě příklad vytlačení vozidla při střetu z intervalu $\min(L_TRAIN)$.

Nicméně větší jistota pozitivního výsledku na úkor jeho dostupnosti v důsledku neznamená automaticky vyšší bezpečnost dopravního procesu, který RBC řídí. Obecně je negativní vliv nízké dostupnosti popsán v Zahradník (2004, s. 68). Je nutné si i zde uvědomit důsledky negativního výsledku vyhodnocení pořadí vozidel. RBC je nucena ponechat větší část zodpovědnosti na strojvedoucím (určení pořadí pouze ve spolupráci se strojvedoucím, nebo další jízda v degradovaném módu bez dostatečného dohledu vlakového zabezpečovače), tj. nemůže dojít k eliminaci negativního vlivu lidského činitele. S dostupností funkce určení pořadí vozidel je to tedy stejné, jako s dostupností jakékoliv jiné bezpečnostně relevantní kontrolní funkce zabezpečovacího systému. Nízká dostupnost představuje sekundární vliv snižující bezpečnost řízeného dopravního procesu.

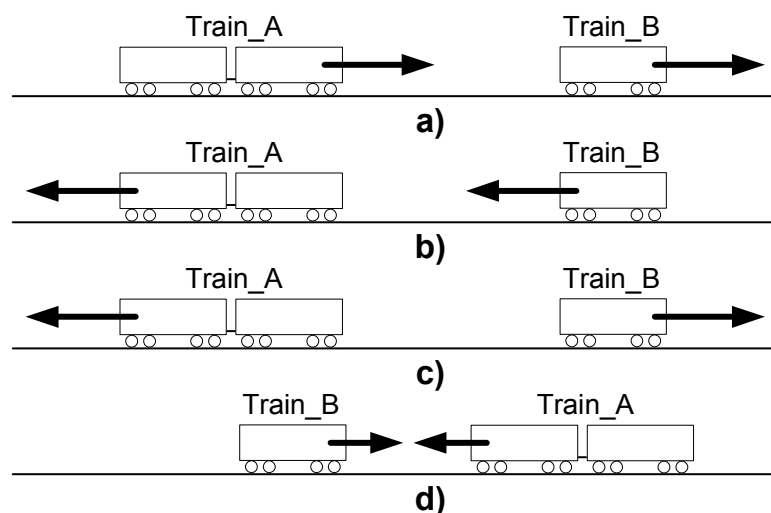
Pro upřesnění, potvrzení či vyvrácení vztahů mezi restrikcí zvoleného řešení a jistotou pozitivního výsledku na straně jedné a dostupností pozitivního výsledku určení pořadí na straně druhé, je nutné provést další seriózní analýzy včetně analýzy rizika s rozsáhlou analýzou vlastností (funkčních i provozních) relevantních komponent a subsystémů.

4.2.7 Vliv směru jízdy a jeho změny

Předchozí analýzy – a závěry ve vztahu ke kroku γ z nich vyplývající – jsou platné pouze v situacích, kdy se obě vozidla, pro něž se určuje jejich vzájemné pořadí, pohybují pouze jedním směrem (viz směr jízdy naznačený v jednotlivých obrázcích), případně se nachází v klidu s navazující možností jízdy jen stejným směrem. Obecně však mohou nastat různé kombinace směrů jízdy (ať už jízd probíhajících nebo těch, které budou bezprostředně následovat) dvou vozidel, jak jsou uvedeny na Obr. 4-25.

Standardně je funkce určení pořadí účelná pro situace a) a b), kdy je potřeba správně vyhodnotit, které vozidlo je první, pro zaslání informací souvisejících se zajištěním dohledu nad další jízdou takového vozidla (TAF, oprávnění k jízdě), přičemž obě vozidla se pohybují

stejným směrem. Na první pohled to možná není zřejmé, ale důvod k určení pořadí je i v případě situace c), zde sice nelze hovořit o jednom stejném směru jízdy, ale smyslem určení pořadí vozidel je zabránit stavu, který je charakterizován situací d). Toto „překřížení“ nepředstavuje problém jen v případě potencionálních protisměrných jízd, ale i když jedno z vozidel je v klidu, a ani nevykazuje (v hlášení polohy) možnost jízdy jakýmkoliv směrem. Problém určení pořadí vozidel na základě hlášení polohy tak lze zobecnit na veškeré situace, v nichž vozidla vybavená ETCS – jejichž OBU jsou v takovém módu, kdy poskytují RBC hlášení polohy s platnou polohou – se nachází ve společné části kolejiště (staniční kolej, úsek, prostorový oddíl, ...) a nelze jinak, s dostatečnou jistotou, určit pořadí (např. po postupném vjezdu na staniční kolej jedno z vozidel, na dostatečně dlouhou dobu, ukončilo komunikaci).



Obr. 4-25: Možné kombinace směrů jízdy vozidel.

Znamená to tedy, že v hlášení polohy je nutné sledovat další parametry, které vypovídají o aktuální směrové situaci OBU potažmo vozidla. Jsou to tři proměnné, které souvisí s určením směru jízdy vozidla (S-026-7 v230, 2006, § 7.4.3.1). Hodnoty těchto proměnných představují relativní směrovou informaci vztahenou k orientaci poslední platné balízové skupiny, ta může být nominální či reverzní. Nominální směr je určen rostoucím interním číslem jednotlivých balíz v balízové skupině (S-026-3 v230, 2006, § 3.4.2.2.2). V případě přepočtu vzdálenosti k jedné referenci (viz Obr. 4-14) je potřeba zohlednit i případné opačné orientace různých balízových skupin. V dalším výkladu je uvažována jedna společná LRBG. Směrové proměnné v hlášení polohy a jejich význam je následující:

- **Q_DIRLRBG** Proměnná, která charakterizuje orientaci vozidla ve vztahu k orientaci LRBG, tj. udává, pro jaký směr jízdy je aktivován ovládací pult vozidla, což neznamená, že nutně tím samým směrem se musí

pohybovat (S-026-3 v230, 2006, § 3.6.5.1.1.1), (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.2.104).

- **Q_DLRBG** Udává, na které straně od LRBG se nachází čelo vlaku (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.2.106), tzn. de facto směr, v jakém byla LRBG minuta.
- **Q_DIRTRAIN** Představuje směr jízdy vozidla ve vztahu k orientaci LRBG (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.2.106).

OBU dvou vozidel, která se tedy pohybují (mohou pohybovat) jen jedním stejným směrem, udávají ve svých hlášeníh polohy shodné hodnoty proměnných Q_DIRTRAIN, nebo, v případě že směr pohybu jednoho z vozidel není známý (nepohybuje se), hodnota Q_DIRLRBG nepohybujícího se vozidla odpovídá hodnotě Q_DIRTRAIN pohybujícího se vozidla. Pokud se nepohybuje (Q_DIRLRBG jsou neznámé) ani jedno z vozidel, pak jsou shodné hodnoty proměnných Q_DIRLRBG. V situaci, kdy jedno z vozidel neposkytuje žádné směrové údaje (Q_DIRLRBG a Q_DIRTRAIN v příslušném PR jsou neznámé), je směr určen proměnnou Q_DIRTRAIN případně Q_DIRLRBG v PR od OBU druhého z vozidel. V těchto případech má tedy smysl, bez potřeby modifikací nebo upřesnění, hovořit o pořadí vozidel, z něhož plyne, které vozidlo je druhé, a případně tak u něho hrozí najetí na první.

Naopak v případě, kdy směrové možnosti jízdy jsou vzájemně opačné, je nutné pro realizaci funkce určení pořadí zavést společnou směrovou referenci (např. dle orientace LRBG – nominální směr je vztahný směr jízdy), a k té poté vztahovat celý proces. Protisměrné jízdy nebo případné najetí do stojícího vozidla (pokud budou povoleny příliš dlouhé vzdálenosti k jízdě – je nutno uvažovat, že v určitých situacích jsou krátké a pomalé protisměrné pohyby žádoucí) hrozí v případě, jestliže druhé vozidlo vykazuje směrové možnosti jízdy shodné s referenčním směrem a první vozidlo vykazuje směrové možnosti jízdy opačné vůči referenčnímu směru.

Dalším problémem souvisejícím se směrem jízdy vozidel, pro nějž má RBC vyhodnotit pořadí, je potenciální možnost, že během dostatečně dlouhého časového intervalu mezi výskyty vozidel v ohlášených polohách provede strojvedoucí některého z nich takové úkony, které povedou k opačnému směru jízdy, čímž existuje i možnost chybové záměny pořadí vozidel (viz časově-polohová analýza na Obr. 4-21), při zachování jejich původních směrových možností. Konkrétně se tento problém týká vozidla, které je dle nekritického odhadu pořadí první a dle vztahu minimálních možných a maximálních doložitelných zpoždění se jako první vyskytlo nebo mohlo vyskytnout v ohlášené poloze.

Poznámka: V případě, že vozidla vykazují vzájemně opačné směrové možnosti, mohla by se taková situace týkat i druhého vozidla v pořadí, díky relativní směrové referenci. Jedná se však o zcela ekvivalentní situaci, a není třeba ji samostatně podrobněji analyzovat.

Vzdálenost v opačném směru jízdy, kterou může takové vozidlo dosáhnout, závisí na tom, jak se časový interval mezi výskyty vozidel v ohlášených polohách rozdělí mezi tři následující dílčí časové sub-intervaly:

- Minimální doba potřebná pro zastavení vozidla
- Minimální doba potřebná pro provedení úkonů na vozidle pro jízdu opačným směrem.
- Maximální doba pro akceleraci a pohyb vozidla v opačném směru.

Je zřejmé, že čím delší je délka prvního a druhého sub-intervalu, tím klesá doba zbývajících pro pohyb vozidla v opačném směru, a tím i klesá potenciaální možnost přiblížení korigované polohy před vyhodnocením kritického vztahu konfidenčních intervalů. První a třetí sub-interval souvisí opět s mezními akceleračními a brzdnými schopnostmi vozidla a z hlediska bezpečnostně kritických mezí jsou tyto sub-intervaly předmětem analýzy uvedené v této práci. Problematickým zůstává však druhý sub-interval, protože možnost změny směru jízdy v takové situaci je závislá na třech aspektech, které následně implikují dobu se změnou směru spojenou:

- Možnosti a omezení dané provozními pravidly.
- Technické vlastnosti vozidla týkající se jeho ovládání.
- Aktuální stav mobilní části systému ETCS – zejména mód, ve kterém se nachází.

První aspekt, lze považovat za irelevantní. Z hlediska kritičnosti je třeba uvažovat, že obsluha vozidla bude díky omylu příslušná pravidla a omezení ignorovat, tím pádem přínos tohoto aspektu k prodloužení druhého sub-intervalu je nulový. Druhý aspekt souvisí s časovou náročností obsluhy konkrétního vozidla a k určení jeho případného přínosu pro délku druhého sub-intervalu je nutná příslušná studie vlastností všech vozidel přicházejících pro danou ETCS aplikaci v úvahu. Třetí aspekt – jak by se mohlo jevit – se netýká pouze ETCS, ale velmi úzce souvisí právě s druhým aspektem. OBU palubní části systému ETCS pracuje v kontextu okolních systémů vozidla a tento vztah je markantní právě v souvislosti se změnou směru jízdy. Analýzu časové náročnosti změny směru jízdy vozidla jehož OBU se nachází v daném módu, lze tedy provést pouze v kontextu vlastností konkrétního vozidla.

Na úrovni obecné analýzy, založené zejména na požadavcích specifikací ETCS, lze zhruba kategorizovat módy OBU podle tohoto, jakým způsobem umožňují dosáhnout změny

směru jízdy (viz Tab. 4-2). Toto rozdělení představuje základ pro případné následné analýzy vlastností OBU a vozidel ke stanovení konkrétních minimálních dob spojených s obsluhou pro změnu směru jízdy. CL RBC by poté dokázala na základě znalosti aktuálního módu OBU vozidla – tuto informaci obdrží prostřednictvím proměnné M_MODE v hlášení polohy (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.72) – zvolit příslušnou konstantu pro dosažení příznivějších výsledků výpočtů beroucích v potaz potencionální změnu směru jízdy (viz dále 4.2.8).

V souvislosti s módy OBU existují dva způsoby, jakými může vozidlo dosáhnout opačného směru jízdy:

- Tzv. **reverzním pohybem** (neplést s módem RV – *Reversing*, i když s reverzním pohybem souvisí, ani neplést s reverzním směrem míjení BG). Tím se myslí pohyb vozidla po změně směru jeho jízdy (Q_DIRTRAIN), při které nenastala změna orientace vozidla (Q_DIRLRBG) ani změna módu (M_MODE).
- **Změnou orientace vozidla**. Tím je myšleno provedení takových úkonů na vozidle, ovládacím pultu vozidla a na DMI i v OBU, po kterém dojde ke změně ovládacích prvků pro řízení jízdy vozidla (vypnutí ovládacího pultu pro jeden a aktivace ovládacího pultu pro druhý směr jízdy), a – pokud vozidlo bylo před změnou orientace v pohybu – tak je změna orientace spojena i se změnou módu. Pokud je vozidlo v klidu, lze provést změnu orientace bez změny módu, jen pokud se OBU nachází v módu SB. Každopádně je změna orientace charakterizována změnou hodnoty proměnné Q_DIRLRBG v hlášení polohy.

Podle S-026-4 v230 (2006, § 4.5.2 řádek *Reverse movement protection*) OBU brání reverznímu pohybu v módech (přicházejících v úvahu oblasti ETCS L2) FS, SR, OS, kde je bráněno v jízdě zpět, a v PT a RV, kde je bráněno naopak jízdě vpřed, protože řádný směr pohybu v těchto módech je zpětný pohyb (S-026-4 v230, 2006, § 4.4.14.1.3.1 a § 4.4.18.1.8). Uvedená specifikace jako mód, ve kterém je bráněno zpětnému pohybu, uvádí také mód SE, tj. *STM European*. Tento mód je určen pro dohled nad jízdou vozidla pod zodpovědností národního vlakového zabezpečovacího zařízení, nicméně se od jeho používání ustupuje (pro potřeby národních vlakových zabezpečovacích zařízení se využívá výhradně mód SN – *STM National*). V módu SB není pohyb umožněn, stejně tak i v módech NP, TR a SF, ale do těchto módů může OBU vozidla přejít již během jízdy, čímž je sice aktivována nouzová brzda a vynuceno tak zastavení vozidla, nicméně ještě před samotným zastavením může vozidlo s OBU v tomto módu měnit svou polohu. V módu SB je možná změna orientace vozidla, přičemž by tato změna orientace měla vést k odeslání hlášení polohy (S-026-4 v230, 2006,

§ 4.5.2 řádek *Report train position when change of train orientation*), ale je nutno si uvědomit, že z důvodů poruch vedoucích k výpadku spojení může být orientace změněna, aniž by bylo hlášení polohy do CL RBC doručeno. V módech SH, SL, NL, UN, IS a SN není změně směru pohybu bráněno, přičemž IS je mód určený pro jízdu zcela bez dohledu ETCS, a OBU v tomto módu neposílá hlášení polohy. V případě módů SL a NL není vozidlo řídicím vozidlem soupravy (jedná se o postrk nebo přípřež, či další hnací vozidlo jednotky). Módy UN a SN umožňují pohyb oběma směry v situacích, kdy není možná jízda pod dohledem ETCS, protože traťová část ETCS není nainstalována nebo není v činnosti.

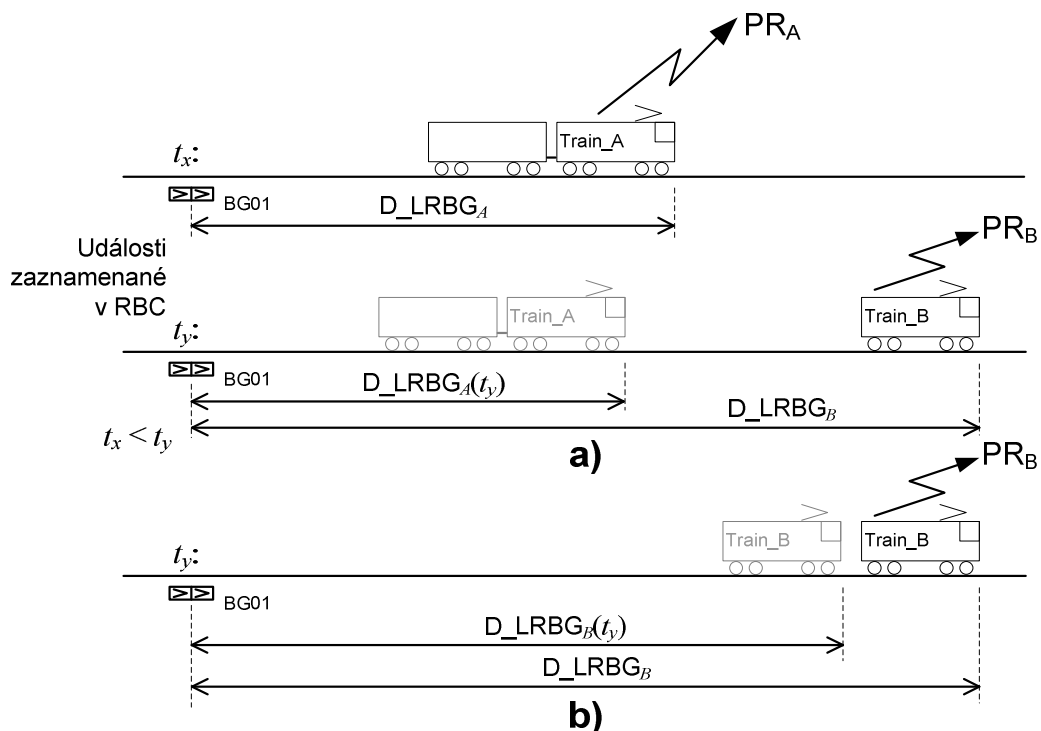
Mód		Činnost ochrany proti reverznímu pohybu resp. znemožnění jízdy
NP	No Power	Neumožňuje jízdu, popř. vyvolá nouzové brzdění.
SB	Stand By	Neumožňuje jízdu, umožňuje změnu orientace, při níž se pošle se PR.
SH	Shunting	Ne, reverzní pohyb je možný bez změny orientace vlaku – běžná provozní situace při posunu.
FS	Full Supervision	Ano, ochrana je aktivní. Změna směru jízdy je možná pouze skrze SB mód změnou orientace vozidla.
SR	Staff Responsible	
OS	On Sight	
SL	Sleeping	Ne, reverzní pohyb je možný.
NL	Non Leading	Ne, reverzní pohyb je možný.
UN	Unfitted	Ne, reverzní pohyb je možný.
TR	Trip	Neumožňuje jízdu, popř. vyvolá nouzové brzdění.
PT	Post Trip	Ano, ochrana je aktivní, ale za reverzní pohyb je považován pohyb vpřed.
SF	System Failure	Neumožňuje jízdu, popř. vyvolá nouzové brzdění.
IS	Isolation	Ne, nejsou zasílána ani hlášení polohy.
SE	STM European	<i>Neuvažován. Používán pouze mód SN.</i>
SN	STM National	Ne, reverzní pohyb je možný.
RV	Reversing	Ano, ochrana je aktivní, ale za reverzní pohyb je považován pohyb vpřed.

Tab. 4-2: Zajištění ochrany proti reverznímu pohybu v jednotlivých módech.

U módů, u kterých OBU brání reverznímu pohybu (viz Tab. 4-2), je možná změna směru jízdy vozidla pouze nepřímo opuštěním daného módu, pokud se změní orientace vozidla, což lze provést pouze skrze mód SB. Tzn. OBU opustí určitý mód, v SB módu změní svou orientaci a opět provede přechod zpět do původního módu. To ale neplatí pro módy PT a RV do, kterých nelze, po jejich opuštění, skrze mód SB znovu vstoupit (S-026-4 v230, 2006, § 4.6.2).

4.2.8 Krok γ – Kritická korekce polohy vozidel při uvážení možnosti změny směru jízdy.

Pro kombinaci pořadí vozidel a hlášení polohy dle Obr. 4-18 nepředstavuje případný opačný pohyb vozidla A riziko záměny pořadí vozidel (viz Obr. 4-26 část a)). Problémem ale může být opačný pohyb vozidla B (část b)) v kombinaci s velkým zpožděním při přenosu jeho hlášení polohy. Jedná se pak vlastně o situaci, která při změně (referenčního tj. na obrázku naznačeného) směru pohybu obecně odpovídá situaci na Obr. 4-19, přesněji potencionální riziko záměny vyplývá z časově-polohové analýzy na Obr. 4-21.



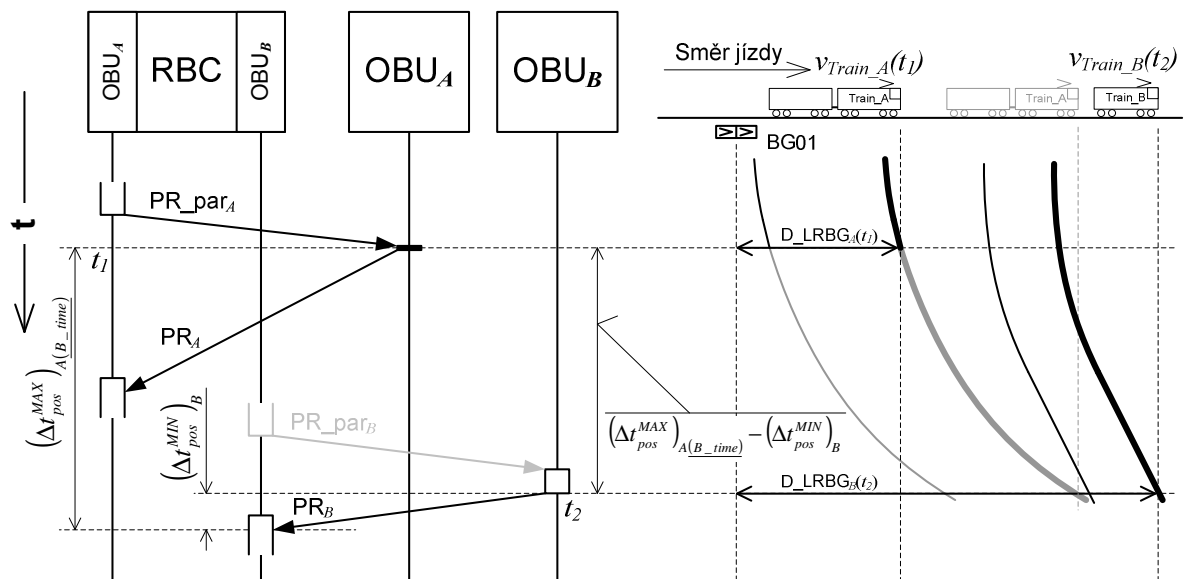
Obr. 4-26: Opačný pohyb vozidel.

Obdobně pak kombinace dle Obr. 4-19 nebude problémem při opačné jízdě vozidla B, ale s ohledem na možný opačný pohyb vozidla A, kombinovaný s velkým zpožděním při přenosu jeho hlášení polohy, se co do charakteru rizika záměny pořadí jedná o ekvivalentní situaci jako v případě kombinace dle Obr. 4-18 a souvisejících analýz.

To tedy znamená nutnost, před posouzením vzájemného vztahu konfidenčních intervalů, provést další kritické odhady změny polohy prvního vozidla, s ohledem na jeho potencionálně možný opačný pohyb. Prakticky se tedy jedná o dvojí provedení kroku γ . Jednou pro kritickou korekci polohy vozidla, které je podle nekritického odhadu pořadí druhé, ve směru jízdy – na základě maximálního doložitelného zpoždění ve vztahu k jeho výskytu v ohlášené poloze – a podruhé pro tu samou korekci, ale prvního vozidla a to v opačném směru. V tabulce Tab. 4-1

by tím pádem měla odpadnout varianta 2 a namísto ní se objevit jiné tři varianty ekvivalentní variantám 1, 3 a 4, ale pro první vozidlo (dle nekritického odhadu) a opačný směr jízdy. Ve výpočtu korekce polohy v těchto nových variantách je třeba ale navíc zohlednit dobu, kterou potřebuje dle nekritického odhadu první vozidlo pro změnu směru jízdy.

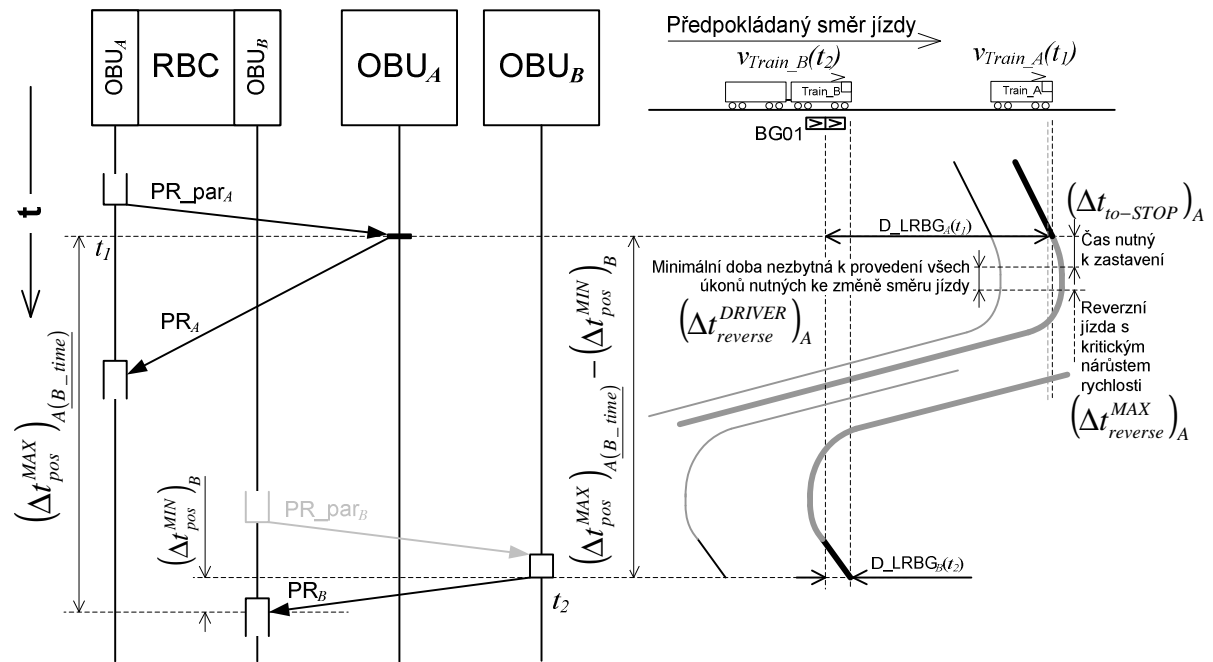
Na Obr. 4-27 je uvedena již výše analyzovaná situace, kdy se druhé (dle nekritického odhadu) vozidlo jednoznačně vyskytovalo v ohlášené poloze dříve, viz vztah 4.41. V takovém případě se uplatní pouze kritická korekce polohy tohoto vozidla ve směru jízdy, a celý postup kroku γ přesně odpovídá variantě 1 v tabulce Tab. 4-1.



Obr. 4-27: Kritická korekce polohy vozidla, které je dle nekritického odhadu druhé v pořadí.

Naopak Obr. 4-28 znázorňuje situaci, kdy se v ohlášené poloze jednoznačně vyskytovalo nejprve vozidlo, které je dle nekritického odhadu první v pořadí, tzn. když platí opět vztah 4.41 (první vozidlo je nyní vozidlo A, proto zůstává vztah identický).

Jak je s časově-polohové analýzy na Obr. 4-28 patrné, existuje potenciální možnost záměny pořadí díky opačným pohybům vozidel v době mezi výskyty vozidel v ohlášených polohách. Z tohoto pohledu je mezní kritická hodnota této doby dána rozdílem $(\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} - (\Delta t_{pos}^{MIN})_B$, protože pro hlášení polohy z OBU vozidla A je tentokrát nutné uplatnit celkové maximální zpoždění vztahované k okamžiku příjmu hlášení polohy v CL RBC od OBU vozidla B, pro které se naopak uplatňuje minimální možné zpoždění.



Obr. 4-28: Kritická korekce polohy vozidla, které je dle nekritického odhadu první v pořadí, v opačném směru.

Časový interval, jehož délka je dána rozdílem $(\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} - (\Delta t_{pos}^{MIN})_B$, je nutno rozdělit (viz také 4.2.7) na tři dílčí doby:

- $(\Delta t_{to-STOP}^{MIN})_A$ – Minimální doba potřebná pro zastavení vozidla A. Uplatní se tehdy, pokud není rychlost vozidla A, uvedená v hlášení polohy, nulová a její hodnota je dána vztahem 4.23 resp. Obr. 4-7.
- $\Delta t_{reverse}^{DRIVER}$ – Minimální doba potřebná na provedení úkonů na vozidle pro jízdu opačným směrem (reverzní jízda případně změna orientace vozidla). Jedná se o analytickou hodnotu, která bude závislá nejen na konkrétních typech OBU a aktuálním módu v okamžiku výskytu vozidla v ohlášené poloze, ale zejména na konkrétním typu vozidla. Je to konstanta, jejíž rostoucí hodnota má pozitivní vliv na určení pořadí vozidel – čím větší hodnota tím menší čas, který zbývá pro jízdu opačným směrem. Pro některé módy OBU lze očekávat tak velkou hodnotu této konstanty, že to povede k praktickému vyloučení možnosti opačného pohybu (při dostatečně krátké době mezi hlášeními polohy).
- $(\Delta t_{reverse}^{MAX})_A$ – Maximální doba pro akceleraci a pohyb vozidla A v opačném směru. Znalost této doby je nutná k určení korekce vzdálenosti v opačném směru a je určena vztahem 4.48.

$$\left(\Delta t_{reverse}^{MAX}\right)_A = \left(\Delta t_{pos}^{MAX}\right)_{A(B_time)} - \left(\Delta t_{pos}^{MIN}\right)_B - \left(\Delta t_{to-STOP}^{MIN}\right)_A - \Delta t_{reverse}^{DRIVER} \quad (4.48)$$

Pokud bude hodnota maximální doby pro akceleraci a pohyb $\left(\Delta t_{reverse}^{MAX}\right)_A$ záporná, pak se pohyb v opačném směru nemůže vůbec uskutečnit, a polohu prvního vozidla je možné korigovat ve směru jízdy jen podle původní varianty 2 v tabulce Tab. 4-1. Při kladné hodnotě této doby se korekce polohy bude skládat ze dvou částí:

1. Korekce polohy v původním směru jízdy dle minimální doby potřebné pro zastavení $\left(\Delta t_{to-STOP}^{MIN}\right)_A$. Postup určení této části korekce opět odpovídá variantě 2 v tabulce Tab. 4-1 s tím rozdílem, že ve sloupci E bude u této varianty figurovat $\left(\Delta t_{to-STOP}^{MIN}\right)_A$ a výsledek ve sloupci F bude označen $\left(\Delta t_{to-STOP}^{MIN}\right)_A$.
2. Korekce polohy ve směru opačném dle maximální doby pro akceleraci a opačný pohyb $\left(\Delta t_{reverse}^{MAX}\right)_A$. Korekce se určí dle postupu na Obr. 4-6 pro maximální doložitelné zpoždění a Obr. 4-8 s tím, že namísto Δt_{pos}^{MAX} bude ve vztazích figurovat $\left(\Delta t_{reverse}^{MAX}\right)_A$ a výsledkem bude korekce polohy ve směru opačném $\left(\Delta t_{reverse}^{MAX}\right)_A$.

Do kroku δ tedy vstupují polohy vozidel dle vztahů 4. 49 a 4.50

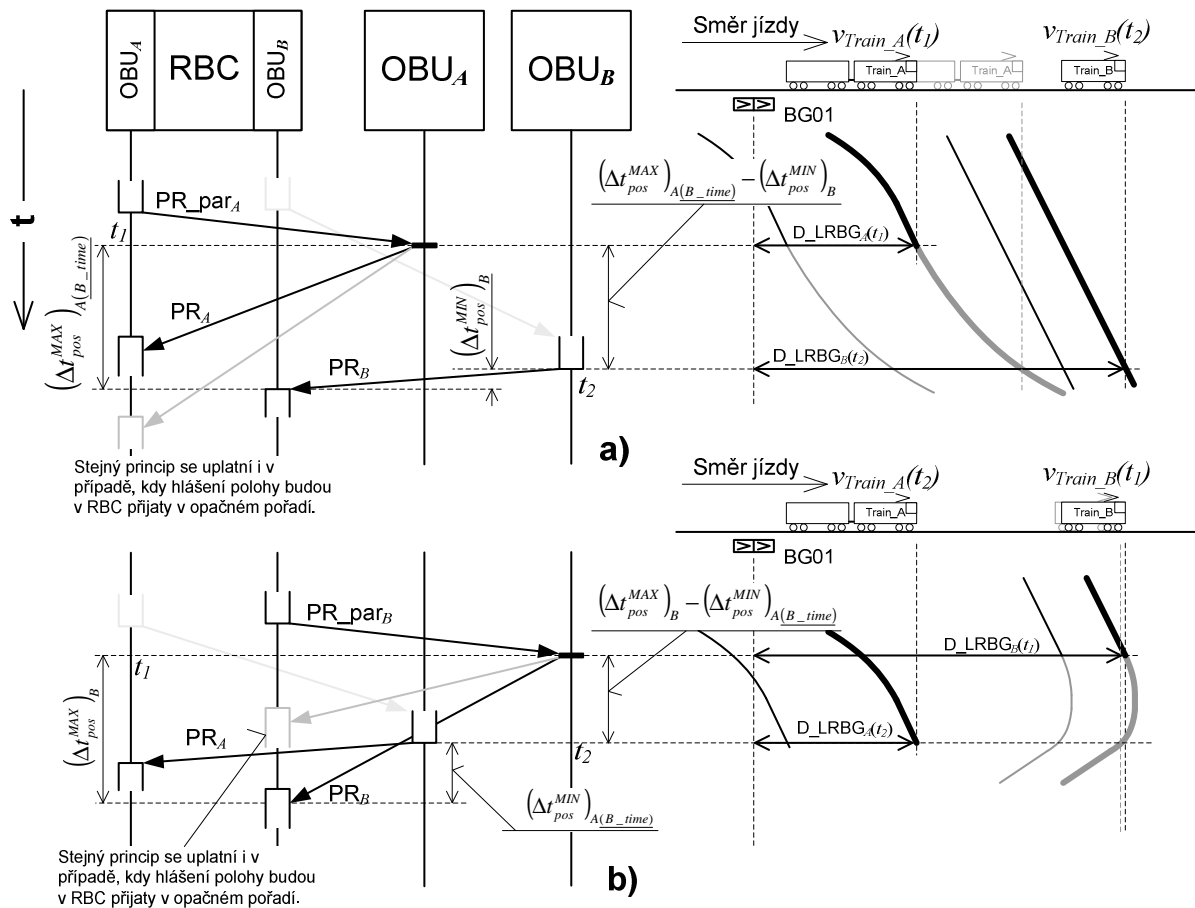
$$D_LRBG_A(t_x) = D_LRBG_A(t_1) + \left(\Delta t_{to-STOP}^{MIN}\right)_A - \left(\Delta t_{reverse}^{MAX}\right)_A \pm \begin{cases} +L_DOUBTUNDER_A \\ -L_DOUBTOVER_A \end{cases} \quad (4.49)$$

$$D_LRBG_B(t_y) = D_LRBG_B(t_2) \pm \begin{cases} +L_DOUBTUNDER_B \\ -L_DOUBTOVER_B \end{cases} \quad (4.50)$$

Na Obr. 4-29 jsou znázorněny situace, kdy na základě přijatých hlášení a kritických odhadů okamžiků výskytu vozidel v ohlášených polohách, přichází v úvahu obě pořadí skutečného výskytu vozidel v ohlášených polohách. Část a) znázorňuje situaci s uvažovaným prvním výskytem druhého (dle nekritického odhadu) vozidla v ohlášené poloze, část b) pak první výskyt prvního vozidla v ohlášené poloze.

Z Obr. 4-29 je patrný i vliv případného opačného pořadí přijetí hlášení polohy v RBC, který se sebou nese formální problém spočívající v pře-indexování parametrů podle v této práci dodržovaného pravidla, kdy první, v RBC přijaté hlášení, je hlášení od vozidla A. Dvě situace popsané v těchto časově-polohových analýzách tak vyžadují čtyři postupy v kroku γ . Vztahy pro dobu mezi výskyty vozidel v ohlášených polohách budou co do formální podoby

vzájemně zaměněné, nicméně budou se pokaždé týkat jiného z vozidel. Situaci s opačným pořadím přijetí hlášení polohy odpovídá i případ, kdy jsou obě hlášení přijata současně a první vozidlo v pořadí (dle nekritického odhadu) je označeno jako vozidlo A. Z formálního hlediska pak budou ve vztazích figurovat namísto celkových zpoždění běžná minimální možná a maximální doložitelná zpoždění, tj. místo $(\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)}$ resp. $(\Delta t_{pos}^{MIN})_{A(B_time)}$ to bude $(\Delta t_{pos}^{MAX})_A$ resp. $(\Delta t_{pos}^{MIN})_A$.



Obr. 4-29: Kritické korekce polohy, při obou možných pořadích výskytu vozidel v ohlášených polohách a při možnosti opačného směru jízdy.

Následně se krok δ provádí dvakrát. Jednou pro korigovanou polohu prvního vozidla o vzdálenost ujetou v opačném směru a podruhé pro korigovanou polohu druhého vozidla o vzdálenost ujetou ve směru jízdy, přičemž vzájemný vztah konfidenčních intervalů musí být pozitivně vyhodnocen pro oba případy.

Přehled nových postupů v kroku γ uvažujících s potenciální možností opačného směru jízdy vozidla, které je podle nekritického odhadu první v pořadí, je uveden v Tab. 4-3,

Tab. 4-4 a Tab. 4-5. Kromě výše uvedených vztahů s těmito přehledy souvisí i vztahy následující (pro některé situace nebyly příslušné závislosti výše formálně uvedeny):

$$\left(\Delta t_{reverse}^{MAX}\right)_B = \left(\Delta t_{pos}^{MAX}\right)_B - \left(\Delta t_{pos}^{MIN}\right)_{A(B_time)} - \left(\Delta t_{to-STOP}\right)_B - \Delta t_{reverse}^{DRIVER} \quad (4.51)$$

$$\left(\Delta t_{reverse}^{MAX}\right)_A = \left(\Delta t_{pos}^{MAX}\right)_A - \left(\Delta t_{pos}^{MIN}\right)_B - \left(\Delta t_{to-STOP}\right)_A - \Delta t_{reverse}^{DRIVER} \quad (4.52)$$

V Tab. 4-3 je uvedeno základní rozdělení postupu v kroku γ na pět variant, s uvážením jízdy v opačném směru – podle vztahu mezi pořadím přijetí hlášení polohy v CL RBC, nekritickým odhadem pořadí vozidel (sloupec B) a pořadím výskytu vozidel v ohlášených polohách (sloupec C). Pro jednotlivé varianty je ve sloupci D uvedeno, podle které z procedur v Tab. 4-4 postupovat, a ve sloupcích E a F jaké vstupy přitom uplatnit. Přičemž sloupec F má podobu odkazu na konkrétní vzorce v textu práce, které pro danou variantu definují rozdělení zpoždění ze sloupce E na část pro zastavení prvního vozidla a případnou část pro akceleraci v opačném směru. Sloupec F se tedy uplatní jen pro ty části variant, u kterých je opačný směr jízdy relevantní. Sloupec G uvádí formální předpis pro identifikaci výsledku korekce. V případě variant 3, 4 a 5, které řeší situaci, kdy pořadí reálného výskytu vozidel v ohlášených polohách může být obojí, se provádí tedy dva postupy a) a b), každý pro jednu kombinaci pořadí výskytu.

Tab. 4-4 popisuje procedury, podle kterých se postupuje v jednotlivých variantách. Procedura *i* se týká pohybu druhého vozidla ve směru jízdy po dobu uvedenou ve sloupci E Tab. 4-3 a procedura *j* řeší zastavení a případný zpětný pohyb prvního vozidla.

Tab. 4-5 pak uvádí souhrn výsledků korekce polohy pro každou z pěti variant. Pro oba postupy, **a)** a **b)**, variant 3, 4 a 5 se provádí obě vyhodnocení vzájemného kritického vztahu konfidenčních intervalů současně, a obě musí potvrdit kladný výsledek určení pořadí.

A	B	C	D	E	F	G
Varianta	Vztah mezi pořadím PR a pořadím dle nekritického odhadu	Vztah mezi pořadími PR a výskytem vozidel v ohlášené poloze	Identifikace procedury v Tab. 4-4.	Vstupní zpoždění do procedur dle sloupce D	Míra vlivu opačného pohybu v postupu dle sloupce E se uplatní dle vztahu:	Označení výsledku korekce polohy dle postupu ve sloupci D použité v Tab. 4-5.
1	1. PR od 2. vozidla	Pořadí jsou shodná, tj. platí vztah 4.41: $(\Delta t_{pos}^{MIN})_{A(B_time)} \geq (\Delta t_{pos}^{MAX})_B$	<i>i</i>	$(\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} - (\Delta t_{pos}^{MIN})_B$	4.48	$(\Delta l_{pos}^{MAX})_{A(B_time)}$
2	1. PR od 1. vozidla		<i>j</i>			$(\Delta l_{to-STOP}^{MIN})_A - (\Delta l_{reverse}^{MAX})_A$
3	1. PR od 2. vozidla	Obě pořadí přichází v úvahu, tzn. neplatí vztah 4.41: $(\Delta t_{pos}^{MIN})_{A(B_time)} < (\Delta t_{pos}^{MAX})_B$	<i>i</i>	a) $(\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} - (\Delta t_{pos}^{MIN})_B$	4.51	a) $(\Delta l_{pos}^{MAX})_{A(B_time)}$
			<i>j</i>	b) $(\Delta t_{pos}^{MAX})_B - (\Delta t_{pos}^{MIN})_{A(B_time)}$		b) $(\Delta l_{to-STOP}^{MIN})_B - (\Delta l_{reverse}^{MAX})_B$
4	1. PR od 1. vozidla		<i>i</i>	a) $(\Delta t_{pos}^{MAX})_B - (\Delta t_{pos}^{MIN})_{A(B_time)}$	4.48	a) $(\Delta l_{pos}^{MAX})_B$
			<i>j</i>	b) $(\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} - (\Delta t_{pos}^{MIN})_B$		b) $(\Delta l_{to-STOP}^{MIN})_A - (\Delta l_{reverse}^{MAX})_A$
5	PR přijata současně (A je první v pořadí)		<i>i</i>	a) $(\Delta t_{pos}^{MAX})_B - (\Delta t_{pos}^{MIN})_A$	4.52	a) $(\Delta l_{pos}^{MAX})_B$
		<i>j</i>	b) $(\Delta t_{pos}^{MAX})_A - (\Delta t_{pos}^{MIN})_B$	b) $(\Delta l_{to-STOP}^{MIN})_A - (\Delta l_{reverse}^{MAX})_A$		

Tab. 4-3: Výběr varianty postupu v kroku γ při uvažování i opačného směru jízdy.

A	B	C	
Procedura	Relevantní varianty z Tab. 4-3.	Postup určení korekce polohy.	
<i>i</i>	1, 3, 4, 5	Korekce polohy pro maximální doložitelné zpoždění dle Obr. 4-8 , přičemž namísto Δt_{pos}^{MAX} bude ve vztazích figurovat zpoždění ze sloupce E v Tab. 4-3 a výsledek Δl_{pos}^{MAX} odpovídá označení ve sloupci G v Tab. 4-3.	
<i>j</i>	2, 3, 4, 5	Výsledek vztahu ve sloupci F v Tab. 4-3 je dále označen $\Delta t_{reverse}^{MAX}$	<p>Pokud $\Delta t_{reverse}^{MAX} \leq 0$: Korekce polohy pro minimální možné zpoždění dle Obr. 4-7, přičemž namísto Δt_{pos}^{MIN} bude ve vztazích figurovat zpoždění ze sloupce E v Tab. 4-3 a výsledek pak v podobě $\Delta l_{pos}^{MIN} - 0$ odpovídá označení ve sloupci G v Tab. 4-3.</p> <p>Pokud $0 < \Delta t_{reverse}^{MAX}$: Podle vztahu 4.23 se určí hodnota $\Delta t_{io-STOP}^{MIN}$, která se dále použije ke stanovení korekce polohy (ve směru jízdy) pro minimální možné zpoždění dle Obr. 4-7, kde bude odpovídat Δt_{pos}^{MIN} . Dále se stanoví korekce polohy proti směru jízdy pro maximální doložitelné zpoždění dle Obr. 4-8, kde místo Δt_{pos}^{MAX} bude ve vztazích figurovat $\Delta t_{reverse}^{MAX}$. Rozdíl obou výsledků, tj. $\Delta l_{pos}^{MIN} - \Delta l_{pos}^{MAX}$, odpovídá označení ve sloupci G v Tab. 4-3.</p>

Tab. 4-4: Procedury postupu v kroku γ při uvažování i opačného směru jízdy.

A	B	C	D	
Varianta	Vztah mezi pořadím PR a pořadím dle nekritického odhadu	Vztah mezi pořadími PR a výskytem vozidel v ohlášené poloze	Vstupy kroku δ a to pro vozidlo, které je dle nekritického odhadu ... <i>Poznámky: Konfidenční interval je naznačen pouze symbolicky parametrem $\pm \Delta l_{D_ERROR}$.</i>	
1	1. PR od 2. vozidla	Pořadí jsou shodná, tj. platí vztah 4.41: $(\Delta l_{pos}^{MIN})_{A(B_time)} \geq (\Delta l_{pos}^{MAX})_B$...1. v pořadí: $D_LRBG_B(t_2) + (\Delta l_{D_ERROR}(t_2))_B$...2. v pořadí: $D_LRBG_A(t_1) + (\Delta l_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} \pm (\Delta l_{D_ERROR}(t_1))_A$	
2	1. PR od 1. vozidla		...1. v pořadí: $D_LRBG_A(t_1) + (\Delta l_{to-STOP}^{MIN})_A - (\Delta l_{reverse}^{MAX})_A \pm (\Delta l_{D_ERROR}(t_1))_A$...2. v pořadí: $D_LRBG_B(t_2) + (\Delta l_{D_ERROR}(t_2))_B$	
3	1. PR od 2. vozidla	Obě pořadí přichází v úvahu, tzn. neplatí vztah 4.41: $(\Delta l_{pos}^{MIN})_{A(B_time)} < (\Delta l_{pos}^{MAX})_B$	Pro oba vstupy, tj. a) i b), každé z variant se krok δ vykoná nezávisle. A obě vykonání musí potvrdit pozitivní výsledek.	a) ...1. v pořadí: $D_LRBG_B(t_2) + (\Delta l_{D_ERROR}(t_2))_B$...2. v pořadí: $D_LRBG_A(t_1) + (\Delta l_{pos}^{MAX})_{A(B_time)} \pm (\Delta l_{D_ERROR}(t_1))_A$
4	1. PR od 1. vozidla			b) ...1. v pořadí: $D_LRBG_B(t_1) + (\Delta l_{to-STOP}^{MIN})_B - (\Delta l_{reverse}^{MAX})_B \pm (\Delta l_{D_ERROR}(t_1))_B$...2. v pořadí: $D_LRBG_A(t_2) \pm (\Delta l_{D_ERROR}(t_2))_A$
				a) ...1. v pořadí: $D_LRBG_A(t_1) \pm (\Delta l_{D_ERROR}(t_1))_A$...2. v pořadí: $D_LRBG_B(t_2) + (\Delta l_{pos}^{MAX})_B \pm (\Delta l_{D_ERROR}(t_2))_B$
b) ...1. v pořadí: $D_LRBG_A(t_2) + (\Delta l_{to-STOP}^{MIN})_A - (\Delta l_{reverse}^{MAX})_A \pm (\Delta l_{D_ERROR}(t_2))_A$...2. v pořadí: $D_LRBG_B(t_1) \pm (\Delta l_{D_ERROR}(t_1))_B$				
5	PR přijata současně (A je první v pořadí)	a) ...1. v pořadí: $D_LRBG_A(t_1) \pm (\Delta l_{D_ERROR}(t_1))_A$...2. v pořadí: $D_LRBG_B(t_2) + (\Delta l_{pos}^{MAX})_B \pm (\Delta l_{D_ERROR}(t_2))_B$		
		b) ...1. v pořadí: $D_LRBG_A(t_2) + (\Delta l_{to-STOP}^{MIN})_A - (\Delta l_{reverse}^{MAX})_A \pm (\Delta l_{D_ERROR}(t_2))_A$...2. v pořadí: $D_LRBG_B(t_1) \pm (\Delta l_{D_ERROR}(t_1))_B$		

 Tab. 4-5: Výsledky kroku γ při uvažování i opačného směru jízdy.

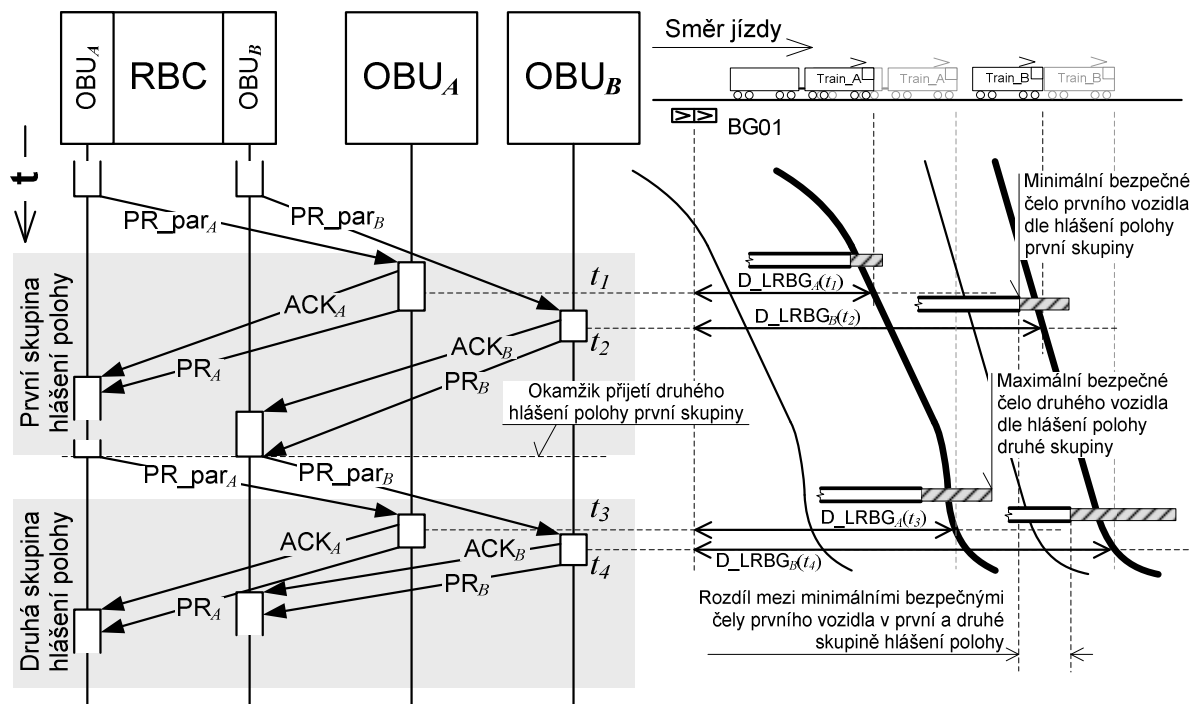
4.2.9 Metoda čtyř hlášení polohy

Doposud uvažované postupy určení pořadí vozidel jsou založeny na principu dvou hlášení polohy (po jednom od OBU každého vozidla) a korekce polohy toho z vozidel, které dle kritického odhadu odeslalo hlášení jako první. Jak je zřejmé z předchozích článků, vlastní korekce polohy představuje poměrně komplikovaný postup, při kterém se predikuje mezní resp. kritické chování vozidla (zrychlování, opačný pohyb, brzdění) v závislosti na nekritickém odhadu jeho pořadí. Po provedení korekce polohy je vyhodnocen vzájemný kritický vztah konfidenčních intervalů vozidel, a na jeho základě je pořadí buď potvrzeno, tj. pozitivní výsledek, nebo se dojde k závěru, že pořadí nelze určit, tj. negativní výsledek.

Potřebu korekce polohy na základě komplikované kritické predikce chování vozidel, lze z procesu určení pořadí vozidel vyloučit použitím čtyř hlášení polohy – po dvou od každého vozidla. Tzv. *první skupina hlášení polohy* (po jednom od každého vozidla) plní stejný účel jako doposud. Pomocí ní RBC přiřadí samotná hlášení polohy k odpovídajícím zprávám parametrů hlášení polohy (krok α) a provede nekritický odhad pořadí vozidel (krok β). Druhá skupina hlášení polohy umožňuje modifikovat původní krok γ , tj. stanovení kritického chování vozidel, tím, že poskytuje informace přímo o skutečné změně polohy a stavu vozidel, a tak vlastně verifikuje nekritický odhad pořadí vozidel provedený dle hlášení polohy první skupiny. Základní princip metody čtyř hlášení polohy je znázorněn na Obr. 4-30.

RBC tedy nejprve odešle současně zprávu s parametry hlášení polohy pro okamžité odeslání hlášení polohy, se žádostí o její potvrzení (viz také článek 4.1.4, Obr. 4-4), mobilním částem ETCS obou vozidel. Jako reakci RBC přijme jednak potvrzení o přijetí konzistentní zprávy na straně OBU a následně hlášení polohy první skupiny, na jejichž základě provede nekritický odhad pořadí vozidel. Okamžitě poté, co RBC přijme druhé hlášení (bez ohledu na to v jakém pořadí bylo skutečně z OBU odesláno), odešle znovu oběma OBU zprávy s parametry hlášení polohy jak s žádostí o potvrzení, tak i s parametrem pro okamžité odeslání hlášení polohy. Následná hlášení polohy druhé skupiny odeslaná z OBU vozidel pak nahrazují celý proces korekce polohy vozidel popsany v článcích 4.2.3, 4.2.4, 4.2.7 a 4.2.8. Hlášení polohy druhé skupiny druhého vozidla nahrazuje kritický odhad jeho změny polohy ve směru jízdy – určuje nejzazší polohu, do jaké se mohlo přesunout čelo druhého vozidla mezi okamžikem jeho výskytu v ohlášené poloze a okamžikem výskytu prvního vozidla v ohlášené poloze (pokud se jako první v ohlášené poloze ocitlo právě druhé vozidlo, což odpovídá situaci znázorněné na Obr. 4-30). Hlášení polohy druhé skupiny prvního vozidla umožňuje určit, zda se první vozidlo nepohybovalo v opačném směru mezi okamžikem svého

výskytu v ohlášené poloze a okamžikem výskytu druhého vozidla v ohlášené poloze (pokud se jako první v ohlášené poloze ocitlo naopak první vozidlo). V tomto případě se tedy neprovádí kritické odhady maximálních doložitelných zpoždění pro určení variant pořadí výskytu v ohlášených polohách, ale možné změny polohy vozidel a stavu OBU v případném časovém intervalu mezi výskytem vozidel v ohlášených polohách se určí na základě následných hlášení polohy druhé skupiny.



Obr. 4-30: Princip metody čtyř hlášení polohy.

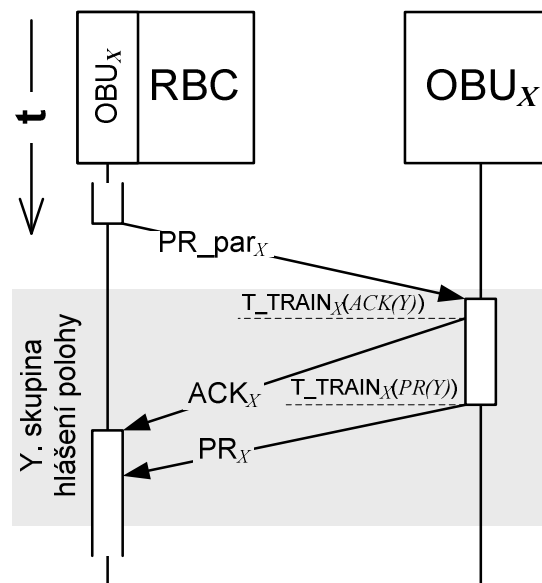
Pokud není detekován pohyb v opačném směru, pak se tedy při posouzení vzájemného kritického vztahu konfidenčních intervalů (s překryvem) uplatní u prvního vozidla minimální bezpečné čelo z první skupiny hlášení polohy (vozidlo B na Obr. 4-30) a u druhého vozidla maximální bezpečné čelo z druhé skupiny hlášení polohy. Pokud bude na základě hlášení polohy druhé skupiny detekováno, že první vozidlo změnilo směr jízdy, použije se v jeho případě při posouzení vzájemného kritického vztahu konfidenčních intervalů minimální bezpečné čelo hlášení polohy druhé skupiny. Naopak pokud se detekuje zpětný pohyb u druhého vozidla, použije se v jeho případě pro kritické vyhodnocení vztahu konfidenčních intervalů maximální bezpečné čelo z první skupiny hlášení polohy. Detekci zpětného pohybu lze jednoduše provést porovnáním poloh odhadovaných čel, tj. proměnných D_LRBG .

Nutné je, aby se vozidla v poloze uvedené v hlášení polohy druhé skupiny nevyskytla dříve, než byl v případě hlášení polohy první skupiny okamžik výskytu toho z vozidel

v ohlášené poloze, které se v ní ocitlo jako druhé. Jak je patrné z Obr. 4-30, naplnění tohoto požadavku lze jednoznačně dosáhnout odesláním druhých zpráv s žádostí o okamžité odeslání hlášení polohy z RBC do OBU až po přijetí druhého (posledního) hlášení polohy z první skupiny. Příslušnost konkrétních hlášení polohy k daným žádostem o jejich odeslání, tj. ke zprávám s parametry hlášení polohy, lze detekovat porovnáním hodnot časových značek těchto zpráv obsahujících parametry hlášení polohy (posílaných z RBC do OBU), časových značek zpráv potvrzujících jejich přijetí v OBU (posílaných z OBU do RBC) a časových značek zpráv s vlastními hlášeními polohy (rovněž posílaných z OBU do RBC).

Poznámka: Způsob identifikace časových značek pro účel formálního popisu problému je obecně znázorněn na Obr. 4-31.

Důležitá je jednak časová značka, tj. čas hodin příslušného OBU přiřazený odesílané zprávě, v okamžiku odeslání potvrzení o přijetí konzistentní zprávy z OBU – $T_TRAIN_X(ACK(Y))$ a dále časová značka samotného hlášení polohy – $T_TRAIN_X(PR(Y))$, přičemž X představuje příslušnou OBU, tj. A nebo B, a Y je Y . skupina hlášení polohy, tj. první nebo druhá.



Obr. 4-31: Identifikace časových značek.

Podle toho je tedy odezvou, na příslušnou zprávu s parametry hlášení polohy, takové hlášení polohy, jehož časová značka $T_TRAIN_X(PR(Y))$ má vyšší hodnotu než časová značka potvrzení o přijetí konzistentní zprávy s parametry hlášení polohy $T_TRAIN_X(ACK(Y))$. Je nutné znovu podotknout, že při praktické realizaci funkce porovnávání hodnot časových značek, je nutné vzít v úvahu cykličnost času hodin OBU, tj. možnost přetečení času při

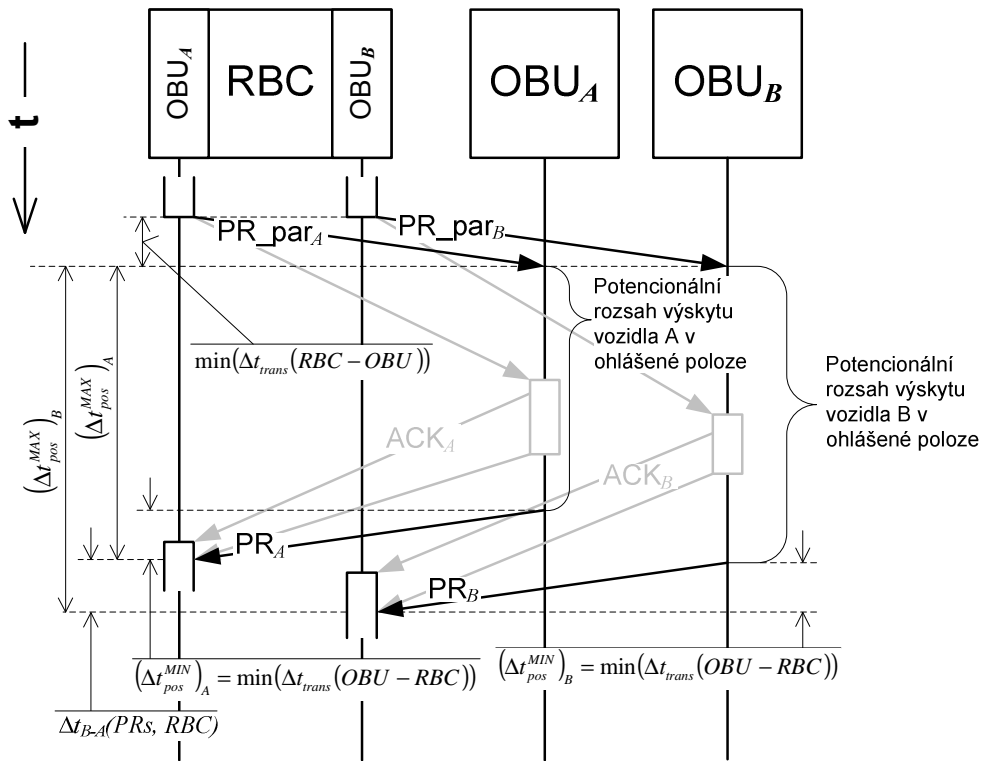
porovnávání časových značek a měření velikosti časových intervalů (S-026-3 v230, 2006, § 3.16.3.2.3).

Výše popsany princip metody čtyř hlášení polohy dle Obr. 4-30, představuje, v porovnání s předchozími, velmi jednoduchý princip určení pořadí vozidel. Odeslání zpráv s parametry hlášení polohy pro druhou skupinu až po přijetí obou hlášení polohy první skupiny však zvyšuje dobu, která uplyne mezi reálným výskytem druhého vozidla v ohlášených polohách v první a druhé skupině hlášení polohy ($t_3 - t_1$ v Obr. 4-30), což může mít za následek větší změnu jeho polohy ve směru jízdy, a tím snížení dostupnosti pozitivního výsledku funkce určení pořadí vozidel (větší pravděpodobnost negativního výsledku v kroku δ).

4.2.10 Metoda čtyř hlášení polohy – minimální hodnoty časových značek

Odstranit podmínku pro odeslání zpráv s parametry hlášení polohy pro druhou skupinu hlášení polohy, kterou je nutnost přijetí obou hlášení polohy první skupiny, a tím snížit dobu mezi výskyty vozidel v ohlášených polohách, lze tak, že se na základě maximálního doložitelného zpoždění, minimálního možného zpoždění a z nich odvozených kritických odhadů výskytů vozidel v ohlášených polohách určí minimální hodnoty časových značek ve zprávách hlášení polohy druhé skupiny, jakých musí nabývat. Tyto minimální hodnoty časových značek je třeba určit pro OBU obou vozidel – $T_TRAIN_{A_min}$ a $T_TRAIN_{B_min}$. Pokud zpráva hlášení polohy obsahuje časovou značku s hodnotou rovnou nebo vyšší (při praktické realizaci je nutno uvažovat přetečení hodin), než je tato minimální hodnota, je zřejmé, že reálný výskyt vozidla v této ohlášené poloze nastal až po výskytech obou vozidel v ohlášených polohách hlášení polohy první skupiny, a tudíž může být takové hlášení polohy považováno za hlášení polohy druhé skupiny.

Při určení minimálních hodnot časových značek budou, díky současnému odesílání zpráv s parametry hlášení polohy, nastávat jen ty situace, kdy nelze jednoznačně říci, které z vozidel se v ohlášené poloze vyskytlo jako první (viz Obr. 4-32). Každé z vozidel se tedy může v ohlašované poloze reálně vyskytnout kdykoliv během doby $\Delta t_{pos}^{MAX} - \Delta t_{pos}^{MIN}$.



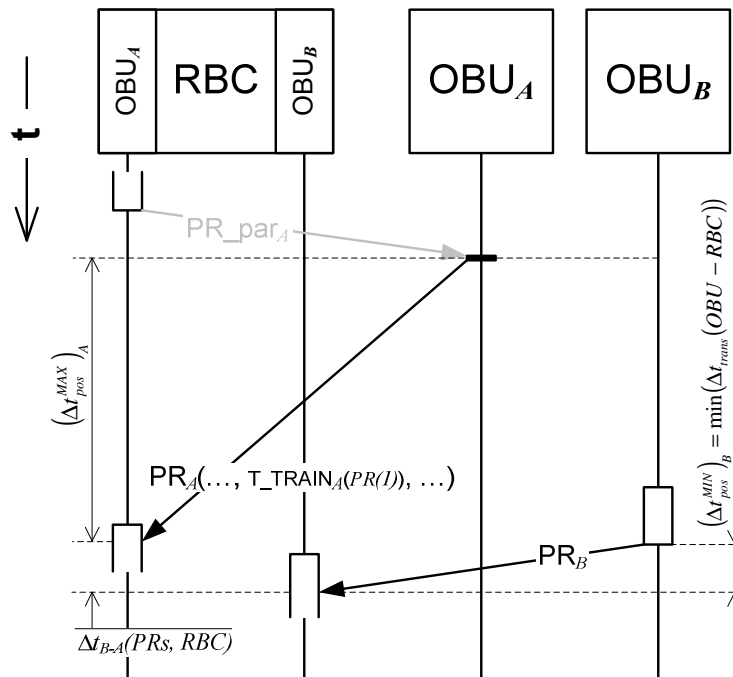
Obr. 4-32: Rozsahy výskytu vozidel v ohlášených polohách.

Z hlediska vzájemného vztahu výskytu vozidel v ohlášené poloze mohou tedy nastat dva krajní případy, přičemž každý je určující pro výpočet minimální hodnoty časové značky příslušného OBU:

1. Jako první se v ohlášené poloze vyskytne vozidlo A, viz Obr. 4-33. To v krajním případě znamená, že časová značka $T_TRAIN_A(PR(1))$, obsažená ve zprávě hlášení polohy, odpovídá okamžiku odeslání hlášení polohy z OBU vozidla A v době $(\Delta t_{pos}^{MAX})_A + 1,001 \cdot \Delta t_{B-A}(PRs, RBC)$ před přijetím hlášení polohy z vozidla B. Zároveň však platí, že hlášení polohy vozidla B nebylo z OBU odesláno dříve jak před minimální dobou pro přenos a zpracování hlášení o poloze, tj. $(\Delta t_{pos}^{MIN})_B = \min(\Delta t_{trans}(OBU - RBC))$. Pokud má platit, že výskyt vozidla A v ohlášené poloze uvedené v hlášení polohy druhé skupiny nenastane dříve než výskyt některého z vozidel v ohlášených polohách v hlášení polohy první skupiny, musí být minimální hodnota časové značky v případě OBU vozidla A:

$$\begin{aligned}
 T_TRAIN_{A_min} &= \\
 &= T_TRAIN_A(PR(1)) + (\Delta t_{pos}^{MAX})_A + 1,001 \cdot \Delta t_{B-A}(PRs, RBC) - (\Delta t_{pos}^{MIN})_B
 \end{aligned} \tag{4.53}$$

Hlášení polohy bude tedy bráno v potaz jako hlášení polohy druhé skupiny, pokud jeho časová značka $T_TRAIN_A(PR(2)) \geq T_TRAIN_{A_min}$.



Obr. 4-33: Určení minimální hodnoty časové značky – v ohlášené poloze se nejprve vyskytne vozidlo A.

- Jako první se v ohlášení poloze vyskytne vozidlo B, Obr. 4-34. V krajním případě to podobně znamená, že časová značka $T_TRAIN_B(PR(1))$, obsažená ve zprávě hlášení polohy, odpovídá okamžiku odeslání hlášení polohy z OBU vozidla B v době $(\Delta t_{pos}^{MAX})_B - 0,999 \cdot \Delta t_{B-A}(PRs, RBC)$ před přijetím hlášení polohy z vozidla A. Dále, hlášení polohy vozidla A nebylo z OBU odesláno dříve jak před minimální dobou pro přenos a zpracování hlášení o poloze, tj. $(\Delta t_{pos}^{MIN})_A = \min(\Delta t_{trans}(OBU - RBC))$. Jestliže má obdobně platit, že výskyt vozidla B v ohlášené poloze uvedené v hlášení polohy druhé skupiny nenastane dříve než výskyt žádného z vozidel v ohlášené poloze uvedené v hlášení polohy první skupiny, musí být minimální hodnota časové značky v případě OBU vozidla B:

$$\begin{aligned} T_TRAIN_{B_min} &= \\ &= T_TRAIN_B(PR(1)) + (\Delta t_{pos}^{MAX})_B - 0,999 \cdot \Delta t_{B-A}(PRs, RBC) - (\Delta t_{pos}^{MIN})_A \end{aligned} \quad (4.54)$$

Hlášení polohy bude tedy bráno v potaz jako hlášení polohy druhé skupiny, pokud jeho časová značka $T_TRAIN_B(PR(2)) \geq T_TRAIN_{B_min}$.

Metoda čtyř hlášení polohy – s uvedeným porovnáváním minimálních hodnot časových značek s časovými značkami hlášení polohy druhé skupiny – umožňuje vyvolat odeslání hlášení polohy potencionálně vhodných pro zařazení do druhé skupiny ještě před zhodnocením a vůbec před přijetím hlášení polohy první skupiny v RBC, čímž se může urychlit celý proces určování pořadí vozidel. Pak je tedy možné buď odeslat další zprávy s parametry hlášení polohy dříve než je znázorněno na Obr. 4-30, nebo v prvních zprávách s parametry hlášení polohy použít kromě proměnné M_LOC (nastavené pro okamžité odeslání hlášení polohy) i proměnnou T_CYCLOC (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.143) s vhodně nastavenou periodou odesílání hlášení polohy. Příliš brzo odeslané druhé zprávy s parametry hlášení polohy nebo příliš krátká perioda T_CYCLOC mohou však vést k odmítnutí příslušných hlášení polohy (jako hlášení polohy druhé skupiny), což lze ale vzápětí napravit odesláním dalších zpráv s parametry hlášení polohy resp. se uplatní hlášení polohy vyvolaná některým z následujících uplynutí periody T_CYCLOC.

V porovnání s postupem v kroku γ , kdy se korekce polohy provádí na základě kritických odhadů mezního chování vozidel, jedná se v případě metody čtyř hlášení polohy o značně jednodušší variantu realizace kroku γ s ohledem na implementaci v CL RBC. V tomto případě musí CL RBC disponovat pouze schopností porovnávat časové údaje. Nevýhodou je nutnost četnější komunikace mezi OBU a RBC, a s tím spojená delší doba pro určení pořadí vozidel, kterou lze částečně snížit pomocí techniky minimální hodnoty časových značek.

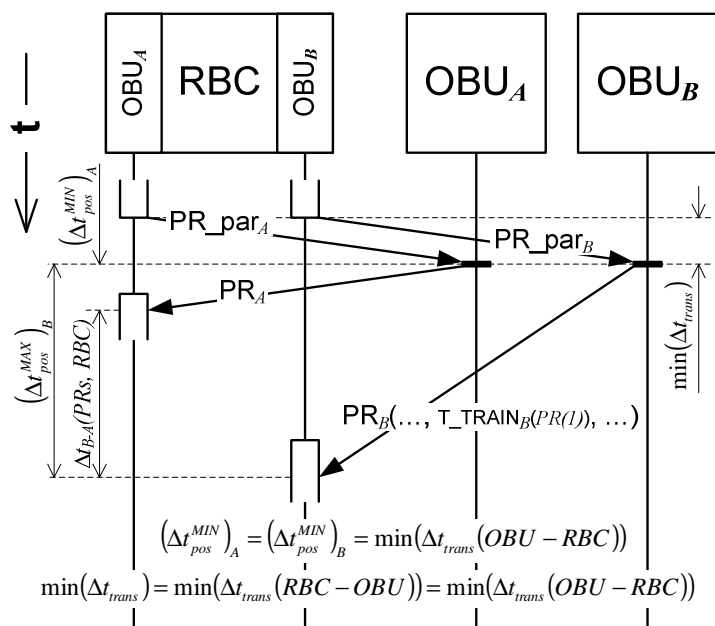
4.2.11 Metoda tří hlášení polohy

Možnost určení pořadí vozidel pouze na základě tří hlášení polohy byla zmíněna již v článku 4.2.10 v souvislosti s technikou minimální hodnoty časové značky. V případě metody čtyř hlášení polohy se stanovením minimálních hodnot časových značek se jedná o mezní situaci (viz Obr. 4-35), kdy je odezva OBU vozidla A na zprávu s parametry hlášení polohy extrémně rychlá (v mezích minimálních možných zpoždění, tj. $\min(\Delta t_{trans}(RBC - OBU)) + \min(\Delta t_{trans}(OBU - RBC))$).

Poznámka: Pro zřehlednění popisu bude dále uvažováno, že obě minimální zpoždění přenosu a zpracování jsou shodná, viz vztah 4.56.

$$\min(\Delta t_{trans}) = \min(\Delta t_{trans}(RBC - OBU)) = \min(\Delta t_{trans}(OBU - RBC)) \quad (4.56)$$

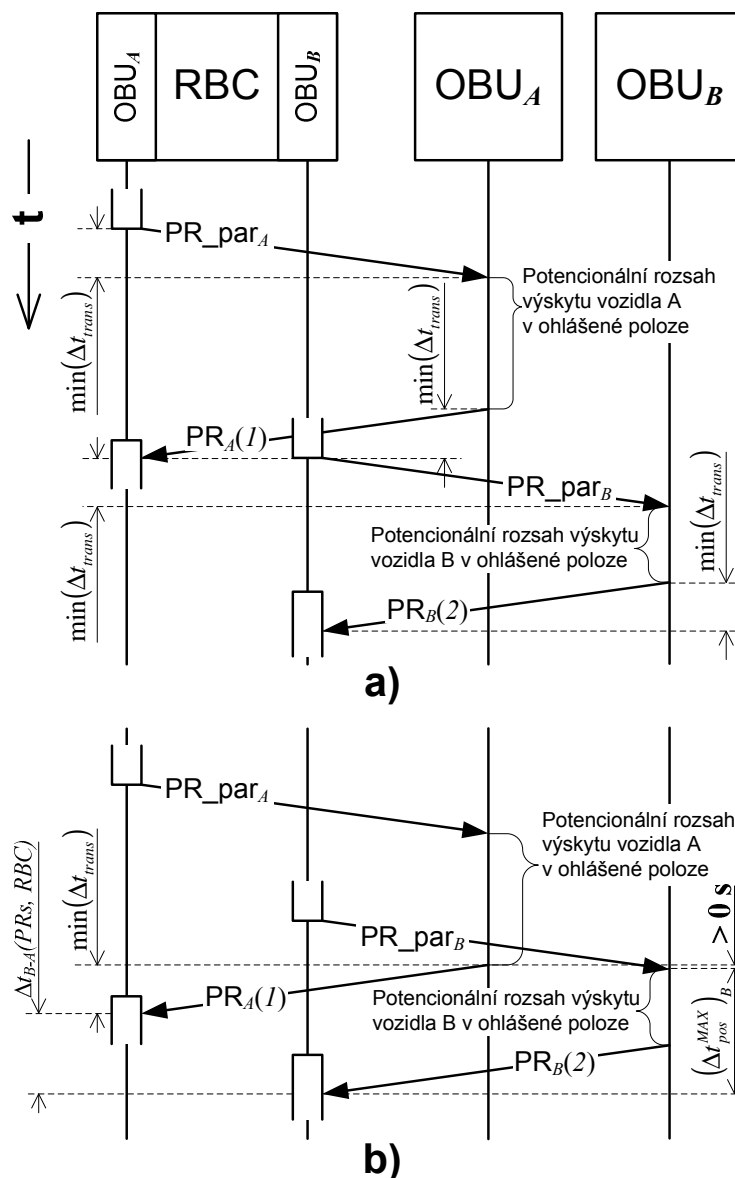
Taková mezní situace je ale v případě správného postupu určení minimálních možných zpoždění (určí se analyticky) spíše hypotetická, reálná odezva na parametry hlášení polohy bude delší.



Obr. 4-35: Metoda tří hlášení polohy jako mezní případ metody čtyř hlášení polohy.

Cíleně lze dostatečnosti tří hlášení polohy docílit záměrně rozdílnými okamžiky v odeslání zpráv s parametry hlášení polohy tak, aby po přijetí příslušných hlášení polohy přicházelo v úvahu jen jedno pořadí, v jakém se vozidla reálně vyskytla v ohlášených polohách. Takové pořadí je možné předem zajistit pouze odesláním zprávy s parametry hlášení polohy pro druhou OBU až po přijetí hlášení polohy od první OBU (Obr. 4-36 část a)). Dále je možné využít principu techniky minimální hodnoty časové značky uvedené výše u metody čtyř hlášení polohy, kdy se druhé přijaté hlášení polohy de facto testuje, zdali jemu odpovídající kritický odhad okamžiku výskytu vozidla v ohlášené poloze nemohl nastat dříve než výskyt v ohlášené poloze toho vozidla, jehož OBU poslalo první hlášení polohy. Dle Obr. 4-36 část b), kde je druhé hlášení polohy od OBU vozidla B, je taková podmínka splněna, pokud platí vztah:

$$(\Delta t_{pos}^{MAX})_B < 0,999 \cdot \Delta t_{B-A}(PRs, RBC) + \min(\Delta t_{trans}) \quad (4.57)$$

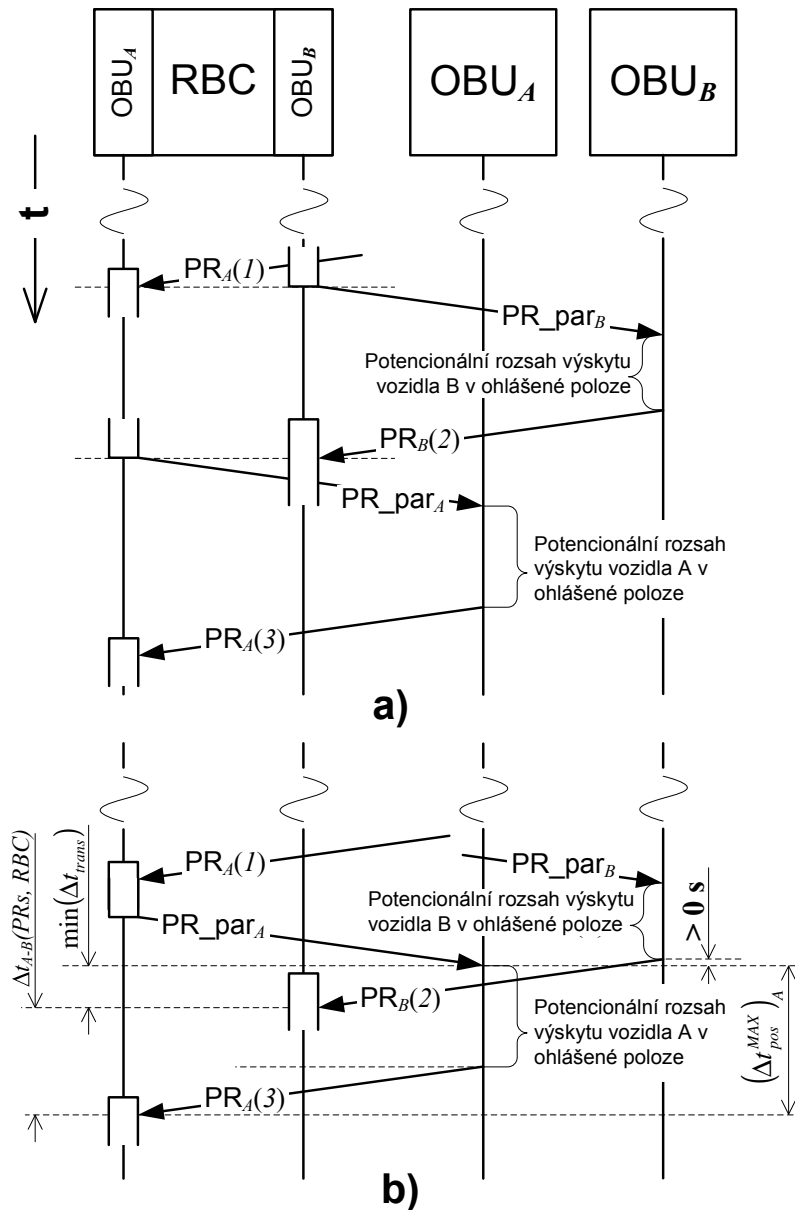


Obr. 4-36: Metoda tří hlášení polohy – vztah mezi 1. a 2. hlášením polohy

Pro třetí hlášení polohy (od stejné OBU, jenž posílala i první hlášení polohy) platí, že jemu odpovídající kritický odhad okamžiku výskytu vozidla v ohlášené poloze nemá nastat dříve než výskyt v ohlášené poloze toho vozidla, jehož OBU poslalo druhé hlášení polohy (Obr. 4-37).

$$\left(\Delta t_{pos}^{MAX}\right)_A < 0,999 \cdot \Delta t_{A-B}(PRs, RBC) + \min(\Delta t_{trans}) \quad (4.58)$$

To lze zajistit stejnými mechanismy jako v případě vztahu mezi prvním a druhým hlášením polohy (Obr. 4-37 část a) resp. b)). Při použití techniky minimální časové značky to tedy znamená, že musí být splněna podmínka 4.58.



Obr. 4-37: Metoda tří hlášení polohy – vztah mezi 2. a 3. hlášením polohy

Způsob práce s třetím hlášením polohy vyplývá z prvních dvou, tj. na základě nekritického odhadu pořadí vozidel, a ze změny polohy odhadovaného čela vyplývající z tohoto třetího hlášení. Pokud přišlo první hlášení polohy od OBU vozidla, které je dle nekritického odhadu první v pořadí, pak se na základě takového třetího hlášení polohy ověří, zda-li se první vozidlo – v době mezi výskytem vozidel v polohách ohlášených v prvním a druhém hlášení polohy – nepohybovalo opačným směrem, a podle toho se pro kritické posouzení vzájemného vztahu konfidenčních intervalů (s překryvem) použije minimální bezpečné čelo, buď z prvního hlášení polohy (opačný směr pohybu nebyl detekován), nebo ze třetího hlášení polohy (opačný směr pohybu nastal), a maximální bezpečné čelo z druhého hlášení polohy, které pochází od druhého vozidla v pořadí. Jestliže naopak nekritický odhad

ukazuje na opačné pořadí, tj. první hlášení polohy přišlo od OBU vozidla, které se jeví jako druhé v pořadí, pak se pro kritické posouzení vzájemného vztahu konfidenčních intervalů (s překryvem) použije minimální bezpečné čelo z druhého hlášení polohy – to pochází od prvního vozidla v pořadí – a maximální bezpečné čelo buď ze **třetího** hlášení polohy, pokud nebyl detekován opačný směr jízdy druhého vozidla, nebo z prvního hlášení polohy, pokud k opačnému směru jízdy došlo.

Co do pravidla, jakému z vozidel odeslat zprávu s parametry hlášení polohy jako prvnímu – přesněji, které z vozidel by se mělo vyskytnout v ohlášené poloze jako první – se jeví jako vhodnější to, jenž ve svých vlakových datech (S-026-7 v230, 2006, § 7.4.3.5) uvádí menší hodnotu proměnné L_TRAIN.

Poznámka: Vlaková data jsou na hlášení polohy nezávislou datovou strukturou, která se po dobu tzv. mise nemění buď vůbec nebo zřídka, a RBC ji od OBU přijímá již na začátku procesu přebírání vozidla pod svou zodpovědnost. Tím pádem hodnoty proměnných L_TRAIN jsou RBC známy před tím, než se může objevit potřeba určení pořadí vozidel.

Důvody pro to jsou následující:

- Pokud bude kratší vozidlo první v pořadí, přijme následně RBC od druhého z vozidel čerstvější (jako druhé, a tím pádem „referenční“) hlášení polohy. Čímž se eliminuje vliv negativního působení případné vyšší rychlosti druhého vozidla na korekci polohy.
- Pokud bude kratší vozidlo druhé v pořadí, tak vzhledem k tomu, že se před ním nachází delší vozidlo (s větší hodnotou L_TRAIN), je pravděpodobnější větší reálná vzájemná vzdálenost čel vozidel, a tím zároveň i méně pravděpodobné překrytí konfidenčních intervalů.

Vzhledem ke zdroji hodnoty proměnné L_TRAIN (zadává ji strojvedoucí), je sice význam popsání postupu výběru vozidla relativní, ale může přispět k dostupnosti pozitivního výsledku funkce určení pořadí vozidel.

Z hlediska vazby na ostatní algoritmy CL RBC může být výhodou metody tří hlášení polohy, to že je iniciátorem celého procesu právě přijetí prvního hlášení polohy. Lze očekávat, že právě díky přijetí určité zprávy od OBU obsahující mimo jiné i hlášení polohy – např. žádost o oprávnění k jízdě (S-026-8 v230, 2006, § 8.6.3) – identifikuje CL RBC potřebu vyhodnotit pořadí vozidel. CL RBC následně poté pošle zprávu s parametry hlášení polohy potenciálně sousedícím vozidlům (takovým, jejichž OBU naposledy hlásily polohu svých vozidel z dané části infrastruktury, resp. které RBC v dané části registruje) pro získání druhého hlášení polohy. Ke třetímu hlášení polohy je možné přistoupit jak metodou odeslání

zprávy s parametry hlášení polohy po přijetí druhého hlášení polohy, tak i metodou minimální hodnoty časové značky.

4.2.12 Krok γ – použití metod čtyř a tří hlášení polohy

V následujících tabulkách jsou shrnuty postupy v kroku γ metodou čtyř a tří hlášení polohy. V Tab. 4-6 a Tab. 4-7 jsou použita označení polohy odhadovaného čela (D_LRBG) a konfidenčního intervalu (Δl_{D_ERROR}), u nichž je v závorce jako argument uvedeno hlášení polohy, ve kterém byly tyto hodnoty zaslány. V případě tabulky Tab. 4-6 označuje číslo v závorce u zkratky PR skupinu hlášení polohy – např. PR(2) je hlášení polohy druhé skupiny a $D_LRBG_A(PR(2))$ je poloha odhadovaného čela vozidla A podle hlášení polohy druhé skupiny. V případě tabulky Tab. 4-7 pak toto číslo označuje pořadí hlášení – např. PR(3) je třetí hlášení polohy a $\pm(\Delta l_{D_ERROR}(PR(3)))_A$ označuje konfidenční interval dle třetího hlášení polohy, které pochází od vozidla A.

A	B	C	
Vztah mezi pořadím PR a pořadím dle nekritického odhadu	Pokud je použita technika minimální hodnoty časové značky (viz 4.2.10), pak musí platit pro ...	Vstupy kroku δ , a to pro vozidlo, které je dle nekritického odhadu ... <i>Poznámky: Konfidenční interval je naznačen pouze symbolicky parametrem $\pm \Delta l_{D_ERROR}$.</i>	
1. PR od 2. vozidla	pro PR 2. skupiny: $T_TRAIN_A(PR(2)) \geq T_TRAIN_{A_min}$, $T_TRAIN_B(PR(2)) \geq T_TRAIN_{B_min}$, kde hodnota T_TRAIN_A je dána vztahem 4.53 a T_TRAIN_B vztahem 4.54 resp. 4.55.	...1. v pořadí:	Pokud $D_LRBG_B(PR(1)) \leq D_LRBG_B(PR(2))$: $D_LRBG_B(PR(1)) \pm (\Delta l_{D_ERROR}(PR(1)))_B$, jinak: $D_LRBG_B(PR(2)) \pm (\Delta l_{D_ERROR}(PR(2)))_B$
		...2. v pořadí:	Pokud $D_LRBG_A(PR(1)) \leq D_LRBG_A(PR(2))$: $D_LRBG_A(PR(2)) \pm (\Delta l_{D_ERROR}(PR(2)))_A$, jinak: $D_LRBG_A(PR(1)) \pm (\Delta l_{D_ERROR}(PR(1)))_A$
1. PR od 1. vozidla nebo současně (pak je A první v pořadí)	Stejně jako v buňce nahoře, ale s jinými indexy ve vztahu 4.55.	...1. v pořadí:	Pokud $D_LRBG_A(PR(1)) \leq D_LRBG_A(PR(2))$: $D_LRBG_A(PR(1)) \pm (\Delta l_{D_ERROR}(PR(1)))_A$, jinak: $D_LRBG_A(PR(2)) \pm (\Delta l_{D_ERROR}(PR(2)))_A$
		...2. v pořadí:	Pokud $D_LRBG_B(PR(1)) \leq D_LRBG_B(PR(2))$: $D_LRBG_B(PR(2)) \pm (\Delta l_{D_ERROR}(PR(2)))_B$, jinak: $D_LRBG_B(PR(1)) \pm (\Delta l_{D_ERROR}(PR(1)))_B$

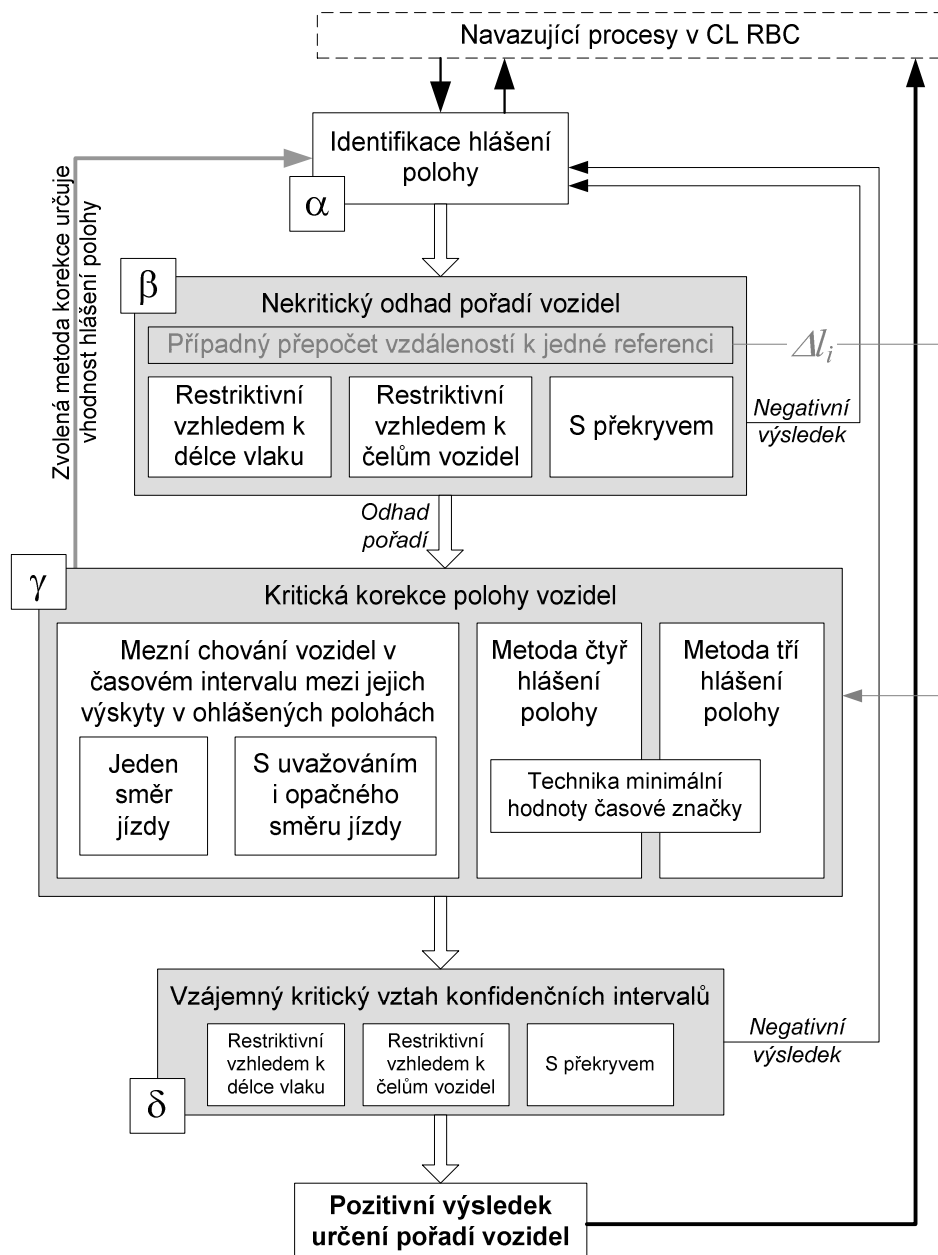
Tab. 4-6: Postup v kroku γ metodou čtyř hlášení polohy.

A	B	C	
Vztah mezi pořadím PR a pořadím dle nekritického odhadu	Pro případ techniky minimální hodnoty časové značky...	Vstupy kroku δ , a to pro vozidlo, které je dle nekritického odhadu ... <i>Poznámky: Konfidenční interval je naznačen pouze symbolicky parametrem $\pm \Delta I_{D_ERROR}$.</i>	
1. PR od 2. vozidla	... pokud se tato technika použije mezi prvním a druhým hlášením polohy, musí platit vztah 4.57, a pokud se použije mezi druhým a třetím hlášením polohy, musí platit vztah 4.58.	...1. v pořadí:	$D_LRBG_B(PR(2)) \pm (\Delta I_{D_ERROR}(PR(2)))_B$
1. PR od 1. vozidla		...2. v pořadí:	Pokud $D_LRBG_A(PR(1)) \leq D_LRBG_A(PR(3))$: $D_LRBG_A(PR(3)) \pm (\Delta I_{D_ERROR}(PR(3)))_A$, jinak: $D_LRBG_A(PR(1)) \pm (\Delta I_{D_ERROR}(PR(1)))_A$
		...1. v pořadí:	Pokud $D_LRBG_A(PR(1)) \leq D_LRBG_A(PR(3))$: $D_LRBG_A(PR(1)) \pm (\Delta I_{D_ERROR}(PR(1)))_A$, jinak: $D_LRBG_A(PR(3)) \pm (\Delta I_{D_ERROR}(PR(3)))_A$
		...2. v pořadí:	$D_LRBG_B(PR(2)) \pm (\Delta I_{D_ERROR}(PR(2)))_B$

Tab. 4-7: Postup v kroku γ metodou tří hlášení polohy.

4.2.13 Shrnutí a porovnání metod při určení pořadí vozidel

Na Obr. 4-38 jsou shrnuty v této práci navržené metody a postupy, pro realizaci funkce určení pořadí vozidel, ve formě „naplněného“ diagramu postupu z Obr. 4-9. Naznačena je navíc vazba na ostatní související funkce CL RBC, souvislost mezi identifikací vhodných hlášení polohy pro určení pořadí (krok α) a metodou kritické korekce (krok γ). Uvedena je další souvislost mezi nekritickým odhadem pořadí vozidel (krok β) a kritickou korekcí (krok γ), skrze případné odchylky v určení vzdálenosti mezi BG, v případě přepočtu vzdálenosti k jedné referenci.



Obr. 4-38: Shrnutí diskutovaných metod a postupů při určení pořadí vozidel.

Co do náročnosti implementace v CL RBC je nejvýraznějším rysem příslušného postupu metoda použitá v kroku γ . Tyto metody pro řešení kritické korekce jsou porovnány v Tab. 4-8. Podtržené vlastnosti představují hlavní výhody dané metody, **vlastnosti vyvedené tučným písmem** jsou hlavní nevýhody dané metody. Naopak v případě kroků β a δ různé metody vyhodnocení pořadí (před korekcí i po korekci) neznamenaají různé nároky na implementaci v RBC. Porovnávání polohových údajů je stejně výpočetně náročné bez ohledu na to, jaké kritérium bude zvoleno.

Jak je uvedeno v Tab. 4-8, z analýz jednotlivých metod vyplývá, že *korekce polohy dle kritických časových zpoždění a mezních parametrů jízdy* se zdá být vhodná pro situace, kdy se vozidla pohybují malými rychlostmi a současně nejsou vzdálenosti mezi nimi příliš krátké a krátké jsou i odezvy v komunikačních smyčkách a mezi hlášeními polohy navzájem. Lze očekávat, že ve většině provozních situací a při rychlé odezvě v komunikaci s OBU bude použití této metody dostačující. Poměrně velkou nevýhodou jsou komplikovanější výpočty, které musí CL RBC realizovat, nicméně při použití této metody ve výše popsáných provozních situacích, by numerický prostor (viz poznámka) realizovaných výpočtů nemusel být příliš rozsáhlý. Zcela otevřeným problémem je však, v případě této metody, stanovení času potřebného pro změnu směru pohybu.

Poznámka: Numerickým prostorem se myslí množiny hodnot, nad kterými daný výpočet probíhá.

Metody založené na více hlášeních polohy (3, 4) budou vhodné v situacích, kdy se vozidla pohybují většími rychlostmi, **nebo** jsou mezi nimi malé vzdálenosti (současná kombinace obojího by neměla nastat). Dále se jejich použití nabízí v případech, kdy se díky delším odezvám v komunikačních smyčkách nepodaří uplatnit metody dle mezních parametrů jízdy. Nespornou výhodou je jejich snadná realizovatelnost ve funkčních algoritmech RBC, což platí zejména v případě **nepoužití** techniky minimální hodnoty časové značky.

Závěrem je třeba opět podotknout, že další porovnání metod závisí na výsledku (zejména) kvantitativních analýz, které bude třeba v souvislosti s jednotlivými metodami provést (viz také Tab. 4-10).

Metoda kritické korekce polohy:	Korekce polohy dle kritických časových zpoždění a mezních parametrů jízdy		Čtyři hlášení polohy		Tři hlášení polohy	
Vlastnost	Jeden směr jízdy	S uvažováním opačného směru jízdy	Postupné odeslání zpráv s parametry	Technika minimální hod. časové značky	Postupné odeslání zpráv s parametry	Technika minimální hod. časové značky
Minimální počet hlášení polohy	<u>Dvě</u>		Čtyři		Tři	
Nároky na komunikaci RBC – OBU	<u>Postačí jedna komunikační smyčka (paralelně s každým OBU).</u>		Vyžaduje 2 (paralelně s každým OBU) postupné komunikační smyčky	Umožňuje zkrátit čas 2 smyček, ale může vyžadovat, co do počtu, více zpráv.	Vyžaduje 3 postupné komunikační smyčky	Umožňuje zkrátit čas 3 smyček, ale může vyžadovat, co do počtu, více zpráv.
Ovlivnění vlastnostmi komunikačního prostředí RBC – OBU	Stanovení minimální možné doby komunikace		<u>Žádný vliv</u>	Stanovení min. možné doby komunikace.	<u>Žádný vliv</u>	Stanovení min. možné doby komunikace.
Ovlivnění vlastnostmi vozidel	Nejvyšší akcelerační a brzdě schopnosti	Časové nároky na změnu směru jízdy.	<u>Nemají vliv</u>			
Odolnost proti změně směru pohybu vozidel	Žádná	Při krátkých zpožděních je dostatečná	<u>Ano, i když jedno z vozidel změni směr jízdy dvakrát.</u>		Dostatečná	
Nároky na implementaci v CL RBC – nezbytné aritmetické schopnosti funkčních algoritmů RBC.	Porovnávání časových značek, měření časových intervalů, součty a rozdíly času. Realizace operací součinu dvou proměnných a dělení konstantou.		<u>Porovnávání časových značek.</u>	Porovnávání časových značek, měření časových intervalů, součty a rozdíly času.	<u>Porovnávání časových značek.</u>	Porovnávání časových značek, měření časových intervalů, součty a rozdíly času.
Vzhledem ke krokům β a δ je schopnost práce s délkovými parametry - porovnání, součet, rozdíl - nutná vždy.						

Metoda kritické korekce polohy:	Korekce polohy dle kritických časových zpoždění a mezních parametrů jízdy		Čtyři hlášení polohy		Tři hlášení polohy	
Vlastnost	Jeden směr jízdy	S uvažováním opačného směru jízdy	Postupné odeslání zpráv s parametry	Technika minimální hod. časové značky	Postupné odeslání zpráv s parametry	Technika minimální hod. časové značky
Řízení pořadí hlášení polohy	<u>Není přímo nutné</u> (vyjma <i>Vytlačení vozidla z intervalu</i>).		Vhodné je první zprávy s parametry odesílat z CL RBC současně. Výskyt vozidel v ohlášených polohách druhé skupiny musí nastat až po výskytu obou vozidel v ohlášených polohách první skupiny.		Výskyt vozidel v ohlášených polohách musí nastat u všech třech hlášení postupně. První hlášení polohy může být podnětem k aktivaci funkce určení pořadí.	
Jistota versus dostupnost pozitivního výsledku určení pořadí. (V konečném důsledku je třeba tuto vlastnost uvažovat v kontextu s kritickým vztahem konfidenčních intervalů.)	Vzhledem k absenci uvažování změny směru jízdy: Výrazně snižuje jistotu	<u>Vysoká jistota</u>	<u>Velmi vysoká jistota.</u>			
	S rostoucí rychlostí vozidel a zpoždění rapidně klesá dostupnost.		<i>Při nulové rychlosti vozidel i vysoká dostupnost. S rostoucí rychlostí ale dostupnost klesá.</i>	<u>Dostupnost vyšší než bez použití techniky minimální hodnoty časové značky.</u>	<i>Při nulové rychlosti vozidel i vysoká dostupnost. S rostoucí rychlostí ale dostupnost klesá.</i>	<u>Dostupnost vyšší než bez použití techniky minimální hodnoty časové značky.</u>
Vytlačení vozidla z intervalu	Je potencionální problém při vyhodnocení s překryvem.		Nehrozí záměna pořadí			
	Lze řešit řízením pořadí hlášení polohy.	Nelze řešit – může nastat v obou směrech.				

Tab. 4-8: Porovnání vlastností metod kritické korekce polohy

První díl tabulky na předchozí stránce ↑

4.2.14 Rámcová charakteristika zjištěných vlivů, na jednotlivé metody určení pořadí, dle jejich příčiny v úrovni GP, GA nebo SA

Tab. 4-9 rozděluje jednotlivé identifikované faktory, ovlivňující metody určení pořadí vozidel, podle toho v jaké úrovni realizace RBC je možné příslušný faktor definitivně kvantifikovat, tj. stanovit jeho konkrétní vliv na příslušnou metodu. Úrovněmi realizace se myslí GP – Generický produkt, GA – Generická aplikace a SA – specifická aplikace. V tabulce jsou namísto celých pojmenování jednotlivých metod použity následující zkratky:

- Nekritický odhad pořadí vozidel – restriktivní vzhledem k délce vlaku NekRDv
- Nekritický odhad pořadí vozidel – restriktivní vzhledem k čelům vozidel NekRCv
- Nekritický odhad pořadí vozidel – s překryvem NekPr
- Mezní chování vozidel mezi jejich výskyty v ohlášených polohách (obecně) Lkrit
- Mezní chování vozidel ... – uvažován pouze jeden směr pohybu Lkrit-Je
- Mezní chování vozidel ... – uvažován i opačný směr pohybu Lkirt-Ob
- 4 hlášení polohy (postupné odesílání) 4PR
- 4 hlášení polohy + technika minimální hodnoty časové značky 4PR+minT
- 3 hlášení polohy (postupné odesílání) 3PR
- 3 hlášení polohy + technika minimální hodnoty časové značky 3PR+minT
- Kritický vztah konf. int. – restriktivní vzhledem k délce vlaku KriRDv
- Kritický vztah konf. int. – restriktivní vzhledem k čelům vozidel KriRCv
- Kritický vztah konf. int. – s překryvem KriPr

Ovlivňující faktor	Úroveň realizace RBC (v jaké úrovni je možné určit konkrétní hodnoty)		Ovlivňuje metodu
		Popis, poznámka, komentář	
a_{\max}	SA	Největší možné zrychlení z vozidel vybavených ETCS, která přichází v oblasti příslušné RBC v úvahu.	Lkrit
b_{\max}	SA	Největší možné odrychlení z vozidel vybavených ETCS, která přichází v oblasti příslušné RBC v úvahu.	Lkrit
$\min(\Delta t_{\text{trans}}(\text{RBC} - \text{OBU}))$ $\min(\Delta t_{\text{trans}}(\text{OBU} - \text{RBC}))$	GP	Vlastnosti vrstev RBC zajišťující služby pro FA (pro CL).	Lkrit
	SA	Vlastnosti konkrétního komunikačního řetězce mezi RBC a OBU	4PR+minT 3PR+minT
$\min(L_{\text{TRAIN}})$	SA	Minimální možná délka vozidla vybaveného ETCS, které přichází v oblasti příslušné RBC v úvahu.	NekRCv NekPr KriPr
$l(\text{BG01-BG02}),$ $l(\text{BG02-BG03})$... $l(\text{BG}(n-1)\text{-BG}(n))$	SA	<i>Přepočítání vzdáleností k jedné referenci</i> Databáze vzájemných vzdáleností mezi balízkovými skupinami, u kterých připadá přepočítání v úvahu.	NekRDv NekRCv NekPr
$\Delta l_{01-02}, \Delta l_{02-03} \dots \Delta l_{(n-1)-n}$	SA	<i>Nepřesnost plynoucí z přepočtu vzdáleností</i> Databáze nepřesností určení vzájemných vzdáleností mezi balízkovými skupinami nebo vztah definující nepřesnost podle konkrétní hodnoty vzdálenosti	Lkrit 4PR 4PR+minT 3PR 3PR+minT
$\Delta t_{\text{reverse}}^{\text{DRIVER}}$	SA	Minimální doba potřebná pro provedení úkonů na vozidle k jízdě opačným směrem.	Lkirt-Ob

Tab. 4-9: Rozdělení vlivů působících na jednotlivé metody podle příslušnosti možností určení jejich konkrétních hodnot k jednotlivým úrovním realizace RBC.

Je nutné zdůraznit, že *úroveň realizace* je odlišná od postupu realizace. Úroveň realizace nemá primárně vztah k časové posloupnosti kroků, na jejímž konci je plně funkční a nainstalovaný systém. Logická posloupnost je sice od GP ku SA, přesněji bez dokončení GP nelze dokončit GA, a bez jejího dokončení nelze zase dokončit SA, ale okamžik zahájení prací na jednotlivých úrovních realizace není nezbytně podmíněn dokončením úrovně předchozí. Např. vlastnosti komunikačních subsystémů a sítí mohou být analyzovány a může být zahájena i jejich realizace dříve, než je vůbec dokončen jediný HW element komponenty, která bude takovou sít' využívat.

4.2.15 Přehled navazujících činností ve vztahu k jednotlivým metodám

V tabulce Tab. 4-10 je uveden přehled navazujících činností, pro – zejména kvantitativní – následné posouzení jednotlivých metod. Některé činnosti odpovídají položkám v Tab. 4-9.

	Činnost	Ref. (článek této práce)	Dotčená metoda (zkratky viz 4.2.14)	Relevantní úroveň realizace RBC pro vykonání dané činnosti.
01	Analytické stanovení minimálních možných zpoždění při přenosu mezi CL RBC a OBU (oba směry toku dat).	4.1.3 4.1.4 4.2.10 4.2.11	Lkrit 4PR+minT 3PR+minT	GP, SA
02	Analytické stanovení mezního kritického zrychlení a mezního brzdného odrychlení.	4.1.5	Lkrit	SA
03	Kvantitativní analýza použitelnosti metody Lkrit pro případ malých zpoždění při přenosu a zpracování a mezi hlášeními polohy navzájem.	4.2.4 4.2.8	Lkrit	GA
04	Kvantitativní analýza použití techniky minimální hodnoty časové značky, ze které by měl vyplynout způsob vyvolání odeslání následujícího PR (2. skupina resp. 2. a 3. PR) z OBU	4.2.10 4.2.11	4PR+minT 3PR+minT	GA
05	Analýza vlivů a samotných dob nezbytných pro opačný pohyb a změnu orientace vozidla podle jednotlivých módů OBU, typů vozidel a provozních pravidel.	4.2.7 4.2.8	Lkrit	GA, SA
06	Podrobnější analýza problému opačného směru zejména v souvislosti s jízdou vozidel vzájemně různými směry (odjezdy vozidel ze staniční koleje rozdílnými směry, přiblížení vozidel při spojování).	4.2.7	Lkrit	GA
07	Výběr kritérií pro posouzení vztahů mezi konfidenčními intervaly (pro nekritický odhad pořadí vozidel i pro kritický vztah konfidenčních intervalů). Může záviset na provozních situacích, stavech řídicího systému (ETCS, stavědla, ...).	4.2.2 4.2.5	NekRDv NekRCv NekPr KriRDv KriRCv KriPr	GA, SA
08	Výběr vhodné metody korekce polohy podle specifických provozních situací řízeného dopravního procesu a stavů řídicího systému (ETCS, stavědla, ...).	Krok γ	Lkrit 4PR 4PR+minT 3PR 3PR+minT	GA
09	Provést analýzu rizika v souvislosti s kompromisem mezi jistotou v určení pořadí a dostupností pozitivního výsledku.	4.2.6	Vše	GA
10	Analýza vazby na ostatní funkce CL RBC	4.2.1	Vše	GA

Tab. 4-10: Přehled navazujících činností

5. ZÁVĚR

Prezentované analýzy hlášení polohy, jejich vzájemný vztah jak po stránce ohlášených poloh, tak po stránce vlivů zpoždění, a s tím souvisejících možných metod vyhodnocení pořadí vozidel, ukazují dva hlavní vzájemně provázané rysy tohoto problému:

- Potřebu porovnávání samotných informací o poloze, s uvažováním jejich tolerancí vznikajících vlivem nepřesností měření ujeté vzdálenosti na vozidlech a nepřesností v zaměření poloh balízových skupin.
- Potřebu korekcí těchto informací vyvolanou obecně různými okamžiky výskytu vozidel v ohlášených polohách.

V disertační práci popsany způsob určení pořadí vozidel, na základě hlášení polohy, představuje postup složený z dílčích kroků, v nichž se nabízí uplatnění více variant metod nebo kritérií naplňujících uvedené potřeby.

Při porovnání informací o poloze lze uplatnit řešení této potřeby v rozsahu od naprosté restrikce, co do možnosti průniku jakékoliv z částí infrastruktury obsazených každým z vozidel, až po nejrozsáhlejší možný průnik konfidenčních intervalů, při kterém je mezi minimální uvažovaná délka vozidla vybaveného ETCS.

V práci navržené a diskutované metody korekce polohy lze rozdělit do dvou hlavních skupin. První z nich představuje metody, ve kterých se na základě posledních známých údajů o vozidlech (rychlost, mód OBU, směr jízdy) provádí kritický odhad změny polohy vozidel dle mezních parametrů pohybu (zrychlení, brzdění), a to v časových intervalech stanovených podle kritických odhadů zpoždění při přenosu a zpracování. Do druhé skupiny patří metody, které korekci polohy provádí na základě opětovného hlášení polohy od obou, nebo případně jen od jednoho z vozidel.

Přestože výsledky disertační práce jsou čistě analytické a nevyskytují se v nich, až na výjimky, žádné konkrétní kvantitativní závěry, může se uvažování některých vlivů odchylek a nepřesností, vznikajících v procesu určování polohy jednotlivých vozidel, a následně v určování jejich pořadí, zdát jako přemrštěné. Je nutné si ale uvědomit, že zpoždění v komunikační smyčce RBC – OBU má standardně hodnotu v řádu jednotek sekund, přičemž vozidlo, které se pohybuje rychlostí jen 20 km/h, ujede během 1 sekundy dráhu přes 5 metrů, vozidlo zrychlující z klidu, s uvažovaným mezním zrychlením $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, dosáhne po 3 sekundách vzdálenosti 40 metrů a po 6 sekundách vzdálenosti 160 m. Na druhou stranu trojí vykonání komunikačních smyček RBC – OBU – RBC, potřebné při metodě tří hlášení polohy

(v nejjednodušší variantě bez minimální hodnoty časové značky), běžně povede k době trvání určení pořadí 10 až 15 sekund, což je vzhledem k dopravně-technologickým procesům doba nezanedbatelná.

Autor se tedy ve své práci zaměřil téměř výhradně na analytické podchycení všech možných vlivů s podrobným vydefinováním způsobu, jakým působí na zkoumaný problém. Stejně tak i možné způsoby eliminace negativních důsledků těchto vlivů jsou diskutovány z čistě analytického pohledu bez kvantitativních závěrů. Nebylo snahou nalézt optimální a jednoznačné řešení problému určení pořadí vozidel, ale pokud možno úplně podchytit vlivy, které na určování pořadí vozidel, na základě hlášení polohy, působí a definovat způsob působení těchto vlivů.

Pro jednoznačný výběr metody určení pořadí vozidel vhodné k reálné implementaci v příslušných podmínkách je provedení navazujících kvantitativních analýz nezbytné. Takový jednoznačný výběr však již vyžaduje získání informací o konkrétních vlastnostech jak systémů, prvků a objektů v okolí RBC, tak i detaily o architektuře samotné RBC, což je nad rámec práce jednotlivce, a stává se tak více problémem spolupráce týmů řešitelů a jejich řízení.

Určité otázky může vyvolat snaha minimalizovat náročnost výpočtů realizovaných v CL RBC. Zejména jde o snahu vyloučit součiny a podíly, které není problém v běžných řídicích systémech realizovat. V případě zabezpečovacího systému, dle ČSN EN 50 126 (2001), EN 50 129 (2001) a zejména EN 50 128 (2001), však může být realizace náročnějších aritmetických operací problém. Příčinou je komplikovanost prokázání chování v případě rozsáhlých stavových prostorů, které aritmetické operace nad mnohaprvkovými množinami hodnot představují. Řešením může být právě omezení provozních situací, a tím snížení množství hodnot, které pro příslušné aritmetické operace přichází v úvahu.

Určitou pozornost zasluhuje i grafická semi-formální metoda analýzy problému, tj. časově-polohová analýza. Disertační práce může posloužit i jako inspirace pro rozvoj tohoto analytického přístupu. Autor považuje za velmi přínosné, aby takovou analytickou techniku dokázaly podporovat nástroje pro modelování a analýzu pomocí metodiky UML.

LITERATURA

- ARLOW, Jim – NEUSTADT, Ila. UML2 a unifikovaný proces vývoje aplikací: Objektově orientovaná analýza a návrh prakticky. 1. vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2007. 567 s. ISBN 978-80-251-1503-9.
- CIMATTI, A. – ROVERI, M. – SUSI, A. ETCS requirements specification and validation : the methodology. ERA, 2008. 48 s.
- Chinese Train Control System (WIKIPEDIA) [online]. Wikipedia The free encyclopedia [cit. srpen 2010]. Dostupné na: <http://en.wikipedia.org/wiki/Chinese_Train_Control_System>
- COCKBURN, Alistair. Use Cases: Jak efektivně modelovat aplikace. 1. vyd. Brno: CP Books, a. s., 2005. 262 s. ISBN 80-251-0721-3.
- ERA. ERTMS Current Baseline [online]. European Railway Agency [cit. srpen 2010]. Dostupné na: <<http://www.era.europa.eu/Core-Activities/ERTMS/Pages/ERTMSCurrentBaseline.aspx>>
- FRANEKOVÁ, M. – et al. Komunikačná bezpečnosť priemyselných sietí. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiliné, 2007. 272 s. Vedecké monografie. ISBN 978-80-8070-715-6
- KANISOVÁ, Hana – MÜLLER, Miroslav. UML srozumiteľně. 2. vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2006. 176 s. ISBN 80-251-1083-4.
- KUNHART, Milan. – OUŘEDNÍČEK, J. Systém ERTMS/ETCS a přizpůsobení stávající železniční zabezpečovací infrastruktury v ČR pro jeho aplikaci. In ŽEL 2004. 27. – 28. 5. Žilinská univerzita v Žiliné. Žilina 2004. sborník (1. díl) s. 135–144. ISBN 80-8070-249-7
- KUNHART, Milan. Systémový návrh aplikace ERTMS/ETCS L2 v ČR. *Habilitační práce*. Univerzita Pardubice, DFJP. Pardubice 2005.
- MEYER ZU HÖRSTE, Michael. Methodische Analyse und generische Modellierung von Eisenbahnleit- und -sicherungssystemen. Braunschweig: TU-BS iVA, 2004. 206 s. ISBN 3 18 357112 9. (Německy)
- MOTYČKA, P. – et al. JA_ETCS_ApproachSection : Analysis of the function safety “Cancellation of the non passed train route locking” version 1.04 : Czech ETCS pilot project [soubor formátu *.doc]. AZD & ASTS, 2010-03-18. *Neveřejný dokument*.
- OUŘEDNÍČEK, J. Eurobalíza – vlastnosti, použití, jazyk ETCS. In Aplikace ERTMS/ETCS v ČR. 25. – 26. 10. 2004. Univerzita Pardubice, DFJP, KEEZ. Pardubice 2004. s. 68 – 77. ISBN 80-7194-699-0

- OUŘEDNÍČEK, J. Eurobalíza – vlastnosti, použití, jazyk ETCS [online]. Konference Aplikace ERTMS/ETCS v ČR [cit. srpen 2010a]. Dostupné na: <<http://www.etcs.cz/etcs2004/soubory/ourednicek.pps>>
- OUŘEDNÍČEK, J. – MAREK, J. – KUNHART, Michal. Use Cases as a Semi-formal way of description of the ETCS functional behaviour. In 5th International Scientific Conference „Theoretical and Practical Issues in Transport“ [sborník na CD], 11. – 12. 2. 2010. Univerzita Pardubice, DFJP. Pardubice 2010b. s. 79 – 86. ISBN 978-80-7395-245-7
- PACHL, Joern. Railway Operation and Control. 1. vyd. VTD Rail Publishing, 2002. 255 s. ISBN 0-9719915-1-0
- PT-RBC. RBC ETCS : Specifikace funkčních požadavků – Případy užití. AŽD Praha s.r.o. 2009-02-06. *Neveřejný dokument*.
- SCHMULLER, Joseph. Myslíme v jazyku UML: knihovna programátora. Přeložil Jiří Hynek. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, spol. s r. o., 2001. 359 s. ISBN 80-247-0029-8.
- vyvojar.cz. Obrázek sekvenčního diagramu [online]. www.vyvojar.cz [cit. srpen 2010]. Dostupné na: <<http://www.vyvojar.cz/%28X%281%29%29/Articles/521-castle-dynamicproxy.aspx?CommentMode=tree>>
- UNIFE. ETCS projects [online]. ERTMS website [cit. srpen 2010]. Dostupné na: <<http://www.ertms.com/2007v2/projects.html>>
- ZAHRADNÍK, J. – RÁSTOČNÝ, K. – KUNHART, Milan. Bezpečnost železničných zabezpečovacích systémov. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žilíně, 2004. 276 s. Vedecké monografie. ISBN 80-8070-296-9

SPECIFIKACE SYSTÉMU ETCS

- ODOMETER FFFIS*. ERTMS USERS GROUP. 97E2675B : Version 5- [soubor formátu *.pdf]. Brussels, 1998-07-13. [cit. srpen 2010]. Dostupné na: <http://www.era.europa.eu/Document-Register/Documents/B4-97e2675-%20_clean_.pdf>
- S-026-1 v230*. UNISIG. ERTMS/ETCS - Class 1 : System Requirements Specification : Chapter 1 Introduction : SUBSET-026-1 version 2.3.0 [soubor formátu *.doc]. UNISIG, 2006-02-24. [cit. srpen 2010]. Dostupné na: <<http://www.era.europa.eu/Document-Register/Documents/SUBSET-026-SRS%20230.zip>>
- S-026-2 v230*. UNISIG. ERTMS/ETCS - Class 1 : System Requirements Specification : Chapter 2 Basic System Description : SUBSET-026-2 version 2.3.0 [soubor formátu *.doc]. UNISIG, 2006-02-24. [cit. srpen 2010]. Dostupné na: <<http://www.era.europa.eu/Document-Register/Documents/SUBSET-026-SRS%20230.zip>>

- S-026-3 v230*. UNISIG. ERTMS/ETCS - Class 1 : System Requirements Specification :
Chapter 3 Principles : SUBSET-026-3 version 2.3.0 [soubor formátu *.doc]. UNISIG,
2006-02-24. [cit. srpen 2010]. Dostupné na:
<<http://www.era.europa.eu/Document-Register/Documents/SUBSET-026-SRS%20230.zip>>
- S-026-4 v230*. UNISIG. ERTMS/ETCS - Class 1 : System Requirements Specification :
Chapter 4 Modes and Transitions : SUBSET-026-4 version 2.3.0 [soubor formátu *.doc].
UNISIG, 2006-02-24. [cit. srpen 2010]. Dostupné na:
<<http://www.era.europa.eu/Document-Register/Documents/SUBSET-026-SRS%20230.zip>>
- S-026-5 v230*. UNISIG. ERTMS/ETCS - Class 1 : System Requirements Specification :
Chapter 5 Procedures : SUBSET-026-5 version 2.3.0 [soubor formátu *.doc]. UNISIG,
2006-02-24. [cit. srpen 2010]. Dostupné na:
<<http://www.era.europa.eu/Document-Register/Documents/SUBSET-026-SRS%20230.zip>>
- S-026-7 v230*. UNISIG. ERTMS/ETCS - Class 1 : System Requirements Specification :
Chapter 7 ERTMS/ETCS language : SUBSET-026-7 version 2.3.0
[soubor formátu *.doc]. UNISIG, 2006-02-24. [cit. srpen 2010]. Dostupné na:
<<http://www.era.europa.eu/Document-Register/Documents/SUBSET-026-SRS%20230.zip>>
- S-026-8 v230*. UNISIG. ERTMS/ETCS - Class 1 : System Requirements Specification :
Chapter 7 Messages : SUBSET-026-8 version 2.3.0 [soubor formátu *.doc]. UNISIG,
2006-02-24. [cit. srpen 2010]. Dostupné na:
<<http://www.era.europa.eu/Document-Register/Documents/SUBSET-026-SRS%20230.zip>>
- S-036 v241*. UNISIG. ERTMS/ETCS - Class 1 : FFFIS for Eurobalise : SUBSET-036 version
2.4.1 [soubor formátu *.pdf]. UNISIG, 2007-09-27. [cit. srpen 2010]. Dostupné na:
<<http://www.era.europa.eu/Document-Register/Documents/SUBSET-036%20v241.pdf>>
- S-037 v230*. UNISIG. ERTMS/ETCS - Class 1 : Euroradio FIS : SUBSET-037 version 2.3.0
[soubor formátu *.pdf]. UNISIG, 2005-10-14. [cit. srpen 2010]. Dostupné na:
<<http://www.era.europa.eu/Document-Register/Documents/Subset-037%20v230.pdf>>
- S-041 v210*. UNISIG. ERTMS/ETCS - Class 1 : Performance Requirements for
Interoperability : SUBSET-041 version 2.1.0 [soubor formátu *.pdf]. UNISIG,
2005-11-23. [cit. srpen 2010]. Dostupné na:
<<http://www.era.europa.eu/Document-Register/Documents/SUBSET-041%20v210.pdf>>
- S-088-2 Part 2 v230*. UNISIG. ERTMS/ETCS - Class 1 : ETCS Application Level 2 - Safety
Analysis : Part 2 - Functional Analysis : SUBSET-088-2 Part 2 version 2.3.0
[soubor formátu *.pdf]. UNISIG, 2008-04-02. [cit. srpen 2010]. Dostupné na:
<<http://www.era.europa.eu/Document-Register/Documents/SUBSET-088%20v2.3.0.zip>>

S-091 v250. UNISIG. ERTMS/ETCS - Class 1 : Safety Requirements for the Technical Interoperability of ETCS in Levels 1 & 2 : SUBSET-091 version 2.5.0 [soubor formátu *.pdf]. UNISIG, 2009-05-05. [cit. srpen 2010]. Dostupné na: <<http://www.era.europa.eu/Document-Register/Documents/SUBSET-091v2.5.0.pdf>>

NORMY

ČSN EN 50 126. Drážní zařízení – Stanovení a prokázání bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti (RAMS). Praha : Český normalizační institut, 2001.

EN 50 128. Railway applications – Communications, signalling and processing systems – Software for railway control and protection systems. Brussels : CENELEC, 2001.

EN 50 129. Euro pean standard Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Safety related electronic systems for signalling. Brussels : CENELEC, 2003.

EN 50 159-1. Railway applications - Communication, signalling and processing systems : Part 1 Safety related communication in closed transmission systems. Brussels : CENELEC, 2001.

EN 50 159-2. Railway applications - Communication, signalling and processing systems : Part 2 Safety related communication in open transmission systems. Brussels : CENELEC, 2001.

PUBLIKAČNÍ ČINNOST AUTORA

OUŘEDNÍČEK, J. Integrační testy komponent stacionární části pilotního projektu ETCS v ČR. In seminář Elektrotechnická zařízení v dopravě [sborník na CD]. 12. 2. 2010 Univerzita Pardubice, DFJP. Pardubice 2010. ISBN 978-80-7395-237-2

OUŘEDNÍČEK, J. – MAREK, J. – KUNHART, Michal. Use Cases as a Semi-formal way of description of the ETCS functional behaviour. In 5th International Scientific Conference „Theoretical and Practical Issues in Transport“ [sborník na CD]. 11. – 12. 2. 2010. Univerzita Pardubice, DFJP. Pardubice 2010. s. 79–86. ISBN 978-80-7395-245-7

KUNHART, Michal – MAREK, J. – OUŘEDNÍČEK, J. Případy užití jako první krok specifikace funkčních požadavků na aplikaci ETCS. In EURO – ŽEL 2009. 3. – 4. 6. 2009. Žilinská univerzita v Žilině. Žilina 2009. sborník (1.díl) s. 279–288. ISBN 978-80-554-0023-5

OUŘEDNÍČEK, J. – SLOVÁK, R. – SCHNIEDER, E. Functional behaviour Modeling of the Interlocking – RBC Interface signalling system by means of Colored Petri Nets, In FORMS/FORMAT 2007 6th Symposium Formal Methods for Automation and Safety in Railway and Automotive Systems. 25. – 26. 1. 2007. Technical University of Braunschweig, IVA; GZVB – Traffic Transport Telematics. Braunschweig 2007. s. 52 – 63. ISBN 13: 978-3-937655-09-3

OUŘEDNÍČEK, J. – SLOVÁK, R. – SCHNIEDER, E. Functional behaviour Modeling of the IRI signalling system by means of CPN, In 4th International Scientific Conference „Challenges in Transport and Communication“. 14. – 15. 9. 2006. Univerzita Pardubice, DFJP. Pardubice 2006. s. 1357 – 1362. ISBN 80-7194-880-2

KUNHART, Milan. – OUŘEDNÍČEK, J. Algoritmizace úloh rozhraní mezi zabezpečovacím zařízením a RBC. In ŽEL 2005. 24. – 25. 5. 2005. Žilinská univerzita v Žilině. Žilina 2005. sborník (1. díl) s. 128 – 137. ISBN 80-8070-399-X

GREGORA, S. – OUŘEDNÍČEK, J. Elektrotechnika a zabezpečovací technika v dopravní infrastruktuře. 1. vyd. Univerzita Pardubice. Pardubice 2005. 128 s. ISBN 80-7194-768-7 (brož.)

OUŘEDNÍČEK, J. Eurobalíza – vlastnosti, použití, jazyk ETCS. In Aplikace ERTMS/ETCS v ČR. 25. – 26. 10. 2004. Univerzita Pardubice, DFJP, KEEZ. Pardubice 2004. s. 68 – 77. ISBN 80-7194-699-0

OUŘEDNÍČEK, J. Systém ERTMS/ETCS, některé aspekty jeho aplikace na železniční infrastruktuře v ČR. In XXV. seminář Katedry teoretické elektrotechniky VŠB-TU OSTRAVA. 16. 6. 2004. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Ostrava 2004. s. 72 – 77. ISBN 80-248-0603-7

KUNHART, Milan. – OUŘEDNÍČEK, J. Systém ERTMS/ETCS a přizpůsobení stávající železniční zabezpečovací infrastruktury v ČR pro jeho aplikaci. In ŽEL 2004. 27. – 28. 5. Žilinská univerzita v Žilině. Žilina 2004. sborník (1. díl) s. 135 – 144. ISBN 80-8070-249-7

SEZNAM ZKRATEK A POUŽITÝCH POJMŮ

ZKRATKY

AU	Antenna Unit – Anténní jednotka
ACK	Acknowledgement – Potvrzení
BTS	Base Transceiver Station – Základnová stanice sítě GSM(-R)
CL	Control Layer – Vrstva funkčních algoritmů nebo také řídicí vrstva architektury zabezpečovacího systému.
CL RBC	Vrstva funkčních algoritmů nebo-li řídicí vrstva v architektuře subsystému RBC
DMI	Driver Machine Interface – Rozhraní mezi mobilní částí ETCS a strojvedoucím
EoA	End of Authority – Konec oprávnění k jízdě
ERA	European Railway Agency – Evropská železniční agentura
ERTMS/ETCS	European Rail Traffic Management System / European Train Control System
ETCS L1, L2, L3	První, druhá, třetí aplikační úroveň ETCS
EU	Evropská unie
EVC	European Vital Computer – Bezpečné logické jádro mobilní části ETCS
FA	Funkční algoritmy
FS	Full Supervision – Plný dohled. Mód OBU.
GA	Generická aplikace
GP	Generický produkt
GSM-R	Global System for Mobile Communications-Railway
HMI	Human Machine Interface – Rozhraní mezi obsluhou a technickým systémem. Používá se zejména v souvislosti se stacionárními systémy.
IS	Isolation – Izolovaný. Mód OBU.
LRBG	Last Relevant Balise Group – Poslední platná balízová skupina
LS	Národní vlakový zabezpečovač používaný na železnicích České a Slovenské republiky.

Mess	Zpráva, objekt jazyka ETCS.
MMI	Man Machine Interface. Starší ekvivalent zkratk DMI a HMI.
MSC	Mobile Switch Centre – Ústředna sítě GSM(-R)
NP	No Power – Ztráta napájení. Mód OBU.
NL	Non Leading – Přípřež, postrk, další hnací jednotka v soupravě s vlastním strojvedoucím. Mód OBU.
OBU	Onboard Unit – Palubní jednotka. Označení mobilní části systému ETCS ve smyslu funkční jednotky.
OS	On Sight – Jízda podle rozhledu. Mód OBU.
Pack	Paket, objekt jazyka ETCS.
PR	Position Report – Hlášení polohy.
PT	Post Trip – Opuštění módu Trip. Mód OBU.
RAMS	Souhrnné označení parametrů bezporuchovost, pohotovost, udržovatelnost a bezpečnost jako klíčových charakteristických vlastností železničních zabezpečovacích systémů.
RBC	Radio Block Centre – Radiobloková centrála ETCS.
RV	Reversing – Jízda zpět v předem definovaném úseku. Mód OBU.
SA	Specifická aplikace
SB	Stand By – Pohotovostní režim. Mód OBU.
SE	STM European. Mód OBU.
SF	System Failure – Kritická porucha. Mód OBU.
SH	Shunting – Posun. Mód OBU.
SfL	Safety Layer – Vrstva zajištění technické bezpečnosti a zabezpečení přenášených informací architektury zabezpečovacího systému.
SL	Sleeping – Dálkově řízená hnací jednotka v soupravě. Mód OBU.
SN	STM National – Dohled národního vlakového zabezpečovacího systému. Mód OBU.
SR	Staff Responsible – Jízda pod zodpovědností strojvedoucího. Mód OBU.
SSP	Static Speed Profile – Statický rychlostní profil

STM	Specific Transmission Module – Zvláštní přenosový modul. Umožňuje vazbu funkcionalit ETCS a národního vlakového zabezpečovacího systému.
TAF	Task Ahead Free – Potvrzení volnosti infrastruktury před čelem vozidla.
TR	Trip – Překročení mezní vzdálenosti, vede k nouzovému brzdění. Mód OBU.
UML	Unified Modelling Language – jednotný modelovací jazyk pro semi-formální analýzu, specifikaci, popis a návrh systémů.
UN	Unfitted – Nevybavená popř. vypnutá stacionární část ETCS. Mód OBU.
UNISIG	Označení sdružení v Evropě působících významnější výrobců železničních zabezpečovacích systémů.

POUŽITÉ POJMY A DEFINICE

Aplikační podmínky	Pravidla, předpisy, metody a popř. nástroje, které stanovují jakým způsobem použít příslušnou vlastnost, modul či komponentu, aby její použití nevedlo k jiné funkci, než pro jakou byla určena.
Aplikační úroveň ETCS <i>ETCS application level</i>	Určuje míru provázání systému ETCS se stávajícími zabezpečovacími systémy a podíl ETCS na celkové úrovni zabezpečení řízeného dopravního procesu.
Balíza	Viz <i>Eurobalíza</i>
Balízová skupina <i>Balise Group</i>	Jedna balíza nebo seskupení až osmi balíz, které ve 2. a 3. aplikační úrovni slouží téměř výhradně jako polohová a směrová (více balíz ve skupině) reference, ke které jsou vztaženy polohové a směrové parametry významových dat předávaných mezi RBC a OBU.
Bezpečná délka vozidla <i>Safe Train length (L_TRAININT)</i>	Vzdálenost mezi polohou minimálního bezpečného konce v okamžiku (posledního) hlášení celistvosti vlaku a aktuální polohou odhadovaného čela vozidla.
Celkové maximální zpoždění	Největší možná délka časového intervalu (v dané situaci) mezi výskytem jednoho vozidla v ohlášené poloze a přijetím hlášení polohy od OBU druhého vozidla v CL RBC.
Celkové minimální zpoždění	Nejkratší možná délka časového intervalu (v dané situaci) mezi výskytem jednoho vozidla v ohlášené poloze a přijetím hlášení polohy od OBU druhého vozidla v CL RBC.

Časová značka <i>Time stamp</i>	Časový údaj uvedený ve významových datech zpráv posílaných mezi RBC a OBU. Ve zprávách odesílaných z OBU odpovídá hodnotě hodin OBU v okamžiku odeslání zprávy a ve zprávách odesílaných z RBC je časová značka určena podle kritického odhadu času hodin OBU v RBC dle zpráv v RBC z OBU přijímaných.
Časově-polohová analýza	Grafické, semi-formální znázornění závislosti mezi funkčním chováním komponent (subsystémů) řídicího systému a polohou vozidel.
Degradovaný mód	Některý z módů OBU, ve kterém nenese ETCS plnou zodpovědnost za bezpečný dohled nad pohybem vozidla.
Dráhová rychlost	Označení v^* popř. V^* , jednotky [m/s] popř. [km/h]. Pro účely této práce je to rychlost jako funkce aktuální polohy, tedy: $v^*(l) = \left(\frac{dt(l)}{dl} \right)^{-1}$, kde t představuje čas jakožto funkci vzdálenosti. Pro čas potřebný pro překonání dráhy l při dráhové rychlosti vyjádřené funkcí $v^*(l)$ poté platí: $t(l) = \int_{l_0}^l \frac{1}{v^*(\lambda)} d\lambda + t(l_0)$, kde l_0 je počáteční dráha a čas t je funkcí ujeté dráhy $t = t(l)$.
Druhá skupina hlášení polohy	Slouží ke kritické modifikaci údajů o poloze vozidel z <i>první skupiny hlášení polohy</i> .
Energetický signál anténní jednotky	Signál, který permanentně vysílá anténní jednotka vozidla vybaveného ETCS do prostoru mezi kolejnicemi. Tento signál slouží jako zdroj energie pro míjené Eurobalízy a zároveň je povel k odeslání telegramu, který je v Eurobalízách uložen, zpět do anténní jednotky.
ETCS marker board	Neproměnné návěstidlo, které označuje polohu, ve které se může potencionálně nacházet EoA. Přesné použití ETCS marker boardu je různé u různých železničních zpráv. Pro nasazení ETCS L2 v ČR se předpokládá použití jen v těch místech, kde se může vyskytovat EoA, ale nenachází se zde hlavní návěstidlo.
Eurobalíza (€balíza) <i>Eurobalise</i>	Zkráceně také jen balíza, je bodový přenosový prostředek systému ETCS, umožňující přenos proměnných informací ze stacionární části systému do části mobilní (tzv. přepínatelná balíza – 1. aplikační úroveň), případně předává jen neproměnné informace, a tak slouží pouze jako polohová reference (2. a 3. aplikační úroveň).

Evropský systém řízení železniční dopravy <i>European Rail Traffic Management System</i>	ERTMS – Jednotný nadřazený řídicí systém, obsahující technické i organizační prostředky, pro harmonizované řízení a organizování železniční dopravy v zemích Evropské unie. ETCS představuje podmnožinu ERTMS.
Evropské vlakové zabezpečovací zařízení <i>European Train Control System</i>	ETCS – Jednotný systém vlakového zabezpečovače s úplnou kontrolou rychlosti (ETCS L1 a L2), případně jednotný zabezpečovací systém vůbec (ETCS L3). Vydefinovaný pro zajištění interoperability železniční dopravy v rámci Evropské unie z hlediska řízení a zabezpečení.
Funkce určení pořadí vozidel	Hlavní náplň disertační práce. ☺
Funkční algoritmy	Algoritmy, které mají přímý vztah k řízenému dopravnímu procesu.
Generický	Znovu použitelný, opakovatelný při splnění definovaných podmínek. Také ve smyslu opozita ke <i>Specifický</i> (viz).
Generická aplikace <i>Generic Application</i>	Typ (třída) aplikace určená pro určitou množinu funkcí, která je, při dodržení aplikačních podmínek, opakovatelně použitelná pro různá specifická nasazení.
Generický produkt <i>Generic Product</i>	Takové vlastnosti, charakteristiky a parametry (HW komponenty, SW moduly), které při dodržení jejich aplikačních podmínek umožňují uplatnění pro více různých aplikací.
Hlášení polohy <i>Position Report</i>	Významová data (paket č. 0 nebo 1) předávaná z OBU do RBC, která obsahují informace o poloze vozidla a jeho směrových charakteristikách ve vztahu k poslední minuté balízové skupině a další údaje o stavu vozidla a OBU.
Hodnocení RAMS	Pojem zavedený pouze pro účely této práce. Souhrnně označuje všechny potřebné věcné i formální náležitosti týkající se daného systému, subsystému, komponenty vedoucí k završení všech aktivit, které umožní považovat daný systém, subsystém, komponentu za plnohodnotný železniční zabezpečovací systém ve smyslu relevantních evropských norem.
Interoperabilita	Schopnost transevropského konvenčního železničního systému umožňovat bezpečný a nepřerušovaný pohyb vlaků, které splňují požadované technické parametry pro tyto tratě. Tato schopnost spočívá na všech regulačních, technických a provozních podmínkách, které musejí být splněny, aby došlo k naplnění podstatných požadavků. Jinými slovy, jedná se o <i>přechodnost</i> železničních vozidel (vozů i hnacích vozidel) jak z pohledu technických, tak i provozních a legislativních hledisek.

Jazyk ETCS	Definice jednotného formátu významových dat přenášených mezi stacionární a mobilní částí ETCS. Objekty jazyka ETCS jsou Zprávy, telegramy, pakety a proměnné. Viz S-026-7 v230 (2006) a S-026-8 v230 (2006).
Jistota	V této práci ve smyslu jistoty či určitosti výskytu nějaké události nebo děje. Pokud je nějaký proces označen jako <i>jistý</i> , odpovídá míra nejistoty, tj. nevyskytnutí daného děje, hodnotě menší než tolerovaná četnost nebezpečí (ČSN EN 50 126, EN 50 129), a to nejen ve smyslu kvantitativním, ale zejména ve smyslu kvalitativním (expertního posouzení). Jistota je tedy relativní ve smyslu přístupů a úrovně poznání aktuálně akceptovaných v oblasti železničních zabezpečovacích systémů.
Jízda vpřed	Jízda v souladu s orientací vozidla.
Jízda zpět	Jízda proti směru orientace vozidla.
Komunikační smyčka	Přenos informací „tam a zpět“. Typicky CL RBC odešle informace OBU, která na základě jejich podnětu pošle CL RBC příslušnou odezvu.
Konfidenční interval <i>Confidence Interval</i>	Interval v okolí odhadovaného čela vozidla, ve kterém se, v okamžiku výskytu vozidla v ohlášené poloze, mohlo kdekoliv nacházet reálné čelo vozidla.
Kontaktování balízové skupiny	Vybuzení Eurobalíz balízové skupiny energetickým signálem z anténní jednotky vozidla a odeslání telegramu z těchto balíz, a to tak, že zpráva balízové skupiny přijatá vozidlem plní svůj účel. Z funkčního hlediska se jedná o situaci, kdy při míjení balízy jsou z ní na vozidlo přenesena konzistentní data.
Korekce	Viz <i>Kritická korekce</i>
Kritická korekce	Modifikace údajů o poloze uvažující mezní chování vozidla v příslušném časovém intervalu.
Maximální bezpečné čelo vlaku	Horní mez konfidenčního intervalu.
Maximální doložitelné zpoždění	Největší možná délka časového intervalu (v dané situaci) mezi výskytem vozidla v ohlášené poloze a přijetím hlášení polohy (s touto polohou) v CL RBC.
Minimální bezpečné čelo vlaku	Dolní mez konfidenčního intervalu.

Minimální bezpečný konec vlaku	Poloha určená rozdílem polohy minimálního bezpečného čela a absolutní délky vlaku (L_TRAIN). Minimální bezpečný konec je skutečně bezpečný, pouze pokud je k dispozici informace o celistvosti vlaku (S-026-3 v230, 2006, § 3.6.4.4.1). Viz také <i>Nejzazší nikoliv-bezpečná poloha konce vlaku</i> .
Minimální hodnota časové značky	Nejmenší hodnota časové značky ve zprávě hlášení polohy, která ještě dokládá, že hlášení polohy obsažené v této zprávě ohlašuje polohu jednoho vozidla, ve které se toto vozidlo vyskytlo, určité až po okamžiku výskytu druhého vozidla v poloze, která byla ohlášena v jeho hlášení polohy.
Minimální možné zpoždění	Nejkratší možná délka časového intervalu (v dané situaci) mezi výskytem vozidla v ohlášené poloze a přijetím hlášení polohy (s touto polohou) v CL RBC.
Mise <i>Mission</i>	Označení provozního výkonu vozidla proveditelného s větší či menší úrovní dohledu ETCS. Např. jízda vlaku z počáteční do koncové stanice s jednou nebo více úrovněmi dohledu, ale třeba i jen projetí jedné vlakové cesty. Začátek mise je charakterizován procedurou <i>Start of Mission</i> (S-026-5 v230, 2006, § 5.4) a konec mise procedurou <i>End of Mission</i> (S-026-5 v230, 2006, § 5.5).
Mobilní část ETCS <i>ETCS Onboard</i>	Případně také palubní část ETCS. HW celky, SW vybavení a obecně množiny funkcí ETCS situované na vozidle. Viz S-026-2 v230 (2006, § 2.5.2, § 2.5.3).
Mód OBU <i>Mode</i>	Stav mobilní části ETCS charakterizující míru rozdělení zodpovědnosti za dohled nad jízdou vozidla mezi ETCS (jako vlakový zabezpečovací systém) a strojvedoucího popř. jiné národní vlakové zabezpečovací systémy. Mód OBU lze tedy charakterizovat hlavně úrovní dohledu, jakou poskytuje. Mód, ve kterém se OBU nachází, závisí zejména na kvalitě i kvantitě informací o stavu infrastruktury, které jsou OBU dostupné, a na aktuálních provozních potřebách týkajících se konkrétního vozidla. Jednotlivé módy jsou definovány v S-026-2 v230 (2006).
Nekritický odhad pořadí vozidel	Odhad pořadí vozidel založený na údajích ze dvou hlášení polohy (od OBU každého vozidla jedno), které nebyly nijak korigovány.
Nejzazší nikoliv-bezpečná poloha konce vlaku	Poloha určená rozdílem polohy minimálního bezpečného čela a absolutní délky vlaku (L_TRAIN). Jedná se o nikoliv-bezpečný ekvivalent <i>minimálního bezpečného konce vlaku</i> (viz).
Nominální směr	Referenční směr balízové skupiny určený <i>rostoucím</i> interním číslem jednotlivých balíz v balízové skupině. Viz také <i>orientace balízové skupiny</i> .
Oblast ETCS L2	Část infrastruktury (nebo navazující části infrastruktury) po níž se může pohybovat vozidlo, vybavené mobilní částí ETCS pro 2. aplikační úroveň, pod dohledem ETCS.

Odhadované čelo vlaku	Poloha určená proměnnou D_LRBG ve vztahu k příslušné balízové skupině.
Odhadovaný konec vlaku	Poloha určená rozdílem odhadovaného čela a absolutní délky vlaku (L_TRAIN).
Odometrie	Funkce OBU (EVC a příslušných čidel) zajišťující bezpečné měření ujeté dráhy a rychlosti.
Orientace balízové skupiny	Referenční směrová informace balízové skupiny určená pořadím interních čísel jednotlivých balíz v balízové skupině (dvě a více balíz ve skupině) nebo ve vztahu k jiné balízové skupině popř. ve spolupráci s RBC (jednobalízová skupina). Viz <i>nominální směr a reverzní směr</i> .
Orientace vozidla	Směrová informace určující, pro jaký směr jízdy je aktivován ovládací pult vozidla.
Ovládací pult vozidla	Prvky obsluhované strojvedoucím umožňující ovládání alespoň pohonů a brzd vozidla. Neplést s DMI systému ETCS.
Pevné hodnoty dat	<i>Fixed Data Value</i> . Předdefinované hodnoty dat uložené v OBU.
Pořadí	V textu práce se tento pojem vyskytuje ve více významech, které jsou vždy určeny kontextem. Stanovení metod určení pořadí vozidel ve vztahu ke směru jejich jízdy popř. ve vztahu k určitému referenčnímu směru je hlavním výsledkem práce. Pojem se vyskytuje například v následujících významech: <ul style="list-style-type: none">• Pořadí vozidel (skutečné, nekriticky odhadované, určené)• Pořadí výskytu vozidel v ohlášených polohách• Pořadí přijetí hlášení polohy v CL RBC• Pořadí odeslání zpráv s parametry hlášení polohy do OBU
První skupina hlášení polohy	První dvě hlášení polohy (od OBU obou vozidel), pomocí nichž lze provést <i>nekritický odhad pořadí vozidel</i> .
Přenosové zpoždění	Viz <i>Zpoždění při přenosu</i>
Reálné čelo vlaku	Skutečná poloha čela vlaku.
Referenční bod balízové skupiny	Referenčním bodem balízové skupiny se myslí Eurobalíza v této skupině (s interním číslem 1), která slouží jako polohová reference.
Reverzní pohyb	Takový pohyb vozidla po změně směru jeho jízdy, při které nenastala změna orientace vozidla ani změna módu. (Neplést s módem <i>Reversing</i> – RV)

Reverzní směr	Referenční směr balízové skupiny určený <i>klesajícím</i> interním číslem jednotlivých balíz v balízové skupině. Viz také <i>orientace balízové skupiny</i> . Pro vyjádření opozitního směru jinak než v souvislosti s orientací balízové skupiny je použit v textu práce termín „opačný směr“.
Řízený dopravní proces	Stavy, děje a činnosti odehrávající se v železničním prostředí za jejichž bezpečné řízení nese úplnou nebo částečnou zodpovědnost určitá entita (systém nebo člověk) či množina entit. Měl by být jednoznačně definován vztah zodpovědnosti mezi konkrétními stavy, ději a činnostmi a konkrétními entitami.
Specifický	Jedinečný pro dané použití. Nelze použít jinak či jinde bez modifikace. Také ve smyslu opozita ke <i>Generický</i> (viz).
Specifická aplikace <i>Specific Application</i>	Jednoznačné nasazení systému či komponenty pro určité konkrétní podmínky (část infrastruktury, konkrétní vozidlo).
Stacionární část ETCS <i>ETCS Trackside</i>	HW celky, SW vybavení a obecně množina funkcí ETCS situovaná na infrastruktuře. Viz S-026-3 v230 (2006, § 2.5.1, § 2.5.3).
TAF procedura	Postup, při kterém OBU na základě žádosti RBC zobrazí na DMI žádost o potvrzení volnosti mezi čelem vlaku a nejbližší možnou potenciální polohou EoA (hlavní návěstidlo, <i>ETCS marker board</i>).
Určitost	Viz <i>Jistota</i> .
Úroveň realizace	Rozlišuje míru <i>generičnosti</i> resp. <i>specifičnosti</i> realizovaných částí (HW i SW) komponenty (subsystému, systému). Dle EN 50 129 (2001) se rozlišují tři úrovně realizace: <i>Generický produkt</i> (viz), <i>Generická aplikace</i> (viz) a <i>Specifická aplikace</i> (viz).
Vazební informace balízových skupin <i>Linking information</i>	Informace (paket č. 5) pomocí nichž informuje stacionární část systému ETCS část mobilní o balízových skupinách, které by měla při další jízdě kontaktovat. Tímto „zřetězením“ balíz je docíleno bezpečnostní relevance balízového souřadného systému a informačního toku z balízových skupin na infrastruktuře jako celku.
Vlak	Pojem se v práci používá zejména pro zajištění konzistence s anglickým pojmem, používaným ve specifikacích ETCS, <i>Train</i> . Tam, kde to není vyloženo matoucí nebo jinak nevhodné, je používán pojem <i>Vozidlo</i> (viz).

Vozidlo	Obecné označení železničního dopravního prostředku, který se může pohybovat po kolejích na předmětné části infrastruktury. V rámci této práce je tímto pojmem většinou myšleno jakékoliv vozidlo vybavené mobilní částí systému ETCS. Více specifický pojem <i>vlak</i> je pokud možno nahrazován pojmem vozidlo, protože z hlediska ETCS jsou podstatná i taková vozidla, která dle stávající národní železniční terminologie vlakem nejsou. Jedná se tedy o vlak, posunový díl nebo i odstavené vozy či odstavená hnací vozidla.
Výskyt vozidla v ohlášené poloze	Jedná se o časový okamžik, ve kterém se vozidlo reálně nachází v poloze, o které prostřednictvím hlášení polohy informuje RBC. Tento okamžik nelze ztotožňovat s okamžikem odeslání hlášení polohy z OBU, protože obecně v okamžiku, kdy OBU odesílá hlášení polohy, se již vozidlo nemusí nacházet v poloze, která je v hlášení polohy uvedena. Dle S-041 v210 (2005, § 5.3.1.3) může tento časový rozdíl tvořit až jednu sekundu.
Významová data	Informace přenášené mezi komponentami (systémy, subsystémy) vztahující se k řízenému dopravnímu procesu. Jedná se o informace předávané mezi funkčními algoritmy (CL vrstvami) jednotlivých komponent (systémů, subsystémů).
Vzájemný kritický vztah konfidenčních intervalů	Porovnání poloh konfidenčních intervalů po provedení kritických korekcí polohy. Pokud se volí varianta, kdy absolutní délka vlaku v tomto porovnání nehraje roli, pak se jedná o vztah mezi maximálním bezpečným čelem druhého vozidla a minimálním bezpečným čelem prvního vozidla.
Zpoždění při přenosu	<i>Ve smyslu používaném v této práci:</i> Časový interval, který uplyne mezi okamžikem odeslání zprávy z OBU a okamžikem jejího příjmu v CL RBC.
Zpoždění při zpracování	<i>Ve smyslu používaném v této práci:</i> Časový interval, který uplyne mezi okamžikem vzniku podnětu na vozidle (typicky přijetí zprávy, která má být potvrzena, nebo výskyt vozidla v ohlášené poloze) do okamžiku vzniku odezvy OBU na tento podnět (typicky odeslání zprávy z OBU).

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 2-1: OBECNÁ ARCHITEKTURA ETCS 2. APLIKAČNÍ ÚROVNĚ	9
OBR. 2-2: OBECNÁ ARCHITEKTURA MOBILNÍ ČÁSTI SYSTÉMU ETCS	10
OBR. 2-3: REFERENČNÍ VRSTVOVÝ MODEL BEZPEČNOSTNĚ RELEVANTNÍCH KOMPONENT A JEJICH VZÁJEMNÉ KOMUNIKACE	12
OBR. 2-4: HLÁŠENÍ POLOHY A PŘÍKLAD PŘÍRŮSTKOVÉ VZDÁLENOSTI V SSP	13
OBR. 2-5: OBU JAK SOUSEDNÍ KOMPONENTA Z HLEDISKA FUNKČNÍCH ALGORITMŮ RBC.....	16
OBR. 3-1: PŘÍKLAD SEKVENČNÍHO DIAGRAMU (VYVOJAR.CZ, 2010).....	21
OBR. 3-2: PŘÍKLAD ČASOVĚ-POLOHOVÉ ANALÝZY	22
OBR. 4-1: ČASOVĚ POLOHOVÁ ANALÝZA - PŘESNOST URČENÍ POLOHY VOZIDLA V RBC.....	26
OBR. 4-2: ODCHYLKA URČENÍ POLOHY ODVOZENÁ NA ZÁKLADĚ MINIMÁLNÍHO MOŽNÉHO ZPOŽDĚNÍ V KOMUNIKACI OBU – RBC.....	31
OBR. 4-3: URČENÍ MAXIMÁLNÍHO DOLOŽITELNÉHO ZPOŽDĚNÍ KOMUNIKACE RBC – OBU V RBC	32
OBR. 4-4: STANOVENÍ MAXIMÁLNÍHO DOLOŽITELNÉHO ZPOŽDĚNÍ KOMUNIKACE RBC – OBU V CL RBC.....	34
OBR. 4-5: ODCHYLKA URČENÍ POLOHY ODVOZENÁ NA ZÁKLADĚ MAXIMÁLNÍHO DOLOŽITELNÉHO ZPOŽDĚNÍ.	36
OBR. 4-6: PŘEHLED VYHODNOCENÍ POLOHY PŘI UVAŽOVÁNÍ VŠECH RELEVANTNÍCH NEPŘESNOSTÍ A ODCHYLEK.....	41
OBR. 4-7: PŘEHLED STANOVENÍ NEJKRATŠÍ MOŽNÉ ZMĚNY POLOHY.	42
OBR. 4-8: PŘEHLED STANOVENÍ NEJZAZŠÍ MOŽNÉ ZMĚNY POLOHY.....	42
OBR. 4-9: POSTUP URČENÍ POŘADÍ VOZIDEL.	44
OBR. 4-10: KONFIDENČNÍ INTERVAL A SOUVISEJÍCÍ PARAMETRY.	45
OBR. 4-11: RESTRIKTIVNÍ VZTAHY KONFIDENČNÍCH INTERVALŮ PRO NEKRITICKÝ ODHAD POLOHY.....	47
OBR. 4-12: VARIANTY VZTAHŮ KONFIDENČNÍCH INTERVALU S PŘEKRYVEM PRO NEKRITICKÝ ODHAD POŘADÍ VOZIDEL.	48
OBR. 4-13: VZTAHY S PŘEKRYVEM VS. VZTAHY ODHADOVANÝCH ČEL.	48
OBR. 4-14: PŘEPOČET VZDÁLENOSTÍ K JEDNÉ REFERENCI.....	49
OBR. 4-15: URČENÍ VZÁJEMNÉHO POŘADÍ VOZIDEL PŘI NEBEZPEČÍ ZÁMĚNY – ČASOVÉ PARAMETRY.	52
OBR. 4-16: URČENÍ VZÁJEMNÉHO POŘADÍ VOZIDEL PŘI MOŽNOSTI ZÁMĚNY – POLOHOVÉ PARAMETRY.	55
OBR. 4-17: URČENÍ VZÁJEMNÉHO POŘADÍ VOZIDEL PŘI NEBEZPEČÍ ZÁMĚNY – POLOHOVÉ PARAMETRY, ZJEDNODUŠENÍ VÝPOČTU.	57
OBR. 4-18: POŘADÍ PŘIJETÍ HLÁŠENÍ POLOHY A NEKRITICKÝ ODHAD POŘADÍ VOZIDEL JSOU OPAČNÉ.	58
OBR. 4-19: POŘADÍ PŘIJETÍ HLÁŠENÍ POLOHY A NEKRITICKÝ ODHAD POŘADÍ VOZIDEL SI ODPOVÍDAJÍ.....	60
OBR. 4-20: POŘADÍ PŘIJETÍ HLÁŠENÍ POLOHY VŽDY ODPOVÍDÁ POŘADÍ VÝSKYTU VOZIDEL V OHLÁŠENÝCH POLOHÁCH.	61
OBR. 4-21: POŘADÍ PŘIJETÍ HLÁŠENÍ POLOHY NEMUSÍ ODPOVÍDAT POŘADÍ VÝSKYTU VOZIDEL V OHLÁŠENÝCH POLOHÁCH.	62
OBR. 4-22: KRITICKÝ RESTRIKTIVNÍ VZTAH VZHLEDEM K ČELŮM VOZIDEL A KRITICKÝ VZTAH S PŘEKRYVEM KONFIDENČNÍCH INTERVALŮ.....	66

OBR. 4-23: STŘET VOZIDEL S NÁSLEDKEM VYTLAČENÍ Z INTERVALU MENŠÍHO NEŽ $\min(L_TRAIN)$.	68
OBR. 4-24: JISTOTA VS. DOSTUPNOST POZITIVNÍHO VÝSLEDKU VYHODNOCENÍ NA PŘÍKLADU VZÁJEMNÉHO VZTAHU KONFIDENČNÍCH INTERVALŮ.	69
OBR. 4-25: MOŽNÉ KOMBINACE SMĚRŮ JÍZDY VOZIDEL.	71
OBR. 4-26: OPAČNÝ POHYB VOZIDEL.	76
OBR. 4-27: KRITICKÁ KOREKCE POLOHY VOZIDLA, KTERÉ JE DLE NEKRITICKÉHO ODHADU DRUHÉ V POŘADÍ.	77
OBR. 4-28: KRITICKÁ KOREKCE POLOHY VOZIDLA, KTERÉ JE DLE NEKRITICKÉHO ODHADU PRVNÍ V POŘADÍ, V OPAČNÉM SMĚRU.	78
OBR. 4-29: KRITICKÉ KOREKCE POLOHY, PŘI OBOU MOŽNÝCH POŘADÍCH VÝSKYTU VOZIDEL V OHLÁŠENÝCH POLOHÁCH A PŘI MOŽNOSTI OPAČNÉHO SMĚRU JÍZDY.	80
OBR. 4-30: PRINCIP METODY ČTYŘ HLÁŠENÍ POLOHY.	86
OBR. 4-31: IDENTIFIKACE ČASOVÝCH ZNAČEK.	87
OBR. 4-32: ROZSAHY VÝSKYTU VOZIDEL V OHLÁŠENÝCH POLOHÁCH.	89
OBR. 4-33: URČENÍ MINIMÁLNÍ HODNOTY ČASOVÉ ZNAČKY – V OHLÁŠENÉ POLOZE SE NEJPRVE VYSKYTNE VOZIDLO A .	90
OBR. 4-34: URČENÍ MINIMÁLNÍ HODNOTY ČASOVÉ ZNAČKY – V OHLÁŠENÉ POLOZE SE NEJPRVE VYSKYTNE VOZIDLO B .	91
OBR. 4-35: METODA TŘÍ HLÁŠENÍ POLOHY JAKO MEZNÍ PŘÍPAD METODY ČTYŘ HLÁŠENÍ POLOHY.	93
OBR. 4-36: METODA TŘÍ HLÁŠENÍ POLOHY – VZTAH MEZI 1. A 2. HLÁŠENÍM POLOHY	94
OBR. 4-37: METODA TŘÍ HLÁŠENÍ POLOHY – VZTAH MEZI 2. A 3. HLÁŠENÍM POLOHY	95
OBR. 4-38: SHRNTÍ DISKUTOVANÝCH METOD A POSTUPŮ PŘI URČENÍ POŘADÍ VOZIDEL.	100

SEZNAM TABULEK

TAB. 4-1: VARIANTY POSTUPU V KROKU γ	64
TAB. 4-2: ZAJIŠTĚNÍ OCHRANY PROTI REVERZNÍMU POHYBU V JEDNOTLIVÝCH MÓDECH.....	75
TAB. 4-3: VÝBĚR VARIANTY POSTUPU V KROKU γ PŘI UVAŽOVÁNÍ I OPAČNÉHO SMĚRU JÍZDY.....	82
TAB. 4-4: PROCEDURY POSTUPU V KROKU γ PŘI UVAŽOVÁNÍ I OPAČNÉHO SMĚRU JÍZDY.....	83
TAB. 4-5: VÝSLEDKY KROKU γ PŘI UVAŽOVÁNÍ I OPAČNÉHO SMĚRU JÍZDY.....	84
TAB. 4-6: POSTUP V KROKU γ METODOU ČTYŘ HLÁŠENÍ POLOHY.....	98
TAB. 4-7: POSTUP V KROKU γ METODOU TŘÍ HLÁŠENÍ POLOHY.....	99
TAB. 4-8: POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ METOD KRITICKÉ KOREKCE POLOHY.....	103
TAB. 4-9: ROZDĚLENÍ VLIVŮ PŮSOBÍCÍCH NA JEDNOTLIVÉ METODY PODLE PŘÍSLUŠNOSTI MOŽNOSTÍ URČENÍ JEJICH KONKRÉTNÍCH HODNOT K JEDNOTLIVÝM ÚROVNÍM REALIZACE RBC.....	105
TAB. 4-10: PŘEHLED NAVAZUJÍCÍCH ČINNOSTÍ.....	106

SEZNAM PŘÍLOH

- PŘÍLOHA 1 Vybrané objekty jazyka ETCS
- PŘÍLOHA 2 Přehled významů označení parametrů a funkcí.

OBSAH

1. CÍL PRÁCE.....	6
2. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY.....	9
2.1 ARCHITEKTURA ETCS L2	9
2.1.1 Jazyk ETCS	11
2.1.2 Významová data	12
2.1.3 Hlášení polohy	12
2.2 RADIOBLOKOVÁ CENTRÁLA.....	14
2.2.1 Realizace železničních zabezpečovacích systémů jako GP, GA a SA.....	14
2.2.2 Vztah RBC – OBU.....	16
2.3 KONTEXT ŘEŠENÉHO PROBLÉMU.....	17
2.3.1 Dosavadní relevantní dostupné analýzy funkčního chování.....	17
2.3.2 Specifikace v disertační práci řešeného problému	18
3. ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ.....	19
3.1 MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ	19
3.2 ČASOVĚ-POLOHOVÁ ANALÝZA	19
3.2.1 UML.....	19
3.2.2 Popis metody časově-polohové analýzy.....	21
3.3 K DŮVODŮM VOLBY UVEDENÝCH METOD	23
4. DOSAŽENÉ VÝSLEDKY	25
4.1 VYHODNOCENÍ POLOHY VOZIDLA V RBC – VLIVY CHYB A TOLERANCÍ	25
4.1.1 Přehled dílčích vlivů ovlivňujících přesnost určení polohy.....	25
4.1.2 Rozbor dílčích faktorů ovlivňujících přesnost určení polohy.....	26
4.1.3 Metoda stanovení minimálního možného zpoždění a jeho použití.....	29
4.1.4 Metoda určení maximálního doložitelného zpoždění a jeho použití.....	31
4.1.5 Vliv rychlostí a změn rychlostí na odchylky plynoucí z přenosu a zpracování.....	36
4.1.6 Shrnutí vztahů týkajících se určení polohy vozidla a její maximální odchylky v okamžiku vstupu hlášení polohy do CL RBC.....	40
4.2 VYHODNOCENÍ POŘADÍ DVOU VOZIDEL V RBC NA ZÁKLADĚ JEJICH HLÁŠENÍ POLOHY.....	43
4.2.1 Krok α – Identifikace hlášení polohy.....	44
4.2.2 Krok β – Nekritický odhad pořadí vozidel.....	45
4.2.3 Krok γ – Kritická korekce polohy vozidel, příklad záměny pořadí.....	51
4.2.4 Krok γ – Kritická korekce polohy vozidel, obecný postup.....	58
4.2.5 Krok δ – Vzájemný kritický vztah konfidenčních intervalů.....	65
4.2.6 Jistota versus dostupnost pozitivního výsledku.....	69
4.2.7 Vliv směru jízdy a jeho změny.....	70
4.2.8 Krok γ – Kritická korekce polohy vozidel při uvážení možnosti změny směru jízdy.....	76
4.2.9 Metoda čtyř hlášení polohy.....	85
4.2.10 Metoda čtyř hlášení polohy – minimální hodnoty časových značek.....	88
4.2.11 Metoda tří hlášení polohy.....	92
4.2.12 Krok γ – použití metod čtyř a tří hlášení polohy.....	97
4.2.13 Shrnutí a porovnání metod při určení pořadí vozidel.....	100
4.2.14 Rámcová charakteristika zjištěných vlivů, na jednotlivé metody určení pořadí, dle jejich příčiny v úrovni GP, GA nebo SA.....	104
4.2.15 Přehled navazujících činností ve vztahu k jednotlivým metodám	105

5. ZÁVĚR.....	107
LITERATURA.....	109
PUBLIKAČNÍ ČINNOST AUTORA	113
SEZNAM ZKRATEK A POUŽITÝCH POJMŮ	114
SEZNAM OBRÁZKŮ	124
SEZNAM TABULEK.....	126
SEZNAM PŘÍLOH.....	127
OBSAH.....	128

PŘÍLOHA 1 – VYBRANÉ OBJEKTY JAZYKA ETCS

V této příloze jsou uvedeny proměnné, pakety a zprávy jazyka ETCS, které jsou důležité z hlediska problémů a řešení popsaných v práci. Definice a popis dále uvedených objektů jazyka ETCS jsou převzaty ze S-026-7 v230 (2006) a S-026-8 v230 (2006).

Proměnná D_LRBG (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.13)

Jméno	Vzdálenost mezi poslední platnou balízovou skupinou (LRBG) a odhadovaným čelem vlaku (strana s aktivním stanovištěm).		
Popis			
Délka proměnné	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Rozlišení/vzorec
15 bitů	0 cm	327.660 km	10 cm, 1m nebo 10 m dle Q_SCALE
Zvláštní/vyhrazené hodnoty	32767	Neznámá	

Význam této vzdálenosti v konkrétním použití v textu práce:

D_LRBG_A Vzdálenost odhadovaného čela vozidla A od LRBG.

$D_LRBG_A(BG01)$ Vzdálenost odhadovaného čela vozidla A od balízové skupiny BG01.

$D_LRBG_A(PR(1))$ Poloha odhadovaného čela vozidla A podle hlášení polohy první skupiny (metoda čtyř hlášení polohy) resp. první v pořadí (metoda tří hlášení polohy).

Proměnná D_STATIC (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.28)

Jméno	Přírůstková vzdálenost k příští změně rychlosti v mezinárodním statickém rychlostním profilu		
Popis			
Délka proměnné	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Rozlišení/vzorec
15 bitů	0 cm	327.670 km	10 cm, 1m nebo 10 m dle Q_SCALE

Proměnná L_DOUBTOVER (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.43)

Jméno	Chyba "nad-čtení" – <i>Over-reading error</i>		
Popis	L_DOUBTOVER je vzdálenost mezi spodní hranicí konfidenčního intervalu a odhadnutou hodnotou D_LRBG.		
Délka proměnné	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Rozlišení/vzorec
15 bitů	0 cm	327.660 km	10 cm, 1m nebo 10 m dle Q_SCALE
Zvláštní/vyhrazené hodnoty	32767	Neznámá	

Proměnná L_DOUBTUNDER (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.44)

Jméno	Chyba "pod-čtení" – <i>Under-reading error</i>		
Popis	L_DOUBTUNDER je vzdálenost mezi horní hranicí konfidenčního intervalu a odhadnutou hodnotou D_LRBG.		
Délka proměnné	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Rozlišení/vzorec
15 bitů	0 cm	327.660 km	10 cm, 1m nebo 10 m dle Q_SCALE
Zvláštní/vyhrazené hodnoty	32767	Neznámá	

Proměnná L_TRAIN (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.56)

Jméno	Délka vlaku		
Popis	Jedná se o absolutní reálnou délku vlaku.		
Délka proměnné	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Rozlišení/vzorec
12 bitů	0 m	4095 m	1 m
Zvláštní/vyhrazené hodnoty			

Proměnná L_TRAININT (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.57)

Jméno	Bezpečná délka vlaku		
Popis			
Délka proměnné	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Rozlišení/vzorec
15 bitů	0 m	32767 m	1 m
Zvláštní/vyhrazené hodnoty			

Proměnná M_ACK (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.59)

Jméno	Kvalifikátor požadavku potvrzení		
Popis	Udává, zda.li má být zpráva či telegram potvrzen po přijetí a kontrole konzistence, či nikoliv.		
Délka proměnné	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Rozlišení/vzorec
1 bit			
Zvláštní/vyhrazené hodnoty	0	Potvrzení není požadováno	
	1	Požadováno potvrzení	

Proměnná M_LEVEL (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.65)

Jméno	Aktuální aplikační úroveň OBU		
Popis			
Délka proměnné	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Rozlišení/vzorec
3 bity			
Zvláštní/vyhrazené hodnoty	0	Level 0	
	1	Level STM specifikován proměnnou NID_STM	
	2	Level 1	
	3	Level 2	
	4	Level 3	
	5-7	rezerva	

Proměnná M_LOC (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.69)

Jméno	Zvláštní poloha nebo okamžik kde má vozidlo ohlásit svoji polohu.		
Popis			
Délka proměnné	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Rozlišení/vzorec
3 bity			
Zvláštní/vyhrazené hodnoty	000	Nyní (hlášení polohy je odesláno při přijetí tohoto příkazu).	
	001	Při kontaktování každé balíkové skupiny.	
	010	Ukončení odesílání při kontaktování každé balíkové skupiny.	
	011	Použij předchozí hodnotu M_LOC	
	100 - 111	rezerva	

Proměnná M_MODE (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.72)

Jméno	Aktuální mód OBU		
Popis			
Délka proměnné	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Rozlišení/vzorec
4 bity			
Zvláštní/vyhrazené hodnoty	0	Full Supervision	
	1	On Sight	
	2	Staff Responsible	
	3	Shunting	
	4	Unfitted	
	5	Sleeping	
	6	Stand By	
	7	Trip	
	8	Post Trip	
	9	System Failure	
	10	Isolation	
	11	Non Leading	
	12	STM European	
	13	STM National	
	14	Reversing	
	15	rezerva	

Proměnná Q_DIRLRBG (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.104)

Jméno	Orientace vlaku ve vztahu k orientaci LRBG		
Popis			
Délka proměnné	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Rozlišení/vzorec
2 bity			
Zvláštní/vyhrazené hodnoty	0	Reverzní	
	1	Nominální	
	2	Neznámá	
	3	rezerva	

Proměnná Q_DIRTRAIN (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.105)

Jméno	Směr jízdy vlaku ve vztahu k orientaci LRBG		
Popis			
Délka proměnné	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Rozlišení/vzorec
2 bity			
Zvláštní/vyhrazené hodnoty	0	Reverzní	
	1	Nominální	
	2	Neznámá	
	3	rezerva	

Proměnná Q_DLRBG (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.106)

Jméno	Kvalifikátor udávající, na které straně od LRBG se nachází odhadované čelo vlaku.		
Popis			
Délka proměnné	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Rozlišení/vzorec
2 bity			
Zvláštní/vyhrazené hodnoty	0	Reverzní	
	1	Nominální	
	2	Neznámá	
	3	rezerva	

Proměnná Q_LENGTH (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.112)

Jméno	Kvalifikátor stavu celistvosti vlaku		
Popis	Kvalifikátor identifikuje dostupnost informace o celistvosti vlaku. Související informace o bezpečné délce vlaku je dána proměnnou L_TRAININT.		
Délka proměnné	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Rozlišení/vzorec
2 bity			
Zvláštní/vyhrazené hodnoty	0	Informace o celistvosti vlaku není dostupná.	
	1	Celistvost vlaku je potvrzena technickým zařízením.	
	2	Celistvost vlaku je potvrzena strojvedoucím.	
	3	Ztráta informace o celistvosti vlaku (potencionální roztržení)	

Proměnná Q_LOCACC (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.115)

Jméno	Přesnost lokalizace balízkové skupiny		
Popis	Tento kvalifikátor definuje absolutní hodnotu přesnosti lokalizace balízkové skupiny (tj. hodnota 63 m představuje přesnost lokalizace +/- 63 m).		
Délka proměnné	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Rozlišení/vzorec
6 bitů	0 m	63 m	1 m

Proměnná Q_SCALE (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.129)

Jméno	Kvalifikátor měřítka vzdáleností.		
Popis	Kvalifikátor udává stejné měřítko použité pro popis všech vzdáleností v paketu, který obsahuje tuto proměnnou Q_SCALE.		
Délka proměnné	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Rozlišení/vzorec
2 bits			
Zvláštní/vyhrazené hodnoty	0	měřítko 10 cm	
	1	měřítko 1 m	
	2	měřítko 10 m	
	3	rezerva	

Proměnná T_CYCLOC (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.143)

Jméno	Časový interval mezi dvěma hlášeními polohy odesílanými z OBU.		
Popis	OBU musí odeslat hlášení polohy každých T_CYCLOC.		
Délka proměnné	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Rozlišení/vzorec
8 bitů	0 sekund	254 s	1s
Zvláštní/vyhrazené hodnoty	255	∞	

Proměnná T_TRAIN (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.154)

Jméno	Palubní čas OBU (časová značka)		
Popis	Čas, podle palubních hodin (skutečný na OBU nebo bezpečně odhadovaný v RBC), ve kterém je zpráva odeslána.		
Délka proměnné	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Rozlišení/vzorec
32 bitů	0	42949672.94 s	10 ms
Zvláštní/vyhrazené hodnoty	4294967295	Neznámá	

Význam časových značek v konkrétním použití v textu práce:

$T_TRAIN(ACK)$ Čas palubních hodin OBU v okamžiku odeslání potvrzení o přijetí konzistentní zprávy. Na tuto hodnotu je nastavena časová značka v odesílané zprávě s potvrzením.

$T_TRAIN(PR)$ Čas palubních hodin OBU v okamžiku odeslání hlášení polohy. Na tuto hodnotu je nastavena časová značka v odesílané zprávě s hlášením polohy.

$T_TRAIN_X(ACK(Y))$ Časová značka zprávy s potvrzením od vozidla X – o přijetí konzistentní zprávy, která obsahovala parametry hlášení polohy s parametrem pro okamžité zaslání hlášení polohy Y. skupiny.

$T_TRAIN_X(PR(Y))$ Časová značka zprávy s hlášením polohy Y. skupiny od vozidla X.

$T_TRAIN_{A_min}$ Minimální hodnota časové značky pro hlášení polohy od vozidla A.

$T_TRAIN_{B_min}$ Minimální hodnota časové značky pro hlášení polohy od vozidla B.

Proměnná V_MAXTRAIN (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.160)

Jméno	Maximální povolená rychlost vlaku.		
Popis	Maximální povolená rychlost vlaku, kdy se bere v potaz maximální (konstrukční, povolená) rychlost každého vozidla v soupravě vlaku.		
Délka proměnné	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Rozlišení/vzorec
7 bitů	0	600 km/h	5 km/h
Zvláštní/vyhrazené hodnoty	121 – 127	rezerva	

Proměnná V_STATIC (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.171)

Jméno	Rychlost statického rychlostního profilu		
Popis	Rychlost statického rychlostního po k-té změně.		
Délka proměnné	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Rozlišení/vzorec
7 bits	0	600 km/h	5 km/h
Zvláštní/vyhrazené hodnoty	121 – 126	rezerva	
	127	Nečíselná hodnota, která říká, že popis statického rychlostního profilu končí v poloze D_STATIC(n)	

Proměnná V_TRAIN (S-026-7 v230, 2006, § 7.5.1.172)

Jméno	Aktuální rychlost vlaku		
Popis			
Délka proměnné	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Rozlišení/vzorec
7 bitů	0	600 km/h	5 km/h
Zvláštní/vyhrazené hodnoty	121-127	rezerva	

Paket č. 0: Hlášení polohy – *Position report*, OBU → RBC,
(S-026-7 v230, 2006, § 7.4.3.1)

Popis	Tento paket je součástí většiny zpráv přenášených z OBU do RBC a je určen k hlášení polohy vozidla, jeho rychlosti a další informací (např. mód, aplikační úroveň).		
Přenosový kanál	Rádio		
Obsah	Proměnná	Délka [b]	Komentář
	NID_PACKET	8	
	L_PACKET	13	
	Q_SCALE	2	
	NID_LRBG	10 + 14	
	D_LRBG	15	
	Q_DIRLRBG	2	
	Q_DLRBG	2	
	L_DOUBTOVER	15	
	L_DOUBTUNDER	15	
	Q_LENGTH	2	
	L_TRAININT	15	Pokud Q_LENGTH = 1 nebo 2
	V_TRAIN	7	
	Q_DIRTRAIN	2	
	M_MODE	4	
	M_LEVEL	3	
	NID_STM	8	Pokud M_LEVEL = STM

Paket č. 5: Vazební informace – *Linking*, Trackside → OBU,
(S-026-7 v230, 2006, § 7.4.2.2)

Popis	Vazební informace.		
Přenosový kanál	Jakýkoliv		
Obsah	Proměnná	Délka [b]	Komentář
	NID_PACKET	8	
	Q_DIR	2	
	L_PACKET	13	
	Q_SCALE	2	
	D_LINK	15	
	Q_NEWCOUNTRY	1	
	NID_C	10	Pokud Q_NEWCOUNTRY = 1
	NID_BG	14	
	Q_LINKORIENTATIO N	1	
	Q_LINKREACTION	2	
	Q_LOCACC	6	
	N_ITER	5	
	D_LINK (k)	15	
	Q_NEWCOUNTRY(k)	1	
	NID_C (k)	10	Pokud Q_NEWCOUNTRY(k) = 1
	NID_BG (k)	14	
	Q_LINKORIENTATIO N (k)	1	
	Q_LINKREACTION (k)	2	
	Q_LOCACC (k)	6	

Paket č. 11: Platná vlaková data – *Validated train data*, OBU → RBC,
(S-026-7 v230, 2006, § 7.4.3.5)

Popis	Platná vlaková data. Pokud pro některé proměnné nejsou známy na vozidle hodnoty, má se použít odpovídající výchozí hodnota.		
Přenosový kanál	Radio		
Obsah	Proměnná	Délka [b]	Komentář
	NID_PACKET	8	
	L_PACKET	13	
	NID_OPERATIONAL	32	
	NC_TRAIN	15	Výchozí hodnota <i>Basic static speed profile</i>
	L_TRAIN	12	
	V_MAXTRAIN	7	
	M_LOADINGGAUGE	8	
	M_AXLELOAD	7	
	M_AIRTIGHT	2	
	N_ITER	5	
	M_TRACTION (k)	8	Druh trakce
	N_ITER	5	
	NID_STM (k)	8	Druh dostupného STM

Paket č. 27: Mezinárodní statický rychlostní profil – *International static speed profile*,
OBU → RBC, (S-026-7 v230, 2006, § 7.4.3.5)

Popis	Statický rychlostní profil a volitelné rychlostní limity závisující na mezinárodní kategorii vlaku.		
Přenosový kanál	Jakýkoliv		
Obsah	Proměnná	Délka [b]	Komentář
	NID_PACKET	8	
	Q_DIR	2	
	L_PACKET	13	
	Q_SCALE	2	
	D_STATIC	15	
	V_STATIC	7	
	Q_FRONT	1	
	N_ITER	5	
	NC_DIFF(n)	4	
	V_DIFF(n)	7	
	N_ITER	5	
	D_STATIC(k)	15	
	V_STATIC(k)	7	
	Q_FRONT(k)	1	
	N_ITER(k)	5	
	NC_DIFF(k,m)	4	
	V_DIFF(k,m)	7	

Paket č. 58: Parametry hlášení polohy – *Position Report Parameters*, RBC → OBU,
(S-026-7 v230, 2006, § 7.4.2.15)

Popis	Tento paket je určený k předání parametrů, které udávají kdy a jak často má být hlášena poloha.		
Přenosový kanál	Rádio		
Obsah	Proměnná	Délka [b]	Komentář
	NID_PACKET	8	
	Q_DIR	2	
	L_PACKET	13	
	Q_SCALE	2	
	T_CYCLOC	8	
	D_CYCLOC	15	
	M_LOC	3	Pro účely vyhodnocení maximálního doložitelného časového zpoždění a určení pořadí vozidel bude hodnota této proměnné 1.
	N_ITER	5	
	D_LOC(k)	15	
	Q_LGTLOC(k)	1	

Zpráva č. 3: *Movement Authority, RBC → OBU, (S-026-8 v230, 2006, § 8.7.2)*

	Proměnná/Paket	Poznámky
1	NID_MESSAGE	
2	L_MESSAGE	
3	T_TRAIN	
4	M_ACK	
5	NID_LRBG	
6	Oprávnění k jízdě 2. a 3. aplikační úrovně	Paket 15
7	Volitelné pakety	

Zpráva č. 24: *General Message, RBC → OBU, (S-026-8 v230, 2006, § 8.7.9)*

	Proměnná/Paket	Poznámky
1	NID_MESSAGE	
2	L_MESSAGE	
3	T_TRAIN	
4	M_ACK	Pro účely vyhodnocení maximálního doložitelného časového zpoždění a určení pořadí vozidel bude hodnota této proměnné 1.
5	NID_LRBG	
6	Volitelné pakety	Pro účely vyhodnocení maximálního doložitelného časového zpoždění a určení pořadí vozidel zde bude paket č. 58.

Zpráva č. 132: *Žádost o oprávnění k jízdě – MA Request, OBU → RBC, (S-026-8 v230, 2006, § 8.6.3)*

	Proměnná	Poznámky
1	NID_MESSAGE	
2	L_MESSAGE	
3	T_TRAIN	
4	NID_ENGINE	
5	Q_TRACKDEL	
6	Paket 0 nebo 1	
7	Volitelné pakety	

Zpráva č. 136: *Hlášení polohy – Train Position Report, OBU → RBC, (S-026-8 v230, 2006, § 8.6.4)*

	Proměnná/Paket	Poznámky
1	NID_MESSAGE	
2	L_MESSAGE	
3	T_TRAIN	
4	NID_ENGINE	
5	Paket 0 nebo 1	
6	Volitelné pakety	

Zpráva č. 146: Potvrzení – *Acknowledgement*, OBU → RBC, (S-026-8 v230, 2006, § 8.6.7)

	Proměnná	Poznámky
1	NID_MESSAGE	
2	L_MESSAGE	
3	T_TRAIN	
4	NID_ENGINE	
5	T_TRAIN	Časová značka obsažená ve zprávě, která je potvrzována. Pro účely vyhodnocení maximálního doložitelného časového zpoždění a určení pořadí vozidel zde bude časová značka obsažená ve zprávě č. 24 <i>General Message</i> jejíž součástí je i paket č. 58 Parametry hlášení polohy.

PŘÍLOHA 2 – PŘEHLED VÝZNAMŮ OZNAČENÍ PARAMETRŮ A FUNKCÍ.

V případě, že se jedná o objekty jazyka ETCS, je jejich přehled uveden v příloze 1.

Pokud není uvedeno jinak, pro délkové míry platí jednotky metry [m] a pro čas sekundy [s].

Pro označení vztahu parametru ke konkrétnímu vozidlu resp. OBU je použita vnější indexace, kdy je zpravidla indexovaný parametr v závorkách, např. $(\Delta t_{pos}^{MIN})_A$ znamená, že daný časový interval se týká vozidla A.

a_{max}	Mezní zrychlení přicházející v úvahu v případě vozidla vybaveného ETCS.
b_{max}	Mezní brzdné odrychlení přicházející v úvahu v případě vozidla vybaveného ETCS.
$\min(L_TRAIN)$	Minimální možná délka vozidla vybaveného mobilní částí systému ETCS pro aplikační úroveň L2 a L3. Jedná se o konstantu určitelnou analyticky pro konkrétní SA RBC na základě znalosti nejkratšího uvažovaného vozidla vybavitelného ETCS, které v oblasti dané RBC přichází v úvahu.
Δl_{BG_INT}	Přesnost určení referenčního bodu BG při kontaktování balíz této balízové skupiny z OBU prostřednictvím anténní jednotky vozidla.
Δl_{BG_loc}	Přesnost určení polohy BG ve vztahu k ostatním objektům infrastruktury.
Δl_{BG_ref}	Přesnost detekce maxima pole referenční balízy v příslušné BG.
$l(BG01-BG02)$	Vzdálenost mezi balízovými skupinami BG01 a BG02.
$\Delta l_{D_ERROR}^{rel}(t)$	Relativní chyba určení polohy jako funkce času.
$\Delta l_{D_ERROR}^{*rel}(D_LRBG)$	Relativní chyba určení polohy jako funkce vzdálenosti odhadovaného čela vlaku od LRBG.
$\Delta l_{D_ERROR}(t)$	Celková chyba určení polohy z pohledu OBU, ve které jsou zohledněny nepřesnosti na infrastruktuře, jako funkce času.
$\Delta l_{D_ERROR}^*(D_LRBG)$	Celková chyba určení polohy z pohledu OBU jako funkce vzdálenosti odhadovaného čela vlaku od LRBG.
$\Delta l_{D_ERROR}^{*NegMAX}(D_LRBG)$	Maximální dolní mez celkové chyby určení polohy jako funkce vzdálenosti odhadovaného čela vlaku od LRBG. Jedná se

	vlastně o analytický ekvivalent proměnné L_DOUBTOVER jazyka ETCS.
$\Delta l_{D_ERROR}^{*PosMAX}(D_LRBG)$	Maximální horní mez celkové chyby určení polohy jako funkce vzdálenosti odhadovaného čela vlaku od LRBG. Jedná se vlastně o analytický ekvivalent proměnné L_DOUBTUNDER jazyka ETCS.
$\pm(\Delta l_{D_ERROR}(PR(3)))_A$	Konfidenční interval (symbolické označení) dle třetího hlášení polohy v pořadí přijatého v RBC, které je od OBU vozidla A (metoda tří hlášení polohy).
Δl_i	Nepřesnost určení vzdálenosti mezi dvěma balízovými skupinami.
Δl_i	Nepřesnost určení vzdálenosti mezi balízovými skupinami BG02 a BG03.
Δl_{ODO_ERROR}	Chyba odometrie.
Δl_{pos}	Odchylka polohy závisící na zpožděních při přenosu a zpracování.
Δl_{pos}^{MIN}	Odchylka polohy dle minimálního možného zpoždění.
$(\Delta l_{pos}^{MIN})_A$	Korekce (popř. odchylka) polohy vozidla A dle minimálního možného zpoždění.
$(\Delta l_{pos}^{MIN})_{A(B_time)}$	Korekce (popř. odchylka) polohy vozidla A dle celkového minimálního zpoždění vztažená k výskytu vozidla B v ohlášené poloze popř. k příjmu hlášení polohy vozidla B.
Δl_{pos}^{MAX}	Odchylka polohy dle maximálního doložitelného zpoždění.
$(\Delta l_{pos}^{MAX})_B$	Korekce (popř. odchylka) polohy vozidla B dle maximálního doložitelného zpoždění vztažená k výskytu vozidla A v ohlášené poloze.
$(\Delta l_{pos}^{MAX})_{A(B_time)}$	Korekce (popř. odchylka) polohy vozidla A dle celkového maximálního zpoždění vztažená k výskytu vozidla B v ohlášené poloze popř. k příjmu hlášení polohy vozidla B.
$\Delta l_{reverse}^{MAX}$	Korekce polohy ve směru opačném dle maximální doby pro akceleraci a opačný pohyb.
$\Delta l_{skutecna}$	Skutečná změna polohy (pro formální popis v matematickém výrazu).
PR_A	Hlášení polohy od OBU vozidla A.
$PR_B(2)$	Hlášení polohy od OBU vozidla B přijaté druhé v pořadí (metoda tří hlášení polohy).
PR_par_B	Parametry hlášení polohy odeslané OBU vozidla B.

$\Delta t_{B-A}(\text{PRs, RBC})$	Časový interval mezi přijetím hlášení polohy od OBU vozidla A a hlášení polohy od OBU vozidla B v CL RBC.
Δt_{BG_ref}	Doba nezbytná pro vyhodnocení maxima pole referenční balízy v příslušné BG.
$\Delta t_{reverse}^{DRIVER}$	Minimální doba potřebná na provedení úkonů na vozidle pro jízdu opačným směrem.
Δt_{pos}	Celková doba přenosu a zpracování. Jedná se o časový interval od okamžiku výskytu vozidla v ohlášené poloze po okamžik příjmu příslušného hlášení polohy v CL RBC.
Δt_{pos}^{MIN}	Minimální možné zpoždění při přenosu a zpracování.
$(\Delta t_{pos}^{MIN})_A$	Minimální možné zpoždění při přenosu a zpracování hlášení polohy vozidla A.
$(\Delta t_{pos}^{MIN})_{A(B_time)}$	Celkové minimální zpoždění při přenosu a zpracování hlášení polohy vozidla A vztažené k okamžiku příjmu hlášení polohy vozidla B v CL RBC.
Δt_{pos}^{MAX}	Maximální doložitelné zpoždění při přenosu a zpracování.
$(\Delta t_{pos}^{MAX})_B$	Maximální doložitelné zpoždění při přenosu a zpracování hlášení polohy vozidla B.
$(\Delta t_{pos}^{MAX})_{A(B_time)}$	Celkové maximální zpoždění při přenosu a zpracování hlášení polohy vozidla A vztažené k okamžiku příjmu hlášení polohy vozidla B v CL RBC.
$\Delta t(\text{PR, OBU})$	Časový interval v OBU od okamžiku odesláním potvrzení o přijetí konzistentní zprávy s parametry hlášení polohy do okamžiku odeslání hlášení polohy.
$\Delta t(\text{PR, RBC})$	Časový interval v CL RBC od okamžiku přijetí potvrzení z OBU o přijetí konzistentní zprávy s parametry hlášení polohy do okamžiku přijetí hlášení polohy (od stejné OBU) v CL RBC.
Δt_{proc}	Doba nezbytná pro zpracování informací v OBU.
$\min(\Delta t_{proc})$	Minimální doba zpracování informací na straně OBU. Nejedná se o jednu konkrétní konstantu, ale o obecné označení prvku z množiny hodnot minimálních dob zpracování množiny informací, které OBU zpracovává.
$\Delta t_{proc}(\text{ACK})$	Doba zpracování pro potvrzení. Představuje délku časového intervalu od okamžiku přijetí zprávy v OBU po okamžik odeslání potvrzení o jejím přijetí a konzistenci. Mechanismus potvrzování je uveden v S-026-3 v230 (2006, § 3.16.3.5).

$\min(\Delta t_{proc}(ACK))$	Minimální doba zpracování pro potvrzení. Jedná se o konstantu určitelnou analyticky na základě znalostí vlastností konkrétních OBU, pokud jsou takové informace o jejich vlastnostech dostupné, které v oblasti dané RBC přichází v úvahu.
$\Delta t_{proc}(PR)$	Doba zpracování hlášení polohy. Časový interval od okamžiku výskytu vozidla v ohlášené poloze po okamžik odeslání hlášení polohy z OBU.
$\min(\Delta t_{proc}(PR))$	Minimální doba zpracování hlášení polohy. Jedná se o konstantu určitelnou analyticky na základě znalostí vlastností konkrétních OBU, pokud jsou takové informace o jejich vlastnostech dostupné, které v oblasti dané RBC přichází v úvahu.
$\max(\Delta t_{proc}(PR))$	Maximální doba zpracování hlášení polohy. Jedná se o konstantu, jejíž hodnota 1 s je definována specifikací S-041 v210 (2005, § 5.3.1.3).
$\Delta t(RBC)$	Časový interval mezi odesláním zprávy z CL RBC a přijetím potvrzení o jejím přijetí a konzistenci v OBU do CL RBC.
$\Delta t_{reverse}^{MAX}$	Maximální doba pro akceleraci a pohyb v opačném směru.
$\Delta t_{skutecna}$	Skutečné zpoždění přenosu a zpracování (pro formální popis v matematickém výrazu).
Δt_{to-MAX}	Doba potřebná ke zvýšení rychlosti na maximální.
$\Delta t_{to-STOP}$	Doba potřebná k zastavení.
$\min(\Delta t_{trans})$	Minimální možná doba zpoždění přenosu informací RBC – OBU i OBU – RBC, pokud jsou v obou směrech tato zpoždění považována za shodná.
$\Delta t_{trans}(OBU – RBC)$	Zpoždění při přenosu informací z OBU do CL RBC.
$\min(\Delta t_{trans}(OBU – RBC))$	Minimální možná doba zpoždění přenosu informací z OBU do CL RBC. Jedná se o konstantu určitelnou analyticky na základě znalostí vlastností přenosového řetězce pro konkrétní SA RBC.
$\Delta t_{trans}(RBC – OBU)$	Zpoždění při přenosu informací z CL RBC do OBU.
$\min(\Delta t_{trans}(RBC – OBU))$	Minimální možná doba zpoždění přenosu informací z CL RBC do OBU. Jedná se o konstantu určitelnou analyticky na základě znalostí vlastností přenosového řetězce pro konkrétní SA RBC.
$v(t)$ resp. $V(t)$	Rychlost jako funkce času, [m/s] resp. [km/h].
$v^*(l)$ resp. $V^*(l)$	Dráhová rychlost, tj. rychlost jako funkce vzdálenosti, [m/s] resp. [km/h], viz. definice.

v^{MAX} resp. V^{MAX}	Maximální rychlost, které může vozidlo v daných podmínkách dosáhnout, [m/s] resp. [km/h].
$V_{\text{měřená}}$	Údaj o rychlosti měřený odometrií vozidla.
$V_{\text{skutečná}}$	Skutečná aktuální rychlost vozidla při uvážení příslušných nepřesností způsobujících odchylku od $V_{\text{měřená}}$.
$v_{\text{Train}_A}(t_1)$	Rychlost vozidla A v časovém okamžiku t_1 .