

Václav Chudáček, Libor Lochman

Komentář:

Vlakový zabezpečovací systém ERTMS/ETCS

(2. část)

Klíčová slova: *vlakové zabezpečovací zařízení, radioblok, balíza, projekt ERTMS/ETCS.*

Úvodní článek, uveřejněný v čísle 5 Vědeckotechnického sborníku ČD, se zabýval základními informacemi o účelu, funkci, koncepci a možnostech aplikace nového evropského vlakového zabezpečovacího zařízení vzniklého v projektu ERTMS/ETCS. Zopakujme, že cílem projektu je :

- dosažení optimální bezpečnosti a spolehlivosti systému,
- možnost jeho aplikace podle potřeb uživatele,
- umožnění postupné výstavby (bezkonfliktní přechod k vyšším aplikačním úrovním v budoucnosti),
- kooperace s existujícími národními systémy (prostřednictvím speciálních modulů, které umožní příjem informací z národního systému a zajistí překlad do formátu dat ERTMS/ETCS),
- nezbytná normalizace (řídících funkcí, komunikačních prostředků a důležitých stykových míst),
- dosažení optimální efektivnosti řešení (značně nižší souhrn investičních, montážních a provozních nákladů v porovnání s jinými existujícími systémy),
- zajištění bezproblémového překračování hranic (z hlediska zabezpečovací techniky), tedy jde přesně o ty atributy, které ČD nezbytně potřebují pro řešení svých problémů v této oblasti.

Tato část doplňuje základní informaci o některé bližší údaje o řešení klíčových míst.

Ing. Václav Chudáček, CSc., * 1943, absolvent VŠD 1965, pracovník ČD-VÚŽ

Ing. Libor Lochman, * 1963, absolvent VŠD 1986, pracovník ČD-VÚŽ

1. Základní funkce

Komentář:

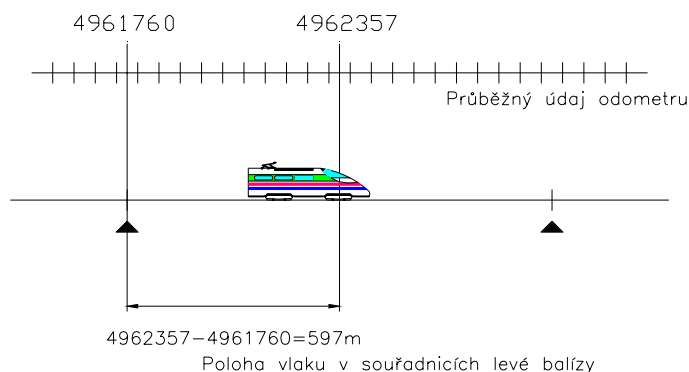
Zjednodušeně lze říci, že funkce systému spočívá v odpovídající reakci na dvojici informací cílová vzdálenost - cílová rychlost a to vzhledem k okamžité poloze vlaku. K tomu je ovšem třeba lokalizovat polohu vlaku a udávat cílové vzdálenosti ve vzájemně kompatibilních souřadnicích. Systém se přitom opírá o lokalizační funkci, založenou na unikátně identifikovatelném a přesně detekovatelném přenosovém zařízení na trati - referenční balíze. Další funkci zařízení lze rozdělit na řadu elementárních funkcí, které zařízení vykonává. V následujícím jsou uvedeny nejdůležitější.

1.1 Lokalizace polohy vlaku

Odometr na vozidle při pohybu vlaku odměřuje neustále ujetou dráhu a jeho údaj za normálního provozu není nikdy resetován. Při minutí referenční balízy je příjem její informace doplněn okamžitým časovým a odometrickým údajem z modulu TOU. Kdykoliv později lze tak okamžitou vzdálenost vlaku od této balízy určit odečtením okamžitého údaje odometru a údaje odometru připojeného k informaci přijaté při míjení balízy (obr. 1-1).

Balízový souřadný systém

Vzdálenosti se definují vždy od referenčního bodu, kterým může být kterákoliv balíza nacházející se (s ohledem na nejhorší očekávané vlastnosti vlaku) dostatečně před místem, k němuž se informace vztahuje. Veškeré údaje o vzdálenostech jsou tedy balízově orientované, tj. v souřadném systému příslušné referenční



Obr. 1-1

balízy, která pak tvoří počátek svého souřadného systému. Systém ovšem nevystačí jen s jedinou vzdáleností. Předpokládejme situaci podle obr. 1-2, na kterém je zobrazena situace pro vlak brzdící na dva oddíly, tedy případ, kdy zábrzdňá vzdálenost vlaku je větší než vzdálenost hlavních návěstidel. Cílová vzdálenost d_T (Target Distance) je z hlediska balízy u návěstidla Lo1 složena z tzv. základní vzdálenosti d_B (Basic Distance) a dodatečné vzdálenosti d_D (Deferment Distance). V tomto případě vzdálenost d_B tvoří zároveň tzv. spojovací vzdálenost d_L (Linking Distance), tj. takovou vzdálenost v níž je umístěna další informace. Pokud by se v této vzdálenosti neuskutečnil další přenos, bude vlak zastaven, protože hrozí, že byla ztracena další informace (informace z balízy u návěstidla Lo2), mající význam pro další bezpečný pohyb vlaku. Přenosem této spojovací vzdálenosti dojde k "řetězení" důležitých balíz (balízových skupin), což je důležitý předpoklad pro zajištění bezpečnosti v moderních bodových přenosových systémech.

Jak patrně, jsou všechny vzdálenosti jednorozměrné a při přenosu musí být u nich vyjádřeno, ke kterému počátku se vztahují, tedy ke kterému balízovému koordinačnímu systému patří. To je provedeno připojením unikátního identifikačního označení referenční balízy. Transformace mezi souřadným systémem odometru na vozidle a souřadným balízovým systémem nečiní podstatných potíží, pokud bude zachována konvence, že kladné hodnoty balízově orientovaných souřadnic jsou ve stejném směru, jako nominální směr balíz (např. od první balízy ve skupině k balíze druhé atd.).

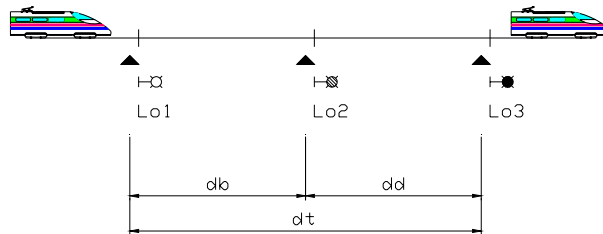
Pro vzdálenosti je použita lineární stupnice. Stejným počtem bitů (15 bitů) lze popsat krátké vzdálenosti (do 3,2 km) s přesností 10 cm, delší vzdálenosti (do 32 km) s přesností 1 m a dlouhé vzdálenosti (do 320 km) s přesností 10 m (samozřejmě, že současně musí být přenesen kvalifikátor měřítka - 2 bity).

1.2 Výpočet statického rychlostního profilu

Tato funkce je skokovou funkcí rychlosti v závislosti na dráze a obvykle udává maximální rychlost,

Statický rychlostní profil	Popis
0	základní statický rychlostní profil
1	profil pro vlaky s nebezpečným nákladem A
2	profil pro vlaky s nebezpečným nákladem B
3	profil pro vlaky s nebezpečným nákladem C
4	profil pro vlaky s nízkou absorpční schopností brzd
5	profil pro vlaky s obtížným průjezdem oblouků a výhybek
6 - 11	rezerva
12	profil pro vlaky s pasivním naklápěním
13	profil pro vlaky s aktivním naklápěním
14 - 15	rezerva

kteou strojvedoucí může jet bez jakékoliv intervence zařízení (tzv. nominální statický rychlostní profil).



Obr. 1-2

Parametry vlaku, ovlivňující rychlostní limit, se týkají složení vlaku, kvality podvozků, zavěšení skříně atd. a podle nich lze vypočítávat individuální rychlostní profil, pokud budou známy všechny relevantní traťové parametry. Tento obecně nejspřávnější, ale na přenos dat nejnáročnější postup, lze modifikovat zavedením jistého počtu vlakových tříd. Aby se tento přístup co nejvíce přiblížil stávající praxi u různých železnic, je systém schopen pracovat s třemi rozdílnými pakety statických rychlostních profilů :

- mezinárodní základní a přidavné profily podle rozdílných charakteristik vlaku,
- národní profily podle národní klasifikace vlaků,
- profily podle nápravového tlaku.

V tabulce na str. 16 je jako příklad uvedeno přiřazení rychlostních profilů podle mezinárodní klasifikace, která může zahrnout až 16 kategorií.

Bude třeba pečlivě zvážit, zda je možné se přidržet této mezinárodní klasifikace, nebo zda jsou dostatečné důvody proto, aby ČD do systému zavedly klasifikaci národní.

Statický rychlostní profil je v paketu ukládán jako dvojice hodnot určujících úroveň rychlosti a dráhu po kterou platí (vzdálenosti jsou dány přírůstkově). Popis obvykle začíná v referenčním místě, tj. v místě referenční balízy, ale může začínat i v jakémkoliv jiném místě, pokud první hodnota rychlosti $V_STATIC(0)$ obsahuje speciální hodnotu 1022 (viz obr. 1-3). Pak hodnota $D_STATIC(1)$ znamená vzdálenost od referenčního bodu k místu, kde popis začíná. Obdobně bude-li hodnota $V_STATIC(n) = 1023$, je v bodě určeném $D_STATIC(n)$ konec popisu.

Každý jednotlivý statický rychlostní profil předávaný na hnací vozidlo tedy obsahuje :

- totožnost referenční balízy,
- soubor dvojic statických rychlostí a míst diskontinuit,

- kvalifikátor, indikující zda se rychlostní omezení aplikuje na čelo vlaku nebo celý vlak.

Ve vyšších aplikačních úrovních, kde je známa charakteristika vlaku v traťových zařízeních, může být pro určitý vlak vybrán příslušný profil v traťové části zařízení a vlaku je vyslán pouze příslušný profil. Tam, kde to zařízení neumožňuje (např. v aplikační úrovni 1), je vlakům vyslán celý soubor profilů a v mobilním zařízení je vybrán odpovídající profil podle charakteristik vlaku.

Rychlostní profil je pak na vozidle korigován podle délky vlaku a kvalifikátoru rychlostního omezení, popř. maximálně možnou odometrickou chybou (pomocí tzv. konfidenčního intervalu odometru - lze provést u statického profilu nebo kdykoliv později až do okamžiku srovnání skutečné rychlosti s brzdovou křivkou).

1.3 Dočasná omezení rychlosti

Dočasná omezení rychlosti mohou být přenesena balízou třemi způsoby:

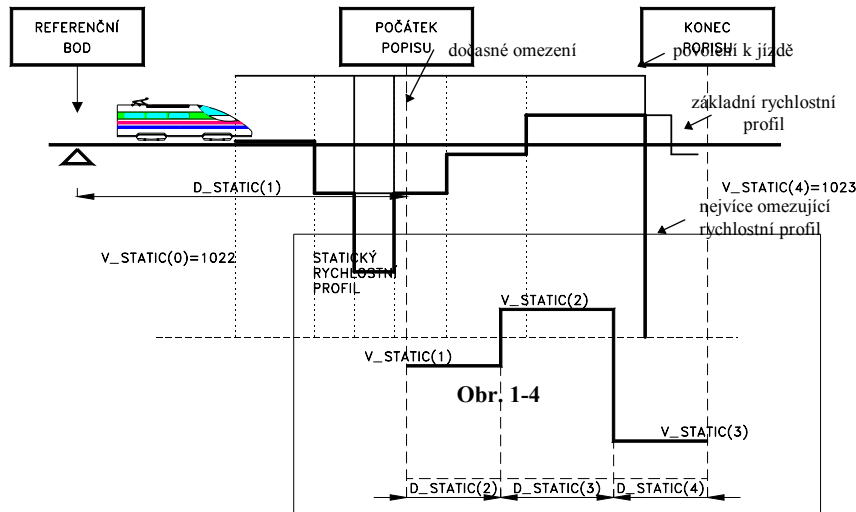
- přidáním informace manuálně do již existující "řetězené" balízy,
- vložením odkazu do existující balízy na balízu, nesoucí informaci o dočasném omezení rychlosti,
- použitím neřetězené balízy s identifikací, že jde o dočasnou balízu. Hodnoty rychlostního statického profilu v takto označené balíze pak mají přednost před ostatními přijatými rychlostními profily.

Při radiovém přenosu informací je možné informovat RBC, aby omezení zahrnul do statického rychlostního profilu vysílaného vlaku.

1.4 Výběr nejvíce omezujícího statického rychlostního profilu

Tato funkce vybírá nejvíce omezující rychlostní profil mezi různými statickými rychlostními profily, předzpracovanými funkcí Výpočet statického rychlostního profilu. Situace, kdy bude třeba vytvořit souhrnný rychlostní profil nastanou v případě, kdy do daného úseku zasahuje konec povolení k jízdě nebo jízda přes přejezd, který pro poruchu není zabezpečen atd. Nejvíce omezující rychlostní profil pak sestává z nejvíce omezujících segmentů ze všech individuálních statických rychlostních profilů, kterým vlak musí vyhovět (obr. 1-4). Ke každému segmentu nejvíce omezujícího rychlostního profilu se ukládá informace, která určí rychlostní profil, z něhož pochází.

Tak lze i dodatečně rekonstruovat důvod, který k omezení vedl. Všechny výpočtu musí být opět prováděny



Obr. 1-3

s uvažováním nejhorsích podmínek a tolerancí z hlediska bezpečnosti.

1.5 Výpočet dynamického rychlostního profilu

Na základě nejvíce omezujícího statického rychlostního profilu a brzdných schopností vlaku lze vypočítat křivky, které jsou použity pro dohled a řízení vlaku. Existuje řada různých křivek, z nichž nejdůležitější jsou (obr. 1-5):

- intervenční křivka nouzového brzdění,
- intervenční křivka provozního brzdění,
- varovná křivka,
- přípustná křivka,
- předpovědní křivka.

První dvě křivky jsou použity pro aktivaci brzd a tady zajišťují, že vlak vyhoví rychlostním omezením. Jestliže vlak překročí některou z těchto křivek, spustí se automaticky brzdění. Ostatní křivky jsou použity pro signalizaci strojvedoucímu a nemají na jízdu vlaku přímý vliv. Bezpečné zpracování pak vyžaduje pouze intervenční křivka nouzového brzdění. Okamžik inicializace nouzové brzdy musí brát na vědomí bezpečným způsobem:

- parametry pro matematický model brzdění zadané v módu Zadání dat,
- dobu pro přerušení trakce,
- možnost, že vlak maximálně akceleruje v okamžiku iniciace nouzové brzdy,
- sklony s odpovídající přesností a vlastnostmi vlaku (váha, délka atd.),
- nepřesnost odometru,
- skutečnou adhezi.

Při jízdě za normálních okolností, za úplného dohledu, přípustná křivka ukazuje strojvedoucímu dovolenou rychlost. Když jede příliš rychle (rychlost je vyšší než rychlost určená přípustnou křivkou v daném místě) je tato skutečnost strojvedoucímu indikována na MMI (opticky). Pokud to ignoruje a je následně překročena varovná křivka, je strojvedoucí prostřednictvím MMI varován, že vlak jede příliš rychle. Jestliže strojvedoucí nereaguje na varování (akustické i optické) a dojde k překročení intervenční křivky provozního brzdění, bude spuštěna provozní brzda. Jestliže provozní brzdění selže, bude překročena intervenční křivka

Obr. 1-5

nouzového brzdění a automaticky bude aplikována nouzová brzda. (Pokud poruchu provozního brzdění lze detekovat jinými prostředky dříve, bude nouzová brzda aplikována přiměřeně dříve.)

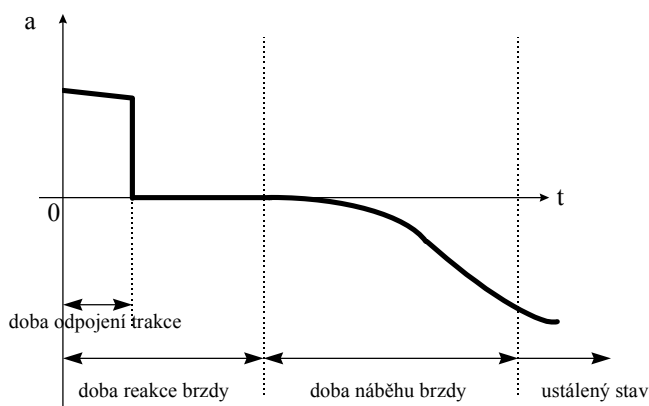
Předpovědní křivka znázorňuje očekávaný vývoj rychlosti v závislosti na poloze vlaku v blízké budoucnosti, vycházejí z momentálních příkazů strojvedoucího. (Předpovědní křivka závisí tedy na činnosti strojvedoucího a proto musí být trvale přepočítávána, kdežto ostatní křivky je třeba přepočítávat pouze při příjmu nové informace z tratě, nebo když se změní charakteristika vlaku.) Křivka tedy upozorňuje na vývoj rychlosti vlaku a slouží k včasnému upozornění strojvedoucího nebo jako pomůcka strojvedoucího ve výběru vhodného odrychlení.

Všechny křivky dynamického rychlostního profilu mají dvě části : část s konstantní rychlostí, která zajišťuje, že vlak v příslušném segmentu rychlostního profilu nepřekročí dovolenou rychlost a část přechodovou, která zajišťuje, že vlak do více omezující sekce nepřejede příliš rychle. Tvar křivek při přechodech z vyšší rychlostní úrovně na úroveň nižší (opačný přechod je z hlediska bezpečnosti nezajímavý a je tedy ponechán jako skokový) je závislý na vlastnostech brzdy vlaku a sklonu, ale i odporu vzduchu, jízdnicích odporech atd.

Systém může spolupracovat s dvěma brzdami - provozní brzdou a nouzovou brzdou. Provozní brzda dovoluje komfortní brzdění, poskytuje nejvyšší hodnotu decelerace ale nelze u ní garantovat bezpečnou funkci. Provozní brzdění může strojvedoucí přerušit (obsluhou MMI), pokud je rychlost vlaku nižší než rychlost dovolená. Nouzová brzda je považována za fail-safe a předpokládá se, že bude aplikována pouze v mimořádných případech, kdy provozní brzda spuštěná systémem řádně nepracuje; možnost jejího uvolnění

(odbrzdění) závisí na konstrukci a předpisových zvyklostech dané železnice. Problémy vzniknou, když tato nouzová brzda bude dosahovat výrazně nižší decelerace než brzda provozní. Řada vlaků užívá elektropneumatickou brzdu a elektrickou brzdu jako brzdu provozní a jednoduchou pneumatickou brzdu jako brzdu nouzovou. Dosažené odrychlení i aplikační doba nouzové brzdy pak může být výrazně horší než u brzdy provozní. Logické řešení spočívá buď ve využití prokluzových vzdáleností (znázorněno na obr. 1-5 - EOA je konec povolení k jízdě, prokluzová vzdálenost je v naznačeném případě dráha mezi EOA a bodem ohrožení) nebo v takové konstrukci nouzové brzdy, která zajistí (třeba jen jednorázově) stejné nebo dokonce vyšší odrychlení než brzda provozní. Pokud ani jedno řešení není možné, je nutné do systému zanést relativně velké rezervy, tj. všechny křivky posunout odpovídajícím způsobem dolů podle vlastností nouzové brzdy. Také k této otázce musí ČD zaujmout jasné a pro další léta neměnné stanovisko.

U brzdového procesu lze rozlišit několik fází. Pokud je vlak v tahu (nebyla předem vypnuta trakce), aktivuje se současně s brzdou proces odpojení trakce. V přechodové fázi, po uplynutí doby reakce, začínou brzdy nabíhat (např. tlak v hlavním potrubí klesá, postupně se aktivují brzdy všech vozidel a vozidla postupně dosahují maximální decelerace). Od tohoto okamžiku jsou brzdy v ustálené fázi (obr. 1-6). Systém ERTMS/ETCS pracuje se zjednodušeným modelem; pro obě brzdy předpokládá, že po době reakce nabíhá odrychlení lineárně na ustálenou hodnotu. Pro vlak je nutné znát oba časové údaje (reakční doba brzdy a doba za kterou naběhne plně odrychlení) a velikost dosahovaného ustáleného odrychlení.



Obr. 1-6

Druhým výrazným činitelem při brzdění je sklon. Ten se k výpočtu předává jako pole bodů délky a gradientu (záporný gradient je klesání) obdobně jako body statického rychlostního profilu. Sklonový profil se upraví podle odometrické chyby, délky vlaku a případně rozložení hmoty ve vlaku. Pak lze pro každý bod určit přídatné tíhové zrychlení (odrychlení) podle jednoduchého vztahu

$$a_g(i) = g(i) \cdot g$$

kde $a_g(i)$ je akcelerace způsobená sklonem v bodě i ,

$g(i)$ je sklon v bodě i - záporné hodnoty při spádu, kladné při stoupání,

$$g = -9,8 \text{ m/s}^2.$$

Výpočet křivek

Křivky jsou obecně počítány zpětně, tj. začíná se v cílovém bodě a pokračuje se ve směru proti vlaku. Nejdříve se vypočítává tzv. základní křivka, kdy se předpokládá, že brzdy mají nulovou reakční a aplikační dobu, tj. případ, kdy vlak brzdí a brzdy se nachází již v ustáleném stavu. Z cílového bodu (obvykle z místa konce povolení k jízdě) se postupuje zpětně dokud se nenarazí na křivku statického rychlostního profilu. Pak se

sleduje statický rychlostní profil pokud nedojde ke změně na vyšší úroveň rychlosti. V tomto místě diskontinuity statického rychlostního profilu začne nový výpočet, s novými hodnotami cílového bodu. Podle základní křivky lze vypočítat křivku intervence brzdy beroucí v úvahu přechodovou fázi brzdění. Tato intervenční křivka je pak množinou bodů v nichž je nutné zahájit brzdění, aby nebyla překročena základní křivka. Obě křivky, základní a intervenční, se vypočítávají zvlášť pro provozní a nouzovou brzdu, protože obvykle mají rozdílné parametry.

Varovná křivka je v principu křivka intervence provozní brzdy posunutá o jistou rychlost směrem dolů. Inicium se vždy, když dojde k jejímu prvnímu překročení a když decelerace zůstává po jistou dobu neměnná a varování trvá dokud rychlost vlaku neklesne pod přípustnou rychlost. Obdobně je vypočítána křivka přípustná s tím rozdílem, že rychlostní diference od křivky intervence provozní brzdy je větší. Diference se pro varovnou křivku uvažuje 5 km/h, pro přípustnou křivku 8 km/h. Aby význam těchto křivek zůstal zachován i při nízkých rychlostech, tyto diference se od určité hraniční rychlosti (cca menší než 20 km/h) dolů redukuje vztahem

$$RD = \frac{D \cdot V}{H},$$

kde RD je redukováná diference,
D je stanovená diference,
H je hraniční rychlost a
V je okamžitá rychlost.

Uvolňovací rychlost

Intervenční křivka nouzové brzdy musí být inicializovaná co nejpozději, ale bezpečně tak, aby vlak nepřekročil cílové místo (za předpokladu, že cílová rychlost je nulová). Výsledkem tady bude, že vlak zastaví v nějaké vzdálenosti před cílovým místem a přesné dosažení cílového místa bude nemožné, protože mu bude zařízení bránit. To by bylo nepraktické ve dvou případech: když vlak potřebuje dosáhnout skutečného cílového místa (např. při dojíždění dlouhého vlaku těsně k odjezdovému návěstidlu, aby byl uvolněn vřadu ležící námezník) nebo v případě, že cílovým místem je místo dalšího přenosu informací na vozidlo (tato situace nastane u zařízení s aplikační úrovní 1 vždy, když vlak zastaví před návěstidlem v poloze "stůj"). Pro tyto případy musí být vlaku umožněno dosáhnout cílového bodu s jistou tzv. uvolňovací rychlostí. Teoreticky vzato je to maximálně taková rychlost, která zajistí, že při přejetí skutečného cílového místa bude vlak zastaven tak včas, aby nepřešel hranice určené prokluzovou vzdáleností (pokud je zavedena) nebo aby nedosáhl místa skutečného možného ohrožení (např. jazyk nebo námezník výměny). Tuto rychlost je možné buď pro daný vlak vypočítat na základě přenesených výše uvedených údajů nebo ji na vozidlo pro danou situaci přímo přenést nebo ji do systému uložit jako obecně platnou např. národní hodnotu.

2. Technická řešení

2.1 Traťová část

Pro přenos informací z tratě na vozidlo a naopak jsou v systému použité tři kompatibilní a takřka libovolně mísitelné subsystémy:

- EUROLOOP
 - nesouvislý (přerušovaný) přenosový systém realizovaný krátkou smyčkou (řádu desítek metrů), střední smyčkou (řádu stovek až tisíců metrů, ale nepřesahující délku traťového oddílu), nebo
 - kontinuální přenosový systém realizovaný dlouhou smyčkou (tzv. CETS - Continuous Euroloop Transmission System).
- EURORADIO - kvasikontinuální systém realizovaný digitálním rádiem typu GSM-R.

Ze všech těchto subsystémů pouze subsystém první - balíza - obsahuje prostředek pro lokalizaci polohy vlaku. Do subsystémů samozřejmě patří i odpovídající část na vozidle.

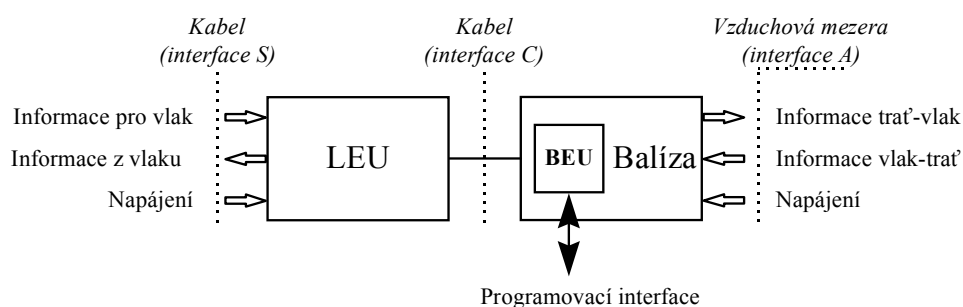
Eurobalise

Balíza si zachovává některé rysy svého výchozího vzoru ze systému JZG 700. V průběhu společného vývoje konsorciem evropských zabezpečovacích firem byly však výrazně vylepšeny její vlastnosti. Balíza nyní může přenášet alternativně telegram délky 1023 bit nebo 341 bit (bezpečná koexistence a rozlišitelnost dvou formátů v systému), přičemž poskytuje prokazatelnou bezpečnost proti různým typům přenosových poruch (viz obr. 2-5), přenos nemusí začínat na počátku telegramu (detekční procedura je zcela transparentní ve vztahu k cyklickému posunu telegramu), rozpoznatelná je i inverze všech bitů telegramu (přičemž je možné ji vyhodnotit jako chybu, nebo ji opravit reverzí). Přenosový systém tak zajišťuje bezpečný a spolehlivý přenos informací až do rychlosti 500 km/h.

Obecné blokové schéma traťové části balízy je na obr. 2-1, na obr. 2-2 je blokové schéma přijímací části na vozidle. Pro balízu je definován interface A, který určuje podobu přenášené zprávy a napájení mezi traťovou a vozidlovou částí a tedy zajišťuje kompatibilitu

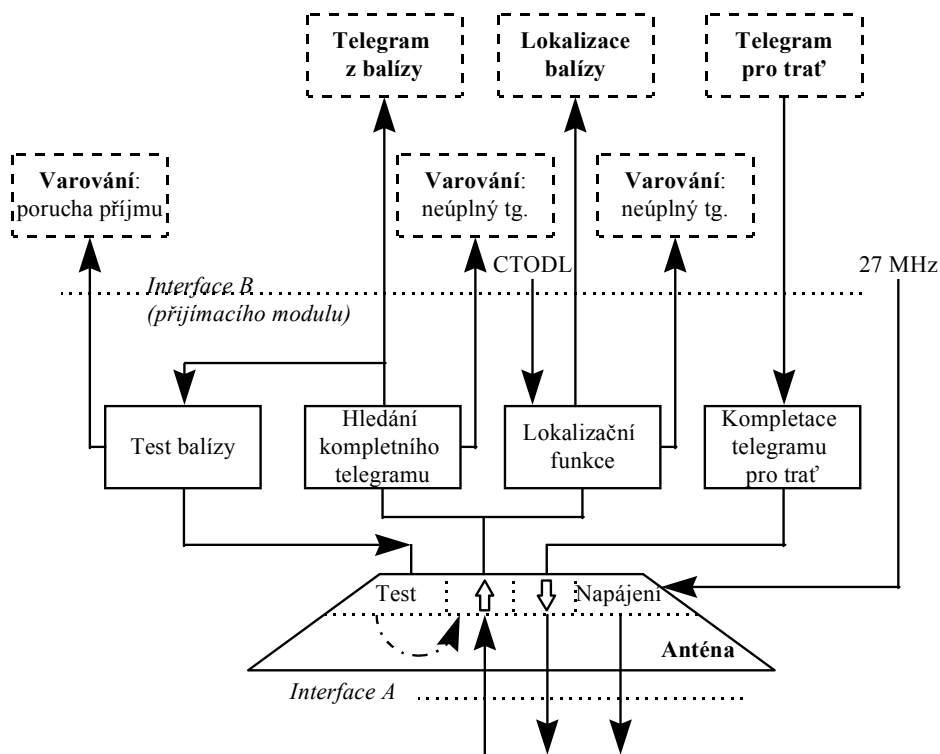
balíz různých výrobců. S přepínatelnou balízou na trati koresponduje traťová elektronická

jednotka LEU (lineside electronic unit), která zprostředkovává vstupy do balízy z traťového (staničního)



Obr. 2-1

zabezpečovacího zařízení. Nepřepínatelné balízy (tj. balízy, které přenášejí pouze fixní informace) LEU nepotřebují, protože fixní informace jsou uloženy přímo v balíze - v BEU (balise electronic unit). Naprogramování BEU a kontrola jeho obsahu je dostupná pomocí utěsněného konektoru na balíze (alternativně bezkontaktní induktivní vazbou programovacího a kontrolního zařízení s balízou). Kabel mezi přepínatelnou balízou a LEU může být za určitých okolností až 3000 m dlouhý.



Obr. 2-2

Anténa umístěná pod vlakem (v porovnání se systémem JZG 700 podstatně menší a lehčí a alternativně umístitelná na skříní nebo na podvozku) vysílá obdobně jako u systému JZG 700 signál $27,115 \text{ MHz} \pm 5 \text{ kHz}$, kterým aktivuje balízu na trati, takže balíza nepotřebuje žádné vlastní napájení. Balíza odpovídá tentokrát frekvenčně klíčováním (FSK) signálem, který v pásmu 3,9 - 4,5 MHz (přesně 3,954 MHz pro logickou 0 a 4,519 MHz pro logickou 1) přenáší na vozidlo telegram rychlostí 564 kbit/s. Anténa tento signál přijme a prostřednictvím přijímacího modulu balízy (BMT) zpracuje a výsledek postoupí ostatním částem mobilního systému. Jak patrně z obr. 2-2, systém pracuje se všemi dostupnými (i částečnými) informacemi a zahrnuje v sobě i diagnostiku. Balíza i přijímací část na vozidle jsou upraveny i pro případný přenos informací v opačném směru.

83.11=913 nebo 21.11=231 bit	3 bit	22 bit	85 bit
tvárována data	cb	esb	kontrolní bity

Obr. 2-3

Formát telegramu je znázorněn na obr. 2-3, telegram je vysílán v pořadí zleva doprava podle obrázku. Začíná blokem tvarovaných dat, který obsahuje uživatelská data, podrobená jistému dále uvedenému tvarování. V dlouhém formátu obsahuje tento blok 83 jedenáctibitových slov, v krátkém 21 slov. Tvarování zabírá určité množství bitů, takže počet aktuálních uživatelských bitů je menší (892 resp. 225 bit). Zbytek telegramu tvoří v obou formátech 10 jedenáctibitových slov. Nejdříve následují tři řídicí bity (cb - control bits),

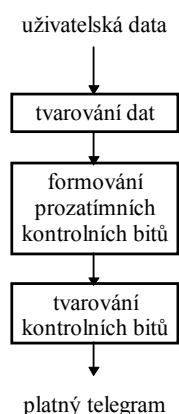
z nichž první je tzv. inverzní bit, který musí být vždy nastaven na nulu a zbylé dva zatím nejsou využity (předpokládá se pozdější využití pro účely dalších variant formátu - zatím musí být nastaveny též na nulu). Následujících 22 bitů jsou zvláštní tvarovací bity (esb - extra shaping bits), které jsou určeny pro tvarování kontrolních bitů. Zbývajících 85 kontrolních bitů (check bits) se skládá ze 75 paritních bitů detekčního kódu a 10 bitů synchronizačních.

Za normálních okolností jsou telegramy vysílány opakovaně po celou dobu, kdy vlak balízu míjí. Je však také možné, že během vysílání dojde ke změně telegramu (tato okolnost bude diskutována později). Kódová slova jsou určena generačními polynomy (řádu 75); pro dlouhý formát je použit generační polynom $g_1(x)$, pro krátký formát $g_2(x)$. Kódová slova cyklických kódů jsou beze zbytku dělitelná jejich generačním polynomem. Polynomy $g_1(x)$ a $g_2(x)$ jsou voleny tak, že třikrát opakované kódové slovo krátkého formátu tvoří kódové slovo dlouhého formátu. Tato vlastnost zjednodušuje rozlišení obou formátů.

Tvarování zajišťuje (kromě jiného), že se v telegramu nevyskytují úseky s více než 8mi po sobě jdoucími jedničkami či nulami a že každý blok 75ti po sobě jdoucích bitů bude obsahovat nejméně 13 nul, 13 jedniček a 13 přechodů (0-1 nebo 1-0).

Kódování celkem sestává ze tří kroků (viz obr. 2-4):

- tvarování dat - transformace uživatelských dat do jedenáctibitových slov, která vyhovují shora uvedeným podmínkám,
- výpočet kontrolních bitů, vedoucích k platnému synchronizovanému kódovému slovu,
- vynucení tvarovacích požadavků pro řídicí bity (cb), zvláštní tvarovací bity (esb) a kontrolní bity modifikací bitů esb.



Obr. 2-4

Klíčovým problémem tradičních formátů je bloková synchronizace při detekci - ochrana detekčními kódy je podmíněna správnou synchronizací a je obtížné potlačit pravděpodobnost špatné synchronizace pod potřebnou mez. V tomto případě je zvolen opačný postup - přijatá zpráva je nejprve detekována na chybu a teprve potom synchronizována. Využívá se přitom skutečnosti, že cyklicky posunuté kódové slovo vytvořené polynomem $g(x)$ je také dělitelné (bezezbytku) polynomem $g(x)$. Po detekci takového cyklicky posunutého slova je ovšem nutné vypočítat počet kroků, o které je nutno dekódovaný telegram cyklicky posunout, aby souhlasil s originálem. K tomu účelu slouží synchronizační polynom zvláštních vlastností, pro každý formát jiný.

Typ chyby	Počet chybných bitů pro 1023/341 bitů
náhodná chyba	< 15/17 bitů
shluk chyb	< 75 bitů

Obr. 2-5

Zmínili jsme již možnost, že během přenosu dojde ke změně vysílané informace. Taková změna uprostřed vysílaného telegramu by zcela narušila předpoklady platné pro cyklické kódy - nejde o náhodnou chybu - a jejím výsledkem by mohlo být vyhodnocení falešné zprávy. Tento problém je řešen tak, že v případě

změny telegramu se do toku dat (mezi starý a nový telegram) vkládá string složený ze samých jedniček o délce nejméně 75 bit.

Kromě vlastní přenosové funkce zajišťuje balíza i funkci lokalizační. Jejím smyslem je co nejpřesněji určit polohu vlaku v momentě, kdy má elektrický střed balízy. Tato funkce se provádí hodnocením úrovně signálu v přijímači mobilní části.

Euroloop

Krátké a střední smyčky co do přenosových vlastností korespondují s balízou (skupinou balíz) a budou přenášet prakticky tytéž informace; smyčky ovšem nejsou pasivní, ale mají své vlastní napájení ze zdroje na trati a vysílají trvale, bez ohledu na přítomnost vlaku. Jejich logické uplatnění je zejména v aplikační úrovni 1, kde mohou plnit funkce dodatečné informace. Podle prozatímních úvah o aplikaci systému ERTMS/ETCS u ČD se nepočítá s jejich uplatněním ani pro tento účel.

Dlouhá smyčka byla uvažována na přání některých železnic, které již zařízení orientovaná na tento druh přenosového média využívají. Zdá se však, že nakonec ani ony nebudou toto médium nadále používat a dají přednost rádiovému systému.

Euroradio

Na rozdíl od předchozího média se rádiový přenosový systém nyní považuje za víceúčelový perspektivní komunikační a přenosový systém, který do budoucna bude u všech evropských železnic tvořit univerzální spojení stacionárních center na trati se všemi mobilními jednotkami v oblasti (tj. s vlaky, ale také např. s posunovači, údržbářskými a pracovními četami atd.) a podle potřeby i mezi mobilními jednotkami navzájem. Jako jedna z prvních aplikací datového přenosu na tomto přenosovém systému je právě aplikace pro systém ERTMS/ETCS úrovně 3.



Obr. 2-6

Tento přenosový systém, označovaný jako GSM-R, vychází ze standardu digitálního mobilního rádia GSM, který rozšiřuje o speciální vlastnosti potřebné pro železnice. Umožňuje splnit na úrovni veškeré požadavky železnic na mobilní hlasovou i datovou komunikaci efektivněji než doposud používané rozptřené rádiové komunikace. Požadavky byly definovány skupinou EIRENE, realizace pilotních projektů je náplní konsorcia výrobců a železničních provozovatelů s označením MORANE. Specifické železniční požadavky zahrnují možnost skupinového volání (např. skupina posunu, staničního rádia, údržby atd. pro hlasová volání a skupiny VZ, dálkového ovládání atd. pro datová volání), všeobecného volání, zavedení víceúrovňových priorit, funkční adresaci, adresaci závislou na poloze atd. Spojení probíhá v pásmech vyhrazených pro železnici, tj. 876-880 (890) MHz (uplink) a 921-925 (935) MHz (downlink), na rozdíl od veřejného pásma, které je 890-915 MHz a 935-960 MHz. U datového přenosu lze dnes uvažovat s přenosovou rychlostí 9,6 kb/s (max. 14,4 kb/s), se zavedením služeb GPRS (GSM Packed Radio Services) se očekává zvýšení na cca 120 kb/s (zavedení cca v r. 2000).

Logické rozvrstvení systémů použitých v ERTMS/ETCS úrovně 3 je znázorněno na obr. 2-6. Jak patrně, GSM-R nemá samo o sobě žádné přímé bezpečnostně relevantní úkoly. Tuto oblast řeší prostřednictvím logické vrstvy bezpečné komunikace až aplikace.

2.2 Mobilní část

Mobilní část řeší typické zabezpečovací problémy dnes již dostatečně prozkoumanými multiprocessorovými prostředky. Přitom je mobilní část, stejně jako celý systém, řešena jako otevřená struktura, která je schopna pojmout do sebe v budoucnu případně vzniklá nová a lepší řešení dílčích problémů.

Technicky zajímavá jsou zejména řešení přesné lokalizace vlaku, zajištění aktuálnosti dat, styku s obsluhou (MMI) a zvláštních přenosových modulů (STM). K těmto tématům snad někdy příště.

3. Situace u ČD

ČD používá od počátku šedesátých let vlastní liniový čtyřpojmový vlakový zabezpečovač typ LS II-IV. Zařízením tohoto typu jsou vybaveny téměř všechny lokomotivy (cca 2200 ks) a všechny dnes autoblokované tratě (cca 1500 km převážně dvojkolejných tratí). Tento vlakový zabezpečovač (kvalitní v době svého vzniku) nepřenáší informace o stupni návěštěného omezení rychlosti a nedohlíží na skutečnou rychlost vlaku, pouze vyžaduje periodické potvrzování bdělosti strojvedoucího v oblasti zábrzdné vzdálenosti před hlavními návěštidly omezujícími jízdu vlaku. Zařízení se také žádným způsobem nepodílí na dohledu nad dodržováním ostatních omezení rychlosti - z titulu stavby tratě, charakteristik vlaku atd. Na ostatních tratích (tj. na zhruba 85 % tratí) ČD neprovozuje žádné vlakové zabezpečovací zařízení.

Vzhledem k přetrvávajícím problémům s podvědomou obsluhou tlačítka bdělosti současného vlakového zabezpečovače a k ostatním uvedeným okolnostem je nutné konstatovat, že úroveň bezpečnosti a ostatních služeb, které poskytuje současný vlakový zabezpečovač ČD, jsou z dnešního pohledu nedostatečné. V 80-tých letech byly podniknuty určité kroky, jejichž cílem bylo zlepšit úroveň vlakového zabezpečovače ČD. Po důkladných rozbořech byl navržen a částečně ověřen systém kombinující mírně inovovaný stávající liniový VZ ČD s kvalitním systémem bodovým. Získané zkušenosti z poloprovozních zkoušek potvrdily, že tato kombinace představuje správný směr, ale v kritické fázi, kdy mělo dojít k definitivní volbě přídavného bodového systému, vznikl na půdě UIC projekt nového panevropského vlakového zabezpečovacího systému (ETCS) jako prostředku, který umožní vlakům bezproblémový přechod hranic. ČD konstatovaly, že koncepce ETCS v zásadě odpovídá poznatkům z dosavadních prací u ČD a rozhodly se změnu vlastního systému vést kompatibilně s ETCS, aktivně se podílet na jeho přípravě v rámci UIC a učinit vše, aby bylo možné výsledky co nejdříve u ČD uplatnit.

ČD až do jisté doby skutečně tento záměr plnily. V provozu ČD se uplatnily pouze technologické úpravy jednotlivých částí stávajícího vlakového zabezpečovače (mobilní část LS-90, elektronický kódér atd.), funkční vlastnosti nebyly podstatně modifikovány. Na společných pracích na novém systému (ve většině případů řízených ERRI) se v různých fázích a na různé úrovni aktivně podílelo (a i nadále podílí) několik pracovníků ČD-VÚŽ. U ČD, na železničním zkušebním okruhu Velim, jsme pro ERRI provedli poloprovozní srovnávací měření tří typů balíz, připravených třemi konsorcií evropských zabezpečovacích firem. Kromě toho probíhaly i určité přípravné práce doma na aplikaci zařízení pro ČD. Tak mohl být již v první polovině roku 1995, po předchozí dohodě s ERRI/A200, EU/DG VII a S14 DDC předložen podrobný program "Pre-study for pilot installation of ERTMS/ETCS on railway line Praha-Dresden" (prakticky jen o málo později než byly předloženy materiály pro první pilotní projekt ERTMS/ETCS Vídeň-Budapešť) a získány prostředky z PHARE. Projekt se měl stát jedním z klíčových projektů systému ERTMS/ETCS. Uskutečnila se řada jednání mezi MD, ČD, EU DG VII, EU DG I a představiteli PHARE, kde se však plně projevila neschopnost české strany rychle, pružně a se znalostí věci reagovat, zvládnout administrativu vyžadovanou orgány EU, PHARE atd. Tyto průtahy, které pokračují do dnešních dnů, již znamenaly vyřazení ČD z první vlny pilotních instalací a tedy ztrátu pozic, které jsme v projektu získali, snižují naše možnosti ovlivňovat řešení systému směrem výhodným pro ČD, zmenšují ochotu nadnárodních institucí přispívat k finančnímu krytí našich nákladů atd. Důsledkem administrativní neschopnosti tedy budou vyšší náklady ČD při aplikaci systému, k níž stejně dříve či později dojít musí a co horšího - průtahy způsobují prodlužování nevyhovujícího stavu v zajišťované úrovni bezpečnosti provozu.

Situace je o to komplikovanější, že odvětví lokomotivního hospodářství ČD již od 70 tých let cílevědomě pracuje na aplikacích v oblasti automatického vedení vlaku. Na některých hnacích vozidlech jsou již v provozu regulátory rychlosti a připraveny jsou další významné a pro moderní provoz dráhy důležité části (regulátor cílového brzdění, optimalizátor jízdy atd.). I když návrh těchto zařízení předpokládá jistou míru kontroly existujícím vlakovým zabezpečovačem [1], jde z povahy věci o úroveň nedostatečnou. Odpovídající kontrolu může poskytnout pouze moderní vlakové zabezpečovací zařízení úrovně systému ERTMS/ETCS. Bez něj by provoz těchto automatizačních prvků v navržené úrovni byl nebezpečný a bylo by krajně nezodpovědné s ním souhlasit. Tento závěr implikuje i pochybnosti o smysluplnosti zavádění speciálních přenosových zařízení (traťové informační body MIB6, dodatečný rádiový přenos) pro účely automatického vedení vlaku, když totožné informace (a v bezpečné a vysoce spolehlivé verzi) jsou součástí přenosových kanálů ERTMS/ETCS a prostřednictvím TIU mohou být bez problémů předány kterémukoliv dalšímu systému. I zde tedy průtahy v aplikaci systému ERTMS/ETCS u ČD mají své nepříznivé důsledky a jen znovu potvrzují, že DDC dlouhodobě podceňuje jednu ze svých výsostných úloh, tj. starat se o bezpečnost provozu ČD.

Obdobně neutěšená situace je v nekonceptním přístupu DDC k zavádění EURORADIA, které je podmínkou vyšších aplikačních stupňů systému ERTMS/ETCS.

Aby vina za zdržování aplikace nebyla tak zřejmá, připouští se mlžení situace vypouštěním nekompetentních zpráv, jakoby alternativou k zavedení systému ERTMS/ETCS byla jiná zařízení. Jednou se uvádí vlakový zabezpečovací systém ZUB 100 i když jde o dnes již zastaralý systém, podruhé polohovací systém, založený na GPS (satelitní navigační systém), i když jde o zařízení sice v budoucnosti snad použitelné, ale řešící jen jednu z řady úloh, které má systém ERTMS/ETCS na starosti, jindy systém AVV, i když ve skutečnosti jde o systém, který je pouze (byť pravděpodobně vysoce kvalitní) nástavbou vlakového zabezpečovacího zařízení. Tají se, že systém ERTMS/ETCS se v budoucnu stane samozřejmou podmínkou pro jakoukoliv spolupráci s okolními železnicemi v oblasti přepravy.

ČD-VÚŽ připravil a vedení DDC opakovaně předkládal program aplikace systému ERTMS/ETCS, který ČD umožní :

- výrazně zvýšit úroveň bezpečnosti poskytovanou na tratích ČD postupnou výstavbou systému ERTMS/ETCS podle ekonomických možností dráhy,
- vytvořit základ pro moderní řízení a zabezpečení železniční dopravy na hlavních tratích při významně nižších investičních a provozních nákladech (radioblok, prvky automatického vedení vlaku - časová a energetická optimalizace atd.),
- vytvořit základ pro výrazné zvýšení úrovně zabezpečení a modernizaci řízení provozu i na vedlejších tratích,
- postupně odstraňovat problémy plynoucí z nekompatibilitnosti zařízení se sousedními železnicemi, protože sousedící dráhy se projektu aktivně účastní,
- osvojit si zabezpečovací systém vhodný i pro případné budoucí vysokorychlostní tratě.

Aplikace jednoznačně směřuje k řešení existujících bezpečnostních a dalších problémů ČD, vytváří předpoklady pro přechod ČD k modernímu a ekonomičtějšímu řízení železniční dopravy. Chceme věřit, že nové vedení DDC ji vezme za vlastní a prioritní. Zatím tomu tak stále není.

Literatura

- [1] Myslivec I., Špaček P., Šula B.: Automatické vedení vlaku AVV. Vědeckotechnický sborník ČD č. 5, 1998
- [2] Materiály ERRI A200
- [3] Chudáček V., Lochman L.: Vlakový zabezpečovací systém ERTMS/ETCS. Vědeckotechnický sborník ČD č. 5, 1998

V Praze, únor 1999

Lektoroval: Ing. Vladislav Kyjovský