

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Vyrovnaní přibližovací doby přejezdových zabezpečovacích zařízení
v podmínkách SŽDC pro vozidla vybavená systémem ETCS – analýza možností
využití vlastností ETCS L2

Ondřej Klega

Bakalářská práce

2017

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej Klega**
Osobní číslo: **D14257**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Elektrotechnické a elektronické systémy v dopravě**
Název tématu: **Vyrovnání přibližovací doby přejezdových zabezpečovacích zařízení v podmínkách SŽDC pro vozidla vybavená systémem ETCS - analýza možností využití vlastností ETCS L2.**
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě**

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

Seznámení s principy funkce přejezdových zabezpečovacích zařízení v prostředí SŽDC, zejména s ohledem na podmínky a mechanismy aktivace výstrahy.
Formulace obecných očekávání a definice konkrétních požadavků na funkci vyrovnání přibližovací doby (VPD) přejezdových zabezpečovacích zařízení (PZ) a stanovení dalších souvisejících předpokladů pro podrobnější rozpracování funkce VPD.
Seznámení s hlavními principy ETCS L2 a identifikace takových jeho vlastností (ať již využívaných či doposud nevyužívaných v aktuálně realizovaných implementacích ETCS L2 v prostředí SŽDC), které lze při integraci ETCS L2 s PZ uplatnit pro funkci VPD.
Konceptní návrh funkční integrace ETCS L2 s PZ k zajištění VPD pro vozidla pohybující se pod dohledem ETCS.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

UNISIG. ERTMS/ETCS : System Requirements Specification : SUBSET-026 version 3.6.0 [soubor archivu SUBSET-026 v360.zip obsahující soubory formátu *.pdf]. UNISIG, 13.05.2016. [cit. listopad 2016]. Dostupné na: <<http://www.era.europa.eu/Document-Register/Documents/SUBSET-026%20v360.zip>>

UNISIG. ERTMS/ETCS - Class 1 : System Requirements Specification : SUBSET-026 version 2.3.0 [soubor archivu Set-1-Index004-SUBSET-026+v230.zip obsahující soubory formátu *.doc]. UNISIG, 24.02.2006. [cit. listopad 2016]. Dostupné na: <<http://www.era.europa.eu/Document-Register/Pages/UNISIGSUBSET-026.aspx>>

AŽD Praha s.r.o. RBC ETCS - Specifikace systémových požadavků na traťovou část ETCS L2 : SRS ETCS L2 verze 1.03. AŽD Praha s.r.o., 2014. Neveřejný dokument.

ČSN 34 2650. Železniční zabezpečovací zařízení - Přejezdová zabezpečovací zařízení. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Ouředníček, Ph.D.**
AŽD Praha

Datum zadání bakalářské práce: **16. ledna 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2017**


doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

L.S.


Ing. Dušan Čermák, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 24. března 2017

Prohlašuji:

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

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

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 2. 6. 2017

Ondřej Klega

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Janu Ouředníčkovi, Ph.D. za vstřícný přístup, za snahu pochopit všechny moje myšlenky, za obětavost, že se mi i ve svém volném čase věnoval, a hlavně za cenné rady při zpracovávání bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat veškerému personálu katedry KEEZ, který mi pomohl, kdykoliv jsem něco potřeboval.

Také bych chtěl poděkovat svým rodičům a sestře za pomoc a podporu během celého studia.

ANOTACE

Tato Bakalářská práce se zaměřuje na nalezení různých způsobů, jak zajistit vyrovnání přibližovací doby přejezdových zabezpečovacích systémů v podmínkách Správy železniční dopravní cesty, státní organizace (SŽDC) za využití systému ERTMS/ETCS úrovně 2 (L2). Práce se zabývá na dva způsoby řešení, a to na odložení výstrahy a posílání příkazu na nespouštění výstrahy. Na konci práce jsou zhodnoceny a porovnány jednotlivé způsoby vyrovnání přibližovací doby a jaký vliv na výslednou ušetřenou dobu mají jednotlivé parametry.

KLÍČOVÁ SLOVA

odložení výstrahy, vyrovnání přibližovací doby, doba čekání na přejezdu

TITLE

Level crossing approaching time compensation in conditions of the Railway Infrastructure Administration, state organization applicable for the trains equipped with ERTMS/ETCS on-board equipment.

ANNOTATION

This Bachelor thesis is focused on finding different ways how to ensure a level crossing approaching time compensation in conditions of the Railway Infrastructure Administration, state organization, (SŽDC) by using system ERTMS/ETCS level 2 (L2). This thesis deals with 2 ways of a solution, postpone the warning and sending a command to not trigger a warning. There are evaluated and compared individual ways of compensation the approaching time and individual parameters influence on resulting saved time at the end of this thesis.

KEYWORDS

postpone a warning, approaching time compensation, waiting time on level crossing

OBSAH

ÚVOD.....	9
1 VÝCHOZÍ PRINCIPY A VLASTNOSTI.....	10
1.1 Přibližovací doba.....	10
1.1.1 Doba reakce zařízení.....	11
1.1.2 Základní bezpečnostní doba.....	11
1.1.3 Přídavná bezpečnostní doba.....	11
1.1.4 Vyklizovací doba.....	11
1.1.5 Přídavná doba na úplné sklopení břevna závor.....	12
1.1.6 Doba sklápění.....	12
1.2 ERTMS/ETCS.....	12
1.2.1 Traťový subsystém.....	12
1.2.2 Palubní subsystém.....	13
1.2.3 Způsob komunikace mezi OBS a TSU.....	13
2 ŘEŠENÍ VYROVNÁNÍ PŘIBLIŽOVACÍ DOBY S VYUŽITÍM ERTMS/ETCS.....	15
2.1 Řešení pro konstantní maximální vlakovou rychlost pomocí většího počtu balíz.....	15
2.2 Řešení pomocí jedné balízové skupiny a ujeté vzdálenosti.....	17
2.2.1 Spuštění výstrahy na základě maximální vlakové rychlosti.....	17
2.2.2 Spuštění výstrahy na základě aktuální vlakové rychlosti předpokládaným zrychlením...19	
2.2.3 Nerovnice se zpřesněním doby zpoždění mezi jednotlivými prvky pro vyrovnání přibližovací doby.....	27
2.2.4 Nerovnice při přesunutí výpočtu do PZS.....	33
2.3 Odložení výstrahy pomocí jedné balízové skupiny.....	35
2.4 Odložení výstrahy pomocí jedné balízové skupiny, bez použití doby t_{bp}	39
2.4.1 Analýza odložení výstrahy.....	42
3 ZHODNOCENÍ.....	45
3.1 Porovnání jednotlivých řešení.....	45
3.2 Porovnání vlivu zpoždění X_{RBCPZ} na výslednou ušetřenou dobu.....	47
3.3 Porovnání vlivu doby přenosu informací z OBS do RBC.....	48
3.4 Porovnání vlivu doby od posledního přijetí PR.....	49
ZÁVĚR.....	50
POUŽITÁ LITERATURA.....	51

SEZNAM TABULEK.....	52
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	53
SEZNAM ZKRATEK.....	54
SEZNAM PŘÍLOH.....	55

ÚVOD

Tato bakalářská práce je zaměřena na navrhnutí metody k zajištění vyrovnání přibližovací doby přejezdových zabezpečovacích zařízení využívající systém ERTMS/ETCS.

Doposud se na zahájení výstrahy používá počítací bod počítače náprav nebo izolovaný styk kolejového obvodu. Umístění počítacího bodu nebo izolovaného styku se vypočítá pomocí přibližovací doby a traťové rychlosti v přibližovacím úseku.

Pevné místo spuštění výstrahy je zdrojem nadbytečného zpomalení silniční dopravy, pokud vlak jede nižší rychlostí než traťovou. Tento problém se tato bakalářská práce snaží odstranit s využitím vlakového zabezpečovacího systému ETCS. Protože je místo spuštění výstrahy, vycházející z délky přibližovacího úseku, navrženo na traťovou rychlost, tak při nižší rychlosti vlaku musí řidiči silničních vozidel čekat před přejezdem podstatně delší dobu, tím se zhorší propustnost silniční dopravy.

Na ukázkou je přiložena tabulka nadbytečné doby výstrahy na PZS, u kterého je zvolena přibližovací doba $t_L = 40$ s, což je běžná přibližovací doba pro PZS na dvojkolejně trati s traťovou rychlostí 160 km.h^{-1} . Pozice počítacího bodu nebo izolovaného styku kolejového obvodu je zhruba 1780 m od přejezdu.

Tab. 1: Tabulka přebytečné doby výstrahy na PZS

Rychlost [km.h^{-1}]	Doba výstrahy před příjezdem čela vlaku na přejezd[s]	Přebytečná doba [s]
160	40,00	0,00
140	45,71	5,71
120	53,33	13,33
100	64,00	24,00
80	80,00	40,00
60	106,67	66,67
40	160,00	120,00

Z Tab. 1 je vidět, že při rychlosti 80 km.h^{-1} , což je běžná rychlost nákladních vlaků, je silniční doprava zpožděna u přejezdu na dvojnásobnou dobu a u rychlosti 40 km.h^{-1} až čtyřnásobnou. Toto je nevyhovující hned z několika důvodů: Nejenže dochází ke zpomalení silniční dopravy, ale také zde vzniká riziko, že netrpělivý řidič si bude myslet, že přejezd je v poruše a vjede do přejezdu, i když je pořád spuštěná výstraha. Toto riziko by mělo být sníženo. Na to se také soustředí tato práce, nejenom na zlepšení komfortu silniční dopravy, ale také zvýšení bezpečnosti.

1 Výchozí principy a vlastnosti

1.1 Přibližovací doba

Aby byl čtenář uveden do problematiky spouštění výstrahy na PZS, je zde uveden výpočet přibližovací doby PZS se všemi dílčími dobami, které mají vliv na délku přibližovací doby. Okamžik pro spuštění výstrahy je potřeba pro jednotlivé rychlosti upravit, tak aby se doba výstrahy před příjezdem čela vozidla na přejezd blížila době přibližovací (doba výstrahy před příjezdem čela vozidla na přejezd musí být větší než přibližovací doba). Délka přibližovacího úseku se vypočítá pomocí Rce. 1.

Rce. 1: Rovnice délky přibližovacího úseku

$$l_L = \frac{t_L \cdot V_{TRACK}}{3,6}$$

Legenda:

- l_L – délka přibližovacího úseku [m]
- t_L – přibližovací doba [s]
- V_{TRACK} – traťová rychlost v přibližovacím úseku [km.h⁻¹]

„Přibližovací doba t_L je dána součtem vyklizovací doby a dalších dílčích dob t_r , t_{b1} , t_{b2} a popřípadě t_u nebo t_x . Je dána Rce. 2, Rce. 3a Rce. 4 (ČSN 34 2650 čl. B.4, 2010)“

Rce. 2: Rovnice přibližovací doby pro PZS bez závor

$$t_L = t_r + t_v + t_{b1} + t_{b2}$$

Rce. 3: Rovnice přibližovací doby pro PZS s polovičními závory

$$t_L = t_r + t_v + t_{b1} + t_{b2} + t_x$$

Rce. 4: Rovnice přibližovací doby pro PZS s celými závory

$$t_L = t_r + t_v + t_{b1} + t_{b2} + t_u + t_{u2}$$

Legenda:

- t_r – doba reakce zařízení [s]
- t_{b1} – základní bezpečnostní doba [s]
- t_{b2} – přídatná bezpečnostní doba [s]
- t_v – vyklizovací doba [s]
- t_x – přídatná doba na úplné sklopení břevna závor [s]
- t_u – doba sklápění [s]

1.1.1 Doba reakce zařízení

„Doba reakce zařízení t_r je doba od ovlivnění ovládacího prvku závislého na jízdě železničního vozidla do zahájení výstrahy, pokud by se neuplatnilo odložení zahájení výstrahy. Závisí od druhu prvků, použitých na zjištění přítomnosti železničního vozidla v ovládacím úseku, a od prvků použitých ve vlastním přejezdovém zařízení. Pokud není pro jednotlivé typy ovládacích prvků a přejezdových zařízení udáno jinak, bere se do výpočtu jednotná doba: (ČSN 34 2650 čl. B.2.1, 2010)“

$$t_r = 1 \text{ s}$$

1.1.2 Základní bezpečnostní doba

„Základní bezpečnostní doba t_{b1} je doba, která musí uplynout od skončení vyklizovací doby do příjezdu čela železničního vozidla na přejezd a do výpočtu se bere: (ČSN 34 2650 čl. B.2.3, 2010)“

$$t_{b1} = 6 \text{ s}$$

1.1.3 Přídavná bezpečnostní doba

„Přídavná bezpečnostní doba t_{b2} je doba, která vyplývá z tolerancí při měření a zaokrouhlování. U nově projektovaných PZS se do výpočtu bere: (ČSN 34 2650 čl. B.2.4, 2010)“

$$t_{b2} = 3 \text{ s}$$

1.1.4 Vyklizovací doba

„Vyklizovací doba t_v je nejkratší doba, během níž může ještě bezpečně projet přejezdem nejdelší a nejpomalejší silniční vozidlo, nebo cyklista, nebo projít chodec, kteří jsou při spuštění výstrahy ve vzdálenosti 1 m před výstražníkem, nebo břevnem závory, je-li blíže. Vyklizovací doba se stanoví z rovnice: (ČSN 34 2650 čl. B.3, 2010)“

Rce. 5: Rovnice vyklizovací doby

$$t_v = 3,6 * \frac{d_T}{V_s}$$

Legenda:

- t_v – vyklizovací doba [s]
- d_T – je směrodatná délka pro výpočet vyklizovací doby [m], tato délka vychází z rozměrů PZS

- V_s – je rychlost nejpomalejšího silničního vozidla [$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$], není-li určena, bere se pro chodce a cyklisty $3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ pro ostatní uživatele $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

1.1.5 Přídavná doba na úplné sklopení břevna závora

„Přídavná doba na úplné sklopení břevna závora t_x [s] přichází v úvahu jen u přejezdů s PZS s polovičními závory. Břevno závory se začne sklápět po uplynutí předzváněcí doby t_z , to je jakmile ho spolehlivě minulo silniční vozidlo. (ČSN 34 2650 čl. B.2.4, 2010)“

1.1.6 Doba sklápění

„Doba sklápění t_u a doba zvedání t_o břevna závory závisí na konstrukčním provedení pohonu závora. Pokud není skutečná doba sklápění a zvedání břevna závory udána, bere se do výpočtu maximální přípustná doba: (ČSN 34 2650 čl. B.2.2, 2010)“

$$t_u = t_o = 10 \text{ s}$$

„Doba od povelu ke sklápění břevna závora za přejezdem do povelu ke sklápění posledního břevna závora t_{u2} pro současně sklápěná břevna závora za přejezdem, bere se: (ČSN 34 2650 čl. B.2.2, 2010)“

$$t_{u2} = 0 \text{ s}$$

1.2 ERTMS/ETCS

Pro vyrovnání přibližovací doby se použije systém ERTMS/ETCS L2, na který se v ČR začíná přecházet z důvodu zvýšení bezpečnosti a zajištění interoperability. ETCS má také mnoho možností využití, protože vlak komunikuje s tratí a naopak, právě tohoto se dá využít v této bakalářské práci.

ERTMS/ETCS L2 je rádiový vlakový kontrolní systém, který slouží jako nadstavba ke stávajícímu zabezpečovacímu zařízení. Oprávnění k jízdě (dále MA) jsou generovány radioblokovou centrálou (dále RBC) na základě informací ze stavědla, automatického bloku atd. a jsou přenášeny pomocí rádiového systému GSM-R. L2 používá GSM-R pro komunikaci trati s vlakem a eurobalízy jako bodové vysílací zařízení, které převážně určuje pozici vlaku.

Pro pochopení komunikace mezi zařízeními ETCS by se měl čtenář také seznámit se subsystemy ETCS a komunikací mezi těmito subsystemy.

1.2.1 Traťový systém

Traťový systém se může skládat z eurobalíz, eurosmyček (euroloop), euroradia GSM-R, traťových elektronických jednotky, RBC, dodatečné radiové jednotky, centra správy

klíčů, infrastruktury veřejných klíčů. Pro vyrovnání přibližovací doby se použijí eurobalízy (pro určení polohy vozidla), GSM-R pro přenos informací z palubního subsystému (dále OBS) do traťového subsystému (dále TSU) a naopak, RBC pro výpočet okamžiku spuštění výstrahy a okamžiku odložení výstrahy a pro jejich přenos do PZS. (subset 26-2 version 3.6.0, 2016)

1.2.2 Palubní subsystém

OBS je počítačový systém, který dohlíží na pohyb vlaku, dohled je založen na výměně informací s traťovým subsystémem. Palubní subsystém se skládá z DMI, STM, odometru, eurorádia, BTM (modul pro komunikaci s balízou) a JRU. Na vyrovnání přibližovací doby bude potřeba BTM a odometr. (subset 26-2 version 3.6.0, 2016)

Odometr je zařízení měřící ujetou vzdálenost a rychlost pomocí úhlové rychlosti nápravy a poloměru kola. U valivého pohybu dochází ke skluzu, díky němuž se může kolo pohybovat rychleji (pomaleji), také se při pohybu odírá část materiálu kola, a proto nemusí vždy přesně odpovídat skutečný a zadaný průměr kola. Z těchto důvodů se nedá počítat se stoprocentní přesností tohoto zařízení, proto se počítá s nepřesností $\pm 5\%$ z ujeté vzdálenosti a ± 5 metrů. Pro snížení nepřesnosti se odometr doplňuje dopplerovským radarem. (subset 26-2 version 3.6.0, 2016)

1.2.3 Způsob komunikace mezi OBS a TSU

Data se mezi OBS a TSU přenášejí pomocí zpráv (telegramů), ve zprávách je několik paketů, které obsahují různé proměnné. Proměnné odpovídají určitému parametru. Paket obsahuje souhrn informací pro konkrétní účel. (subset 26-7 version 3.6.0, 2016)

Nejjednodušší by bylo, kdyby se výpočet vyrovnání přibližovací doby prováděl v OBS, protože OBS má aktuální informace (jsou ovlivněny pouze zpožděním komunikace mezi zařízeními v OBS) o poloze a rychlosti vlaku. Jakmile by mělo dojít ke spuštění výstrahy, tak by přestal OBS vysílat zprávu na PZS, aby nespouštělo výstrahu. To by ale vyžadovalo, aby byly všechny vlaky, které by jely na síti SŽDC, resp. na tratích s PZ s nasazeným vyrovnání přibližovací doby, pod dohledem ETCS L2, vybaveny výpočetní jednotkou (HW/SW modulem dle požadavků kladených na zabezpečovací systémy), která by tuto funkci vykonávala. To by bylo velice nákladné a bylo by to v rozporu s interoperabilitou.

Přesunutím výpočtu do RBC lze tento problém vyřešit, protože výpočet poběží v TSU bez nutnosti úprav OBS specifických pro vyrovnání přibližovací doby. Aktuální poloha a rychlost vlaku se přenesou do RBC pomocí paketu hlášení polohy vlaku (dále PR – position report). Nejideálnější by bylo, kdyby se PR vysílal po velmi krátkých intervalech, řádově

ve zlomcích sekundy, aby byly informace o poloze a rychlosti co nejaktuálnější. Toho se však nedá dosáhnout a skutečný interval může být řádově v jednotkách sekund, resp. ne méně jak 5 s. Tato skutečnost zhorší přesnost výpočtu pozice spuštění výstrahy.

1.2.3.1 Paket hlášení polohy vlaku

Paket obsahuje několik potřebných proměnných, které jsou použity pro výpočet vyrovnání přibližovací doby. Proměnná V_TRAIN předává informaci o aktuální rychlosti vlaku při vytvoření zprávy s PR v OBS. Proměnná D_LRBG předává informaci o vzdálenosti mezi čelem vlaku a poslední vztažnou balízovou skupinou, vzdálenost je vypočítána pomocí odometru. Proměnné L_DOUBTUNDER a L_DOUBTOVER předávají informace a přesnosti (-/+) hodnoty D_LRBG. Proměnná NID_LRBG předává identifikační číslo poslední vztažné balízové skupiny, z toho se určí, která PZS se nacházejí v okolí. Také se musí určit směr pohybu vlaku, aby RBC věděla, ke kterému PZS se vlak přibližuje. Směr pohybu zjistí RBC pomocí jedné z proměnných Q_DIRTRAIN, Q_DLRBG nebo Q_DIRLRBG. (subset 26-7 version 3.6.0, 2016)

1.2.3.2 Paket vlakových dat

Dále je nutné zmínit paket vlakových dat (Validated train data), který obsahuje další důležitou proměnnou, a to V_MAXTRAIN. Proměnná V_MAXTRAIN předává informaci o maximální vlakové rychlosti (rychlost kterou vlak nepřekročí). (subset 26-7 version 3.6.0, 2016)

2 Řešení vyrovnání přibližovací doby s využitím ERTMS/ETCS

2.1 Řešení pro konstantní maximální vlakovou rychlost pomocí většího počtu balíz

Dnes se spouští výstraha pomocí izolovaného styku (dále IS) nebo počítačového bodu (dále PB), který je vzdálený od přejezdu na délku přibližovacího úseku. Jako jedno z řešení by mohlo být to, že by se pro každou možnou rychlost vlaku umístila do tratě balizová skupina (dále jen BG). Rychlost vlaku by se zjistila pomocí paketu PR, který je předáván při kontaktování BG nebo na vyžádání RBC. RBC by vyhodnotila po přijetí PR, jestli má nebo nemá předat PZS příkaz na spuštění výstrahy.

Tab. 2: Pozice BG pro přibližovací dobu $t_L = 40$ s

Rychlost [km.h ⁻¹]	Pozice BG [m]	Rychlost [km.h ⁻¹]	Pozice BG [m]
160	1777,8	95	1055,6
155	1722,2	90	1000,0
150	1666,7	85	944,4
145	1611,1	80	888,9
140	1555,6	75	833,3
135	1500,0	70	777,8
130	1444,4	65	722,2
125	1388,9	60	666,7
120	1333,3	55	611,1
115	1277,8	50	555,6
110	1222,2	45	500,0
105	1166,7	40	444,4
100	1111,1		

Uvedené pozice v Tab. 2 jsou pouze orientační, není v nich započítána vzdálenost mezi balízami BG, také se nepočítá se zpožděním při přenosu informací mezi OBS a TSU a vyhodnocení informací v RBC.

Toto princip by však řešil pouze vlaky s konstantní rychlostí. Snižování rychlosti vlaku by způsobilo pouze delší dobu čekání silničních vozidel (bezpečný stav), ale u zvyšování by došlo k hazardu na přejezdu, protože by vlak mohl dosáhnout přejezdu před uplynutím přibližovací doby. Proto by se toto řešení dalo použít, pouze pokud by bylo zajištěno, že vlak nebude zrychlovat.

Toto řešení by se dalo použít u vlaků s vlakovou rychlostí menší než traťovou, např. u nákladních vlaků jezdících rychlostí 80 km.h^{-1} – 100 km.h^{-1} , protože u nich je jisté, že se jejich rychlost nebude zvětšovat. Maximální vlaková rychlost je součástí paketu Validated train data jako proměnná $V_MAXTRAIN$, takže RBC může tyto data využít.

Využití několika BG má výhodu, že se nemusí uvažovat nepřesnost odometru. Nevýhodou je, že pro traťovou rychlost 160 km.h^{-1} by se muselo umístit 25 BG (jedna BG pro jednu rychlost) pro jednu kolej a jeden směr.

Počet BG by se dal zredukovat na menší množství, když by se použily pouze u předpokládaných rychlostí vlaků, např. pro rychlost 120 km.h^{-1} a 140 km.h^{-1} u osobních vlaků, kde výslednou maximální vlakovou rychlost omezuje maximální konstrukční rychlost vozů nebo lokomotiv. Pak rychlosti 80 km.h^{-1} a 100 km.h^{-1} pro nákladní vlaky. A rychlost 40 km.h^{-1} pro speciální drážní vozidla, a pro jízdu na přivolávací návěst. Tímto řešením by se počet BG zmenšil více jak čtyřikrát.

Takto navržený systém by se dal použít u tratí, kde by mělo smysl odstranit nepřesnost způsobenou odometrem, která je více rozebrána v příloze 1. Z přílohy 1 vyplývá, že na trati pro 160 km.h^{-1} je u rychlosti vlaku 40 km.h^{-1} a vzdálenosti BG 1000 m od pozice na spuštění výstrahy pro traťovou rychlost nadbytečný čas způsobený odchylkou odometru 11 s. To je však nejhorší uvažovaná možnost (*Worst Case*). Nejlepší by bylo umístit první BG v místě IS nebo PB respektive před BG, protože zde není započítána vzdálenost mezi čelem vozidla a BTM a doba, během které se přenáší informace mezi systémy ETCS (mezi OBS a RBC) a z RBC do PZS.

Tab. 3: Nadbytečný čas způsobený odchylkou odometru pro vzdálenost 200 m mezi BG a IS nebo PB

Rychlost vlaku [km.h ⁻¹]	Nadbytečný čas způsobený odchylkou odometru [s]
160	0,3
140	0,7
120	1,1
100	1,7
80	2,7
40	7,4

Z Tab. 3 je vidět, že pro nákladní a osobní dopravu (rychlosti od 80 km.h⁻¹ do 160 km.h⁻¹) má nepřesnost odometru minimální dopad (až 2,7 s), a proto použít více BG není relevantní.

2.2 Řešení pomocí jedné balízkové skupiny a ujeté vzdálenosti

Zjištění pozice zapnutí výstrahy se oproti řešení v kapitole 2.1 ztíží. Musí se vytvořit nějaký algoritmus, který by vypočítal pozici spuštění výstrahy. Pozice vlaku bude předána pomocí proměnné D_LRBG, která je změřena pomocí odometru.

Při přejetí BG před IS nebo PB (na začátku přibližovacího úseku), pošle vlak RBC PR a RBC pošle PZS příkaz, aby nespouštěl výstrahu, takže při přejetí IS nebo PB nedojde ke spuštění výstrahy. Pak si RBC zjistí z paketu Validated train data maximální vlakovou rychlost a pošle paket Position Report Parameters, ve kterém bude proměnná T_CYCLOC rovna 1 s. Vlak ve skutečnosti nemusí být schopný dodržet T_CYCLOC a interval mezi jednotlivými PR bude větší. Čím možná menší T_CYCLOC tím častěji přijme RBC aktuální informace, a tím přesněji spustí výstrahu.

2.2.1 Spuštění výstrahy na základě maximální vlakové rychlosti

Základním požadavkem bude, že vlak při přejetí BG pro spuštění výstrahy má aktuální rychlost vlaku stejnou nebo menší jako je maximální vlaková rychlost a tato maximální vlaková rychlost je menší než nebo rovna traťové rychlosti. RBC použije k výpočtu spuštění výstrahy tuto Rce. 6.

Rce. 6: Algoritmus pro vlaky s vlakovou rychlostí rovnou vlakové maximální vlakové rychlosti, $V_{MAXTRAIN} \leq V_{TRACK}$ a je zároveň menší než traťová rychlost

$$(X + t_L) * \frac{V_{MAXTRAIN}}{3,6} < < t_L * \frac{V_{TRACK}}{3,6} + sb - \frac{V_{MAXTRAIN}}{3,6} * t - D_{LRBG} - L_{DOUBTUNDER}$$

Legenda:

- $V_{MAXTRAIN}$ – maximální vlaková rychlost [km.h^{-1}]
- V_{TRACK} – traťová rychlost v přibližovacím úseku PZS [km.h^{-1}]
- X – reprezentuje časové zpoždění mezi jednotlivými zařízeními ETCS (přenos informací mezi OBS a RBC a z RBC do PZS), při posílání aktuálních informací o vlaku [s]
- t_L – přibližovací doba [s]
- sb – vzdálenost BG od PB nebo IS, který má standardně spouštět výstrahu na PZS, tj. pro vlaky, pro které se neuplatní vyrovnání přibližovací doby [m]
- t – je proměnná, která reprezentuje čas, který uběhl od posledního obdržení zprávy obsahující PR z OBS v RBC [s]
- D_{LRBG} – ujetá vzdálenost od poslední BG, která je v posledním PR přijatém v RBC [m]
- $L_{DOUBTUNDER}$ – nepřesnost D_{LRBG} (o kolik může být vlak před daným D_{LRBG}) pro poslední PR [m]

Levá strana Rce. 6 reprezentuje místo spuštění výstrahy závislé na maximální vlakové rychlosti, respektive vzdálenost od přejezdu, kde by se měla spustit výstraha.

Člen $t_L * V_{TRACK}$ reprezentuje vzdálenost PB nebo IS od přejezdu (l_L). Po přičtení sb je výsledek vzdálenost od přejezdu, ke které ETCS (resp. RBC) vztahuje výpočet vyrovnání přibližovací doby (dále VPD). Od součtu se odečte ujetá vzdálenost od posledního PR reprezentovaná $V_{MAXTRAIN} * t$ a poslední hlášená pozice v PR (D_{LRBG}). K D_{LRBG} se přičítá $L_{DOUBTUNDER}$, což je nejhorší uvažovaná nepřesnost D_{LRBG} (*Worst Case*). Dokud tato nerovnost platí, tak nepřestane RBC odesílat příkaz na neuzavírání PZS.

Použití tohoto řešení by bylo vhodné pro vlaky s omezenou maximální vlakovou rychlostí na tratích s traťovou rychlostí 160 km.h^{-1} např. nákladní vlaky na hlavních tratích.

Popsané řešení však nezohledňuje možné zrychlování z aktuální rychlosti na $V_{MAXTRAIN}$. Vlaky se stejnou maximální vlakovou rychlostí by měly stejnou pozici na spuštění výstrahy, nezávislou na aktuální rychlosti V_{TRAIN} . Proto se tato nerovnice musí upravit, tak aby tyto nedostatky odstranila.

2.2.2 Spuštění výstrahy na základě aktuální vlakové rychlosti předpokládaným zrychlením

Za předpokladu, že vlak má menší rychlost než maximální vlakovou rychlost a zároveň menší než traťovou rychlost, tak se musí uvažovat, že vlak bude svoji rychlost zvyšovat až do maximální vlakové rychlosti nebo do traťové rychlosti (podle toho, která je více omezující). Zrychlení stanovené pro PZS je $1,3 \text{ m.s}^{-2}$ (ČSN 34 2650 čl. C.2.2, 2010). V následujících úvahách se bude uvažovat toto zrychlení.

Rce. 7: Nerovnice vyrovnání přibližovací doby pro vlaky s předpokládaným zrychlením, s maximální vlakovou rychlostí menší než traťová rychlost

$$\left(\frac{V_{TRAIN}}{3,6} + a * t\right) * t_a + \frac{1}{2} * a * t_a^2 + (X + t_L - t_a) * \frac{V_{MAXTRAIN}}{3,6} * < \\ < t_L * \frac{V_{TRACK}}{3,6} + sb - \left(\frac{V_{TRAIN}}{3,6} + \frac{1}{2} * a * t\right) * t - D_LRBG - L_DOUBTUNDER,$$

$$\text{kde } V_MAXTRAIN \leq V_{TRACK} \wedge \left(\frac{V_{TRAIN}}{3,6} + a * t\right) \leq \frac{V_MAXTRAIN}{3,6}$$

Rce. 8: Nerovnice vyrovnání přibližovací doby pro vlaky s předpokládaným zrychlením, s maximální vlakovou rychlostí větší než traťová rychlost

$$\left(\frac{V_TRAIN}{3,6} + a * t\right) * t_a + \frac{1}{2} * a * t_a^2 + (X + t_L - t_a) * \frac{V_{TRACK}}{3,6} < t_L * \\ * \frac{V_{TRACK}}{3,6} + sb - \left(\frac{V_TRAIN}{3,6} + \frac{1}{2} * a * t\right) * t - D_LRBG - L_DOUBTUNDER,$$

$$\text{kde } V_{TRACK} < V_MAXTRAIN \wedge \left(\frac{V_TRAIN}{3,6} + a * t\right) \leq \frac{V_{TRACK}}{3,6}$$

Legenda:

- $V_MAXTRAIN$ – maximální vlaková rychlost [km.h^{-1}]
- V_TRAIN – aktuální vlaková rychlost odeslaná v posledním PR [km.h^{-1}]
- V_{TRACK} – traťová rychlost v přibližovacím úseku PZS [km.h^{-1}]
- X – reprezentuje časové zpoždění mezi jednotlivými zařízeními ETCS (přenos informací mezi OBS a RBC a z RBC do PZS), při posílání aktuálních informací o vlaku [s]
- t_L – přibližovací doba [s]
- sb – vzdálenost BG od PB nebo IS, který má standardně spouštět výstrahu na PZS, tj. pro vlaky, pro které se neuplatní vyrovnání přibližovací doby [m]
- t – je proměnná, která reprezentuje čas, který uběhl od posledního obdržení PR v RBC od palubního zařízení ETCS [s]

- D_LRBG – ujetá vzdálenost od poslední BG, která je v posledním PR přijatém v RBC [m]
- $L_DOUBTUNDER$ – nepřesnost D_LRBG (o kolik může být vlak před daným D_LRBG) pro poslední PR [m]
- a – reprezentuje maximální zrychlení vlaku [$m.s^{-2}$], určená normou ČSN 34 2650 na $1,3 m.s^{-2}$
- t_a – je pomocná proměnná, která určuje dobu zrychlení vlaku z rychlosti $V_TRAIN + a * t$ na maximální vlakovou nebo traťovou rychlost dovolenou v daném úseku [s]

Rce. 9: Rovnice času potřebného na zrychlení, s maximální vlakovou rychlostí menší než traťová rychlost

$$t_a = \frac{V_MAXTRAIN - V_TRAIN}{3,6 * a} - t,$$

$$kde V_MAXTRAIN \leq V_TRACK \wedge \left(\frac{V_TRAIN}{3,6} + a * t \right) \leq \frac{V_MAXTRAIN}{3,6}$$

Rce. 10: Rovnice času potřebného na zrychlení, s maximální vlakovou rychlostí větší než traťová rychlost

$$t_a = \frac{V_TRACK - V_TRAIN}{3,6 * a} - t,$$

$$kde V_TRACK < V_MAXTRAIN \wedge \left(\frac{V_TRAIN}{3,6} + a * t \right) \leq \frac{V_TRACK}{3,6}$$

Levá strana Rce. 7 reprezentuje jako u Rce. 6 pozici spuštění výstrahy. U minulé nerovnice byla pozice spuštění výstrahy konstantní, kdežto u této je levá strana Rce. 7 proměnná v závislosti na aktuální rychlosti V_TRAIN a době t (doba od posledního PR), během které RBC inkrementuje rychlost V_TRAIN .

Pozice spuštění výstrahy se vypočítá pomocí fyzikálního vzorce na rovnoměrně zrychlený pohyb s nenulovou počáteční rychlostí. Tím se vypočítá ujetá vzdálenost během zrychlování. K této vzdálenosti se přidá pohyb rovnoměrný, který bude reprezentovat vzdálenost ujetou po zrychlení na maximální vlakovou, respektive traťovou rychlost.

Při výpočtu pozice spuštění výstrahy se musí počítat s narůstající rychlostí V_TRAIN . Rychlost V_TRAIN je předána v hlášení polohy z vozidla do RBC, ale jelikož po předání zprávy se musí ihned počítat s navýšením této rychlosti o $1,3 m.s^{-1}$ za 1 s. Takže do části výpočtu výchozí rychlosti se musí dodat $a * t$, kde t reprezentuje čas uplynulý od přijetí posledního PR, aby rychlost V_TRAIN byla rovna maximální přípustné rychlosti a zabránilo

se potencionálnímu riziku, že vlak dorazí na přejezd před uplynutím přibližovací doby. Tato rychlost nemůže přesáhnout maximální vlakovou rychlost nebo traťovou rychlost, protože komunikující vozidlo je pod dohledem ETCS, resp. je dohlíženo podle oprávnění k jízdě (MA), tím není překročení takové limitní rychlosti umožněno.

Pozice spuštění výstrahy se vypočítá z aktuální rychlosti, tato rychlost se však nejspíš bude zvyšovat nadále po spuštění výstrahy, proto se nemůže použít vztah $V_TRAIN * t_L$, ale musíme počítat s tím, že se rychlost bude navyšovat o $a * t$, přitom rychlost zase nesmí přesáhnout $V_MAXTRAIN$ nebo V_TRACK . Proto musí RBC vypočítat dobu t_a , během které bude vlak zrychlovat až na maximální rychlost (maximální rychlostí se rozumí maximální vlaková nebo traťová rychlost podle toho, která je více omezující, v textu je občas zastoupena proměnnou V_MAX).

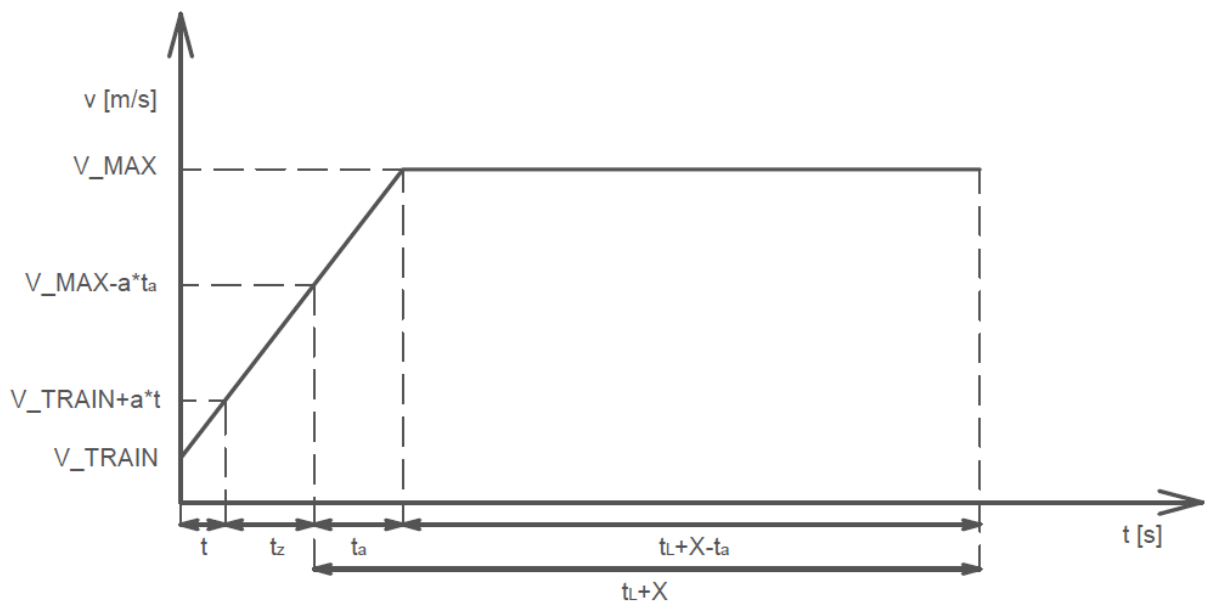
Čas t_a se vypočítá z rozdílu maximální a aktuální rychlosti, která je však inkrementována zrychlením za čas od přijetí posledního PR. Kdyby tato inkrementace nebyla počítána, tak by se počítalo s menší rychlostí a vlak by mohl dorazit k PZ před uplynutím přibližovací doby a mohlo by dojít k hazardu. Rozdíl rychlostí se vydělí zrychlením a a převodní konstanty ($m.s^{-1}$ vs. $km.h^{-1}$) 3,6.

Vzdálenost ujetá po dokončení zrychlení se vypočítá vynásobením maximální rychlosti vlaku a časem, za který vlak dorazí k přejezdu a který se vypočítá vztahem $(X + t_L - t_a)$. V Rce. 6 se maximální vlaková rychlost násobila součtem přibližovací dobou t_L a časem komunikačního zpoždění zařízení ETCS (včetně komunikací do PZ) X . Jenže to u této nerovnice nestačí, protože nějakou dobu přibližovací doby vlak zrychloval, proto se tato doba musí odečíst od původní doby jízdy konstantní rychlostí. vzdálenost ujetá maximální rychlostí se tedy vypočítá pomocí vztahu: $l = (X + t_L - t_a) * V_MAX$.

Pravá strana nerovnice je stejná, jako u Rce. 6, až na člen počítající vzdálenost ujetou od posledního PR. Ve vzdálenosti musíme zohlednit možné zrychlení vlaku za čas od posledního PR, do nerovnice se proto dodá člen $\frac{1}{2} * a * t^2$.

2.2.2.1 Analýza řešení vlaků s předpokládaným zrychlením

Obr. 1: Rychlostní osa s předpokládaným zrychlením – vzdálenost je prezentována plochou pod křivkou



Legenda:

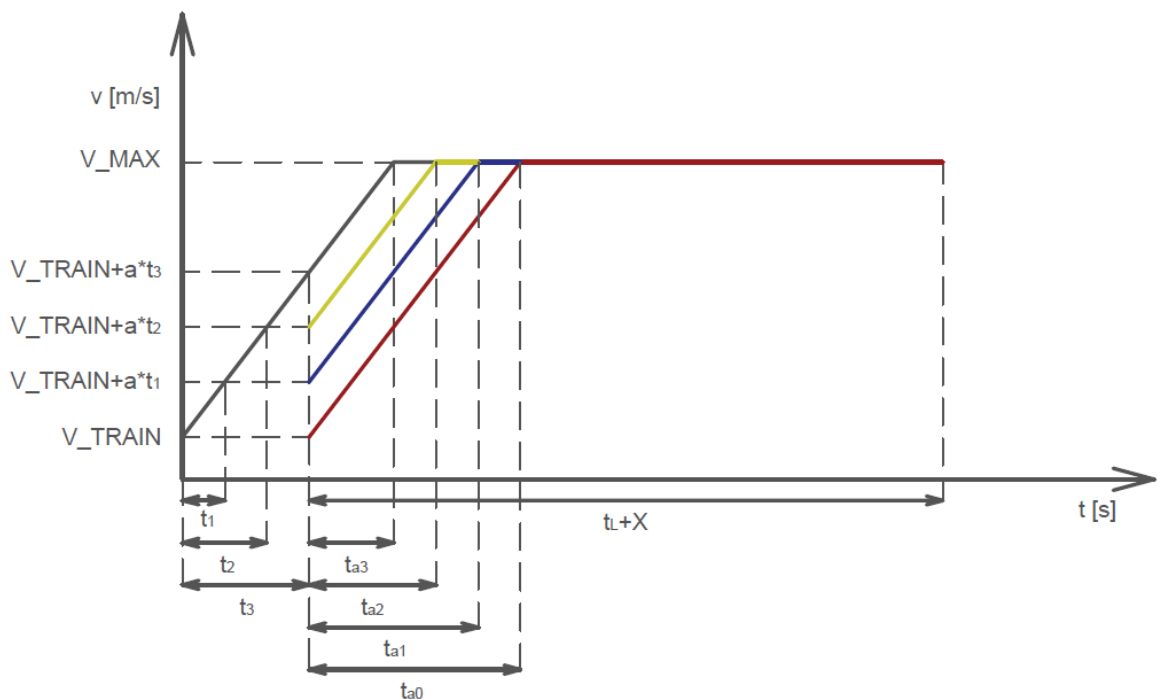
- $V_MAXTRAIN$ – maximální vlaková rychlost [$km.h^{-1}$]
- V_TRAIN – aktuální vlaková rychlost odeslaná v posledním PR [$km.h^{-1}$]
- V_{TRACK} – traťová rychlost v přibližovacím úseku PZS [$km.h^{-1}$]
- X – reprezentuje časové zpoždění mezi jednotlivými zařízeními ETCS (přenos informací mezi OBS a RBC a z RBC do PZS), při posílání aktuálních informací o vlaku [s]
- t_L – přibližovací doba [s]
- a – reprezentuje maximální zrychlení vlaku [$m.s^{-2}$], určená normou ČSN 34 2650 na $1,3 m.s^{-2}$
- t_a – je doba během, které bude vlak zrychlovat na V_MAX po spuštění výstrahy [s]
- t – je proměnná, která reprezentuje čas, který uběhl od posledního obdržení PR v RBC od palubního zařízení ETCS [s]
- t_z – doba, za kterou dojde ke spuštění výstrahy [s]

Na Obr. 1 je vidět průběh přibližování k přejezdu od posledního přijetí PR s rychlostí V_TRAIN . Rychlost je navýšena o člen $a * t$, což je předpokládané zvýšení rychlosti vzniklé od přijetí PR. Doba t_z reprezentuje dobu mezi aktuálním časem a dobou spuštění výstrahy $t_L + X$. Jakmile bude doba t_z rovna nule, tak dojde ke spuštění výstrahy. Potom bude vlak

zrychlovat po dobu t_a , a pak následuje úsek, ve kterém se bude vlak pohybovat maximální rychlostí. Z Obr. 1 je vidět, že tento úsek s větší maximální rychlostí dělá největší ujetou vzdálenost, což znamená, že aby se dalo výrazněji ušetřit na čase, tak je potřeba, aby rychlost $V_{MAXTRAIN}$ byla menší než rychlost V_{TRACK} .

Průběh této rychlostní osy není odrazem výpočtu nerovnosti, rychlostní osa je upravena tak, aby se na ní daly snadněji vysvětlit průběhy pohybu vlaku a změny, které jsou nutné pro zpřesnění výpočtu.

Obr. 2: Časová Rychlostní osa přesně podle výpočtu nerovnice, $V_{MAX} = V_{TRACK}$



Legenda:

- V_{MAX} – maximální vlaková rychlost nebo traťová rychlost podle toho, která rychlost je více omezující [km.h^{-1}]
- V_{TRAIN} – aktuální vlaková rychlost odeslaná v posledním PR [km.h^{-1}]
- X – reprezentuje časové zpoždění mezi jednotlivými zařízeními ETCS (přenos informací mezi OBS a RBC a z RBC do PZS), při posílání aktuálních informací o vlaku [s]
- t_L – přibližovací doba [s]
- a – reprezentuje maximální zrychlení vlaku [m.s^{-2}], určená normou ČSN 34 2650 na $1,3 \text{ m.s}^{-2}$

- t_{av} – je doba během, které bude vlak zrychlovat na V_MAX po spuštění výstrahy [s]
- t_1, t_2, t_3 – časy pro simulaci průběhu výpočtu, ve výpočtu jsou zastoupeny proměnnou t [s]
- t_{a0} – doba zrychlení na V_MAX při rychlosti V_TRAIN , ve výpočtu zastoupena jako t_a [s]
- t_{a1}, t_{a2}, t_{a3} , – doba zrychlení na V_MAX pro jednotlivé časy t_1, t_2, t_3 , v rovnici jsou zastoupeny proměnnou t_a [s]

Na Obr. 2 je ukázán skutečný průběh výpočtu nerovnice. Začátek osy je v době odeslání PR, doby t_1, t_2, t_3 reprezentují 3 různé doby od posledního PR. Levá i pravá strana nerovnice se neustále mění s každým cyklem výpočtu v RBC reprezentovaným dobou t . Černý průběh reprezentuje pravou stranu nerovnice čili i průběh pohybu vlaku. Levá strana nerovnice se inkrementuje o $a * t$ a t_a se neustále zmenšuje o t , tím se zvětšuje vzdálenost ujetá maximální rychlostí. Průběhy levé strany nerovnice (barevné) začínají v době spuštění výstrahy, protože se levá strana mění v závislosti na době t , tak je i několik průběhů v přibližovací době. Červený průběh je pro rychlost V_TRAIN , modrý průběh je pro rychlost $V_TRAIN + a * t_1$. U rychlosti $V_TRAIN + a * t_3$ se průběh pohybu vlaku (pravá strana nerovnice) shoduje s průběhem levé strany nerovnice. Dojde-li k rovnosti pravé a levé strany nerovnice a nerovnost přestane platit, tak RBC přestane posílat PZS příkaz na nespouštění výstrahy a výstraha se spustí. Jinými slovy, levá strana nerovnice se stále zvětšuje a pravá strana nerovnice neustále zmenšuje v závislosti na čase t , a jakmile dojde ke shodě levé a pravé strany (resp. nerovnost přestane platit, protože z důvodu délky cyklu výpočtu nemusí vůbec dojít k rovnosti), tak se spustí výstraha.

Tab. 4 obsahuje parametry, které jsou v excelové tabulce použity pro výpočet ušetřené doby. Tab. 5 je zaměřena na vliv času X na ušetřený čas a kolik času se ušetří při uvažování zrychlení v Rce. 7 oproti Rce. 6 uvažující jen $V_MAXTRAIN$. V následujících tabulkách Tab. 4 a Tab. 5 ušetřených dob se uvažuje V_TRAIN konstantní, dokud nedojde ke spuštění výstrahy, konstantní rychlost se uvažuje, kvůli snadnějšímu nasimulování reálné situace. Tím se zjednoduší výpočet ušetřené doby. Také se zanedbá čas od posledního PR a bude se předpokládat, že D_LRBG uvádí skutečnou aktuální (v době přijetí v RBC/PZS) pozici vlaku.

Tab. 4: Tabulka vstupních proměnných

Přibližovací doba t_L [s]	40
Zpoždění zařízení ETCS X [s]	3
Zrychlení a [$m \cdot s^{-2}$]	1,3
V_{TRACK} [$km \cdot h^{-1}$]	160
s_b [m]	200
t [s]	0
Pozice IS nebo PB od PZS [m]	1777,778
V_{TRAIN} [$m \cdot s^{-1}$]	konst.
$L_{DOUBTUNDER}$	+5 % +5 m

Tab. 5: Tabulka ušetřených dob a porovnání vlivu zpoždění zařízení ETCS, $V_{MAXTRAIN} \geq V_{TRACK}$

V_{TRAIN} [$km \cdot h^{-1}$]	Skutečná pozice vlaku při spuštění výstrahy [m]	Pozice vlaku při spuštění výstrahy, když uvažované X = skutečné době přenosu [m]	Ušetřená doba [s]	Ušetřená doba, když se skutečné doba přenosu blíží 0 [s]
160	1911,11	1777,78	-0,34	-3,19
140	1899,24	1765,91	-0,10	-3,35
120	1863,63	1730,29	0,90	-2,90
100	1804,27	1670,94	3,11	-1,45
85	1744,18	1610,84	6,08	0,72
80	1721,18	1587,84	7,44	1,74
60	1614,34	1481,01	16,02	8,42
40	1483,76	1350,43	35,19	23,79

Z Tab. 5 je zřejmé, že skutečná pozice spuštění výstrahy by měla být (např. pro rychlost $160 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) vzdálená 1911,11 m, což je více než vzdálenost mezi IS nebo PB a přejezdem. Tato skutečnost je zapříčiněna dobou zpoždění zpracování a přenosu informace z primárního zdroje v zařízení ETCS (OBS) do PZS cestou přes RBC (doba X). RBC přestane posílat příkaz na nespouštění výstrahy ve vzdálenosti 1911 m před přejezdem pro vlaky s $V_{TRAIN} = 160 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, ale jelikož přenos informací z RBC do PZS trvá nějakou uvažovanou dobu X a tato doba je rovna skutečné době přenosu informací, tak při příjmu informace v PZS je vlak v pozici nad PB nebo IS (1778 m od přejezdu). Tato situace je uvažovaná ve sloupci ušetřené doby. K překročení doby X nesmí však dojít (tj. uvažovaná doba nesmí být kratší než nejdelší skutečná), jinak by mohlo dojít k hazardu na přejezdu. Z tohoto důvodu musí být hodnota X stanovena vždy s určitou rezervou – jako *Worst Case* než při nejhorsích reálných komunikačních podmínkách.

Sloupec ušetřené doby poukazuje na omezenou přesnost odometru. Uvažuje se, že doba X je plně využita. Z chyby odometru je vidět, že nad rychlost $135 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ nemá smysl použít tento vytvořený algoritmus, protože nepřináší žádný efekt spouštět výstrahu za využití informací ETCS.

Sloupec ušetřené doby, když se skutečná doba přenosu blíží k 0, zahrnuje i chybu odometru a ilustruje provozně negativní důsledky plynoucí z uvažování bezpečnostně kritických časů (*Worst Case*) – časů nad rámec běžných provozních situací. Z Tab. 6 je pak zřejmé, že při velmi rychlém zpracování a přenosu informací (zpoždění se blíží k nule) je vlivem značného rozdílu reálného zpoždění od *Worst Case* využití uvedeného algoritmu efektivní dokonce jen pro rychlosti 85 km.h⁻¹ a nižší.

Tab. 6: Tabulka ušetřených dob pro $V_{MAXTRAIN} = 120 \text{ km./h-1}$, $V_{TRACK} = 160 \text{ km.h}^{-1}$.

V_TRAIN [km.h ⁻¹]	Skutečná pozice vlaku při spuštění výstrahy [m]	Pozice vlaku při spuštění výstrahy, když uvažované X = skutečné době přenosu [m]	Ušetřená doba [s]	Ušetřená doba, když se skutečné doba přenosu blíží 0 [s]
120	1433,33	1333,33	12,22	9,37
100	1421,46	1321,46	15,07	11,65
80	1385,85	1285,85	20,35	16,08
60	1326,50	1226,50	30,52	24,82
40	1243,40	1143,40	52,89	44,34

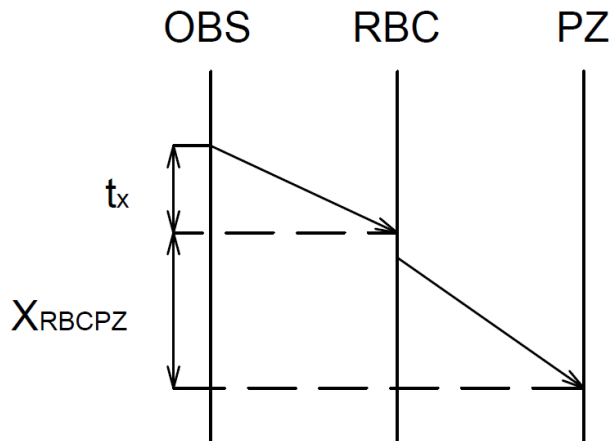
Z Tab. 6 je vidět, že na ušetřenou dobu má velký vliv nízká maximální vlaková rychlost. Rozdíl ušetřené doby mezi rychlostmi V_TRAIN 100 km.h⁻¹ a 120 km.h⁻¹ (při V_MAXTRAIN = 120 km.h⁻¹ a V_TRACK = 160 km.h⁻¹) je skoro 3 s, což je mnohem víc, než když maximální vlaková rychlost není nižší než rychlost traťová, tento rozdíl je způsobený delší dráhou (pro V_TRACK) před spuštěním výstrahy, kterou reálně vozidlo projíždí nižší konstantní rychlostí. V reálné situaci však bude vlak zrychlovat na svoji maximální vlakovou rychlost (nikoliv na rychlost traťovou), když se tedy vezme v úvahu, že v místě spuštění výstrahy bude rychlost V_TRAIN = 100 km.h⁻¹, tak bude skutečný rozdíl ještě větší. Z toho se dá vyvodit, že uvažování zrychlení vždy, dokonce i u rychlostí blízkých se maximální vlakové rychlosti, ušetří nějaký čas. U nižší aktuálních rychlostí oproti tomu ušetříme nezanedbatelně více času.

Musí se vyřadit rychlosti, které by, jak z důvodu odometru nebo nevyužití době zpoždění X, prodlužovaly dobu spuštění výstrahy. Z toho se dá vyvodit, že vlaky s V_MAXTRAIN = 140 km.h⁻¹ a nižšími by měly tento algoritmus používat. Vlaky s V_MAXTRAIN ≥ V_TRACK jsou omezeny touto nepřesností natolik, že by některé rychlosti V_TRAIN dokonce mohly způsobit prodloužení přibližovací doby, proto by se pro vlaky s těmito rychlostmi měla výstraha spouštět pomocí PB nebo IS. V tabulkách v příloze 2 se dá nasimulovat jakékoliv PZS, a dá se proto vyvodit, pro které rychlosti vlaku by měl být tento algoritmus vyrovnání přibližovací doby potlačen.

2.2.3 Nerovnice se zpřesněním doby zpoždění mezi jednotlivými prvky pro vyrovnání přibližovací doby

Ve výše uvedeném řešení se ukázalo, jak velký vliv má zpoždění X na výslednou ušetřenou dobu, proto je vhodné najít nějaké řešení, které tento nedostatek vylepší.

Obr. 3: Časová osa přenosu informací mezi prvky ERTMS/ETCS



Legenda:

- t_x – maximální stáří přijatého PR
- X_{RBCPZ} – doba nahrazující zpoždění ETCS X

Na Obr. 3 je znázorněn řetězec posílání informací mezi jednotlivými zařízeními ETCS a PZS. Výpočet algoritmu probíhá v RBC, proto se může doba zpoždění rozdělit na dvě, doba t_x reprezentuje stáří přijatého PR. Toto stáří se dá průběžně vypočítat, respektive RBC zná maximální možné stáří jednotlivých přijatých PR (jedná se o *Worst Case* hodnotu, nicméně ta není pevně dána, ale pro každý další PR se aktualizuje). Tohoto poznatku lze využít a z doby X tuto část odstranit. Je zřejmé, že doba t_x uběhla před dokončením zrychlení, proto se může doba t_x přiřadit do „trojúhelníkové části“ (trojúhelníková část je část průběhu rychlostní osy, kde se uvažuje zrychlení a vzdálenost ujetá díky zrychlení je reprezentována obsahem trojúhelníku) ujeté vzdálenosti, a tím ušetřit čas oproti zařazení tohoto času do výrazu s $V_MAXTRAIN$. Také doba t_x nemusí být pevně dána, což ještě více zpřesní výpočet, protože kdyby bylo t_x součástí X , tak by se muselo brát t_x za nejhorších podmínek, takto se bude s t_x počítat sice stále jako s *Worst Case*, ale za aktuálních komunikačních podmínek, což ušetří nezanedbatelný čas.

Po odstranění doby t_x z doby X vznikne doba X_{RBCPZ} komunikačního zpoždění RBC a PZS. Dobu X_{RBCPZ} zpoždění v RBC a při přenosu informace k PZS dále zredukovat nelze,

aniž by došlo k podstatnému rozšíření funkcionality softwaru (dále SW) pro komunikace s RBC v PZS – to je předmětem kapitoly 2.2.42.2.4. Jediné zpřesnění konfiguračně dané doby X_{RBCPZ} , může být stanovení doby pro každé PZS individuálně, každé PZS má různé komunikační prostředí, ve kterém je situováno. V příloze 2 se dá doba X_{RBCPZ} i t_x nastavit pro nasimulování jejich dopadu. Doba X_{RBCPZ} je v příloze 2 pořád pod názvem X. Po těchto úpravách bude výpočet vypadat jako v Rce. 11 a Rce. 12.

Rce. 11: Nerovnice vyrovnání přibližovací doby pro vlaky s předpokládaným zrychlením a dobou t_x , s maximální vlakovou rychlostí menší než traťová rychlost

$$\left(\frac{V_{TRAIN}}{3,6} + a * t + a * t_x\right) * t_a + \frac{1}{2} * a * t_a^2 + (X_{RBCPZ} + t_L - t_a) * \frac{V_{MAXTRAIN}}{3,6} > t_L * \frac{V_{TRACK}}{3,6} + sb - \frac{V_{TRAIN}}{3,6} * t - \frac{1}{2} * a * t^2 - \frac{1}{2} * a * t_x^2 - D_{LRBG} - L_{DOUBTUNDER};$$

$$\text{kde } V_{MAXTRAIN} \leq V_{TRACK} \wedge \left(\frac{V_{TRAIN}}{3,6} + a * t_x + a * t\right) \leq \frac{V_{MAXTRAIN}}{3,6}$$

Rce.12: Nerovnice vyrovnání přibližovací doby pro vlaky s předpokládaným zrychlením a dobou t_x , s maximální vlakovou rychlostí větší než traťová rychlost

$$\left(\frac{V_{TRAIN}}{3,6} + a * t + a * t_x\right) * t_a + \frac{1}{2} * a * t_a^2 + (X_{RBCPZ} + t_L - t_a) * \frac{V_{TRACK}}{3,6} > t_L * \frac{V_{TRACK}}{3,6} + sb - \frac{V_{TRAIN}}{3,6} * t - \frac{1}{2} * a * t^2 - \frac{1}{2} * a * t_x^2 - D_{LRBC} - L_{DOUBTUNDER};$$

$$\text{kde } V_{TRACK} < V_{MAXTRAIN} \wedge \left(\frac{V_{TRAIN}}{3,6} + a * t_x + a * t\right) \leq \frac{V_{TRACK}}{3,6}$$

Legenda:

- $V_{MAXTRAIN}$ – maximální vlaková rychlost [km.h⁻¹]
- V_{TRAIN} – aktuální vlaková rychlost odeslaná v posledním PR [km.h⁻¹]
- V_{TRACK} – traťová rychlost [km.h⁻¹]
- X_{RBCPZ} – reprezentuje časové zpoždění mezi RBC a PZS [s]
- t_L – přibližovací doba [s]
- sb – vzdálenost BG od PB nebo IS, který má standardně spouštět výstrahu na PZS, tj. pro vlaky, pro které se neuplatní vyrovnání přibližovací doby [m]
- t – je proměnná, která reprezentuje čas, který uběhl od posledního obdržení zprávy RBC od palubního zařízení ETCS [s]
- D_{LRBG} – ujetá vzdálenost od poslední BG, která je v posledním PR přijatém v RBC [m]
- $L_{DOUBTUNDER}$ – nepřesnost D_{LRBG} (o kolik může být vlak před daným D_{LRBG}) pro poslední PR [m]

- a – reprezentuje maximální zrychlení vlaku [m.s^{-2}], určená normou ČSN 34 2650 na 1,3 m.s^{-2}
- t_x – reprezentuje maximální stáří PR [s]
- t_a – je doba, během které bude vlak zrychlovat z V_TRAIN na V_MAX (od doby t_a se odečte t a t_x) [s]

Rce. 13: Rovnice času potřebného na zrychlení s dobou t_x , s maximální vlakovou rychlostí menší než traťová rychlost

$$t_a = \frac{V_MAXTRAIN - V_TRAIN}{3,6 * a} - t - t_x;$$

$$\text{kde } V_MAXTRAIN \leq V_TRACK \wedge \left(\frac{V_TRAIN}{3,6} + a * t + a * t_x \right) \leq \frac{V_MAXTRAIN}{3,6}$$

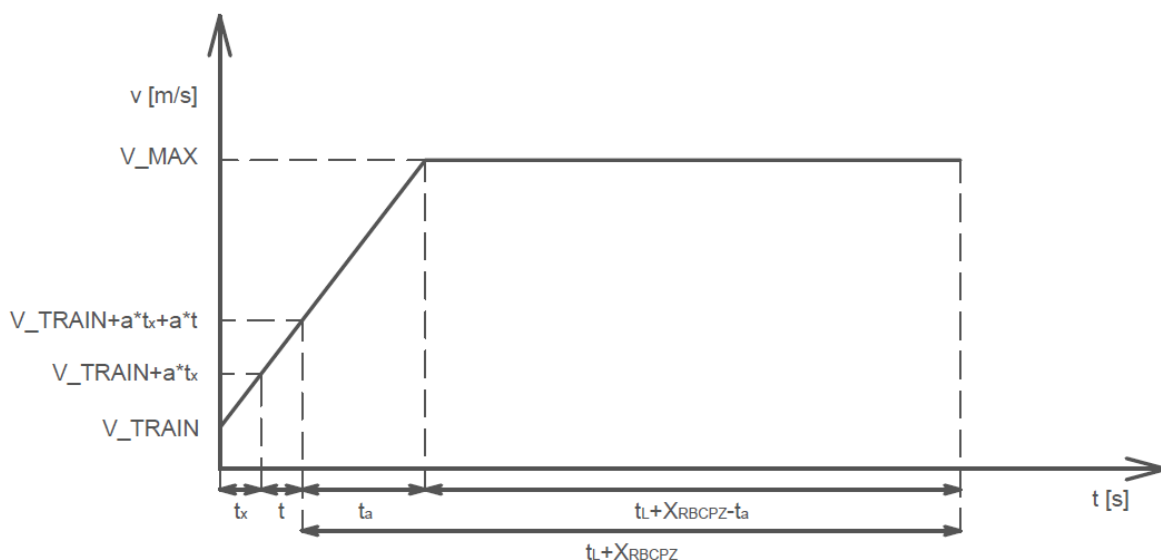
Rce. 14: Rovnice času potřebného na zrychlení s dobou t_x , s maximální vlakovou rychlostí větší než traťová rychlost

$$t_a = \frac{V_TRACK - V_TRAIN}{3,6 * a} - t - t_x;$$

$$\text{kde } V_TRACK < V_MAXTRAIN \wedge \left(\frac{V_TRAIN}{3,6} + a * t + a * t_x \right) \leq \frac{V_TRACK}{3,6}$$

Při použití Rce. 11 se graf rychlostní osy změnil a bude vypadat jako na Obr. 4.

Obr. 4: Rychlostní osa s předpokládaným zrychlením a dobou t_x – vzdálenost je prezentována plochou pod křivkou, v místě spuštění výstrahy



Legenda:

- V_MAX – maximální vlaková rychlost nebo traťová rychlost podle toho, která rychlost je více omezující [km.h^{-1}]

- X_{RBCPZ} – reprezentuje časové zpoždění mezi RBC a PZ
- t_a – je doba, během které bude vlak zrychlovat na V_MAX po spuštění výstrahy [s]
- t_x – reprezentuje maximální stáří PR

Na Obr. 4 je vidět, že se změnila levá i pravá strana Rce. 11. Na levé straně Rce. 11 se musí inkrementovat člen $\left(\frac{V_TRAIN}{3,6} + a * t\right) * t_a$ o $a * t_x$, protože rychlost, kterou RBC přijala v posledním PR může být větší o $a * t_x$.

Pravá strana Rce. 11 se změnila více, protože integrál pod křivkou je větší o t_x , proto se člen $\left(\frac{V_TRAIN}{3,6} + a * t\right) * t$ změnil na $\frac{V_TRAIN}{3,6} * (t_x + t) - \frac{1}{2} * a * (t_x + t)^2$, jelikož trojúhelníková část již nebude trojúhelníková (modrá část Obr. 5), jestliže vlak již dosáhl maximální rychlosti. Proto se musí ošetřit člen $\frac{1}{2} * a * (t_x + t)^2$ na $\frac{1}{2} * a * (t_{x2} + t_2)^2$, kde pro t_{x2} a t_2 platí podmínky vyjádřeny v Rce. 15 a Rce. 16.

Rce. 15: Podmínka pro výpočet a výpočet t_{x2}

$$\frac{V_TRAIN}{3,6} + a * t_x \leq \frac{V_MAX}{3,6} \Rightarrow t_{x2} = t_x$$

$$\frac{V_TRAIN}{3,6} + a * t_x > \frac{V_MAX}{3,6} \Rightarrow t_{x2} = \frac{V_MAX - V_TRAIN}{3,6 * a}$$

Rce. 16: Podmínka pro výpočet a výpočet t_2

$$\frac{V_TRAIN}{3,6} + a * t_{x2} + a * t \leq \frac{V_MAX}{3,6} \Rightarrow t_2 = t$$

$$\frac{V_TRAIN}{3,6} + a * t_{x2} + a * t > \frac{V_MAX}{3,6} \Rightarrow t_2 = \frac{V_MAX - V_TRAIN}{3,6 * a} - t_x$$

Legenda:

- V_MAX – maximální vlaková rychlost nebo traťová rychlost podle toho, která rychlost je více omezující [km.h^{-1}]
- t – je proměnná, která reprezentuje čas, který uběhl od posledního obdržení PR v RBC od palubního zařízení ETCS [s]
- t_x – reprezentuje maximální stáří PR [s]
- t_{x2} – upravená doba t_x pro trojúhelníkovou část grafu [s]
- t_2 – upravená doba t pro trojúhelníkovou část grafu [s]

Z Rce. 15 a Rce. 16 je vidět, že pokud je $V_TRAIN + 3,6 * a * t_x$ menší nebo rovna V_MAX , pak se $t_{x2} = t_x$, pokud však $V_TRAIN + 3,6 * a * t_x$ je větší než V_MAX , pak se t_{x2} vypočítá pomocí rovnice $t_{x2} = \frac{V_MAX - V_TRAIN}{3,6 * a}$. Pro t_2 platí, pokud $V_TRAIN + 3,6 * a * t_{x2} + 3,6 * a * t$ je menší nebo rovno V_MAX , pak se $t_2 = t$, pokud však $V_TRAIN + 3,6 * a * t_{x2} + 3,6 * a * t$ je větší než V_MAX , tak se t_2 vypočítá pomocí rovnice $t_2 = \frac{V_MAX - V_TRAIN}{3,6 * a} - t_x$. Tímto se zabrání možnému nežádoucímu trojúhelníku v grafu. S těmito časy bude rovnice vypadat jako v Rce. 17.

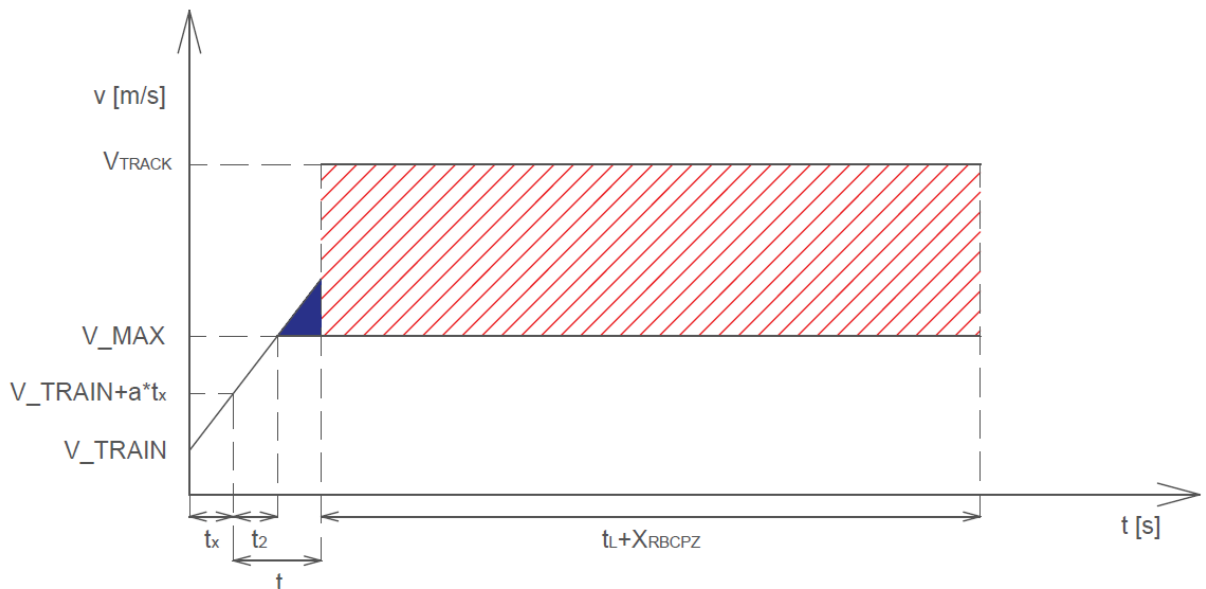
Rce. 17: Nerovnice s odstraněným problémem překročení V_MAX z důvodu doby t a t_x

$$\left(\frac{V_TRAIN}{3,6} + a * t_{x2} + a * t_2\right) * t_a + \frac{1}{2} * a * t_a^2 + (X_{RBCPZ} + t_L - t_a) * V_{MAX} < t_L * \frac{V_{TRACK}}{3,6} + s_b - \frac{V_{TRAIN}}{3,6} * (t_x + t) - \frac{1}{2} * a * (t_{x2} + t_2)^2 - D_LRBG - L_DOUBTUNDER;$$

kde $V_MAX \leq V_{TRACK}$

Pokud se tato úprava časů použije u vlaků, u nichž $V_MAXTRAIN = V_{TRACK}$, tak odložení výstrahy nemá smysl, protože by ušetřená doba měla zápornou hodnotu. Pokud však $V_MAXTRAIN < V_{TRACK}$, pak bude mít graf podobu dle Obr. 5.

Obr. 5: Rychlostní osa s ošetřením dob t_x a t , $V_MAX < V_{TRACK}$



Legenda:

- V_MAX – maximální vlaková rychlost nebo traťová rychlost podle toho, která rychlost je více omezující [$km \cdot h^{-1}$]

- X_{RBCPZ} – reprezentuje časové zpoždění mezi RBC a PZS [s]
- t_x – reprezentuje maximální stáří PR[s]
- t – je proměnná, která reprezentuje čas, který uběhl od posledního obdržení zprávy RBC od palubního zařízení ETCS [s]
- t_2 – je upravená proměnná, která reprezentuje čas, který uběhl od posledního obdržení zprávy RBC od palubního zařízení ETCS [s]

Z Obr. 5 je vidět, že vlak dosáhne $V_{MAXTRAIN}$ dřív, než by se měla spustit výstraha, ale protože $V_{MAXTRAIN} < V_{TRACK}$, tak se pořád šetří doba. Rozdíl mezi dráhou ujetou během přibližovací doby $V_{MAXTRAIN}$ a V_{TRACK} je vyšrafovaná oblast grafu, proto zde dojde k výraznému ušetření času, jak se ukáže v Tab. 8.

Tab. 7: Tabulka vstupních proměnných

Přibližovací doba [s]	40
Zpoždění zařízení ETCS X_{RBCPZ} [s]	2
Zrychlení $[m.s^{-2}]$	1,3
V_{TRACK} $[km.h^{-1}]$	160
s_b [m]	200
t [s]	1
Pozice IS nebo PB od přejezdu [m]	1777,777778
V_{TRAIN}	konst.
t_x [s]	0,8
$L_{DOUBTUNDER}$	+5 % +5 m

Tab. 8: Tabulka ušetřených dob pro uvažované zrychlení a stáří PR t_x

V_{TRAIN} $[km.h^{-1}]$	Skutečná pozice vlaku při spuštění výstrahy [m]	Pozice vlaku při spuštění výstrahy, když uvažované X_{RBCPZ} = skutečné době přenosu [m]	Ušetřená doba [s]	Ušetřená doba, když se skutečné doba přenosu blíží 0 [s]
160	1866,67	1777,78	-0,25	-2,15
140	1862,69	1773,80	-0,23	-2,40
120	1837,08	1748,19	0,45	-2,08
100	1787,72	1698,83	2,21	-0,83
80	1714,63	1625,74	5,86	2,06
60	1617,79	1528,90	13,31	8,24
40	1497,21	1408,32	30,23	22,63
$V_{MAX} = 140 km.h^{-1}$				
140	1633,33	1555,56	5,13	3,23
120	1626,37	1548,59	6,14	3,92
100	1596,31	1518,53	8,38	5,72
80	1542,51	1464,73	12,75	9,42
60	1464,97	1387,19	21,39	16,95
40	1363,69	1285,91	40,69	34,04

V_TRAIN [km.h ⁻¹]	Skutečná pozice vlaku při spuštění výstrahy [m]	Pozice vlaku při spuštění výstrahy, když uvažované X _{RBCPZ} = skutečné době přenosu [m]	Ušetřená doba [s]	Ušetřená doba, když se skutečné doba přenosu blíží 0 [s]
V_MAX = 120 km.h ⁻¹				
120	1400,00	1333,33	12,31	10,41
100	1393,03	1326,37	14,95	12,67
80	1362,98	1296,31	19,95	17,10
60	1309,18	1242,51	29,63	25,83
40	1231,64	1164,97	51,03	45,33
V_MAX = 100 km.h ⁻¹				
100	1166,67	1111,11	22,35	20,45
80	1159,70	1104,15	28,16	25,79
60	1129,64	1074,09	39,23	36,07
40	1075,85	1020,29	63,41	58,66
V_MAX = 80 km.h ⁻¹				
80	933,33	888,89	37,42	35,52
60	926,37	881,92	50,19	47,65
40	896,31	851,87	77,81	74,01

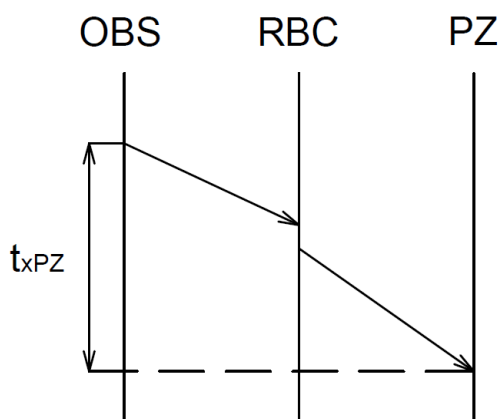
V Tab. 8 jsou zobrazené pouze nejčastější vlakové rychlosti, celá tabulka je k nahlédnutí v příloze č. 2. V Tab. 8 se znovu počítá s konstantní rychlostí přibližování. Z Tab. 8 je vidět, že za těchto podmínek se u tohoto zlepšení ušetří skoro celá sekunda u V_MAX = 160 km.h⁻¹, u nižších rychlostí toto zlepšení projeví ještě příznivěji.

Spouštění výstrahy za použití výpočtu nerovnic v RBC spouští výstrahu tím, že RBC posílá PZS příkaz, aby ještě nespouštělo výstrahu, to přináší další problém, a to že je třeba nastavit maximální dobu platnosti příkazu. Po uplynutí této doby, aniž by se aktualizoval příkaz o nespouštění výstrahy, se automaticky spustí výstraha, tato doba musí být kratší než doba X_{RBCPZ}. Tím bude zajištěno, že se výstraha nespustí dřív, než by měla.

2.2.4 Nerovnice při přesunutí výpočtu do PZS

Výpočet se dá zdokonalit ještě více, když se výpočet přesune do PZS, to však vyžaduje v každém PZS SW, který by se na řízení vyrovnání přibližovací doby podílel. Potom by časová osa vypadala jako na Obr. 6.

Obr. 6: Rychlostní osa s předpokládaným zrychlením – vzdálenost je prezentována plochou pod křivkou



U přesunutí SW do PZS je doba X nebo X_{RBCPZ} rovna 0 s, protože celý přenos informací se dá vypočítat jako u doby t_x . Nově vzniklá proměnná t_{xPZ} reprezentuje maximální stáří PR, který je přijat v PZS. Doba t_{xPZ} se také může počítat v trojúhelníkové části průběhu rychlostní osy jako doba t_x v 2.2.3. V nerovnici se díky tomu dá odstranit proměnná X (X_{RBCPZ}) z výpočtu vzdálenosti ujetou maximální rychlostí $l = (t_L - t_a) * V_MAX$. Ve výpočtu t_{xPZ} nahradí t_x a jinak nerovnice bude vypadat stejně se stejnými zákonitostmi. Doba t_{x2} se vypočítá stejně jako v 2.2.3, akorát se místo t_x dosadí t_{xPZ} , v době t_a se provede stejná záměna. Výpočet bude vypadat jako v Rce. 18.

Rce. 18: Nerovnice s přesunutím výpočtu do PZS

$$\left(\frac{V_TRAIN}{3,6} + a * t_{x2} + a * t_2\right) * t_a + \frac{1}{2} * a * t_a^2 + (t_L - t_a) * \frac{V_MAX}{3,6} <$$

$$< t_L * \frac{V_TRACK}{3,6} + s_b - \frac{V_TRAIN}{3,6} * (t_{xPZ} + t) - \frac{1}{2} * a * (t_{x2} + t_2)^2 - D_LRBG -$$

$$-L_DOUBTUNDER; \text{ kde } V_MAX \leq V_TRACK$$

Legenda:

- V_MAX – maximální vlaková rychlost nebo traťová rychlost podle toho, která rychlost je více omezující [km.h^{-1}]
- t_{xPZ} – reprezentuje maximální stáří PR přijaté PZS [s]
- t – je proměnná, která reprezentuje čas, který uběhl od posledního obdržení zprávy PZS od palubního zařízení ETCS [s]
- t_2 – je upravená proměnná, která reprezentuje čas, který uběhl od posledního obdržení zprávy PZS od palubního zařízení ETCS [s]

- t_{x2} – upravená doba t_{xPZ} pro trojúhelníkovou část grafu [s]

Použití této úpravy by bylo vhodné pouze u PZS, u nichž by pravděpodobné vyšší náklady byly vyváženy pozitiviv ušetřené doby (ušetřená doba oproti předchozím řešením bude znatelně vyšší). Ušetřená doba se dá nasimulovat v příloze 2, kde se nastaví za X_0 a za t_x se dosadí doba t_{xPZ} .

2.3 Odložení výstrahy pomocí jedné balízkové skupiny



Doposud se uvažovalo, že bude výpočetní jednotka posílat PZS příkaz, aby PZS ještě nespouštělo výstrahu. Vybavení PZS má i další funkci, a to že se dá nastavit o kolik má PZS odložit výstrahu, to se využívá např. u dvou a více PZS, kde do sebe zasahují přibližovací úseky, resp. tam kde jsou v blízkosti PB či IS z jiných důvodů, ale jejich poloha neodpovídá – je ve větší vzdálenosti – než požadovaný začátek přibližovacího úseku.

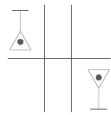
Této vlastnosti se dá využít tím, že RBC z aktuálního PR vypočítá, o kolik by se mělo spuštění výstrahy odložit. BG se musí umístit před IS nebo PB tak, aby se stihl přenos informací mezi OBS a PZS a výpočet doby odložení v RBC před vstupem vlaku do přibližovacího úseku. Logika PZS bude muset být samozřejmě pro takové použití upravena o schopnost odkládat spuštění výstrahy o variabilní čas, nikoliv jen o čas pevně daný. I zde musí být zavedena vzdálenost s_b (vzdálenost mezi BG a PB nebo IS), to ale způsobí další problém, protože k hlášení polohy vlaku dojde před vstupem do přibližovacího úseku. To znamená, že RBC musí vypočítat dobu, za kterou od přijetí PR vlak přejede IS nebo PB. Tato doba je dále označena jako t_{bp}

Obr. 7: Časová osa odložení výstrahy



Legenda:

-  – schématická značka BG
-  – schématická značka znázorňující IS (fakticky se může jedna i o PB)



- - schematická značka PZS
- t_{bp} – doba PR do přejetí IS nebo PB [s]
- t_L – přibližovací doba [s]
- t_o – doba odložení výstrahy [s]

Z Obr. 7 je vidět, že doba t_{bp} bude výchozí podmínkou, když bude vlak před IS. Pokud však další PR přijde po přejetí IS, tak by t_{bp} měla záporný smysl. Proto je potřeba zavést dobu t_z , která bude určovat dobu od přejetí IS po poslední přijatý PR. Tímto jsou určeny výchozí podmínky, teď je potřeba vypočítat doby pohybu vlaku v úseku mezi BG a přejezdem. Doba t_a je doba, po kterou bude vlak zrychlovat na V_MAX . Doba t_a se vypočítá stejně jako v kapitole 2.2.2. Doba t_{max} bude doba pohybu vlaku rychlostí V_MAX . S těmito poznatky bude rovnice výpočtu odložení výstrahy dána vztahem Rce. 19.

Rce. 19: Výpočet doby odložení výstrahy

$$t_o = t_{max} + t_a + t_z - t_{bp} - t_L$$

Legenda:

- t_{max} – doba jízdy vlaku maximální rychlostí po přejezd [s]
- t_a – doba zrychlení z aktuální rychlosti, která je dána vztahem $V_TRAIN + 3.6 * a * t_x$, na V_MAX [s]
- t_z – doba od přejetí IS nebo PB po poslední přijatý PR [s]
- t_{bp} – doba od posledního PR do přejetí IS nebo PB [s]
- t_L – přibližovací doba [s]
- t_o – doba odložení výstrahy [s]

Doba t_{max} se spočítá pomocí rovnice rovnoměrného pohybu, kde vzdálenost bude reprezentována proměnnou l_{max} . Vzdálenost l_{max} se vypočítá pomocí Rce. 20.

Rce. 20: Výpočet vzdálenosti l_{max} u odložení výstrah

$$l_{max} = sb + l_L - D_LRBG - L_DOUBTUNDER - \frac{V_MAX^2 - V_TRAIN^2}{25,92 * a}$$

Člen $\frac{V_MAX^2 - V_TRAIN^2}{25,92 * a}$ v rovnici reprezentuje vzdálenost ujetou při zrychlování z V_TRAIN na V_MAX . Číslo 25,92 je převod z $km.h^{-1}$ na $m.s^{-1}$ na druhou krát 2. S vypočtenou vzdáleností l_{max} se doba t_{max} vypočítá pomocí Rce. 21.

Rce. 21: Výpočet doby t_{max} pro odložení výstrahy

$$t_{max} = \frac{l_{max}}{V_{MAX}} * 3,6$$

Po přejetí IS nebo PB a nahlášení polohy vlaku by doba t_{bp} byla záporná a říkala by dobu po přejetí PB nebo IS, jenže tato doba by nebyla *Worst Case*. *Worst Case* by byl, kdyby rychlost vlaku předaná v předcházejícím PR byla větší a vlak zpomaloval a platilo by $V_{TRAIN_{n-1}} > V_{TRAIN_n}$. To by znamenalo, že skutečná ujetá vzdálenost by byla větší než vypočítaná, a vlak by mohl dorazit k přejezdu před uplynutím přibližovací doby, a nastal by hazard na přejezdu. Od D_{LRBG} se odečte hodnota nepřesnosti odometru $L_{DOUBTOVER}$, aby se nestalo, že uvažovaná vzdálenost vlaku od přejezdu je menší než ve skutečnosti, protože by vlak mohl dorazit k přejezdu před uplynutím přibližovací doby a došlo by k hazardu na přejezdu. Doba po přejetí IS nebo PB nazvaná t_{z1} se vypočítá pomocí Rce. 22.

Rce. 22: Rovnice doby t_{z1} pro odložení výstrahy, $V_{TRAIN_{n-1}} > V_{TRAIN_n}$

$$t_{z1} = \frac{D_{LRBG_n} - L_{DOUBTOVER_n} - sb}{3,6 * V_{TRAIN_{n-1}}}$$

Z toho vyplývá, že si RBC musí pamatovat minulý PR, aby mohla porovnat tyto rychlosti. Je zde i druhá možnost, že $V_{TRAIN_{n-1}} < V_{TRAIN_n}$, pak by *Worst Case* byl Rce. 23.

Rce. 23: Rovnice doby t_{z1} pro odložení výstrahy, $V_{TRAIN_{n-1}} < V_{TRAIN_n}$

$$t_{z1} = \frac{D_{LRBG_n} - L_{DOUBTOVER_n} - sb}{3,6 * V_{TRAIN_n}}$$

Tímto se vypočítá doba od přejetí IS nebo PB do přijetí PR. Po přejetí IS nebo PB může být více PR, a pokud by se doba pořád vypočítávala stejným stylem, tak by neustále narůstala nepřesnost, která vznikla kvůli *Worst Case*. Tomu se dá zabránit tím, že se vypočítá jenom jeden čas, a to čas prvního PR po přejetí IS nebo PB. Pak se k tomu času bude přičítat čas mezi jednotlivými dalšími PR. Výsledný čas po přejetí IS nebo PB t_z se vypočítá pomocí Rce. 24.

Rce. 24: Výpočet doby t_z pro odložení výstrahy

$$t_z = t_{z1} + \sum_{i=n+1}^k t_i$$

Legenda:

- t_z – celková doba po přejetí IS nebo PB po k-tém PR [s]

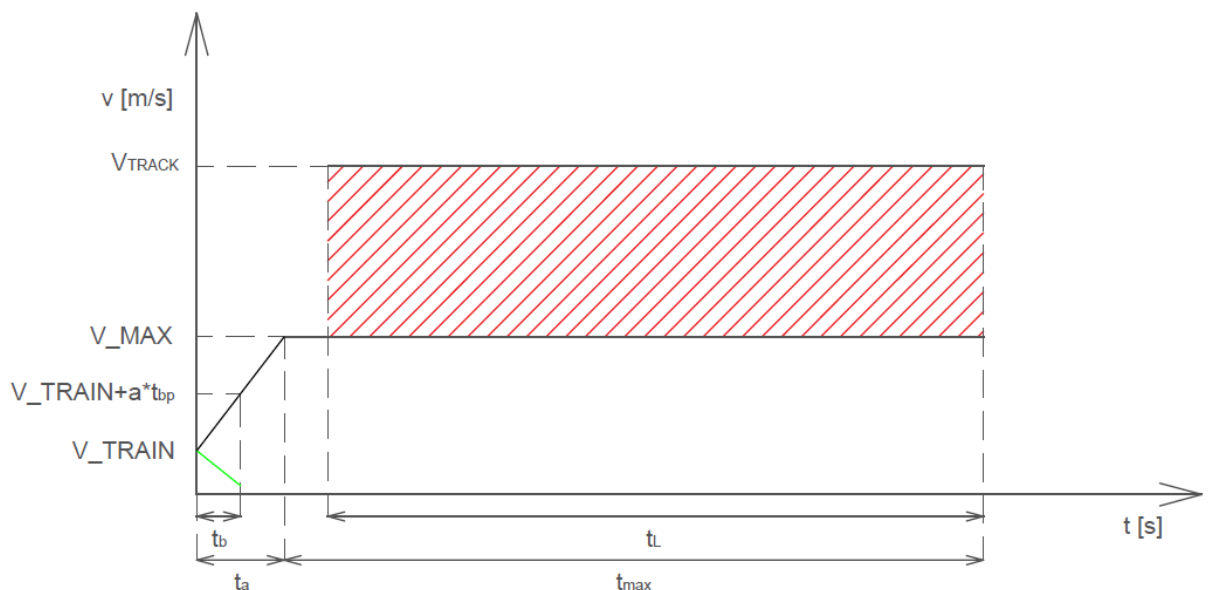
- t_{z1} – doba od přejetí IS nebo PB do přijetí prvního následujícího PR [s]
- t_i – doby mezi jednotlivými PR [s]

Aby se doby t_{bp} a t_z navzájem neovlivňovaly, tak se musí stanovit podmínka, že když bude $t_b > 0$, tak bude $t_z = 0$, a když bude $t_z > 0$, tak bude $t_{bp} = 0$.

Doba t_{bp} se odečítá od doby odložení, která byla vypočítána pro poslední přijatý PR. Doba t_{bp} se odečítá, takže když se stane, že skutečná doba t_{bp} je větší než spočítaná, tak odložení bude větší, než by mělo a vlak by mohl dorazit k přejezdu před uplynutím přibližovací doby. *Worst Case* by byl, kdyby vlak zpomaloval, ale zvolení největšího zpomalení není snadné, na zpomalení vlaku závisí spousta proměnných. Dalo by se uvažovat průměrné nouzové brzdění $a_z = 0,8 \text{ m.s}^{-2}$. Nouzové brzdění je, když jsou plně vypuštěné brzdy a brzdí se do zastavení, kdežto u provozní brzdy se brzdí s částečně natlakovanými brzdami, proto se dá předpokládat, že uvažovat zpomalení $a_z = 0,8 \text{ m.s}^{-2}$ je dostačující.

Problém je, že když se doba t_{bp} bude uvažovat se zpomalením a doba t_a , která probíhá současně (doba t_a a doba t_{bp} probíhají současně, protože obě doby se počítají od PR směrem k přejezdu), se bude uvažovat se zrychlením, tak tyto dva pochody budou probíhat proti sobě. Pak by rychlostní osa vypadala jako na Obr. 8.

Obr. 8: Rychlostní osa se zpomalením a_z a zrychlením a , $V_{TRACK} > V_{MAX}$



Na Obr. 8 je vidět důvod, proč toto řešení není vhodné použít. Z důvodu těchto protichůdných jevů by pro většinu rychlostí žádné odložení výstrahy nevzniklo, a pro které by

odložení vzniklo, by odložení bylo minimální. Odložení by dokonce mohlo být menší než u kapitoly 0. Proto bylo v další kapitole rozpracovány i další řešení VPD s odložením zahájení výstrahy.

2.4 Odložení výstrahy pomocí jedné balízkové skupiny, bez použití doby t_{bp}

Ve všech dosavadních úvahách se uvažovaly vždy dva pohyby, jeden teoretický (vypočítaný) a druhý závislý na skutečném pohybu vlaku (částečně také vypočítaný). Tento přístup, jak je ukázáno v kapitole 2.3, se nedá při odkládání výstrahy dost dobře použít. V této kapitole uvedený přístup není založen na porovnávání, ale pouze na skutečném pohybu vlaku, který však bude pořád uvažován jako *Worst Case*.

V minulých úvahách se uvažoval výpočet od pozice vlaku k přejezdu, nově se bude výpočet uvažovat od přejezdu k pozici vlaku. Akorát hranice tohoto pohybu nebude přejezd a pozice vlaku odeslaná v PR, ale přejezd a PB nebo IS. Tímto se odstraní potřeba výpočtu doby t_{bp} a výpočet odložení výstrahy bude vypočítán pomocí Rce. 25.

Rce. 25 Výpočet doby odložení

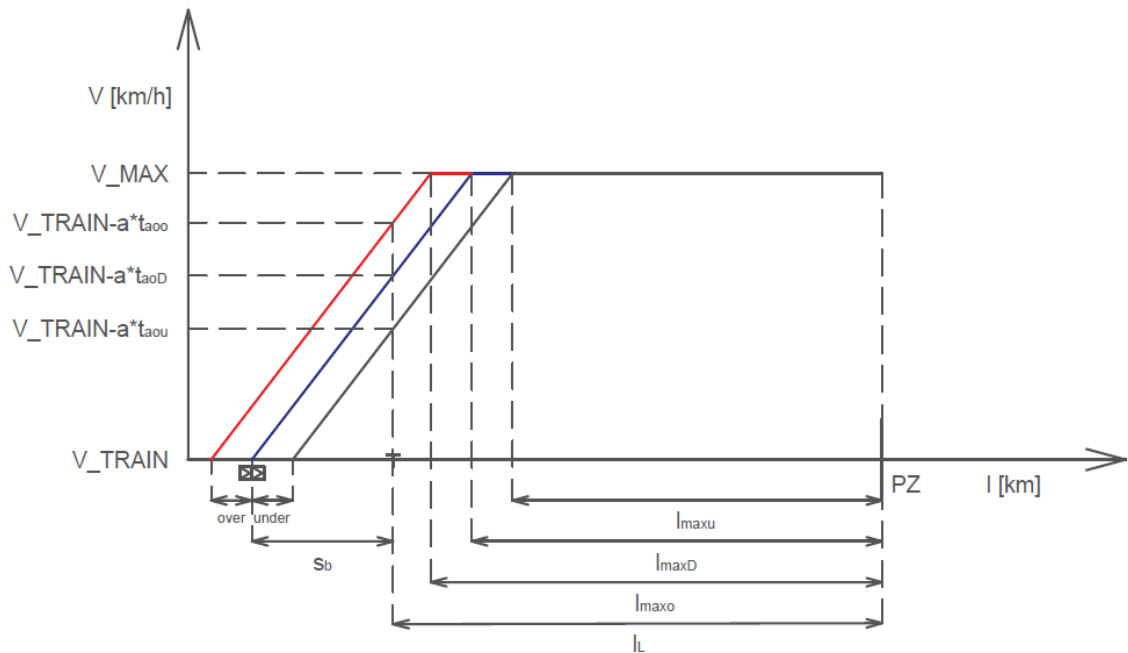
$$t_o = t_{max1} + t_{ao} - t_L$$

Legenda:



- t_o – doba odložení výstrahy [s]
- t_{max1} – maximální doba pohybu maximální rychlostí [s]
- t_{ao} – doba zrychlení na maximální rychlost vypočítaná z rychlosti při přejetí IS nebo PB [s]
- t_L – přibližovací doba [s]

Při výpočtu se bude uvažovat, že *Worst Case* je, když se vlak pohybuje maximální rychlostí po co nejdelší dobu, a zbytek doby, která co do pořadí předchází době jízdy maximální rychlostí, pohybu v přibližovacím úseku se bude vlak pohybovat rovnoměrně zrychleným pohybem. Po výpočtu t_{max1} se vypočítá t_{ao} což je doba zrychlení po přejetí IS až do dosáhnutí V_MAX . Rychlostní osa bude závislá na délce a bude vypadat jako na Obr. 9.

Obr. 9: Rychlostní osa pro odložení výstrahy závislá na vzdálenosti, $V_{MAX} = V_{TRACK}$, D_{LRBG} je nad BG



Legenda:

-  – schématická značka BG
-  – schématická značka znázorňující IS
- over – znázorňuje proměnnou $L_{DOUBTOVER}$ [m]
- under - znázorňuje proměnnou $L_{DOUBTUNDER}$ [m]
- sb – vzdálenost BG od PB nebo IS, který má spouštět výstrahu na PZS u vlaků nevybavených ETCS [m]
- l_L – reprezentuje délku přibližovacího úseku [m]
- l_{maxO} – reprezentuje vypočtenou vzdálenost ujetou rychlostí V_{MAX} , když je výchozí bod v $D_{LRBG} - L_{DOUBTOVER}$ [m]
- l_{maxD} – reprezentuje vypočtenou vzdálenost ujetou rychlostí V_{MAX} , když je výchozí bod v D_{LRBG} [m]
- l_{maxU} – reprezentuje vypočtenou vzdálenost ujetou rychlostí V_{MAX} , když je výchozí bod v $D_{LRBG} + L_{DOUBTUNDER}$ [m]
- t_{aou} – reprezentuje dobu, po kterou se vlak pohybuje rovnoměrně zrychleným pohybem v přibližovacím úseku, když je výchozí bod v $D_{LRBG} + L_{DOUBTUNDER}$ [s]
- t_{aod} – reprezentuje dobu, po kterou se vlak pohybuje rovnoměrně zrychleným pohybem v přibližovacím úseku, když je výchozí bod v D_{LRBG} [s]

- t_{ao} – reprezentuje dobu, po kterou se vlak pohybuje rovnoměrně zrychleným pohybem v přibližovacím úseku, když je výchozí bod v $D_LRBG - L_DOUBTOVER$ [s]

Na Obr. 9 je zobrazený graf závislosti rychlosti na vzdálenosti. Ve skutečnosti je průběh rychlosti při rovnoměrně zrychleném pohybu v závislosti na vzdálenosti parabola. Pro zjednodušení je rovnoměrně zrychlený pohyb znázorněn lineárně. Z obrázku je vidět, že když je pozice vlaku určena na $D_LRBG - L_DOUBTOVER$, tak je t_{max1} největší a t_{ao} nejmenší, tudíž je určení pozice pomocí $D_LRBG - L_DOUBTOVER$ *Worst Case*. Výpočet vzdálenosti l_{max1} bude vypočítán jako v Rce. 26.

Rce. 26: Rovnice vzdálenosti ujeté rychlostí V_MAX u odložení výstrahy

$$l_{max1} = sb + l_L - D_LRBG + L_DOUBTOVER - \frac{V_MAX^2 - V_TRAIN^2}{25,92 * a}$$

Problém s Rce. 26 je, když by vlak měl výchozí rychlost takovou, že by dosáhl maximální rychlosti před IS nebo PB a vzdálenost l_{max1} by byla delší než přibližovací úsek. Tím by i doba t_{max1} byla větší, což by vedlo k větší době odložení a vlak by dorazil k přejezdu před uplynutím přibližovací doby a došlo by k hazardu na přejezdu. Proto se musí vzdálenost l_{max1} omezit následujícími podmínkami (Rce. 27).

Rce. 27: Podmínky pro l_{max1}

$$l_L \leq l_{max1} \Rightarrow l_{max2} = l_{max1} - l_L$$

$$l_L \leq l_{max1} \Rightarrow t_{ao} = 0$$

$$l_L > l_{max1} \Rightarrow l_{max2} = 0$$

S těmito podmínkami se doba pohybu maximální rychlosti v přibližovacím úseku vypočítá pomocí Rce. 28.

Rce. 28: Rovnice doby pohybu rychlostí V_MAX v přibližovacím úseku

$$t_{max1} = \frac{l_{max1} - l_{max2}}{V_MAX} * 3,6$$

Doba t_{ao} se vypočítá z rovnice rovnoměrně zrychleného pohybu na dráze přibližovacího úseku, která není využita pohybem maximální rychlostí. Z této rovnice se vyjádří doba t_{ao} a doba zrychlení v přibližovacím úseku se vypočítá pomocí Rce. 29.

Rce. 29: Rovnice doby zrychlení v přibližovacím úseku

$$t_{ao} = \frac{\frac{V_MAX}{3,6} - \sqrt{\left(\frac{V_MAX}{3,6}\right)^2 - 2 * a * (l_L - l_{max1})}}{a}$$

Problém nastane, když vlak vjede do přibližovacího úseku (výstraha není spuštěná, běží doba t_o) a pošle RBC hlášení polohy vlaku. Doba t_{max1} se spočítá dobře, ale doba t_{ao} bude zbytečně restriktivní, protože bude počítat *Worst Case* (zrychlení) mezi pozicí vlaku při odeslání PR a IS nebo PB. Vlak se ale mohl pohybovat s menším zrychlením nebo s konstantní rychlostí nebo dokonce zpomalovat. Proto by se v takové situaci hodil lepší výpočet. Nabízí se výpočet z kapitoly 2.3. Výpočet z kapitoly 2.3 byl zamítnut kvůli době t_{bp} . Jelikož vlak už přešel IS nebo PB, tak je doba $t_b = 0$ a výpočet není devalvován nevýhodami doby t_{bp} . Podmínka pro změnu výpočtů představuje Rce. 30.

Rce. 30: Podmínka pro změnění výpočtu doby odložení

$$sb < D_LRBG - L_DOUBTOVER$$

2.4.1 Analýza odložení výstrahy

V příloze č. 3 je možné si nasimulovat výpočet odložení výstrahy. U výpočtu je pevná pozice vlaku, a to přímo nad BG, takže $D_LRBG = 0$. Dále je doba mezi jednotlivými PR nastavena na ∞ , aby se zabránilo nepřesnostem ve výpočtech, protože pokud by byly simulovány další PR, tak by se nedalo jednoduše vyhnout rekurzím v tabulkovém procesoru MS Excel, a ty by způsobovaly chyby ve výsledku. Dále není nastavitelná délka přibližovacího úseku, protože se vypočítá z ostatních nastavených parametrů. Pokud není zvolen parametr $L_DOUBTOVER$, tak se počítá s nepřesností 63 m (což je maximální hodnota proměnné, která určuje nepřesnost zaměření BG), nicméně je tato nepřesnost velice pesimistická, reálně bude tato vzdálenost v jednotkách metrů maximálně +/- 10 m (podle pana Ouředníčka).

Tab. 9: Tabulka vstupních parametrů

Přibližovací doba t_L [s]	40
Zrychlení a [$m \cdot s^{-2}$]	1,3
V_{TRACK} [$km \cdot h^{-1}$]	160
sb [m]	200
Délka přibližovacího úseku l_L [m]	1777,778
$L_DOUBTOVER$ [m]	0
D_LRBG [m]	0
t [s]	∞

Tab. 10: Tabulka doby odložení výstrahy

V_TRAIN [km.h ⁻¹]	t _o [s]
160	0,00
140	0,00
120	0,04
100	0,34
80	0,89
60	1,56
40	2,22
V_MAXTRAIN = 140 km.h ⁻¹	
140	5,71
120	5,71
100	5,72
80	5,92
60	6,33
40	6,80
V_MAXTRAIN = 120 km.h ⁻¹	
120	13,33
100	13,33
80	13,33
60	13,40
40	13,61
V_MAXTRAIN = 100 km.h ⁻¹	
100	24,00
80	24,00
60	24,00
40	24,00
V_MAXTRAIN = 80 km.h ⁻¹	
80	40,00
60	40,00
40	40,00

Z Tab. 10 je vidět, že vstupní rychlost (V_TRAIN předaná v posledním PR, poslední PR byl ve výpočtu v Tab. 10 nad BG) nemá moc velký vliv, to je způsobeno nemožností nasimulovat přijetí dalších PR, které by odložení změnily. Proto při porovnávání s ostatními řešeními vyrovnání přibližovací doby by se měly porovnávat pouze rychlosti blížíící se V_MAX, aby se chyba ve výpočtu tolik neprojevila.

Hlavní výhodou odložení výstrahy je nezávislost na zpoždění komunikace, protože se doba odložení vypočítává z pozice, která je nezávislá na aktuálnosti PR. Pokud by náhodou byla vypočítána větší doba odložení výstrahy (menší být vypočítána nemůže, protože se bere *Worst Case*), a tato nová informace by nestihla dorazit na PZS kvůli zpoždění komunikace před

spuštěním výstrahy, tak by se spustila výstraha dřív, sice by ušetřená doba byla menší, ale byla by zajištěna bezpečnost, která je prioritní.

3 Zhodnocení

3.1 Porovnání jednotlivých řešení

V následující tabulce budou porovnány jednotlivé druhy výpočtu pro realizaci VPD, které byly sestaveny v rámci této práce. U odložení výstrahy a u posílání příkazu na nespouštění výstrahy byly různé vstupní parametry (hlavní rozdíl je v parametru t). Proto porovnání těchto dvou řešení by se mělo omezit jen na rychlosti blíží se V_{MAX} (rozdíl dob t se tolik neprojeví). V reálné situaci by měli výsledné ušetřené doby u nízkých V_{TRAIN} být u odložení výstrahy podobné jako u přesunutí výpočtu do PZS. Rychlost V_{TRAIN} je konstantní po celou dobu pohybu vlaku. Výsledný dopad zpoždění ETCS je, že přenos proběhne za 0 s a celá doba zpoždění bude mít pouze negativní důsledky.

Tab. 11: Vstupní parametry

Parametry	Odložení výstrahy	Celkové komunikační zpoždění X	Přesunutí výpočtu do PZS	Komunikační zpoždění X_{RBCPZ}
Přibližovací doba [s]	40	40	40	40
Zpoždění zařízení ETCS [s]	nemá vliv	3	0	2
Zrychlení [$m.s^{-2}$]	1,3	1,3	1,3	1,3
V_{TRACK} [$km.h^{-1}$]	160	160	160	160
s_b [m]	200	200	200	200
t [s]	∞	1	1	1
Přibližovací úsek l_L [m]	1777,78	1777,78	1777,78	1777,78
t_x [s]	nemá vliv	0	2	0,8
$L_{DOUBTOVER}$ a $L_{DOUBTUNDER}$	63 m	+/- 5 % a +/- 5 m	+/- 5 % a +/- 5 m	+/- 5 % a +/- 5 m
D_{LRBG}	nad BG	dobu t před spuštěním výstrahy	je dobu t před spuštěním výstrahy	je dobu t před spuštěním výstrahy

V Tab. 11 jsou uvedené parametry pro jednotlivé způsoby řešení. Sloupec odložení výstrahy reprezentuje řešení z kapitoly 2.4. Sloupec celkového komunikačního zpoždění X reprezentuje řešení z kapitoly 2.2.2. Sloupec přesunutí výpočtu do PZS reprezentuje řešení v kapitole 2.2.4. Sloupec komunikačního zpoždění X_{RBCPZ} reprezentuje řešení kapitoly 2.2.3. Kolonka zpoždění zařízení reprezentuje u sloupce celkového zpoždění ETCS proměnnou X, u sloupce komunikačního zpoždění X_{RBCPZ} reprezentuje proměnnou X_{RBCPZ} .

Tab. 12: Tabulka porovnání ušetřených dob pro jednotlivá řešení

V_TRAIN [km.h ⁻¹]	Odložení výstrahy [s]	Celkové komunikační zpoždění X [s]	Přesunutí výpočtu do PZS [s]	Komunikační zpoždění X _{RBCPZ} [s]
160	0,00	-3,14	-0,19	-2,15
140	0,00	-3,44	-0,26	-2,40
120	0,04	-3,16	0,21	-2,08
100	0,34	-1,97	1,69	-0,83
80	0,89	0,84	4,91	2,06
60	1,56	6,88	11,64	8,24
40	2,22	20,99	27,12	22,63
V_MAX = 140 km.h ⁻¹				
140	5,71	2,24	5,19	3,23
120	5,71	2,79	6,10	3,92
100	5,72	4,36	8,32	5,72
80	5,92	7,74	12,66	9,42
60	6,33	14,73	21,25	16,95
40	6,80	30,72	40,47	34,04
V_MAX = 120 km.h ⁻¹				
120	13,33	9,42	12,37	10,41
100	13,33	11,51	14,89	12,67
80	13,33	15,65	19,86	17,10
60	13,40	23,92	29,50	25,83
40	13,61	42,49	50,81	45,33
V_MAX = 100 km.h ⁻¹				
100	24,00	19,46	22,41	20,45
80	24,00	24,58	28,08	25,79
60	24,00	34,47	39,10	36,07
40	24,00	56,28	63,18	58,66
V_MAX = 80 km.h ⁻¹				
80	40,00	34,53	37,48	35,52
60	40,00	46,38	50,05	47,65
40	40,00	72,11	77,58	74,01

Z V Tab. 11 jsou uvedené parametry pro jednotlivé způsoby řešení. Sloupec odložení výstrahy reprezentuje řešení z kapitoly 2.4. Sloupec celkového komunikačního zpoždění X reprezentuje řešení z kapitoly 2.2.2. Sloupec přesunutí výpočtu do PZS reprezentuje řešení v kapitole 2.2.4. Sloupec komunikačního zpoždění X_{RBCPZ} reprezentuje řešení kapitoly 2.2.3. Kolonka zpoždění zařízení reprezentuje u sloupce celkového zpoždění ETCS proměnnou X, u sloupce komunikačního zpoždění X_{RBCPZ} reprezentuje proměnnou X_{RBCPZ}.

Tab. 12 je vidět, že pro rychlosti blízké se V_MAX je nejvýhodnější použít odložení výstrahy, protože odložení výstrahy není ovlivněno žádnými komunikačními zpožděními

a u rychlostí V_MAX dokonce není ovlivněn ani chybovostí odometru, takže pro rychlosti blízké se V_MAX je nejrozumnější použít odložení výstrahy.

Pro rychlosti blízké se V_MAX , jako druhé nejpřesnější řešení je při přesunutí výpočtu do PZS. Toto řešení je i nejpřesnější u nízkých rychlostí. Problém je, že se musí PZS dovybavit SW pro výpočet nerovnice a taková úprava se týká každého jednotlivého PZS, které má být VPD vybaveno, u ostatních řešení se SW pro výpočet vybavuje pouze RBC (RBC může provádět VPD pro více přejezdů).

Další nejpřesnější výpočet je, když je komunikační zpoždění X_{RBCPZ} , toto řešení není postiženo nutností dalšího SW v PZS, proto je nejlepší možností, pokud pořizovatel nechce použít odložení výstrahy nebo použít řešení s přesunutím SW do PZS.

Nejhorší je sloupec celkového komunikačního zpoždění X , přitom investice do SW a hardwaru je stejná, jako u řešení s X_{RBCPZ} , proto by toto řešení nemělo být uvažováno u žádného PZS.

3.2 Porovnání vlivu zpoždění X_{RBCPZ} na výslednou ušetřenou dobu

Pro ukázkou vlivu zpoždění postačí hodnoty pro rychlosti $V_MAX = 120 \text{ km.h}^{-1}$ a 160 km.h^{-1} . Celá tabulka je v příloze č. 2, v příloze 2 je možno si i nasimulovat jiné hodnoty zpoždění. Výsledný dopad zpoždění ETCS je, že přenos proběhne za 0 s a celá doba zpoždění bude mít pouze negativní důsledky. Výchozí parametry pro porovnání budou stejné jako v Tab. 11 pro komunikační zpoždění X_{RBCPZ} .

Tab. 13: Porovnání vlivu doby X_{RBCPZ} na výslednou ušetřenou dobu, $V_{TRACK} = 160 \text{ km.h}^{-1}$

V_TRAIN [m.s^{-1}]	$X_{RBCPZ} = 2 \text{ s}$	$X_{RBCPZ} = 3 \text{ s}$	$X_{RBCPZ} = 5 \text{ s}$
160	-2,15	-3,10	-5,00
140	-2,40	-3,48	-5,66
120	-2,08	-3,35	-5,88
100	-0,83	-2,35	-5,39
80	2,06	0,16	-3,64
60	8,24	5,71	0,64
40	22,63	18,83	11,23
$V_MAXTRAIN = 120 \text{ km/h}$			
120	10,41	9,46	7,56
100	12,65	11,51	9,23
80	17,08	15,65	12,80
60	25,81	23,91	20,11
40	45,30	42,45	36,75

Z Tab. 13 je vidět, že vliv není lineární, u zpoždění 5 s je ušetřená doba -5 s u rychlosti 160 km.h⁻¹ a u zpoždění 3 s je ušetřená doba -3,10 s. Tento jev je způsoben odchylkou odometru. Jelikož doba X_{RBCPZ} je započítána v levé straně Rce. 17 (odchylka odometru na ni nemá vliv), tak posouvá spuštění výstrahy a bere vzdálenost, která může být způsobena procentuální odchylkou. Pokud však má odchylka konstantní velikost, tak vliv na ušetřenou dobu v závislosti na době X_{RBCPZ} bude lineární.

Pokud vyjde ušetřená doba záporná, tak nemá smysl používat za daných podmínek vytvořený algoritmus a výstraha se spustí při minutí IS nebo PB.

Z Tab. 13, Tab. 14 a Tab. 15 je vidět, že největší vliv na ušetřenou dobu má právě proměnná X_{RBCPZ} , z čehož se dá vysoudit, že pro co největší ušetřenou dobu je potřeba určit dobu X_{RBCPZ} co nejpřesněji (pořád musí být zachována bezpečnostně nejkritičtější hodnota).

3.3 Porovnání vlivu doby přenosu informací z OBS do RBC

Výchozí parametry pro porovnání budou stejné jako v Tab. 11 pro komunikační zpoždění X_{RBCPZ} . Budou se porovnávat zase pouze rychlosti $V_{MAX} = 120$ km.h⁻¹ a 160 km.h⁻¹.

Tab. 14: Porovnání vlivu doby t_x na výslednou ušetřenou dobu, $V_{TRACK} = 160$ km.h⁻¹

V_{TRAIN} [m.s ⁻¹]	$t_x = 1$ s	$t_x = 2$ s	$t_x = 3$ s
160	-2,14	-2,09	-2,04
140	-2,41	-2,43	-2,42
120	-2,13	-2,32	-2,47
100	-0,92	-1,35	-1,74
80	1,90	1,11	0,38
60	7,96	6,57	5,26
40	22,10	19,52	17,06
$V_{MAXTRAIN} = 120$ km.h ⁻¹			
120	10,42	10,47	10,52
100	12,65	12,61	12,53
80	17,07	17,01	16,90
60	25,80	25,70	25,53
40	45,28	45,11	44,82

Z Tab. 14 je vidět, že u rychlostí $V_{MAX} = V_{TRAIN}$ je dopad zpoždění přenosu informací mezi OBS a RBC na ušetřenou dobu dokonce pozitivní. To je způsobeno tím, že doba t_x zde nemá žádný vliv na zrychlení ($V_{MAX} = V_{TRAIN}$) a pouze zvětšuje vzdálenost, která je ujeta konstantní rychlostí a tato vzdálenost není postižená odchylkou odometru. U nižších rychlostí V_{TRAIN} je už dopad negativní, ale dopad není u nižších V_{MAX} (120 km.h⁻¹) větší

než desetiny sekundy. To znamená, že u nižších V_MAX (160 km.h^{-1}) je vliv t_x zanedbatelný. U vyšších V_MAX (160 km.h^{-1}) je vliv u nižších V_TRAIN v řádech sekund, a je proto problematický. Z tohoto důvodu by bylo výhodnější u vyšších V_MAX (160 km.h^{-1}) zpřesnit výpočet doby t_x .

3.4 Porovnání vlivu doby od posledního přijetí PR

Výchozí parametry pro porovnání budou stejné jako v Tab. 11 pro komunikační zpoždění X_{RBCPZ} . Budou se porovnávat zase pouze rychlosti $V_MAX = 120 \text{ km.h}^{-1}$ a 160 km.h^{-1} .

Tab. 15: Porovnání vlivu doby t na výslednou ušetřenou dobu, $V_{TRACK} = 160 \text{ km.h}^{-1}$

$V_TRAIN \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$	$t = 1 \text{ s}$	$t = 5 \text{ s}$	$t = 10 \text{ s}$
160	-2,15	-1,95	-1,70
140	-2,40	-2,34	-2,09
120	-2,08	-2,66	-2,60
100	-0,83	-2,32	-3,19
80	2,06	-0,80	-3,13
60	8,24	3,09	-1,69
40	22,63	12,90	3,23
$V_MAXTRAIN = 120 \text{ km.h}^{-1}$			
120	10,41	10,61	10,86
100	12,65	12,58	12,83
80	17,08	15,94	15,78
60	25,81	22,95	21,04
40	45,30	39,01	33,65

Z Tab. 15 je vidět, že při zvyšování doby t (doba od posledního PR) u rychlostí blízcích se V_MAX dochází ke zlepšení, to je způsobeno ze stejných důvodů jako v kapitole 3.3. U nižších rychlostí má vliv doby t na ušetřenou dobu parabolický průběh. U rychlosti 40 km.h^{-1} doba t má vliv na ušetřenou dobu více jak jednonásobný (rozdíl mezi dobami t je 9 s a u $V_TRAIN = 40 \text{ km.h}^{-1}$ je rozdíl mezi ušetřenými dobami větší než 10 s). To je způsobeno tím, že se uvažuje konstantní rychlost, a když se zvětší interval mezi PR, tak dojde z důvodu zrychlení k většímu zmenšení ušetřené doby, toto by se dalo vypočítat i u doby t_x , ta však ale nebude nikdy tak velká jako doba mezi PR. Tento jev je i u doby odložení výstrahy, proto u doby odložení výstrahy nebyl moc velký nárůst ušetřené doby při snižování rychlosti. Z těchto důvodů by pro největší zlepšení systému odložení výstrahy a systému posílání příkazu na nespouštění výstrahy bylo minimalizovat dobu mezi PR.

ZÁVĚR

Na úvod je čtenář seznámen s problematikou PZS a s důvody pro zavedení VPD. V kapitole 2 jsou podrobně rozebrány dva základní způsoby VPD, a to odložení výstrahy v kapitolách 2.3 a 2.4 a posílání PZS příkaz na nespouštění výstrahy v kapitole 2.2. V kapitole 3.1 jsou zhodnocená jednotlivá řešení. Nejvýhodnější, co se ušetřeného času týče, je odložení výstrahy a přesunutí výpočtu do PZS. U rychlostí blízcích se V_{MAX} je odložení výstrahy jednoznačně nejlepší, protože na výslednou ušetřenou dobu nemá žádný vliv zpoždění komunikace mezi jednotlivými prvky ETCS a PZS (OBS – RBC – PZS). U nižších rychlostí se podle Tab. 12 jeví výhodnější posílání PZS příkaz na nespouštění výstrahy, to je způsobeno rozdílnými vstupními podmínkami pro jednotlivé způsoby VPD. V reálné situaci budou podmínky stejné a ušetřená doba u odložení výstrahy nemusí být u nižších rychlostí menší než u posílání příkazu PZS na nespouštění výstrahy. Pro přesné porovnání hodnot by bylo vhodné jednotlivé ušetřené doby změřit, to by mohl být i námět na další práci týkající se VPD.

V kapitolách 3.2, 3.3 a 3.4 se porovnává vliv jednotlivých proměnných na ušetřenou dobu. Porovnání se provádí u řešení s výpočetní technikou v RBC a dobou zpoždění přenosu mezi RBC a PZS. Z těchto porovnání vyšlo, že největší vliv na ušetřenou dobu má parametr t (doba mezi jednotlivými PR) a parametr X_{RBCPZ} (předpokládané zpoždění přenosu informací mezi RBC a PZS). Z toho vyplívá, že pro co největší ušetření doby výstrahy je potřeba co nejpřesněji určit dobu X_{RBCPZ} a zajistit co nejmenší dobu mezi PR.

U rychlostí $V_{MAX} = 140 \text{ km.h}^{-1}$ a menších na tratích s traťovou rychlostí 160 km.h^{-1} je přínos VPD pro silniční dopravu nezanedbatelný (ušetří se více jak 5 s výstrahy) a má smysl VPD na těchto tratích zavést.

POUŽITÁ LITERATURA

UNISIG. ERTMS/ETCS: System Requirements Specification: SUBSET-026 version 3.6.0 [soubor archivu SUBSET-026v360.zip obsahující soubory formátu *.pdf]. UNISIG, 13.05.2016. [cit. listopad 2016]. Dostupné na: <<http://www.era.europa.eu/Document-Register/Documents/SUBSET-026%20v360.zip>>

UNISIG. ERTMS/ETCS - Class 1: System Requirements Specification: SUBSET-026 version 2.3.0 [soubor archivu Set-1-Index004-SUBSET-026+v230.zip obsahující soubory formátu *.doc]. UNISIG, 24.02.2006. [cit. listopad 2016]. Dostupné na: <<http://www.era.europa.eu/Document-Register/Pages/UNISIGSUBSET-026.aspx>>

ČSN 34 2650. Železniční zabezpečovací zařízení – Přejezdová zabezpečovací zařízení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

TNŽ 34 2620. Železniční zabezpečovací zařízení – Staniční a traťové zabezpečovací zařízení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2002.

KLATOVSKY, Karel, 2013. *Excel 2013 nejen pro školy*. Praha: Computer Media s. r. o. ISBN 978-80-7402-145-9

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Tabulka přebytečné doby výstrahy na PZS	9
Tab. 2: Pozice BG pro přibližovací dobu $t_L = 40$ s	15
Tab. 3: Nadbytečný čas způsobený odchylkou odometru pro vzdálenost 200 m mezi BG a IS nebo PB.....	17
Tab. 4: Tabulka vstupních proměnných	25
Tab. 5: Tabulka ušetřených dob a porovnání vlivu zpoždění zařízení ETCS, $V_{MAXTRAIN} \geq V_{TRACK}$	25
Tab. 6: Tabulka ušetřených dob pro $V_{MAXTRAIN} = 120$ km./h-1, $V_{TRACK} = 160$ km.h ⁻¹	26
Tab. 7: Tabulka vstupních proměnných	32
Tab. 8: Tabulka ušetřených dob pro uvažované zrychlení a stáří PR t_x	32
Tab. 9: Tabulka vstupních parametrů	42
Tab. 10: Tabulka doby odložení výstrahy	43
Tab. 11: Vstupní parametry	45
Tab. 12: Tabulka porovnání ušetřených dob pro jednotlivá řešení.....	46
Tab. 13: Porovnání vlivu doby X_{RBCPZ} na výslednou ušetřenou dobu, $V_{TRACK} = 160$ km.h ⁻¹ ...	47
Tab. 14: Porovnání vlivu doby t_x na výslednou ušetřenou dobu, $V_{TRACK} = 160$ km.h ⁻¹	48
Tab. 15: Porovnání vlivu doby t na výslednou ušetřenou dobu, $V_{TRACK} = 160$ km.h ⁻¹	49

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Rychlostní osa s předpokládaným zrychlením – vzdálenost je prezentována plochou pod křivkou.....	22
Obr. 2: Časová Rychlostní osa přesně podle výpočtu nerovnice, $V_MAX = V_TRACK$	23
Obr. 3: Časová osa přenosu informací mezi prvky ERTMS/ETCS	27
Obr. 4: Rychlostní osa s předpokládaným zrychlením a dobou t_x – vzdálenost je prezentována plochou pod křivkou, v místě spuštění výstrahy.....	29
Obr. 5: Rychlostní osa s ošetřením dob t_x a t , $V_MAX < V_TRACK$	31
Obr. 6: Rychlostní osa s předpokládaným zrychlením – vzdálenost je prezentována plochou pod křivkou.....	34
Obr. 7: Časová osa odložení výstrahy	35
Obr. 8: Rychlostní osa se zpomalením a_z a zrychlením a , $V_TRACK > V_MAX$	38
Obr. 9: Rychlostní osa pro odložení výstrahy závislá na vzdálenosti, $V_MAX = V_TRACK$, D_LRBG je nad BG.....	40

SEZNAM ZKRATEK

PZS	přejezdové zabezpečovací zařízení světelné
PZ	přejezdové zabezpečovací zařízení
MA	oprávnění k pohybu (z anglického movement authority)
L2	aplikační úroveň 2 ERTMS/ETCS
NTC	národní vlakový zabezpečovač (z anglického national train control)
OBS	palubní subsystém (z anglického onboard subsystem)
TSU	traťový subsystém (z anglického trackside subsystem)
BG	balízová skupina
RBC	radiobloková centrála
GSM-R	eurorádio
SW	software
DMI	rozhraní strojvedoucí stroj (z anglického driver machine interface)
STM	specifický transmisní modul
JRU	černá skříňka
VPD	vyrovnání přibližovací doby
IS	izolovaný styk
PB	počítací bod
SŽDC	správa železniční dopravní cesty
ERTMS	Evropský systém řízení železničního provozu
ETCS	Evropský vlakový zabezpečovací systém
HW	hardware

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Vliv pozice BG vůči IS nebo PB

V příloze A je tabulka vstupních parametrů, vysvětlivky jednotlivých proměnných, tabulka pozice spuštění výstrahy, která zahrnuje nepřesnost způsobenou odometrem, a tabulka obsahující nadbytečný čas spuštění výstrahy vzniknutý z důvodu chyby odometru. V hlavních tabulkách (obsahující výpočty) se nedá nic nastavit, nastavitelné proměnné jsou pouze v tabulce proměnných.

Příloha 2: Vliv pozice BG vůči IS nebo PB

V příloze B je tabulka vstupních parametrů, vysvětlivky jednotlivých proměnných a tabulky ušetřených časů pro jednotlivé rychlosti $V_MAXTRAIN$ (160 km.h⁻¹, 140 km.h⁻¹, 120 km.h⁻¹, 100 km.h⁻¹, 80 km.h⁻¹). Tabulky simulují ušetřenou dobu pro způsob posílání příkazu PZS na nezpuštění výstrahy. Nastavitelné proměnné jsou zase v tabulce vstupních parametrů.

Příloha 3: Vliv pozice BG vůči IS nebo PB

V příloze C je tabulka vstupních parametrů, vysvětlivky jednotlivých proměnných a tabulka odložení výstrahy (doba odložení výstrahy má stejný význam jako ušetřená doba v předchozím případě). Tabulka odložení výstrahy má nastavitelnou $V_MAXTRAIN$ a sama se změní po změně parametru $V_MAXTRAIN$, tak aby obsáhla veškeré rychlosti. Nastavitelné proměnné jsou zase v tabulce vstupních parametrů.