

Petr Nachtigall¹, Jan Ouředníček²

Zajištění dohledu nad zastavením (snížením rychlosti) v ERTMS/ETCS v souvislostech

Klíčová slova: *ERTMS/ETCS, brzdná křivka, bodový a liniový vlakový zabezpečovač*

Úvod

V souvislosti s implementací ETCS L2 na železniční infrastrukturu České republiky (1), (2), (3) a zejména konkrétně s postupem realizace ETCS L2 na úseku Kolín – Břeclav státní hranice se tento systém vlakového zabezpečovače dostal a dále dostává do povědomí širší odborné veřejnosti a s rostoucím zájmem se zintenzivňuje diskuse aspektů spojených s provozem tohoto vlakového zabezpečovače. S některými z těchto aspektů se železnice v ČR setkává vůbec poprvé. Aktuálně je zmíněný projekt realizace European Train Control System (4), (5) Level 2 (dále jen ETCS L2) ve třetí etapě ověřovacího provozu, jejímž účelem je umožnit provoz všech vozidel, která jsou vybavena mobilní částí ETCS příslušné systémové verze a která splňují legislativní a další relevantní technické podmínky, a tak ověřit a zavést ETCS L2 v komplexním provozně-technickém prostředí. Z hlediska stacionární části je tak systém ETCS L2 na úseku Kolín – Břeclav st. hr. od začátku roku 2019 k dispozici ke zmíněnému provozu vozidel pod dohledem ETCS, nicméně doposud (březen 2019) – dle informací dostupným autorům tohoto článku – není jasné, jak, resp. kdy budou provozovatelé (ideálně většina provozovatelů) svá vozidla, do takového provozu zapojovat.

V předchozí druhé etapě byly za pomoci jak měřících vozidel AŽD Praha s.r.o. a TUDC, tak i vozidel komerčních dopravců (METRANS, ČD Cargo) prováděny provozní testy jednotlivých částí systému a jejich integrace. Tyto testy měly za cíl prokázat stabilitu a funkčnost jednotlivých částí systému a ERTMS/ETCS jako celku v daném nasazení a připravenost na komplexní ověřovací provoz třetí etapy. Během testů se rovněž ověřovala interakce s již provozovanými zabezpečovacími zařízeními, resp. stávající infrastrukturou, a do značné míry i s předpisy provozovatele dráhy a předpisy a zvyklostmi dopravců. Některá zjištění ukázala na možné zhoršení provozních ukazatelů současné infrastruktury. Otázkou je, jaké části realizovaného systému a interakce mezi nimi a do jaké míry jsou příčinou těchto zjištění, a jak tyto příčiny souvisí se samotným ETCS, resp. s novým, v České

¹ Petr Nachtigall, Ing., Ph.D., 1982, Univerzita Pardubice, katedra Technologie a řízení dopravy petr.nachtigall@upce.cz, doktorské (Univerzita Pardubice, Technologie a management v dopravě a telekomunikacích, Pardubice), technologie železniční a městské dopravy.

² Jan Ouředníček, Ing., Ph.D., 1978, AŽD Praha s.r.o., závod Technika, Výzkum a vývoj, vedoucí vývojového pracoviště, ourednicek.jan@azd.cz, doktorské studium Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky, kde aktuálně rovněž působí.

republice dosud neaplikovaným zabezpečovacím zařízením, a to vlakovým zabezpečovačem s úplnou kontrolou rychlosti, zajišťujícím dohled nad jízdou vlaku přenesením zodpovědnosti za dodržení limitů rychlosti a vzdálenosti na technický prostředek.

Tento článek si klade za cíl osvětlit tyto aspekty a přispět k diskusi souvislostí jejich vlivu a variant eliminací jejich vlivu.

1 Základní souvislosti

I v literatuře (6) se uvádí, že největší počet nehod na železnici je spojen s projetím návěstidla zakazujícího jízdu. Podle statistiky (7) to není tak dramatické, nicméně za rok 2017 bylo ze 778 mimořádných událostí na dráze celostátní 102 nedovolených jízd³ s celkovou škodou více než 10 mil. Kč. Co do počtu je více pouze střetů s osobou a ostatních mimořádných událostí. *Pozn.: I když projetí zakazující návěsti nemusí vždy vést ke škodě nebo zraněním, má taková situace ve většině případů nepříjemné provozní dopady (např. zpoždění či odřeknutí vlaků, kdy se v součtu může jednat o zpoždění i stovky hodin ročně).*

Řešením tohoto problému je mimo jiné použití vlakového zabezpečovacího zařízení. Z pohledu přenosu informace na vlak lze rozlišit bodové a liniové systémy. Počátky vývoje bodových systémů lze datovat do roku 1840. První bodový systém, který byl schopen opravdu zastavit vlak, byl patentován v roce 1873, tedy před více než 140 lety (6). V Evropě pak bylo v průběhu 20. století vyvinuto několik bodových zabezpečovacích systémů. V Československu byly tyto systémy také využívány, nicméně za cílový stav byl zvolen liniový vlakový zabezpečovač, který zajišťuje kontinuální přenos informace z trati na vozidlo. Tento stávající vlakový zabezpečovač pracuje na principu klíčování nosné frekvence (50 nebo 75 Hz) periodickými impulzy s frekvencemi 0,9, 1,8, 3,6 nebo 5,4 Hz, kdy je jeden ze čtyř možných takto získaných signálů vysílán do kolejového vedení „proti čelu vlaku“, přičemž výběr konkrétního signálu je dán návěstí návěstidla, vstříc kterému se vlak blíží. Technologicky se jistě již jedná o historické zařízení, kdy čtyřstavová hodnota (dvě hodnoty představují víceméně jednoznačnou interpretaci návěsti, další dvě hodnoty určují pouze jednu ze dvou množin obecně širokého spektra návěstí) nemůže zdaleka pokrýt potřebné spektrum informací, nutných pro realizaci dohledu nad jízdou vozidla s dostatečnou eliminací nežádoucího lidského faktoru. Absence jednoznačných informací o povolené rychlosti a úplná absence informací o vzdálenosti k příslušnému rychlostnímu omezení vyžaduje ponechat zodpovědnost za včasné zastavení, resp. snížení rychlosti vozidla na strojvedoucím. Systém sám je zodpovědný pouze za vytvoření, přenos a zobrazení uvedené čtyřstavové informace a za posouzení dostatečnosti změny stavu řízení vozidla (zejména ovládání brzdy) ve vztahu k této čtyřstavové informaci, k její změně, resp. k její ztrátě. Systém tedy nezná žádné brzdící křivky a nedohlíží tak snížení rychlosti k dané poloze. Řešení spočívá v současné době prakticky jen v implementaci systému ETCS L2, který je schopen převzít zodpovědnost za dohled nad rychlostí vozidla při zachování provozní výhody v podobě včasné aktualizace povolující informace, kterou liniové systémy na rozdíl od (ryze) bodových systémů disponují. Nicméně nelze vyloučit ani výhledové nasazení ETCS L1, zejména pokud se ukáže, že provozní odlišnosti

³ vjezdová – 22; odjezdová – 44; cestová – 33; ostatní – 28.

vyvolané použitím tohoto bodového vlakového zabezpečovače nepředstavují výraznější komplikace v porovnání s ekonomickou efektivitou, jaká se od této formy nasazení ETCS očekává.

2 Vlakové zabezpečovací systémy

Z principu je smyslem zabezpečovacích systémů obecně omezovat chování, resp. povely obsluhy na takovou jejich podmnožinu a sekvenci, která je v aktuálním provozním kontextu přípustná, tj. nepředstavuje přímé ohrožení bezpečnosti. Z tohoto pohledu je zcela přirozené, že zavedení dohledových funkcí technickým zařízením může vést k omezení provozní flexibility, pokud tato doposud závisela čistě jen na (byla dosažena díky) šikovnosti, zručnosti a zodpovědnosti obsluhujícího zaměstnance.

Dále, jak je všeobecně známo, charakteristickým rysem železničních zabezpečovacích systémů z hlediska jejich technických principů je omezení provozu (přesněji řešeno snížení úrovně povolení) při absenci provozně-technických informací nebo při ztrátě některé funkcionality vlastního systému vlivem poruchy, tzv. Fail-safe⁴ principy. Ilustrativní aplikací tohoto principu v opačném smyslu, lze jasně demonstrovat to, co je sice logické a přirozené, nicméně je vhodné to zde zdůraznit, tedy že zabezpečovací systém může nést zodpovědnost pouze za takové aspekty železničního provozu, tj. může vykonávat pouze takové dohledové funkce, pro něž disponuje potřebnými informacemi a k nimž lze determinovat jednoznačné rozhodovací a výpočetní algoritmy.

V případě vlakových zabezpečovačů – konkrétně vlakových zabezpečovačů s úplnou kontrolou rychlosti, je v jejich plné zodpovědnosti snížení rychlosti, resp. zastavení před definovaným místem. Musí být tedy schopny sledovat a vynutit včasné odrychlení vozidla (soupravy, jednotky), tak aby v daném místě vozidlo nepřekračovalo mezní rychlost, resp. aby nejpozději v daném místě zastavilo.

Na základě dostupných informací, kterými vlakový zabezpečovač jak v „online“ (aktuální provozní a technická data), tak v „offline“ (konfigurační parametry) podobě disponuje, musí být k dohlížení odrychlení vozidla z hlediska Fail-safe principů uvažovány nejméně příznivé podmínky (pravidlo „worst case“). Tedy, pokud nějakou informací ovlivňující brzdění vozidla vlakový zabezpečovač nedisponuje vůbec, nebo jí disponuje jen s omezenou přesností, musí předpokládat, nejen že její charakter, resp. skutečná hodnota nebude lepší, ale ani že nebude průměrná, tedy musí předpokládat, že bude horší, tzn. že brzdný účinek, obecně odrychlení, bude nižší, resp. že celková dráha na snížení rychlosti bude delší. Exaktně vzato lze toto demonstrovat skrze rozdělení pravděpodobnosti, s nějakou jeho střední hodnotou (tedy průměrem) a dalšími určujícími parametry, kdy střední hodnota není rozhodně korektním reprezentantem hodnoty parametru z hlediska bezpečnosti, přičemž volba „dostatečně bezpečné“ odchylky od střední hodnoty závisí na míře ještě

⁴ Fail-safe – tzn. „bezpečný při poruše“. Kromě železniční zabezpečovací techniky jsou tyto principy uplatňovány v chemickém průmyslu při zpracování a výrobě nebezpečných látek, z části i v jaderném průmyslu a v posledních letech pak rovněž v průmyslové automatizaci obecně, kdy nasazení Fail-safe technologií umožňuje jednak zvýšení kvality výroby a také zvýšení bezpečnosti výrobního provozu z hlediska bezpečnosti a ochrany zdraví při práci.

akceptovatelného rizika, že brzdná dráha bude (může být – tedy s nějakou četností bude) delší a o kolik⁵.

Ideálním vlakovým zabezpečovačem s úplnou kontrolou rychlosti by byl stroj, který by disponoval vlastnostmi zkušeného strojvedoucího pracujícího nejen s informací o povolené rychlosti a vzdálenosti, ale i s dalšími informacemi, které mají vliv na brzdění vozidla, jakými jsou typicky povětrnostní podmínky, resp. podmínky adheze, struktura soupravy a vlastnosti převáženého materiálu (např. z části naplněné kotlové vozy), s tím že takový strojvedoucí by byl za všech okolností soustředěný a prakticky neomylný. Reálný vlakový zabezpečovač lze sice realizovat tak, že s požadovanou úrovní integrity bezpečnosti (tj. – zjednodušeně řečeno – s astronomicky nízkou pravděpodobností selhání) bude soustředěný a neomylný, ale bohužel algoritmovat zkušenost⁶ lze jen velmi omezeně (např. posouzení aktuálního skutečného brzdného účinku provozní brzdy k vyhodnocení potřeby intervence brzdy nouzové), některé informace jsou pak technicky zcela nedostupné (typicky povětrnostní podmínky vedoucí k horší adhezi).

Pokud má tedy reálný vlakový zabezpečovač s úplnou kontrolou rychlosti dostát své zodpovědnosti, musí algoritmicky pracovat s více kritickými brzdými křivkami, než jakých je vozidlo v běžném provozu schopno v převládající většině situací, tj. v situacích nominálních (průměrných, běžných provozních – tj. např. těch, které se uvažují při konstrukci grafikonu), schopno dosáhnout. Vlakový zabezpečovač bude tak zodpovědný i mimo nominální situace, tzn. i v situacích, které jsou co do brzdných schopností kritické. Rozdíl v brzdných křivkách je zachycen na obrázku 1.



Obrázek 1: Ilustrace dohledu odrychlení při uvažování kritických podmínek k brzdění vs. brzdění za nominálních podmínek

Zdroj: autoři

Historicky – z informací dostupným autorům – se jeví, že doposud se prakticky nikde nepodařilo danou zodpovědnost naplnit tak, aniž by nedošlo k ovlivnění výkonnostních parametrů železničního provozu směrem dolů, v porovnání se situací, kdy zůstává zodpovědnost na obsluze vozidla společně se zodpovědností za rozlišení nominálních a kritických situací. Přičemž výkonnost provozu je dimenzována na situace nominální!

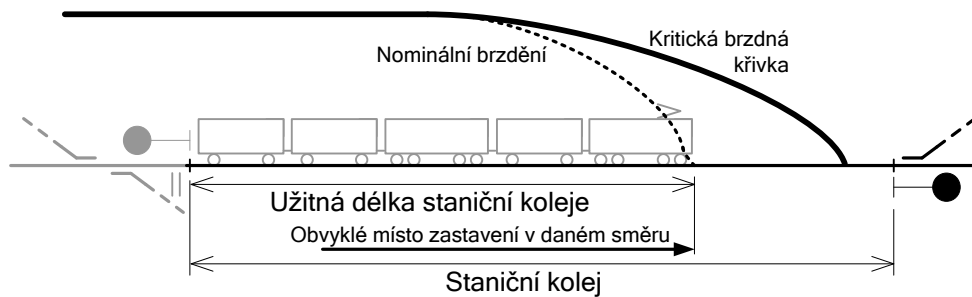
Uplatnit lze a uplatňují se (logicky) dva přístupy při realizaci vlakových zabezpečovačů s úplnou kontrolou rychlosti:

⁵ Neopomenutelně vedle těchto kvantitativních přístupů k posuzování bezpečnosti je třeba uplatnit i přístupy kvalitativní dle literatury (25).

⁶ Zkušenost, jakožto fenomén připisovaný elementům živé přírody, je z hlediska technologií předmětem zkoumání možností a rozvoje umělé inteligence. Ta je však co do předání zodpovědnosti za bezpečnost (nejen dopravy) záležitostí budoucnosti, a to – dle názorů autorů – spíše budoucnosti značně vzdálené.

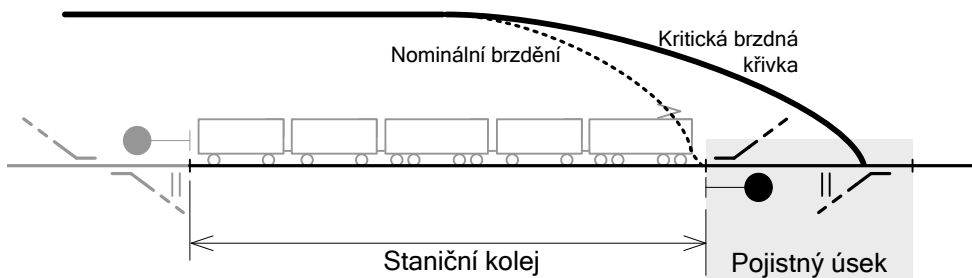
- Výkonnost železničního provozu je dimenzována na kritické situace – na kritické brzděné křivky. Počítá se tedy s tím, že dohled nad odrychlením vozidla povede (může vést) v důsledku k delší dráze k zastavení a delším časům na zastavení vozidla⁷.
- V určité fázi dohledu nad odrychlením je zodpovědnost či část zodpovědnosti za snížení rychlosti, resp. za zastavení, přenesena na obsluhu vozidla, a to řízeně a s její aktivní účastí, aby došlo ke snížení negativního vlivu absence informací a/nebo „zkušebních“ algoritmů ve vlakovém zabezpečovači na výkonnost provozu⁸.

Běžně se vyskytují oba přístupy v kombinaci.



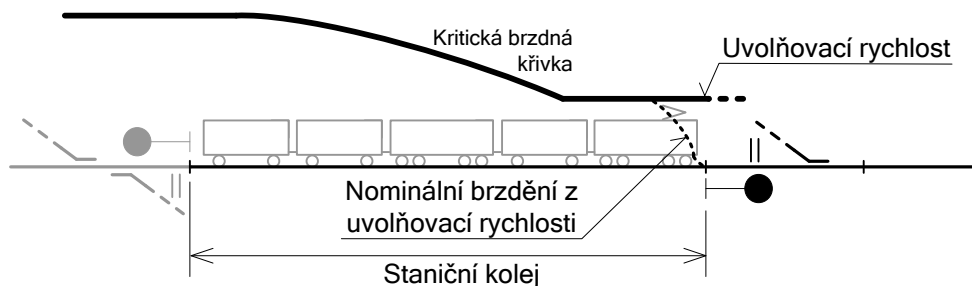
Obrázek 2: Staniční kolej je nezanedbatelně delší než její užitná délka

Zdroj: autoři



Obrázek 3: Pojistné (prokluzové) úseky

Zdroj: autoři



Obrázek 4: Uvolňovací rychlosti

Zdroj: autoři

⁷ Prakticky se jedná o zřizování dostatečně dlouhých staničních kolejí (obrázek 2) či pojistných (prokluzových) úseků za místem zastavení (obrázek 3).

⁸ Prakticky se jedná o uplatnění tzv. uvolňovací rychlosti, pod kterou je umožněno převzetí zodpovědnosti obsluhou vozidla (obrázek 4).

Naprosto zásadní je možnost předání zodpovědnosti na obsluhu u bodových vlakových zabezpečovačů. V případě, kdy k přenosu informací v oblasti odrychlí může dojít jen v jednom či několika málo pevně daných místech – zpravidla blízko místa zastavení, je možnost určitého uvolnění z dohledu, byť ne neomezeného, provozní nutností.

3 European Train Control System (ETCS)⁹

Obecnými principy, vlastnostmi a nasazením vlakového zabezpečovače ETCS se zabývají zdroje (1), (5), (8), (9) a (10). Autoři článku je uvádí jako zdroj možných informací, protože si nekladou za cíl zde popisovat již známé informace o tomto systému. Nicméně z hlediska účelu článku je vhodné zdůraznit některé aspekty ETCS.

3.1 Důležité aspekty ETCS

Důvodem vytvoření specifikací ETCS, resp. ERTMS/ETCS je dosažení interoperability evropského železničního prostoru při zajištění bezpečnosti z hlediska subsystému „řízení a zabezpečení“ (TSI CCS – Technical specification for interoperability Control command and signalling (11)). Systém ETCS nestanovuje, jak řešit specifika jednotlivých národních železničních infrastruktur, aby byla interoperabilita dosažena, ale stanovuje mandatorní datový a funkční rámec, jaký musí být bez ohledu na specifika jednotlivých národních železničních infrastruktur splněn, aby byla interoperabilita dosažena.

Vzhledem k předchozímu není primárním účelem ETCS zvýšit bezpečnost národních železnic, tam kde není dostatečná, resp. kde jsou v tomto směru rezervy. Nicméně nasazení ETCS může výrazným způsobem bezpečnost provozu i z ryze národního hlediska zvýšit, pokud daná národní železnice doposud vlakovým zabezpečovačem s úplnou kontrolou rychlosti nedisponuje, což je i případ železnic v České republice. Samozřejmě se nepředpokládá, že ETCS bude nasazeno s tím, že bezpečnost poklesne – smyslem uvedeného je, že nasazení ETCS automaticky neznamená zvýšení bezpečnosti, je nutné systém implementovat do národního prostředí při uvážení nejen všech hledisek technických, ale i legislativních, předpisových, normativních a rovněž i hledisek, která nejsou kodifikována vůbec či jen částečně, mezi něž patří typicky provozní zvyklosti.

Systém ETCS má jednotné specifikace, resp. specifikace vznikají na základě daného jediného procesu, zastřešovaného a řízeného Evropskou agenturou pro železnici (12). Z hlediska struktury se ETCS skládá ze dvou hlavních částí – části stacionární a části mobilní, přičemž specifikace se věnují zejména, resp. daleko především:

- a) Definici informací, jejich významu a datových struktur (reprezentujících takové informace) přenášených mezi stacionární a mobilní částí.
- b) Definici vlastností mobilní části.

Vlastnosti stacionární části jsou však definovány v minimálním nezbytném rozsahu (až na výjimky – typicky RBC/RBC Handover) pro zajištění jednoznačného významu informací přenášených do mobilní části. Jak stacionární část vytvoří příslušné informace, logicky souvisí s vlastnostmi stávající zabezpečovací infrastruktury

⁹ ERTMS/ETCS – Evropský vlakový zabezpečovač (European Train Control System) dílčí subsystém Evropského systému řízení železniční dopravy (European Rail Traffic Management System).

(SZZ¹⁰, TZZ¹¹, PZ¹²) a s pravidly a postupy řízení provozu, které zase určují, kdy a jak se uplatní příslušné vlastnosti SZZ, TZZ a PZ.

Systém ETCS, jakožto vlakový zabezpečovač, je schopen zajistit dohled jen v intencích informací, které jsou mu aktuálně dostupné. Vzhledem k tomu, že provozní aspekty železničního provozu, které jsou přímo určující pro jeho bezpečnost, jsou v rámci jednotlivých národních železnic značně rozmanité, a mnohdy mohou být i vzájemně se vylučující (typicky se jedná o odlišnosti ve zvládnání mimořádností, poruch a uplatnění dodatečných restrikcí), musí na druhou stranu systém ETCS disponovat značnou variabilitou, aby mohl být v prostředí národních železnic všech zúčastněných států implementován. Variabilita spočívá v dostatečně širokém spektru hodnot, resp. významu přenášených informací mezi stacionární a mobilní částí ETCS, a tím i dostatečně širokém spektru požadovaných interoperabilních vlastností mobilní části ETCS, tak aby byl interoperabilní provoz možný v podmínkách rozličných železničních infrastruktur. Mobilní část ETCS tak musí zvládat dohlížet jízdu vozidla nejen nad velkým rozsahem hodnot parametrů (v porovnání s dosavadními srovnatelnými vlakovými zabezpečovači), ale i v nezanedbatelně větší množině režimů (módů) a přechodových procedur mezi nimi (podle systémové verze kolísá počet módů kolem 16, tj. 16² hypotetický přechodů – zhruba polovina je relevantní, viz SUBSET-026-4 (13) dostupný na (14), než jakou kdy jiný vlakový zabezpečovač disponoval. Tím je z principu systému ETCS „v rodném listu“ předurčena poměrně značná složitost, která je ještě umocněna potřebou zvládnutí zpětné kompatibility mezi různými systémovými verzemi ETCS (15), (16). Jako paradoxní se poté může jevit, že (aktuálně) jen jediný z módů fakticky představuje plné přenesení zodpovědnosti za dohled nad jízdou vozidla na vlakový zabezpečovač. Ostatní módy slouží k přechodu pod dohled, k uvolnění z dohledu, k iniciaci systému, k umožnění jízdy s částečnou nebo úplnou zodpovědností strojvedoucího v různých běžných (zahájení jízdy, posun) i nestandardních (porucha, mimořádnost, výluka) situacích apod. A právě zejména tyto situace jsou značně závislé na specifických podmínkách dané národní železnice. S komplexností technicko-provozních vlastností ETCS pak souvisí i komplexnost specifikací, resp. jejich řízení, které musí postihnout požadavky jednotlivých zainteresovaných subjektů¹³ (nezřídká protichůdných) oprávněných přímo zadávat CRs (viz dále), poznatky z již realizovaných projektů nasazení ETCS, řešení identifikovaných chyb, nedostatků, nekonzistencí či případně hazardů, a s tím související evoluci/rozvoj specifikací a kompatibilitu mezi různými systémovými verzemi ETCS.

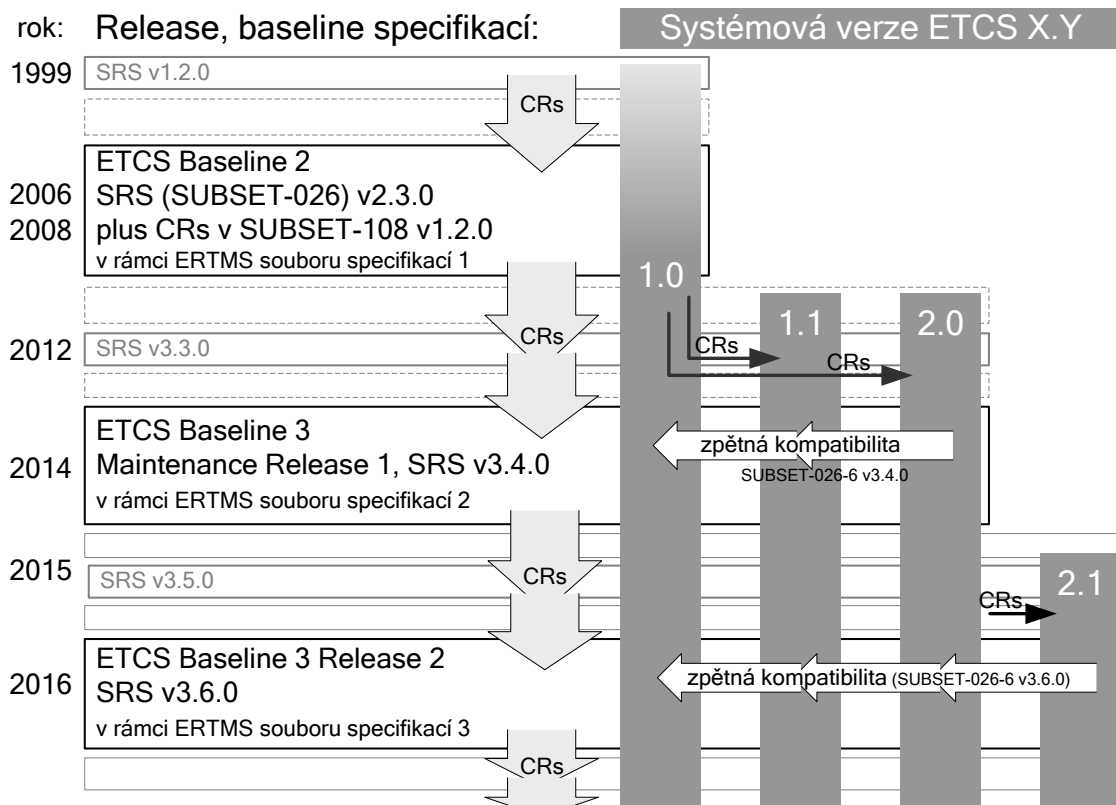
Rámcový ilustrativní vztah v čase se vyvíjejících specifikací mezi sebou navzájem a vůči systémovým verzím ETCS je znázorněn na obrázku 5.

¹⁰ SZZ – staniční zabezpečovací zařízení

¹¹ TZZ – traťové zabezpečovací zařízení

¹² PZ – přejezdové zabezpečení

¹³ Např./zejména: ERA (www.era.europa.eu), ERTMS U.G. (www.ertms.be), UNISIG, resp. UNIFE (www.unife.org), EIM (www.eimrail.org), CER (www.cer.be), ERFA (www.erfarail.eu), NB-Rail Association AISBL (www.nb-rail.eu). Úplný seznam je dostupný zde: https://www.era.europa.eu/agency/stakeholder-relations/representative-bodies_en



Obrázek 5: Vydání a verze specifikací ETCS a systémové verze ETCS

Zdroj: autoři

Veškerý vývoj specifikací ETCS probíhá skrze požadavky na změnu, tj. Change Requests – tedy „CRs“ (jeden požadavek na změnu pak „CR“). Zainteresované subjekty vznášejí svůj požadavek či námět právě prostřednictvím vytvoření příslušného CR, resp. požadavky/náměty prostřednictvím CRs, nad kterými pak probíhají veškeré další aktivity – v důsledku znamenající přijetí CR, resp. jeho další rozpracování, nebo jeho odmítnutí. Každé vydání (release, baseline) specifikací ETCS pak vlastně představuje množinu CRs zahrnutých do modifikace (eventuálně i množinu vyloučených CRs) jiného předchozího vydání. Různé systémové verze ETCS v rámci jednoho vydání specifikací ETCS jsou pak definovány výčtem odlišností od základní podoby specifikací (která odpovídá typicky/doposud nejvyšší systémové verzi ETCS platné v rámci daného vydání specifikací ETCS). Za výčtem výjimek se de facto opět skrývají různé množiny CRs.

Dle TSI CCS (11) příloha A jsou aktuálně relevantní a formálně vydány tři tzv. soubory specifikací (Set of specifications) – 1 (17), 2 (18) a 3 (14). (Rozcestník k jednotlivým souborům specifikací je dostupný na webu ERA (19)).

3.2 Obecné principy dohledu snížení rychlosti v ETCS

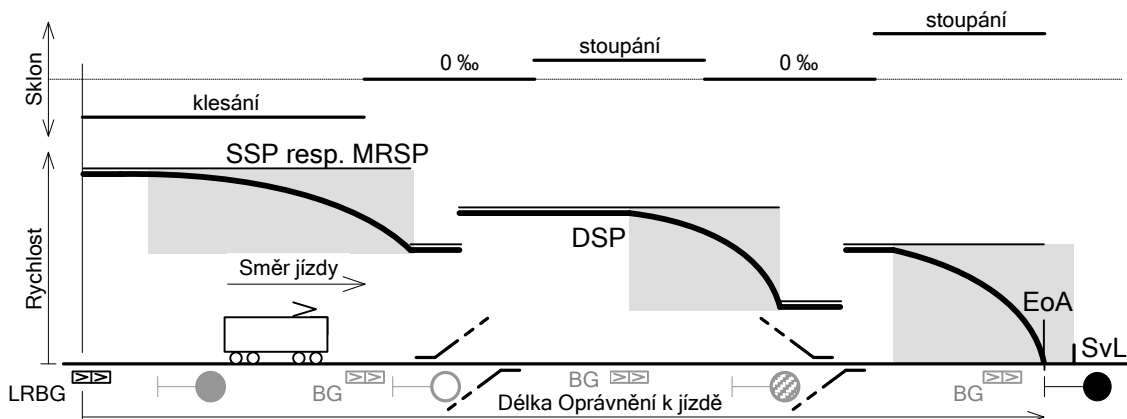
Stručně řečeno (podrobné informace jsou uvedeny v odkazovaných specifikacích výše) princip dohledu nad jízdou vozidla v ETCS L2 spočívá ve vytvoření a předání mobilní části ETCS na vozidle oprávnění k jízdě¹⁴ spolu se statickými rychlostními profily¹⁵, sklonovým profilem a případnými dalšími rychlostními omezeními (tzv. popis

¹⁴ MA – Movement Authority

¹⁵ SSP – Static Speed Profile

trati) (5). Co do polohy jsou tyto informace vztaženy k balízovým skupinám¹⁶ umístěným v kolejišti. Balízová skupina, ke které se vztahuje aktuální MA a popis trati hraje v dané situaci roli tzv. poslední platné balízové skupiny¹⁷, vytvoření balízového souřadného systému.

Z různých rychlostních omezení, kterých pro daný typ vozidla/vlaku může být pro jednu polohu na trati více, vytvoří mobilní část ETCS nejvíce omezující rychlostní profil¹⁸.



Obrázek 6: Od předaného MA a popisu trati po DSP

Zdroj: autoři

Na základě MRSP, sklonového profilu a dalších parametrů vozidla/vlaku provede mobilní část ETCS výpočet dynamického rychlostního profilu¹⁹. Podle DSP pak dohlíží nad jízdou vozidla – s více odrychlovacími, tedy brzdnými křivkami, resp. dohledovými limity pro jednu změnu rychlosti (varovná křivka a intervenční křivka provozní brzdy, varovná křivka a intervenční křivka nouzové brzdy, ...), oblast brzdných křivek a dohledových limitů je na obrázku 6 naznačena šedivým podbarvením (křivka jako taková je pro ilustraci znázorněna pouze jedna). Je vidět, že při dohledu do zastavení mohou některé křivky zasahovat až za EoA – dohlížená poloha²⁰ je za EOA, pokud k tomu jsou z hlediska infrastruktury splněny podmínky.

3.3 Vlastnosti ETCS ohledně dohlížení zastavení

Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, je hlavní a zcela zásadní změnou ze zavedení ETCS na síti SŽDC plynoucí úplný dohled a kontrola rychlosti pomocí zabezpečovacího zařízení. Na obrázcích 2 až 4 jsou příklady dohledu nad zastavením vozidla, které rámcově odpovídají i dohledu nad zastavením v ETCS.

Základním předpokladem správné funkce tohoto dohledu je dostatečně přesný matematicko-fyzikální popis chování vozidel během jízdy a brzdění a schopnost bezpečnostně-kritického řídicího systému podle takového modelu dohled vykonávat. V případě ETCS je definice uvedeného obsahem zejména části specifikací v SUBSET-026-3 (14), (17) a (18), přičemž konkrétní provedení dohledu a hlavně

¹⁶ BG – Balise Group

¹⁷ LRBG – Last Relevant Balise Group

¹⁸ MRSP - Most Restrictive Speed Profile

¹⁹ DSP – Dynamic Speed Profile

²⁰ SvL – Supervised Location

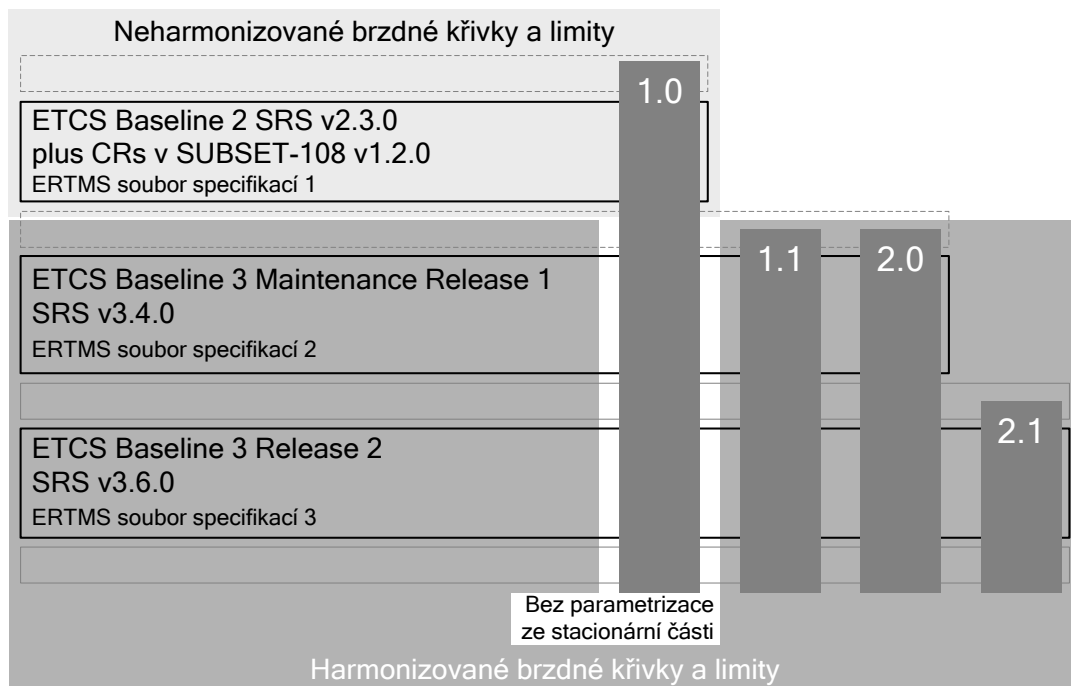
model brzdění doznal zásadního vývoje a i do budoucna lze očekávat, že se celý princip dohledu bude modifikovat a zpřesňovat.

Základní přehled aktuálního stavu ohledně dohlížení zastavení, resp. snížení rychlosti v ETCS poskytuje dokument Introduction to ETCS braking curves od ERA (20).

Model brzdění vlaku a z toho odvozené dohledové, resp. intervenční limity je aktuálně definován, a lze ho tak i použít ve dvou zásadně odlišných podobách:

- Pro vydání (release) specifikací ETCS Baseline 2, tj. SRS (SUBSET-026) verze 2.3.0 (plus SUBSET-108 verze 1.2.0) – viz (17), jsou definovány brzdné křivky a dohledové limity, které jsou svým charakterem neharmonizované. To znamená, že algoritmická implementace je čistě záležitostí konkrétního výrobce a dále že parametrizace takových křivek a limitů pro příslušný typ vozidla v kontextu specifik určité národní železniční infrastruktury může být nevyhovující pro dohled nad jízdou vozidla na jiné národní železniční infrastruktuře, přičemž manažer železniční infrastruktury nemá možnost parametrizaci při příjezdu vozidla změnit. Důsledky mohou být nejen provozně omezující (příliš přísné křivky a limity), ale nelze vyloučit ani nebezpečné důsledky, kdy by naopak benevolentnější křivka byla přijatelná na určité národní železniční infrastruktuře, ale jinde by byla chápána jako nedostání zodpovědnosti za bezpečný dohled nad jízdou, resp. zastavením vlaku. Proto jsou tyto křivky a limity parametrizovány obecně restriktivněji (podstatně dřívější zahájení brzdění). Fakticky jsou aktuálně široce používány pouze tyto křivky a limity, a jsou tak s jejich nasazením v ETCS v rámci evropského železničního prostoru největší zkušenosti.
- Jedním z hlavních důvodů tvorby a vydání specifikací ETCS Baseline 3 je právě očekávaný pokrok v otázce brzdných křivek a dohledových limitů. Od verze 3.0.0 specifikují SRS harmonizované křivky a limity, které jsou s dílčími úpravami, resp. odlišnostmi součástí obou příslušných souborů specifikací, tj. 2 (18) a 3 (14). Hlavním rysem těchto křivek a limitů je jednoznačná specifikace jejich algoritmického dohlížení, což umožňuje konfiguračně parametrizovat jejich podobu při příjezdu vozidla na konkrétní národní železniční infrastrukturu na základě dat ze stacionární části ETCS stanovených manažerem infrastruktury. S ohledem dopadu na provoz je možnost parametrizace křivek a limitů flexibilnější, nicméně „worst case“ přístup je stále relevantní, a otázkou tak zůstává, jak stanovit optimální hodnoty parametrů. Zkušenosti s dohledem dle harmonizovaných křivek a limitů jsou prozatím malé (primárně probíhají zkušební a ověřovací realizace, resp. komerční realizace se začínají provozovat de facto až nyní.) Zevrubně se těmto perspektivním křivkám a limitům a jejich dohledu věnuje článek (21). Obecně jsou harmonizované křivky a limity relevantní pro mobilní části realizované dle Baseline 3 specifikací ETCS. V systémové verzi 1.0 je však irelevantní parametrizace ze stacionární části ETCS (a to z důvodů zachování zpětné kompatibility skrze celou systémovou verzi 1.0 bez ohledu na vydání specifikací), u harmonizovaných křivek se tak uplatní jen jejich výchozí parametry.

Rámcový vztah mezi (ne)harmonizovanými křivkami a limity a Baseline specifikací ETCS spolu se systémovými verzemi ETCS je souhrnně znázorněn na obrázku 7.



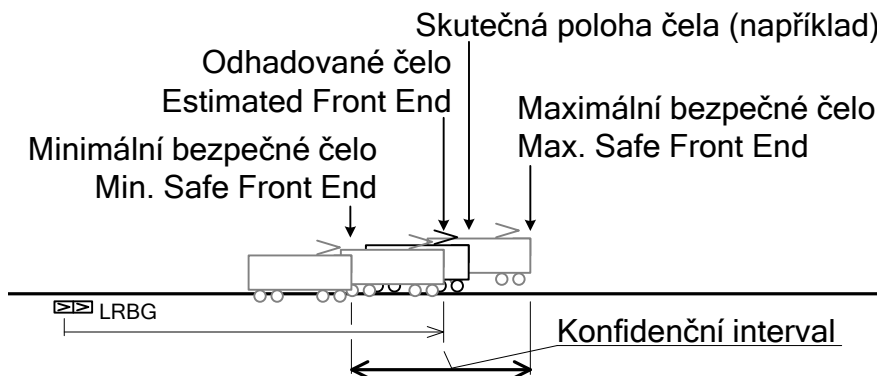
Obrázek 7: Harmonizace brzdných křivek a dohledových limitů ve vztahu k verzi specifikací ETCS a systémové verzi ETCS

Zdroj: autoři

Dohlížení snížení rychlosti dále pak bytostně souvisí s přesností určení polohy dohlíženého vozidla, resp. jeho příslušné části vůči místům na infrastruktuře, kde začíná omezení rychlosti, či kde se nachází nejzazší místo zastavení. Do toho promlouvá několik faktorů:

- Přesnost měření ujeté vzdálenosti od referenční polohy, kterou představuje balízová skupina. Hovoříme zde o tzv. chybě odometrie.
- Přesnost detekce (kontaktování) referenční balízy v balízové skupině.
- Přesnost určení/zaměření umístění balízové skupiny v rámci kolejiště.
- Přesnost určení/zaměření vzdáleností v kolejišti. Jedná se vlastně jen o zobecnění předchozí bodu, kdy nejde pouze o přesnost polohy vlastní balízy, ale v důsledku o přesnost určení relativních vzdáleností mezi balízovými skupinami a místy zastavení (EOA a SvL), resp. změn rychlostí.

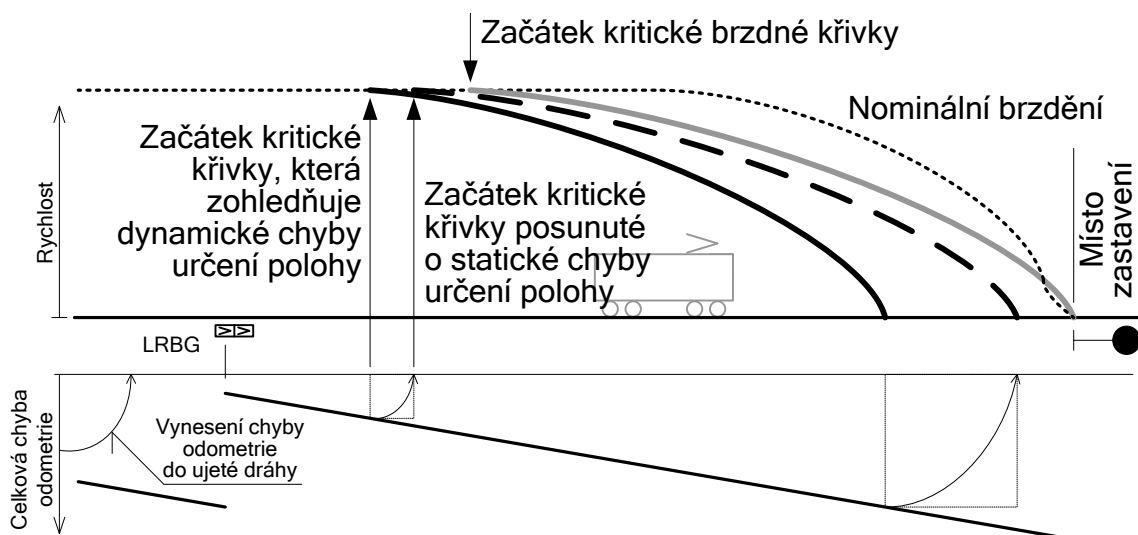
Pro dohled nad snížením rychlosti je kritická vzdálenost čela vlaku k místu zastavení či změně rychlosti. Do této vzdálenosti palubní část ETCS právě modeluje brzdné křivky a dohledové limity, přičemž rozptyl způsobený uvedenými nepřesnostmi se zohledňuje jako interval možného výskytu čela vozidla – tzv. konfidenční interval. Tento interval je dán polohou tzv. minimálního čela vlaku, která v důsledku určuje maximální vzdálenost, jaká mezi skutečným čelem vlaku o polohu zastavení (změny rychlosti) reálně ještě může být, a zejména pak polohou maximálního čela vlaku, která naopak vede na kritickou minimální vzdálenost, ve které se skutečně čelo vlaku vůči poloze zastavení (změny rychlosti) už může nacházet.



Obrázek 8: Konfidenční interval

Zdroj: autoři

Kritická dohlížená vzdálenost je tedy dána polohou maximálního čela, reálně se však může skutečné čelo vlaku nacházet v poloze odpovídající minimálnímu čelu. V takovém případě připadá celá délka konfidenčního intervalu v neprospěch provozních ukazatelů.



Obrázek 9: Ilustrace vlivů nepřesností určení polohy v ETCS na brzděné křivky a dohledové limity

Zdroj: autoři

Provozně negativní vliv nepřesností určení polohy ilustruje – sice jen velmi hrubě, ale dostatečně výmluvně – obrázek 9. Nominální průběh brzdění, tj. brzdění za stávajícího stavu – bez vlakového zabezpečovače s úplným dohledem rychlosti, do polohy zastavení znázorňuje tenčí, jemně čárkovaná křivka. Kritická brzděná křivka, resp. dohledový limit zohledňující nejméně příznivé („worst case“) brzděné schopnosti vozidla je zobrazena tlustější šedou křivkou. Nepřesnosti určení polohy pak mají dva vlivy. Jednak se projevují statické nepřesnosti primárně vycházející z omezené přesnosti určení, resp. zaměření vzájemných vzdáleností v kolejišti. Tyto nepřesnosti se reálně do procesu dohledu nad odrychlením vozidla v mobilní části ETCS dostávají ze stacionární části buď skrze proměnnou Q_LOCACC (ta je

součástí paketu, tzv. vazebních informací, Linking, kterými se vytváří vztahy mezi balíčovými skupinami), která přímo ovlivňuje konfidenční interval, nebo jsou zohledněny přímo ve vlastních délkových parametrech dohledových informací. V každém případě v důsledku tyto nepřesnosti mohou v provozně nejméně příznivém případě znamenat, že dohlížené vzdálenosti do místa zastavení, resp. rychlostního omezení jsou kratší než ty reálné, což je na obrázku 9 znázorněno posunutím původní kritické brzdě křivky (dohledového limitu) o onu statickou nepřesnost vstříc čelu vlaku – viz tlustější čárkovaná křivka. Dále se projevují nepřesnosti dynamické, které se mění s ujetou vzdáleností od polohové reference, tedy od LRBG, a opět přímo ovlivňují, resp. de facto určují, konfidenční interval (hovoří se také o tzv. chybě odometrie). Dynamika takové chyby může být až \pm (5 metrů + 5 % z celkové vzdálenosti od LRBG) – viz SUBSET-041 článek 5.3.1.1 (14), (17) a (18), tedy v provozně nejméně příznivém případě to může v absolutní hodnotě být až 10 metrů + 10 % z ujeté vzdálenosti, o které je čelo vlaku uvažováno blíž místu zastavení či rychlostního omezení, než je reálně. Tato dynamická chyba je v obrázku 9 znázorněna nejen posunem křivky (viz tlustější plná černá čára), ale i její deformací, protože chyba odometrie je v uvedeném případě při zahájení brzdění menší, než při zastavení – křivka je tak paradoxně kratší, což si ale nelze vykládat jako změnu (zlepšení) uvažovaných brzděných schopností, ale naopak jako důsledek uvážení „worst case“ nepřesností. (Čistě jen pro dokreslení významu uvedené dynamické nepřesnosti v určení polohy se lze na ni dívat jako na chybu v určení rychlosti – měnící se přírůstek vzdálenosti lze vlastně reprezentovat jako rychlost.)

Jak kritický („worst case“) přístup k modelování brzděných schopností vozidel, tak pak promítnutí nepřesností v určení polohy čela vozidla do modelu, resp. do odvozených dohledových/intervenčních limitů vedou při nasazení ETCS na provozní omezení, která při jízdě na zodpovědnost strojvedoucího neexistovala, resp. nebylo zřejmé, v jaké míře v souvislosti se zvýšením bezpečnosti prostřednictvím ETCS, jakožto zabezpečovače s úplnou kontrolou rychlosti, budou taková provozní omezení existovat, a jak budou působit.

4 Bezpečnostní a provozní aspekty zajištění dohledu nad zastavením dle podmínek na infrastruktuře

4.1 ETCS z hlediska informací k zajištění dohledu nad zastavením poskytovatelných stacionární částí obecně

Základní informací, resp. datovou strukturou pro zajištění dohledu nad jízdou vozidla, kterou vytváří stacionární část ETCS (v případě ETCS L2 je to RBC), je oprávnění k jízdě – MA. Pro dohled nad zastavením je MA pak informací klíčovou. Tato datová struktura (stejně jako všechny další přenášené mezi stacionární a mobilní částí ETCS) je definovaná v SUBSET-026-7, popř. SUBSET-026-8, význam jednotlivých dat a práce s nimi jsou specifikovány v SUBSET-026-3 (14), (17) a (18).

Délka MA začíná u příslušné, samotným MA specifikované, BG a končí v poloze EOA, která představuje nejzazší místo zastavení, které ale nemusí být nutně nepřekročitelné. Skutečně dohlížená nejzazší poloha je SvL, která nemusí být totožná s EOA, resp. může ležet za EOA, pokud jsou k tomu na infrastruktuře podmínky.

Celá délka MA může být rozdělena do více dílčích částí (section) – sekcí, pokud je to potřebné, kde z hlediska provozních dopadů dohlížení zastavení je podstatná

poslední sekce (last section). Každé MA obsahuje alespoň poslední sekci. Ve vztahu ke každé sekci MA jsou, resp. mohou být definovány parametry:

- Délka sekce MA (celková délka všech sekcí pak představuje délku celého MA).
- Doba platnosti sekce MA (volitelný parametr), uvádí časový interval (začátek intervalu je de facto okamžik odeslání MA z RBC, resp. vytvoření MA v RBC), po jehož uplynutí se délka MA zkrátí na začátek příslušné sekce.
- Poloha ukončení měření doby platnosti sekce MA (volitelný parametr současně s předchozím) – vzdálenost od začátku příslušné sekce, kdy po dosažení této polohy minimálním bezpečným čelem se ukončí měření doby platnosti sekce.

K poslední sekci MA pak navíc může mít definovány volitelné parametry:

- Časový interval zkrácení MA k čelu vlaku.
- Poloha spuštění časovače zkrácení MA k čelu vlaku (volitelný současně s předchozím).
- **Poloha bodu ohrožení za EOA (D_DP).**
- **Uvolňovací rychlost²¹ asociovaná s bodem ohrožení** (volitelný současně s předchozím).
- **Délka prokluzového úseku (D_OL).**
- **Časovač platnosti prokluzového úseku** (volitelný současně s předchozím)
- **Poloha před EOA, ve které se spustí časovač platnosti prokluzového úseku** (volitelný současně s délkou prokluzového úseku).
- **Uvolňovací rychlost asociovaná s prokluzovým úsekem** (volitelný současně s délkou prokluzového úseku).

Zvýrazněné parametry v uvedeném výčtu nabízí mechanismy, jak na straně ETCS zmírnit či případně úplně eliminovat provozní dopad kritických brzdných křivek a dohledových limitů²² na dohlížená vozidla. Tyto mechanismy je samozřejmě relevantní použít pouze v případě, že to stávající infrastruktura umožňuje.

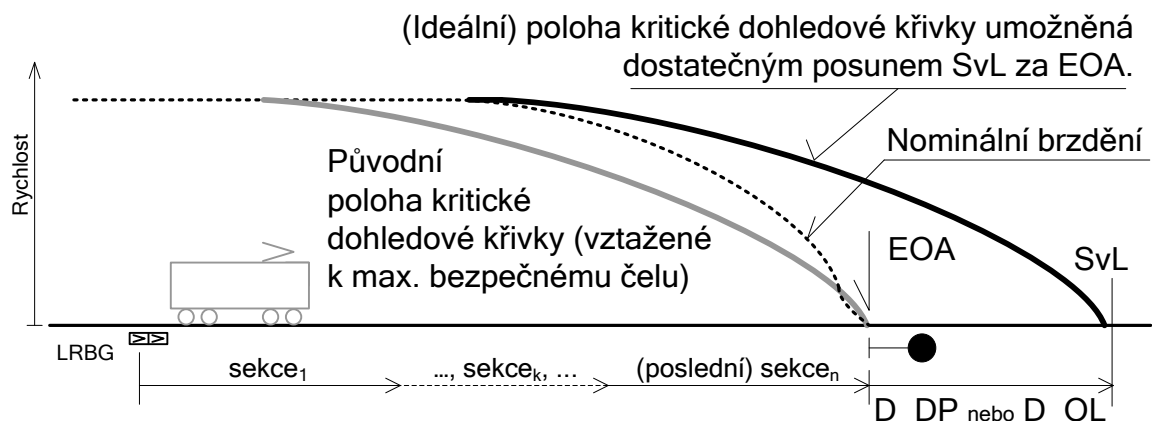
Jak uplatnění bodu ohrožení²³, tak prokluzového úseku²⁴ umožňuje právě posunutí SvL za EOA. Což vede k posunutí dohledových křivek vztažených k maximálnímu bezpečnému čelu dle vzdálenosti mezi EOA a SvL (viz ilustrace hypotetického chování na obrázku 10).

²¹ Release speed

²² V dalším textu je používán souhrnný pojem „dohledové křivky“, resp. „kritické dohledové křivky“.

²³ DP – Danger Point

²⁴ OL – Overlap distance

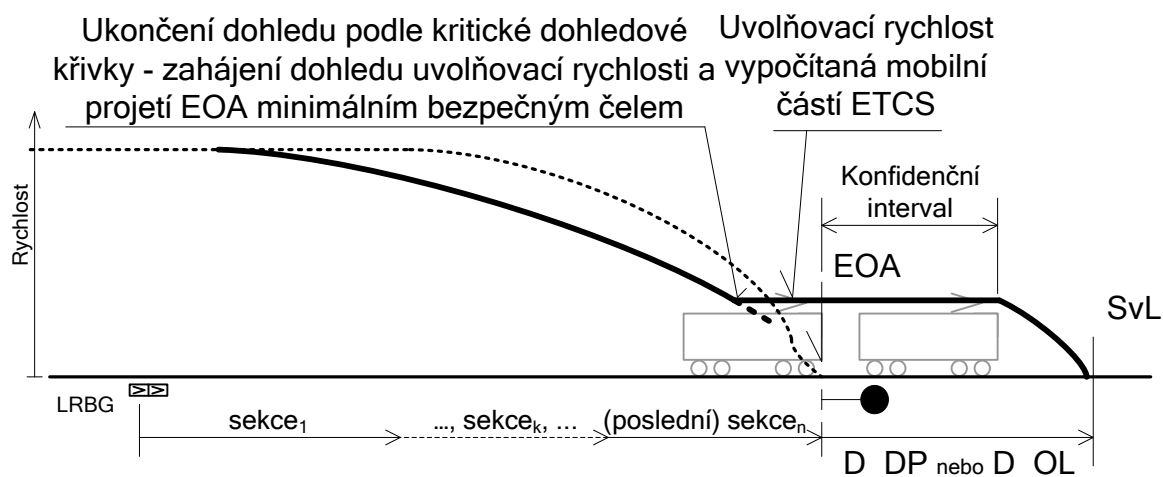


Obrázek 10: Uplatnění DP nebo OL za EOA (Hypotetická situace ilustrující význam posunu SvL, **fakticky se posunují SvL za EOA využije skrze uvolňovací rychlost, viz dále.**)

Zdroj: autoři

S DP i OL je asociována uvolňovací rychlost, která umožňuje pohyb čela vozidla – přesněji jeho konfidenčního intervalu – v okolí EOA, a to maximálním čelem až do polohy SvL (DP nebo OL), kdežto minimální bezpečné čelo je dohlíženo k poloze EOA, přičemž při eventuálním přjetí polohy EOA minimálním bezpečným čelem dojde k aktivaci nouzové brzdy. Stanovení velikosti uvolňovací rychlosti lze v zásadě provést dvěma způsoby:

- Uvolňovací rychlost vypočítá mobilní část ETCS, a to tak (takovou velikost) aby při případném přjetí EOA minimálním bezpečným čelem nouzová brzda zastavila vlak maximálním bezpečným čelem nejpozději v poloze SvL. (Viz obrázek 11.)

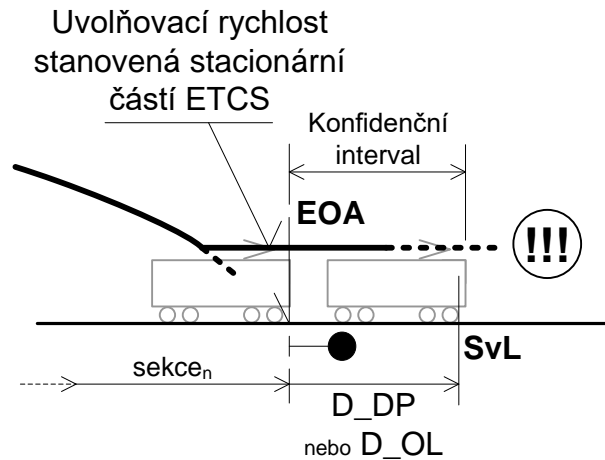


Obrázek 11: Uvolňovací rychlost počítaná mobilní částí ETCS.

Zdroj: autoři

- Uvolňovací rychlost je zadána ze stacionární části (lze určit/zadat specificky pro každé jednotlivé MA, nebo obecně v rámci tzv. národních hodnot). Správná volba uvolňovací rychlosti je pak záležitostí stacionární části ETCS,

kdy její hodnota musí být zvolena s ohledem na míru přijatelného rizika, že maximální bezpečné čelo přejede SvL. (Viz obrázek 12.)

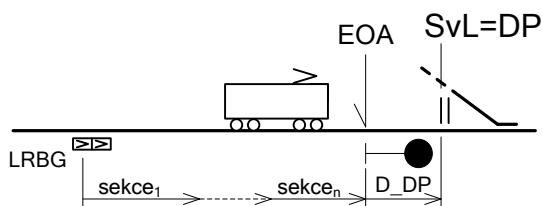


Obrázek 12: Uvolňovací rychlost dle stacionární části ETCS

Zdroj: autoři

Rozdíl mezi DP a OL (viz obrázek 13) spočívá v parametrech, které umožňují uplatnit „předdefinované“ dodatečné restriktce i v případě, kdy dojde ke ztrátě možnosti posílat je z RBC (typicky při výpadku komunikace). Prokluzový úsek (OL) těmito parametry disponuje, bod ohrožení (DP) nikoliv – jedná se o časovač prokluzového úseku a vzdálenost před EOA, ve které se má tento časovač spustit. Jakmile vozidlo dosáhne svým maximálním bezpečným čelem uvedené polohy, spustí mobilní část ETCS časovač a po jeho uplynutí si přesune SvL do polohy EOA, popř. DP, pokud je použit.

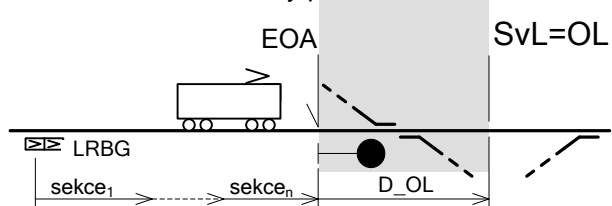
Použití DP - část kolejiště za EOA k nejbližšímu místu, kde reálně může dojít k fatalitě (střet, vykolejení)



a)

Použití OL

Prvky pod závěrem - cíleně vyhrazeny pro účely prokluzového úseku



b)

Obrázek 13: Použití bodu ohrožení (DP) a prokluzového úseku (OL)

Zdroj: autoři

Tento rozdíl předurčuje použití obou mechanismů. DP se jeví vhodnější využít v situacích, kdy je část kolejiště za EOA dostupná bez dalších omezení nad rámec těch, kterými je ošetřeno MA, přesněji poslední sekce MA. Tedy pokud není třeba SvL za EOA odebrat z MA dřív, než bude odebráno, resp. zkráceno MA jako takové, pak lze vzdálenost za EOA dát vozidlu k dispozici pro eliminaci provozních dopadů

dohledových křivek prostřednictvím DP. Tato situace nastane typicky tam, kde dostupnost vzdálenosti za EOA souvisí s výlukami protisměrných jízdních cest na kolej před EOA, kdy i pohyb vozidla po staniční koleji musí být omezen, tedy i platnost MA, které tento pohyb umožňuje, musí být v souvislosti s výlukami protisměrných cest omezena.

V situacích, kdy naopak MA pro dohled nad pohybem vozidla před EOA má být platné déle, než jaká bude dostupnost kolejiště za EOA, je vhodné k tomu využít OL, který lze samostatně časově omezit. Je zřejmé, že takové omezení bude souviset se závěrem úseků za EOA, v situacích, kdy není žádoucí blokovat kolejiště za koncem jízdní cesty (kde by fakticky k obsazení vozidlem dohlíženým daným MA mělo dojít jen v mezních situacích) stejně dlouhou jako protisměrné jízdní cesty na kolej před EOA (kde je naopak výskyt dohlíženého vozidla jistý).

Mimo posun SvL za EOA prostřednictvím DP nebo OL lze u mobilních částí ETCS, které jsou v souladu s vydáním specifikací Baseline 3 a disponují funkcionalitou odpovídající systémové verzi ETCS 2 nebo 1.1, ovlivnit podobu dohledových křivek i z hlediska jejich průběhu (strmosti), a to na základě parametrů zaslaných ze stacionární části ETCS. K tomu účelu slouží v systémové verzi ETCS 2 část datové struktury (paketu) „Národní hodnoty“²⁵, v systémové verzi ETCS 1.1 pak datová struktura (samostatný paket – z důvodů zpětné kompatibility) „Národní hodnoty pro brzděné křivky“. Schopnost modifikovat pomocí těchto parametrů dohledové křivky natolik, že se výsledné brzdění významně přiblíží brzdění nominálnímu a zároveň zůstane zodpovědnost za dohled nad zastavením na mobilní části ETCS, by vedla k podstatnému snížení provozních dopadů (pro vozidla vybavená novějšími verzemi mobilní části ETCS). Aktivita směřující k uplatnění tohoto řešení probíhá (21).

4.2 Dohled nad zastavením ve stávajících podmínkách infrastruktury SŽDC

Aktuální provozní podmínky na infrastruktuře SŽDC a relevantní bezpečnostní principy související s dohledem nad zastavením v ETCS jsou:

- Délkám staničních kolejí téměř odpovídají maximální délky provozovaných vlaků.
- Minimalizace provozních intervalů (logický a oprávněný požadavek provozovatelů dopravy vedoucí k příslušnému úsilí manažera infrastruktury).
- Zastavení před danou polohou je plně v kompetenci strojvedoucího.
- Neexistence prokluzových úseků za koncem vlakových cest. Existující oblasti nezajištěné boční ochrany dle článku 9.3.2 normy TNŽ 34 2620 (22) slouží k jinému účelu a pro funkci prokluzového úseku je nelze použít.
- Vzdálenosti za koncem vlakových cest vedoucích na staniční kolej do místa potencionálního umístění bodu ohrožení (DP) až za odjezdová/cestová návěstidla jsou minimální. Jedná se maximálně o dvě desítky metrů, jen ve zcela výjimečných případech je delší.

Vzhledem k výše uvedenému je prostor (jak z hlediska polohy, tak i z hlediska času), ve kterém je strojvedoucí nucen se s vozidlem pohybovat, značně omezen. – Na jedné straně se vyžaduje maximalizace využití výkonnostních parametrů infrastruktury (minimalizace doby strávené na průjezdech traťovými úseky, stanicemi a i zadními zhlavími při dojezdech na staniční koleje při maximálním využití jejich délek) a na straně druhé nelze (ani v kritických, tj. nenominálních případech) překročit polohu, do

²⁵ National Values

keré je jízda vozidla povolena. Kromě dodržení principů a pravidel, které jsou nezbytné pro zajištění bezpečnosti provozu, jsou tak strojvedoucí vystaveni tlaku vyvolaného logickou a oprávněnou snahou maximalizovat výkonnost infrastruktury.

Bezpečnostní omezení, která by ze své podstaty vyžadovala určité provozní rezervy nad rámec fyzikálních a výkonových možností vozidel a infrastruktury a kterých by bylo možné dále využít, fakticky téměř neexistují. Z toho plyne, že nelze vůbec, nebo lze jen omezeně, čerpat „volnou kapacitu infrastruktury“ pro možnost realizace dohledových funkcí nikoliv inteligentního, ale bezpečného (ve smyslu Fail-safe) vlakového zabezpečovacího zařízení, tak aby tento mohl plně převzít zodpovědnost za dohled mezních parametrů jízdy vlaku.

5 Možnosti optimalizace dohledu nad zastavením v podmínkách infrastruktury SŽDC

V této části článku jsou rámcově popsány možnosti optimalizace dohledu nad zastavením v konkrétních podmínkách infrastruktury SŽDC, a to mnohdy vyložené jen ilustrativní formou. Účelem je umožnit čtenáři zorientovat se v problematice, nikoliv podat vyčerpávající rozbor jednotlivých variant, a už vůbec ne jejich kombinací²⁶.

Níže jsou uvedeny všechny faktické možnosti s kratším či rozsáhlejším komentářem, přičemž relevance jejich uplatnění komentována být může, ale takový komentář nepředstavuje stanovisko autorů k uplatnění či neuplatnění, pouze se snaží upozornit na širší kontext, v jakém se takové řešení eliminace provozních dopadů dohledu zastavení v ETCS na příslušných fórech bude posuzovat, může posuzovat, popř. již posuzuje. Tam kde jsou autorům známy veřejně dostupné zdroje k dané možnosti optimalizace, resp. k danému řešení eliminace, jsou tyto zdroje uvedeny.

5.1 Násobné balízkové skupiny před EOA

Obecně uplatnitelný přístup, kdy se v místech, kde se vozidlo obvykle dostává díky kritické brzdné křivce na neudržitelně nízkou rychlost, umístí další BG, která sníží nepřesnost určení polohy a tím se i „posune“ dohledová křivka do polohy více odpovídající skutečnému čelu vozidla (kratší vzdálenost k místu zastavení od LRBG – viz výše článek 3.3, obrázky 8 a 9 a příslušný text). Určitou komplikací je, že poloha „již neudržitelně nízké rychlosti“ je pro různé vlaky různá. Řešení samo o sobě přináší dílčí zlepšení, význam má zejména v kombinaci s dalšími možnostmi optimalizace.

5.2 Prodloužení délek staničních kolejí

Jestliže délka staniční koleje převyšuje délku nejdelší soupravy o více jak několik málo desítek metrů, je provozní dopad kritických dohledových křivek na vyklizení zadního zhlaví a na využití délky staniční koleje i pro nejdelší vlaky (vybavené mobilní částí ETCS) menší až výrazně menší.

²⁶ Do jisté míry je toto přirozenou vlastností článků tohoto typu, nicméně speciálně v tomto konkrétním případě považují autoři za vhodné takovou skutečnost zdůraznit.

Tento způsob optimalizace však přichází v úvahu pouze u novostaveb a rekonstrukcí většího rozsahu, kdy se podstatně mění i topologie kolejiště. Evidentní jsou větší nároky na dostupný prostor na úkor jeho jiného využití²⁷.

Nicméně uplatnění této optimalizace je jedním z předmětů zásad (23).

5.3 Posunutí SvL prostřednictvím DP nebo vytvořením prokluzových úseků

Posunout SvL za EOA bez jakýchkoliv úprav infrastruktury (včetně stávajícího zabezpečovacího zařízení) lze maximálně jen na několik málo desítek metrů. V takovém případě nemá smysl ponechat stanovení uvolňovací rychlosti na mobilní části ETCS, protože ta pak vyjde nepoužitelně nízká. Situace se začíná měnit s délkou posunu SvL za EOA od sta, resp. stovek metrů – k tomu je ale ve většině případů potřeba vyloučit část kolejiště za EOA (tj. za koncem vlakové cesty).

V případě, že má být zvolena krátká vzdálenost posunutí SvL za EOA, je vhodným prostředkem DP. Uvolňovací rychlost má v takovém případě smysl, jen pokud bude stanovena stacionární částí ETCS, což přináší riziko projetí DP, resp. SvL, pokud by strojvedoucí selhal. Takové riziko bude poměrně nízké, pokud rychlost před EOA bude vyšší než rychlost uvolňovací, tím bude zajištěno, že vozidlo které na kolej před EOA, tj. na cílovou kolej vlakové cesty, vjíždí, muselo buď rychlost již snižovat, tj. strojvedoucí reagoval, nebo naopak bude brzdění vynuceno, pokud se ke konci vlakové cesty bude blížit maximální povolenou rychlostí, tj. rychlostí vyšší než uvolňovací.

Pokud je krátká vzdálenost nevyhovující, resp. je nežádoucí uvolňovací rychlost stanovena stacionární částí ETCS, musí se pro získání dostatečné délky k umístění SvL za EOA vyloučit příslušná část kolejiště za EOA. Zásady (23) uvádí tzv. *ochrannou dráhu*, což evokuje *prokluzový* či *pojistný úsek*, ale vzhledem k popsaným principům jejího použití (ochranná dráha má být vázána na vzájemnou vyluku příslušných jízdních cest) se jeví jako postačující uplatnit DP. Problematické uvolňovací rychlosti a s tím souvisejícímu DP se věnují prozatímní požadavky (24).

Uplatnění OL bude mít význam v případě, že ochranná dráha nebude vázaná na vzájemnou vyluku vlakové cesty, která ochrannou dráhu využívá, a jízdních cest, které jsou ochrannou dráhou vyloučeny, ale bude mít vlastní atributy platnosti (časový limit, popř. uvolnění povelom obsluhy) znamenající možnost dřívějšího uvolnění, a tedy i dřívější využitelnost jinými jízdními cestami, než je doba vyloučení protisměrných jízdních cest uvedené vlakové cesty. Fakticky takové řešení bude spočívat v měření časového limitu, které se zahájí při dosažení určité polohy čelem vlaku před koncem vlakové cesty, resp. před EOA. Po uplynutí této doby se na straně stavědla předpokládá, že vozidlo již stojí, a ochranná dráha může být uvolněna. Na straně mobilní části ETCS však musí být tato doba kratší, protože po jejím uplynutí si mobilní část teprve odebere OL, tím se SvL přesune do polohy EOA, tedy blíž čelu vlaku, a pokud vlak ve skutečnosti ještě nestojí, nemusí být jisté, že zastaví ještě před EOA. Proto musí být určitou dodatečnou dobu (rozdíl časového limitu na vozidle a ve stavědle) – dobu do zastavení – ochranná dráha ještě vyhrazena vlakové cestě. Otázkou pak zůstává, jak dlouhá taková doba do zastavení má být.

Tak jako tak (bez ohledu na to, zda se jedná o DP nebo OL) zřízení ochranné dráhy eliminuje provozní omezení vůči dohlíženému vozidlu, ale přirozeně představuje

²⁷ Inverzní alternativou k tomuto řešení je zkrácení maximálních délek vlaků.

provozní omezení pro ostatní vozidla, která nemohou oblast ochranné dráhy využít. Možnosti časového omezení platnosti OL, které si mobilní část ETCS dokáže dodatečně sama uplatnit, má smysl použít pro takové případné řešení, které by – právě díky uplatnění časového limitu – představovalo to nejmenší provozní omezení vůči ostatním vozidlům.

Jako velmi efektivní se jeví řešení uplatňující ochranné dráhy, ve kterém se její uvolnění odvozuje od stavu – přesněji: od polohy a rychlosti – dohlíženého vozidla. Pokud mobilní část ETCS informuje část stacionární o takovém stavu vozidla, ze kterého plyne, že aktuálně zastaví, popř. již stojí před EOA, není důvod dalšího využití ochranné dráhy, a prvky za koncem vlakové cesty je možné uvolnit. Toto řešení vyžaduje (i) opačnou komunikační vazbu z RBC do stávajících zabezpečovacích zařízení (do stavědel), tedy tzv. obousměrnou komunikaci – přesněji: Obousměrný přenos aplikačních dat. V takovém případě by z hlediska výběru mezi DP a OL (na straně ETCS) bylo určující, jak se má celé řešení chovat v poruchových stavech (typicky při výpadcích komunikací).

5.4 Modifikace brzdných křivek, resp. dohledových limitů (systémové verze ETCS 2 a 1.1)

Poměrně velká očekávání jsou spojena s výše několikrát uvedenou možností modifikace dohledových křivek. Naplnění těchto očekávání bude spočívat jednak v porozumění principům tvorby brzdných křivek a algoritmům dohlížení zastavení (21), nalezení optimálních hodnot parametrů, kdy se dohledové křivky budou znatelně blížit nominálnímu brzdění a zároveň budou ještě „dostatečně bezpečné“ – tedy zodpovědnost za dohled nad zastavením zůstane, resp. „zůstane v dostatečné míře“²⁸ na mobilní části ETCS, což bude i odsouhlaseno/potvrzeno příslušnými autoritami (hodnotícími institucemi). Nicméně pokud i po takové optimální parametrizaci zůstanou provozní dopady nežádoucí, tak systémové úpravy v principech stávající infrastruktury (viz výše) budou nevyhnutelné. Navíc zde ale působí i fakt, že modifikace dohledových křivek je možná pouze pro vozidla systémové verze ETCS 2 a 1.1 (Baseline 3). Aktuálně však jsou provozně nasazeny prakticky jen mobilní části realizované v rozsahu funkcí systémové verze ETCS 1.0 dle Baseline 2, resp. není úplně zřejmé, v jakém horizontu k dispozici budou v dostatečném množství mobilní části – přesněji vozidla s mobilní částí – dle Baseline 3, a to i přesto, že v rámci trhu Evropské unie se jejich dostupnost uvádí.

6 Stávající související prostředky a metody – porovnání s ETCS a možnosti vzájemné synergie v podmínkách infrastruktury SŽDC

Mezi prostředky, které jsou v současnosti na tratích SŽDC a příslušných vozidlech běžně používány a jejichž cíle nějak přímo či nepřímo s dohledem nad zastavením

²⁸ Ať už hypoteticky nebo fakticky může totiž nastat paradox, kdy na jedné straně bude odmítnuta uvolňovací rychlost z důvodu nežádoucího předání zodpovědnosti na strojevedoucího ve finální fázi přiblížení k místu zastavení (navíc poté, co technický systém vynutil brzdění), ale na druhé straně by byly přijaty brzděné křivky, které za nominálních podmínek sice zajistí dohled nad zastavením, ale v mezních podmínkách by dohled nad zastavením zajistit nedokázaly, a to v celé své délce (resp. nejen až při nižších rychlostech) a bez jakéhokoliv předchozího upozornění obsluze vozidla.

souvisí, patří spolehlivá (v technickém smyslu nikoliv bezpečná) funkce VNPN (výstraha při nedovoleném projetí návěstidla), jejíž zavádění představuje nikoliv nepodstatný přínos k bezpečnosti, byť se nejedná o funkci ve smyslu zabezpečovací techniky, přičemž k její realizaci lze v principu využít jakýkoliv komunikační kanál mezi tratí a vozidlem, který poskytuje rozhraní pro přijetí podnětu k aktivaci brzdy na stacionární straně a vydání tohoto podnětu na vozidle (aktuálně je k tomuto účelu používána síť TRS²⁹ a její funkce generálního stop). K vydání podnětu na stacionární straně dochází při vyhodnocení jízdy vozidla kolem návěstidla zakazujícího jízdu, následně je podnět přenesen na všechna komunikující vozidla v dané oblasti – na daných kanálech, kde dojde k aktivaci nouzové brzdy. V případě ETCS, pokud se uplatňuje uvolňovací rychlost, kdy existuje jistá míra rizika vlivu lidského činitele na projetí konce oprávnění k jízdě, bude podnětem k aktivaci nouzové brzdy mobilní část systému na vozidle v okamžiku, kdy minimální bezpečné čelo mine konec oprávnění k jízdě, tj. EOA. K aktivaci nouzové brzdy, tedy oproti VNPN, dochází na vozidle zcela autonomně na základě informací, které vozidlo obdrželo již spolu s oprávněním k jízdě, a při rychlosti, která je maximálně rovna rychlosti uvolňovací.

Kromě tratí, kde se nepředpokládá vybavení ETCS, resp. vybavení má proběhnout v dlouhodobém horizontu, a kromě tratí vybavovaných, kde je předpoklad dlouhého migračního období, je vhodné o VNPN uvažovat i jako o systému souběžně s ETCS pracujícím, který může na spolehlivé bázi přispět ke snížení, popř. přímo k eliminaci důsledků nezastavení před zakazující návěstí („stůj“, popř. „posun zakázán“), v situacích kdy ETCS nemá dohled nad zastavením již/ještě ve své zodpovědnosti – volba funkce „Override EOA³⁰“ (přechod do SR³¹ módu), posun (jízda v SH³² módu). V závislosti na fázi migrace (vybavenost tratí, vybavenost vozidel) pak bude efektivnost využití souviset nejen s komunikačním kanálem (možnosti GSM-R, popř. jiné budoucí sítě bez nutnosti souběžného provozování sítě TRS), ale i na provedení integrace s ETCS technologií (podnět k odeslání nepodmíněného nouzového zastavení³³ v ETCS) a na budoucí podobě specifikací ETCS (komunikace vozidel v širším spektru módů s RBC³⁴ pro možnost zaslání nepodmíněného nouzového zastavení v rozličných situacích) – konkrétní provedení je tedy za rámcem aktuálně existujících řešení.

Dalším souvisejícím prostředkem je automatizační systém AVV³⁵, který sice opět není zabezpečovacím zařízením ve smyslu „Fail-safe“ (25), ale svými funkcemi je velmi blízký vlakovým zabezpečovacím systémům s úplnou kontrolou rychlosti. Jedná se tedy opět o spolehlivý (v technickém slova smyslu nikoliv bezpečný) systém, a to systém zajišťující optimální průběh jízdy vlaku dle určených kritérií a dostupných informací, ať už dostupných technicky nebo zadaných obsluhou (26), (27). Systém AVV přímo z provozního a technického hlediska s ETCS souvisí obecně jako systém ATO³⁶, přičemž podoba vzájemné spolupráce ETCS a ATO je jednou z aktuálně probíhajících aktivit subjektů spolupodílejících se na tvorbě specifikací ETCS. Nicméně pro prostředí infrastruktury SŽDC a nasazení ETCS v něm má AVV dále význam dlouhodobě provozovaného systému, který svými

²⁹ TRS – Traťový radiový systém

³⁰ Override EOA – Potlačení konce oprávnění k jízdě.

³¹ SR – Staff Responsible

³² SH - Shunting

³³ Nepodmíněné nouzové zastavení – Unconditional Emergency Stop

³⁴ RBC – Radiobloková centrála

³⁵ AVV – Automatické vedení vlaku

³⁶ ATO – Automatic Train Operation

funkcemi mimo jiné zajišťuje odrychlení vlaku, a to způsobem, který je autonomní (nevyžaduje aktivní ovlivňování procesu brzdění obsluhou). Přestože AVV na rozdíl od vlakových zabezpečovačů s úplnou kontrolou rychlosti nepřebírá zodpovědnost za snížení rychlosti, resp. zastavení, představuje tento systém – přesněji proces jeho realizace a výsledné vlastnosti – bohatou bázi zkušeností s řízením brzdění vozidel v podmínkách infrastruktury SŽDC, a nabízí se tedy jako zdroj informací a poznatků, který by mohl přispět k možnosti parametrizace brzdňích a limitních křivek ETCS tak, aby stále umožňovaly systému ETCS nést zodpovědnost za odrychlení, přičemž by se ale jejich průběh více blížil brzdění nominálnímu. Mimo to zkušenosti s AVV vedou na širší kritický pohled na podstatu brzdňích a dohledových křivek, resp. ukazují na principiální rezervy, které je možné čerpat pro eliminaci provozních dopadů spojených s brzděním v ETCS (28).

Závěr

Tento článek poukazuje na provozní aspekty zavedení ETCS L2 v ČR. Jedná se o vůbec první vlakový zabezpečovač s úplným dohledem rychlosti na síti ve správě SŽDC. Stávající vlakový zabezpečovač typu LS nechává strojvedoucímu poměrně značnou míru volnosti při snižování rychlosti vlaku. To je provozně flexibilní (vlak se zpožděním může brzdít na kratší vzdálenosti než vlak s náskokem, který může efektivně využívat výběh, rekuperaci, ...), ale z pohledu bezpečnosti je vyšší pravděpodobnost překročení limitní vzdálenosti dovolující jízdu. Vybalancování provozní flexibility a bezpečnosti závisí čistě na lidském faktoru, a to jak z pohledu provozních zaměstnanců, tak z pohledu podmínek, v jakých tuto činnost vykonávají (přičemž tyto podmínky jsou opět stanoveny člověkem). Zavedení úplné kontroly rychlosti technickým prostředkem má vynutit preferenci bezpečnosti, pokud by tato měla být potlačena ve prospěch provozní flexibility. Dochází tak ke snížení provozní flexibility vedení vlaku v porovnání se stavem před zavedením vlakového zabezpečovače s úplnou kontrolou rychlosti.

Jako významná dílčí eliminace tohoto problému, která by měla být předmětem dalšího investigace – ideálně pro všechny na realizaci ETCS v ČR přímo zainteresované subjekty, se nabízí parametrizace brzdňích křivek a dohledových limitů ETCS národními hodnotami, jak je umožněna v systémových verzích ETCS 2 a 1.1 dle Baseline 3 (21).

Prostředek na straně infrastruktury, který se, přestože může vyžadovat netriviální úpravy stávajících zařízení, jeví jako efektivní pro eliminaci uvedených provozních důsledků, jsou prokluzové (pojistné) úseky, resp. ochranné dráhy, a to v provedení, kdy jejich uplatnění bude ovlivnitelné na základě stavu vozidla dle informací mobilní části ETCS.

Pokud by se pak měla nějak souhrnně charakterizovat náročnost problematiky bezpečného dohlížení zastavení (snížení rychlosti) v ERTMS/ETCS, pak se jako vhodná, a to ani ne moc nadsazená parafráze nabízí zlidovělé rčení, že „To není jako práce s buzolou“. Kde si za onu příznačnou „buzolu“ lze dosadit snad téměř všechna dosavadní paradigmat, se kterými se musela železniční zabezpečovací technika v celém komplexním prostředí železnic České republiky potýkat, aniž by autoři tohoto článku chtěli jakkoliv relativizovat jejich náročnost a dosažený efekt.

Literatura:

1. KLEGA, M. *Zavádění systému ETCS na tratích v ČR*. Správa železniční dopravní cesty, s. o. [Online] 2012. [Citace: 01. 03. 2019]. Dostupné z: <http://www.szdc.cz/soubory/konference-a-seminare/zdc-2012/a06-klega-szdc.pdf>.
2. KONOPÁČ, T. *Koncepce nasazování ERTMS na železniční síti České republiky*. Fakulta elektrotechnická Západočeské univerzity v Plzni. [Online] 31. 05. 2017. [Citace: 01. 03. 2019]. Dostupné z: https://fel.zcu.cz/export/sites/fel/cz/about/conferences/2017/seminar_DE/materialy/03_Konopac_ERTMS_sbornik.pdf.
3. KONOPÁČ, T. *Aktuální stav implementace ERTMS v ČR*. Fakulta elektrotechnická Západočeské univerzity v Plzni. [Online] 23. 05. 2018. [Citace: 01. 03. 2019]. Dostupné z: https://fel.zcu.cz/export/sites/fel/cz/about/conferences/2018/seminar_DE/materialy/01_Konopac-ERTMS_implementace.pdf.
4. ERA, *European Rail Traffic Management System (ERTMS)*. [Online]. [Citace: 01. 03. 2019]. Dostupné z: https://www.era.europa.eu/activities/european-rail-traffic-management-system-ertms_en.
5. UNIFE, *European Rail Traffic Management System*. [Online]. UNIFE. [Citace: 01. 03. 2019]. Dostupné z: <http://www.ertms.net>.
6. SCHRÖTTER, J. – BOUDA, J. *Pozor, přijíždí vlak*. Praha: CPress, 2015. 978-80-264-0726-3.
7. Drážní inspekce, *Výroční zpráva 2017*, [Online] [Citace: 10. 03. 2019]. Dostupné z: http://www.dicr.cz/uploads/Zpravy/VZ_2017_DI_fin.pdf.
8. Railwaysignalling.eu. *The ERTMS/ETCS signalling system*, [Online] 2014. [Citace: 01. 03. 2019]. Dostupné z: http://www.railwaysignalling.eu/wp-content/uploads/2016/09/ERTMS_ETCS_signalling_system_revF.pdf.
9. KLEGA, M. *Technické požadavky pro implementaci ERTMS/ETCS L2 na české části Koridoru E*. Správa železniční dopravní cesty, s. o. [Online]. [Citace: 01. 03. 2019]. Dostupné z: www.szdc.cz/soubory/ertms/technicke-pozadavky.doc.
10. GHAZEL, M. *Formalizing a subset of ERTMS/ETCS specifications for verification purposes*. Transportation Research Part C. 2014, 42.
11. Evropská komise. *Nařízení Komise (EU) 2016/919 ze dne 27. května 2016 o technické specifikaci pro interoperabilitu týkající se subsystému „Řízení a zabezpečení“ železničního systému v Evropské unii*. EUR-Lex. [Online] 26. 05. 2016. [Citace: 01. 03. 2019]. Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2016.158.01.0001.01.CES.
12. ERA. *European Rail Traffic Management System (ERTMS)*. Change Control Management. [Online]. [Citace: 10. 03. 2019]. Dostupné z: https://www.era.europa.eu/activities/european-rail-traffic-management-system-ertms_en#meeting3.
13. ERA, *UNISIG - EEIG ERTMS USERS GROUP*. SUBSET-026-4. Set of specifications 3 (ETCS B3 R2 GSM-R B1). [Online] 13. 05. 2016.

- [Citace: 01. 03. 2019].
Dostupné z: https://www.era.europa.eu/node/641/1091973_en.
14. ERA. *ERTMS – Set of specifications 3 (ETCS B3 R2 GSM-R B1)*. [Online]. [Citace: 01. 03. 2019].
Dostupné z: https://www.era.europa.eu/node/641/1091973_en.
 15. ERA. *Backwards and forwards compatibility of ETCS baselines. European Rail Traffic Management System (ERTMS)*. [Online]. [Citace: 01. 03. 2019].
Dostupné z: https://www.era.europa.eu/activities/european-rail-traffic-management-system-ertms_en#meeting2.
 16. ERA. *Subset 104*, [Online] 05. 07. 2014. [Citace: 02. 02. 2019].
Dostupné z: https://www.era.europa.eu/node/641/1091973_en.
 17. ERA. *ERTMS – Set of specifications 1 (ETCS B2 GSM-R B1)*. [Online]. [Citace: 01. 03. 2019].
Dostupné z: https://www.era.europa.eu/node/641/1091975_en.
 18. ERA. *ERTMS – Set of specifications 2 (ETCS B3 MR1 GSM-R B1)*. [Online]. [Citace: 01. 03. 2019].
Dostupné z: https://www.era.europa.eu/node/641/1091974_en.
 19. ERA. *ERTMS – Set of specifications*. [Online]. [Citace: 10. 03. 2019].
Dostupné z: https://www.era.europa.eu/node/641/1091882_en.
 20. ERA. *Introduction to ETCS braking curves*. [Online] 14. 06. 2016. [Citace: 01. 03. 2019].
Dostupné z: https://www.era.europa.eu/sites/default/files/activities/docs/introduction_to_etcs_braking_curves_en.doc.
 21. MAREK, J. *Brzdňý model ERTMS/ETCS a možnosti jeho optimalizace na úrovni aplikace*. Vědeckotechnický sborník ČD, Sv. 47. [Online] 2019.
Dostupné z: <https://vts.cd.cz/vts/cat2>.
 22. SŽDC, s. o. *TNŽ 34 2620 – Železniční zabezpečovací zařízení – Staniční a traťová zabezpečovací zařízení*. [Online] 01. 07. 2002. [Citace: 03. 03. 2019].
Dostupné z: <https://www.szdc.cz/documentpublisher/download?documentId=1%3B%233dcf584e-93d8-4bef-9424-8cbeda715a7f&contentId=0>.
 23. SŽDC, s. o. *Zásady pro návrh technického řešení ETCS ve vazbě na kolejová řešení dopravní*. Správa železniční dopravní cesty, s. o. [Online] 08. 03. 2018. [Citace: 01. 03. 2019]. Dostupné jako soubor *ETCS_zásady.pdf* v zadávací dokumentaci veřejné zakázky ETCS Plzeň (mimo) – Cheb.
Dostupné z: https://zakazky.szdc.cz/document_7936/6fb1483faa42ed68f0a1180155c324bb-dil-2-zavazny-vzor-sod-vc-priloh-zip.
 24. SŽDC, s. o. *Prozatímní požadavky na uplatnění uvolňovací rychlosti*. Správa železniční dopravní cesty, s. o. [Online] 28. 02. 2018. [Citace: 01. 03. 2019]. Dostupné jako soubor *příloha_5_ZTP.pdf* v zadávací dokumentaci veřejné zakázky ETCS Plzeň (mimo) – Cheb.
Dostupné z: https://zakazky.szdc.cz/document_7936/6fb1483faa42ed68f0a1180155c324bb-dil-2-zavazny-vzor-sod-vc-priloh-zip.
 25. ČSN EN 50129 (34 2675). *Drážní zařízení - Sdělovací a zabezpečovací systémy a systémy zpracování dat – Elektronické zabezpečovací systémy*. Praha : Český normalizační institut, 2004.
 26. LIESKOVSKÝ, A. at al. *CRV & AVV modulární řídicí systém pro všechny druhy vozidel se zvláštním zaměřením na energeticky úsporné řízení*. Czech Raildays

- 2008, Railvolution. [Online] 17. 06. 2008. [Citace: 01. 03. 2019].
Dostupné z: http://www.railvolution.net/czechraildays/2008/seminare/kv_09.pdf
27. LIESKOVSKÝ, A. *ATO TEN-T, Automatic Train Operation Over ETCS on Trans European Network*. ACRI. [Online] 15. 06. 2015. [Citace: 01. 03. 2019].
Dostupné z: http://www.acri.cz/uploads/acri-akademie/15-06%20ETCS/2015_ETCS_Lieskovsky.pdf.
28. MYSLIVEC, I. *Malé zamyšlení nad brzdovými a zásahovými křivkami ETCS*. Velké Losiny: AŽD Praha, 2019.
29. Ministerstvo dopravy, *Národní implementační plán ERTMS*. [Online] 2017. [Citace: 01. 03. 2019].
Dostupné z: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/rail-nip/nip-ccs-tsi-czech-rep-cz.pdf>.

Praha, duben 2019

Lektorovali: Ing. Tomáš Konopáč
Správa železniční dopravní cesty, s. o.

Ing. Karel Beneš, Ph.D.
Výzkumný ústav železniční, a.s.