

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Analýza funkce rušení neprojeté jízdni cesty v systému ETCS L2

Bc. Jakub Marek

Diplomová práce

2008

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě
Akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub MAREK**

Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**

Studijní obor: **Dopravní infrastruktura-Elektrotechnická zařízení v dopravě**

Název tématu: **Analýza funkce rušení neprojeté jízdni cesty v systému ETCS L2**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Analýza a posouzení existujících návrhů řešení funkce
2. Výběr optimálního řešení funkce
3. Výběr vhodného způsobu formalizace zápisu funkčních požadavků a popisu funkčního chování zabezpečovacích zařízení a vhodného softwarového nástroje
4. Vytvoření modelu předmětné funkce pomocí vybraného nástroje
5. Ověření realizovatelnosti návrhu

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- [1] **Alistar Cockburn: Use Cases, CP Books, a.s., Brno 2005**
- [2] **Jim Arlow, Ila Neustadt: UML2 a unifikovaný proces vývoje aplikací, Computer Press, a.s., Brno 2007**
- [3] **Interní dokumenty AŽD Praha k problematice**
- [4] **Milan Kunhart: Systémový návrh aplikace ERTMS/ETCS L2 v ČR, habilitační práce, Univerzita Pardubice 2005**

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Milan Kunhart, CSc.
AŽD Praha

Datum zadání diplomové práce:

6. prosince 2007

Termín odevzdání diplomové práce:

4. června 2008



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



prof. Ing. Vladimír Schejbal, CSc.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 25. února 2008

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji doc. Ing. Milanu Kunhartovi, CSc., za vedení diplomové práce, za poskytnutí podkladů a za jeho odbornou pomoc a ochotu při jejím vypracovávání.

SOUHRN

Práce je z oblasti železničních zabezpečovacích systémů, zaměřuje se především na evropský vlakový zabezpečovací systém ETCS. Rozebírá a hodnotí jím nabízené možnosti z hlediska funkce rušení neprojeté jízdni cesty. Navrhuje optimální řešení předmětné funkce a následně jej modeluje pomocí zvoleného způsobu formalizace – jazyku UML.

KLÍČOVÁ SLOVA

železniční zabezpečovací systémy; ERTMS; ETCS; rušení neprojeté jízdni cesty; formalizace; UML

TITLE

Analysis of the non-passed train route cancelling function in the ETCS L2

ABSTRACT

Work is from the area of the control-command and signalling systems for railway, it is primarily focused on the European Train Control System (ETCS). It analyses and assesses the possibility of the ETCS from the non-passed train route cancelling function's point of view. It proposes optimal solution of this function and it subsequently models this solution by force of chosen way of formalization – language UML.

KEYWORDS

control-command and signalling systems for railway; ERTMS; ETCS; cancelling of the non-passed train route; formalization; UML

OBSAH

Úvod	8
1 Problematika funkce rušení neprojeté jízdni cesty	11
1.1 Funkce rušení neprojeté jízdni cesty	11
1.1.1 Definice pojmů	11
1.1.2 Popis funkce rušení neprojeté jízdni cesty	12
1.1.3 Předepsané zpoždění.....	12
1.1.4 Rozhodný úsek	12
1.2 Identifikace problému.....	14
1.3 Možnosti poskytované systémem ETCS L2.....	14
1.3.1 Základní/obecné principy ETCS L2	14
1.3.2 Jazyk ETCS	15
1.3.3 Balízová souřadná soustava.....	16
1.3.4 Oprávnění k jízdě.....	17
1.3.5 Možnosti dodatečné změny (omezení) oprávnění k jízdě.....	19
1.3.6 Identifikace problému v systému ETCS L2	21
1.3.7 Možnosti řešení přerušení komunikace v systému ETCS L2.....	22
2 Analýza a posouzení existujících návrhů řešení předmětné funkce v systému ETCS L2	24
2.1 Návrh řešení předmětné funkce – BRC nespolupracuje.....	24
2.1.1 Stanovení způsobu dodatečného omezení oprávnění k jízdě	24
2.1.2 Stanovení způsobu řešení přerušení komunikace mezi vozidlem a RBC	26
2.1.3 Závěrečné zhodnocení návrhu řešení – RBC nespolupracuje	30
2.2 Návrh řešení předmětné funkce – BRC spolupracuje	31
2.2.1 Stanovení způsobu dodatečného omezení oprávnění k jízdě	31
2.2.2 Stanovení způsobu řešení přerušení komunikace mezi vozidlem a RBC	31
2.2.3 Závěrečné zhodnocení návrhu řešení – RBC spolupracuje	33
3 Návrh optimálního řešení funkce rušení neprojeté jízdni cesty v systému ETCS L2	35
3.1 Rozbor možností způsobu komunikace mezi RBC a stavědlem	36
3.1.1 Popis možností s ohledem na použití v předmětné funkci	36
3.1.2 Výběr optimální možnosti	37
3.2 Rozbor možností způsobu dodatečného omezení oprávnění k jízdě (MA).....	38
3.2.1 Popis možností s ohledem na použití v předmětné funkci	38
3.2.2 Výběr optimální možnosti	41
3.3 Rozbor možností řešení přerušení komunikace mezi vozidlem a RBC	42
3.3.1 Popis možností s ohledem na použití v předmětné funkci	42
3.3.2 Výběr optimální možnosti	45
3.4 Rozbor možností řešení přerušení komunikace mezi RBC a stavědlem.....	46
3.4.1 Popis možností s ohledem na použití v předmětné funkci	46
3.4.2 Výběr optimální možnosti	46
3.5 Celkové shrnutí navrhovaného optimálního řešení	47
3.5.1 Stručný popis navrhovaného řešení.....	47
3.5.2 Požadavky navrhovaného řešení	47

3.6	Stanovení parametrů navrhovaného řešení.....	48
3.7	Závěrečné zhodnocení	50
4	Formalizace zápisu funkčních požadavků a popisu funkčního chování zabezpečovacích zařízení.....	52
4.1	Výběr vhodného způsobu formalizace	52
4.1.1	Konečné stavové automaty	53
4.1.2	Petriho síť	53
4.1.3	Jazyk UML	54
4.1.4	Vlastní výběr způsobu formalizace	55
4.2	Výběr vhodného softwarového nástroje	56
4.2.1	StarUML.....	56
4.2.2	Enterprise Architect	56
4.2.3	Vlastní výběr softwarového nástroje	56
5	Model funkce rušení neprojeté jízdní cesty v systému ETCS L2.....	57
5.1	Případy užití popisující předmětnou funkci.....	57
5.2	Diagramy popisující předmětnou funkci	61
5.2.1	Diagram případů užití.....	61
5.2.2	Diagram aktivit	62
5.2.3	Diagram tříd.....	63
5.2.4	Sekvenční diagramy	64
5.2.5	Diagramy stavových automatů	65
5.3	Závěry plynoucí z průběhu modelování	68
	Závěr.....	69
	Použitá literatura.....	71
	Seznam tabulek.....	73
	Seznam obrázků.....	74
	Seznam zkratk.....	75
	Seznam příloh.....	77

ÚVOD

Diplomová práce se zabývá analýzou funkce rušení neprojeté jízdní cesty v systému ETCS. Zkratka ETCS je zkratkou pro evropský vlakový zabezpečovací systém (vychází z prvních písmen angl. označení European Train Control System). ETCS tvoří jednu ze dvou součástí evropského systému řízení železniční dopavy ERTMS (European Rail Traffic Management System). Proto bývá někdy správněji označován jako ERTMS/ETCS.

Kromě ETCS zastřešuje systém ERTMS ještě globální systém pro mobilní komunikaci pro železniční aplikace GSM-R (Global System for Mobile communications for Railway). Systém ERTMS je, podle technických specifikací pro interoperabilitu TSI (Technical Specifications for Interoperability), schopen zajistit jako jediný tzv. *plnou interoperabilitu* v oblasti řízení a zabezpečení železniční dopavy.

Interoperabilita (propojitelnost) představuje podle svých technických specifikací TSI mezioborový problém týkající se infrastruktury, energie, řízení a zabezpečení, kolejových vozidel, dále pak provozu a řízení dopavy, údržby a telematických aplikací pro osobní i nákladní dopravu. Zvládnutí všech oborů umožní zvýšit konkurenceschopnost železniční dopavy mezi ostatními druhy doprav (hlavně silniční a leteckou). Cílem interoperability je dosáhnout stavu, kdy po jakékoli interoperabilní trati bude možno bez problémů projet jakýmkoli interoperabilním vozidlem. Nebude tedy například nutno na hranicích jednotlivých států přepřahovat hnací vozidla, čímž odpadnout významné časové prodlevy a zkrátí se celkový čas přepravy osob nebo zboží po železnici.

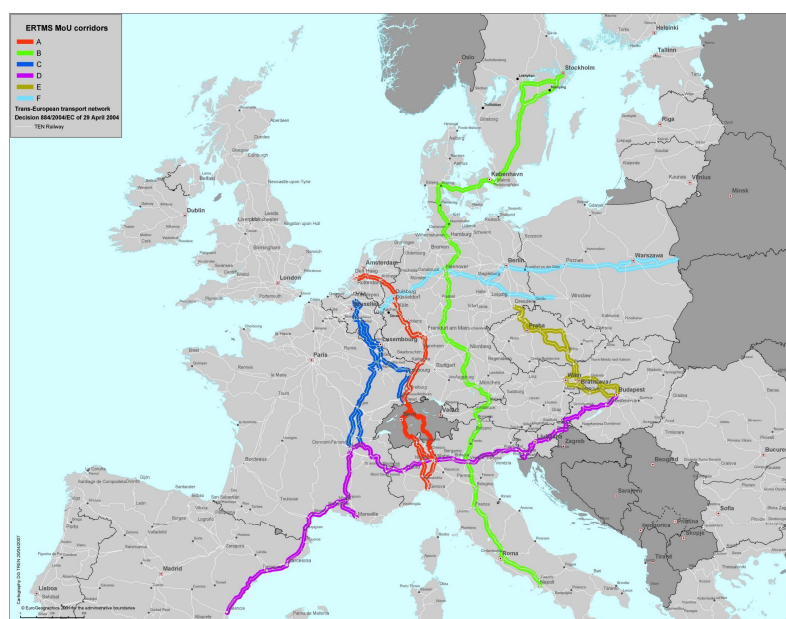
Na zajištění interoperability tratí (i vozidel) má velký zájem Evropská unie. Povinnost aplikovat technické specifikace interoperability TSI (potažmo tedy zavádět systém ERTMS) na nově budovaných, či modernizovaných tratích u nás mimo jiného vyplývá ze směrnice Evropského parlamentu a Rady 96/48/ES, o interoperabilitě transevropského vysokorychlostního železničního systému, ve znění směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/50/ES, a směrnice Evropského parlamentu a Rady 2001/16/ES, o interoperabilitě transevropského konvenčního železničního systému, opět ve znění směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/50/ES.

Česká republika, s ohledem na své závazky plynoucí z členství v Evropské unii, je povinna provést transpozici platných směrnic Společenství, je-li právní úprava obsažená v těchto aktech odlišná od právního řádu České republiky. Jelikož transpoziční lhůta směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/50/ES byla stanovena do 30. dubna 2006 (resp. 31. prosince 2005), přijal parlament České republiky novelu zákona č. 266/1994 Sb., o dráhách,

ve znění pozdějších předpisů, provádějící transpozici uvedené směrnice jako zákon č. 181/2006 Sb., s účinností od 1. července 2006. Nejdůležitějšími prováděcími předpisy z hlediska dosažení interoperability na dráhách v České republice jsou vyhláška Ministerstva dopravy č. 352/2004 Sb., o provozní a technické propojenosti evropského železničního systému, a nařízení vlády č. 133/2005 Sb., o technických požadavcích na provozní a technickou propojenost evropského železničního systému, které je prováděcím předpisem k zákonu č 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky¹.

Navíc v souvislosti se strategií Evropské unie vytvořit železnici více konkurenceschopnější bylo identifikováno šest hlavních nákladních železničních koridorů:

- A: Rotterdam–Janov
- B: Stockholm–Neapol
- C: Antverpy–Basilej–Lyon
- D: Valencie–Lyon–Lublaň–Budapešť
- E: Drážďany–Praha–Budapešť(–Bukurešť)
- F: Duisburg–Berlín–Varšava



Obr. 0.1 – Mapa ERTMS koridorů (zdroj: Annual activity report of coordinator Karel Vinck – ERTMS project²)

Na uvedených koridorech se předpokládá nasazení systému ERTMS do roku 2015. Vzniknuvší jádro ERTMS koridorů má přinést výrazné zlepšení konkurenceschopnosti

¹ SOUŠEK, Jaroslav: *Zapojení České republiky do právního systému EU v působnosti železniční dopravy*. Příspěvek z konference „Moderní zabezpečovací, řídicí a telekomunikační technika na tratích ČR jako součást evropského železničního systému“. České Budějovice, 2007. 5 s.

² VINCK, Karel: *Annual activity report of coordinator Karel Vinck – ERTMS project*. Brusel, 2007. 10 s.

nákladní železniční dopravy, protože vybrané tratě se podílejí cca 20 % na celkovém objemu evropských nákladních přeprav. Česká republika společně s Německem, Rakouskem, Slovenskem a Maďarskem podepsala předběžnou smlouvu v květnu roku 2007. Tato smlouva zavazuje k implementaci systému ERTMS na vytyčených tratích a nabízí možnost čerpat finanční prostředky ze zdrojů Evropské unie³.

Současný stav implementace systému ERTMS, konkrétně ETCS, v České republice je takový, že na pilotním projektu ETCS v traťovém úseku Poříčany–Kolín (mimo) probíhá téměř konečná fáze testování a jeho předání do (komerčního) provozu se předpokládá 31. března 2009⁴. Dále se v plánovacím období 2007–2013 předpokládá zajistit implementaci ETCS na celé české části ERTMS koridoru E (téměř 480 km) a v optimálním případě zahájit implementaci ETCS na 2. NTŽK, který je součástí ERTMS koridorů Katovice–Břeclav⁵.

V této situaci, kdy je budování systému ETCS v ČR již nevyhnutelné, dokonce dnes již zahájené, se nabízí hledat možná vylepšení poskytovaná právě tímto systémem. Zejména se jedná o vylepšení poskytovaná obousměrnou komunikací vozidla (mobilní částí systému ETCS) s radioblokovou centrálou (stacionární částí systému ETCS). Radiobloková centrála může dále teoreticky přímo ovlivňovat procesy probíhající ve stávajícím zabezpečovacím zařízení. To je využitelné kupříkladu při vyrovnávání přibližovací doby přejezdových zabezpečovacích zařízení, čímž se autor této práce zabýval již v minulosti (viz lit. [7]), nebo právě při rušení neprojeté jízdni cesty, čímž se zabývá tato práce.

Myšlenka závěrem: Mnoho odborníků vidí velkou výhodu v zavádění systému ERTMS právě zejména v následné interoperabilitě v oblasti řízení a zabezpečení vybavených tratí vedoucích skrz celou Evropu. To je v daném (evropském) měřítku správné. Ovšem podle mého názoru spočívá největší přínos vybudování systému ERTMS, konkrétně ETCS, v České republice především ve zvýšení bezpečnosti železniční dopravy. Toho se dosáhne právě nahrazením stávajícího liniového vlakového zabezpečovacího systému s kontrolou bdělosti strojvedoucího (LS) systémem s průběžnou kontrolou rychlosti vlaku (ETCS).

³ VINCK, Karel: *Annual activity report of coordinator Karel Vinck – ERTMS project*. Brusel, 2007. s. 10.

⁴ ZANGRADI, Guido: *Product portfolio and ERTMS/ETCS projects of Ansaldo Segnalamento Ferroviario Ansaldo STS group*. Příspěvek ze semináře „K aktuálním problémům zabezpečovací techniky v dopravě III“. ZČU Plzeň, 2008. 66 s.

⁵ VARADINOV, Petr: *Pilotní projekt a další rozvoj systému ETCS v ČR*. Příspěvek ze semináře „K aktuálním problémům zabezpečovací techniky v dopravě III“. ZČU Plzeň, 2008. 5 s.

1 PROBLEMATIKA FUNKCE RUŠENÍ NEPROJETÉ JÍZDNÍ CESTY

1.1 Funkce rušení neprojeté jízdní cesty

1.1.1 Definice pojmů

Následující pojmy jsou definovány pro účely této práce z pohledu zabezpečovacího zařízení a nemusí být vždy v souladu s provozními předpisy Českých drah a jiných soukromých dopravců.

Jízdní cesta je úsek koleje určený pro jízdu železničních vozidel. Jízdní cesta začíná hlavním návěstidlem a končí hlavním návěstidlem, popřípadě jiným vhodným ukončením. Podle svého určení může být jízdní cesta buď vlaková, nebo posunová. V dalším textu bude vždy myšlena vlaková cesta.

Postavená jízdní cesta je jízdní cesta, pro kterou je již vydáváno oprávnění k jízdě, tj. na návěstidle na začátku jízdní cesty svítí dovolující návěst, v systému ETCS je železničnímu vozidlu (mobilní části systému ETCS) odesláno příslušné MA, apod.

Podmínky pro vydání oprávnění k jízdě⁶:

- všechny prvky jízdní cesty jsou volné,
- všechny pohyblivé prvky jsou v požadovaných polohách,
- je proveden závěr jízdní cesty (viz dále),
- jsou provedeny výluky všech současně zakázaných jízdních cest,
- popřípadě jsou provedeny všechny vazby na ostatní zabezpečovací zařízení.

Podmínky pro vydání oprávnění k jízdě musí být splněny ještě před jeho vydáním a trvale po celou dobu jeho vydávání. Za splnění uvedených podmínek je odpovědné stávající zabezpečovací zařízení (kromě ETCS L3, příp. LC).

Závěr jízdní cesty je stav, kdy všechny prvky uvažované jízdní cesty jsou vyhrazeny pro tuto jízdní cestu, všechny pohyblivé prvky vztahující se k jízdní cestě jsou zabezpečeny v požadovaných polohách (je znemožněno jejich přestavení).

Nutnou podmínkou provedení závěru jízdní cesty je volnost všech prvků dané jízdní cesty a požadované polohy všech pohyblivých prvků vztahujících se k dané jízdní cestě. Provedení závěru jízdní cesty je povel k vytvoření výluk současně zakázaných jízdních

⁶ platí pro zařízení 3. kategorie dle normy TNŽ 34 2620 ([2])

cest, popřípadě k provedení vazeb na ostatní zabezpečovací zařízení (PZZ, TZZ, SZZ). Dále je provedení závěru jízdny nutnou podmínkou pro vydání oprávnění k jízdě.

Neprojetá jízdny cesta je postavená jízdny cesta, která ještě nebyla projeta žádným železničním vozidlem, respektive jejíž všechny prvky jsou stále volné.

Rozhodný úsek je úsek koleje před návěstidlem na začátku jízdny cesty, ke které se vztahuje. Stav rozhodného úseku (volný/obsazený) ovlivňuje proces rušení neprojeté jízdny cesty (viz kap. 1.1.2). Délka rozhodného úseku je dána vzdáleností mezi tímto hlavním návěstidlem a **rozhodným bodem**.

1.1.2 Popis funkce rušení neprojeté jízdny cesty

Po přijetí povelu k rušení neprojeté jízdny cesty vydá stavědlo ihned povel ke změně dovolující návěsti na návěstidle na začátku jízdny cesty na zakazující. Poté stavědlo začne zjišťovat, zda je rozhodný úsek pro danou jízdny cestu volný. Pokud ano, zruší jízdny cestu bez zpoždění. Pokud ne, zruší jízdny cestu až po uplynutí předepsaného zpoždění (viz kap. 1.1.3). Jestliže ovšem během měření předepsaného zpoždění dojde k obsazení jakéhokoli úseku jízdny cesty, nedojde ke zrušení jízdny cesty vůbec. V takovém případě je možno jízdny cestu zrušit jen dalším povelu – k nouzovému rušení jízdny cesty nebo její části.

1.1.3 Předepsané zpoždění

Doba předepsaného zpoždění při rušení neprojeté jízdny cesty při obsazeném rozhodném úseku je stanovena podle normy [2] na 3 minuty (180 s). Není totiž zaručeno, že strojvedoucí změnu dovolující návěsti na zakazující zaregistruje a že na ni stihne adekvátně zareagovat. Tato doba tedy musí zaručit, že strojvedoucí vedoucí železniční vozidlo buď změnu zaregistruje a stihne zastavit v rámci rozhodného úseku, nebo stihne obsadit alespoň jeden úsek v rušené jízdny cestě za rozhodným úsekem.

1.1.4 Rozhodný úsek

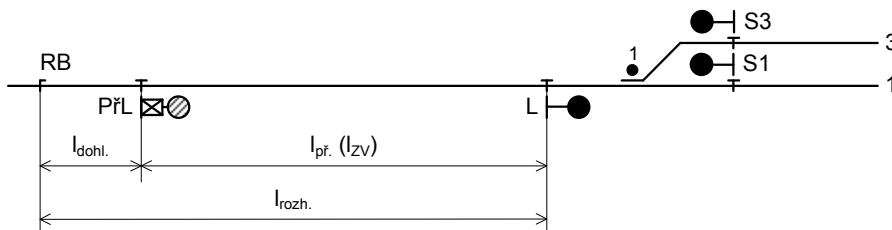
Délka rozhodného úseku je dána vzdáleností „rozhodného bodu“ od návěstidla na začátku jízdny cesty, ke které se rozhodný úsek vztahuje. Délka rozhodného úseku je podle normy [2] stanovena odlišně v závislosti na tom, zda je v rozhodném úseku přenášen kód současného liniového vlakového zabezpečovacího systému (LS). Pokud není přenášen, je délka rozhodného úseku definována jako součet vzdálenosti předvěsti od hlavního návěstidla a vzdálenosti předepsané viditelnosti (dohledu) předvěsti (viz Obr. 1.1 a). Pokud je přenášen,

je délka rozhodného úseku definována jako součet délek dvou, respektive tří prostorových oddílů (viz Obr. 1.1 b, c).

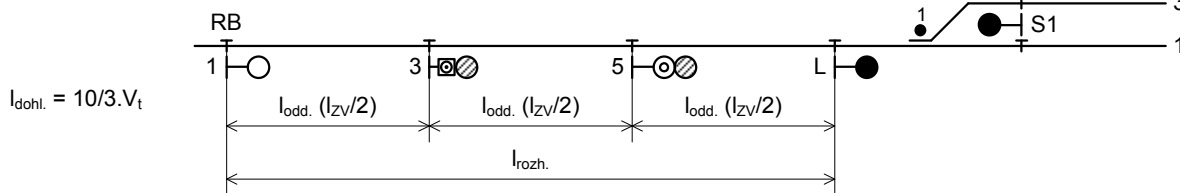
a)

Legenda k obrázkům:

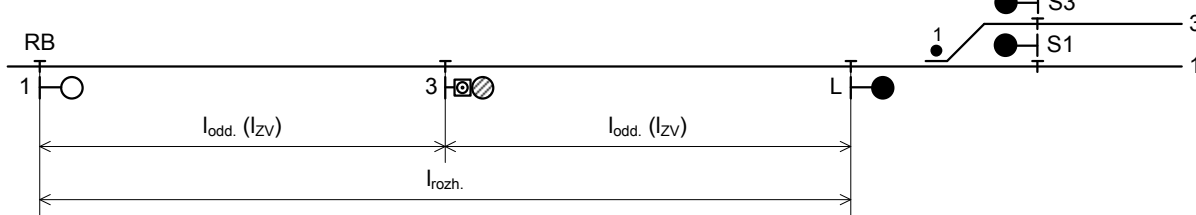
$l_{dohl.}$ vzdálenost předepsané dohlednosti (viditelnosti) návěstidla
 $l_{př.}$ vzdálenost předvěsti od hlavního návěstidla
 l_{zv} zábrzdňá vzdálenost
 $l_{odd.}$ délka oddílu
 $l_{rozh.}$ délka rozhodného úseku
 RB rozhodný bod



b)



c)



Obr. 1.1 – Stanovení délky rozhodného úseku pro tratě:

a) bez AB, b) s čtyřznakovým AB,

c) s trojznakovým AB

Podle současné normy je tedy délka rozhodného úseku (tj. vzdálenost rozhodného bodu (RB) od návěstidla na začátku jízdní cesty) dána vzdáleností místa, ve kterém mohl strojvedoucí poprvé získat informaci o tom, že návěstidlo na začátku postavené, resp. rušené jízdní cesty dovoluje jízdu. Tuto „předvěstní“ informaci může strojvedoucí získat na trati:

- bez přenosu kódu pro současný vlakový zabezpečovač z návěsti na předvěsti hlavního návěstidla na začátku rušené jízdní cesty, resp. na vzdálenost předepsané viditelnosti této předvěsti (Obr. 1.1 a).
- s přenosem kódu pro současný vlakový zabezpečovač z návěstního opakováče po vstupu vlaku do prostorového oddílu, na jehož konci se nachází předvěst hlavního návěstidla na začátku rušené jízdní cesty (Obr. 1.1 b, c).

1.2 Identifikace problému

Po přijetí povelu k rušení neprojeté jízdni cesty a po následné změně dovolující návěsti na začátku rušené jízdni cesty na zakazující není při obsazeném rozhodném úseku zaručeno, že strojvedoucí změnu návěsti zaregistruje a že na ni stihne adekvátně zareagovat. Pokud by to nestihl, vlak by vjel do již zrušené jízdni cesty, což je nežádoucí (viz dále).

Problém tedy principiálně spočívá v nemožnosti zjištění, zda je vlak po změně dovolující návěsti na začátku jízdni cesty na zakazující možno zastavit v rámci rozhodného úseku, případně zda v něm již skutečně zastavil. Z toho důvodu je v současnosti definováno předepsané zpoždění a rozhodný úsek. Předpokládá se, že během měření předepsaného zpoždění vlak:

- buď stihne v rámci rozhodného úseku zastavit,
- nebo stihne projet rozhodným úsekem a obsadit alespoň jeden úsek v rušené jízdni cestě, ke které se rozhodný úsek vztahuje.

Pokud by byl výše uvedený předpoklad nesprávný, vlak by vjel do jízdni cesty, pro kterou již nejsou provedeny výluky současně zakázaných jízdni cest, vazby na ostatní zabezpečovací zařízení a není proveden ani závěr jízdni cesty. Obecněji je možno říci, že pro tuto jízdni cestu již nejsou splněny podmínky uvedené v normě [2].

1.3 Možnosti poskytované systémem ETCS L2

Problém nastíněný v předchozí kapitole je možno zlepšit použitím vhodného vlakového zabezpečovacího systému, který umožňuje jednak informaci o dodatečném omezení oprávnění k jízdě předat na vozidlo, jednak poskytnout informaci potvrzující jeho příjem, případně informaci potvrzující, že vozidlo je schopno jej dodržet. První požadavek (přenesení dodatečného omezení oprávnění k jízdě) poskytuje v České republice již používaný liniový vlakový zabezpečovací systém LS. Oba požadavky poskytuje například evropský vlakový zabezpečovací systém ETCS, jehož zavádění je v České republice v budoucnu předpokládáno (dokonce dnes již jako jediné možné – viz kap. „Úvod“).

1.3.1 Základní/obecné principy ETCS L2

Systém ETCS může výrazně přispět nejen k bezpečnosti dopravy při rušení neprojeté jízdni cesty, ale i k jistému provoznímu komfortu (omezením četnosti nouzových brzdění vlaků). Ve specifikacích [1] je uvedeno několik aplikačních úrovní systému ETCS. V České

republiky bylo rozhodnuto vybudovat systém ETCS 2. úrovně. Vzhledem k tomuto rozhodnutí budu v diplomové práci v dalším textu popisovat především systém ETCS L2 (Level 2), jenž představuje nadstavbu stávajícího zabezpečovacího zařízení. Jedná se o liniový vlakový zabezpečovací systém založený na rádiové síti GSM-R.

Systém ETCS sestává, nezávisle na použité úrovni, ze dvou částí: mobilní (palubní, on-board) a traťové (stacionární, trackside). Mobilní část systému je umístěna na hnacím vozidle. Její základní úlohou je na základě obdrženého platného oprávnění k jízdě MA (Movement Authority) dovolovat vlaku jízdu. Mobilní část systému trvale kontroluje, je-li skutečná rychlost vlaku pod stanovenou hodnotou dovolené rychlosti danou dynamickým rychlostním profilem. Oprávnění k jízdě jednotlivým vlakům posílá radiobloková centrála RBC (Radio Block Centre) tvořící základní prvek traťové části systému ETCS L2. RBC generuje oprávnění k jízdě a posílá je jednotlivým vlakům (mobilním částem systému) průběžně prostřednictvím rádiové sítě GSM-R na základě informací ze stávajícího zabezpečovacího zařízení.

Poznámka: U systému ETCS L1 tvoří základní prvek traťové části traťová elektronická jednotka LEU (Lineside Electronic Unit), která slouží jako rozhraní mezi přepínatelnou balízkou⁷ a stávajícím zabezpečovacím zařízením. LEU obdobně jako RBC na základě informací ze stávajícího zabezpečovacího zařízení generuje a posílá jednotlivým vlakům oprávnění k jízdě ovšem jen bodově prostřednictvím přepínatelné balíčky, ke které je připojena. Z toho je zřejmé, že ETCS L1 je bodový vlakový zabezpečovací systém.

Podstatný rozdíl mezi RBC a LEU spočívá v tom, že RBC předává informace všem ETCS vlakům v její oblasti a má tedy informace o všech jízdních cestách v této oblasti (obvykle tyto informace získává prostřednictvím dálkového ovládacího zabezpečovacího zařízení). Naopak LEU předává informace většinou jen jednomu ETCS vlaku míjícímu přepínatelnou balíčku (umístěnou obvykle u hlavního návěstidla) a má tedy informace jen o dané jízdní cestě (obvykle tyto informace čte z obvodů návěstních světel návěstidla na začátku jízdní cesty).

1.3.2 Jazyk ETCS

Veškerá komunikace mezi mobilní a traťovou částí systému ETCS se uskutečňuje prostřednictvím jazyka ETCS. Ten je založen na proměnných, paketech, zprávách a telegramech. Proměnná má charakteristickou hodnotu, která je vztažena k jejímu základnímu významu. Název proměnné začíná vždy jednou z následujících předpon (viz Tab. 1.1).

⁷ balíčka = bodový přenašeč (pův. z fr. balise = bóje)

Předpona	Význam (EN)	Význam (CZ)
A_	Acceleration	zrychlení
D_	Distance	vzdálenost
G_	Gradient	spád
L_	Length	délka
M_	Miscellaneous	různý
N_	Number	číslo
NC_	Class Number	číslo třídy
NID_	IDentify Number	identifikační číslo
Q_	Qualifier	kvalifikátor
T_	Time/date	čas/datum
V_	Velocity	rychlost
X_	Text	text

Tab. 1.1 – Seznam předpon názvů proměnných v jazyce ETCS

Několik proměnných dohromady sdružuje paket, který kromě proměnných obsahuje i vlastní hlavičku. Vybrané pakety jazyka ETCS jsou uvedeny v příloze 1. Zpráva se používá při přenosu informací prostřednictvím rádia. Skládá se z hlavičky zprávy, paketů (předem stanovených nebo volitelných), popřípadě z proměnných (předem stanovených). Vybrané zprávy jazyka ETCS jsou uvedeny také v příloze 1. Telegram se, na rozdíl od zprávy, používá při přenosu informací prostřednictvím balízy. Skládá se z hlavičky telegramu a libovolných paketů, které jsou vždy ukončeny paketem 255 „Konec informace“.

Jak zprávy a telegramy, tak samozřejmě i pakety a proměnné, ze kterých se skládají, musí mít přesně definovanou strukturu, kterou udávají specifikace [1].

1.3.3 Balízová souřadná soustava

Všechny vzdálenostní informace (proměnné s předponou „D_“) jsou, podle specifikací [1], na vozidlo (mobilní část systému) předávány vždy vzhledem k nějakému referenčnímu bodu – balíze, popřípadě místu s definovanou vzdáleností od balízy. Balízy mohou být sdružovány do balízových skupin BG (Balise Group). Každá balízová skupina, skládající se z jedné až osmi balíz, má svou souřadnou soustavu. Počátek balízového souřadného systému pak vždy určuje první balíza ve skupině.

Vzhledem k této balíze, tj. s pořadovým číslem jedna v balízové skupině, vozidlo (mobilní část systému) hlásí svou polohu. Balízová skupina zahrnující tuto balízu se potom označuje jako poslední platná balízová skupina LRBG (Last Relevant Balise Group). RBC dále vzhledem k takto oznámené LRBG vztahuje všechny vzdálenostní informace posílané na vozidlo (mobilní část systému) tak, jak již bylo zmíněno.

Poznámka: Pro lepší přehlednost bude v dalším textu vozidlem vždy, pokud nebude uvedeno jinak, myšlena mobilní část systému ETCS, jíž je dané vozidlo vybaveno.

1.3.4 Oprávnění k jízdě

Bez platného oprávnění k jízdě nedovolí mobilní část systému vlaku jízdu pod dohledem ETCS (v módu FS, příp. OS). RBC vydává oprávnění k jízdě na základě informace o postavené jízdni cestě. Po vydání oprávnění k jízdě musí být BRC na základě svých algoritmů schopna zjistit, pro které železniční vozidlo je jízdni cesta postavena. V případě, že se jedná o vozidlo vybavené mobilní částí ETCS musí být schopna mu předat oprávnění k jízdě.

Charakteristiky oprávnění k jízdě (MA):

- konec oprávnění k jízdě EOA (End Of Authority) – místo, kam až má vlak oprávnění jet;
- dovolená rychlost na konci oprávnění k jízdě (EOA/LOA) – je-li nulová, označuje se konec oprávnění k jízdě jako EOA × je-li větší než nula, neoznačuje se konec oprávnění k jízdě jako EOA, ale jako limit oprávnění k jízdě LOA (Limit Of Authority);
- místo ohrožení DP (Danger Point) – místo za EOA, které může být dosaženo čelem vlaku, aniž by při tom nastal hazard;
- prokluzový úsek OL (OverLap) – úsek za EOA, k jehož konci může vlak dojet, aniž by během jeho jízdy nastal hazard (použitelné jen tehdy, pokud je uvažován i ve stávajícím zabezpečovacím zařízení);
- uvolňovací rychlosti – dovolené rychlosti vlaku, rozlišují se tři: 1. v blízkosti EOA, pokud je rychlost na konci oprávnění nulová; 2. v blízkosti místa ohrožení; 3. při jízdě v prokluzovém úseku;

Poznámka: Mobilní část systému musí mít spolu s oprávněním k jízdě (MA) pro daný úsek trati k dispozici i informace popisující trať – statický rychlostní profil SSP (Static Speed Profile) a profil sklonu GP (Gradient Profile). Statický rychlostní profil je na vlak přenášen

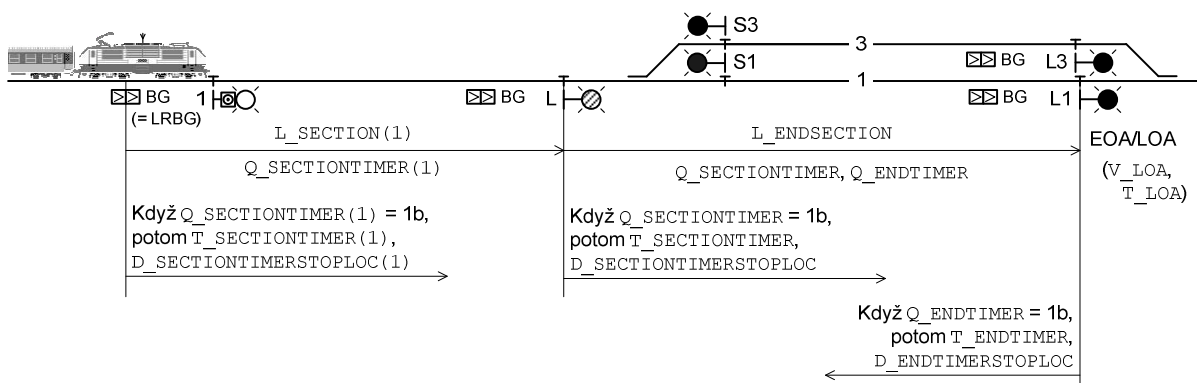
prostřednictvím paketu 27 a profil sklonu trati prostřednictvím paketu 21. Oba pakety mohou být obsaženy například ve zprávě 3, nebo 24. Když při přijetí MA mobilní část systému nemá data popisující úsek trati zahrnutý v MA, nemůže pro daný úsek vypočítat dynamický rychlostní profil a MA nepřijme (odmítne).

Oprávnění k jízdě je, podle specifikací [1], na vlak v systému ETCS L2 předáváno rádiem (GSM-R) prostřednictvím zprávy 3 „Oprávnění k jízdě“, která obsahuje paket 15 „Oprávnění k jízdě pro úroveň 2/3“ (viz příloha 1).

Paket 15 „Oprávnění k jízdě pro úroveň 2/3“ obsahuje:

- délku jednotlivých úseků MA ($L_SECTION(k)$ a $L_ENDSECTION$),
- volitelně dobu platnosti jednotlivých úseků MA ($T_SECTIONTIMER(k)$ dle $Q_SECTIONTIMER(k)$),
- volitelně vzdálenost, po kterou se měří doba platnosti jednotlivých úseků MA ($D_SECTIONTIMERSTOPLOC(k)$ dle $Q_SECTIONTIMER(k)$),
- dovolenou rychlost v EOA/LOA (V_LOA),
- dobu platnosti dovolené rychlosti v EOA/LOA (T_LOA),
- volitelně vzdálenost místa ohrožení⁸ za EOA (D_DP dle $Q_DANGERPOINT$),
- volitelně uvolňovací rychlost vztažená k místu ohrožení ($V_RELEASEDP$ dle $Q_DANGERPOINT$),
- volitelně vzdálenost od EOA ke konci prokluzového úseku (D_OL dle $Q_OVERLAP$),
- volitelně dobu platnosti prokluzového úseku (T_OL dle $Q_OVERLAP$),
- volitelně vzdálenost, po kterou se měří doba platnosti prokluzového úseku ($D_STARTOL$ dle $Q_OVERLAP$),
- volitelně uvolňovací rychlost vztaženou k prokluz. úseku ($V_RELEASEOL$ dle $Q_OVERLAP$).

⁸ místem ohrožení jsou myšleny především pohyblivé prvky (např. výměny, výkolejky) a přejezdy v jízdni cestě



Obr. 1.2 – Struktura MA (rozmístění BG je pouze ilustrativní, v obrázku nejsou zahrnuty proměnné týkající se místa ohrožení (DP) a prokluzového úseku (OL): $Q_DANGERPOINT$, D_DP , $V_RELEASEDP$; $Q_OVERLAP$, T_OL , D_OL , $V_RELEASEOL$ – viz příloha 2)

Oprávnění k jízdě může být, jak je naznačeno na obrázku 1.2, rozděleno do několika dílčích úseků (různých délek $L_SECTION(k)$), vždy však obsahuje alespoň jeden úsek, koncový (délky $L_ENDSECTION$). Z hlediska rušení neprojeté jízdní cesty je důležité, že ke každému takovému úseku může být (dle kvalifikátoru $Q_SECTIONTIMER(k)$) přiřazena doba jeho platnosti ($T_SECTIONTIMER(k)$) a vzdálenost, po kterou je doba jeho platnosti měřena ($D_SECTIONTIMERSTOPLOC(k)$).

Jakmile doba platnosti ($T_SECTIONTIMER(k)$ při $Q_SECTIONTIMER(k) = 1b$) jakéhokoliv úseku oprávnění k jízdě uplyne ještě před tím, než vlak dosáhne místa ukončení měření této doby ($D_SECTIONTIMERSTOPLOC(k)$ od začátku úseku), přesune se EOA/LOA na jeho začátek. V případě, že byla dovolená rychlost na konci oprávnění k jízdě nenulová ($V_LOA \neq 0$), dojde k jejímu nastavení na nulu ($V_LOA = 0$, tj. $LOA \rightarrow EOA$).

Novou, bližší polohu EOA mobilní část systému okamžitě promítne do výpočtu dynamického rychlostního profilu. Je-li v této chvíli skutečná rychlost vlaku vyšší, než udává křivka intervence provozní, resp. nouzové brzdy, dojde k zásahu provozní, resp. nouzové brzdy.

1.3.5 Možnosti dodatečné změny (omezení) oprávnění k jízdě

Principiálně je již vydané a odeslané oprávnění k jízdě v systému ETCS L2 možno dodatečně omezit jedním z následujících způsobů: zprávou se zkráceným MA (zpráva 3), zprávou se žádostí o zkrácení MA (zpráva 9), nouzovou zprávou s příkazem k podmíněnému zastavení (zpráva 15), nouzovou zprávou s příkazem k nepodmíněnému zastavení (zpráva 16), nebo dočasným omezením rychlosti (paket 65, přenášený například ve zprávě 3, nebo 24).

Zpráva se zkráceným MA

Jakmile mobilní část systému přijme zprávu se zkráceným MA (zpráva 3), promítne okamžitě novou polohu konce oprávnění k jízdě (EOA) do výpočtu dynamického rychlostního profilu. Jestliže je v této chvíli okamžitá rychlost vlaku vyšší než udává křivka intervence provozní, resp. nouzové brzdy, dojde k okamžitému zásahu provozní, resp. nouzové brzdy.

Mobilní část může informovat RBC o přijetí zprávy 3 prostřednictvím zprávy 146.

Zpráva se žádostí o zkrácení MA

Jakmile mobilní část systému přijme zprávu se žádostí o zkrácení MA (zpráva 9) s novou, bližší polohou EOA, než je současná, začne zjišťovat, je-li možno vlak k takto získanému EOA zastavit. Pokud ano, mobilní část systému odsouhlasí novou polohu EOA a okamžitě ji promítne do výpočtu dynamického rychlostního profilu. V opačném případě novou polohu EOA odmítne a dále při výpočtu dynamického rychlostního profilu uvažuje předchozí polohu EOA.

V obou případech mobilní část systému o povolení, resp. zamítnutí žádosti o zkrácení MA informuje RBC (prostřednictvím zprávy 137, resp. 138). Navíc může mobilní část informovat RBC o přijetí zprávy 9 prostřednictvím zprávy 146.

Nouzová zpráva s příkazem k podmíněnému zastavení

Nouzová zpráva může být přenesena jako zpráva s vysokou prioritou, aby bylo v případě nouze zajištěna rychlá reakce. Jakmile mobilní část systému přijme zprávu s příkazem k podmíněnému nouzovému zastavení (zpráva 15) s definovanou polohou místa zastavení, začne zjišťovat, pohybuje-li se vlak již za tímto místem. Pokud ano, mobilní část systému zprávu s příkazem k nouzovému zastavení ignoruje. V opačném případě zprávu odsouhlasí, čímž použije polohu místa zastavení jako EOA (ovšem pouze tehdy, pokud je jeho poloha před polohou současného EOA). Takto získanou novou polohu EOA mobilní část systému okamžitě promítne do výpočtu dynamického rychlostního profilu. Je-li v této chvíli okamžitá rychlost vlaku vyšší, než udává křivka intervence provozní, resp. nouzové brzdy, dojde k okamžitému zásahu provozní, resp. nouzové brzdy.

Mobilní část systému o přijetí zprávy s nouzovým zastavením a o výsledku zjišťování informuje RBC prostřednictvím zprávy 147. Navíc může mobilní část informovat RBC o přijetí zprávy 15 prostřednictvím zprávy 146.

Nouzová zpráva s příkazem k nepodmíněnému zastavení

Tato nouzová zpráva může být také přenesena jako zpráva s vysokou prioritou, ovšem reakce mobilní části systému na ni je zcela odlišná. Jakmile mobilní část systému přijme zprávu s příkazem k nepodmíněnému nouzovému zastavení (zpráva 16), dojde okamžitě k zásahu nouzové brzdy nezávisle na skutečné poloze vlaku.

Mobilní část systému opět o přijetí zprávy s nouzovým zastavením informuje RBC prostřednictvím zprávy 147. Navíc může mobilní část informovat RBC o přijetí zprávy 16 prostřednictvím zprávy 146.

Zpráva s dočasným omezením rychlosti

Dočasným omezením rychlosti je možno stanovit rychlost vlaku v rozsahu od 0 do 600 km.h⁻¹ s krokem 5 km.h⁻¹. Jakmile mobilní část systému přijme zprávu s paketem dočasného omezení rychlosti (paket 65), promítne toto omezení okamžitě do výpočtu dynamického rychlostního profilu. Pokud je v této chvíli okamžitá rychlost vlaku vyšší než udává křivka intervence provozní, resp. nouzové brzdy, dojde k okamžitému zásahu provozní, resp. nouzové brzdy.

Mobilní část systému může informovat RBC pouze o přijetí zprávy obsahující paket 65 prostřednictvím zprávy 146.

1.3.6 Identifikace problému v systému ETCS L2

V případě stávajícího zabezpečovacího zařízení se informace o rušené neprojeté jízdě cestě, tedy o dodatečném omezení již vydaného oprávnění k jízdě, projeví takřka okamžitě změnou dovolující návěsti na začátku jízdě cesty na zakazující. Bezpečnost železniční dopravy je v tomto případě závislá především na době předepsaného zpoždění, délce rozhodného úseku a na splnění předpokladu uvedeného v kapitole 1.2.

V systému ETCS L2 dojde při rušení neprojeté jízdě cesty téměř okamžitě k vygenerování informace o zkrácení oprávnění k jízdě (MA) a jejímu odeslání mobilní části systému na vozidlo. Ovšem vlastnosti komunikačního prostředí nemusí vždy zaručit doručení zprávy obsahující danou informaci včas, popřípadě vůbec. Bezpečnost železniční dopravy je v tomto případě závislá na bezpečné reakci mobilní části systému, protože hlavní návěstidla pro jízdu vlaku pod dohledem ETCS neplatí. Její reakce je ovlivněna především nastavením vhodných hodnot příslušných časovačů, čímž se podrobněji zabývá následující kapitola.

1.3.7 Možnosti řešení přerušení komunikace v systému ETCS L2

Detekovat přerušení komunikace je obecně možno provádět jak na straně příjemce zprávy, tak na straně jejího zdroje. Komunikace v systému ETCS L2 probíhající mezi vozidlem (mobilní částí systému) a RBC (traťovou částí systému) má charakter nespojitého přenosu jednotlivých zpráv. Odhalit přerušení komunikace je v takovém případě možno:

- na straně příjemce zprávy: určením nejdelší možné doby mezi dvěma za sebou následujícími zprávami – po překročení této doby bez přijetí nové zprávy je vyhodnoceno přerušení komunikace,
- na straně zdroje zprávy: vyžádáním potvrzení přijetí zprávy od příjemce – přerušení komunikace je vyhodnoceno na základě nepřijetí potvrzení ve stanovené době.

Komunikace směrem RBC→vozidlo

Zdrojem informací je RBC a jejich příjemcem je mobilní část systému. RBC posílá vozidlu zprávy periodicky. Mobilní část systému usuzuje na přerušení komunikace, jestliže po poslední přijaté zprávě uplyne doba $T_{NVCONTACT}$ a během ní nepřijme žádnou další novou zprávu. Aby se zabránilo uplynutí doby $T_{NVCONTACT}$ bez nové zprávy i v případě, kdy pro vozidlo není připravena žádná nová informace, může RBC poslat mobilní části systému zprávu prázdnou.

Jestliže i přes to uplyne doba $T_{NVCONTACT}$, aniž by během ní přišla nová zpráva, mobilní část systému spustí reakci v závislosti na hodnotě přednastavené v proměnné $M_{NVCONTACT}$ (bez reakce, provozní brzdění, nouzové brzdění⁹). Obě proměnné jsou tzv. *národní hodnoty* a velmi pravděpodobně budou definovány jednotně pro celou Českou republiku. V každém případě se mobilní část systému snaží udržet komunikaci, tj. uvolní ji a začne ji navazovat znovu.

Pokud dojde ke spuštění provozního brzdění v souvislosti s přerušením rádiové komunikace (uplyne doba $T_{NVCONTACT}$, aniž by během ní přišla nová zpráva), lze brzdu uvolnit až po zastavení vozidla, případně ihned po přijetí nové zprávy od RBC (v takovém případě není zastavení vozidla vyžadováno). Pokud dojde ke spuštění nouzového brzdění¹⁰, je možno brzdu uvolnit jedině až po zastavení vozidla a potvrzení strojvedoucím (potvrzení je strojvedoucímu umožněno teprve po zastavení vozidla).

⁹ přesněji přejde mobilní část systému do módu TR

¹⁰ způsobeného přechodem do módu TR

Jakmile dojde k zastavení vozidla jako důsledek výše uvedené detekce přerušení komunikace, mobilní část systému vymaže podle specifikací [1] zbývající část, případně celé oprávnění k jízdě. V takovém případě je vlaku umožněno pokračovat v další jízdě pouze volbou „Projetí EOA“, respektive přechodem do módu SR, případně po přijetí nového oprávnění k jízdě.

Komunikace směrem vozidlo→RBC

Zdrojem informací je vozidlo a jejich příjemcem je RBC. Ta může žádat od mobilní části systému potvrzení přijetí zprávy. Potvrzení zprávy lze nastavit v hlavičce každé zprávy, kterou RBC mobilní části systému posílá (dle kvalifikátoru M_AKC).

Příjem zprávy, u které je vyžadováno její potvrzení ($M_AKC = 1b$), potvrdí mobilní část systému při dostupné komunikaci zprávou 146 „Potvrzení“. Usuzovat na přerušení komunikace je možno od odeslání zprávy například měřením doby do přijetí potvrzující zprávy 146. Přesáhne-li měřená doba stanovenou mezní hodnotu, aniž by přišla potvrzující zpráva, je možno předpokládat, že došlo k přerušení komunikace mezi mobilní částí systému a RBC vlivem nedostupnosti radiového signálu na vozidle.

Komunikace stavědlo↔RBC

Předpokládá se, že komunikace mezi stavědlem a RBC bude probíhat trvale. V takovém případě může příjemce na přerušení komunikace usuzovat při nepřijetí žádné nové zprávy během definované mezní doby (např. během 1 s, což je v současnosti uvažováno).

2 ANALÝZA A POSOUZENÍ EXISTUJÍCÍCH NÁVRHŮ ŘEŠENÍ PŘEDMĚTNÉ FUNKCE V SYSTÉMU ETCS L2

V současné době existuje několik návrhů řešení pro aplikaci v České republice, které vyplývají z dokumentu [3]. Odkazovaný dokument se týká specifikací funkčních požadavků na činnost systému ETCS L2 na tratích národního tranzitního železničního koridoru. Určitě ještě existuje návrh řešení pro Pilotní projekt Poříčany–Kolín, o kterém má však autor této práce jen rámcovou představu. Z toho důvodu budou dále analyzovány a posuzovány pouze návrhy řešení uvedené v dokumentu [3], a to i přesto, že je již několik let starý a mnohé se od doby jeho vzniku změnilo.

2.1 Návrh řešení předmětné funkce – BRC nespolupracuje

Při návrhu se vychází z požadavku na jednosměrnou komunikaci mezi radioblokovou centrálou (RBC) a stávajícím zabezpečovacím zařízením. Hlavním argumentem jednosměrné komunikace je, že takovéto řešení nevyžaduje zásah do logiky stávajícího zabezpečovacího zařízení, ani případnou změnu chování obsluhy.

Rušení neprojeté jízdní cesty probíhá ve smyslu kapitoly 1.1.2 jen s tím rozdílem, že na základě informací o stavu jízdních cest předává RBC vozidlu příslušné oprávnění k jízdě. V případě, že RBC při rušení neprojeté jízdní cesty nespolupracuje je nejprve nutno odpovědět na následující otázky:

1. Jakým způsobem informovat mobilní část systému o dodatečném omezení oprávnění k jízdě?
2. Jakým způsobem detekovat a zvládnout případné přerušení komunikace?

Dále je třeba uvážit, jsou-li při stanoveném způsobu dodatečného omezení MA a způsobu detekce a zvládnutí přerušení komunikace dostačující následující parametry uvedené v normě [2]:

- předepsaná doba zpoždění (180 s),
- délka rozhodného úseku (2 000 m).

2.1.1 Stanovení způsobu dodatečného omezení oprávnění k jízdě

Dodatečné omezení oprávnění k jízdě (MA) je možno mobilní části systému sdělit několika způsoby. Dokument [3] hodnotí, s výjimkou zprávy se zkráceným MA, všechny způsoby uvedené v kapitole 1.3.5 následovně.

Zpráva se žádostí o zkrácení MA, s novou polohou EOA u návěstidla na začátku rušené jízdní cesty, je nepoužitelná. Důvod nepoužitelnosti spočívá v tom, že toto zkrácení MA mobilní část systému může odmítnout. Při jeho odmítnutí by nastala situace, kdy by jízda vozidla byla dohlížena podle původního (nezměněného MA) a návěstidlo na začátku rušené jízdní cesty by dávalo návěst „Stůj“ s absolutním významem, což je nežádoucí.

Nouzová zpráva s příkazem k podmíněnému zastavení, s polohou místa zastavení u návěstidla na začátku rušené jízdní cesty, je použitelná. Poloha místa nouzového zastavení uvedená ve zprávě se v tomto případě vždy nachází před vlakem. Mobilní část systému tedy příkaz k nouzovému zastavení odsouhlasí, což vyvolá v závislosti na okamžité rychlosti vlaku reakci podle kapitoly 1.3.5 (bez zásahu brzdy, spuštění provozní, či nouzové brzdy).

Nouzová zpráva s příkazem k nepodmíněnému zastavení je nepoužitelná, protože u ní dojde vždy ke spuštění nouzového brzdění. To je nežádoucí vzhledem k negativním účinkům nouzového brzdění na přepravované osoby, i na schopnost některých typů souprav pokračovat v další jízdě.

Dočasné omezení rychlosti, s rychlostí $0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ začínající u hlavního návěstidla na začátku rušené jízdní cesty, je nepoužitelné. Tímto by se použití nouzové brzdy přímo nezabránilo, ale strojvedoucímu by se umožnilo použít volbu „Projetí EOA“. Po jejím provedení by mobilní část systému přešla do módu SR a strojvedoucí by pak mohl nouzovou brzdou uvolnit. Dokument [3] uvádí podstatný funkční nedostatek spočívající v tom, že ještě dříve, než strojvedoucí stihne zareagovat na změnu dynamického rychlostního profilu zvolením „Projetí EOA“, dojde již ke spuštění nouzové brzdy.

Další nedostatek je spatřován v tom, že volbu „Projetí EOA“ je možno provést pouze v případě, pokud je skutečná rychlost vlaku nižší než národní hodnota nejvyšší dovolené rychlosti pro zpřístupnění volby „Projetí EOA“ ($V_{\text{NVALLOWOVTRP}}$). Dále po volbě „Projetí EOA“ se musí vlak pohybovat rychlostí nižší, než je národní hodnota dovolené rychlosti v době činnosti funkce „Projetí EOA“ ($V_{\text{NVSUPOVTRP}}$). Aby bylo možno provést popsany postup, aniž by došlo k nouzovému brzdění, musely by obě tyto národní hodnoty odpovídat nejvyšší traťové rychlosti na železniční síti v České republice (tj. $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). To je ovšem z bezpečnostního hlediska nepřístupné.

Poznámka: Procedura „Projetí EOA“ není podle v současné době platných specifikací verze 2. 3. 0. (viz lit. [1]) vyžadována. Reakce mobilní části systému na nulovou rychlost dočasného omezení rychlosti je shodná s reakcí na příjem, resp. odsouhlasení bližšího EOA tak, jak je popsáno v kapitole 1.3.5. Strojvedoucí tudíž nemusí volit „Projetí EOA“ a přecházet do módu SR.

Pro navrhované řešení bylo podle dokumentu [3] stanoveno, že **informace o dodatečném omezení oprávnění k jízdě** při rušení neprojeté jízdní cesty bude na vlak předána **prostřednictvím nouzové zprávy s příkazem k podmíněnému zastavení** (zprávy 15). Přičemž četnost případů, kdy dojde k použití nouzové brzdy, nelze tímto řešením proti současnému stavu výrazně omezit, ale ani nedojde jejímu zvýšení.

2.1.2 Stanovení způsobu řešení přerušování komunikace mezi vozidlem a RBC

Zde je rozhodující, jestli při daném způsobu řešení přerušování komunikace mezi vozidlem a RBC bude předepsaná doba zpoždění 180 s dostačující. Tato doba bude dostačující právě tehdy, když vlak i při nejnepříznivějších okolnostech (viz dále) během ní přerušování komunikace detekuje a zastaví. Z toho důvodu dokument [3] před vlastním stanovením způsobu řešení přerušování komunikace nejdříve odvozuje nejdelší dobu zastavení vlaku. Uvažuje při tom dva nejhorší případy následovně.

V prvním případě uvažuje **vlak osobní dopravy**, který je brzděný I. způsobem brzdění. Tento vlak se může pohybovat po trati vybavené vlakovým zabezpečovačem¹¹ maximální rychlostí $V_0 = 160 \text{ km.h}^{-1}$. Dále je uvažováno, že tento vlak má průměrné brzdné zpomalení $b = 0,5 \text{ m.s}^{-2}$ (předpokládá se, že dané zpomalení zahrnuje i dobu reakce brzdového systému). Uvažujeme-li pohyb vlaku při brzdění za pohyb rovnoměrně zpomalený, zastaví takový vlak za dobu danou vzorcem: $t_{\text{zast.}} = \frac{V_0}{3,6.b} \text{ [s]}$, (1)

kde V_0 počáteční rychlost [km.h^{-1}],
 bbrzdné zpomalení [m.s^{-2}].

Po dosazení do vzorce (1) získáme, že vlak zastaví z rychlosti 160 km.h^{-1} při průměrném brzdném zpomalení $0,5 \text{ m.s}^{-2}$ za dobu $88,8 \text{ s}$, po zaokrouhlení 89 s . Uvažované brzdné zpomalení je ale označováno za poněkud pesimistické, protože vlaky jezdící rychlostí vyšší než 120 km.h^{-1} dosahují větších brzdných zpomalení.

Ve druhém případě uvažuje **vlak nákladní dopravy**, který je brzděný II. způsobem brzdění. Tento vlak se může (podle dokumentu [3]) pohybovat po trati vybavené vlakovým zabezpečovačem maximální rychlostí $V_0 = 120 \text{ km.h}^{-1}$. Dále je uvažováno, že tento vlak má průměrné brzdné zpomalení $b = 0,24 \text{ m.s}^{-2}$. Uvažujeme-li pohyb vlaku za pohyb rovnoměrně zpomalený, zastaví takový vlak za dobu danou vzorcem (1).

¹¹ v takovém případě je v této práci dále mlčky předpokládáno, že i vlak je vybaven mobilní částí systému LS, při rozkladu zábrzdě dráhy dokonce s rozbořem bezpečnosti, tj. LS 90, LS 06, popř. STM LS

Po dosazení do vzorce (1) obdržíme, že vlak zastaví z rychlosti 120 km.h^{-1} při průměrném brzděném zpomalení $0,24 \text{ m.s}^{-2}$ za dobu $138,8 \text{ s}$, po zaokrouhlení 139 s . Uvažované brzděné zpomalení je určeno ze situace, kdy se stejný vlak pohybuje po trati nevybavené vlakovým zabezpečovačem. Potom se vlak může (podle dokumentu [3]) pohybovat maximální rychlostí 80 km.h^{-1} a jeho maximální zábrzdna dráha je $1\,000 \text{ m}$. Uvažujeme-li opět pohyb vlaku za pohyb rovnoměrně zpomalený, lze jeho brzděné zpomalení stanovit podle vzorce: $b = \frac{V_0^2}{2,3,6^2 \cdot l_{\text{zabrd.}}}$ [m.s^{-2}], (2)

kde V_0 počáteční rychlost [km.h^{-1}],
 $l_{\text{zabrd.}}$zábrzdna dráha [m].

Po dosazení do vzorce (2) dostaneme, že vlak z rychlosti 80 km.h^{-1} zastaví na dráze $1\,000 \text{ m}$ s průměrným brzděným zpomalením rovným $0,24691 \text{ m.s}^{-2}$. Po zaokrouhlení této hodnoty z bezpečnostního hlediska dolů (horší brzděné vlastnosti) získáme právě číslo odpovídající ve výpočtu použitému brzděnému zpomalení, tj. $0,24 \text{ m.s}^{-2}$.

Navíc je ověřováno, zdali vlak brzděný II. způsobem brzdění pohybující se po trati vybavené vlakovým zabezpečovačem nedosahuje nižšího brzděného zpomalení než tentýž vlak pohybující se po trati nevybavené. V případě vybavené trati se vlak může (podle dokumentu [3]) pohybovat maximální rychlostí 120 km.h^{-1} a jeho zábrzdna dráha se rozkládá do dvou za sebou následujících zábrzdných vzdáleností, tj. činí tedy $2\,000 \text{ m}$.

Po dosazení do vzorce (2) obdržíme, že vlak zastaví z rychlosti 120 km.h^{-1} na dráze $2\,000 \text{ m}$ s průměrným brzděným zpomalením $0,27 \text{ m.s}^{-2}$. Vyšla hodnota vyšší, než u vlaku zastavujícího z rychlosti 80 km.h^{-1} na dráze $1\,000 \text{ m}$, pro výpočet je tedy správně použita hodnota brzděného zpomalení nižší, tj. $0,24 \text{ m.s}^{-2}$.

Dokument [3] považuje za **nejdelší** v provozu se vyskytující **dobu zastavení vozidla 139 s**, přičemž o této hodnotě tvrdí, že ji lze považovat za poměrně pesimistickou. Uvedené tvrzení dokládá důkazem, který provede dosazením příslušných hodnot do vzorce pro

$$\text{zábrzdnou dráhu: } s = \frac{V_0^2}{2,3,6^2 \cdot b} \text{ [m]}, \quad (3)$$

kde V_0 počáteční rychlost [km.h^{-1}],
 bbrzděné zpomalení [m.s^{-2}].

Po dosazení do vzorce (3) získáme, že vlak z rychlosti 120 km.h^{-1} s brzdným zpomalením $0,24 \text{ m.s}^{-2}$ zastaví na dráze přibližně 2 315 m. Ovšem na železniční síti v České republice se v současnosti nesmí pohybovat vozidlo, jehož zábrzdna dráha by za běžného provozu překročila délku dvou zábrzdných vzdáleností (tj. 2 000 m).

Za výše zmíněné nejnepríznivější okolnosti při ověřování dostatečnosti doby zpoždění rušení neprojeté jízdní cesty je považována situace, kdy:

- RBC vygeneruje a odešle na určité vozidlo oprávnění k jízdě a bezprostředně poté příkaz k jeho podmíněnému nouzovému zastavení (z důvodu rušení neprojeté jízdní cesty);
- k přerušení komunikace s vozidlem dojde právě v okamžiku, kdy oprávnění k jízdě ještě přijme, ale příkaz k nouzovému zastavení již ne;
- přitom má vozidlo nejhorší brzdné vlastnosti, tj. zastaví za dobu 139 s.

Řešení s využitím nejdelší přípustné doby bez nové zprávy $T_{NVCONTACT}$

Obecný popis je uveden výše (viz kap. 1.3.7). Přerušení komunikace detekuje vozidlo po přijetí poslední zprávy nejpozději po uplynutí doby $T_{NVCONTACT}$. Dokument [3] definuje jako reakci na přerušení komunikace spuštění provozního brzdění, tj. $M_{NVCONTACT} = 01b$. Nejdelší celková možná doba do detekce přerušení komunikace a zastavení vozidla je dána součtem dle vzorce: $t_{celk.} = T_{NVCONTACT} + t_{zast_max.}$, (4)

kde $T_{NVCONTACT}$ nejdelší přípustná doba bez další nové zprávy [s],
 $t_{zast_max.}$nejdelší doba zastavení vozidla [s].

Pokud nejdelší celková možná doba získaná ze vzorce (4) bude menší než předepsaná doba zpoždění při rušení neprojeté jízdní cesty, bude zajištěno, že vozidlo nevjede do již zrušené jízdní cesty. Vozidlo totiž detekuje přerušení komunikace a zastaví ještě před tím, než uplyne předepsané zpoždění při rušení neprojeté jízdní cesty. Musí tedy platit následující ostrá nerovnost: $t_{celk.} \leq t_{ruš.}$. Dosazením do této nerovnice ze vzorce (4) obdržíme po úpravě vztah pro hodnotu nejdelší doby bez další nové zprávy: $T_{NVCONTACT} \leq t_{ruš.} - t_{zast_max.}$, (5)

kde $t_{zast_max.}$ nejdelší doba zastavení vozidla [s],
 $t_{ruš.}$ doba zpoždění při rušení neprojeté jízdní cesty [s].

Aby vztah (5) dával smysluplný výsledek (doba $T_{NVCONTACT}$ musí být kladná), je nutno předpokládat, že neprojetá jízdní cesta se bude případně rušit s předepsaným zpožděním. To je nutná podmínka pro stanovení doby $T_{NVCONTACT}$, nikoli pro RBC pro vydávání oprávnění k jízdě.

Po dosažení do vztahu (5) zjistíme, že při předepsané době rušení neprojeté jízdní cesty 180 s a nejdelší době zastavení vozidla 139 s musí být nejdelší doba bez další nové zprávy nejvýše rovna 41 s. Z předchozího a podle dokumentu [3] vyplývá, že **hodnota proměnné $T_{NVCONTACT}$ může být maximálně 41 s, přičemž doba zpoždění rušení neprojeté jízdní cesty 180 s je dostatečná.** Navíc bude podle dokumentu [3] z bezpečnostních důvodů s největší pravděpodobností volena hodnota $T_{NVCONTACT}$ nižší. Například nejvíce taková, jakou potřebuje vozidlo pohybující se rychlostí 160 km.h^{-1} na překonání dráhy 1 000 m, tj. 22,5 s.

Řešení s využitím časového limitu $T_{SECTIONTIMER}$

Obecný popis je opět výše (viz kap. 1.3.4). Dokument [3] pouze naznačuje, že řešení přerušení komunikace v případě dodatečného omezení oprávnění k jízdě lze řešit také pomocí měření doby $T_{SECTIONTIMER}(k)$. Jde především o měření doby platnosti toho úseku oprávnění k jízdě, který pokrývá alespoň začátek neprojeté, respektive rušené jízdní cesty. Po vypršení uvedené doby se totiž EOA přesune na začátek daného úseku (tj. k návěstidlu na začátku uvažované jízdní cesty).

Jde tedy o stanovení takové hodnoty proměnné $T_{SECTIONTIMER}(k)$, aby vozidlo detekovalo přerušení komunikace a zastavilo ještě dříve, než uplyne předepsaná doba rušení neprojeté jízdní cesty. V tomto případě dokument [3] používá vztahy analogické ke vztahům z předchozího řešení, čímž dochází k výslednému vztahu pro určení maximální hodnoty časového omezení platnosti prvního úseku: $T_{SECTIONTIMER}(k) \leq t_{\text{ruš.}} - t_{\text{zast.}}$, (6)

kde $t_{\text{zast.}}$ doba zastavení vozidla [s],

$t_{\text{ruš.}}$ doba zpoždění při rušení neprojeté jízdní cesty [s].

Zde se však oproti vztahu (5) nepoužívá nejdelší v provozu se vyskytující doba zastavení vozidla, ale pouze dobu zastavení konkrétního vozidla. To dokument [3] považuje za velkou výhodu tohoto řešení. Současně ale tvrdí, že to samozřejmě vyžaduje, aby RBC měla představu o brzdných vlastnostech alespoň pro jednotlivé druhy vozidel.

Po dosazení do vztahu (6) ze vztahu (1) získáme pro časové omezení platnosti úseku oprávnění k jízdě výsledný vztah: $T_SECTIONTIMER(k) \leq t_{\text{ruš.}} - \frac{V_0}{3,6 \cdot b}$ (7)

kde $t_{\text{ruš.}}$ doba zpoždění při rušení neprojeté jízdni cesty [s],
 V_0 počáteční (maximální) rychlost vlaku [$\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$],
 b brzdné zpomalení vlaku [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$].

Z dokumentu [3] vyplývá jako **výsledný návrh řešení** dodatečného omezení oprávnění k jízdě při selhání radiového spojení řešení **pomocí doby $T_NVCONTACT$** . Přitom uvažuje dvě mezní hodnoty pro nejdelší dobu bez další nové zprávy: buď 41 s, nebo 22,5 s (viz výše). V souvislosti s tím ověřuje, zdali je současná délka rozhodného úseku 2 000 m dostačující.

Nejmenší délka rozhodného úseku je dána součtem nejdelší zábrzdne dráhy (2 000 m) a dráhy, kterou ujede nejrychlejší vozidlo ($160 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) za nejdelší dobu $T_NVCONTACT$ (41 s, nebo 22,5 s). Dokument [3] dochází k závěru, že **délku rozhodného úseku** je třeba **zvětšit na 3 820 m** (při $T_NVCONTACT = 41 \text{ s}$), **nebo na 3 000 m** (při $T_NVCONTACT = 22,5 \text{ s}$), což se dotkne všech vlaků.

2.1.3 Závěrečné zhodnocení návrhu řešení – RBC nespolupracuje

- v dokumentu často zaměňováno rušení závěru jízdni cesty s rušením jízdni cesty (*formální připomínka*)
- RBC spolupracuje/nespolupracuje, RBC se stavědlem vždy spolupracuje, lepší by bylo použít RBC ovlivňuje/neovlivňuje procesy ve stavědle (*formální připomínka*)
- neuvažovalo se zkrácení MA prostřednictvím nové zprávy s kratším MA – stejně by pravděpodobně nemělo vliv (není zpráva s vyšší prioritou)
- neřeší přerušeni komunikace mezi RBC a stavědlem
- za nejhůře brzdící vlak je uvažován vlak se stanovenou rychlostí $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ a zábrzdnu dráhou 2 000 m – logické odvození, ale není podloženo (např. národními předpisy)
- RBC musí mít při použití časového limitu $T_SECTIONTIMER$ představu o brzdnych vlastnostech jednotlivých druhů vlaků – navrhol bych využít proměnnou $V_MAXTRAIN$, kterou RBC zná (hodnotu proměnné $V_MAXTRAIN$ zadává strojvedoucí při proceduře „Start of mission“ v rámci zadávání vlakových dat. Nutnou podmínkou přechodu mobilní části systému do módu FS, příp. OS, je potvrzení

vlakových dat RBC. To znamená, že RBC musí mít o vlaku informace obsažené v paketu 11 „Potvrzená vlaková data“ (viz příloha 1), jenž obsahuje právě i proměnnou V_MAXTRAIN. Podle specifikací [1] se jedná o nejvyšší dovolenou rychlost vlaku, zahrnující nejvyšší rychlost každého vozu)

- obecně však uvedené řešení nedoporučuji, protože mj. vyžaduje prodlužování rozhodného úseku pro všechny vlaky a navíc neumožňuje plné využití obousměrné komunikace mezi vozidlem a RBC (viz kap. 3.1)

2.2 Návrh řešení předmětné funkce – BRC spolupracuje

Při návrhu se vychází z požadavku na obousměrnou komunikaci mezi radioblokovou centrálou (RBC) a stávajícím zabezpečovacím zařízením. Hlavním argumentem obousměrné komunikace je, že takovéto řešení výrazně omezí počty nežádoucích nouzových zastavení vlaků při zachování současného stavu bezpečnosti dopravy a vyžaduje prodlužování rozhodného úseku jen pro vlaky jedoucí pod dohledem ETCS.

2.2.1 Stanovení způsobu dodatečného omezení oprávnění k jízdě

Výběr způsobu dodatečného omezení k jízdě (MA) již dokument [3] znovu podrobně nekomentuje. Při obousměrné komunikaci mezi RBC a stavědlem se rovnou předpokládá použití zprávy se žádostí o zkrácení MA (zpráva 9). Především právě z důvodu omezení počtu nouzových zastavení vozidel jedoucích pod dohledem ETCS (v módu FS, příp. OS).

2.2.2 Stanovení způsobu řešení přerušení komunikace mezi vozidlem a RBC

Dokument [3] dále rozebírá případy, které mohou při rušení neprojeté jízdni cesty nastat při smíšeném provozu¹². Tyto případy zahrnují situace, kdy je rušená jízdni cesta určena v prvním případě pro vlak nejedoucí pod dohledem ETCS, ve druhém případě pro vlak jedoucí pod dohledem ETCS, a zahrnují i dvě situace, kdy dojde k přerušení komunikace v systému ETCS. Uvažované případy lze podrobněji popsat následovně:

První případ: Neprojetá jízdni cesta, která má být zrušena, je určena pro vlak nejedoucí pod dohledem ETCS. RBC souhlasí se zrušením jízdni cesty pod odpovědností stavědla. Stavědlo změní dovolující návěst na začátku jízdni cesty na zakazující a zruší jízdni cestu se zpožděním nebo bez něj v závislosti na stavu technických prostředků pro detekci vlaku v rozhodném úseku.

¹² smíšený provoz = provoz, při kterém se běžně po trati vybavené traťovou částí ETCS pohybují současně vlaky vybavené mobilní částí ETCS i jí nevybavené

Druhý případ: Neprojetá jízdní cesta, která má být zrušena, je určena pro vlak jedoucí pod dohledem ETCS. RBC pošle vlaku žádost o zkrácení oprávnění k jízdě, což dokument [3] jen nepřímo předpokládá. Následně mohou nastat dvě situace (viz kap. 1.3.5):

- Mobilní část systému odsouhlasí změnu oprávnění k jízdě. RBC dovolí stavědlu zrušit jízdní cesty bez předepsaného zpoždění a bez závislosti na stavu technických prostředků pro detekci vlaku v rozhodném úseku.
- Mobilní část systému odmítne změnu oprávnění k jízdě. RBC nedovolí stavědlu zrušit jízdní cestu, protože vlak je již tak blízko, že by nestačil zastavit. Stavědlo ponechá na návěstidle na začátku jízdní cesty dovolující návěst a jízdní cesta je zrušena běžným způsobem po průjezdu vlaku. Případně je její zrušení bez souhlasu RBC umožněno volbou „Stůj“ na návěstidle na jejím začátku a poté opětovou volbou rušení dané neprojeté jízdní cesty, či volbou nouzového rušení jejích jednotlivých úseků.

Třetí případ: Přerušená komunikace mezi RBC a vozidlem, které se do té doby pohybovalo pod dohledem ETCS a pro které je neprojetá jízdní cesta určena. Mohou nastat dvě situace:

- Stavědlo požádá RBC o souhlas k rušení neprojeté jízdní cesty ve stanovené době (doporučeno 180 s) po přerušení komunikace. RBC povolí stavědlu zrušit neprojetou jízdní cestu se zpožděním, bez ohledu na stav technických prostředků pro detekci vlaku v rozhodném úseku. Přitom se předpokládá, že vozidlo přerušení komunikace detekuje a zastaví podle vztahu (4) během doby $t_{\text{celk.}}$, která je vždy menší než doba zpoždění při rušení neprojeté jízdní cesty (180 s).
- Stavědlo požádá RBC o souhlas k rušení neprojeté jízdní cesty po uplynutí stanovené doby po přerušení komunikace. RBC souhlasí se zrušením jízdní cesty pod odpovědností stavědla tak, jak je popsáno v případě prvním. Předpokládá se, že vozidlo již detekovalo přerušení komunikace, zvládlo jej a nepokračuje v další jízdě pod plným dohledem ETCS.

Čtvrtý případ: Přerušená komunikace mezi RBC a stavědlem. Předpokládá se, že RBC pošle vlakům jedoucím pod plným dohledem ETCS zprávu 15 s příkazem k podmíněnému nouzovému zastavení s místem zastavení u nejbližšího kritického místa

(hlavního návěstidla, či přejezdu). Vozidla tedy po uplynutí příslušných dob (ve smyslu v kap. 2.1.2) zastaví a nepokračují v další jízdě pod plným dohledem ETCS. Následně mohou nastat dvě situace:

- Stavědlo přijme povel k rušení neprojeté jízdni cesty ve stanovené době (doporučeno 180 s) po přerušení komunikace. Stavědlo zruší neprojetou jízdni cestu se zpožděním, bez ohledu na stav technických prostředků pro detekci vlaku v rozhodném úseku. Přitom se předpokládá, že vozidlo přerušení komunikace detekuje a zastaví podle vztahu (4) během doby $t_{\text{celk.}}$, která je vždy menší než doba zpoždění při rušení neprojeté jízdni cesty (180 s).
- Stavědlo přijme povel k rušení neprojeté jízdni cesty po uplynutí stanovené doby po přerušení komunikace. Stavědlo zruší neprojetou jízdni cestu pod odpovědností stavědla tak, jak je popsáno v případě prvním. Předpokládá se, že vozidlo již detekovalo přerušení komunikace, zvládlo jej a nepokračuje v další jízdě pod plným dohledem ETCS.

Spolupráce RBC se stavědlem tedy spočívá ve zjišťování, zda je daný vlak vybaven mobilní částí systému, případně zda jede pod dohledem ETCS (v módu FS, příp. OS). Pokud je vybaven, RBC při rušení neprojeté jízdni cesty dále zjišťuje, jestli vlak nové, kratší oprávnění k jízdě přijal (odsouhlasil). O výsledku zjišťování RBC informuje stavědlo. Zrušení neprojeté jízdni cesty může být navíc ve stavědle podmíněno obdržáním souhlasu RBC.

2.2.3 Závěrečné zhodnocení návrhu řešení – RBC spolupracuje

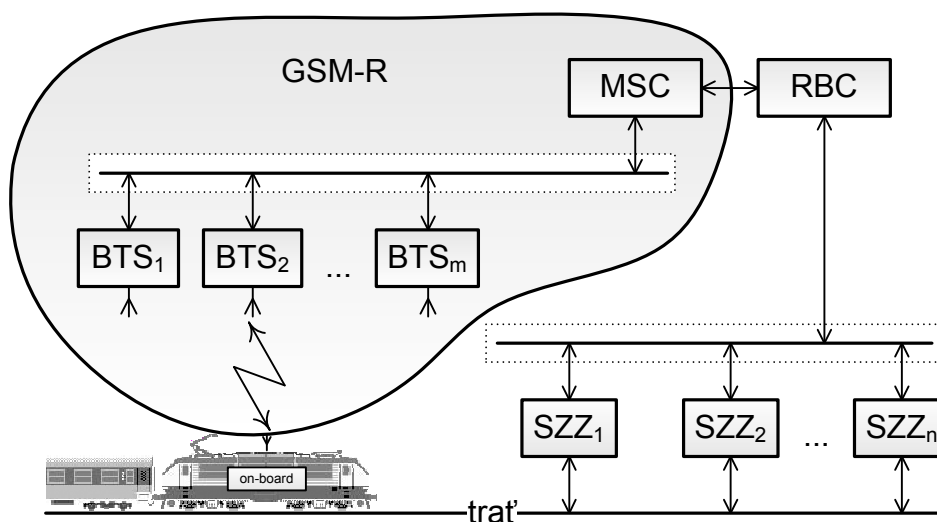
- není nikde přímo uvedeno, že se použije žádosti o zkrácení oprávnění k jízdě, ale z kontextu to vyplývá (*formální připomínka*)
- jen naznačeny možnosti zjišťování vztahu vlaku k ETCS, ale z dokumentu nevyplývá, co je lepší použít (uvádí při stavění jízdni cesty, nebo při rušení neprojeté jízdni cesty; osobně bych navrhoval rozlišovat spíše před odesláním MA, nebo po jeho odeslání na vozidlo, přičemž s ohledem na zásady zabezpečovací techniky se přikláním k možnosti podmínit již odeslání MA souhlasem stavědla (viz kap. 3.5.2))
- při přerušení komunikace mezi RBC a stavědlem (viz případ čtvrtý) bych navrhoval neposílat zprávu 15 s příkazem k podmíněnému nouzovému zastavení k nejbližšímu hlavnímu návěstidlu obecně, ale pouze k nejbližšímu hlavnímu návěstidlu s absolutním významem návěsti „Stůj“, tj. k návěstidlu, za nímž může být neprojetá jízdni cesta zrušena povelom obsluhy

- je rozlišováno rušení neprojeté jízdni cesty s dovolující návěstí (vyžadován souhlas RBC) a rušení neprojeté jízdni cesty se zakazující návěstí – po příjmu volby „Stůj“ na návěstidle na začátku rušené jízdni cesty (bez souhlasu RBC po uplynutí zpoždění); navrhol bych spíše ponechat rušení neprojeté jízdni cesty nezávisle na návěstí na jejím začátku vždy se souhlasem RBC a v případě jejího nesouhlasu umožnit její zrušení jen nouzově po částech, což by vždy vedlo k rušení se zpožděním (viz kap. 3.5)

3 NÁVRH OPTIMÁLNÍHO ŘEŠENÍ FUNKCE RUŠENÍ NEPROJETÉ JÍZDNÍ CESTY V SYSTÉMU ETCS L2

Návrh optimálního řešení předmětné funkce vychází dílem z analýzy provedené v předchozí kapitole, dílem z nových poznatků a informací, které se autor pokusí do návrhu zahrnout a které v předchozí analýze uvedeny nejsou. To je z toho titulu, že zmíněná analýza (provedená v kapitole 2) vychází z dokumentu [3], který je již několik let starý a obsahuje tehdejší znalosti (např. vychází ze specifikací SUBSET-026 verze 2.2.2, ...).

Pro následující výklad je lépe se předem seznámit s principiálním rozvržením systému ETCS L2 pro aplikaci v ČR, které je naznačeno na obrázku 3.1.



Obr. 3.1 – Principiální rozvržení systému ETCS L2 pro aplikaci v ČR

Stávající zabezpečovací zařízení zpracovává, podle obrázku 3.1, informace ze svých vnějších prvků (kolejových obvodů, počítačů náprav, výhybek, návěstidel apod.), které jsou umístěny na trati (trať). Z praktických důvodů, popsaných například v práci [6], jsou vybrané informace z traťových a přejezdových zabezpečovacích zařízení soustředovány nejprve ve staničních zabezpečovacích zařízeních (stavědlech, SZZ_k). Odtud jsou, spolu s informacemi ze samotných stavědel, pomocí dálkového ovládání zabezpečovacího zařízení a přenosového zařízení poskytovány traťové části systému ETCS, konkrétně radioblokové centrále (RBC). Ta přijaté informace vyhodnotí a prostřednictvím radiového systému GSM-R je poskytuje dále mobilní části systému ETCS (on-board), tj. již na konkrétní vozidlo.

Přenos informací mezi mobilní a traťovou částí systému (tj. mezi vozidlem a RBC) je dán specifikacemi [1], které určují, že přenos uživatelských informací je z principu obousměrný. RBC poskytuje vozidlu především oprávnění k jízdě, s ním data popisující trať,

a další informace. Vozidlo naopak RBC pravidelně hlásí svou polohu, může potvrzovat přijetí různých zpráv apod. Uživatelské informace jsou tedy předávány obousměrně, což nabízí mnoho možností využití takto získaných informací z vozidla v RBC, případně až ve stávajícím zabezpečovacím zařízení (stavědlo, přejezdové zařízení).

Z předchozího popisu, obrázku 3.1 a analýzy provedené v kapitole 2 je zřejmé, že při návrhu funkce rušení neprojeté jízdní cesty v systému ETCS L2 je nutno odpovědět na následující čtyři základní otázky:

1. Jakým způsobem mají být přenášeny uživatelské informace mezi RBC a stávajícím zabezpečovacím zařízením (jednosměrně, či obousměrně)?
2. Jakým způsobem sdělit vozidlu dodatečné omezení oprávnění k jízdě?
3. Jakým způsobem řešit případnou ztrátu spojení mezi vozidlem a RBC?
4. Jakým způsobem řešit případnou ztrátu spojení mezi RBC a stavědlem?

3.1 Rozbor možností způsobu komunikace mezi RBC a stavědlem

3.1.1 Popis možností s ohledem na použití v předmětné funkci

Traťová část systému (RBC) si stávajícími zabezpečovacími zařízeními (stavědly) vzájemně vyměňuje informace (viz Obr. 3.1). Přenos informací je vždy fyzicky obousměrný, protože mezi koncovými uživateli musí minimálně na začátku komunikace proběhnout tzv. *počáteční inicializace* (identifikace uživatelů, jejich časová synchronizace apod.). Ovšem přenos uživatelských informací mezi RBC a stavědly už může být buď jednosměrný, nebo obousměrný. Každý způsob má své výhody a nevýhody, hlavní z nich uvádím v následující tabulce (viz Tab. 3.1) a hodnotím v souvislosti s využitím v předmětné funkci dále textu.

Způsob přenosu uživ. informací	Výhody	Nevýhody
Jednosměrný	nevyžaduje zásah do logiky stávajícího ZZ	nenabízí plné využití obousměrné komunikace ¹³ vozidlo–RBC
Obousměrný	nabízí plné využití obousměrné komunikace ¹³ vozidlo–RBC	vyžaduje zásah do logiky stávajícího ZZ

Tab. 3.1 – Porovnání možných způsobů komunikace mezi RBC a stávajícím zabezpečovacím zařízením

¹³ obousměrná komunikace = komunikace umožňující obousměrný přenos uživatelských informací

Při způsobu komunikace umožňující *jednosměrný přenos* jdou uživatelské informace, v našem případě, směrem ze stavědel do RBC. Ta pracuje jen jako „převodník“ potřebných informací ze stavědel na vozidlo a nijak zpětně neovlivňuje procesy probíhající ve stavědlech. Tudíž s nimi nemůže ani spolupracovat při rušení neprojeté jízdní cesty. Zcela odlišně je tomu při komunikaci umožňující *přenos obousměrný*, při které se nabízí možnost spolupráce RBC se stavědly, mimo jiného právě při rušení neprojeté jízdní cesty.

Zásah do logiky stávajícího zabezpečovacího zařízení teoreticky nevyžaduje komunikace umožňující jednosměrný přenos uživatelských informací, ovšem i ta určitý zásah vyžaduje. Je nutno stávající zabezpečovací zařízení upravit takovým způsobem, aby bylo schopno vytvořit a odeslat zprávu pro RBC. Komunikace umožňující obousměrný přenos uživatelských informací, aby měla požadovaný význam uvedený výše, navíc vyžaduje zásah do funkčních algoritmů stávajícího zabezpečovacího zařízení. To ale bude jistě představovat i vyšší finanční náklady na jeho úpravu (přizpůsobení).

Plné využití obousměrné komunikace¹³ mezi vozidlem a RBC umožňuje, kromě spolupráce RBC při rušení neprojeté jízdní cesty, také její spolupráci při vyrovnávání přibližovací doby přejezdových zabezpečovacích zařízení, což je podrobněji popsáno například v práci [7]. Dále lze snadno (např. pro různé informační systémy) zjistit číslo vlaku, jeho aktuální polohu na trati, délku aj. Avšak nutnou podmínkou pro plné využití obousměrného přenosu uživatelských informací mezi mobilní a traťovou částí systému (vozidlem a RBC) je vytvoření komunikace umožňující obousměrný přenos uživatelských informací také mezi RBC a stávajícím zabezpečovacím zařízením.

3.1.2 Výběr optimální možnosti

Z analýzy provedené v kapitole 2 vyplývá značná nevýhoda řešení s jednosměrným přenosem uživatelských informací mezi RBC a stavědlem. Stavědlo při takovém řešení totiž nemá žádnou možnost, jak zjistit vztah vlaku k ETCS, protože přenos uživatelských informací probíhá jen ve směru stavědlo→RBC. V takovém případě bude nutno, vzhledem k možnosti přerušení komunikace mezi vozidlem a RBC, prodlužovat rozhodný úsek, a to pro všechny vlaky (vybavené i nevybavené mobilní částí systému ETCS).

Rozhodné úseky je při jednosměrném přenosu uživatelských informací nutno prodloužit ve smyslu kapitoly 2.1.2. Pročež při rušení neprojeté jízdní cesty by bylo častěji uplatňováno předepsané zpoždění (pro všechny vlaky) a po tuto dobu by, v důsledku trvání (závěru) rušené jízdní cesty, byla omezena dostupnost zhlaví i pro jiné vlaky. Navíc prodlužování rozhodných úseků vyžaduje (kromě případného vkládání rozřezných

izolovaných styků, doplňování výstroje kolejových obvodů, kabelizace apod.) i značný zásah do funkčních algoritmů staveb, čímž se v podstatě ztrácí hlavní výhoda řešení s jednosměrným přenosem uživatelských informací.

Spolupráce RBC se staveb při obousměrném přenosu uživatelských informací spočívá především v tom, že RBC poskytuje stavědlu informaci o tom, zda je rušená jízdní cesta určena pro vlak jedoucí pod dohledem ETCS, respektive zda mu již bylo vydáno a odesláno oprávnění k jízdě pokrývající rušenou jízdní cestu. V takovém případě není, na rozdíl od předcházejícího řešení, nutno prodlužovat rozhodné úseky jízdních cest.

Vzhledem k tomu, že spolupráce RBC se stavebly umožňuje především případné provozní negativní dopady na jízdy vlaků, k nimž by docházelo při prodlužování rozhodných úseků, a současně k množství nabízených možností při plném využití obousměrného přenosu uživatelských informací mezi vozidlem a RBC volím z obou možných způsobů přenosu uživatelských informací možnost, která uvedené umožňuje, tj. způsob přenosu obousměrný.

3.2 Rozbor možností způsobu dodatečného omezení oprávnění k jízdě (MA)

3.2.1 Popis možností s ohledem na použití v předmětné funkci

Při rušení neprojeté jízdní cesty je nutno počítat s tím, že na úsek rušené jízdní cesty již bylo vlaku (mobilní části systému) vydáno a odesláno oprávnění k jízdě (MA). To je následně možno při dostupné komunikaci dodatečně omezit několika způsoby, jejichž obecný popis je v kapitole 1.3.5. Jednotlivé způsoby srovnávám v následující tabulce a hodnotím v dalším textu, opět v souvislosti s jejich použitím v předmětné funkci (viz Tab. 3.2).

Způsob dodatečného omezení MA	Možnost odmítnutí	Vyvolání nouzového brzdění	Priorita zprávy
Zpráva se zkráceným MA	ne	v případě potřeby	normální
Zpráva se žádostí o zkrácení MA	ano	nikdy	normální
Nouzová zpráva s příkazem k podmíněnému zastavení	ano	v případě potřeby	vysoká/normální
Nouzová zpráva s příkazem k nepodmíněnému zastavení	ne	vždy	vysoká/normální

Způsob dodatečného omezení MA	Možnost odmítnutí	Vyvolání nouzového brzdění	Priorita zprávy
Zpráva s dočasným omezením rychlosti	ne	v případě potřeby	normální

Tab. 3.2 – Porovnání možných způsobů dodatečného omezení již vydaného MA

Jednotlivé způsoby dodatečného omezení vydaného MA by měly, konkrétně při jejich použití ve funkci rušení neprojeté jízdní cesty, následující charakteristické parametry. Jak zpráva se zkráceným MA, tak i zpráva se žádostí o zkrácení MA by měly EOA u hlavního návěstidla na začátku rušené jízdní cesty. Nouzová zpráva s příkazem k podmíněnému zastavení by měla polohu místa zastavení u hlavního návěstidla na začátku rušené jízdní cesty. Nouzová zpráva s příkazem k nepodmíněnému zastavení neobsahuje žádný takový parametr (při jejím přijetí dojde nepodmíněně ke spuštění nouzového brzdění). Zpráva s dočasným omezením rychlosti by obsahovala omezení rychlosti na 0 km.h^{-1} začínající u hlavního návěstidla na začátku rušené jízdní cesty.

Možnost odmítnutí dodatečného omezení oprávnění k jízdě vozidlem lze efektivně využít především při obousměrném přenosu uživatelských informací mezi RBC a stavědlem. Při vhodném návrhu řešení funkce rušení neprojeté jízdní cesty je tímto možno snížit počet nouzových brzdění vlaků vybavených mobilní částí systému ETCS, což si ovšem velmi pravděpodobně vyžádá změnu postupu obsluhy (viz dále).

Naopak při jednosměrném přenosu uživatelských informací mezi RBC a stavědlem je řešení s možností odmítnutí dodatečného omezení oprávnění k jízdě vozidlem velmi nevhodné. RBC totiž nemá možnost poskytnout stavědлу informaci o odsouhlasení, či odmítnutí tohoto dodatečného omezení. Může tudíž nastat nežádoucí situace, kdy by jízda vozidla byla dohlížena podle původního (nezměněného MA) a návěstidlo na začátku rušené jízdní cesty by dávalo návěst „Stůj“ s absolutním významem¹⁴.

Vyvolání nouzového brzdění vozidla jako reakce na dodatečné omezení oprávnění k jízdě. Obecně může být nouzové brzdění vyvoláno vždy, v případě potřeby, či nikdy. V případě potřeby znamená:

- u zprávy se zkráceným MA, kdy mobilní část systému nemá možnost odmítnout dodatečné omezení oprávnění k jízdě a musí tedy takto získanou

¹⁴ Ačkoli se totiž předpokládá, že hlavní návěstidla nebudou pro jízdu vlaku pod dohledem ETCS platit, tak pro respektování návěsti „Stůj“ s absolutním významem mluví nejen psychologické, ale i technické aspekty (např. následné stavění jízdních cest).

bližší polohu EOA přijmout. Nouzové brzdění je aplikováno v závislosti na okamžité rychlosti vlaku v případě potřeby, tj. jestliže je jeho okamžitá rychlost vyšší, než udává křivka intervence nouzové brzdy.

- u nouzové zprávy s příkazem k podmíněnému zastavení, v níž obdrží mobilní část polohou místa zastavení. Tu mobilní část považuje za novou polohu EOA pouze v případě, když je jeho okamžitá poloha¹⁵ ještě před definovanou polohou místa zastavení. Nouzové brzdění je pak aplikováno v závislosti na okamžité rychlosti vlaku v případě potřeby, tj. jestliže je jeho okamžitá rychlost vyšší, než udává křivka intervence nouzové brzdy.
- u zprávy s dočasným omezením rychlosti, kdy mobilní část obdrží omezení rychlosti na 0 km.h⁻¹. Nouzové brzdění je aplikováno v závislosti na okamžité rychlosti vlaku v případě potřeby, tj. jestliže je jeho okamžitá rychlost vyšší, než udává křivka intervence nouzové brzdy.

Priorita zprávy s dodatečným omezením oprávnění k jízdě. Protokol Eurorádio, používaný k přenosu zpráv v systému GSM-R, rozlišuje zprávy podle jejich priority na dva druhy: zprávy s normální, nebo vysokou prioritou. Zprávy s vysokou prioritou jsou, podle specifikací Eurorádia¹⁶, přenášeny s nejvyšší přenosovou prioritou. Ta zaručuje jejich co nejrychlejší doručení příjemci, čehož je docíleno například tím, že tyto zprávy přeskakují různé vrstvy přenosového modelu, čímž obcházejí existující fronty zpráv s normální prioritou.

To ale na druhou stranu způsobuje, že zprávy s vysokou prioritou jsou přenášeny nespolehlivě, nikoli-bezpečně a v případě chybného rámce, či jeho ztráty není ani jejich přenos vícekrát zopakován. Není u nich tedy zaručeno, že je příjemce obdrží. Bezpečný uživatel (příjemce) proto musí být, podle specifikací Eurorádia¹⁶, schopen zajistit řádné potvrzení a případně i jejich zopakování, pokud je vyžadováno.

Nouzové zprávy¹⁷ mohou být, podle specifikací [1], přenášeny na vozidlo jako zprávy s prioritou buď normální, nebo vysokou. Každé přijetí nouzové zprávy (nezávisle na její prioritě) musí být v systému ETCS, ve smyslu předchozího odstavce, vždy potvrzeno. To provede příjemce (mobilní část systému) zprávou 147 s hodnotou proměnné NID_EM rovnou hodnotě téže proměnné obsažené v potvrzované nouzové zprávě.

¹⁵ resp. jeho nejméně bezpečná poloha čela

¹⁶ UNISIG: *ERTMS/ETCS – Class 1, SUBSET-037: Euroradio FIS, V 2. 3. 0. 2005.*

¹⁷ nouzová zpráva = v systému ETCS může jít buď o zprávu 15, nebo o zprávu 16 (viz příloha 1)

3.2.2 Výběr optimální možnosti

Při návrhu optimálního řešení funkce je snaha co nejvíce omezit počty nouzových brzdění vlaků. A to především z toho důvodu, že nouzové brzdění je nežádoucí vzhledem ke svým negativním účinkům jak na přepravované osoby, či jiný náklad, tak i na vlastnosti vozidel (možnost vzniku plošek na obručích kol) a schopnost některých typů souprav pokračovat v další jízdě. Z možných způsobů dodatečného omezení MA proto volím způsob, který právě počet nouzových brzdění omezuje, tj. zprávu 9 „Žádost o zkrácení MA“.

Vzhledem k možnosti odmítnutí zprávy se žádostí o zkrácení MA je její použití podmíněno použitím obousměrného přenosu uživatelských informací mezi RBC a stavědlem, což je v souladu s dosavadním výběrem provedeným v kapitole 3.1.2. Zrušení jízdní cesty, pro kterou již bylo vydáno a odesláno MA, je potom ve stavědle nutno podmínit souhlasem RBC. Ta mu na základě přijetí zprávy 137 „Žádost o zkrácení MA je povolena“, resp. 138 „Žádost o zkrácení MA je zamítnuta“ od vozidla udělí, resp. neudělí souhlas se zrušením jízdní cesty.

Po obdržení souhlasu RBC stavědlo změnilo dovolující návěst na zakazující a zruší jízdní cestu okamžitě, tj. bez předepsaného zpoždění a nezávisle na stavu technických prostředků pro detekci vlaku v rozhodném úseku. Jestliže ale RBC se zrušením jízdní cesty nesouhlasí, stavědlo ponechá svítit dovolující návěst a jízdní cestu nezruší vůbec. Ta potom zůstane aktivní, dokud nedojde k jejímu projetí vlakem, který by již stejně nestačil zastavit před návěstidlem na začátku jízdní cesty, a její rušení proběhne běžným způsobem – jízdou vlaku.

Uvedený postup sice omezuje počet nouzových brzdění vlaků, ale v žádném případě není vhodný pro použití k odvrácení hrozícího nebezpečí! Obsluha však musí mít k odvrácení hrozícího nebezpečí vždy možnost vozidlu dodatečně omezit MA, a to nepodmíněně, což zpráva se žádostí o zkrácení MA neumožňuje. Takové omezení může provést například volbou „Stůj“ na konkrétním návěstidle, jež způsobí změnu dovolující návěsti na začátku jízdní cesty na zakazující. V takovém případě je u blížícího se vlaku spuštění nouzového brzdění naopak vyžadováno vždy.

V principu jde opět o výběr způsobu dodatečného omezení již vydaného a odeslaného MA, avšak s odlišným cílem (zastavit vlak z titulu odvrácení hrozícího nebezpečí). Možnosti řešení jsou shodné s možnostmi uvedenými v Tab. 3.2. Přičemž v úvahu přichází pouze ty možnosti, které nemohou být mobilní částí systému odmítnuty, tj. jedná se o použití zprávy se

zkráceným MA, nouzové zprávy s příkazem k podmíněnému/nepodmíněnému zastavení vlaku, případně zprávy s dočasným omezením rychlosti.

Vzhledem k plánovanému použití této možnosti k odvrácení hrozícího nebezpečí volím možnost řešení využívající zprávu, kterou lze na vozidlo přenést s vysokou prioritou. Tedy poslat mobilní části systému například nouzovou zprávu s příkazem k podmíněnému zastavení vlaku, tj. zprávu 15 „Podmíněné nouzové zastavení“ s místem zastavení u inkriminovaného návěstidla, což opět povede k omezení počtu nouzových brzdění vlaků (viz kap. 3.2.1 – „vyvolání nouzového brzdění vozidla“).

Závěrem lze konstatovat, že při použití navrhovaného řešení využívajícího zprávu 9 „Žádost o zkrácení MA“ nesmí být volba rušení neprojeté jízdní cesty z bezpečnostních důvodů využívána k odvrácení hrozícího nebezpečí. K tomu je přednostně určena volba „Stůj“ na konkrétním návěstidle, jež by vedla k odeslání zprávy 15 „Podmíněné nouzové zastavení“. Uvedené je nutno ošetřit také v předpisech pro obsluhu daného zařízení.

3.3 Rozbor možností řešení přerušení komunikace mezi vozidlem a RBC

3.3.1 Popis možností s ohledem na použití v předmětné funkci

Návrh řešení funkce rušení neprojeté jízdní cesty, uvedený v kapitole 3.2.2, sám o sobě teoreticky nevyžaduje žádná opatření z hlediska řešení přerušení komunikace mezi vozidlem (mobilní částí systému) a RBC (traťovou částí systému). Stavědlo nezruší neprojetou jízdní cestu, jestliže předem neobdrží souhlas s jejím rušením od RBC. Ta souhlas s jejím rušením nevydá, dokud neobdrží zprávu s povolením zkrácení MA od vozidla. Pokud stavědlo nezruší neprojetou jízdní cestu, je možno tuto cestu zrušit běžným způsobem – jízdou vlaku.

Problém by ale mohl nastat v případě, kdy vozidlo nebude z jakýchkoliv důvodů (např. technických) schopno pokračovat v další jízdě za hlavní návěstidlo na začátku neprojeté jízdní cesty, přičemž RBC mu již vydala a odeslala příslušné MA. Současně dojde k přerušení komunikace mezi vozidlem a RBC¹⁸ a vozidlo tudíž nebude moci poslat zprávu s odsouhlasením žádosti o zkrácení MA. V takovém případě RBC neudělí stavědлу souhlas s rušením dané jízdní cesty, čímž by vůbec nedošlo k jejímu zrušení a byla by značně omezena dostupnost zhlaví pro jiné vlaky.

¹⁸ Bude-li RBC u každé odeslané zprávy vyžadovat její potvrzení ($M_ACK = 1b$), bude možno po nepřijetí žádné zprávy od vozidla během mezní doby ($2x \text{ max. doba přenosu zprávy} + \text{max. doba zpracovávání informace}$, tj. $3 \times 2 \times 5 \text{ s} + 0,5 \text{ s (EVC)} + 1,5 \text{ s (RBC)} = 32 \text{ s}$) usuzovat na přerušení její komunikace s vozidlem, viz [4].

Z provozního hlediska je tedy žádoucí, aby bylo možno zrušit neprojetou jízdní cestu, pro kterou již bylo vydáno a odesláno na vozidlo příslušné MA, a to i bez souhlasu RBC, potažmo vozidla. Pokud stavědlo nezruší neprojetou jízdní cestu, je možno tuto cestu zrušit buď běžným způsobem (jízdnou vlaku), nebo nouzovým rušením (závěrů) jejich jednotlivých úseků, kdy dojde k jejich zrušení až po uplynutí stanovené doby. Jejím stanovením se mimo jiného zabývá kapitola 3.6, v souvislosti s tím je nutno předem zvolit reakci vozidla na přerušení jeho komunikace s RBC.

V principu existují, s ohledem na použití v předmětné funkci, dvě možnosti řešení přerušení komunikace na vozidle. Jedna možnost je prostřednictvím časové platnosti jednotlivých úseků oprávnění k jízdě `T_SECTIONTIMER`, druhá prostřednictvím nejdelší přípustné doby bez nové zprávy `T_NVCONTACT`. Obě možnosti hodnotím v následující tabulce (viz Tab. 3.3) a rozebírám dále v textu.

Způsob řešení přerušení komunikace	Hodnocení
<code>T_SECTIONTIMER</code>	specifikace [1] určují použití uvedené doby při rušení neprojeté jízdní cesty (<i>SRS 3.8.1.1 f</i>)
<code>T_NVCONTACT</code>	specifikace [1] určují použití uvedené doby pro detekci přerušení komunikace (<i>SRS 3.16.3.4.1</i>)

Tab. 3.3 – Hodnocení možných způsobů řešení přerušení komunikace mezi vozidlem a BRC

V případě použití doby platnosti jednotlivých úseků `T_SECTIONTIMER` se jedná o proměnnou obsaženou v paketu 15 „Oprávnění k jízdě pro úroveň 2/3“ přenášeného ve zprávě 3 „Oprávnění k jízdě“ (viz kap. 1.3.4). Při takovém způsobu řešení je třeba oprávnění k jízdě zahrnující danou jízdní cestu vhodně, s ohledem na její případné rušení, rozdělit na jednotlivé úseky, a to již při jeho generování. Pod pojmem vhodně je myšleno takové rozdělení oprávnění k jízdě (MA), které umožní přidělit dobu platnosti alespoň úseku pokrývajícímu začátek uvažované jízdní cesty.

Poznámka: Podle obrázku 1.2 by se například jednalo o úsek `L_ENDSECTION` zahrnující vjezdovou vlakovou cestu od návěstidla `L` k návěstidlu `L1`, po uplynutí doby `T_SECTIONTIMER` by došlo k přesunutí EOA k návěstidlu `L`, tj. k návěstidlu na začátek dané jízdní cesty.

S měřením doby platnosti jednotlivých úseků ($T_SECTIONTIMER$) započne mobilní část systému, podle specifikací [1], v době dané časovou značkou zprávy obsahující příslušné oprávnění k jízdě (T_TRAIN) a skončí, když:

- vlak (resp. jeho nejméně bezpečné čelo) dosáhne přiřazeného místa ukončení měření doby platnosti (definovaného vzdáleností $D_SECTINSTOPLOC$ od začátku daného úseku – viz Obr. 1.2),
- uplyne doba platnosti daného úseku, čímž dojde k vyvolání reakce mobilní části systému ve smyslu kapitoly 1.3.4 (tj. dojde k přesunutí EOA na začátek daného úseku a jeho zohlednění při následném výpočtu dynamického rychlostního profilu).

V případě použití nejdelší přípustné doby bez nové zprávy $T_NVCONTACT$ se jedná o národní hodnotu této proměnné. Ta je na vozidlo přenesena na hranici dvou různých oblastí (nejčastěji na hranici států) prostřednictvím paketu 3 „Národní hodnoty“ přenášeného ve zprávě 3 „Oprávnění k jízdě“, nebo 24 „Obecná zpráva“.

S měřením nejdelší přípustné doby bez nové zprávy ($T_NVCONTACT$) započne mobilní část systému v době dané časovou značkou poslední přijaté zprávy (T_TRAIN) a s jejím měřením skončí:

- po přijetí další nové zprávy s novou hodnotou časové značky (T_TRAIN), čímž dojde k opětovnému spuštění nového měření nejdelší přípustné doby bez nové zprávy ($T_NVCONTACT$);
- po uplynutí nejdelší přípustné doby bez nové zprávy ($T_NVCONTACT$), čímž dojde k vyvolání reakce mobilní části systému ve smyslu kapitoly 1.3.7 (tj. v závislosti na $M_NVCONTACT$: bez reakce, provozní brzdění, nouzové brzdění).

Každá národní hodnota má pro případ nedostupnosti národních hodnot, či neshody identifikačních čísel národních oblastí ($NID_C(k)$) specifikacemi [1] definovanou defaultní hodnotu. Pro nejdelší přípustnou dobu bez nové zprávy $T_NVCONTACT$ je definována hodnota ‚nekonečno‘, pro $M_NVCONTACT$ hodnota ‚bez reakce‘.

3.3.2 Výběr optimální možnosti

Jak již bylo zmíněno, je z provozního hlediska v určitých případech žádoucí stavědlu umožnit zrušit neprojetou jízdní cestu, pro kterou již bylo vydáno a na vozidlo odesláno příslušné MA, a to i bez souhlasu RBC. To je možno pouze po splnění podmínky, že vozidlo detekuje a zvládne přerušení komunikace. Přičemž zvládnutím přerušení komunikace je myšleno zastavení vozidla, tj. musí platit následující vztah: $t_{det.} + t_{zast.} \leq t_{ruš.}$ (8)

kde $t_{det.}$ doba do detekce přerušení komunikace [s]

(kde $t_{det.} = T_SETCIONTIMER$, nebo $t_{det.} = T_NVCONTACT$),

$t_{zast.}$ doba zastavení vozidla [s] (viz kap. 3.6),

$t_{ruš.}$ doba předepsaného zpoždění při rušení neprojeté jízdní cesty [s]

($t_{ruš.} = 180$ s).

Bude-li podmínka daná vztahem (8) splněna, bude zaručeno, že vlak vždy zastaví ještě dříve, než dojde ke zrušení neprojeté jízdní cesty (tj. než uplyne předepsaná doba při rušení neprojeté jízdní cesty). Tímto bude garantováno, že vlak nevjede do jízdní cesty, pro kterou již nejsou provedeny výluky současně zakázaných jízdních cest, vazby na ostatní zabezpečovací zařízení a není proveden ani závěr jízdní cesty. Opět lze obecněji říci, že pro tuto jízdní cestu by již nebyly splněny podmínky uvedené v normě [2], což je nepřijatelné.

Je zřejmé, že podmínku danou vztahem (8) lze splnit jak s využitím doby platnosti úseku zahrnujícího začátek jízdní cesty ($T_SECTIONTIMER$), tak s využitím nejdelší přípustné doby bez nové zprávy ($T_NVCONTACT$). Ovšem proti způsobu řešení využívajícího doby $T_NVCONTACT$ stojí závažný fakt, že pro ní je defaultně definována hodnota „ ∞ “ ($T_NVCONTACT = 1111\ 1111b$) a zároveň bez reakce mobilní části systém při jejím vypršení ($M_NVCONTACT = 10b$). Proto by, při případném použití defaultních hodnot namísto národních, mohlo řešení s použitím doby $T_NVCONTACT$ zcela selhat, což je nepřijatelné.

Z toho důvodu volím z obou možností řešení přerušení komunikace možnost s využitím doby $T_SECTIONTIMER$ a ve stavědle umožnit rušení neprojeté jízdní cesty i bez souhlasu RBC, respektive vozidla. To ovšem pouze volbou nouzového rušení (závěrů) jejich jednotlivých úseků a jejich zrušení zpoždit o určitou dobu stanovenou v kapitole 3.6.

3.4 Rozbor možností řešení přerušování komunikace mezi RBC a stavědlem

3.4.1 Popis možností s ohledem na použití v předem určené funkci

Obdobně jako je tomu v případě přerušování komunikace mezi vozidlem a RBC, kdy RBC neudělí stavědлу souhlas s rušením neprojeté jízdní cesty, pro kterou již bylo vydáno a odesláno na vozidlo příslušné MA. Neudělí jej RBC ani při nedostupné komunikaci mezi RBC a stavědlem (resp. stavědlo jej fyzicky nepřijme)¹⁹. To by opět mělo za následek nezrušení dané jízdní cesty s již popsanými negativními provozními dopady na jiné vlaky.

V takovém případě je opět vyžadována možnost zrušení neprojeté jízdní cesty bez souhlasu RBC, tj. volbou rušení (závěrů) jednotlivých jejích úseků, jejichž zrušení proběhne až po stanovené době. Jejím stanovením se zabývá kapitola 3.6, v souvislosti s tím je nutno předem určit reakci vozidla, respektive RBC na přerušování její komunikace se stavědlem.

V principu jde o výběr způsobu dodatečného omezení již vydaného a odeslaného MA, jehož možnosti řešení již jednou srovnávám a hodnotím v kapitole 3.2, v souvislosti s předem určenou funkcí, ovšem při dostupné komunikaci. Řešení při nedostupné komunikaci mezi vozidlem a RBC je založeno na vhodném nastavení příslušných dob platnosti jednotlivých úseků MA a je uvedeno v předchozí podkapitole (viz kap. 3.3). Řešení při nedostupné komunikaci mezi RBC a stavědlem navrhuji následujícím způsobem.

Při nedostupné komunikaci vyhodnotí RBC stav všech prvků jako více povážlivější, což se projeví při následném přepočítávání MA, a na vozidlo bude poslána zpráva se zkráceným MA (zpráva 3 s EOA u návěstidla na začátku neprojeté jízdní cesty). Navíc je třeba uvažovat i případ, kdy obsluha vydá k odvrácení hrozícího nebezpečí volbu „Stůj“ na návěstidle na začátku neprojeté jízdní cesty, což při dostupné komunikaci vede k odeslání zprávy s příkazem k podmíněnému zastavení vlaku (zpráva 15 s místem zastavení u daného návěstidla (viz kap. 3.2.2)).

3.4.2 Výběr optimální možnosti

Vzhledem k tomu, že RBC musí při přerušování její komunikace se stavědlem reagovat vždy tak, jako kdyby nastala nejnepříznivější situace, tj. byla aktivována volba „Stůj“ na návěstidle na začátku neprojeté jízdní cesty, volím z možných způsobů dodatečného omezení oprávnění k jízdě možnost odeslat na vozidlo zprávu 15 s příkazem k podmíněnému zastavení vlaku. Kromě zprávy 15 s vysokou prioritou odešle RBC na vozidlo také zprávu 3 se

¹⁹ Přerušování komunikace viz kap. 1.3.7, „Komunikace stavědlo↔RBC“.

zkráceným MA, tu ale již s normální prioritou (a vozidlo ji tedy přijme pravděpodobně později).

3.5 Celkové shrnutí navrhovaného optimálního řešení

Odůvodnění a popis navrhovaného optimálního řešení funkce rušení neprojeté jízdni cesty je uveden v předchozích podkapitolách této kapitoly.

3.5.1 Stručný popis navrhovaného řešení

- způsob komunikace mezi stavědlem a RBC umožňující obousměrný přenos uživatelských informací
- způsob dodatečného omezení oprávnění k jízdě při rušení neprojeté jízdni cesty prostřednictvím zprávy s žádostí o zkrácení MA (zpráva 9)
- způsob dodatečného omezení oprávnění k jízdě při volbě „Stůj“ na konkrétním návěstidle (k odvrácení hrozícího nebezpečí) prostřednictvím nouzové zprávy s příkazem k podmíněnému zastavení (zpráva 15), případně při jejím odmítnutí vozidlem prostřednictvím nouzové zprávy s příkazem k nepodmíněnému zastavení (zpráva 16)
- způsob řešení přerušování komunikace mezi vozidlem a RBC s využitím doby platnosti jednotlivých úseků (T_SECTIONTIMER)
- způsob řešení přerušování komunikace mezi RBC a stavědlem ponechat na algoritmu pro generování MA – v následujícím výpočetním cyklu se dojde k vygenerování zprávy se zkráceným MA (zpráva 3) a navíc, pro případ volby „Stůj“ na konkrétní návěstidle, na vozidlo poslat zprávu 15 s příkazem k nepodmíněnému zastavení u návěstidla na začátku neprojeté jízdni cesty

3.5.2 Požadavky navrhovaného řešení

- v RBC je odeslání oprávnění k jízdě (MA) podmíněno souhlasem stavědla: to souhlasí až poté, co nastaví pro danou jízdni cestu příznak „ETCS_MA_assign“
- ve stavědle je zrušení neprojeté jízdni cesty s příznakem „ETCS_MA_assign“ podmíněno pouze souhlasem RBC: ta souhlasí jen v případě, že vlak (mobilní část systému) odsouhlasí žádost o zkrácení MA na začátek rušené jízdni cesty, čímž dojde k jejímu okamžitému zrušení, tj. nezávisle na stavu rozhodného úseku
- v RBC je navíc, pro případ nedostupnosti její komunikace s vozidlem, MA už při jeho generování rozděleno s ohledem na případné rušení neprojeté jízdni cesty na

jednotlivé úseky s vhodně, dle kapitoly 3.6, nastavenými dobami jejich platnosti ($T_SECTIONTIMER$)

- ve stavědle je navíc, pro případ nedostupnosti jeho komunikace s RBC či RBC s vozidlem, možno jízdní cestu s příznakem „ETCS_MA_assign“ zrušit bez souhlasu BRC, a to nouzově po částech – v takovém případě dojde ke zrušení jejích jednotlivých úseků vždy po uplynutí doby předepsaného zpoždění
- rušení neprojeté jízdní cesty bez nastaveného příznaku „ETCS_MA_assign“ probíhá ve stavědle běžným způsobem, tj. s předepsaným zpožděním, či bez něj v závislosti na stavu technických prostředků pro detekci vlaku v rozhodném úseku (viz kap. 1.1.2)

Doporučení pro umístění obslužného pracoviště HMI RBC: z hlediska obsluhy jej doporučuji z praktických důvodů sloučit s JOP DOZ a dále vhodným způsobem zobrazení (např. jiným odstínem zelené barvy) rozlišovat jízdní cestu, pro kterou již bylo, či nebylo odesláno MA na vozidlo.

3.6 Stanovení parametrů navrhovaného řešení

V celém řešení funkce rušení neprojeté jízdní cesty v systému ETCS L2 se, dle optimálního návrhu uvedeného v této práci, vyskytují pouze dva „volitelné“ parametry. Oba se uplatní pouze při přerušení komunikace mezi RBC a vozidlem, příp. stavědlem. Jedním je doba platnosti jednotlivých úseků MA ($T_SECTIONTIMER(k)$), druhým je doba předepsaného zpoždění při rušení neprojeté jízdní cesty ($t_{ruš.}$). Oba parametry jsou vzájemně, spolu s dobou zastavení vozidla ($t_{zast.}$), svázány vztahem vycházejícím ze vztahu (8), resp. po dosazení: $T_SECTIONTIMER(k) + t_{zast.} \leq t_{ruš.}$ (9)

kde $T_SECTIONTIMER(k)$ doba platnosti k-tého úseku MA [s],
 $t_{zast.}$doba zastavení vozidla/vlaku [s],
 $t_{ruš.}$ doba předepsaného zpoždění při rušení neprojeté jízdní cesty [s].

Určení hodnoty $T_SECTIONTIMER$ vychází ze specifikací [1], podle kterých se toleruje 3krát nedostupnost komunikace RBC s vozidlem²⁰. Pokud by RBC tak, jak je nyní předpokládáno, „obkomunikovala“ jednotlivá vozidla, při maximálním počtu dohlížených

²⁰ Konkrétně je v jejich dodatku A3.1 stanoveno, že rádiové zprávy jsou 3krát zopakovány.

vozidel, každých 5 s, potom 3krát zopakovanou zprávu může vozidlo přijmout nejpozději za 15 s. Předpokládáme-li dále, že zpracování informace v EVC na vozidle trvá obecně buď 0,25 s, nebo 0,5 s (1 až 2 výpočetní cykly, viz dok. [4]), je třeba hodnotu T_SECTIONTIMER volit nejméně 15,5 s. Uvážíme-li navíc, že hodnota T_SECTIONTIMER může nabývat hodnot v rozmezí od 0 až po 1022 s s krokem 1 s, pak musíme zřejmě volit hodnotu nejbližší vyšší, tj. volím T_SECTIONTIMER = 16 s.

Dále by teoreticky bylo možno ponechat dobu zpoždění při rušení jízdní cesty ($t_{\text{ruš.}}$) volitelnou a určovat ji ze vztahu (9) dosažením doby zastavení konkrétního vozidla/vlaku ($t_{\text{zast.}}$). K tomu je však potřeba tuto dobu buď přímo znát, nebo mít dostatek informací k jejímu dopočítání. Předpokládáme-li ovšem, že RBC bude mít v této souvislosti o vlaku informace jen z paketu 11 „Potvrzená vlaková data“, nelze uvedené doporučit. Z toho důvodu navrhuji uvažovat stávající hodnotu vyplývající z normy [2], tj. 180 s. Potom je třeba ověřit, zda je tato hodnota dostačující i pro nejhůře brzdící vlak, který se může pohybovat po železniční síti v ČR. Dále bude následovat odvození uvedené doby, a to poněkud odlišným způsobem, než uvádí dokument [3].

Podle specifikací [1] jsou algoritmy pro výpočet brzdných křivek věci implementace. Lze tedy oprávněně předpokládat, že implementace ETCS v ČR bude vycházet z předpisů, které u nás v současné době řeší otázku brzdění vlaků²¹. Předpis pro provoz a obsluhu brzdových zařízení železničních kolejových vozidel ČD V15/I ([5]) stanoví ve svém článku 261 c, že „pro vlak se stanovenou rychlostí **121 až 160 km·h⁻¹**, jehož brzdící účinek není dostatečný pro dodržení zábrzdne vzdálenosti na příslušné trati, je možno jeho zábrzdnou dráhu rozložit do dvou za sebou následujících zábrzdných vzdáleností. **Potřebná brzdící procenta se v tomto případě určují z rychlosti o 20 km·h⁻¹ nižší, než je stanovená rychlost, nejméně však ze 120km·h⁻¹**. Je-li vlak dostatečně brzděn pro tuto rychlost, postačuje toto odbrzdění pro snížení rychlosti ze stanovené o 20 km·h⁻¹ v předposlední zábrzdné vzdálenosti.“

Jako nejhůře brzdící vlak je potom možno uvažovat buď vlak, jehož stanovená rychlost je 160 km·h⁻¹ a zábrzdná dráha 2 000 m, případně vlak, jehož stanovená rychlost je 121 km·h⁻¹ a zábrzdná dráha 2 000 m, nebo vlak, jehož stanovená rychlost je 120 km·h⁻¹ a zábrzdná dráha 1 000 m. Uvažujeme-li pohyb rovnoměrně zpomalený, lze jednoduchým výpočtem ukázat, že střední brzdné odrychlení charakteristické pro první vlak je 0,49 m·s⁻², pro druhý vlak 0,28 m·s⁻² a pro třetí vlak 0,55 m·s⁻². Proto budu pro následující úvahy dále

²¹ Jedná se o předpisy ČD D1, ČD D2, ČD D4 a ČD V15/I.

uvažovat za nejhůře brzdící vlak druhý uvedený, který zastaví z rychlosti 121 km.h^{-1} na dráze 2 000 m přibližně za dobu $t_{\text{zast.}} = 119 \text{ s}$ (pozn.: dokument [3] dospěl k hodnotě 139 s).

Nejkritičtější situace nastane v případě, kdy je pro postavenou jízdní cestu vydáno a na vozidlo odesláno příslušné MA. Obsluha vydá ihned příkaz k nouzovému rušení neprojeté jízdní cesty po částech, či volí „Stůj“ na návěstidle na jejím začátku. Přičemž k přerušení komunikace mezi vozidlem a RBC, příp. RBC a stavědlem dojde právě v okamžiku, kdy MA ještě vozidlo přijme, ale příkaz k zastavení vlaku již nikoliv. V takovém případě musí doba předepsaného zpoždění (180 s) zaručit, že vlak detekuje přerušení komunikace (16 s – uplynutí doby $T_{\text{SECTIONTIMER}}$) a zastaví (119 s – nejdelší doba zastavení). Je zřejmé, že vozidlo po přerušení komunikace zastaví nejpozději za 135 s a předepsaná doba 180 s je tedy dostatečná (i s jistou „bezpečnostní dobou“ 45 s).

3.7 Závěrečné zhodnocení

- v práci navrhované optimální řešení využívá systém ETCS, je plně v souladu se specifikacemi na systém ETCS [1] a respektuje národní předpisy (např. ČD V15/I)
- nabízí vyšší úroveň bezpečnosti – navrhované řešení není, na rozdíl od stávajícího (uvedeného v normě [2]), založeno na měření předepsané doby a předpokladu, že vlak během této doby buď zastaví před návěstidlem, nebo vstoupí do rušené jízdní cesty, ale využívá nabízených možností vlakového zabezpečovače ETCS L2 s kontinuální kontrolou rychlosti a obousměrným přenosem informací mezi jeho mobilní a traťovou částí (tj. spoluprací vozidla při rušení neprojeté jízdní cesty)
- měření předepsané doby při rušení neprojeté jízdní cesty se sice v navrhovaném řešení také objevuje, ale pouze ve výjimečných případech přerušení komunikace mezi RBC a vozidlem, popřípadě mezi stavědlem a RBC, přičemž je garantováno, že vlak po uplynutí příslušných dob (doby platnosti jednotlivých úseků MA a doby jeho zastavení) zastaví a nebude dále pokračovat v módu FS, příp. OS, ale v módu jiném, tedy sníženou rychlostí a velmi pravděpodobně až po obdržení pokynu
- kromě zmíněné vyšší úrovně bezpečnosti nabízí navrhované optimální řešení také vyšší úroveň provozního komfortu – snížení četnosti nouzových brzdění vlaků se všemi svými výhodami

- dále navrhované řešení umožňuje obecně zvýšit dostupnost zhlaví při rušení neprojeté jízdni cesty (pro zrušení neprojeté jízdni cesty nevyžaduje trvání (závěru) jízdni cesty po dobu předepsaného zpoždění)
- určitou „daní“ za zmíněné výhody řešení je změna obsluhy a nemožnost volby rušení neprojeté jízdni cesty k odvrácení hrozícího nebezpečí (vozidlo může žádost o zkrácení MA odmítnou), k tomu účelu má ale obsluha možnost volby „Stůj“ na konkrétním návěstidle (odešle na vozidlo zprávu s příkazem k podmíněnému zastavení vlaku), což je nutno předpisově (legislativně) ošetřit

4 FORMALIZACE ZÁPISU FUNKČNÍCH POŽADAVKŮ A POPISU FUNKČNÍHO CHOVÁNÍ ZABEZPEČOVACÍCH ZAŘÍZENÍ

Nástup elektronických železničních zabezpečovacích zařízení si vyžaduje změnu mnohých přístupů při jejich vývoji, projekci, výrobě, montáži i údržbě. Při vývoji takových zařízení se především jedná o zajištění a hodnocení jejich bezpečnosti, o zápis jejich funkčních požadavků a popis jejich funkčního chování.

Z hlediska zajištění bezpečnosti vyvstává problém při použití běžných elektronických prvků a zařízení s počítačovým jádrem v bezpečnostně relevantních funkcích. Tyto prvky a zařízení samy o sobě zpravidla nemají žádný bezpečný stav, který by v případě poruchy zaujaly tak, jak tomu bylo například u relé 1. bezpečnostní skupiny tvořící základ zařízení s vnitřní bezpečností (tzv. *asymetrický projev poruchy*).

Uvedený problém řeší evropské normy (ČSN EN 50126, ČSN EN 50129, ČSN EN 50128 a ČSN EN 50159) s využitím redundance (nadbytečnosti), či reakčního principu (samo-testování). Zmíněné normy dávají nejen návod, jak zajistit bezpečnost nově vyvíjených železničních zabezpečovacích zařízení, ale i způsob hodnocení jejich bezpečnosti.

Z hlediska zápisu funkčních požadavků a popisu funkčního chování vyvstává problém, jaký způsob (metodu) zvolit. Není již možno tak, jak tomu bylo u dřívějších typů stavědel, využívat při jejich vývoji pro popis jejich funkčního chování elektrických schémat reléových logických obvodů (používaných u původních elektrických stavědel), popřípadě mechanických schémat (používaných u mechanických, či elektromechanických stavědel). Zmíněný problém, na rozdíl od předchozího, v současné době bohužel neřeší žádné existující normy.

Kromě řešení výše nastíněného problému, existují i mnohé další důvody, které vyžadují při vývoji nových železničních zabezpečovacích systémů s počítačovým jádrem hledání a používání formálních nebo semi-formálních metod k jejich specifikaci, popisu, analýze, návrhu a verifikaci. V dnešní době jsou pro tyto účely nejpoužívanější formální metody založené na konečných stavových automatech, nebo Petriho sítích, či semi-formální metody založené na modelovacím jazyce UML.

4.1 Výběr vhodného způsobu formalizace

Vyberme nyní z uvedených způsobů formalizace ten nejvhodnější pro modelování navrhovaného optimálního řešení funkce rušení neprojeté jízdní cesty v systému ETCS L2.

4.1.1 Konečné stavové automaty

Konečné stavové automaty (angl. finite state machines), neboli konečné automaty (angl. finite machines), jsou z uvedených způsobů formalizace historicky nejstarší. Jejich prostřednictvím je možno vytvořit model zachycující pomocí stavů a přechodů mezi nimi funkční chování systému. Jeho chování je vyjádřeno vykonáváním přechodů mezi stavy a prováděním definovaných činností, přičemž počet stavů je vždy konečný (odtud název).

Konečný stavový automat (resp. sekvenční automat) je možno definovat uspořádanou šesticí (Z – množina vstupů; W – množina výstupů; A – množina stavů; $a_0 \in A$ – počáteční stav; δ – funkce přechodu stavu; λ – funkce výstupu). U sekvenčního automatu platí, že jeho stav v následujícím kroku $a(t+1)$ je závislý na současném stavu $a(t)$ a na vstupní proměnné $z(t)$, tedy: $a(t+1) = \delta(a(t), z(t))$. Dále, podle toho, zda funkce výstupu λ závisí jen na vnitřním stavu $a(t)$, či na vnitřním stavu $a(t)$ a vstupu $z(t)$, rozeznáváme dva typy automatů, a to:

- Mealyho, pro jehož výstup $w(t)$ platí $w(t) = \lambda(a(t))$,
- Moorův, pro jehož výstup $w(t)$ platí $w(t) = \lambda(a(t), z(t))$.

Navíc, je-li to pro popis účelné, lze ke každému stavu namísto hodnot logických proměnných přiřadit specifikaci chování systému v daném stavu, činnost, která je provedena při vstupu do daného stavu, a činnost, která je provedena při výstupu z daného stavu. Ke každému přechodu potom může být přiřazen seznam nutných podmínek pro jeho vykonání a seznam činností, které se při vykonání přechodu provedou.

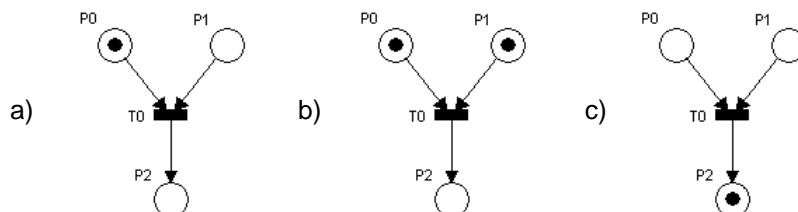
4.1.2 Petriho síť

Petriho síť (angl. Petri nets) jsou grafickým a matematickým formalizmem, jehož základ položil začátkem 60. let minulého století německý matematik Carl Adam Petri ve své disertační práci. Jedná se v podstatě o rozšíření konečných stavových automatů.

Základní koncept Petriho sítí je následující. Vychází ze dvou typů uzlů: míst (places, P_i) a přechodů (transitions, T_i). Místa a přechody jsou vzájemně spojeny prostřednictvím hran (arcs). Hrany jsou orientované úsečky a spojují místo s přechodem, nebo přechod s místem. Ke každému místu je přiřazeno kladné číslo, které udává počet značek (tokenů) v něm se nacházejících. Takové číslo nazýváme „marking“ a značíme jej $M(P_i)$, případně m_i .

Nutnou podmínkou přeskočení (odpálení) přechodu je, že ve všech jeho vstupních místech (tj. místech, ze kterých vede do přechodu hrana) musí být alespoň jeden token (viz Obr. 4.1). Takový přechod se potom nazývá povolený (aktivní, uskutečnitelný) a může dojít

k jeho přeskoku. Po vykonání přechodu se ve všech výstupních místech přechodu (tj. místech, do kterých vede z přechodu hrana) zvýší počet tokenů o jeden a zároveň se ve všech vstupních místech jejich počet o jeden sníží.



Obr. 4.1 – Ukázka C/E Petriho sítí: a) stav, kdy je přechod T_0 neuskutečnitelný b) stav, kdy je přechod T_0 uskutečnitelný, c) stav po přeskočení (vykonání, odpálení) přechodu T_0

Petriho sítě se vyskytují v nejrůznějších variantách, z nichž nejjednodušší je možno definovat uspořádanou čtveřicí (P – množina míst; T – množina přechodů; A – množina orientovaných hran; z_0 – počáteční ohodnocení (označkování) sítě). Zde se jedná se o C/E (Conditions/Events) Petriho sítě, které svou složitostí a modelovací silou odpovídají stavovým automatům. Lze se ale setkat se složitějšími variantami až po predikátové PrT (Predicate/Transition) či barevné C (Coloured) Petriho sítě, jež umožňují modelování chování složitých systémů s datovými strukturami²². Ovšem s jejich rostoucí modelovací silou roste i stupeň abstrakce modelu – model se stává obtížněji pochopitelným.

4.1.3 Jazyk UML

Jazyk UML (angl. Unified Modelling Language), čili sjednocený modelovací jazyk, je vizuální modelovací prostředek pro vytváření smysluplných objektově orientovaných modelů. Na jeho vzniku se výrazně podíleli metodici Grady Booch, James Rumbaugh a Ivar Jacobson. Koncem 90. let minulého století převzala podporu jazyka UML skupina OMG (Object Management Group). Díky tomu se z jazyka UML postupně stává standard v softwarovém průmyslu.

Jazyk UML je tedy notací (způsobem zápisu) sloužící ke specifikaci, vizuálnímu popisu, tvorbě a dokumentaci jednotlivých součástí především softwarových, ale i různých „nesoftwarevých“, systémů. UML nabízí v současnosti celkem 13 grafických diagramů – pohledů na systém. Jeden diagram představuje jeden pohled na systém. Základní dělení diagramů je možno provést na diagramy struktury (popisující statickou stránku systému) a diagramy chování (popisující dynamickou stránku systému)²³. Avšak vzhledem k tomu, že

²² Obecně však platí, že každou Petriho síť lze převést na základní C/E Petriho síť (pochopitelně nepřehlednější).

²³ Celkové dělení diagramů dle jeho specifikací verze 2.1.2 je uvedeno v příloze 3.

železniční zabezpečovací systémy řídí dopravní proces, který probíhá v reálném čase, budou pro účely jejich analýzy (a návrhu) hrát podstatnou roli především diagramy chování.

S jazykem UML velmi úzce souvisí koncept modelem řízené architektury MDA (Model Driven Architecture), který ovšem *není* jeho přímou součástí. Podporu konceptu MDA převzala taktéž skupina OMG. MDA popisuje postupný přechod od úrovně modelu UML až po úroveň spustitelného kódu. Jasně definuje, co je analytický model, co je návrhový model a jak mezi nimi provádět transformaci. Při použití konceptu MDA se grafická notace jazyka UML stává základem pro vývoj softwaru a UML se tak stává modelem řízeného návrhu systému (blíže viz např. lit. [12]).

4.1.4 Vlastní výběr způsobu formalizace

Konečné stavové automaty mají z popsaných způsobů formalizace nejnižší vyjadřovací schopnost. Jejich modely složitějších funkcí, či systémů jsou nepřehledné. Konečné stavové automaty jsou tudíž vhodné spíše pro modelování jednodušších funkcí charakteru sekvenčního automatu a lze je snadno nahradit C/E Petriho sítěmi.

Modely vytvořené prostřednictvím Petriho sítí vysoké úrovně mohou dosahovat vysoké vyjadřovací schopnosti se silným matematickým aparátem, který umožňuje velmi dobrou analýzu systému (lze vygenerovat stavový prostor), ale bývají současně velmi nesrozumitelné pro zadavatele systému. Naopak jazyk UML nabízí mnoho vyjadřovacích prostředků – diagramů, které jsou sice poměrně snadno srozumitelné pro zadavatele, ale bohužel v současné době zatím nejsou podloženy téměř žádným matematickým aparátem.

Ovšem vzhledem k tomu, že jazyk UML umožňuje pomocí svých vyjadřovacích prostředků (diagramů) jak zápis funkčních požadavků železničních zabezpečovacích systémů, tak i popis jejich funkčního chování volím právě způsob formalizace založený na jazyce UML. Ten nabízí mnoho pohledů na modelovaný systém prostřednictvím mnoha diagramů, které jsou navíc, jak již bylo zmíněno, snadno srozumitelné pro zadavatele. Podrobnější popis zmíněných způsobů formalizace a jejich posouzení je uvedeno v práci [8].

Poznámka: Nezávisle na právě provedeném výběru nacházejí všechny výše zmíněné způsoby formalizace v praxi, v oblasti železničních zabezpečovacích systémů, své využití. Podle mě dostupných informací jsou například konečné stavové automaty použity pro specifikaci funkčního chování zařízení IRI²⁴, Petriho síť pro PZZ-EA a jazyk UML v projektu „Euro-Interlocking“.

²⁴ IRI (Interlocking RBC Interface) = člen v přenosovém řetězci, který přizpůsobuje komunikační a bezpečnostní koncepci stavědel na straně jedné a RBC na straně druhé (od různých výrobců), více viz lit. [6].

4.2 Výběr vhodného softwarového nástroje

Zaměříme se nyní na výběr vhodného softwarového nástroje pro zvolenou semi-formální metodu založenou na jazyce UML. Pro účely diplomové práce byly, podobně jako v práci [9], vybrány dva nástroje. Jedná se o StarUML™ verze 5.0 (dále jen StarUML) a Enterprise Architect verze 7.0 (dále jen Enterprise Architect). Jejich porovnání a výběr je proveden s ohledem na jejich vlastnosti, nabízenou funkčnost a uživatelskou přívětivost.

4.2.1 StarUML

V případě nástroje StarUML, který je volně dostupný na Internetu (Open Source), jde o softwarovou modelovací platformu založenou na jazyce UML verze 1.4 a poskytující jeho jedenáct různých typů diagramů (viz kap. 4.1.3). Verze nástroje 5.0, která byla porovnávána v práci [9], již akceptuje i notace (způsoby zápisu) plně v souladu s jazykem UML verze 2.0. StarUML dále aktivně podporuje v souvislosti s podporou jazyka UML i modelem řízenou architekturu (koncept MDA).

4.2.2 Enterprise Architect

Nástroj Enterprise Architect (dále jen EA), který je dostupný na Internetu (zdarma však pouze 30denní plně funkční trial verze), je nástroj pro podporu analýzy a návrhu aplikací CASE (Computer Aided Software Engineering). Verze nástroje 7.0, která byla porovnávána v práci [9], je založena na specifikacích jazyka UML verze 2.1. EA je nástroj podporující všechny etapy vývojového cyklu (od počátečního návrhu až po finální testování), včetně konceptu MDA (viz kap. 4.1.3).

Nástroj EA verze 7.0 je dostupný ve třech edicích, které se liší nabízenou škálou vlastností. Podle předchozího může jít o následující edice: corporate, professional a desktop, přičemž nejvíce funkcí nabízí edice corporate, nejméně pak edice desktop (viz lit. [14]).

4.2.3 Vlastní výběr softwarového nástroje

Porovnání a následný výběr obou softwarových nástrojů (StarUML a EA) je podrobněji uveden v práci [9]. Zde volím, na základě vypracování několika jednoduchých příkladů v obou nástrojích, jako výhodnější nástroj Enterprise Architect firmy Sparx Systems. Výhodněji se jevil jak z hlediska jeho vlastností a nabízené funkčnosti, tak i z hlediska uživatelské přívětivosti. Současně ale, podobně jako v práci [9], dodávám, že volba by byla jistě spravedlivější po dlouhodobější a soustavnější práci, která by zaručila hlubší seznámení se s nástroji.

5 MODEL FUNKCE RUŠENÍ NEPROJETÉ JÍZDNÍ CESTY V SYSTÉMU ETCS L2

5.1 Případy užití popisující předmětnou funkci

Následujícími případy užití popisují funkci rušení neprojeté jízdní cesty, přičemž se zaměřuji na stavědlo, jakožto primárního aktéra, který má na dosažení cílů jednotlivých scénářů hlavní zájem. První případ užití popisuje u postavené jízdní cesty, pro kterou má být odesláno na vozidlo příslušné MA, proces nastavení příznaku „ETCS_MA_assign“.

Případ užití 1 Nastav příznak „ETCS_MA_assign“

Primární aktér: stavědlo

Ostatní aktéři: RBC

Vstupní podmínky:

1. Stavědlo dokončilo proces stavění jízdní cesty.
2. Všechna zúčastněná technická zařízení jsou v pořádku (SZZ, RBC).

Spouštěcí událost:

- Stavědlo odešle informaci o postavené jízdní cestě do RBC.

Hlavní úspěšný scénář:

1. RBC obdrží informaci o postavené jízdní cestě, vygeneruje MA pokrývající danou jízdní cestu a dotáže se stavědla na jeho souhlas s odesláním tohoto MA.
2. Stavědlo obdrží dotaz RBC, nastaví u dané jízdní cesty příznak „ETCS_MA_assign“ a dá RBC souhlas s odesláním příslušného MA.
<alt: Stavědlo nenastaví příznak>

Rozšíření:

- 2a. Stavědlo nenastaví u jízdní cesty příznak „ETCS_MA_assign“:
 - 2a1. Stavědlo nedá RBC souhlas s odesláním MA, pokrývající jízdní cestu bez nastaveného příznaku „ETCS_MA_assign“.
 - 2a2. Konec případu užití.

Druhý případ užití již představuje situaci, která nastane při případném rušení neprojeté jízdní cesty. V tomto případě užití se rozhoduje, jestli se jedná o rušení neprojeté jízdní cesty bez nastaveného příznaku „ETCS_MA_assign“, či s nastaveným příznakem.

Případ užití 2 Zruš neprojetou jízdní cestu

Primární aktér: stavědlo
Ostatní aktéři: obsluha, jízdní cesta

Vstupní podmínky:

1. Je postavená jízdní cesta, která ještě nebyla projeta vlakem.
2. Všechna zúčastněná technická zařízení jsou v pořádku (SZZ).

Spouštěcí událost:

- Stavědlo přijme od obsluhy povel k rušení neprojeté jízdní cesty.

Hlavní úspěšný scénář:

1. Stavědlo začne zjišťovat, zda má rušená jízdní cesta nastavený příznak „ETCS_MA_assign“²⁵.
2. Jízdní cesta nemá nastavený příznak „ETCS_MA_assign“.
<alt: Jízdní cesta má nastavený příznak>
3. Zruš jízdní cestu bez nastaveného příznaku „ETCS_MA_assign“ (PU03).

Rozšíření:

- 2a. Jízdní cesta má nastavený příznak „ETCS_MA_assign“:
 - 2a1. Zruš jízdní cestu s nastaveným příznakem „ETCS_MA_assign“ (PU04).
 - 2a2. Konec případu užití.

Třetí případ užití popisuje proces rušení neprojeté jízdní cesty bez nastaveného příznaku „ETCS_MA_assign“. Jedná se tedy o neprojetou jízdní cestu, pro kterou nebylo odesláno na vozidlo příslušné MA.

Případ užití 3 Zruš neprojetou jízdní cestu bez nastaveného příznaku „ETCS_MA_assign“

Primární aktér: stavědlo
Ostatní aktéři: technické prostředky pro detekci vlaku

Vstupní podmínky:

1. Je postavená jízdní cesta bez nastaveného příznaku „ETCS_MA_assign“
2. Všechna zúčastněná technická zařízení jsou v pořádku (SZZ, ETCS, GSM-R).
3. Mobilní část jedoucí pod dohledem ETCS se blíží.

²⁵ Nastavení příznaku „ETCS_MA_assign“ je nutnou podmínkou pro odeslání MA pokrývající danou jízdní cestu (viz PU01). To znamená, že pro každou jízdní cestu s nastaveným příznakem „ETCS_MA_assign“ je nutno předpokládat, že vozidlu (mobilní části systému) již bylo odesláno příslušné MA.

Spouštěcí událost:

- Stavědlo zjistí, že rušená jízdní cesta nemá nastavený příznak „ETCS_MA_assign“.

Hlavní úspěšný scénář:

1. Stavědlo změni dovolující návěst na návěstidle na začátku jízdní cesty na zakazující a začne zjišťovat stav technických prostředků pro detekci vlaku v rozhodném úseku.
2. Technické prostředky pro detekci vlaku v rozhodném úseku jsou volné.
<alt: Technické prostředky jsou obsazené>
3. Stavědlo zruší jízdní cestu bez předepsaného zpoždění.

Rozšíření:

- 2a. Technické prostředky pro detekci vlaku v rozhodném úseku nejsou volné:
 - 2a1. Stavědlo začne měřit dobu předepsaného zpoždění pro rušení neprojeté jízdní cesty (180 s) a během měření této doby průběžně zjišťuje stav technických prostředků pro detekci vlaku jednotlivých úseků jízdní cesty.
 - 2a2. Technické prostředky pro detekci vlaku všech úseků jízdní cesty jsou volné.
 - 2a2a. Technické prostředky pro detekci vlaku všech úseků jízdní cesty nejsou volné:
 - 2a2a1. Stavědlo nezruší jízdní cestu vůbec.
 - 2a2a2. Konec případu užití.
 - 2a3. Během měření doby předepsaného zpoždění nebyl vyhodnocen stav technických prostředků pro detekci vlaku jako obsazený.

Poslední, čtvrtý případ užití popisuje proces rušení neprojeté jízdní cesty s nastaveným příznakem „ETCS_MA_assign“. Jde tedy o neprojetou jízdní cestu, pro kterou je nutno uvažovat, že na vozidlo již bylo odesláno příslušné MA.

Případ užití 4 Zruš neprojetou jízdní cestu s nastaveným příznakem „ETCS_MA_assign“

Primární aktér: stavědlo
Ostatní aktéři: RBC, mobilní část

Vstupní podmínky:

1. Je postavená jízdní cesta s nastaveným příznakem „ETCS_MA_assign“
2. Všechna zúčastněná technická zařízení jsou v pořádku (SZZ, ETCS, GSM-R).
3. Vozidlo jedoucí pod dohledem ETCS se blíží.

Spouštěcí událost:

- Stavědlo zjistí, že rušená jízdní cesta má nastavený příznak „ETCS_MA_assign“.

Hlavní úspěšný scénář:

1. Stavědlo se dotáže RBC na souhlas se zrušením jízdní cesty s nastaveným příznakem „ETCS_MA_assign“.
2. RBC pošle na mobilní část zprávu 9 „Žádost o zkrácení MA“ s novým EOA u návěstidla na začátku jízdní cesty.
3. Mobilní část zjistí, že vlak lze k nové poloze EOA zastavit, novou polohu EOA promítne do výpočtu dynamického rychlostního profilu a odsouhlasí ji RBC zprávou 137 „Žádost o zkrácení MA je povolena“.
<alt: Mobilní část zjistí, že vlak nelze zastavit>
4. RBC přijme zprávu 137 a udělí stavědлу souhlas se zrušením jízdní cesty, a to nezávisle na stavu technických prostředků pro detekci vlaku v rozhodném úseku.
<alt: RBC přijme zprávu 138, nepřijme žádnou zprávu>
5. Stavědlo obdrží souhlas se zrušením jízdní cesty od RBC, změní dovolující návěst na návěstidle na začátku jízdní cesty na zakazující a zruší jízdní cestu.
<alt: Stavědlo neobdrží souhlas, Stavědlo obdržení povolení>

Rozšíření:

- 3a. Mobilní část systému zjistí, že vlak nelze k nové poloze EOA zastavit:
 - 3a1. Mobilní část systému novou polohu EOA nepromítne do výpočtu dynamického rychlostního profilu a odmítne ji RBC zprávou 138 „Žádost o zkrácení MA je zamítnuta“.
- 4a. RBC přijme zprávu 138:
 - 4a1. RBC neudělí stavědлу souhlas se zrušením jízdní cesty.
- 4b. RBC nepřijme během stanovené mezní doby žádnou zprávu:
 - 4b1. RBC povolí stavědлу zrušit neprojetou jízdní cestu pod odpovědností stavědla.
- 5a. Stavědlo neobdrží souhlas se zrušením jízdní cesty od RBC:
 - 5a1. Stavědlo ponechá dovolující návěst na návěstidle na začátku jízdní cesty a nezruší jízdní cestu.
 - 5a2. Konec případu užití.
- 5b. Stavědlo obdrží povolení ke zrušení neprojeté jízdní cesty pod svou odpovědností:
 - 5b1. Zruš jízdní cestu 'bez' nastaveného příznaku „ETCS_MA_assign“ (PU03).
 - 5b2. Konec případu užití.

Z uvedených případů užití je zřejmé, že pomocí nich lze efektivně a srozumitelnou formou specifikovat představy zadavatele o funkčním chování navrhovaného systému. Ačkoli (či právě proto, že) jejich textová forma není přímo notací jazyka UML, existuje mnoho doporučení pro jejich tvorbu. Jiný způsob textového zápisu případů užití byl zvolen například v pracích [8], či [9].

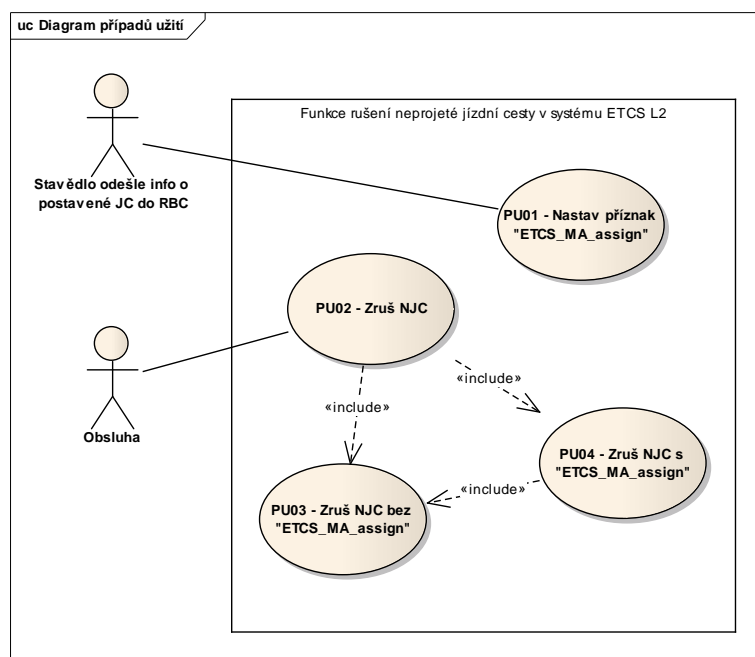
5.2 Diagramy popisující předmětnou funkci

Všechny následující diagramy, tvořící model, jsou notací sjednoceného modelovacího jazyka UML a byly vytvořeny v softwarovém nástroji pro podporu návrhu a analýzy aplikací Enterprise Architect verze 7.0, edice desktop – viz též soubor s modelem v příloze 4.

5.2.1 Diagram případů užití

Diagram případů užití na obrázku 5.1 zachycuje případy užití popisující funkci rušení neprojeté jízdní cesty v systému ETCS L2, které popsují textovou, strukturovanou formou v kapitole 5.1. Narozdíl od jejich textové formy je jejich diagram již notací jazyka UML.

Poznámka: Aktér „stavědlo odešle info o postavené JC do RBC“ na obrázku 5.1 není aktérem, ale stereotypem «událost», což znamená, že případ užití 1 nespouští aktér jako takový, ale uvedeným názvem specifikovaná událost²⁶.



Obr. 5.1 – Diagram případů užití popisující funkci rušení neprojeté jízdní cesty v systému ETCS L2

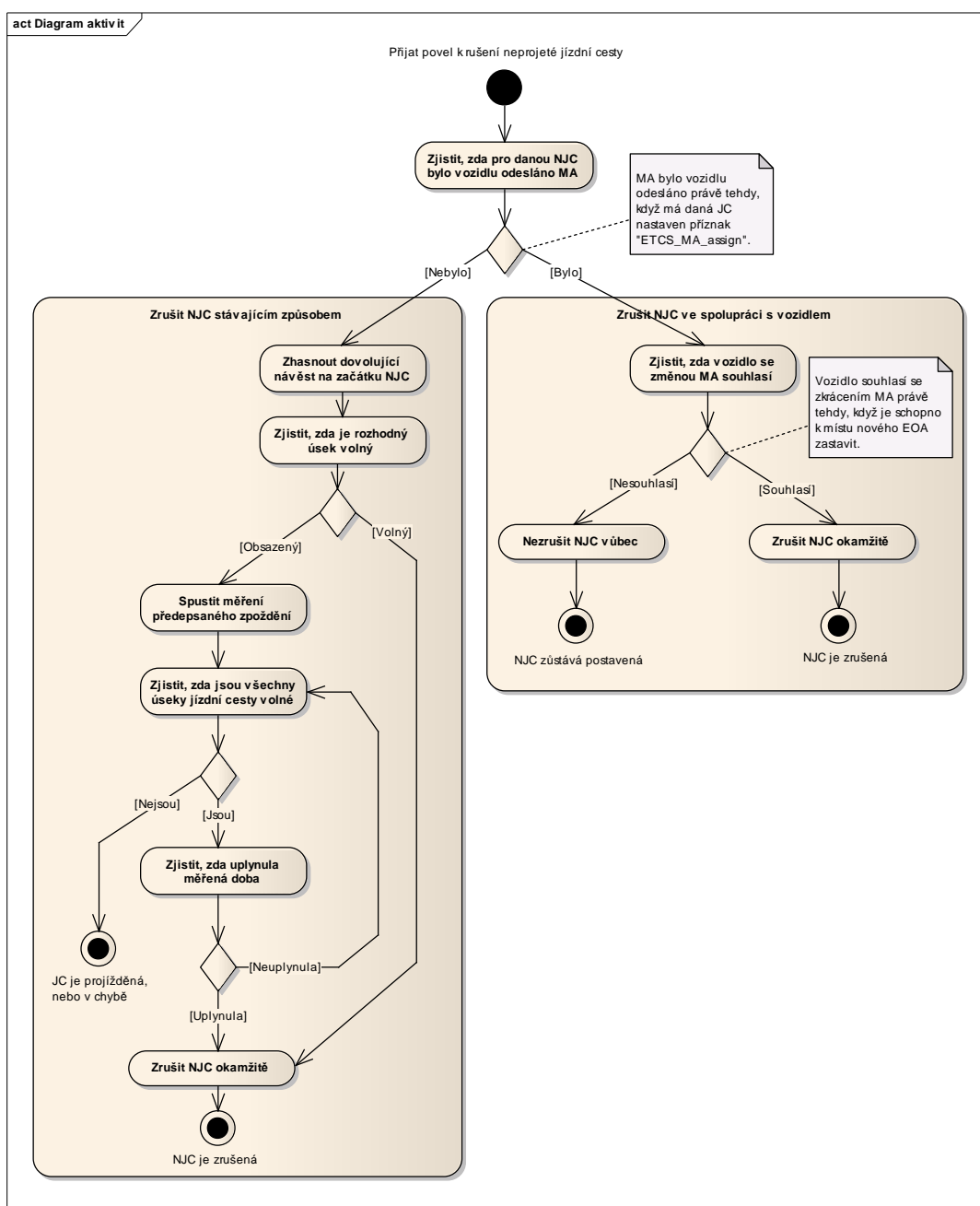
Z diagramu případů užití na obrázku 5.1 je vidět, že funkci rušení neprojeté jízdní cesty v systému ETCS L2 popisují celkem čtyřmi případy užití. Událost „stavědlo odešle informaci o postavené jízdní cestě do RBC“ spouští první případ užití nastavující příznak „ETCS_MA_assign“ u jízdní cesty, pro níž je připraveno odeslání MA na vozidlo – nastavení příznaku předchází vlastnímu odeslání MA (viz Obr. 5.4). Dále aktér „obsluha“ spouští druhý případ užití, který ve své konečném důsledku vede ke zrušení, či nezrušení neprojeté jízdní

²⁶ Během modelování bylo zjištěno, že modelovací nástroj EA nezobrazuje v diagramech případů užití u aktéra typu stereotyp standardním způsobem tuto jeho vlastnost.

cesty a který zahrnuje třetí a čtvrtý případ užití. Ty jsou spouštěny v závislosti na stavu příznaku u rušené neprojeté jízdni cesty. Čtvrtý případ užití může dále spouštět třetí případ užití, což činí tehdy, jestliže RBC povolí stavědlu zrušit neprojetou jízdni cestu pod jeho odpovědností (viz textový popis případů užití v kap. 5.1, či sekvenční diagramy v kap. 5.2.4).

5.2.2 Diagram aktivit

Proces rušení neprojeté jízdni cesty zachycuje v prvním přiblížení diagram aktivit uvedený na obrázku 5.2. Jeho jednotlivé „stavy“ popisují činnosti (aktivity), které je třeba vykonat pro dosažení kýženého cíle (zrušení, či nezrušení jízdni cesty).

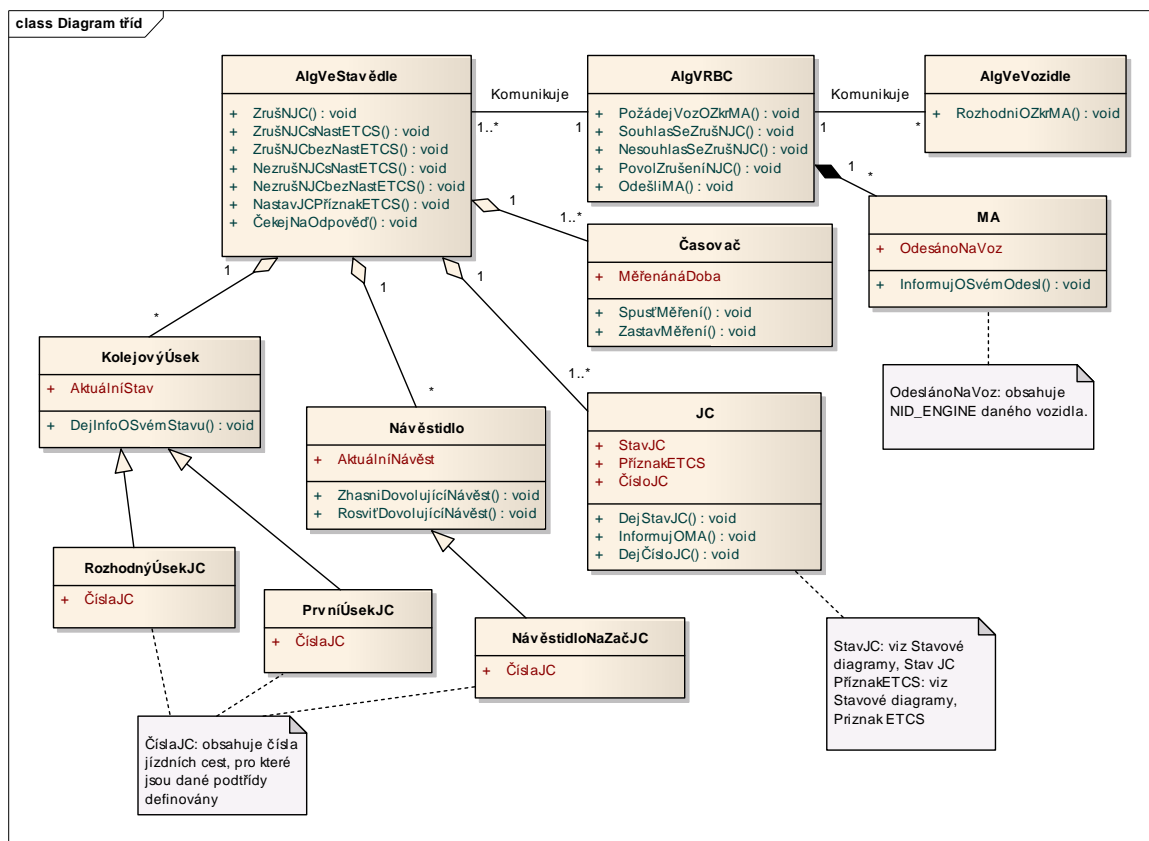


Obr. 5.2 – Diagram aktivit popisující funkci rušení neprojeté jízdni cesty v systému ETCS L2

Z diagramu aktivit na obrázku 5.2 je zřejmé, že při rušení neprojeté jízdní cesty v systému ETCS L2 rozlišují rušení neprojeté jízdní cesty (NJC). Její rušení s nastaveným příznakem „ETCS_MA_assign“ probíhá ve spolupráci s vozidlem (pravá větev). Naopak její rušení bez nastaveného příznaku „ETCS_MA_assign“ probíhá stávajícím způsobem (levá větev), popř. jen s jinou dobou zpoždění při jejím rušení (blíže viz kap. 3.6).

5.2.3 Diagram tříd

Diagram tříd na obrázku 5.3 je jediný v práci použitý diagram struktury. Zobrazuje statickou stránku modelovaného systému, tj. jeho jednotlivé objektové třídy, jejich vzájemné vztahy, jejich atributy a operace.



Obr. 5.3 – Diagram tříd popisující objektové třídy fce rušení neprojeté jízdní cesty v systému ETCS L2

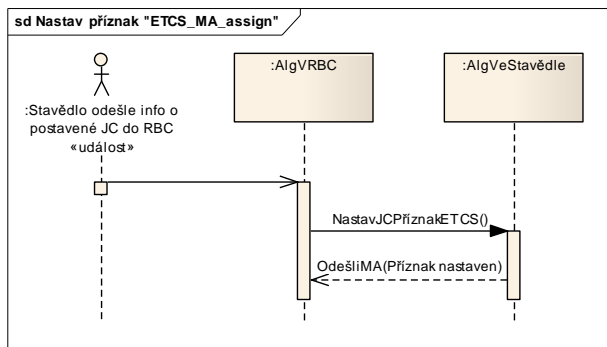
Z diagramu tříd²⁷ na obrázku 5.3 je patrné, že jím nepopisují celý systém, ale jen jeho – k dané funkci relevantní – část. Jsou v něm zachyceny ve formě objektových tříd algoritmy probíhající ve stavědle, RBC i vozidle, které mezi sebou mají vztah asociace (komunikují spolu). Dále pak jednotlivé objektové třídy, jež algoritmy obsahují a jež jsou s nimi ve vztahu agregace (v případě oprávnění k jízdě MA se jedná o silnou agregaci – kompozici). Objektové

²⁷ V modelu se k němu vážou dva diagramy stavových automatů, které blíže udávají změny hodnot atributů „StavJC“ a „PřiznakETCS“ objektu JC (resp. instance objektové třídy JC) a které jsou v kap. 5.2.4.

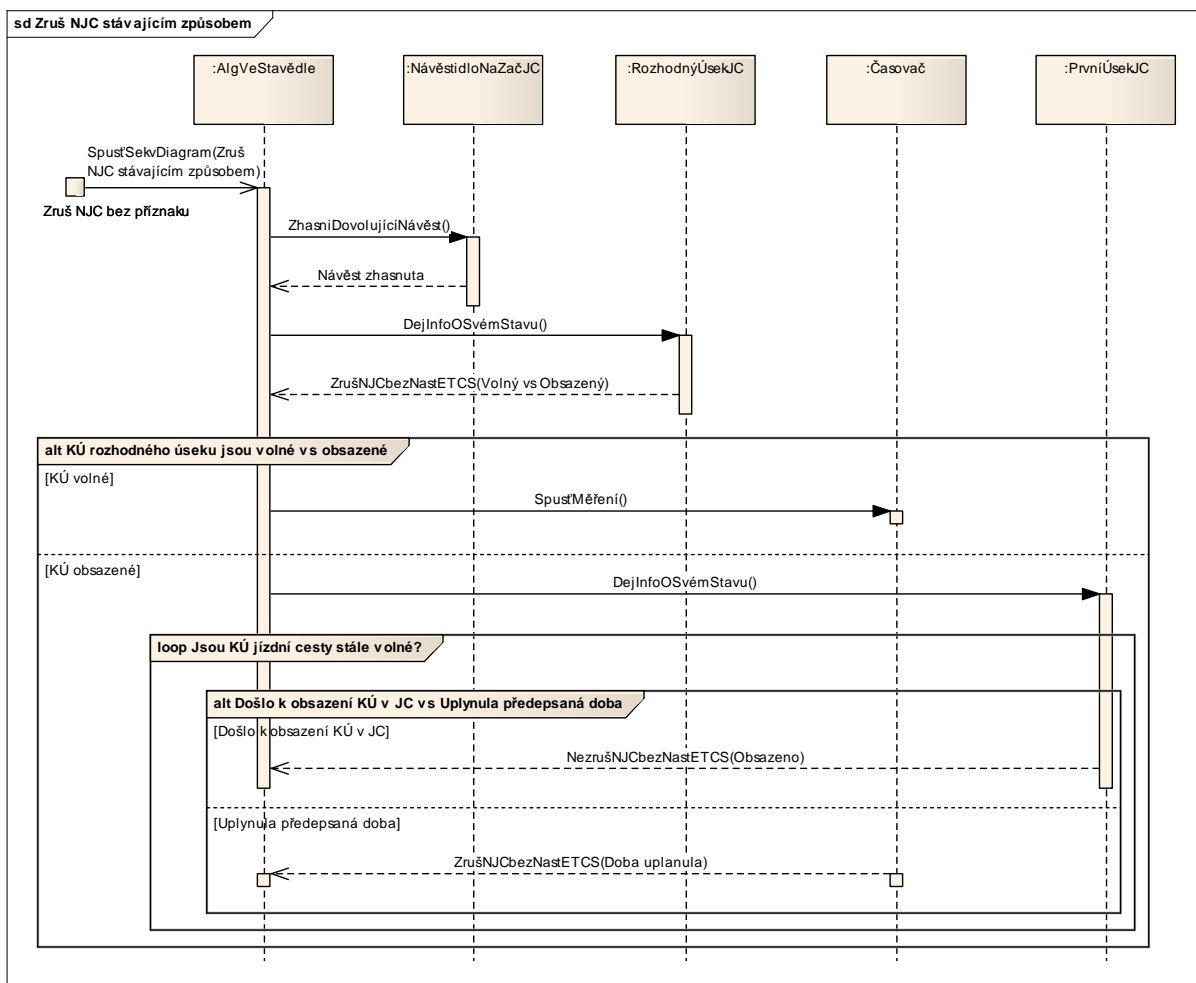
třídy „KolejovýÚsek“ a „Návěstidlo“ představují obecnější objektové třídy (rodiče) pro jejich konkrétnější objektové třídy (potomky), které jsou s nimi ve vztahu generalizace (dědění).

5.2.4 Sekvenční diagramy

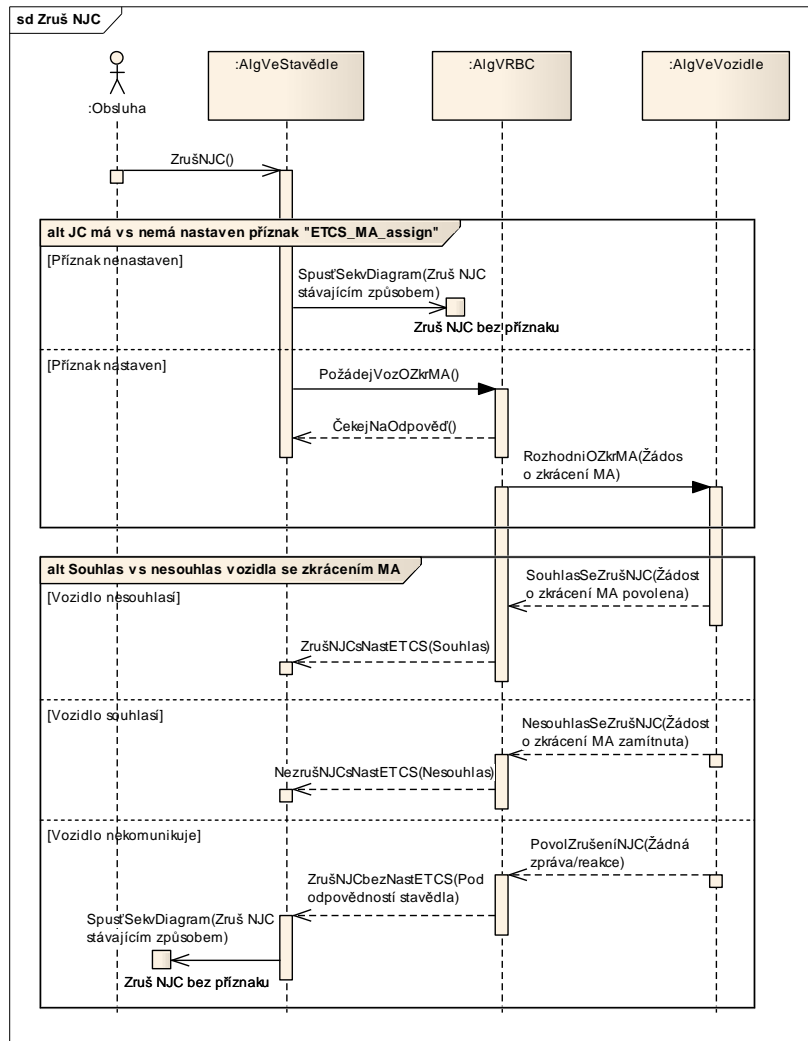
Sekvenční diagramy patří do diagramů objektové spolupráce, nebo-li diagramů interakce. Zobrazují interakci objektů (resp. instancí objektových tříd) v rámci případu užití, což ilustrují následující sekvenční diagramy (v závorce vždy uveden daný případ užití).



Obr. 5.4 – Sekvenční diagram popisující proces nastavení příznaku „ETCS_MA_assign“ (PU01)



Obr. 5.5 – Sekvenční diagram popisující proces rušení neprojeté jízdní cesty stáv. způsobem (PU03)



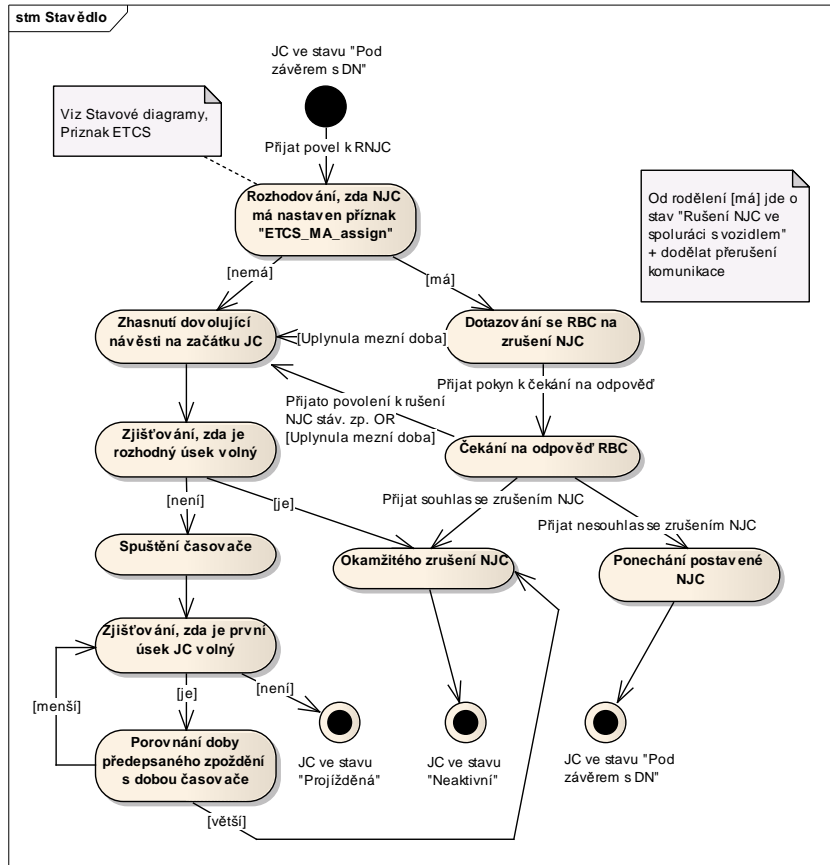
Obr. 5.6 – Sekvenční diagram popisující proces rušení neprojeté jízdní cesty ve spolupráci s vozidlem (PU04 + PU02)

Na sekvenčních diagramech na předchozích třech obrázcích si lze všimnout, že instance objektových tříd (dále jen objekty) prostřednictvím zpráv spouští příslušné operace cílového objektu, jejichž název uvádím v rozkazovacím způsobu (což není úplně přesné, protože jeden objekt nemá ponětí o tom, co probíhá v objektu druhém). V závorce na místě parametru proto uvádím událost, která v cílovém objektu vyvolá spuštění dané operace.

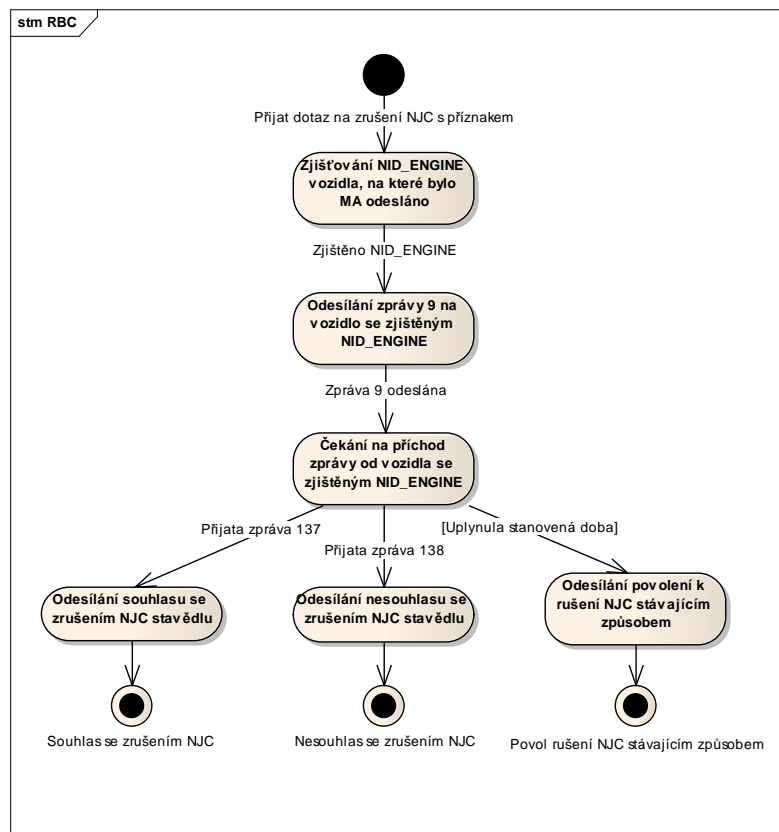
Jeden sekvenční diagram zobrazuje interakci objektů v rámci jednoho případu užití. Výjimku představuje jen druhý případ užití, který je pro jeho jednoduchost zahrnut v sekvenčním diagramu popisující čtvrtý případ užití (viz Obr. 5.6).

5.2.5 Diagramy stavových automatů

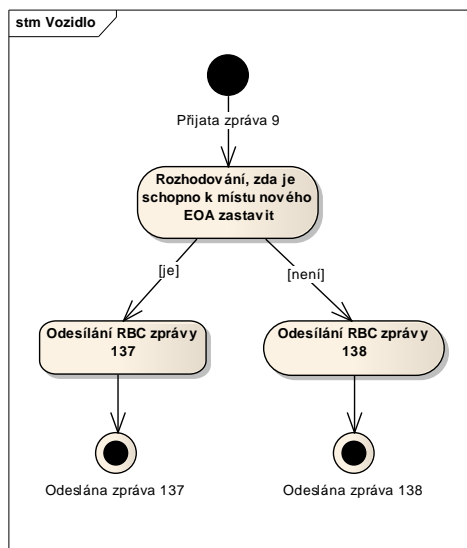
Diagramy stavových automatů popisují všechny stavy, kterých může určitý objekt nabývat v závislosti na událostech. Takto zobrazují celý životní cyklus objektu.



Obr. 5.7 – Diagram stavových automatů popisující algoritmus probíhající ve stavědle

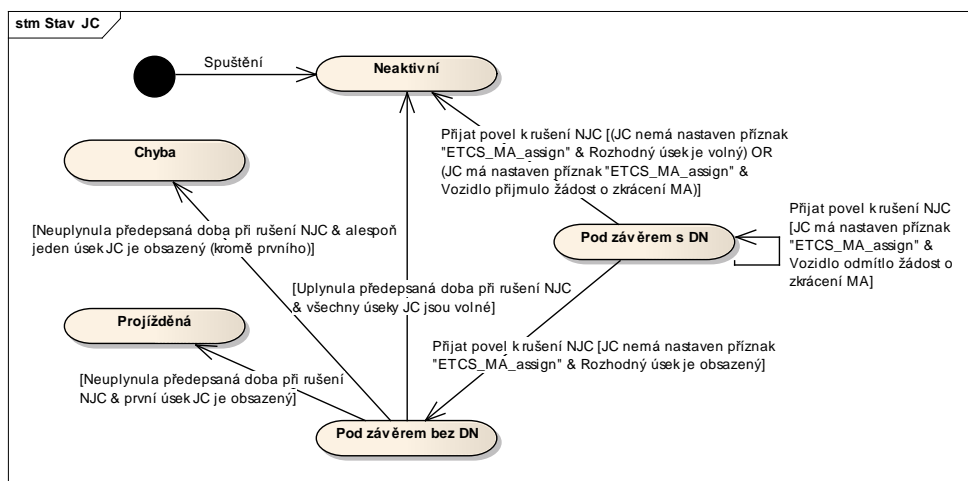


Obr. 5.8 – Diagram stavových automatů popisující algoritmus probíhající v RBC



Obr. 5.9 – Diagram stavových automatů popisující algoritmus probíhající ve vozidle

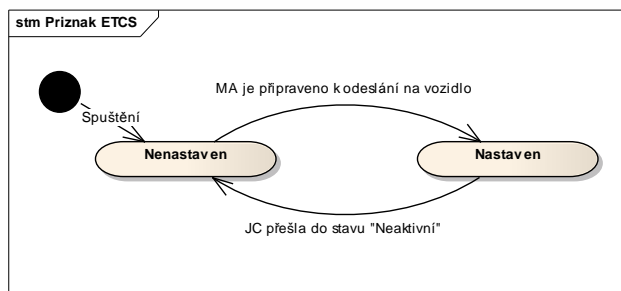
Na předchozích třech obrázcích jsou diagramy stavových automatů zachycující stavy jednotlivých algoritmů, jimiž popisují všechny stavy, ve kterých se příslušný algoritmus může nacházet. Názvem stavu je charakterizováno chování objektu (algoritmu) – činnosti probíhající v daném stavu mohou být blíže specifikovány v bloku aktivit²⁸. Každý diagram stavových automatů by měl obsahovat jeden počáteční stav a jeden nebo více stavů koncových.



Obr. 5.10 – Diagram stavových automatů popisující stavy jízdní cesty

Poznámka: V diagramu stavových automatů na obrázku 5.10 jsou znázorněny jen ty přechody mezi jednotlivými stavy atributu „StavJC“ objektu jízdní cesta („JC“), které jsou vzhledem k dané funkci relevantní. To jest není znázorněn například přechod mezi stavem „Pod závěrem s DN“ a stavem „Projžděná“, který je v reálném provozu velmi častý.

²⁸ Během modelování se bohužel nepodařilo zjistit, zda (popř. jak) je možno v nástroji EA zobrazit blok aktivit.



Obr. 5.11 – Diagram stavových automatů popisující stavy příznaku „ETCS_MA_assign“

Na předchozích dvou obrázcích jsou diagramy zachycující podmínky změny stavu dvou atributů („StavJC“ a „ETCS_MA_assign“) objektu jízdní cesta („JC“). Z toho důvodu nepovažuji za nutné stanovit jejich koncový stav, poněvadž je uvažováno, že systém svou činnost ukončí, až s jeho snesením, popřípadě náhodně v libovolném stavu.

Z diagramů stavových automatů je zřejmé, že při jejich tvorbě vycházím z diagramu aktivit, ovšem nezaměřuji se na potřebné činnosti, ale na stavy, ve kterých se v předmětné funkci mohou vyskytovat jednotlivé objekty, resp. algoritmy, či jejich atributy.

5.3 Závěry plynoucí z průběhu modelování

- je-li modelovaný problém vytržen z kontextu, může se stát, že jeden systém je uvnitř i vně modelu, např. stavědlo (vyřešeno aktérem stereotypu «událost»)
- tedy platí, že čím více je modelování povrchnější, tím více si vyžaduje vypořádat se s různými problémy netradičně – mimo notaci (způsoby zápisu) UML
- diagramy aktivit jsou obdobou vývojových diagramů, lze jimi vyjádřit i zodpovědnost za jednotlivé aktivity – v práci nevyužito, protože např. aktivita „Zjistit, zda vozidlo se změnou MA souhlasí“ je rozprostřena mezi stavědlo, RBC i vozidlo, což je zřejmé z d. stavových automatů
- diagramy tříd u atributů není v první fázi uveden formát, což považuji pro danou analýzu za irelevantní (doporučení tvořit diagramy tříd tzv. „dvoufázově“)
- diagramy stavových automatů jsou více vhodné pro ukázání chování objektů (instancí objektových tříd) napříč případy užití, než pro znázornění interakce více systémů, k tomu např. sekvenční diagramy – pro modelování spolupráce objektů (instancí objektových tříd) v rámci jednoho případu užití
- v diagramy stavových automatů lze lépe (přesněji) modelovat stav přímo nějakého objektu, či jeho atributu, než stav celého algoritmu

ZÁVĚR

Práce se zabývá analýzou a modelováním funkce rušení neprojeté jízdní cesty v systému ETCS L2. Problém spočívá především v nemožnosti zjištění, zda je vlak v případě rušení neprojeté jízdní cesty schopen zastavit ještě před návěstidlem na jejím začátku. Stávající řešení zmíněného problému uvádí norma [2], která definuje délku rozhodného úseku a dobu předepsaného zpoždění při rušení neprojeté jízdní cesty, která je uplatňována v případě jejího rušení po obsazení rozhodného úseku.

Tato doba musí spolu s délkou rozhodného úseku zaručit, že vlak buď stihne zastavit ještě před návěstidlem na začátku rušené jízdní cesty, nebo stihne obsadit alespoň první úsek rušené jízdní cesty. Pokud by se tak nestalo, vlak by vjel do jízdní cesty, pro kterou již nejsou provedeny výluky současně zakázaných jízdních cest, vazby na ostatní zabezpečovací zařízení a není proveden ani závěr jízdní cesty, což je nepřijatelné. Obecněji je možno říci, že pro tuto jízdní cestu již nejsou splněny podmínky stanovené v normě [2].

Uvedený problém je možno řešit použitím vhodného vlakového zabezpečovacího systému. Ten by měl umožňovat jednak přenést informaci o dodatečném omezení oprávnění k jízdě vlaku a jednak jeho prostřednictvím zjistit, zda je vlak schopen zastavit před začátkem rušené neprojeté jízdní cesty, případně zjistit, zda vlak již skutečně zastavil. Liniový vlakový zabezpečovací systém LS, používaný v současné době v České republice, umožňuje pouze první požadavek, tj. přenést na vlak informaci o dodatečném omezení.

Evropský vlakový zabezpečovací systém ETCS, jehož zavádění je v České republice předpokládáno, ovšem umožňuje oba dva požadavky. Navíc, podle svých specifikací [1], nabízí několik možností, které umožňují uvedený problém při vhodném návrhu vyřešit kvalitativně mnohem lépe, než je tomu u současného řešení.

Po analýze všech možných způsobů řešení, uvedených v této práci, navrhuji řešení optimální, které využívá komunikaci mezi RBC a stavědlem umožňující obousměrný přenos uživatelských informací a zprávy se žádostí o zkrácení oprávnění k jízdě (zpráva 9). Pro případ nedostupné komunikace mezi RBC a stavědlem navrhuji poslat na vozidlo nouzovou zprávu s příkazem k podmíněnému zastavení (zpráva 15) s místem zastavení u návěstidla na začátku potenciálně rušené jízdní cesty. Dále pro případ nedostupné komunikace mezi vozidlem a RBC volím možnost vhodného rozdělení oprávnění k jízdě na jednotlivé úseky, již s ohledem na případné rušení neprojeté jízdní cesty, a využití doby jejich platnosti (proměnná T_SECTIONTIMER).

V práci navrhované řešení umožňuje zvýšit bezpečnost železniční dopravy, a to především tím, že není založeno – jako současné řešení – na měření předepsané doby a předpokladu, že vlak během této doby buď zastaví před návěstidlem, nebo vstoupí do rušené jízdní cesty. To je umožněno zejména tím, že navrhované řešení vhodně využívá nabízených možností evropského vlakového zabezpečovacího systému ETCS L2, což je liniový vlakový zabezpečovač s obousměrným přenosem informací mezi jeho mobilní a traťovou částí.

Kromě zmíněného zvýšení úrovně bezpečnosti poskytuje navrhované řešení – oproti stávajícímu – také snížení četnosti nouzových brzdění vlaků jedoucích pod dohledem ETCS (v módu FS, příp. OS) a obecně zvýšení dostupnosti zhlaví v případech rušení neprojeté jízdní cesty. Pro zrušení neprojeté jízdní cesty není totiž vyžadováno trvání (závěru) jízdní cesty po dobu předepsaného zpoždění při jejím rušení, ale k jejímu zrušení dojde okamžitě, či vůbec. A to v závislosti na tom, zda vlak je, či není schopen zastavit před začátkem rušené jízdní cesty.

Určitou „daní“ za vyjmenované výhody navrhovaného řešení je změna obsluhy a především nemožnost použití volby rušení neprojeté jízdní cesty k odvrácení hrozícího nebezpečí – vozidlo může žádost o zkrácení MA odmítnout. K tomuto účelu má ale obsluha možnost volby „Stůj“ na konkrétním návěstidle, jež vede k odeslání nouzové zprávy s příkazem k podmíněnému zastavení vlaku (zpráva 15). Současně je ale předpokládáno, že nastíněný „problém“ bude vyřešen v příslušných předpisech.

Navrhované optimální řešení je v práci dále modelováno prostřednictvím vybraného způsobu formalizace. V současné době představují nejpoužívanější způsoby formalizace konečné stavové automaty, Petriho síť a jazyk UML. Pro velké množství – poměrně snadno pochopitelných – vyjadřovacích prostředků (diagramů), které umožňují jak zápis funkčních požadavků, tak i popis funkčního chování železničních zabezpečovacích systémů je k uvedenému zvolen jazyk UML.

Z diagramů UML hrají (vzhledem k tomu, že jde o modelování funkčního chování železničních zabezpečovacích systémů) podstatnou roli především diagramy chování. Konkrétně jsou z diagramů chování použity téměř všechny diagramy – diagram případů užití, diagramy aktivit, diagramy stavových automatů a z diagramů interakce jsou použity diagramy sekvenční. Naopak z diagramů struktury je použit jen jeden diagram – diagram tříd.

Vytvořený model navrhovaného optimálního řešení předmětné funkce (skládající se z výše vyjmenovaných diagramů) může sloužit nejen k analýze řešení, ale i například jako podklad pro návrh softwaru do stavědla i částečně do RBC.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ALCATEL – ALSTOM – ANSALDO SIGNAL – BOMBARDIER – INVENSYS RAIL – SIEMENS: *ERTMS/ETCS – Class 1, SUBSET-026: System Requirements Specification, V 2. 3. 0.* URL: <http://www.era.europa.eu/public/core/ertms/Pages/Approved_Documents_List_of_mandatory_Specifications.aspx>. 2006.
- [2] Generální ředitelství ČD: *TNŽ 34 2620: Železniční zabezpečovací zařízení, Staniční a traťová zabezpečovací zařízení.* Praha, 2002. 82 s.
- [3] Kolektiv autorů – pracovní skupina WG_ETCS: *Komentovaná specifikace funkčních požadavků na činnost systému ERTMS/ETCS úroveň 2 v ČR.* Pardubice, 2004. 60 s. Interní dokument AŽD Praha, s. r. o.
- [4] Kolektiv autorů: *Rozbor bezpečnosti funkce „Vstup vlaku do oblasti ETCS L2“.* Pardubice, 2006. 28 s. Interní dokument AŽD Praha, s. r. o.
- [5] Generální ředitelství ČD: *ČD V15/I: Předpis pro provoz a obsluhu brzdových zařízení železničních kolejových vozidel. 2. změna.* Praha: DOP, 1997. 169 s. Účinnost 2. změny od 1. ledna 2002.
- [6] KUNHART, Milan: *Systémový návrh aplikace ERTMS/ETCS L2 v ČR.* Pardubice, 2005. 102 s. Univerzita Pardubice. Dopravní fakulta Jana Pernera. Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě. Habilitační práce.
- [7] MAREK, Jakub: *Analýza možností vyrovnávání přibližovací doby přejezdových zabezpečovacích zařízení s využitím ETCS.* Pardubice, 2006. 56 s. Univerzita Pardubice. Dopravní fakulta Jana Pernera. Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kunhart, CSc.
- [8] TRÖGEL, Martin: *Posouzení vhodnosti použití vybraných formálních metod v železniční zabezpečovací technice: Ročníkový projekt II.* Pardubice, 2008. 24 s. Univerzita Pardubice. Dopravní fakulta Jana Pernera. Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě. Vedoucí ročníkové práce doc. Ing. Milan Kunhart, CSc.
- [9] MAREK, Jakub: *Posouzení vlastností vybraných SW nástrojů pro formální nebo semi-formální metody s ohledem na použití v železniční zabezpečovací technice: Ročníkový projekt II.* Pardubice, 2008. 25 s., 2 ilustrativní modely. Univerzita Pardubice. Dopravní fakulta Jana Pernera. Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě. Vedoucí ročníkové práce Ing. Jan Ouředníček.

- [10] COCKBURN, Alistair: *Use Cases: Jak efektivně modelovat aplikace*. 1. vyd. Brno: CP Books, a. s., 2005. 262 s. ISBN 80-251-0721-3.
- [11] 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.
- [12] KANISOVÁ, Hana – MÜLLER, Miroslav: *UML srozumitelně*. 2. aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2006. 176 s. ISBN 80-251-1083-4.
- [13] 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.
- [14] SPARX SYSTEMS: *Enterprise Architect User Guide*. 1998–2007. 1585 s. Manuál k nástroji Enterprise Architect verze 7.0.

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 – Seznam předpon názvů proměnných v jazyce ETCS.....	16
Tab. 3.1 – Porovnání možných způsobů komunikace mezi BRC a stávajícím zab. zař.....	36
Tab. 3.2 – Porovnání možných způsobů dodatečného omezení již vydaného MA.....	39
Tab. 3.3 – Hodnocení možných způs. řešení přerušení komunikace mezi vozidlem a BRC ...	43

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 0.1 – Mapa ERTMS koridorů.....	9
Obr. 1.1 – Stanovení délky rozhodného úseku.....	13
Obr. 1.2 – Struktura MA.....	19
Obr. 3.1 – Principiální rozvržení systému ETCS L2 pro aplikaci v ČR.....	35
Obr. 4.1 – Ukázka C/E Petriho sítí.....	54
Obr. 5.1 – Diagram případů užití popisující funkci rušení neprojeté jízdní cesty v systému ETCS L2.....	61
Obr. 5.2 – Diagram aktivit popisující funkci rušení neprojeté jízdní cesty v systému ETCS L2.....	62
Obr. 5.3 – Diagram tříd popisující objektové třídy fce rušení neprojeté jízdní cesty v systému ETCS L2.....	63
Obr. 5.4 – Sekvenční diagram popisující proces nastavení příznaku „ETCS_MA_assign“.....	64
Obr. 5.5 – Sekvenční diagram popisující proces rušení neprojeté jízdní cesty stáv. způs.	64
Obr. 5.6 – Sekvenční diagram popisující proces rušení neprojeté jízdní cesty ve spolupráci s vozidlem.....	65
Obr. 5.7 – Diagram stavových automatů popisující algoritmus probíhající ve stavědle.....	66
Obr. 5.8 – Diagram stavových automatů popisující algoritmus probíhající v RBC.....	66
Obr. 5.9 – Diagram stavových automatů popisující algoritmus probíhající ve vozidle.....	67
Obr. 5.10 – Diagram stavových automatů popisující stavy jízdní cesty.....	67
Obr. 5.11 – Diagram stavových automatů popisující stavy příznaku „ETCS_MA_assign“.....	68

SEZNAM ZKRATEK

Zkratka	Význam (EN)	Význam (CZ)
AB		automatický blok
AŽD		automatizace železniční dopravy
BG	Balise Group	balízová skupina
BTS	Base Transceiver Station	základnová radiostanice sítě GSM(-R)
CASE	Computer Aided Software Engineering	nástroj pro podporu analýzy a návrhu aplikací
ČR		Česká republika
DOZ		dálkové ovládání zabezpečovacího zařízení
DP	Danger Point	místo ohrožení
EA	Enterprise Architect	Enterprise Architect
EOA	End Of Authority	konec oprávnění k jízdě
ERTMS	European Rail Traffic Management System	evropský systém řízení železniční dopravy
ETCS	European Train Control System	evropský vlakový zabezpečovací systém
EVC	European Vital Computer	evropský bezpečný počítač mobilní části systému ETCS
FS	Full Supervision	úplný dohled
GP	Gradient Profile	sklonový profil
GSM	Global System for Mobile communications	globální systém pro mobilní komunikaci
GSM-R	Global System for Mobile communications for Railway	globální systém pro mobilní komunikaci pro železniční aplikace
HMI	Human-Machine Interface	rozhraní k obsluze
IRI	Interface BRC Interlocking	rozhraní mezi zabezpečovacím zařízením a RBC
JC		jízdní cesta
JOP		jednotné obslužné pracoviště
KÚ		kolejový úsek (nadřazený pojem pro kolejový obvod, počítač náprav apod.)
L1	Level 1	úroveň 1
L2	Level 2	úroveň 2
L3	Level 3	úroveň 3
LC	Low Cost (Level)	nízko nákladová (úroveň)
LEU	Lineside Electronic Unit	traťová elektronická jednotka
LOA	Limit Of Authority	limit oprávnění k jízdě
LRBG	Last Relevant Balise Group	poslední platná balízová skupina
LS		liniový systém (vlakový zabezpečovač)
MA	Movement Authority	oprávnění k jízdě
MDA	Model Driven Architecture	modelem řízená architektura
MSC	Mobile Switching Centre	řídící ústředna systému GSM(-R)
NJC		neprojetá jízdní cesta
NTŽK		národní tranzitní železniční koridor
OL	Over Lap	prokluzový úsek
OS	On Sight	jízda podle rozhledu
PR	Position Report	hlášení polohy

PT	Post Trip	projetí „Stůj“ potvrzeno
PU		případ užití
PZZ		přejezdové zabezpečovací zařízení
RB		rozhodný bod
RBC	Radio Block Centre	radiobloková centrála
SR	Staff Responsible	jízda podle strojvedoucího
SRS	System Requirements Specification	specifikace systémových požadavků
SSP	Static Speed Profile	statický rychlostní profil
STM	Specific Transmission Module	specifický přenosový modul
SZZ		staniční zabezpečovací zařízení
TR	Trip	projetí „Stůj“
TSI	Technical Specifications for Interoperability	technické specifikace pro interoperabilitu
TZZ		traťové zabezpečovací zařízení
UML	Unified Modelling Language	sjednocený modelovací jazyk
UNISIG	UNIon industry of SIGnaling	„sdružení 6ti největších evropských výrobců zabezpečovacích systémů“
ZČU		Západočeská univerzita
ZV		zábrzdňá vzdálenost
ZZ		zabezpečovací zařízení (obecně)

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Vybrané zprávy a pakety jazyka ETCS

Příloha 2: Celková struktura oprávnění k jízdě (MA)

Příloha 3: Dělení diagramů dle specifikací jazyka UML verze 2.1.2

Příloha 4: Obsah vloženého CD-ROMu

VYBRANÉ ZPRÁVY A PAKETY JAZYKA ETCS

Obecný formát rádiové zprávy trať → vlak

Pole	Proměnná, nebo paket	Poznámka
1	NID_MESSAGE	Identifikační číslo zprávy
2	L_MESSAGE	Délka zprávy zahrnující všechna pole (včetně vycpávky)
3	T_TRAIN	Časová značka z RBC, více v [1], kapitola 3
4	M_AKC	Kvalifikátor značící, zda musí být daná zpráva potvrzena mobilní částí systému (zprávou 146)
5	NID_LRBG	Identifikační číslo LRBG
...	Požadované proměnné podle zprávy (NID_MESSAGE)	Využíváno při posílání proměnných, které nejsou zahrnuty v paketu
...	Požadované pakety podle zprávy (NID_MESSAGE)	
	Volitelné pakety	Specifikovány v [1], oddíl 8.4.4.4.1
	Vycpávka	Použije se, je-li požadována

Obecný formát rádiové zprávy vlak → trať

Pole	Proměnná, nebo paket	Poznámka
1	NID_MESSAGE	Identifikační číslo zprávy
2	L_MESSAGE	Délka zprávy zahrnující všechna pole (včetně vycpávky)
3	T_TRAIN	Časová značka z vlaku, více v [1], kapitola 3
4	NID_ENGINE	Identifikační číslo mobilní části systému ETCS
5	Požadované proměnné podle zprávy (NID_MESSAGE)	Využíváno při posílání proměnných, které nejsou zahrnuty v paketu
6	Paket 0, nebo 1	Obsažen ve všech zprávách při komunikaci vlak → trať, kromě zpráv 146, 154, 155, 156 a 159
7	Ostatní požadované pakety podle zprávy (NID_MESSAGE)	Platí pouze pro zprávu 129
8	Volitelné pakety	
	Vycpávka	Použije se, je-li požadována

Zpráva 3: Oprávnění k jízdě (Movement Authority)

Pole	Proměnná, nebo paket	Poznámka
1	NID_MESSAGE	
2	L_MESSAGE	
3	T_TRAIN	
4	M_ACK	
5	NID_LRBG	
6	Úroveň 2/3 Oprávnění k jízdě	Paket 15
7	Volitelné pakety	

Zpráva 9: Žádost o zkrácení MA (Request to Shorten MA)

Pole	Proměnná, nebo paket	Poznámka
1	NID_MESSAGE	
2	L_MESSAGE	
3	T_TRAIN	
4	M_ACK	
5	NID_LRBG	
6	Úroveň 2/3 Oprávnění k jízdě	Paket 15
7	Volitelné pakety	Paket 80

Zpráva 15: Podmíněné nouzové zastavení (Conditional Emergency Stop)

Pole	Proměnná, nebo paket	Poznámka
1	NID_MESSAGE	
2	L_MESSAGE	
3	T_TRAIN	
4	M_ACK	
5	NID_LRBG	
6	NID_EM	Identifikační číslo zprávy nouzového zastavení
7	Q_SCALE	Kvalifikátor použitého měřítka vzdáleností ve zprávě (10 cm, 1 m, 10 m)
8	Q_DIR	Kvalifikátor určující směr, pro který jsou přijatá data platná (nominální/opačný/oba)
9	D_EMERGENCYSTOP	Vzdálenost mezi LRBG a polohou místa nouzového zastavení

Zpráva 16: Nepodmíněné nouzové zastavení (Unconditional Emergency Stop)

Pole	Proměnná, nebo paket	Poznámka
1	NID_MESSAGE	
2	L_MESSAGE	
3	T_TRAIN	
4	M_ACK	
5	NID_LRBG	
6	NID_EM	Identifikační číslo zprávy nouzového zastavení

Zpráva 24: Obecná zpráva (General message)

Pole	Proměnná, nebo paket	Poznámka
1	NID_MESSAGE	
2	L_MESSAGE	
3	T_TRAIN	
4	M_ACK	
5	NID_LRBG	
6	Volitelné pakety	

Zpráva 129: Potvrzená vlaková data (Validated Train Data)

Pole	Proměnná, nebo paket	Poznámka
1	NID_MESSAGE	
2	L_MESSAGE	
3	T_TRAIN	
4	NID_ENGINE	
6	Paket 0, nebo 1	Zpráva o poloze vlaku
7	Paket 11	Potvrzená vlaková data

Zpráva 137: Žádost o zkrácení MA je povolena (Request to Shorten MA is granted)

Pole	Proměnná, nebo paket	Poznámka
1	NID_MESSAGE	
2	L_MESSAGE	
3	T_TRAIN	
4	NID_ENGINE	
6	T_TRAIN	Časová značka z RBC obsažená v žádosti o zkrácení MA (zpráva 9)
7	Paket 0, nebo 1	Zpráva o poloze vlaku

Zpráva 138: Žádost o zkrácení MA je zamítnuta (Request to Shorten MA is rejected)

Pole	Proměnná, nebo paket	Poznámka
1	NID_MESSAGE	
2	L_MESSAGE	
3	T_TRAIN	
4	NID_ENGINE	
6	T_TRAIN	Časová značka z RBC obsažená v žádosti o zkrácení MA (zpráva 9)
7	Paket 0, nebo 1	Zpráva o poloze vlaku

Zpráva 146: Potvrzení (Acknowledgement)

Pole	Proměnná, nebo paket	Poznámka
1	NID_MESSAGE	
2	L_MESSAGE	
3	T_TRAIN	
4	NID_ENGINE	
5	T_TRAIN	Časová značka z BRC obsažená ve zprávě, která je potvrzována

Zpráva 147: Potvrzení nouzového zastavení (Acknowledgement of Emergency Stop)

Pole	Proměnná, nebo paket	Poznámka
1	NID_MESSAGE	
2	L_MESSAGE	
3	T_TRAIN	
4	NID_ENGINE	
5	NID_EM	Identifikační číslo potvrzované nouzové zprávy (zpráva 15 nebo 16)
6	Q_EMERGENCYSTOP	Kvalifikátor určující, zda vlak při příjmu zprávy podmíněného nouzového zastavení již minul danou polohu místa zastavení
7	Paket 0, nebo 1	Zpráva o poloze vlaku

Obecná struktura hlavičky paketu trať → vlak

Proměnná	Popis
NID_PACKET	Identifikační číslo paketu
Q_DIR	Kvalifikátor určující směr, pro který jsou přijatá data platná (nominální/opačný/oba)
L_PACKET	Délka paketu (v bitech)
Q_SCALE	Kvalifikátor použitého měřítka vzdáleností ve zprávě (10 cm, 1 m, 10 m); nemusí být uvedeno, pokud v paketu nejsou „vzdálenostní“ proměnné
...	Další informace podle paketu (v předem definovaných proměnných)

Obecná struktura hlavičky paketu vlak → trať

Proměnná	Popis
NID_PACKET	Identifikační číslo paketu
L_PACKET	Délka paketu (v bitech)
Q_SCALE	Kvalifikátor použitého měřítka vzdáleností ve zprávě (10 cm, 1 m, 10 m); nemusí být uvedeno, pokud v paketu nejsou „vzdálenostní“ proměnné
...	Další informace podle paketu (v předem definovaných proměnných)

Výjimku tvoří paket 255: “End of Telegram”, který nesplňuje předchozí strukturu.

Paket 3: Národní hodnoty (National Values)

Proměnná	Popis
NID_PACKET	
Q_DIR	
L_PACKET	
Q_SCALE	
D_VALIDNV	Vzdálenost k místu, odkud jsou uvedené národní hodnoty platné (0 cm, 327 670 km, dle Q_SCALE: 10 cm, 1 m, nebo 10 m)
N_ITER	Počet opakování následujících proměnných (0, 31, 1)
NID_C(k)	Identifikační číslo k-té národní oblasti, ke které se uvedené národní hodnoty vztahují (0, 1023, 1)
V_NVSHUNT	Národní hodnota dovolené rychlosti jízdy v módu SH (0 km.h ⁻¹ , 600 km.h ⁻¹ , 5 km.h ⁻¹)
V_NVSTFF	Národní hodnota dovolené rychlosti jízdy v módu SR (0 km.h ⁻¹ , 600 km.h ⁻¹ , 5 km.h ⁻¹)
V_NVONSIGHT	Národní hodnota dovolené rychlosti jízdy v módu OS (0 km.h ⁻¹ , 600 km.h ⁻¹ , 5 km.h ⁻¹)
V_NVUNFIT	Národní hodnota dovolené rychlosti jízdy v módu UN (0 km.h ⁻¹ , 600 km.h ⁻¹ , 5 km.h ⁻¹)
V_NVREL	Národní hodnota uvolňovací rychlosti (0 km.h ⁻¹ , 600 km.h ⁻¹ , 5 km.h ⁻¹)
D_NVROLL	Národní hodnota dovolené vzdálenosti při pohybu vozidla jiným směrem, než je zadáno voličem směru jízdy (0 cm, 327 660 km, dle Q_SCALE: 10 cm, 1 m, nebo 10 m; příp. speciální hodnota pro „∞“)
Q_NVSRBKTRG	Národní hodnota kvalifikátoru určujícího, zda použít provozní brzdu při brzdění na cíl
Q_NVEMRRLS	Národní hodnota kvalifikátoru určujícího, kdy uvolnit nouzovou brzdu (po zastavení vozidla; po pominutí důvodu pro její spuštění)
V_NVALLOWOVTRP	Národní hodnota nejvyšší dovolené rychlosti pro zpřístupnění volby „Projetí EOA“ (0 km.h ⁻¹ , 600 km.h ⁻¹ , 5 km.h ⁻¹)
V_NVSUPOVTRP	Národní hodnota dovolené rychlosti v době činnosti funkce „Projetí EOA“ (0 km.h ⁻¹ , 600 km.h ⁻¹ , 5 km.h ⁻¹)
D_NVOVTRP	Národní hodnota vzdálenosti, po kterou je při činnosti funkce „Projetí EOA“ potlačen přechod do módu TR (0 cm, 327 670 km, dle Q_SCALE: 10 cm, 1 m, nebo 10 m)
T_NVOVTRP	Národní hodnota doby, po kterou je při činnosti funkce „Projetí EOA“ potlačen přechod do módu TR (0 s, 255 s, 1 s)

D_NVPOTRP	Národní hodnota maximální dovolené vzdálenosti jízdy zpět v módu PT (0 cm, 327 670 km, dle Q_SCALE: 10 cm, 1 m, nebo 10 m)
M_NVCONTACT	Národní hodnota stanovující reakci mobilní části, jenž je vykonána po uplynutí doby T_NVCONTACT (nouzové brzdění, provozní brzdění, bez reakce)
T_NVCONTACT	Národní hodnota maximální doby bez nové zprávy (0 s, 254 s, 1 s; příp. speciální hodnota pro „∞“)
M_NVDERUN	Národní hodnota změny ID strojvedoucího během jízdy (ne, ano)
D_NVSTFF	Národní hodnota maximální dovolené vzdálenosti jízdy v módu SR (0 cm, 327 660 km, dle Q_SCALE: 10 cm, 1 m, nebo 10 m; příp. speciální hodnota pro „∞“)
Q_NVDRIVER_ADHES	Národní hodnota kvalifikátoru značícího, zda je strojvedoucímu umožněna změna činitele adheze

Paket 11: Potvrzená vlaková data (Validated train data)

Proměnná	Popis
NID_PACKET	
L_PACKET	
NID_OPERATIONAL	Identifikační číslo vlaku, číslo vlaku zapsané v kódu BCD (0, 9999 9999, 1; příp. speciální hodnota pro „neznámé“ číslo vlaku)
NC_TRAIN	Číslo třídy určující mezinárodní kategorii vlaků. Na základě NC_TRAIN mobilní část systému vybírá ze seznamu hodnot dovolené rychlosti SSP (základní, pro aktivní naklápění, pro pasivní naklápění, ...)
L_TRAIN	Délka vlaku (0 m, 4 095 m, 1 m)
V_MAXTRAIN	Nejvyšší dovolená rychlost vlaku, zahrnující nejvyšší rychlost každého vozu (0 km.h ⁻¹ , 600 km.h ⁻¹ , 5 km.h ⁻¹)
M_LOADINGGAUGE	Průjezdny průřez (průřez x, průřez y, atd.)
M_AXLELOAD	Nápravový tlak (0 t, 40 t, 0,5 t; příp. speciální hodnota pro více než 40 t)
M_AIRTIGHT	Určuje, zda vlak má vzduchotěsný systém (vybaven, nevybaven)
N_ITER	Počet opakování následujících proměnných (0, 31, 1)
M_TRACTION (k)	Trakční systémy vozidla (blíže nespecifikováno)
N_ITER	Počet opakování následujících proměnných (0, 31, 1)
NID_STM (k)	Identifikační číslo modulů STM, které jsou na vozidle dostupné (blíže nespecifikováno)

Paket 15: Oprávnění k jízdě pro úroveň 2/3 (Level 2/3 Movement Authority)

Proměnná	Popis
NID_PACKET	
Q_DIR	
L_PACKET	
Q_SCALE	
V_LOA	Dovolená rychlost v LOA (0 km.h ⁻¹ , 600 km.h ⁻¹ , 5 km.h ⁻¹)
T_LOA	Doba, po kterou platí V_LOA (0 s, 1022 s, 1 s; příp. speciální hodnota pro „∞“)
N_ITER	Počet opakování následujících proměnných (0, 31, 1)
L_SECTION(k)	Délka k-tého úseku MA (0 cm, 327 670 km, dle Q_SCALE: 10 cm, 1 m, nebo 10 m)
Q_SECTIONTIMER(k)	Kvalifikátor značící, zda je ke k-tému úseku vztažena doba jeho platnosti
T_SECTIONTIMER(k)	Doba platnosti k-tého úseku MA (0 s, 1022 s, 1 s; příp. speciální hodnota pro „∞“)
D_SECTIONTIMERSTOPLOC(k)	Vzdálenost od začátku k-tého úseku k místu ukončení měření doby platnosti k-tého úseku (0 cm, 327 670 km, dle Q_SCALE: 10 cm, 1 m, nebo 10 m)
L_ENDSECTION	Délka koncového úseku (0 cm, 327 670 km, dle Q_SCALE: 10 cm, 1 m, nebo 10 m)
Q_SECTIONTIMER	Kvalifikátor značící, zda je ke koncovému úseku vztažena doba jeho platnosti
T_SECTIONTIMER	Doba platnosti koncového úseku MA (0 s, 1022 s, 1 s; příp. speciální hodnota pro „∞“)
D_SECTIONTIMERSTOPLOC	Vzdálenost od začátku k-tého úseku k místu ukončení měření doby platnosti k-tého úseku (0 cm, 327 670 km, dle Q_SCALE: 10 cm, 1 m, nebo 10 m)
Q_ENDTIMER	Kvalifikátor značící, zda je ke koncovému úseku vztažena doba jeho platnosti
T_ENDTIMER	Doba platnosti koncového úseku MA (0 s, 1022 s, 1 s; příp. speciální hodnota pro „∞“)
D_ENDTIMERSTARTLOC	Vzdálenost od konce koncového úseku k místu spuštění měření doby jeho platnosti (0 cm, 327 670 km, dle Q_SCALE: 10 cm, 1 m, nebo 10 m)
Q_DANGERPOINT	Kvalifikátor značící, zda je pro dané MA definováno místo ohrožení

D_DP	Vzdálenost místa ohrožení za EOA (0 cm, 327 670 km, dle Q_SCALE: 10 cm, 1 m, nebo 10 m)
V_RELEASEDP	Uvolňovací rychlost vztažená k místu ohrožení (0 km.h ⁻¹ , 600 km.h ⁻¹ , 5 km.h ⁻¹ ; příp. speciální hodnota pro vypočítání uvolňovací rychlosti na mobilní části ETCS, nebo pro použití národní hodnoty V_NVREL)
Q_OVERLAP	Kvalifikátor značící, zda je pro dané MA definována prokluzová vzdálenost
D_STARTOL	Vzdálenost od místa spuštění prokluzového časovače k EOA (0 cm, 327 670 km, dle Q_SCALE: 10 cm, 1 m, nebo 10 m)
T_OL	Doba platnosti (0 s, 1022 s, 1 s; příp. speciální hodnota pro „∞“)
D_OL	Vzdálenost od EOA ke konci prokluzového úseku (0 cm, 327 670 km, dle Q_SCALE: 10 cm, 1 m, nebo 10 m)
V_RELEASEOL	Uvolňovací rychlost vztažená k prokluzovému úseku (0 km.h ⁻¹ , 600 km.h ⁻¹ , 5 km.h ⁻¹ ; příp. speciální hodnota pro vypočítání uvolňovací rychlosti na mobilní části ETCS, nebo pro použití národní hodnoty V_NVREL)

Paket 21: Profil sklonu (Gradient Profile)

Proměnná	Popis
NID_PACKET	
Q_DIR	
L_PACKET	
Q_SCALE	
D_GRADIENT	Přírůstková vzdálenost k následující změně hodnoty sklonu
Q_GDIR	Kvalifikátor značící, zda se jedná o klesání, nebo stoupání
G_A	Minimální sklon mezi dvěma místy (0 ‰, 254 ‰, 1 ‰; příp. speciální hodnota značící, že nynější hodnota sklonu končí ve vzdálenosti uvedené v D_GRADIENT (n))
N_ITER	Počet opakování následujících proměnných (0, 31, 1)
D_GRADIENT (k)	Přírůstková vzdálenost ke k-té změně hodnoty sklonu
Q_GDIR (k)	Kvalifikátor značící, zda se jedná o klesání, nebo stoupání

G_A(k)	Minimální sklonu mezi dvěma místy (0 ‰, 254 ‰, 1 ‰; příp. speciální hodnota značící, že nynější hodnota sklonu končí ve vzdálenosti uvedené v D_GRADIENT(n))
--------	--

Paket 27: Mezinárodní statický rychlostní profil (International Static Speed Profile)

Proměnná	Popis
NID_PACKET	
Q_DIR	
L_PACKET	
Q_SCALE	
D_STATIC	Přírůstková vzdálenost k následující změně mezinárodního SSP (0 cm, 327 670 km, dle Q_SCALE: 10 cm, 1 m, nebo 10 m)
V_STATIC	Dovolená rychlost SSP za změnou (0 km.h ⁻¹ , 600 km.h ⁻¹ , 5 km.h ⁻¹ ; příp. speciální hodnota značící, že nynější hodnota dovolené rychlosti SSP končí ve vzdálenosti uvedené v D_STATIC(n))
Q_FRONT	Kvalifikátor značící, zda dovolená rychlost SSP platí pro začátek, či konec vlaku
N_ITER	Počet opakování následujících proměnných (0, 31, 1)
NC_DIFF(n)	Číslo třídy mezinárodní kategorie vlaků, pro které existuje jiná hodnota dovolené rychlosti SSP a platí pro ně rychlost uvedená v proměnné V_DIFF(n) (aktivní naklápění, pasivní naklápění, ...).
V_DIFF(n)	Dovolená rychlost vtažená k definovaným kategoriím vlaků v NC_DIFF(n) (0 km.h ⁻¹ , 600 km.h ⁻¹ , 5 km.h ⁻¹)
N_ITER	Počet opakování následujících proměnných (0, 31, 1)
D_STATIC(k)	Přírůstková vzdálenost ke k-té změně mezinárodního SSP (0 cm, 327 670 km, dle Q_SCALE: 10 cm, 1 m, nebo 10 m)
V_STATIC(k)	Dovolená rychlost SSP za k-tou změnou (0 km.h ⁻¹ , 600 km.h ⁻¹ , 5 km.h ⁻¹ ; příp. speciální hodnota značící, že nynější hodnota dovolené rychlosti SSP končí ve vzdálenosti uvedené v D_STATIC(n))
Q_FRONT(k)	Kvalifikátor značící, zda dovolená rychlost SSP za k-tou změnou platí pro začátek, či konec vlaku

N_ITER (k)	Počet opakování následujících proměnných (0, 31, 1)
NC_DIFF (k, m)	Číslo třídy mezinárodní kategorie vlaků, pro které existuje jiná hodnota dovolené rychlosti SSP za k-tou změnou a platí pro ně rychlost uvedená v proměnné V_DIFF (n). (aktivní naklápění, pasivní naklápění, ...)
V_DIFF (k, m)	Dovolená rychlost vtažená k definovaným kategoriím vlaků v NC_DIFF (k, m) (0 km.h ⁻¹ , 600 km.h ⁻¹ , 5 km.h ⁻¹)

Paket 65: Dočasné omezení rychlosti (Temporary Speed Restriction)

Proměnná	Popis
NID_PACKET	
Q_DIR	
L_PACKET	
Q_SCALE	
NID_TSR	Identifikační číslo dočasného omezení rychlosti
D_TSR	Vzdálenost k začátku dočasného omezení rychlosti (0 cm, 327 670 km, dle Q_SCALE: 10 cm, 1 m, nebo 10 m)
L_TSR	Délka dočasného omezení rychlosti (0 cm, 327 670 km, dle Q_SCALE: 10 cm, 1 m, nebo 10 m)
Q_FRONT	Kvalifikátor značící, zda dočasné omezení rychlosti platí pro začátek, či konec vlaku
V_TSR	Dovolená rychlost pro dočasné omezení rychlosti (0 km.h ⁻¹ , 600 km.h ⁻¹ , 5 km.h ⁻¹)

Paket 80: Profil módu (Mode profile)

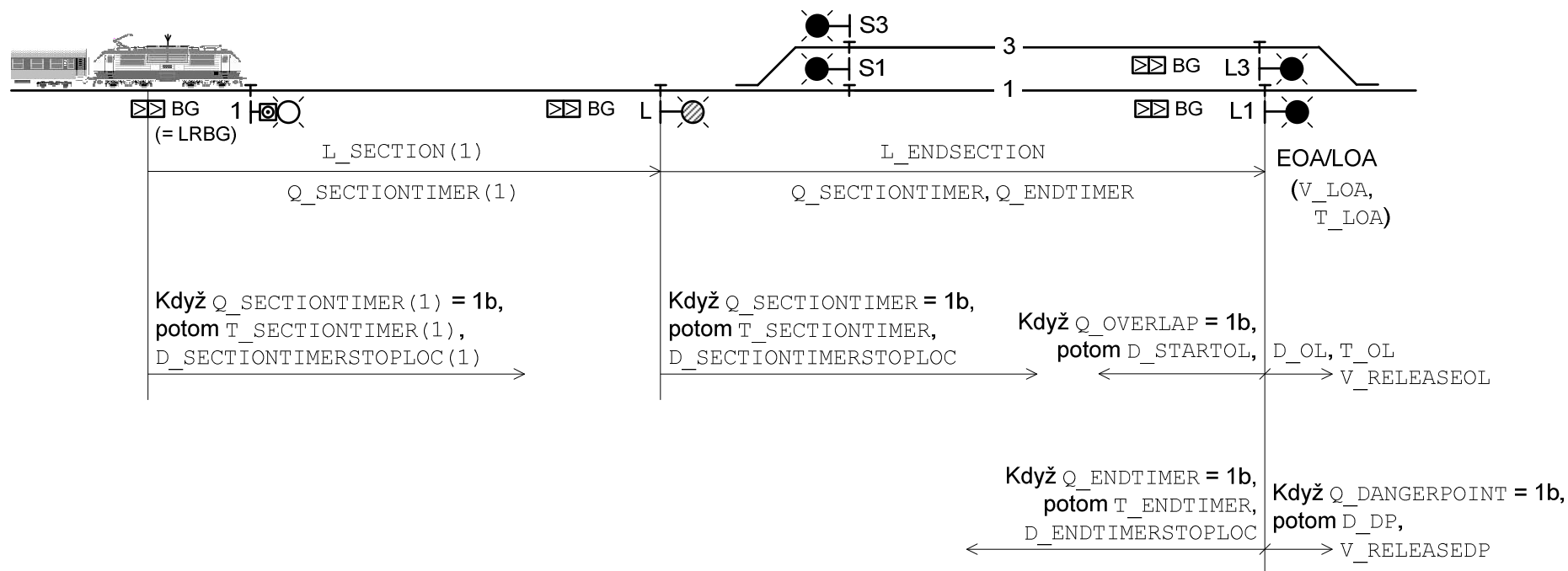
Proměnná	Popis
NID_PACKET	
Q_DIR	
L_PACKET	
Q_SCALE	
D_MAMODE	Přírůstková vzdálenost k následujícímu místu změny módu v rámci MA (0 cm, 327 670 km, dle Q_SCALE: 10 cm, 1 m, nebo 10 m)
M_MAMODE	Požadovaný mód pro část MA (OS, SH)

V_MAMODE	Rychlost vztažená k požadovanému módu (0 km.h ⁻¹ , 600 km.h ⁻¹ , 5 km.h ⁻¹ ; příp. speciální hodnota pro použití národní hodnoty V_NVONSIGHT, nebo V_NVSHUNT)
L_MAMODE	Délka oblasti požadovaného módu (0 cm, 327 670 km, dle Q_SCALE: 10 cm, 1 m, nebo 10 m)
L_ACKMAMODE	Délka potvrzovací oblasti před místem požadované změny (0 cm, 327 670 km, dle Q_SCALE: 10 cm, 1 m, nebo 10 m)
N_ITER	Počet opakování následujících proměnných (0, 31, 1)
D_MAMODE (k)	Přírůstková vzdálenost ke k-tému místu změny módu v rámci MA (0 cm, 327 670 km, dle Q_SCALE: 10 cm, 1 m, nebo 10 m)
M_MAMODE (k)	Požadovaný mód pro k-tou část MA (OS, SH)
V_MAMODE (k)	Rychlost vztažená ke k-tému požadovanému módu (0 km.h ⁻¹ , 600 km.h ⁻¹ , 5 km.h ⁻¹ ; příp. speciální hodnota pro použití národní hodnoty V_NVONSIGHT, nebo V_NVSHUNT)
L_MAMODE (k)	Délka k-té oblasti požadovaného módu (0 cm, 327 670 km, dle Q_SCALE: 10 cm, 1 m, nebo 10 m)
L_ACKMAMODE (k)	Délka k-té potvrzovací oblasti před místem požadované změny (0 cm, 327 670 km, dle Q_SCALE: 10 cm, 1 m, nebo 10 m)

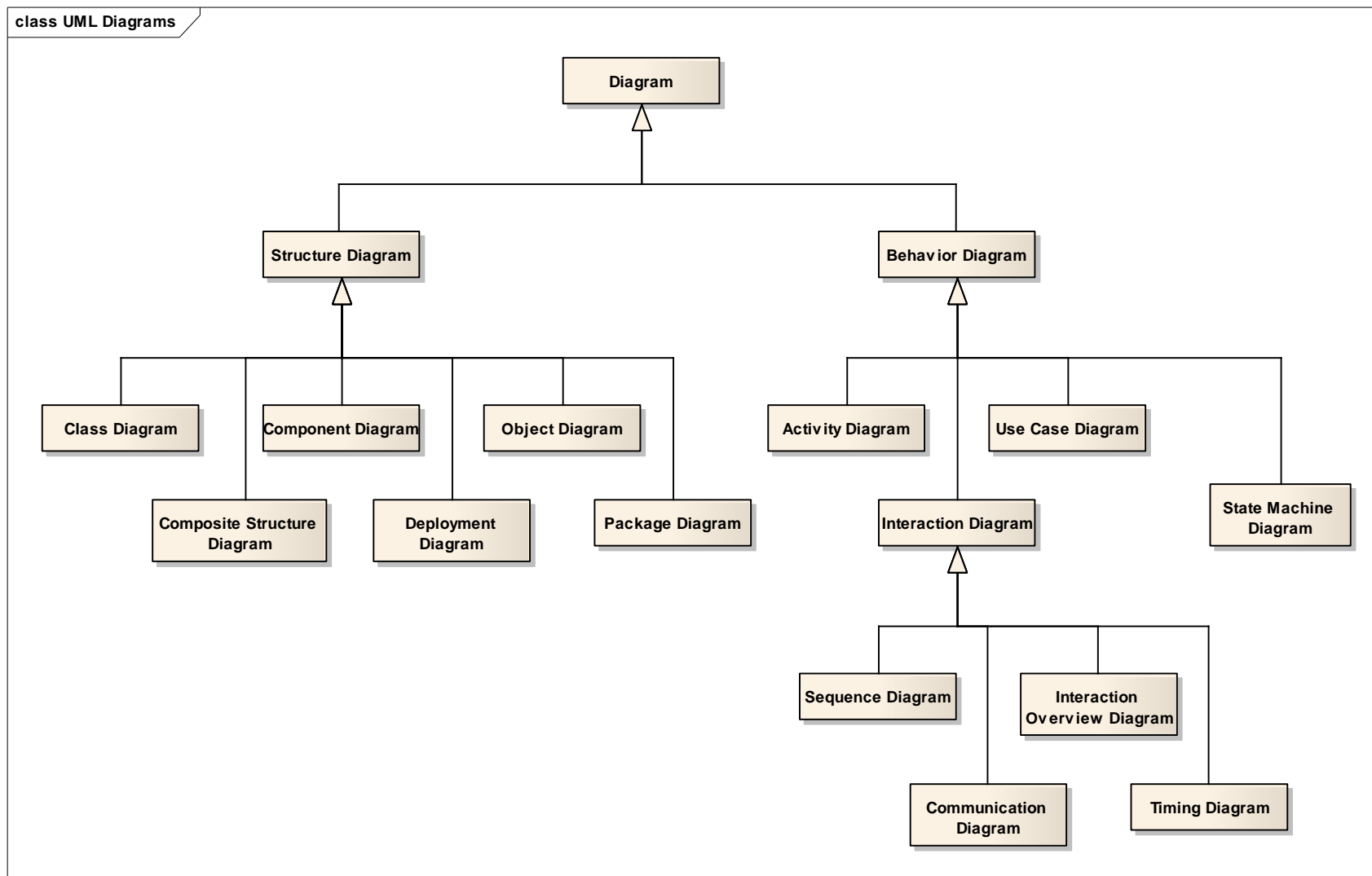
Paket 255: Konec informace (End of information)

Proměnná	Popis
NID_PACKET	Nastaveno vždy na hodnotu 1111 1111b → po příjmu této hodnoty přestane příjemce číst zbývající část telegramu, popř. zprávy

CELKOVÁ STRUKTURA OPRÁVNĚNÍ K JÍZDĚ (MA)



DĚLENÍ DIAGRAMŮ DLE SPECIFIKACÍ JAZYKA UML VERZE 2.1.2



OBSAH VLOŽENÉHO CD-ROMu

Název souboru	Popis
MarekJ_ModelRNJC.eap	Model předmětné funkce ve formátu EAP
MarekJ_ModelRNJC.html	Model předmětné funkce ve formátu HTML