



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Jan Zarcký

Optimalizace přibližovací doby přejezdu prostřednictvím  
oprávnění k jízdě ETCS

**Bakalářská práce**

**2021**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K620..... Ústav dopravní telematiky

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Jan Zarcký**

Studijní program (obor/specializace) studenta:

**bakalářský – ITS – Inteligentní dopravní systémy**

Název tématu (česky): **Optimalizace přibližovací doby přejezdu prostřednictvím oprávnění k jízdě ETCS**

Název tématu (anglicky): Optimization of Approach Time to Level Crossing Through ETCS Movement Authority

### Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Analyzujte aktuální způsoby aktivace výstrahy přejezdových zabezpečovacích zařízení světelných (PZS).
- Analyzujte principy interakce mobilní části (OBU) a Radioblokové centrály (RBC) ETCS zejména s ohledem na parametrizování a uplatňování žádosti o oprávnění k jízdě (MA Request).
- Navrhněte způsob optimalizace přibližovací doby PZS vycházející z interakce OBU s RBC, zejména z přijetí MA Request v RBC z OBU a z jeho vhodné předchozí parametrizace z RBC do OBU. Jako součást návrhu uveďte i vhodné způsoby ovlivnění činnosti vlastních PZS z RBC.
- Zhodnotě efektivitu navrženého způsobu optimalizace přibližovací doby, kdy hlavním kritériem bude porovnání dosažených přibližovacích dob se stávající způsobem projektovanou přibližovací dobou, resp. s reálnými přibližovacími dobami (při jízdě žel. vozidel nižší rychlostí než maximální traťovou).



- Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: ČSN 34 2650 ed. 2. Železniční zabezpečovací zařízení – Přejezdová zabezpečovací zařízení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.  
ERA – EEIG ERTMS Users Group – UNISIG. ERTMS/ETCS SRS. SUBSET 026v360. 2016.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Bc. Dušan Kamenický, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **1. října 2020**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **9. srpna 2021**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

  
prof. Ing. Zdeněk Votruba, CSc.  
vedoucí  
Ústavu dopravní teematiky



  
doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

  
Jan Zarcký  
jméno a podpis studenta

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Bc. Dušanovi Kamenickému, Ph.D. za odborné vedení a za trpělivost při konzultování práce. Dále bych rád poděkoval mé rodině za podporu v době studia.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů.

V Praze dne.....

.....

Podpis autora

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

## Optimalizace přibližovací doby přejezdu prostřednictvím oprávnění k jízdě ETCS

Bakalářská práce

Srpen 2021

Jan Zarcký

### ABSTRAKT

V této bakalářské práci je provedena analýza využití systému ETCS pro účely optimalizace délky doby výstrah na železničním přejezdu. Je navržena implementace standardizovaného systému ETCS způsobem, kterým se optimalizuje doba uzavření přejezdu. Cílem navrhovaného řešení je nejen snížení doby uzavření přejezdu, ale zároveň zvýšení bezpečnosti na železničních přejezdech.

### KLÍČOVÁ SLOVA

Přejezdové zabezpečovací zařízení, přibližovací doba, Evropský vlakový zabezpečovací systém, brzdne křivky, oprávnění k jízdě, žádost k oprávnění k jízdě, balíza, radiobloková centrála.

**CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE**

**Faculty of Transportation Sciences**

**Optimization of approach time to level crossing through  
ETCS Movement Authority**

Bachelor Thesis

August 2021

Jan Zarcký

**ABSTRACT**

This bachelor's thesis is focused on an analysis and implementation of the use of the ETCS system for the purpose of optimizing the duration of warning times at a railroad crossing. After analyzing the possible solutions with the use of ETCS, there is a proposed way to optimize the warning times. The proposed solutions are intended to reduce duration of warning times and to increase safety as well.

**KEY WORDS**

Level crossing equipment, European train control system, approach time, optimization, braking curves, movement authority, movement authority request, balise, radioblock centre.

# Obsah

<b>Obsah .....</b>	<b>7</b>
<b>1 Úvod.....</b>	<b>10</b>
<b>2 Přejezdová zabezpečovací zařízení.....</b>	<b>11</b>
2.1 Definice dle legislativy.....	11
2.2 Obecný popis.....	12
2.3 Definice zabezpečovacích zařízení III. kategorie .....	12
2.4 Přejezdové zařízení světelné .....	13
2.4.1 Funkce PZS.....	14
2.5 Železniční přejezdy v ČR .....	15
2.6 Základní pojmy pro přejezdové zabezpečovací zařízení světelné.....	16
2.6.1 Předzváněcí doba .....	16
2.6.2 Vyklizovací doba PZS .....	17
2.6.3 Přibližovací doba PZS.....	17
2.6.4 Přibližovací úsek PZS.....	17
2.6.5 Délka přibližovacího úseku PZS .....	18
2.6.6 Vzdalovací úsek PZS.....	18
2.6.7 Anulace (anulační stav) .....	18
2.6.8 Mezní doba anulace .....	18
2.7 Přebytné doby uzavření přejezdu.....	19
<b>3 European Train Control System (ETCS) .....</b>	<b>21</b>
3.1 Všeobecný popis.....	21
3.2 Traťová část ETCS .....	21
3.3 Mobilní část ETCS .....	22
3.4 Aplikační úrovně ETCS .....	23
3.4.1 ETCS L0 .....	23
3.4.2 ETCS LNTC.....	24
3.4.3 ETCS L1 .....	24
3.4.4 ETCS L2 .....	25
3.4.5 ETCS L3 .....	28
3.5 Režimy ETCS (ETCS Modes) .....	28
3.5.1 Full Supervision (FS) .....	28
3.5.2 On Sight (OS) .....	28
3.5.3 Další režimy .....	29
3.6 Jazyk ETCS.....	29

3.7	Oprávnění k jízdě (Movement Authority) .....	30
3.7.1	Dohled pohybu vlaku.....	31
3.7.2	Způsoby prodlužování povolení k jízdě (MA) .....	32
3.8	Žádost k oprávnění k jízdě (MA Request).....	32
3.9	MA Request jako spouštěcí událost .....	34
3.10	Packet 88.....	35
3.11	Brzdné křivky .....	35
3.11.1	Ilustrace zprávy 129 .....	38
3.11.2	Počítání perturbation location .....	38
3.12	Zpoždění komunikace mezi RBC a OBU.....	38
<b>4</b>	<b>Optimalizace přibližovací doby .....</b>	<b>40</b>
4.1	Odložení výstrahy přejezdu bez zajištění volnosti přejezdu .....	41
4.1.1	Teoretický vlak .....	43
4.1.2	Teoretický přejezd.....	45
4.1.3	Příklad výpočtu minimálních dob pro T_MAR.....	46
4.1.4	Výpočty optimalizace .....	50
4.1.5	Vyhodnocení výpočtů.....	58
4.1.6	Vyhodnocení v reálném provozu .....	60
4.1.7	Nutné podmínky řešení.....	63
4.2	Odložení výstrahy přejezdu se zajištěním volnosti přejezdu .....	64
4.2.1	Detektor překážek na přejezdu .....	64
4.2.2	Výpočty.....	65
4.3	Odložení výstrahy přejezdu s využitím informace o poloze bez zajištění volnosti přejezdu .....	69
4.3.1	Výpočty.....	69
4.4	Vyhodnocení návrhů a nepokryté situace → situace k dalšímu šetření.....	72
4.4.1	Problematika místa zastavení před přejezdem.....	72
4.4.2	Problematika vícekolejných přejezdů .....	74
4.4.3	Problematika rozjezdu vlaků .....	74
<b>5</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>75</b>
<b>6</b>	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>77</b>
<b>7</b>	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>79</b>
<b>8</b>	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>80</b>
<b>9</b>	<b>Seznam grafů .....</b>	<b>81</b>



# Seznam použitých zkratk

PZS – Přejezdové zařízení světelné

PZZ – Přejezdové zabezpečovací zařízení

ETCS – European train control systém (Evropský vlakový zabezpečovací systém)

MA – Movement Authority (Oprávnění k jízdě)

LRBG – Last Relevant Balise Group (Poslední načtená balízová skupina)

RBC – Radioblock centre (Radiobloková centrála)

STM – Specific Transition Module

EOA – End of Authority

LOA – Limit of Authority

EVC – European Vital Computer

DMI – Driver-Machine interface

JRU – Juridical Recorder Unit

ČSN – České technické normy

# 1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá možností využití vlastností Evropského vlakového zabezpečovacího systému ETCS pro účely optimalizace doby uzavření přejezdu.

Navrhovaná řešení mají respektovat technické specifikace pro interoperabilitu, které jsou pro českou legislativu závazné a současně definují funkci systému ETCS. Dále musí být respektovány základní požadavky českých technických norem, technických norem železnic a dalších specifikací, které definují principy fungování přejezdových zabezpečovacích zařízení v ČR pro zajištění bezpečnosti na železničních přejezdech. Z hlediska bezpečnosti musí být zachován kodex správné praxe.

Stávající přibližovací doba je vypočítávána na základě traťové rychlosti v daném úseku trati, bez ohledu na rychlost drážních vozidel přibližujících se k přejezdu. Pro vozidla, která se pohybují rychlostí menší, než je maximální dovolená v daném úseku na trati, se tak prodlužuje doba uzavření přejezdu.

Cílem této práce je navrhnout řešení, díky kterému se minimalizuje doba mezi uzavřením přejezdu a příjezdem čela vlaku k tomuto přejezdu. Při tomto řešení se uvažuje s využitím systému ETCS, který umožňuje bezpečně kontrolovat jízdu vlaku.

Stávající způsob řešení přejezdových zabezpečovacích zařízení reálně neumožňoval nasazení moderních technologií pro zvýšení bezpečnosti na železničních přejezdech, především detektorů pro kontrolu vyklizení přejezdu silničními vozidly, protože by došlo k neúměrnému zvýšení doby uzavření přejezdu.

Dalším cílem této práce je tedy analyzovat nová řešení využívajících systému ETCS, která by umožňovala nasazení těchto technologií, jenž mohou výrazně snížit počet dopravních excesů, a zároveň nemají tak výrazný vliv na dobu uzavření přejezdu.

Navrhovaná řešení budou porovnána se stávajícím způsobem řešení funkce přejezdových zabezpečovacích zařízení.

## 2 Přejezdová zabezpečovací zařízení

Přejezd je úroňové křížení pozemní komunikace a železniční trati. Pro eliminaci nebezpečí při křížení železniční trati se používají speciální technické prvky, které můžeme definovat jako přejezdové zabezpečovací zařízení. Kombinací několika těchto prvků se snažíme zajistit co největší bezpečnost na přejezdech. Přejezdové zabezpečovací zařízení (PZZ) dává informaci uživateli pozemní komunikace křižující přejezd o tom, zda se k přejezdu blíží drážní vozidlo. Zabezpečení přejezdu je několik druhů, mezi ty základní patří výstražný kříž, mechanické PZZ a světelné PZZ.

Přejezdy zabezpečené pouze výstražnými kříži nejsou vybaveny zabezpečovacím zařízením, bezpečnost je zajištěna pouze dodržáním dostatečných rozhledových podmínek na přejezdu.

Mechanická PZZ mohou být řízeny místně, a to v případě, že místo obsluhy není vzdáleno více než 60 metrů a je z něj vidět na celý přejezd i za snížené viditelnosti. Dále mohou být mechanická PZZ řízena dálkově. Po zahájení obsluhy se dává na přejezdu zvuková výstraha, která zazní 25 sekund před spouštěním závor. Této době se říká „předzváněcí doba“. Výstraha začíná sklápěním závor. Nově se ale mechanická PZZ neinstalují, a proto jim v této práci nebude věnována bližší pozornost.

Pro zvýšení bezpečnosti na železničních přejezdech jsou v současné době instalována světelná PZZ, která mohou být se závorami i bez závor. Princip světelných PZZ a význam jejich signalizace bude upřesněn v samostatném odstavci.

### 2.1 Definice dle legislativy

Železniční přejezdy jsou také definovány legislativně v několika zákonech a normách:

**Zákon o provozu na pozemních komunikacích č. 361/2000 Sb. § 2 bb** označuje železniční přejezd jako místo, kde se úroňově kříží pozemní komunikace se železnicí, popřípadě s jinou dráhou ležící na samostatném tělese, a označené příslušnou dopravní značkou. Definuje železniční přejezd především z pohledu chování účastníků silničního provozu.

**Zákon o drahách č. 266/1994 Sb. § 6** definuje železniční přejezd jako „křížení dráhy“. Pokud se železniční dráha kříží s pozemními komunikacemi v úrovni kolejí, musí být křížení označeno a zabezpečeno. Způsob označení křížení stanoví prováděcí předpis.

**Česká technická norma ČSN 73 6380 Železniční přejezdy a přechody** definuje železniční přejezd jako křížení dráhy s pozemní komunikací v úrovni kolejí, které se označuje výstražným křížem.

**ČSN 34 2650** je česká technická norma, která definuje předpisy pro železniční přejezdová zabezpečovací zařízení.

## **2.2 Obecný popis**

Přejezdové zařízení, které se běžně používá, se obecně skládá z několika částí. Mezi tyto části patří:

**„a) části, kterými se poskytuje:**

- 1) *signalizace uživateli pozemní komunikace*
- 2) *indikace obsluhujícímu zaměstnanci (dispečer, výpravčí)*
- 3) *informace strojvůdci*
- 4) *diagnostická informace technikovi*

**b) ovládací části,**

**c) závislostní části,**

**d) komunikační zařízení,**

**e) napájecí části,**

**f) konstrukční části,**

**g) kabelové rozvody“**

[1]

Podle druhu zabezpečení železničního přejezdu může přejezdové zařízení dávat výstrahu světelnou, zvukovou a mechanickou. Pro přejezdové zabezpečovací zařízení světelné 3. kategorie většinou platí, že využívá kombinaci všech tří těchto výstrah, přičemž základní výstrahou je vždy světelná.

## **2.3 Definice zabezpečovacích zařízení III. kategorie**

*„Zabezpečovací zařízení III. kategorie se vyznačují nejvyšší bezpečností a nejmenší závislostí na člověku po technologické stránce. Výpravčí (nebo jiný pověřený zaměstnanec) zadává pouze vlakovou cestu, případně manuálně na řídicím pultu mění polohu jednotlivých výměn.*

*Zabezpečovací zařízení si již elektronicky hlídá vzájemné vazby a postavení výměn a ovlivňující se vlakové a posunové cesty.“* [2]

Hlavním principem přejezdů 3. kategorie tedy je, že většinu svých operací si řídí sám, autonomně, automaticky, bez zásahu člověka. Pro účely této práce budou uvažována a zmiňována výhradně přejezdová zařízení 3. kategorie.

## **2.4 Přejezdové zařízení světelné**

Jak bylo již definováno výše, přejezd je úroňové křížení pozemní komunikace a železniční trati. Pokud je tento železniční přejezd vybaven světelným přejezdovým zabezpečovacím (výstražným) zařízením, které je umístěno na výstražníku, tomuto přejezdovému zabezpečovacímu zařízení (PZZ) se říká PZS – přejezdové zařízení světelné.

Světelná signalizace se využívá k přehledné indikaci stavu přejezdu pro uživatele pozemní komunikace, která kříží trať. Signalizace dávaná signály světel výstražníku jsou 3:

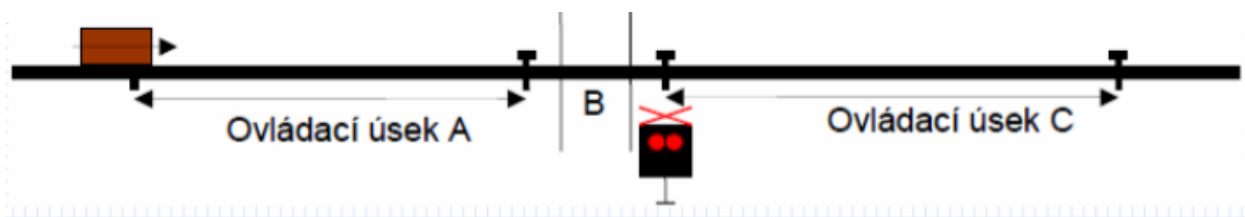
**a) pozitivní signál** – *„přerušované svícení bílého světla na výstražníku ve směru k uživatelům pozemní komunikace informuje uživatele pozemní komunikace, že v obvodu přejezdu není železniční kolejové vozidlo, které by jej mohlo ohrozit (buď není v obvodu přejezdu, nebo má zakázáno vjet na přejezd bez varování uživatele pozemní komunikace jiným způsobem).“*, [3]

**b) výstražný signál** – přerušovaná červená světla (na přejezd je zakázáno vstupovat, vjíždět),

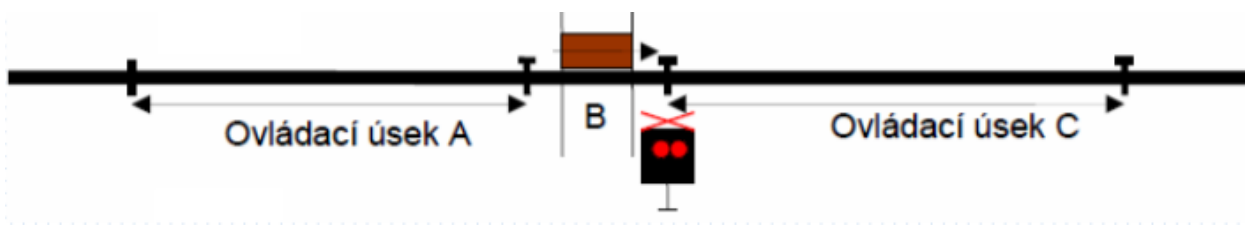
**c) varovný signál** – žádné ze světel nesvítí (*„neposkytuje uživateli pozemní komunikace informaci, zda se k přejezdu blíží nebo neblíží železniční kolejové vozidlo, které by jej mohlo ohrozit -> otevřený přejezd“*). [3]

Společně se světelnou signalizací se často také používají doplňkové výstrahy, mezi které patří již zmíněná zvuková výstraha a mechanická výstraha. Spouštěním světelné signalizace se v případě, že je těmito prvky železniční přejezd vybaven, spouští společně všechny ostatní doplňkové výstrahy na přejezdu. Tyto výstrahy se spouští s určitým časovým předstihem tak, aby se přejezd stihl v řádné době uzavřít.

### 2.4.1 Funkce PZS



Obrázek 1 - schéma funkce přejezdu – zdroj - přednášky předmětu RIZE



Obrázek 2 - schéma funkce přejezdu s vlakem na přejezdu – zdroj - přednášky předmětu RIZE

Uvažujeme-li směr jízdy drážního vozidla vpravo, ovládací úsek A můžeme v tomto případě definovat jako přibližovací úsek (viz 2.6.4), ovládací úsek B jako anulační úsek (viz 2.6.7) a ovládací úsek C jako vzdalovací úsek (viz 2.6.6).

K detekci průjezdu drážního vozidla se mohou používat různá technická zařízení. Mezi tato zařízení patří počítače náprav či kolejové obvody.

Funkci PZS lze popsat podle obrázku 2 a 3 výše. Při vstupu drážního vozidla (vlaku) do ovládacího úseku A (dle směru jízdy – uvažuje se směr vpravo) se spustí na přejezdovém světelném zařízení světelná a zvuková výstraha, která indikuje blížící se drážní vozidlo k přejezdu. Tato výstraha se musí spustit s daným časovým předstihem před uzavřením přejezdu. Tato doba je definovaná jako vyklizovací doba (viz 2.6.2). Drážní vozidlo následně obsazuje úsek B a pokračuje do ovládacího úseku C (vzdalovací úsek). V tuto chvíli se přejezd dostává do stavu anulačního, kdy dojde k ukončení světelné a zvukové výstrahy a začíná měření anulační doby. Anulační stav má za úkol počítat dobu obsazenosti kolejového úseku „C“, který se stává obsazený v době, kdy jede vlak zleva doprava dle obrázku výše. V tomto anulačním stavu je přejezd otevřený (ignoruje se, že je ovládací úsek „C“ obsazený), nicméně přejezd počítá tzv. mezní dobu anulace pro případ, že se například vlak roztrhne a zadní část vlaku se bude vracet zpět na přejezd nebo dojde k poruše kolejového obvodu vzdalovacího úseku (trvale se obsadí). Pokud mezní doba anulace uplyne a ovládací úsek „C“ se neuvolní,

přejezd okamžitě spouští výstrahu. V případě, že drážní vozidlo projede vzdalovací úsek a tento úsek uvolní, PZS přechází do základního stavu.

Při navrhování každého PZS se má uvažovat s tím, aby dané PZS co nejvíce zabezpečilo daný železniční přejezd, ale zároveň aby co nejméně omezilo uživatele pozemní komunikace. Tím pádem je snaha, aby doba uzavření PZS byla co nejkratší a opravdu zajistila pouze bezpečné projetí drážního vozidla a neomezovala další provoz na pozemní komunikaci. Bezpečnost má samozřejmě v tomto případě přednost, a proto je i cílem této práce, aby stávající bezpečnost zůstala přinejmenším zachována.

Doby uzavření PZS jsou ale v určitých případech příliš vysoké. Příkladem může být, kdy se k přejezdu blíží nákladní vlak, který se ve většině úsecích na trati pohybuje menší než maximální dovolenou traťovou rychlostí. Protože se výstraha na železničním přejezdu v současném stavu PZZ aktivuje v době, kdy se vlak nachází v konstantní vzdálenosti od přejezdu, a to bez ohledu na to, jakou rychlostí se vlak pohybuje, dochází k prodlužování doby mezi uzavřením přejezdu a příjezdem vlaku na tento přejezd. Je žádoucí, aby se rozlišovalo, kdy se má spouštět výstraha na přejezdu pro každý vlak jednotlivě na základě jeho rychlosti či dalších parametrů. K tomu je výhodné využít vlastností nově nasazovaného systému ETCS.

Zároveň je ale žádoucí, aby se zvyšovala bezpečnost na přejezdech především v souvislosti s překážkami na přejezdu. Jedná se o případy, kdy se během vyklizovací doby nepodaří silničním vozidlům přejezd uvolnit. Tohoto lze dosáhnout využitím některých již vyvinutých technických prvků tvořících detektory volnosti přejezdu.

## **2.5 Železniční přejezdy v ČR**

V České republice je (**k 31.12.2020**) celkem 7784 přejezdů, z čehož je 3571 zabezpečeno pouze výstražným křížem, což výrazně snižuje bezpečnost těchto přejezdů. V roce 2020 byla schválena příprava a následná realizace bezpečnostních opatření na 210 železničních přejezdech. Dochází tak k velkému nahrazování železničních přejezdů vybavených pouze výstražnými kříži na bezpečnější přejezdová zabezpečovací zařízení. Lze tak uvažovat, že i na těchto přejezdech lze v budoucnu uplatnit navrhované principy.

Přejezdů zabezpečených světelným PZZ je celkem 3909 a více než polovina (přesně 2367) těchto přejezdů je bez závor. Mechanickým PZZ je zabezpečeno zhruba 300 přejezdů. **[12]**

Podrobnější statistika je uvedena na obrázku níže, avšak pro účely této práce jsou nejdůležitější přejezdy se světelným PZZ, a to s ohledem na fakt, že nemá smysl technicky rozšiřovat přejezdy, které budou do budoucna vyměňovány za přejezdy se světlenou výstrahou.

Aktualizováno k 31. 12. 2020

Řádek	Vykazované údaje	Jednotka	Počet
1	Počet přejezdů celkem	kus	7 784
1.2	Přejezdy zabezpečené pouze výstražným křížem	kus	3 571
1.3	Přejezdy zabezpečené přejezdovým zabezpečovacím zařízením (PZZ)	kus	4 213
4	Přejezdy zabezpečené světelným PZZ	kus	3 909
4.1	PZS se závorami	kus	1 542
4.2	PZS bez závor	kus	2 367
5	Přejezdy zabezpečené mechanickým PZZ	kus	288
5.1	PZM obsluhované na dálku	kus	59
5.2	PZM obsluhované místně	kus	229
5.3	PZM obsluhované kombinovaně	kus	0
6	PZM 2 (přejezdy trvale opatřeny uzamyk. zábranou, odstraňovanou na požádání)	kus	109
7	PZZ ostatní (jednodrátové, otočné, posuvné závory)	kus	16
8.1	Přejezdy na silnicích I. třídy	kus	162
8.2	Přejezdy na silnicích II. třídy	kus	564
8.3	Přejezdy na silnicích III. třídy	kus	1461
8.4	Přejezdy na místních komunikacích	kus	1 783
8.5	Přejezdy na účelových komunikacích	kus	3 814
9	Celkový počet přejezdových konstrukcí	kus	8 866
9.1	Přejezdové vozovky z pryžových konstrukcí	kus	2 566
9.2	Přejezdové vozovky z železobetonových konstrukcí	kus	1 491
9.3	Železobetonové základňové konstrukce	kus	1 748
9.4	Přejezdové vozovky z plastbetonových konstrukcí	kus	183
9.5	Přejezdové vozovky živičné	kus	1 798
9.6	Ostatní (nezahrnuté + nové)	kus	1 080
10	Zrušené přejezdy ve sledovaném roce	kus	37
10.1	Z toho dočasně	kus	1
11	Prodané přejezdy ve sledovaném roce	kus	0
12	Nově zřízené přejezdy ve sledovaném roce	kus	13
12.1	Z toho dočasně	kus	9
13	Závorářské stanoviště ve stavu odvětví TH	počet	20
14	Přejezdy s trv. omez. největší traťové rychlosti z důvodů rozhledových poměrů	počet	668

Obrázek 3 - počet přejezdů v ČR. – zdroj [12]

## 2.6 Základní pojmy pro přejezdové zabezpečovací zařízení světelné

### 2.6.1 Předzváněcí doba

„Doba od spuštění výstrahy do okamžiku, kdy se smí začít sklápět břevno závory.“ [1]

Předzváněcí doba je buď shodná s vyklizovací dobou (viz 2.6.2) – v případě, že je PZS



vybaveno celými závorami nebo je určena dobou, za kterou silniční vozidlo nebo chodec mine závoru za přejezdem.

### 2.6.2 Vyklizovací doba PZS

*„Vyklizovací doba je doba, během které může ještě bezpečně nejdelší možné a nejpomalejší možné silniční vozidlo, cyklista nebo chodec přejet nebo projít přejezdem.“* [1]

Mezi nejdelší možné vozidlo pojižděné na pozemní komunikaci se uvažuje vozidlo o délce 22 metrů a mezi nejpomalejší vozidlo přejíždějící přejezd se uvažuje vozidlo s rychlostí 5 km/h.

Vyklizovací dobu spočítáme pomocí vzorce  $v = s/t$ , po úpravě  $t = s/v$ , kdy „s“ je součet šířky přejezdu a délky maximálního možného vozidla užívající pozemní komunikaci (dle legislativy), „v“ je nejmenší uvažovaná rychlost vozidla na přejezdu (dle legislativy) a „t“ je samotná vyklizovací doba.

Pokud je PZS vybaveno závorami, přičítá se k hodnotě „t“ přídavná doba pro úplné sklopení těchto závor.

### 2.6.3 Přibližovací doba PZS

Přibližovací dobu můžeme definovat jako součet vyklizovací doby a dalších dílčích dob. Přesněji lze popsat přibližovací dobu jako *„nejkratší dobu od okamžiku pokynu ke spuštění výstrahy do okamžiku, kdy smí vjet čelo drážního vozidla na železniční přejezd.“* [1]

Dle ČSN 34 2650 se přibližovací doba pro přejezdy s celými závorami vypočítá pomocí vztahu:

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

kde  $t_r$  je doba reakce zařízení, dle normy ČSN 34 2650 je tato hodnota nastavena na 1s;  $t_v$  je vyklizovací doba;  $t_u$  je doba sklápění závory a dle ČSN 34 2650 je tato hodnota nastavena na 10s;  $t_{b1}$  je základní bezpečnostní doba, která musí uplynout, než může čelo vlaku být na přejezdu a je nastavena na 6 sekund;  $t_{b2}$  je další přídavná doba a je nastavena na 3 sekundy, která vyplývá z tolerancí a zaokrouhlování;  $t_{u2}$  je dle ČSN 34 2650 nastavena na nulu. [1]

V přibližovací době se počítá také s pojmem „délka přibližovacího úseku“, který je pro účely této práce velice důležitý.

### 2.6.4 Přibližovací úsek PZS

*„Ovládací úsek přejezdu, vybaveného PZS, před přejezdem ve směru jízdy železničního kolejového vozidla.“* [3]

### 2.6.5 Délka přibližovacího úseku PZS

Jedná se o vzdálenost, kterou drážní vozidlo (vlak), jedoucí nejvyšší dovolenou rychlostí, ujede za danou přibližovanou dobu. Délku přibližovacího úseku vypočítáme dle vztahu  $s = v \cdot t$ , přičemž „s“ je délka přibližovacího úseku, „v“ je maximální traťová rychlost daného kolejového úseku a „t“ je vyklizovací doba (viz 2.6.2).

### 2.6.6 Vzdalovací úsek PZS

*„Ovládací úsek přejezdu, vybaveného PZS, za přejezdem ve směru jízdy železničního kolejového vozidla.“* **[3]**

Může se definovat i jako přibližovací úsek pro opačný směr jízdy drážního vozidla.

### 2.6.7 Anulace (anulační stav)

Stav PZS v době od ukončení výstrahy po průjezdu železničního kolejového vozidla do přechodu do základního stavu nebo znovu do výstražného stavu (*„stav, při kterém je vyloučen vliv obsazení vzdalovacího úseku na uvedení PZS do výstrahy“*). **[1]**

### 2.6.8 Mezní doba anulace

Doba, za kterou nejpomalejší a nejdelší drážní vozidlo stihne opustit vzdalovací úsek. Mezní doba anulace nesmí překročit dobu, za kterou se dostane další drážní vozidlo na místo přejezdu z nejbližší dopravní.

## 2.7 Přebytečné doby uzavření přejezdu

Rychlost vlaku (km/h)	Doba, za kterou vlak přijede k přejezdu, od spuštění výstrahy (s)	Přebytečná doba uzavření přejezdu <sup>1</sup> (s)
160	45	0
150	48	3
140	51	6
120	60	15
110	65	20
100	72	27
90	80	35
80	90	45
70	103	58
60	120	75
50	144	99
40	180	135

Tabulka 1 - Výpočty dob

Pokud se vlak pohybuje menší rychlostí, než je rychlost maximální traťová, lze předpokládat, že doby uzavření přejezdu budou zbytečně dlouhé. Tato skutečnost je patrná z tabulky výše, která ukazuje doby, za které stihne vlak, pohybující se danou rychlostí, být na přejezdu. Tato tabulka uvažuje s **12 m širokým přejezdem** a maximální **traťovou rychlosti 160 km/h**. Je patrné, že pro vlaky jedoucí rychlostí menší, než je maximální povolená rychlost na trati v oblasti přejezdu, jsou současně navržené přejezdy časově neoptimální. Je proto žádoucí tyto doby uzavření optimalizovat. Důvodem je fakt, že se spínací prvky, jejichž úkolem je identifikovat blížící se vlak k přejezdu, umísťují do konstantní vzdálenosti od přejezdu tak, aby se nejrychleji jedoucí vlak (tato rychlost odpovídá maximální dovolené traťové rychlosti v daném úseku) svým čelem dostal k přejezdu až v době, kdy uplyne přibližovací doba.

Lze předpokládat, že optimalizováním doby uzavření přejezdu se eliminují i nežádoucí účinky uzavřeného přejezdu na lidskou psychiku, protože řidiči jsou častokrát „nervózní“ z toho, že je

<sup>1</sup> Při uvažování přibližovací doby 45 s

přejezd uzavřený příliš dlouho, a to hlavně v momentě, kdy se na přejezdu nic neděje a vlak dlouhou dobu neprojíždí. Nervozita řidičů pak čím dál více stoupá.

Pokud budeme uvažovat cíl práce zvýšení bezpečnosti na železničních přejezdech, pak je nutné především eliminovat případy, kdy zůstane uzavřený přejezd obsazen silničními vozidly. Autor pak předpokládá, že při stávajícím pojetí způsobu ovládní přejezdového zabezpečovacího zařízení by se doby uzavření přejezdu výrazně zvýšily.

Důvodem je fakt, že provádět kontrolu volnosti přejezdu má smysl až po uplynutí vyklizovací doby. Aby bylo možné reagovat na případnou překážku na přejezdu, musí se čelo vlaku v tuto chvíli nacházet minimálně ve vzdálenosti odpovídající jeho brzdě dráze. Je proto vhodné se zamyslet, zda lze aplikovat jiné přístupy k ovládní přejezdového zabezpečovacího zařízení tak, aby bylo možné tyto negativní vlivy co nejvíce eliminovat, jednotlivé varianty posoudit a následně rozhodnout, zda je přijatelnější, aby byla silniční doprava co nejplynulejší, a to i na úkor bezpečnosti, nebo zda bezpečnost hraje důležitější roli a snížení počtu nehod na přejezdu je prioritou.

## 3 European Train Control System (ETCS)

Evropský vlakový zabezpečovací systém (ETCS) je jednou ze součástí Evropského Systému Řízení Železniční Dopravy (ERTMS). Další součástí ERTMS je GSM-R (mezinárodní standard bezdrátové komunikace pro železnice). Systém ETCS vznikl z důvodu potřeby implementace jednotného řízení železnice v celé Evropě, a to hlavně z důvodu zvyšující se potřeby mezinárodní přepravy velkých nákladů, ale i velkého množství osob a tím pádem zvyšující se poptávce po železniční dopravě jako takové. Systém ETCS má nahradit cca 20 národních zabezpečovacích vlakových systémů po celé Evropě a tím zjednodušit logistické nároky na jednotlivé dopravce (výměna hnacích vozidel na státních hranicích, potřeba vybavovat hnací vozidla několika typy zabezpečovačů podle státu atd.). Tento zabezpečovací systém je v současné době hlavním tématem výrobců železničních zabezpečovacích systémů v České republice.

### 3.1 Všeobecný popis

*„Systém je navržen jako otevřený a přizpůsobivý různým potřebám a požadavkům jednotlivých evropských železničních správ.“* [4]

Systém ETCS je zabezpečovací systém, který má být implementován napříč Evropou. Skládá se z mobilní a z traťové části, přičemž mobilní část se rozumí ta část, která je integrována do jedoucího vlaku. V něm je několik technických prvků, které komunikují s infrastrukturou a na základě těchto informací počítají brzdné křivky, informují strojvedoucího a kontrolují jízdu vlaku. Traťová část ETCS získává informace od již implementované infrastrukturní části zabezpečovacího zařízení (liší se v jednotlivých zemích) a tyto informace zpracovává. Následně některé z nich přenáší do mobilní části. Nejdůležitějším úkolem traťové části je posílat vlaku povolení k jízdě. Tato povolení k jízdě, ale i další informace, jsou z traťové části přenášeny předem definovaným způsobem tak, aby mohl být systém interoperabilní napříč Evropou.

V současnosti má systém navržen tři aplikační úrovně, které se zkráceně značí L1, L2 a L3 (Level 1, Level 2, Level 3). Jednotlivě se k těmto úrovním autor bude věnovat níže.

### 3.2 Traťová část ETCS

Traťová část se skládá z několika částí, mezi něž hlavně patří: **Radiobloková centrála RBC** (Radio Block Centre), **Balíza** (Eurobalise).

*„Radiobloková ústředna RBC (Radio Block Centre), která je mozkiem traťové části. Získává informace ze zabezpečovacího zařízení, případných sousedních RBC a z mobilních částí, a naopak vydává příkazy a informace ETCS vlakům.“* [5]

*„Balízy jsou bodové prostředky umístěny v podélné ose koleje a slouží k přenosu informací. Podle nich vlak zjišťuje svoji polohu.“* [5]

Balízy se mohou umisťovat na trati samostatně (zpravidla uprostřed kolejového úseku či na jiném místě, ve kterém je cílem pouze zvýšit přesnost polohy vlaku), či v balízové skupině po 2 až 8 balízách (nejčastěji se umisťují po dvojicích v místech hlavních návěstidel, kde je důležité určit směr jízdy vlaku).

Můžeme rozlišovat balízy přepínatelné a nepřepínatelné.

**Přepínatelné** balízy mění vysílaný telegram na základě přijaté informace z traťové části. Používají se hlavně v ETCS Level 1.

**Nepřepínatelné** balízy mají předem definovaný telegram a ten se nemění. Jsou, podobně jako přepínatelné balízy, předprogramované tak, aby se od těchto balíz mohla korektně určovat poloha vlaku. Používají se ve všech úrovních ETCS.

### **3.3 Mobilní část ETCS**

Mobilní část ETCS se skládá z několika součástí, mezi které patří: Evropský bezpečný počítač EVC (European Vital Computer), Balízový přenosový modul BTM (Balise Transmission Module), Displej strojvedoucího DMI (Driver-machine interface), GSM-R modemy, Rozhraní k vlaku TIU, Právní záznamník informací JRU (Juridical Recorder Unit), Specifický přenosový modul STM (Specific Transmission Module) a Odometrie.

*„Evropský bezpečný počítač EVC (European Vital Computer), který představuje mozek celé mobilní části a který bezpečně zpracovává informace ETCS.“*

***Balízový přenosový modul BTM (Balise Transmission Module), který spolu s anténou pro čtení balíz slouží pro příjem informací z balíz a jejich přenos do EVC.***

***Displej strojvedoucího DMI (Driver-machine interface) je rozhraní, pomocí kterého strojvedoucí ovládá mobilní část a kde se mu zobrazují informace od EVC.***

***Dva GSM-R modemy s dvěma anténami pro datovou komunikaci mezi EVC a radioblokovou centrálou RBC (Radio Block Centre) pomocí sítě GSM-R.***

**Rozhraní k vlaku TIU** je rozhraní, pomocí kterého EVC získává informace o stavu některých prvků na vozidle a naopak vydává příkazy a informace k vlaku.

**Právní záznamník informací JRU (Juridical Recorder Unit)** je záznamové zařízení dat ETCS, vyměňovaných zpráv a parametrů vlaku.

**Specifický přenosový modul STM (Specific Transmission Module)** je zařízení které zajišťuje zabezpečení vlaku na tratích nevybavených traťovou částí ETCS; pro síť SŽDC je to typ STM LS.“ [5]

**Odometrie** je většinou tvořená dvěma rychlostními senzory, které měří dráhu prostřednictvím odvalování kola po kolejnici a Dopplerovým radarem.

Aktuální poloha vlaku se uvádí jako vzdálenost od poslední načtené balízové skupiny (LRBG). Ujetá vzdálenost se měří pomocí systému odometrie.

### 3.4 Aplikační úrovně ETCS

Evropský zabezpečovací systém ETCS je specifikován několika úrovněmi, které se definují podle jejich funkčnosti. Tento zabezpečovací systém je zpravidla tvořen několika prvky, jejichž přítomnost se v různých aplikačních úrovních liší. Hlavními aplikačními úrovněmi ETCS jsou L1, L2 a L3.

Aplikační úrovně 1, 2 a 3 jsou zpětně kompatibilní, což znamená, že:

- Vlak vybaven pro jízdu v aplikační úrovni 3 je schopný se pohybovat i v úrovni 0, 1 i 2.
- Vlak vybaven pro jízdu v aplikační úrovni 2 je schopný se pohybovat i v úrovni 0 i 1.
- Vlak vybaven pro jízdu v aplikační úrovni 1 je schopný se pohybovat i v úrovni 0.

[6]

#### 3.4.1 ETCS L0

**ETCS L0** je úroveň, ve které se vozidlo vybavené mobilní částí ETCS pohybuje po traťové části trati, která není vybavená systémem ETCS. Na této trati buď není žádný vlakový zabezpečovač, nebo je na trati některý národní vlakový zabezpečovač, pro spolupráci, s nímž není vozidlo vybaveno. OBU je schopno kontrolovat pouze maximální konstrukční rychlost vlaku a maximální traťovou rychlost.

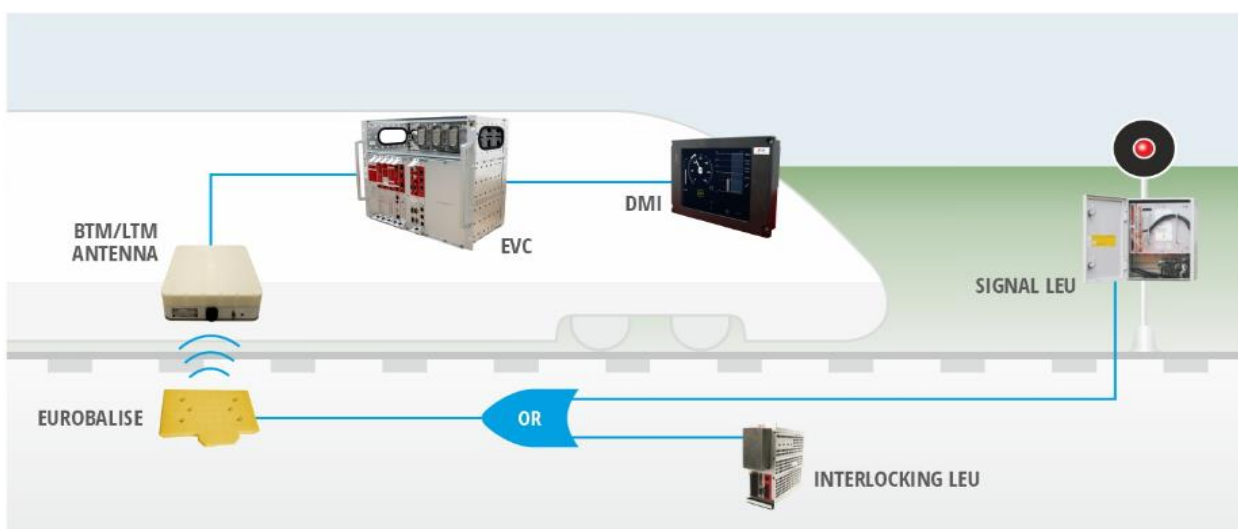
### 3.4.2 ETCS LNTC

**ETCS LNTC** je úroveň, ve které se vozidlo vybavené mobilní částí ETCS pohybuje po trati, jež je vybavena národním zabezpečovacím zařízením. Mobilní část ETCS z národního zabezpečovače přijímá informace prostřednictvím STM.

### 3.4.3 ETCS L1

**ETCS L1** je úroveň, v níž se vozidlo vybavené mobilní částí ETCS pohybuje po trati, která je vybavena přepínatelnými balízami. Tyto tratě nejsou vybaveny rádiovým přenosem GSM-R. Fungují stávající infrastrukturní zabezpečovací zařízení (TZZ, SZZ, PZZ), které stále plní svou funkci (stavění vlakových cest, rozsvěcení znaků na návěstidle apod.). Na výstupy těchto infrastrukturních zabezpečovacích zařízení je napojena LEU (traťová elektronická jednotka), která na základě informací přijatých z infrastrukturní části trati mění telegram v přepínatelné balíže – vydává oprávnění k jízdě. Tyto balíže tedy předávají vlaku informace o traťových úsecích. Přepínatelné balíže se umísťují hlavně před návěstidla, a jejich telegram je například ve stavu definovaném podle znaku na návěstidle, což umožňuje kontrolovat (zvyšovat, snižovat) rychlost vlaku.

Přenos informací z návěstidla na vlak je znázorněna na obrázku 4.



Obrázek 4 - komunikace L1 - zdroj [7]



### 3.4.4 ETCS L2

**ETCS L2** je úroveň, v níž se vozidlo vybavené mobilní částí ETCS pohybuje po trati, která je vybavená zpravidla nepřepínatelnými balízkami, radioblokovou centrálou RBC ale i stávajícím infrastrukturním zabezpečovacím zařízením. Každý vlak, který je vybaven ETCS, je registrován v RBC. Oprávnění k jízdě jsou vlaku předávána prostřednictvím radiové komunikace GSM-R, o kterých rozhoduje RBC na základě přijatých informací ze stávajících infrastrukturních zabezpečovacích zařízení. Tyto informace jsou např. postavená vlaková cesta, volnoznak na návěstidle nebo naopak návěst Stůj atd. Za postavení vlakových cest ale stále zodpovídají stávající infrastrukturní zabezpečovací zařízení. RBC tedy zpravidla přijme informaci z mobilní části vlaku o jeho poloze (lokalizuje vlak), následně zkontroluje stav infrastruktury před vlakem a dále rozhoduje o udělení oprávnění k jízdě. Mobilní část získává informace o poloze vlaku prostřednictvím odometrie, která vždy počítá ujetou vzdálenost od poslední načtené balízy (LRBG – last relevant balise group). Vzdálenost od LRBG („L“) se začíná počítat bezprostředně po načtení balízové skupiny a maximální nepřesnost počítání této hodnoty je definovaná dle specifikace  $(L+(5\%L) \pm 5 \text{ m})$ .

Z předchozího odstavce vyplývá, že přenos informací není bodový (jako v ETCS L1), ale kontinuální. Vlak je tedy schopno kontrolovat i v době, kdy projede kolem návěstidla, tudíž je možno neustále (kontinuálně) kontrolovat volnost jízdni cesty před vlakem. To znamená, že je možnost aktualizovat MA hned, jak se změní podmínky pro jeho udělení, a ne až po načtení další BG, jako tomu je v L1. Pokud by došlo ke změně (porušení) podmínek vydávání oprávnění k jízdě (např. tzv. Generální Stůj), oprávnění se odvolá a ETCS se postará o to, aby vlak okamžitě začal brzdit a co nejdříve zastavil.

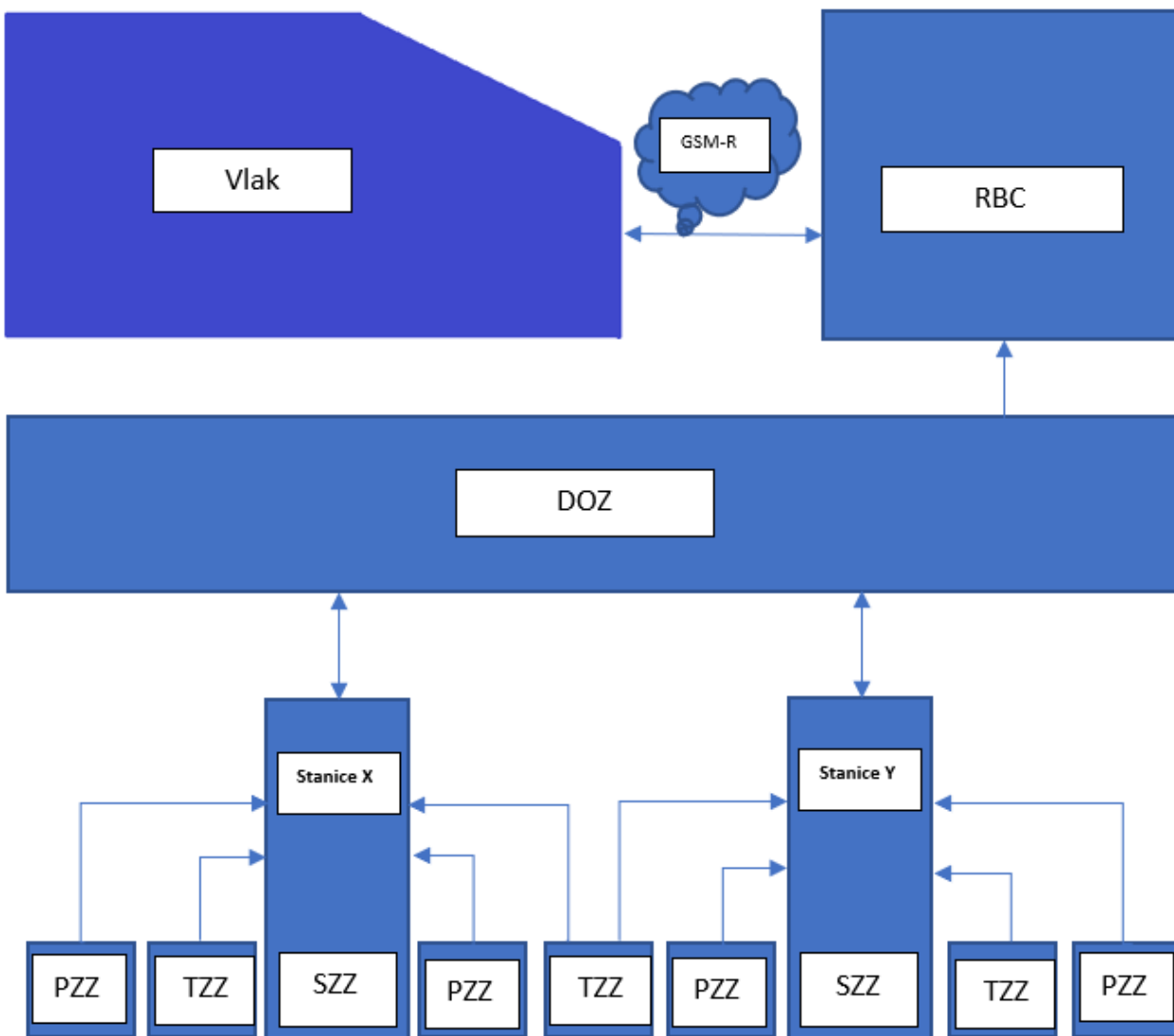
#### **Data a informace se tedy na OBU přenáší dvěma způsoby:**

**Prvním způsobem** je jednosměrný přenos informací z balízk na vozidlo. V případě úrovně 2 se používají především nepřepínatelné balízk, které obsahují informace o absolutní (zeměpisné) poloze na trati a profilu trati.

**Druhým způsobem** je obousměrný přenos informací mezi vozidlem a radioblokovou centrálou RBC prostřednictvím radiové sítě GSM-R. Hlavním cílem přenosu těchto informací je poskytnout vlakům oprávnění k jízdě, které umožňuje bezpečný pohyb vlaku. RBC si neustále vyměňuje informace a komunikuje s palubním subsystémem. **[6]**

V této práci bude uvažováno hlavně se způsobem druhým, který umožňuje RBC odesílat informace na vlak v reálném čase.

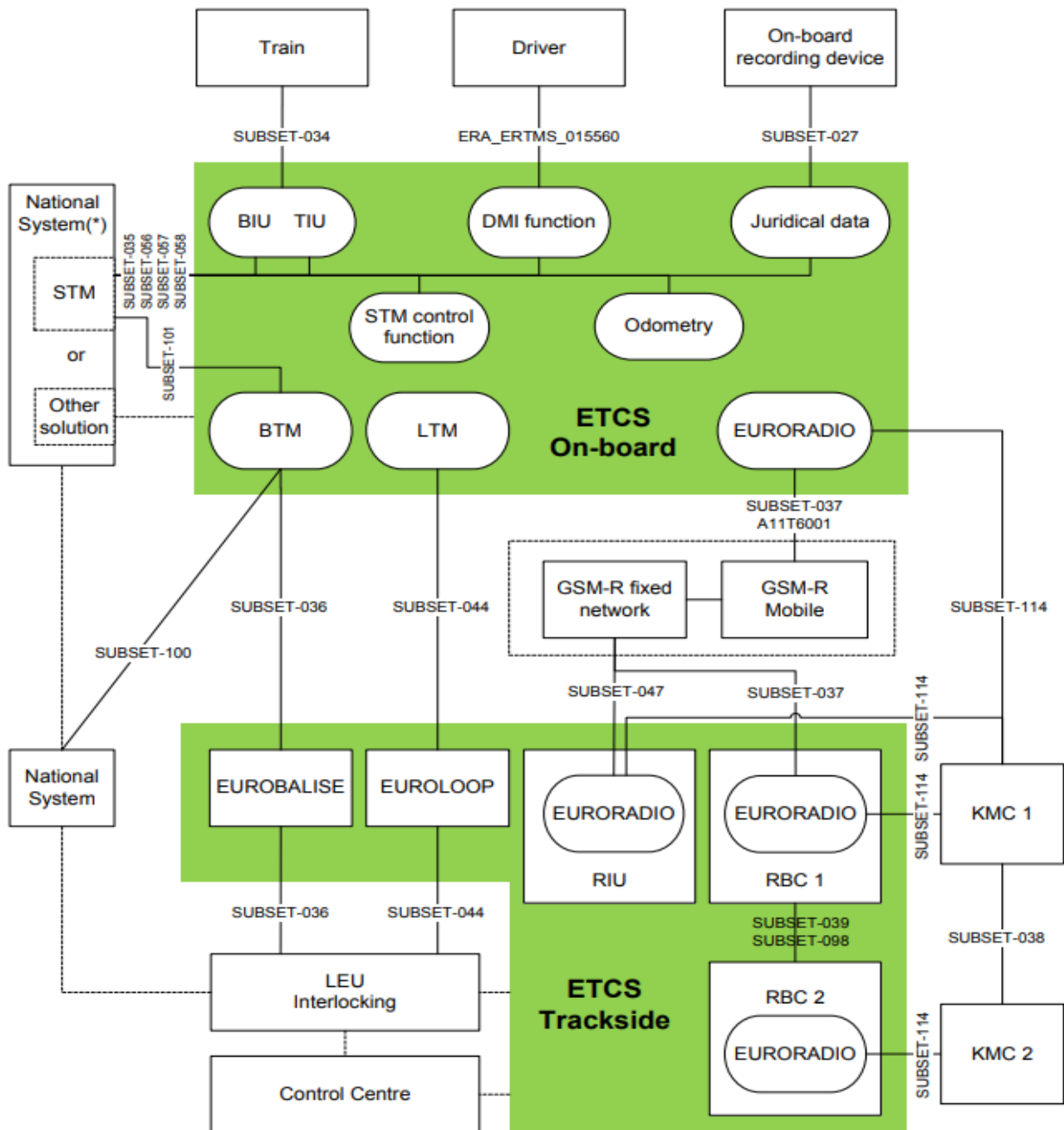
Architektura přenosu informací ze stávajících zabezpečovacích zařízení do RBC a z RBC na vlak je znázorněna na obrázku 5.



Obrázek 5 - Architektura přenosu informací a dat – zdroj vlastní

Obrázek zjednodušeně znázorňuje přenos informací mezi stávající infrastrukturou a RBC s rozšířením o komunikaci mezi RBC a vlakem. Tento způsob přenosu informací platí v České republice u Správy železnic. Z obrázku je patrné, že informace se přenášejí z přejezdových zabezpečovacích zařízení a TZZ do staničních zabezpečovacích zařízení, které je dále posílají prostřednictvím sítě pro dálkové ovládání zabezpečovacích zařízení (DOZ), ze kterých RBC **jednosměrně** přijímá informace, které zpracovává a pak posílá na vlak.

Podrobnější popis struktury vnějších i vnitřních rozhraní, a to kde jsou specifikovány je podrobně znázorněno na obrázku č. 6:



Obrázek 6 - Rozhraní OBU a RBC – zdroj [6]

### 3.4.5 ETCS L3

*„Rozdíl proti L2 spočívá ve změně lokalizace a kontroly celistvosti vlaku, která se děje průběžně rádiovými prostředky. Tato aplikační úroveň umožňuje zrušení traťových oddílů a jejich nahrazení „pohyblivým oddílem“. To znamená, že volnost vlakové cesty v délce zábrzdné vzdálenosti pro daný úsek, druh a rychlost vlaku se sleduje průběžně, což umožní zvýšit propustnost tratí. Interoperabilní a bezpečná detekce celistvosti vlaku pro soupravy se svěšenými vozy (nikoliv pro ucelené jednotky) je zatím ve stádiu výzkumů, což brání zavedení této aplikační úrovně do provozu.“*

[15]

## 3.5 Režimy ETCS (ETCS Modes)

ETCS má několik režimů, ve kterých může pracovat. Tyto režimy definují chování a fungování systému ETCS.

Tyto režimy jsou: Full Supervision (FS), On Sight (OS), Limited Supervision (LS), Staff Responsible (SR), Shunting (SH), Unfitted (UN), Passive Shunting (PS), Sleeping (SL), Stand By (SB), Trip (TR), Post Trip (PT), Systém Failure (SF), Isolation (IS), No Power (NP), Non Leading (NL), National System (SN), Reversing (RV).

Pro účely této bakalářské práce budou zmiňovány pouze režimy FS a OS, jelikož jsou to jediné režimy, ve kterých je vlaku udělováno oprávnění k jízdě, tudíž pouze v těchto režimech je možnost využít systém ETCS k optimalizaci dob uzavření přejezdu.

### 3.5.1 Full Supervision (FS)

OBU je v režimu FS, pokud má k dispozici veškeré informace o vlaku a trati (po které se vlak pohybuje), které jsou požadovány pro úplný dohled vlaku. Do tohoto režimu se nemůže strojvedoucí přepnout sám, nýbrž je třeba do něj přejít automaticky pomocí předem definovaných procedur (traťová část posílá MA). Rychlost vlaku je kontrolována a automaticky upravována podle rychlostních profilů dané trati a maximální dovolené (nebo konstrukční) rychlosti dané vlakové soupravy. Tento režim se používá v úrovních 1, 2 a 3.

### 3.5.2 On Sight (OS)

OS je režim, který umožňuje vlaku vjet do již obsazeného kolejového úseku. Tento úsek tedy může být obsazen jiným vlakem. Strojvedoucí musí respektovat jízdu podle rozhledových poměrů a být schopen zastavit před překážkou. Ostatní podmínky jsou kontrolovány zabezpečovacím zařízením. Podobně jako režim FS, tak do režimu OS se strojvedoucí nemůže

přepnout sám. Do režimu OS se OBU přepíná automaticky povelom traťové části, a to pouze v případě, že jsou splněny veškeré podmínky pro přechod do OS. Rychlost vlaku je kontrolována a upravována automaticky podle rychlostních profilů trati a dle maximální dovolené (konstrukční) rychlosti dané vlakové soupravy. Maximální dovolená rychlost je (v České republice) na trati 100 km/h a ve stanici 40 km/h. Tento režim se používá v úrovních 1, 2 a 3.

### **3.5.3 Další režimy**

System ETCS má i další režimy (viz. výše), které pro účely této práce nejsou relevantní (v těchto režimech není vlak pod dohledem systému ETCS způsobem, kdy mu je udělováno z RBC oprávnění k jízdě), proto v této práci nebudou podrobněji vysvětlovány.

## **3.6 Jazyk ETCS**

Pro to, aby mohla být zajištěna komunikace mezi RBC a OBU, musel být předem definován jazyk, pomocí kterého budou jednotlivé části ETCS komunikovat (mobilní a traťová část). Díky němu jsou tyto dvě části ETCS schopny si vyměňovat informace. Tento jazyk je blíže popsán v subsetu 26 - 8 systému ETCS. Hlavními prvky komunikace mezi RBC a OBU jsou tzv. zprávy (v subsetu „Messages“), které v sobě nesou tzv. pakety. Ty si vyměňují obě části ETCS. Tyto zprávy mají předem definovaná čísla, podle nichž se pozná, jaký typ informace chce OBU nebo RBC přenést. Společně s každou zprávou se posílají jednotlivé pakety, které musí reprezentovat informace, týkající se druhu dané zprávy. Jednotlivé informace jsou pak uloženy v paketech, jež mohou obsahovat několik proměnných. Pro účely této práce se bude podrobněji věnováno těmto zprávám a paketům:

**Zpráva 3** – Movement Authority (Oprávnění k jízdě) - viz 3.7,

**Zpráva 132** – MA Request (Žádost k oprávnění k jízdě) – viz 3.8,

**Zpráva 136** – Position report (informace o poloze) – tuto zprávu odesílá OBU do RBC cyklicky každých 5 sekund, která RBC informuje o poloze, rychlosti a dalších informacích vlaku. Společně s touto zprávou se odesílá paket 0 (viz níže).

**Zpráva 129** - Vlaková data – tuto zprávu odesílá OBU do RBC, ve kterých RBC říká informace o vlaku (způsob trakce atd.). Tato zpráva se také odesílá společně s paketem 0 (viz níže).

**Paket 0** – Position report (informace o poloze) – v tomto paketu jsou uložena data, která definují polohu vlaku na trati, jako například poslední načtená balíza, vzdálenost od této balízy atd.

**Paket 88** – Level crossing information (informace o přejezdu) – viz 3.10.

**Paket 57** - Movement Authority Request Parameters (parametry odesílání MA Requestu) – viz 3.9. [6]

Zpráv a paketů, definovaných v jazyce ETCS, je samozřejmě mnohem více a pro úplné chápání komunikace je potřeba si nastudovat subset 26. Důležité ale je, že nositelem každého paketu musí být daná zpráva, ve které se daný paket může posílat. Pro názornost je tedy dobré si uvést nějaký příklad:

Variable	Value
▼ NID_MESSAGE	Message 136 (0) (L2/FS) (BG:4853)
L_MESSAGE	24
T_TRAIN	18188
NID_ENGINE	1048576 (0x100000)
▼ NID_PACKET	Packet 0
L_PACKET	114
Q_SCALE	1 (1 m)
NID_LRBG_C	513
NID_LRBG_BG	4853
D_LRBG	4
Q_DIRLRBG	1 (Nominal)
Q_DLRBG	1 (Nominal)
L_DOUBTOVER	5
L_DOUBTUNDER	5
Q_LENGTH	0 (NoInformation)
V_TRAIN	21
Q_DIRTRAIN	1 (Nominal)
M_MODE	0 (FS)
M_LEVEL	3 (L2)

Obrázek 7 - Ilustrace obsahu zprávy 136 a paketu 0 – zdroj [11]

Dle obrázku výše lze vidět zprávu 136 – zpráva, kterou OBU cyklicky odesílá každých 5 sekund za účelem informování o své poloze, která v sobě nese několik proměnných (např. L\_MESSAGE je délka dané zprávy v Bytech), ale i paket 0, ve kterém jsou uloženy jednotlivé proměnné blíže popisující polohu vlaku na trati.

### 3.7 Oprávnění k jízdě (Movement Authority)

Oprávnění k jízdě se vlaku vydává na určitou, prostorově omezenou vzdálenost. Tato vzdálenost končí v bodě, definovaných jako „EOA“ (End of Authority). „The Target Speed at the EOA“ nám říká, jakou rychlost musí vlak mít v místě EOA. Pokud je tato rychlost nenulová, hovoříme o EOA jako o „LOA“ (Limit of Authority).

*„Povolení s nenulovou cílovou rychlostí může být samozřejmě předáno pouze v případě, že vnější zařízení garantuje před dosažením hranice povolení k jízdě předat povolení nové, tzn., že za cílovým místem svítí dovolující návěst, či je připravena další vlaková cesta minimálně na zábrzdnu vzdálenost z předchozí cílové rychlosti.“* [4]

V jazyce ETCS (viz 3.6) se MA posílá jako zpráva 3. Tuto zprávu odesílá RBC na vlak (OBU). MA v sobě nese v sobě několik informací, uložených v jednotlivých paketech. Tyto informace mohou například definovat trať před vlakem – rychlostní a sklonové profily trati apod. Pro účely této práce není nutno, a proto nebude dopodrobna věnováno všem paketům, které se mohou společně odesílat s MA.

System ETCS počítá s tím, že je trať rozdělena na jednotlivé úseky, kterým se v jazyce ETCS říká „RBS“. Tyto úseky jsou od sebe odděleny návěstidly. To ETCS usnadňuje přesně určovat polohu vlaku na trati,

Oprávnění k jízdě může být vydáváno přes několik kolejových úseků. MA může být ohraničeno i časově → v ČR aktuálně 18 sec → OBU musí do 18 sec od přijetí posledního MA přijmout nové MA, v opačném případě si OBU samo zkrátí MA ke svému čelu → při pohybu okamžitě vlak přechází do „L2 Trip“ a nouzově brzdí. Tento časovač je pouze jeden z mnoha možných, říká se mu „Sectiontimer“.

*„Současně s povolením k jízdě nebo samostatně musí být na vozidlo předána i ostatní data popisující infrastrukturu před vlakem (rychlostní limity, sklony, příkazy, oznámení atd.) - pro úplný dohled je nutné pouze zajistit, že budou všechny informace předány včas.“*

*Na základě dat popisujících infrastrukturu před vlakem, povolení k jízdě a dat charakterizujících vlak lze určit pro každou polohu vlaku maximální rychlost, s níž se vlak může ještě bezpečně pohybovat. Při znalosti okamžité polohy a okamžité rychlosti vlaku lze pak rozhodnout, zda se vlak pohybuje v bezpečných hranicích, zda se připravuje je opustit, či je již překročil a podle povahy přijmout rozhodnutí o nutných zásazích do další jízdy vlaku. Během těchto procesů je třeba vykonat určité elementární funkce.“* [4]

### **3.7.1 Dohled pohybu vlaku**

Pro ověření, zda se vlak může pohybovat, provádí systém ETCS několik úkonů spojených se zajištěním bezpečnosti:

**„Výpočet statického rychlostního profilu** - tato funkce počítá maximální rychlost, kterou vlak nesmí překročit (bezpečný rychlostní profil) nebo maximální rychlost, kterou strojvedoucí může jet bez jakékoliv intervence zařízení (nominální rychlostní profil).

**Výběr nejvíce omezujícího statického rychlostního profilu** - tato funkce vybírá nejvíce omezující rychlostní profil mezi různými statickými rychlostními profily, předzpracovanými funkcí Výpočet statického rychlostního profilu. Všechny výpočty musí být opět prováděny s uvažováním nejhorsích podmínek a tolerancí z hlediska bezpečnosti.

**Výpočet dynamického rychlostního profilu** - funkce počítá individuální dynamické brzdící dohledové křivky, tj. křivku intervence brzd, varovnou křivku atd. Tyto dynamické rychlostní profily vycházejí z nejvíce omezujícího statického rychlostního profilu, individuálních brzdových vlastností vlaku a sklonů.

**Porovnání aktuální rychlosti a polohy vlaku s brzdovou křivkou** - tato funkce určuje rozdíl rychlosti a dráhy mezi brzdícími křivkami a skutečnou rychlostí a polohou vlaku. Srovnání umožňuje včas generovat varování, příkazy k aplikaci brzd atd.

**Brzdění** - tato funkce zajišťuje řízení dostupných brzdových prostředků. Když v důsledku předchozí funkce bude vydán příkaz k aplikaci brzdy, může systém působit nejprve na provozní brzdu a v případě, že provozní brzda nepracuje správně, bude spuštěna nouzová brzda. Aplikace nouzové brzdy se děje způsobem, který zajišťuje co nejvyšší bezpečnost.“ **[4]**

### **3.7.2 Způsoby prodlužování povolení k jízdě (MA)**

V současné době se v ČR MA prodlužuje automaticky na základě změny stavu infrastruktury - vlak nemusí posílat MA Request pro prodloužení MA. RBC toto MA prodlužuje na základě toho, zda jsou splněny podmínky pro jeho prodloužení (viz 3.7).

#### **Příklad:**

Vlak se pohybuje v oblasti ETCS L2 na trati a má vydané MA k vjezdovému návěstidlu, od kterého není postavena vlaková cesta. Postavením vlakové cesty na první staniční kolej RBC prodlouží vlaku MA až k dalšímu návěstidlu zakazující jízdou (typicky na konec první staniční koleje).

### **3.8 Žádost k oprávnění k jízdě (MA Request)**

Vlak, který se má pohybovat pod dohledem Evropského vlakového zabezpečovacího systému v L2 FS nebo OS, se smí pohybovat pouze po přijetí platného oprávnění k jízdě (MA). OBU



může žádat RBC o oprávnění k jízdě prostřednictvím MA Request. MA Request se v jazyce ETCS posílá jako zpráva 132. Tuto zprávu odesílá OBU na RBC. Podobně jako všechny ostatní zprávy v sobě nese několik informací a paketů, ve kterých jsou uloženy jednotlivé proměnné. Příkladem, jaké informace v sobě může nést zpráva 132 lze vidět na obrázku níže:

Field No.	VARIABLE/ PACKET	Remarks
1	NID_MESSAGE	
2	L_MESSAGE	
3	T_TRAIN	
4	NID_ENGINE	
5	Q_MARQSTREASON	
6	Packet 0 or 1	
7	Optional packets	

Obrázek 8 - Ilustrace obsahu zprávy 132 – zdroj [6]

Důležitou proměnnou pro tuto práci, kterou v sobě MA Request posílá, je Q\_MARQSTREASON, která RBC říká, z jakého důvodu OBU odesílá MA Request. Tato proměnná může nabývat několika hodnot, jež indikují důvod, proč OBU odesílá RBC MA Request. Důvody odeslání MA Request, skrývající se pod hodnotami dané proměnné, mohou být následující:

- a) Stisk tlačítka START strojvedoucím
- b) Čas před dosažením perturbation location pro EOA / LOA byl dosažen,
- c) Čas před dosažením časovače sekce nebo časovače rychlosti LOA byl dosažen,
- d) Informace o trati byly smazány,
- e) Volnost trati před vlakem až do oblasti vstupu do L2/L3

[6]

RBC pak buď uděluje, nebo neuděluje oprávnění k jízdě.

Pro účely této práce se později bude uvažovat s důvodem, který je definován jako b), tj. - čas před dosažením perturbation location pro EOA/LOA byl dosažen.

Účelem perturbation location je vyvolat spouštěcí událost, která zapříčiní to, že OBU odesílá MA request do RBC, aby se obnovilo odesílání MA včas před tím, než by vlak musel začít brzdit. Lokalizace tohoto bodu se odvíjí od brzdných křivek, popsanych v kapitole 3.11

### 3.9 MA Request jako spouštěcí událost

V ETCS L2 a L3 je umožněno společně s oprávněním k jízdě (viz 3.7) posílat paket 57, který je určený k tomu, aby udával parametry, kdy a jak často musí vlak žádat o oprávnění k jízdě (tedy poslat MA Request). Tento paket v sobě nese několik proměnných, což je možno vidět na obrázku níže:

<b>Description</b>	This packet is intended to give parameters telling when and how often the train has to ask for a movement authority.		
<b>Transmitted by</b>	RBC		
<b>Content</b>	<b>Variable</b>	<b>Length</b>	<b>Comment</b>
	NID_PACKET	8	
	Q_DIR	2	
	L_PACKET	13	
	T_MAR	8	
	T_TIMEOUSRQST	10	
	T_CYCRQST	8	

Obrázek 9 - Obsah paketu 57 – zdroj [6]

Důležitou proměnnou je pro účely této práce proměnná „T\_MAR“, která udává dobu před dosažením perturbation location. Tato doba bude později v této práci počítána tak, aby nejlépe vyhovovala reálnému provozu. Hodnota této proměnné totiž přímo ovlivňuje to, s jakým předstihem se odešle MA Request před tím, než se vlak svým čelem dostane do oblasti na trati, kde by musel začít brzdit. Díky tomuto časovému předstihu je potom zajištěno, že se MA Request odešle dostatečně včas a může sloužit jako spouštěcí událost.

Pokud si tedy spojíme proměnnou „T\_MAR“ s MA Requestem, můžeme tuto proměnnou využít jako spouštěcí událost pro účely odložení výstrahy na přejezdu.

### 3.10 Packet 88

V rámci technologie ETCS jsou v současné době uvažovány všechny přejezdy se světelným zabezpečovacím zařízením. Přejezdy, které takto zabezpečeny nejsou, ETCS nezná.

Přejezdy z pohledu ETCS mohou mít 2 stavy:

a) v pořádku, zabezpečen;

b) v poruše.

Pokud je přejezd v poruše, RBC přenáší na vlak MA s paketem 88, v němž je vyplněna rychlost, kterou se vlak může přes tento přejezd pohybovat. Tato rychlost uvedena v paketu 88 je pak důležitá pro počítání MRSP (viz 3.11).

V současnosti se v České republice přes přejezd, který je v poruše, může drážní vozidlo pohybovat alespoň 60 m před přejezdem rychlostí nejvýše 10 km/h a strojvedoucí musí být připraven využít všech prostředků pro zastavení vlaku před případnou překážkou. Paket 88 je blíže popsán v subsetu 26, kapitole 7.

[6][10]

### 3.11 Brzdné křivky

OBU na základě aktuálních brzdných parametrů vlaku a informací o trati (především sklonových poměrů) neustále během jízdy vlaku pod dohledem ETCS provádí výpočty brzdných křivek, které zaručují, že je vlak schopen respektovat maximální dovolenou rychlost v daném místě trati. Brzdné křivky jsou vždy počítány pro **maximální dovolenou rychlost** vlaku, která je definována jako MRSP - „Most Restrictive Speed Profile“, **nikoliv pro aktuální rychlost vlaku**. Tato hodnota je vztažena na nejvíce omezující podmínku rychlosti.

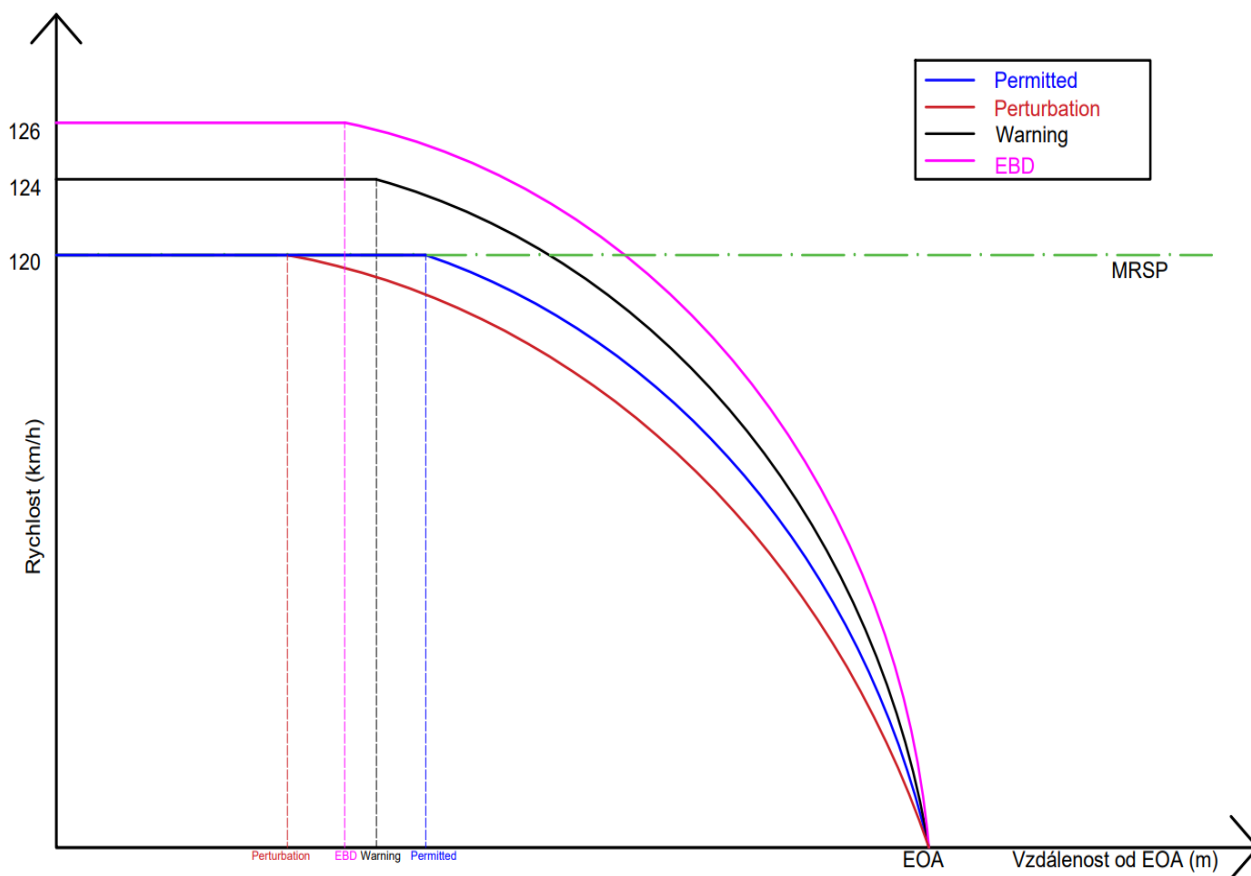
Nejvíce omezující rychlostní profil (MRSP) je popisem nejvíce omezujících rychlostní omezení, kterými se vlak musí řídit na dané trati. Tato omezení mohou být daná maximální dovolenou rychlostí na trati, maximální konstrukční rychlostí vlaku, ale i módem ETCS, ve kterém se vlak pohybuje.

[6]

Těchto brzdných křivek si OBU počítá několik. Mezi hlavní patří křivka „EBD“ (Emergency braking distance), která uvažuje brzdění pomocí nouzové brzdy. Další křivky jsou vztaženy od křivky EBD, Křivka SBD uvažuje brzdění pomocí provozní brzdy. Křivka „Warning“ varuje strojvedoucího před intervencí brzdy. Tyto křivky uvažují i s určitou tolerancí rychlosti nad stanovená limit daný MRSP. Následně křivka „Permitted“ znázorňuje průběh snižování rychlosti

při brzdění provozní brzdou u maximální dovolené rychlosti dle MRSP. Poslední, pro navrhované řešení přejezdů nejdůležitější, je křivka „Indication“, která se počítá s určitým vzdálenostním předstihem tak, aby mohl strojvedoucí včas zareagovat před tím, než musí začít brzdit dle křivky „Permitted“.

Ilustrativně jsou jednotlivé křivky pro rychlost 120 km/h a osobní vlak znázorněny na obrázku níže:

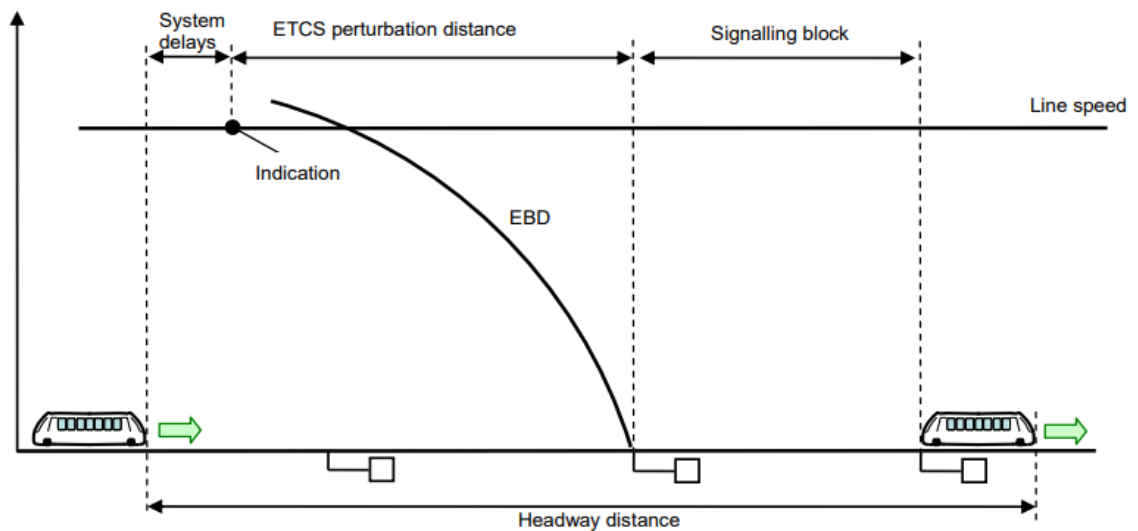


Obrázek 10 - Znázornění brzdných křivek – zdroj vlastní

Z obrázku výše lze vidět, že brzdné křivky, které si počítá OBU, předpokládají s různými situacemi. Modrá křivka znázorňující maximální dovolenou rychlost kopíruje přímkou zelenou, která znázorňuje MRSP až do doby, než se vlak svým čelem dostane do bodu před EOA, kde musí začít brzdit. Červená křivka znázorňuje situaci, kdy se vlak dostane svým čelem do bodu tzv. „Perturbation location“, který začíná indikovat strojvedoucímu, že má začít brzdit provozní brzdou. Černá křivka „Warning“ počítá s tím, že se může stát, že se vlak bude pohybovat rychlostí větší, než je rychlost dle MRSP. Po dosažení této rychlosti začne OBU upozorňovat strojvedoucího na to, že překračuje povolenou rychlost. Růžová křivka EBD znázorňuje situaci,

kdy vlak překročí maximální povolenou rychlost dle MRSP o tolik, že OBU vyhodnotí, že je nutno začít nouzově brzdit.

Díky tomu, že si OBU samo počítá brzdné křivky na základě MRSP a informací o dané soupravě vlaku, můžeme uvažovat, že každý vlak zná svou aktuální perturbation location/distance. Perturbation distance je vzdálenost před rychlostním omezením, k místu, kde je strojvedoucí informován o nutnosti začít snižovat rychlost - bod perturbation location (dle obrázku níže bod „Indication“ – dle staršího vydání Subsetu). Detail je znázorněn na obrázku níže:



Obrázek 11 - Popis oblastí vzhledem k brzdným křivkám - zdroj [9]

Brzdné křivky si vlak počítá vždy k aktuálnímu EOA/LOA, přičemž pokud dojde k prodloužení MA, OBU vypočítá brzdné křivky nové, k novému místu EOA/LOA.

### 3.11.1 Ilustrace zprávy 129

Maximální dovolenou (může být konstrukční) rychlost dané soupravy vlak posílá RBC ve vlakových datech (zpráva 129 – odesílá se při „Start of mission“) v proměnné V\_MAXTRAIN. Ilustrativně lze hodnotu vidět na obrázku níže:

Variable	Value
▼ NID_MESSAGE	Message 129 (11,0) (L2/SB) (BG:Unknown)
L_MESSAGE	40
T_TRAIN	866
NID_ENGINE	1048576 (0x100000)
▼ NID_PACKET	Packet 11
L_PACKET	130
NID_OPERATIONAL	305420031 (0x123456)
NC_TRAIN	0
L_TRAIN	100
V_MAXTRAIN	20
M_LOADINGGAUGE	1
M_AXLELOAD	45
M_AIRTIGHT	0
N_ITER	1
M_TRACTION	0
N_ITER	1
NID_STM	33

Obrázek 12 - Ilustrace obsahu zprávy 129 a proměnné V\_MAXTRAIN – zdroj [11]

Hodnota V\_MAXTRAIN se uvádí zaokrouhleně po 5 km/h (každých 5 km/h se zvýší hodnota rychlosti)

### 3.11.2 Počítání perturbation location

V současné implementaci systému ETCS (podle baseline 3) si OBU počítá brzdné křivky vždy na základě nejvyšší dovolené rychlosti, kterou se vlak může pohybovat dle MRSP. Pro vlaky, které se pohybují nižší rychlostí, než je stanová podle MRSP, to v praxi znamená, že i perturbation location je lokalizováno ve větší vzdálenosti, než by bylo pro takovýto vlak nutné. Současně to umožňuje rozjíždějícímu se vlaku zvyšovat svou rychlost až na maximální dovolenou, která je omezena MRSP bez ohledu na to, jakou má rychlost aktuální.

## 3.12 Zpoždění komunikace mezi RBC a OBU

V rámci praxe ve firmě AŽD bylo autorem zjištěno, že doba zpoždění přenosu informace se pohybuje v řádech desetin sekund. Velikosti zpráv, které si běžně RBC a OBU vyměňují se

pohybuje v řádech jednotek desítek bytů. Dle Ing. Martina Borečka, který pracuje ve firmě AŽD jako vývojář ETCS v oblasti radiové komunikace, se maximální doba zpoždění přenosu zprávy o délce 30 bytů pohybuje do 0.5 s. Můžeme tedy předpokládat, že doba přenosu zprávy nebude mít pro zjednodušení v rámci této práce téměř žádný vliv.

Je ale potřeba vzít v potaz, že systémové reakce na samotnou zprávu (než daný technický prvek zareaguje na přijatou zprávu) může v reálném provozu trvat až jednotky sekund.

## 4 Optimalizace přibližovací doby

V současné době, jak je již zmíněno v kapitole 2.4., se přejezdy 3. kategorie chovají jako autonomní zařízení, které nejsou nijak závislé na lidském řízení provozu. Do vzdálenosti, která je dle ČSN 34 2650 definována jako přibližovací úsek se na trať umísťují spínací prvky, díky kterým je po průjezdu vlaku touto oblastí spuštěna výstraha na přejezdu. Délka přibližovacího úseku se spočítá na základě přibližovací doby, která je stanovena mimo jiné maximální povolenou rychlostí na dané trati. Vzhledem k tomu, že jsou tyto spínací prvky umístěny ve vzdálenosti přibližovacího úseku, který je konstantní a definován dle přibližovací doby, často se stává, že pomaleji jedoucí vlaky (které mají svou maximální rychlost omezenou na nižší, než je maximální traťová) mají skutečnou přibližovací dobu delší, než je přibližovací doba stanovená pro přejezd podle ČSN 34 2650. To má za následek delší dobu uzavření přejezdu, než je nezbytně nutné.

Pokud bychom chtěli využít zabezpečovací systém ETCS pro zkrácení doby uzavření přejezdu, museli bychom předpokládat, že nové technologie na přejezdech umožní oboustrannou komunikaci s RBC. Díky tomu by RBC bylo schopno odložit dobu spuštění výstrahy na přejezdu v případě, že by to bylo žádoucí a bezpečné. Tímto řešením by se pak mohl eliminovat problém, který nastává na přejezdech v ČR, kde projíždí pomalejší vlak a doba výstrahy na přejezdu je zbytečně dlouhá (viz 2.7). V současnosti jsou ale přejezdy schopny jen omezeně komunikovat s infrastrukturou národního zabezpečovacího zařízení.

Při návrhu řešení jsou uvažovány tři směry:

1. Výstraha na přejezdu je spuštěna na základě příjmu MA Request, které OBU vyšle před dosažením perturbation location. Je zkontrolován pohotovostní stav přejezdu (jeho schopnost poskytovat výstrahu) a následně prodlouženo oprávnění k jízdě. Spuštění výstrahy je optimalizováno tak, aby k uzavření přejezdu došlo v nejkratším možném čase před příjezdem vlaku k přejezdu.
2. Výstraha na přejezdu je spuštěna na základě příjmu MA Request, které je odesláno s dostatečným časovým předstihem (odpovídající vyklizovací době), aby přejezd byl vyklizen a zkontrolován dříve, než vlak dosáhne perturbation location. Teprve po kontrole volnosti přejezdu je prodlouženo oprávnění k jízdě přes přejezd.



3. Výstraha na přejezdu je spuštěna na základě znalosti polohy a rychlosti vlaku ze strany RBC. Spuštění výstrahy je optimalizováno tak, aby k uzavření přejezdu došlo v nejkratším možném čase před příjezdem vlaku k přejezdu.

Jednotlivé varianty jsou podrobněji popsány v následujících podkapitolách. Všechny varianty návrhu uvažují s přejezdem na širé trati. Případy, kdy jsou přejezdy v blízkosti místa pravidelného zastavování vlaků (např. stanice či zastávky), nejsou v tomto návrhu obsaženy a budou předmětem dalšího šetření.

#### **4.1 Odložení výstrahy přejezdu bez zajištění volnosti přejezdu**

V případě, že budou přejezdy vybaveny technickými prvky, které umožní komunikaci s RBC, je možné navrhnout způsob, kterým lze optimalizovat doby uzavření přejezdu s pomocí ETCS.

Jak je již známo, vlaky pohybující se pod dohledem systému ETCS provádějí výpočty, díky kterým si dokážou spočítat brzdné vzdálenosti k EOA/LOA. Tyto vzdálenosti mohou být přínosné pro to, aby RBC vědělo, kdy má spustit výstrahu na přejezdu. Následně je vhodné propočítat, jak by se změnila doba uzavření přejezdu za předpokladu, že se po trati budou pohybovat právě vlaky vybavené systémem ETCS.

Předpoklad je ale takový, že v současnosti se na tratích pohybují hlavně vlaky, které ETCS vybaveny nejsou. I po přechodném období je nutné uvažovat se stavy výluky ETCS. Pro tyto případy je tedy nezbytné, aby logika spouštění výstrahy a uzavírání přejezdů zůstala stejná, jako je doposud, pouze s tím rozdílem, že v případě blížícího se vlaku, který je pod dohledem systému ETCS se odloží výstraha přejezdu podle pokynů RBC.

Navrhované řešení uvažuje s tím, že bude železniční přejezd pro systém ETCS definován jako EOA/LOA, stejně jako je v současnosti jakékoliv návěstidlo na trati v případě, že na něm svítí návěst omezující rychlost nebo Stůj. RBC udělí vlaku MA, které bude mít EOA (formou virtuálního bodu) v místě přejezdu a RBC nebude toto MA prodlužovat až do doby, než obdrží od vlaku MA Request a nezruší na základě tohoto požadavku odkládání spuštění výstrahy.

Dále je třeba zmínit, že nezbytnou podmínkou pro účely odkládání výstrah pomocí RBC tímto způsobem je, že vlak zná svou perturbation location (viz kapitola 3.11.2). Tento bod je počítán pro maximální rychlost dle MRSP.

OBU tento MA Request odešle s časovým předstihem před dosažením perturbation location, a to o takovou dobu, která bude uložena v proměnné T\_MAR. Délka této doby bude předem spočtena v RBC a odeslána na OBU v rámci paketu 57 tak, aby se zajistilo, že RBC stihne

přijmout MA Request, provést další úkony potřebné k vyhodnocení stavu přejezdu a vydat vlaku nové MA přes přejezd. Předtím, než se vlak dostane svým čelem do oblasti perturbation location, musí mít OBU již přijatý nový MA. Doba, o kterou OBU vyšle MA Request před dosažením perturbation location, je stanovena hodnotou T\_MAR. MA Request, který vlak posílá, musí mít určité parametry, aby RBC poznalo, že tento MA Request souvisí s koncem odkládání výstrahy na přejezdu:

**Za prvé:** vlak musí společně se zprávou 132 (MA Request) poslat paket 0 (position report), ve kterém bude uvedena aktuální rychlost vlaku. RBC pak na základě toho, zda se vlak pohybuje maximální rychlostí dle MRSP vyhodnotí, zda může vlaku odeslat MA. Pokud by se totiž vlak pohyboval rychlostí větší, než je MRSP (což předpokládá ETCS se svými Warning a EBD křivky) a zároveň menší, než je rychlost při které se spouští nouzová brzda (**MRSP < aktuální rychlost vlaku v MA Requestu < max. rychlost dle EBD**), mohl by se vlak svým čelem dostat na přejezd dříve, než bude povoleno dle ČSN 34 2650. Důvodem je fakt, že perturbation location si OBU určuje na základě rychlosti MRSP. RBC v tomto případě upraví MRSP tak, aby zajistil, že se vlak svým čelem nepřiblíží k přejezdu dříve, než vyprší všechny bezpečnostní doby. Pro účely této práce se bude uvažovat s tím, že strojvedoucí dodržuje rychlost dle MRSP a vlak se pohybuje rovnou nebo menší rychlostí.

**Za druhé:** OBU tento MA Request musí poslat s proměnnou „Q\_MARQSTREASON“ (viz 3.8), ve které bude vyplněno, že čas před dosažením perturbation location pro EOA/LOA byl dosažen. RBC díky tomu pozná, že se má spustit výstraha na přejezdu.

**Za třetí:** Po tom, co RBC přijme od OBU MA Request, RBC okamžitě spustí výstrahu na přejezdu (nebo ukončí odkládání spuštění výstrahy), ale čeká s odesláním nového prodlouženého MA přes přejezd až do doby, než vyprší stanovená doba T\_MAR. Tím je zajištěno, že ani v případě prodlevy v přenosu MA Request do RBC nenastane situace, že se spustí výstraha příliš pozdě a vlak se svým čelem do oblasti přejezdu dostane dříve, než vyprší přibližovací doba dle ČSN 34 2650.

**Další podmínkou musí nově být,** že OBU bude odesílat do RBC proměnnou, ve které bude uložena hodnota indikující vzdálenost perturbation location. Tímto bude RBC schopno správně vypočítat hodnotu T\_MAR. Tento výpočet bude podrobněji popsán níže. Důvodem, proč RBC musí tuto hodnotu znát je případ, kdyby měl vlak svou perturbation location tak blízko přejezdu, že by se dostal svým čelem do oblasti přejezdu ještě před tím, než by uplynula přibližovací doba dle ČSN 34 2650. Proto musí RBC vždy pro každý vlak zvlášť (podle jeho parametrů a platného

MRSP) důkladně propočítat, jaký musí být minimální předstih odeslání MA Requestu, aby tato situace nenastala. Tato podmínka uvažuje s tím, že se ve specifikaci zavede nová proměnná, která se bude odesílat z OBU do RBC (16 bitové číslo).

Aby byla doba výstrahy na přejezdu co nejkratší hodnota „T\_MAR“ by měla být co nejmenší. Zároveň je třeba tuto dobu nastavit alespoň tak, aby RBC stihlo přijmout MA Request, vyhodnotit ho, zkontrolovat stav přejezdu a odeslat na vlak nové, prodloužené MA. Tento sled událostí může trvat až 2 sekundy, proto je žádoucí přičíst k hodnotě T\_MAR hodnotu 2. Problematika zpoždění přenosu zpráv je blíže popsána v kapitole 3.12 a pro účely této práce bude zpoždění uvažováno nulové.

### **Podrobně bude situace vypadat takto:**

Vlak se pohybuje na trati a blíží se k přejezdu. RBC posílá na OBU nové MA na vzdálenost, která odpovídá vzdálenosti od čela vlaku k danému přejezdu. Společně s tímto MA začíná RBC periodicky odesílat paket 57 (parametry odesílání MA Request), ve kterém je vyplněna hodnota T\_MAR (doba, která zajistí, že vlak odešle MA Request s nějakým předstihem před dosažením perturbation location). OBU si v tu chvíli začne počítat nové brzdné křivky, které mají konec před novým EOA, kterým je v tuto chvíli daný přejezd. Těmito výpočty si OBU následně určí nový perturbation location, který musí okamžitě odeslat do RBC. RBC zkontroluje, zda T\_MAR odeslaný v prvním MA v paketu 57 je dostatečný a pokud ne, nastaví ho na správnou hodnotu (výpočet velikosti této hodnoty bude podrobněji popsán níže) a bezodkladně odesílá MA nové se správnou hodnotou T\_MAR. Bezodkladně se v tomto případě rozumí to, že nebude s novým MA vyčkávat až do doby, která je nastavena jako výchozí pro periodické odesílání MA. Jakmile se vlak dostane do oblasti, která je ohraničena hodnotou T\_MAR a místem perturbation location, odesílá MA Request. Tento MA Request má vyplněnou proměnnou „Q\_MARQSTREASON“ s hodnotou takovou, která indikuje „Čas před dosažením perturbation location pro EOA/LOA byl dosažen“. V tu chvíli RBC kontroluje stav přejezdu. Pokud je přejezd dle infrastruktury ve funkčním stavu, RBC spustí výstrahu a čeká na vypršení doby T\_MAR, a následně odešle na vlak nové MA, které končí až v úseku za přejezdem.

#### **4.1.1 Teoretický vlak**

Pro to, aby se dalo spočítat, jak dlouhá bude doba uzavření přejezdu, je nutné předem definovat, pro jaký vlak se budou dané hodnoty počítat. Je totiž rozdíl, zda se k přejezdu blíží vlak nákladní či osobní, protože tyto vlaky mají různé brzdící vlastnosti a rozdílné parametry těchto vlaků mohou způsobit vysoce odlišné brzdné vzdálenosti.

**Vlak č. 1:** Sp 1904 dle GVD 2018/19, který má hodnoty:

<b>Pozice Brzdy</b>	P
<b>Délka vlaku (m)</b>	80
<b>Brzdící procenta pro nouzovou brzdu [%]</b>	146
<b>Brzdící procenta pro servisní brzdu [%]</b>	135
<b>Korekční faktor Kv_int</b>	1.22
<b>Korekční faktor Kr_int</b>	1.22
<b>Brzdná dráha pro tento vlak (<math>v = 160 \text{ km/h}</math>)<sup>2</sup></b>	1144 m

*Tabulka 2 - parametry teoretického vlaku č. 1*

Tento vlak byl převzat z vědeckotechnického sborníku ČD [17], ve kterém je blíže popsáno, z jakého důvodu se nastavují korekční faktory Kv\_int a Kr\_int právě na hodnotu 1.22. Tyto korekční faktory budou použity i pro vlak č. 2.

---

<sup>2</sup> Tato brzdná dráha je spočítána pro vlak s těmito parametry jedoucí rychlostí 160 km/h dle nástroje „Braking curves simulation tool v42“, který je volně dostupný na webu,

**Vlak č. 2:** Nákladní vlak, který má hodnoty:

<b>Pozice Brzdy</b>	G
<b>Délka vlaku [m]</b>	450
<b>Brzdící procenta pro nouzovou brzdu [%]</b>	75
<b>Brzdící procenta pro servisní brzdu [%]</b>	75
<b>Korekční faktor Kv_int</b>	1.22
<b>Korekční faktor Kr_int</b>	1.22
<b>Brzdná dráha pro tento vlak (z v = 120 km/h)<sup>3</sup></b>	1733 m

*Tabulka 3 - parametry teoretického vlaku č. 2*

#### 4.1.2 Teoretický přejezd

Pro to, aby se daly teoreticky spočítat doby uzavření přejezdu je nutné si předem definovat, jaké bude/budou mít parametry přejezd/přejezdy, pro které se dané výpočty budou aplikovat:

**Přejezd 1:** Dvukolejná trať, přejezd křižující komunikaci přesně v pravém úhlu (90°):

<b>Šíře oblasti přejezdu</b>	12 m
<b>Maximální traťová rychlost v oblasti přejezdu</b>	160 km/h
<b>Vyklizovací doba</b>	25 s
<b>Přibližovací doba</b>	45 s

*Tabulka 4 - parametry teoretického přejezdu č. 1*

**Přejezd 2:** Dvukolejná trať, přejezd křižující komunikaci v úhlu 60°:

<b>Šíře oblasti přejezdu</b>	18 m
<b>Maximální traťová rychlost v oblasti přejezdu</b>	160 km/h
<b>Vyklizovací doba</b>	29 s
<b>Přibližovací doba</b>	49 s

*Tabulka 5 - parametry teoretického přejezdu č. 2*

<sup>3</sup> Brzdná dráha je spočítána pro vlak s těmito parametry jedoucí rychlostí 120 km/h dle nástroje „Braking curves simulation tool v42“, který je volně dostupný na webu. Pro nákladní vlak byla zvolena nižší rychlost než pro předchozí osobní vlak proto, že autor nepředpokládá, že by se nákladní vlak měl pohybovat rychlostí 160 km/h.

**Poznámka:** Tyto hodnoty jsou pouze teoretické, nejedná se o konkrétní přejezdy na tratích ČR. Maximální traťové rychlosti indikují, že se tyto přejezdy spíše mohou vyskytovat na širé trati či v bezvýhybkové oblasti nebo v oblasti přímé trati bez oblouků. Svými parametry se však blíží realitě.

#### 4.1.3 Příklad výpočtu minimálních dob pro T\_MAR

Pro ilustrativní výpočet jednotlivých brzdných křivek a vzdáleností bude použit veřejně dostupný nástroj od organizace UNISIG ERA, tzv. „Braking curves simulation tool“, ze kterého pomocí kódu v programovacím jazyce Python a knihovny „Jupyter Pandas“ budou následně vykreslovány a vypočítávány jednotlivé parametry nutné pro účely této práce.

Nejprve je nutné spočítat vyklizovací a následně přibližovací dobu a přibližovací úsek, který se vypočítá dle logiky:

```
sirka_prejezdu = 12 #12 nebo 18 dle teoretického přejezdu
max_trat_rychlost = (160/3.6)
min_rychlost_vozidlo = (5)/(3.6)
vyklizovaci_doba = (22 + sirka_prejezdu) / (min_rychlost_vozidlo)
tr = 1 #doba reakce zařízení
tu = 10 #doba sklápění závory
tb1 = 6 #bezp. doba
tb2 = 3 #bezp. doba
priblizovaci_doba = vyklizovaci_doba + tr + tu + tb1 + tb2
```

Dále je nutné vypočítat přibližovací úsek (dle současného řešení), abychom mohli spočítat skutečnou přibližovací dobu vlaku pohybující se libovolnou rychlostí:

```
priblizovaci_usek = max_trat_rychlost * priblizovaci_doba
```

Následně nastavit hodnotu T\_MAR na nejmenší možnou (dle popisu výše) a níže uvedeným algoritmem ověřit, že tato hodnota je nastavena tak, aby se MA Request stihl odeslat s takovým bezpečnostním předstihem, aby se vlak svým čelem nedostal do oblasti přejezdu před tím, než vyprší přibližovací doba dle ČSN 34 2650:

```
#vypocti si jednotlivé doby
T_MAR = 2
D_MAR = T_MAR * rychlost_vlaku
D_MAR = D_MAR + Point #Point = perturbation Location
D_MAR = round(D_MAR)
Priblizovaci_doba_ETCS = D_MAR/rychlost_vlaku
Priblizovaci_doba_ETCS = round(Priblizovaci_doba_ETCS)
Priblizovaci_doba_aktualne = priblizovaci_usek/rychlost_vlaku
```

```
Priblizovaci_doba_aktualne = round(Priblizovaci_doba_aktualne)
```

```
#Over, zda pro pomaly vlak je doba dostatecna - vypocti minimalni T_MAR
```

```
while vyklizovaci_doba > Priblizovaci_doba_ETCS:
```

```
    T_MAR = T_MAR + 1
```

```
    D_MAR = T_MAR * rychlost_vlaku
```

```
    D_MAR = D_MAR + Point
```

```
    D_MAR = round(D_MAR)
```

```
    Priblizovaci_doba_ETCS = D_MAR/rychlost_vlaku
```

```
    Priblizovaci_doba_ETCS = round(Priblizovaci_doba_ETCS)
```

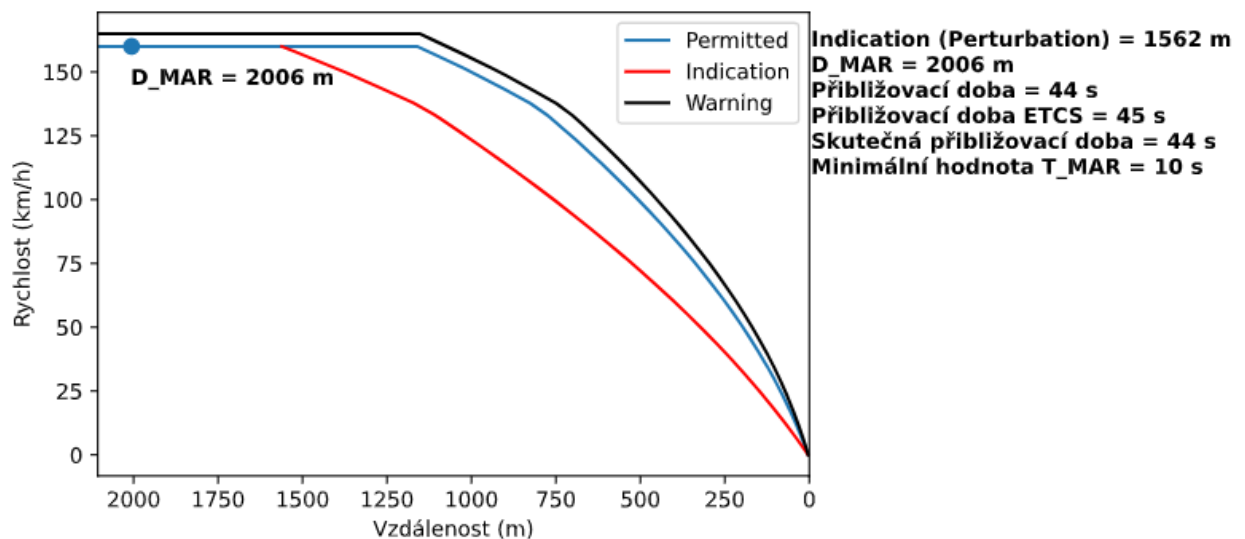
```
    Priblizovaci_doba_aktualne = priblizovaci_usek/rychlost_vlaku
```

```
    Priblizovaci_doba_aktualne = round(Priblizovaci_doba_aktualne)
```

Proměnná „rychlost\_vlaku“ je převzata z výchozí rychlosti, která je zadávána v nástroji od organizace UNISIG ERA. Proměnná „Point“ se rovná vzdálenosti Perturbation location.

**Proměnná D\_MAR bude vždy indikovat vzdálenost od místa EOA, ve které se nachází vlak když odesílá MA Request.**

**Příklad výpočtu v RBC pro rychlost vlaku 160 km/h, přejezd č. 1 a vlak č. 1:**



Obrázek 13 - Ilustrace výpočtu brzdných křivek pro rychlost 160 km/h – zdroj vlastní

Dle grafu výše je zřejmé, že pro spěšný vlak č. 1 pohybující se rychlostí 160 km/h, odesílá MA Request ve vzdálenosti  $D_{MAR} = 2006$  metrů. Tato vzdálenost odpovídá součtu vzdálenosti Indication a vzdálenosti rovnající se součinu minimální hodnotě  $T_{MAR}$  a rychlosti vlaku (pro tento případ 160 km/h). Minimální hodnota  $T_{MAR}$  je pro tento případ spočtena na 10 sekund.

Červená křivka „indication“ znázorňuje, v jaké oblasti před přejezdem by se spustila zvuková výstraha strojvedoucímu na DMI (upozorňující na nutnost začít snižovat rychlost), ale zároveň vzdálenost počátku této křivky od přejezdu je klíčovým pro tento způsob optimalizace (protože se MA Request odesílá na základě tohoto bodu, dle kapitoly výše).

Přibližovací doba je hodnota vypočtena dle ČSN 34 2650, ve které se v tomto případě (přejezd č. 1) uvažuje se šířkou přejezdu 12 metrů a maximální traťovou rychlostí 160 km/h. Ostatní hodnoty pro výpočet přibližovací doby jsou tabulkové a výpočet je podrobněji popsán na začátku této bakalářské práce v kapitole 2.6.3.

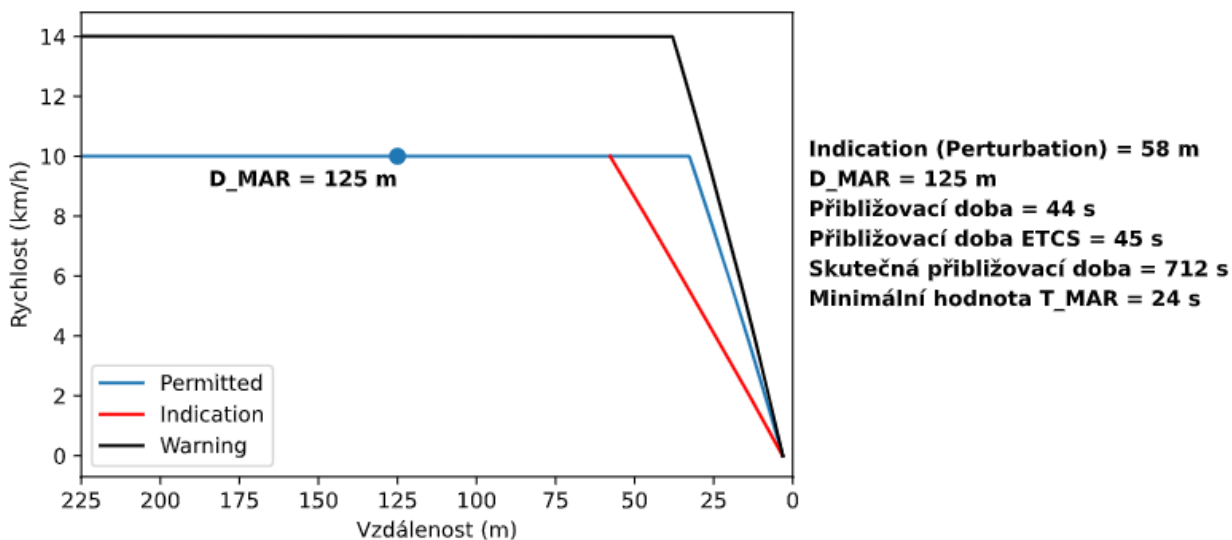
Přibližovací doba ETCS je podíl hodnoty  $D_{MAR}$  a nejvyšší dovolené rychlosti vlaku dle MRSP.

Skutečná přibližovací doba odpovídá době jízdy čela vozidla přibližovacím úsekem dle stávajícího způsobu zabezpečení přejezdů (od spouštěcího prvku výstrahy k začátku přejezdu) rychlostí 160 km/h.

Minimální hodnota  $T_{MAR}$  je pro tento případ nastavena na 10 s, protože pokud by RBC nepřijalo MA Request s tímto desetisekundovým předstihem, mohl by se vlak svým čelem dostat na přejezd dříve, než vyprší přibližovací doba dle ČSN 34 2650. Kdyby se tedy RBC řídilo pouze bodem indikace v místě perturbation location a spustilo výstrahu na přejezdu bez tohoto časového předstihu, dostal by se vlak svým čelem do oblasti přejezdu již za cca 35 sekund (bod indikace je vzdálen 1562 m od přejezdu, vlak se může pohybovat rychlostí 160 km/h).



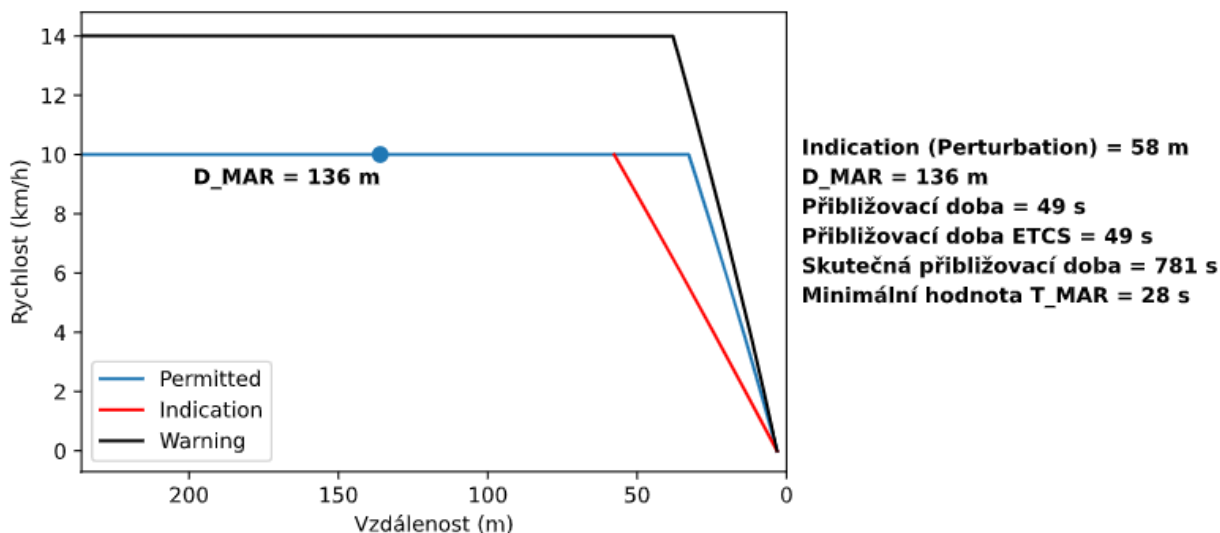
### Příklad znázornění minimální hodnoty T\_MAR pro vlak č. 1 a přejezd č. 1:



Obrázek 14 - Ilustrace výpočtu brzdných křivek pro rychlost 10 km/h a přejezd č. 1 a vlak č. 1 – zdroj vlastní

V praxi může nastat situace, kdy bude mít vlak MRSP nastaveno na velmi nízké hodnoty, jako je tomu v tomto případě dle obrázku výše. Důležitost implementované logiky výpočtu minimální bezpečné doby T\_MAR pro odeslání MA Request je v tomto případě ještě více zřetelná, protože pokud by RBC nespustilo výstrahu na přejezdu s předstihem 24 s, opět by se stalo, že vlak se dostane svým čelem do oblasti přejezdu dříve, než je povoleno dle ČSN 34 2650.

### Příklad výpočtu v RBC pro rychlost vlaku 10 km/h, přejezd č. 2 a vlak č. 1:



Obrázek 15 - Ilustrace výpočtu brzdných křivek pro rychlost 10 km/h a přejezd č. 2 a vlak č. 1 – zdroj vlastní

Dle grafu na obrázku výše je zřejmé, že pro spěšný vlak č. 2 pohybující se rychlostí 10 km/h odpovídá minimální hodnota T\_MAR 28 sekundám.

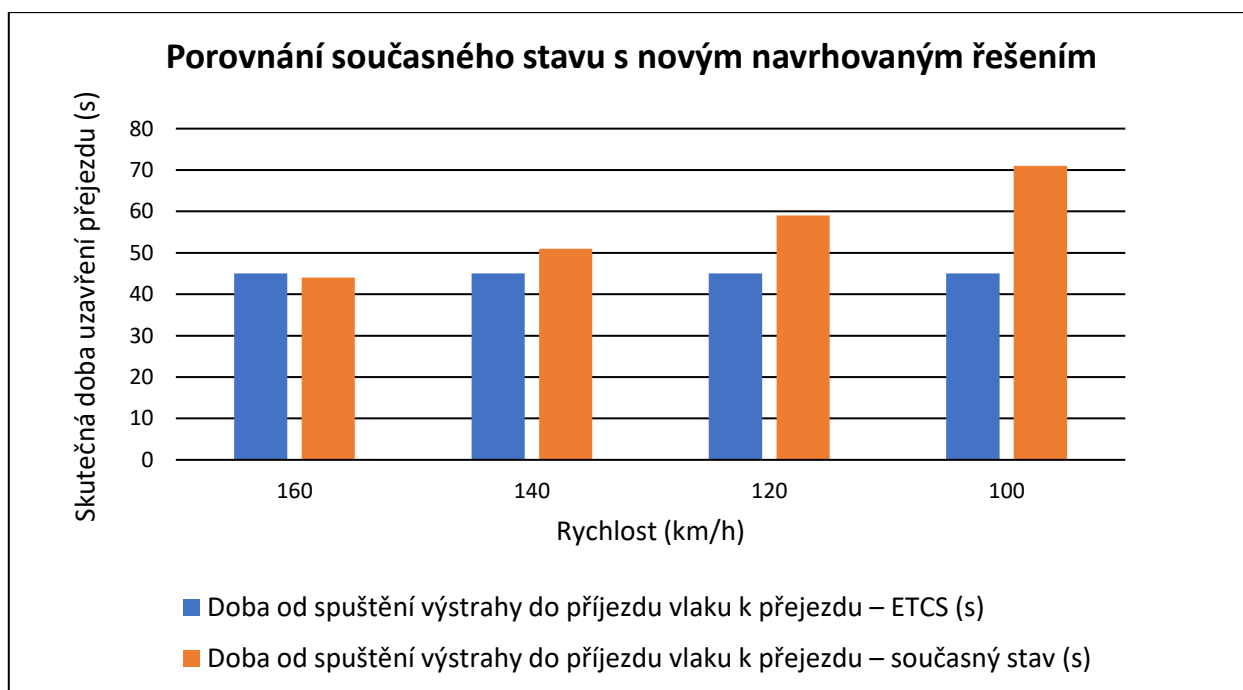
#### 4.1.4 Výpočty optimalizace

Na úvod je třeba zmínit, že výpočty budou prováděny na teoretických přejezdech a pro teoretické vlaky, jejichž parametry jsou blíže popsány v kapitole výše (viz 4.1.1 a 4.1.2). Doby uzavření přejezdu dle současného řešení by se zkrátily v případě, že by traťová rychlost v oblasti přejezdů byla nižší, protože tím by se i zmenšila délka přibližovacího úseku dle ČSN 34 2650, nicméně pro účely těchto výpočtů budeme uvažovat s přejezdy, které se nacházejí na širé moderní trati a lze proto předpokládat, že maximální traťová rychlost v těchto místech je právě 160 km/h. Dále je třeba podotknout, že se bude pracovat s teoretickými vlaky dle kapitoly výše, které budou mít vždy z nějakého (blíže nespécifikovaného) důvodu jinak omezenou svou maximální rychlost. Tímto zjednodušením se dosáhne maximální přehlednosti ve výpočtech.

Pro vlak č. 1 a přejezd č. 1:

Maximální konstrukční rychlost vlaku (km/h) <sup>4</sup>	Vzdálenost perturbation location (m)	T_MAR (s)	Vzdálenost D_MAR <sup>5</sup>	Doba od spuštění výstrahy do příjezdu vlaku k přejezdu – ETCS (s) <sup>6</sup>	Doba od spuštění výstrahy do příjezdu vlaku k přejezdu – současný stav (s) <sup>7</sup>	Vylepšení oproti aktuálnímu stavu (s)
160	1562	10	2006	45	44	- 1
140	1207	14	1751	45	51	6
120	963	16	1496	45	59	14
100	757	18	1257	45	71	26

Tabulka 6 - optimalizace s použitím ETCS pro vlak č. 1 a přejezd č. 1



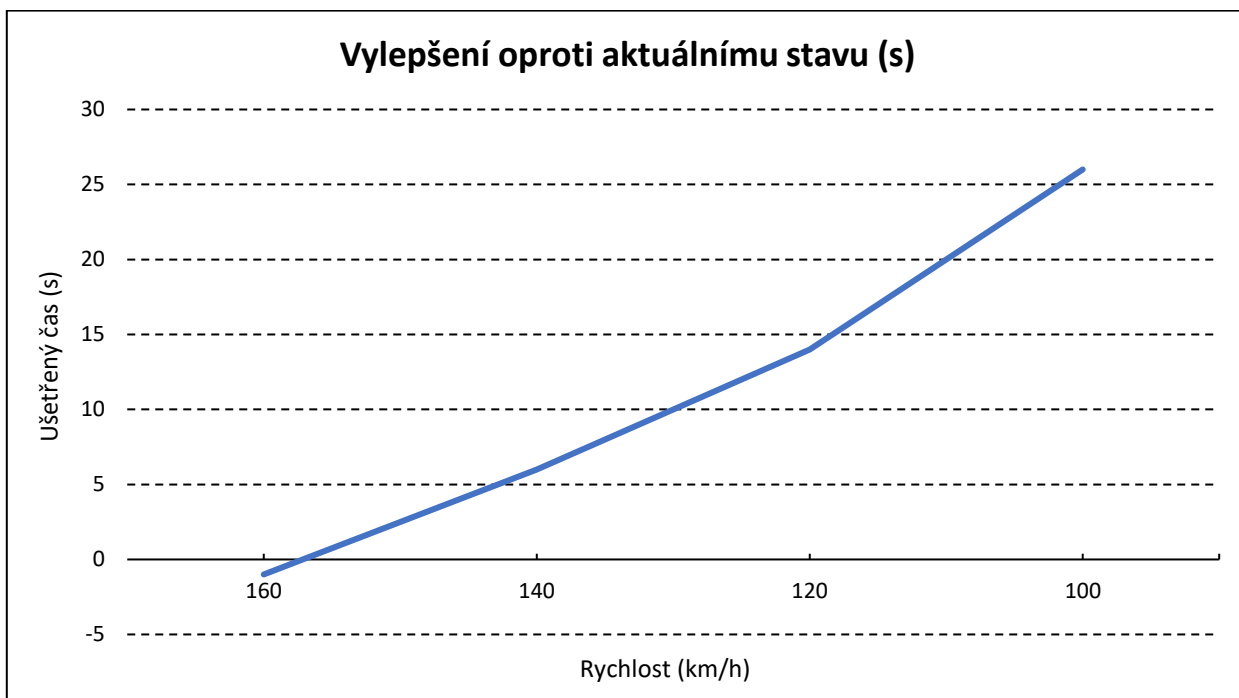
Graf 1 - Porovnání současného řešení s navrhovaným řešením ETCS pro vlak č. 1 a přejezd č. 1

<sup>4</sup> Tato hodnota odpovídá MRSP pro daný vlak. MRSP pro vlaky s rychlostí nižší než 160 km/h jsou omezeny ve vlakových datech, nikoliv tratí.

<sup>5</sup>  $D\_MAR = \text{vzdálenost perturbation location} + (\text{rychlost vlaku} * T\_MAR)$

<sup>6</sup> Tato hodnota odpovídá době, za kterou se vlak svým čelem dostane do oblasti přejezdu po spuštění výstrahy s využitím ETCS.

<sup>7</sup> Tato hodnota odpovídá době, za kterou se vlak svým čelem dostane do oblasti přejezdu po spuštění výstrahy s využitím současného stavu spínacích prvků.



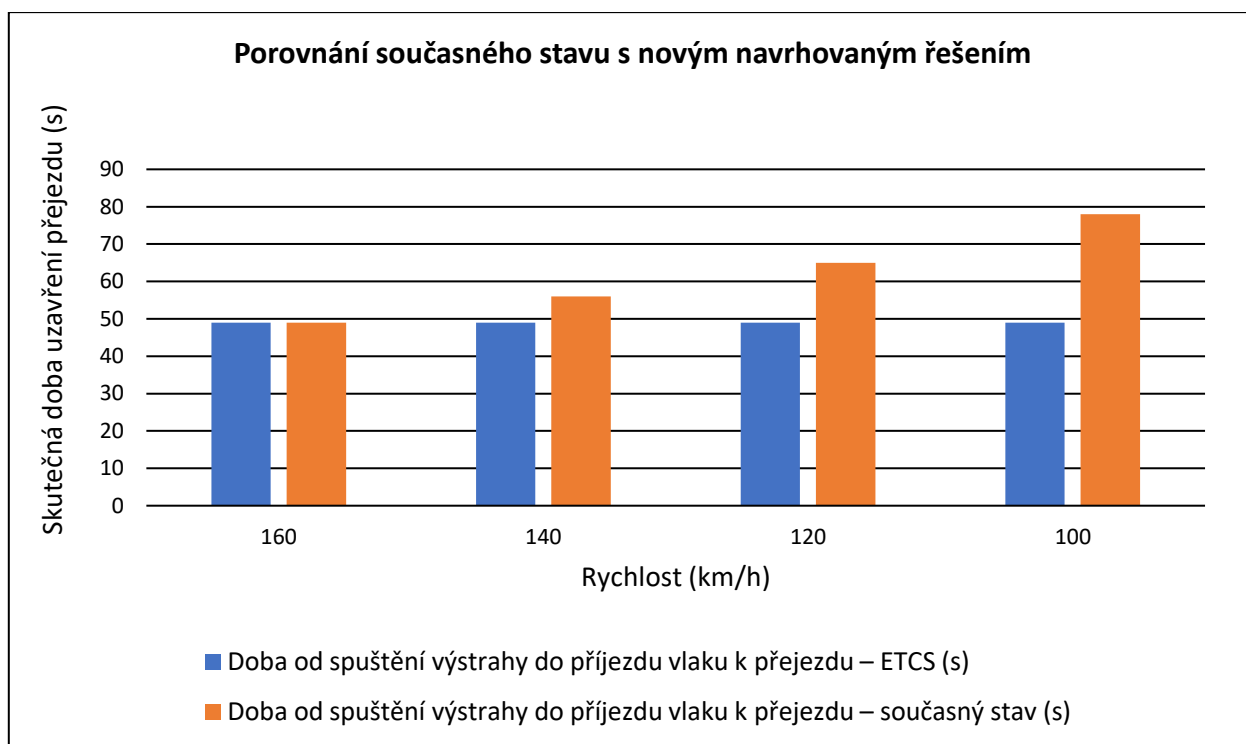
*Graf 2 - Znáornění vylepšení dob pro vlak č. 1 a přejezd č. 1*

Dle výpočtů výše je vidět, že doby uzavření přejezdu se pro teoretický přejezd a vlak č. 1 budou oproti současnému řešení snižovat už v momentě, kdy bude tomuto vlaku omezena rychlost na cca 155 km/h.

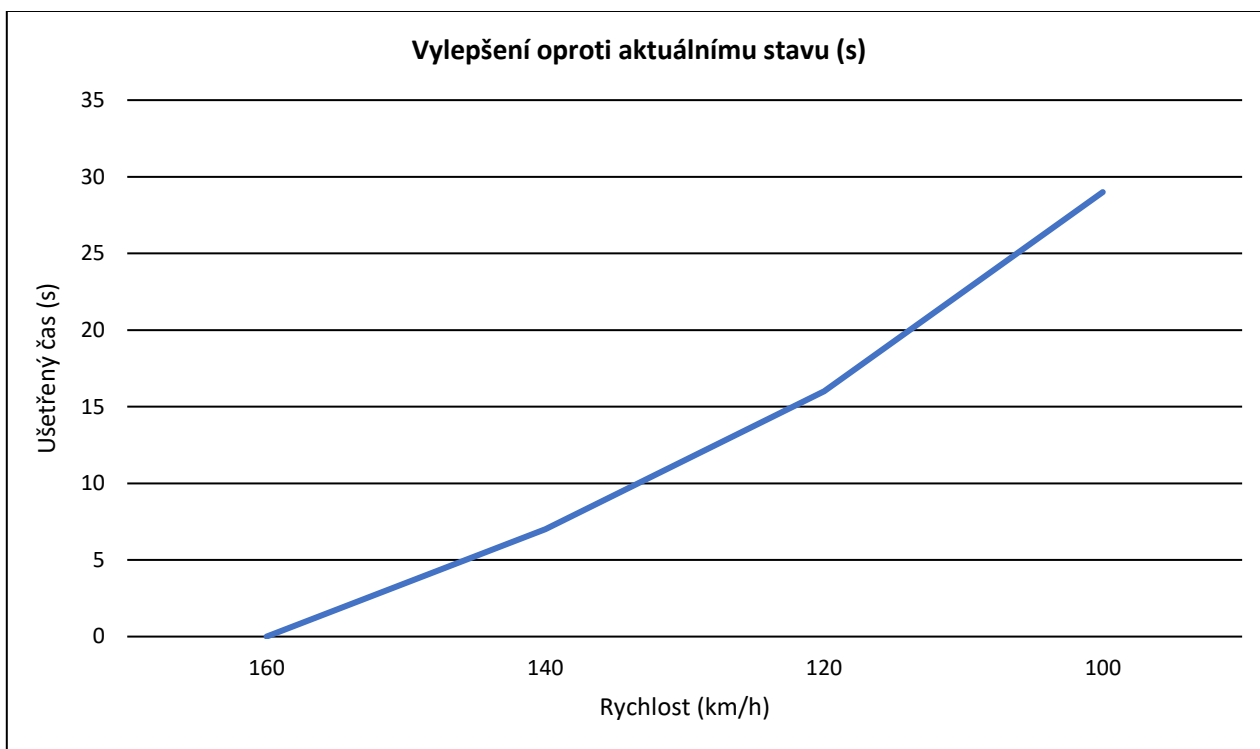
Pro vlak č. 1 a přejezd č. 2:

Maximální konstrukční rychlost vlaku (km/h)	Vzdálenost perturbation location (m)	T_MAR (s)	Vzdálenost D_MAR	Doba od spuštění výstrahy do příjezdu vlaku k přejezdu – ETCS (s)	Doba od spuštění výstrahy do příjezdu vlaku k přejezdu – současný stav (s)	Vylepšení oproti aktuálnímu stavu (s)
160	1562	14	2184	49	49	<b>0</b>
140	1207	18	1907	49	56	<b>7</b>
120	963	21	1630	49	65	<b>16</b>
100	757	22	1368	49	78	<b>29</b>

Tabulka 7 - optimalizace s použitím ETCS pro vlak č. 1 a přejezd č. 2



Graf 3 - Porovnání současného řešení s navrhovaným řešením ETCS pro vlak č. 1 a přejezd č. 2



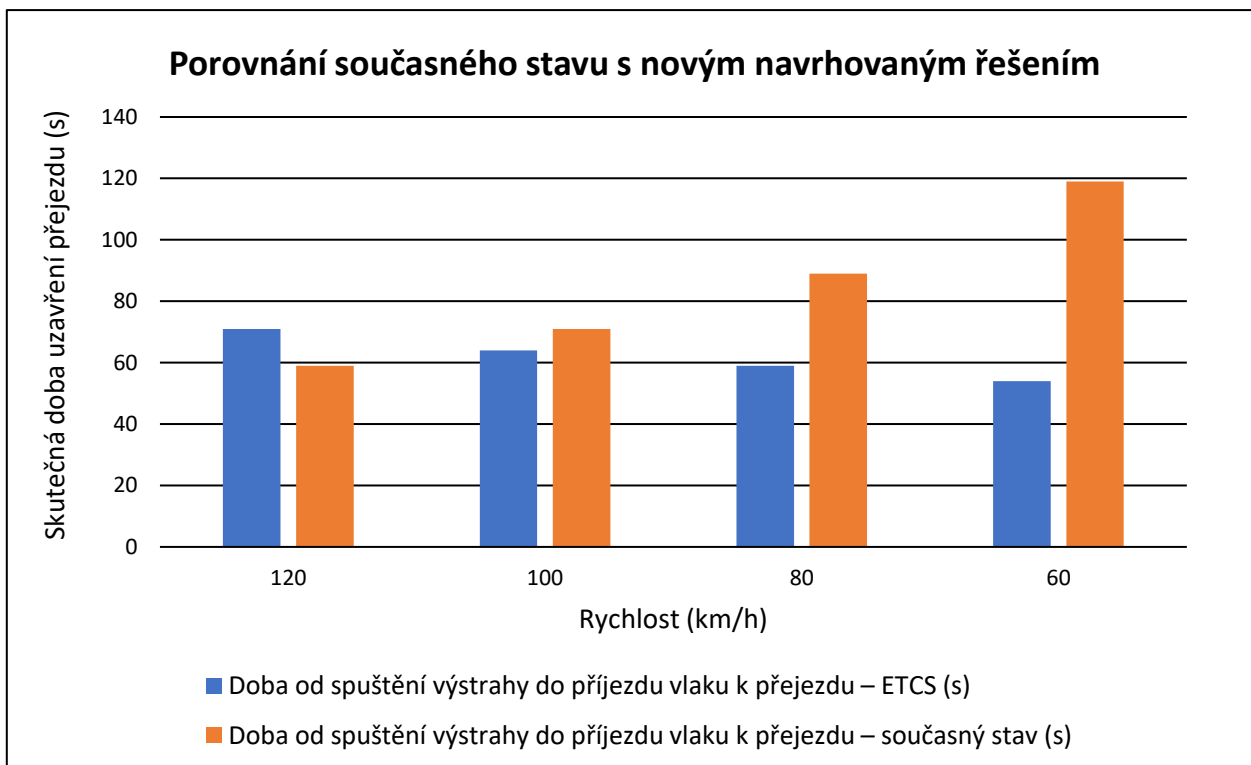
*Graf 4 - Znáornění vylepšení dob pro vlak č. 1 a přejezd č. 2*

Dle výpočtů výše je vidět, že doby uzavření přejezdu pro teoretický přejezd č. 2 a teoretický vlak č. 1 se budou oproti současnému řešení vylepšovat pro vlaky, které budou mít svou MRSP na hodnotě kolem 160 km/h. Na tomto příkladu lze názorně vidět, že velice záleží na parametrech přejezdu, protože přejezd č. 2 je o 6 metrů širší, než přejezd č. 1, tím pádem se i přibližovací doba dle ČSN 34 2650 oproti přejezdu č. 1 prodloužila.

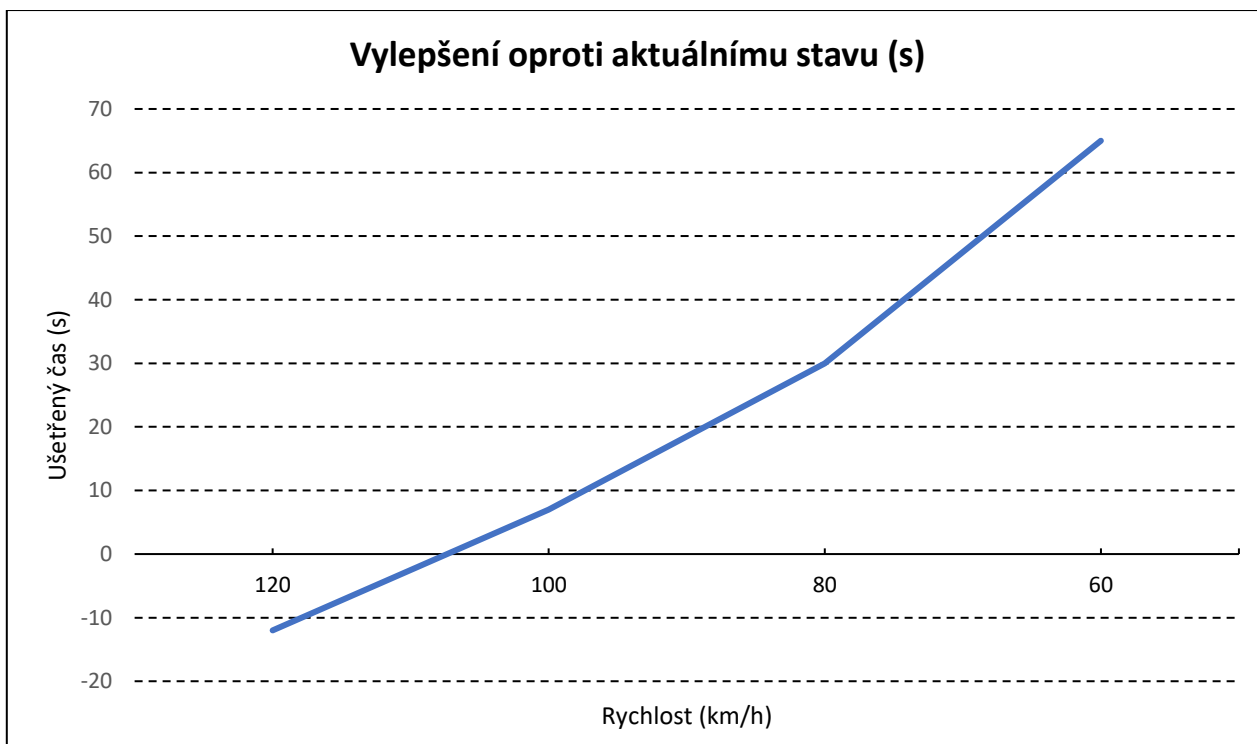
Pro vlak č. 2 a přejezd č. 1:

Maximální konstrukční rychlost vlaku (km/h)	Vzdálenost perturbation location (m)	T_MAR (s)	Vzdálenost D_MAR	Doba od spuštění výstrahy do příjezdu vlaku k přejezdu – ETCS (s)	Doba od spuštění výstrahy do příjezdu vlaku k přejezdu – současný stav (s)	Vylepšení oproti aktuálnímu stavu (s)
120	2294	3	2361	71	59	- 12
100	1734	3	1790	64	71	7
80	1270	2	1314	59	89	30
60	866	2	899	54	119	65

Tabulka 8 - optimalizace s použitím ETCS pro vlak č. 2 a přejezd č. 1



Graf 5 - Porovnání současného řešení s navrhovaným řešením ETCS pro vlak č. 2 a přejezd č. 1



*Graf 6 - Znáornění vylepšení dob pro vlak č. 2 a přejezd č. 1*

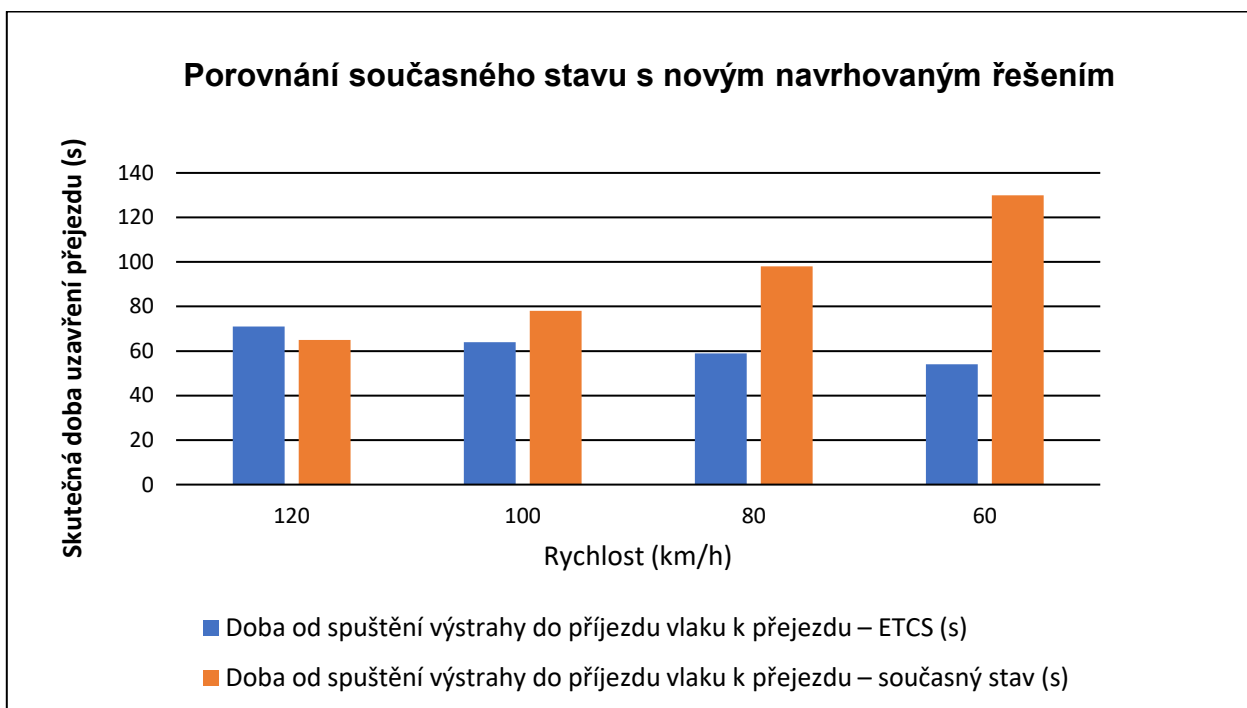
Třetí výpočet se věnoval nákladnímu vlaku pohybujícímu se na teoretickém přejezdu č. 1. Nákladní vlaky mají obecně horší brzdné vlastnosti, tudíž i doby uzavření přejezdu, které se počítají z brzdných křivek ETCS jsou v porovnání se spěšným vlakem č. 1 o něco horší. **Je uvažováno, že nákladní vlak se bude pohybovat maximálně rychlostí 120 km/h – toto platí pro všechny nákladní vlaky i v dalších výpočtech.** Nemá cenu uvažovat rychlosti vyšší, protože v reálu se nákladní rychleji nepohybují.



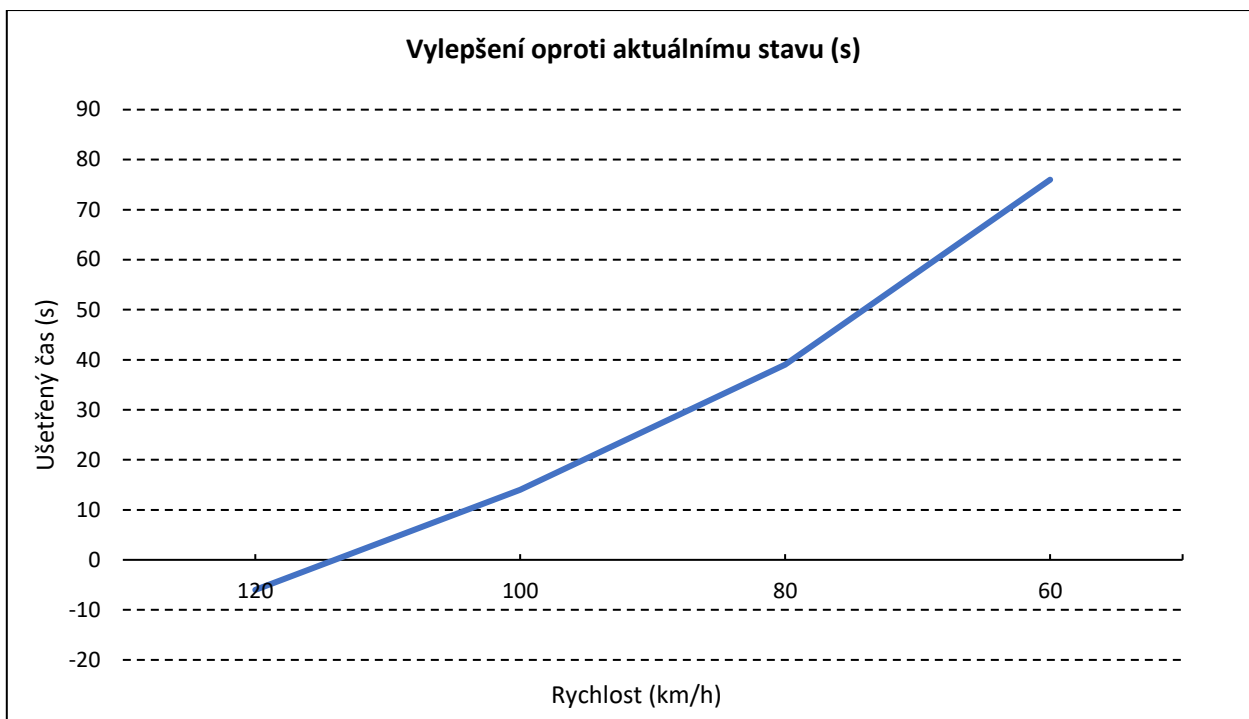
Pro vlak č. 2 a přejezd č. 2:

Maximální konstrukční rychlost vlaku (km/h)	Vzdálenost perturbation location (m)	T_MAR (s)	Vzdálenost D_MAR	Doba od spuštění výstrahy do příjezdu vlaku k přejezdu – ETCS (s)	Doba od spuštění výstrahy do příjezdu vlaku k přejezdu – současný stav (s)	Vylepšení oproti aktuálnímu stavu (s)
120	2294	3	2361	71	65	- 6
100	1734	3	1790	64	78	14
80	1270	2	1314	59	98	39
60	866	2	899	54	130	76

Tabulka 9 - optimalizace s použitím ETCS pro vlak č. 2 a přejezd č. 2



Graf 7 - Porovnání současného řešení s navrhovaným řešením ETCS pro vlak č. 2 a přejezd č. 2



Graf 8 - Znáornění vylepšení dob pro vlak č. 2 a přejezd č. 1

Poslední výpočet uvažoval s širším přejezdem č. 2 a nákladním vlakem č. 2. Opět lze vyvodit, že čím širší přejezd, tím jsou doby uzavření s použitím ETCS kratší.

#### 4.1.5 Vyhodnocení výpočtů

Optimalizace s použitím ETCS se zdá být přínosná, a to hlavně pro vlaky, které mají svou maximální dovolenou rychlost o něco nižší, než je maximální traťová rychlost, což by v praxi mohlo na širých tratích zlepšit plynulost silniční dopravy.

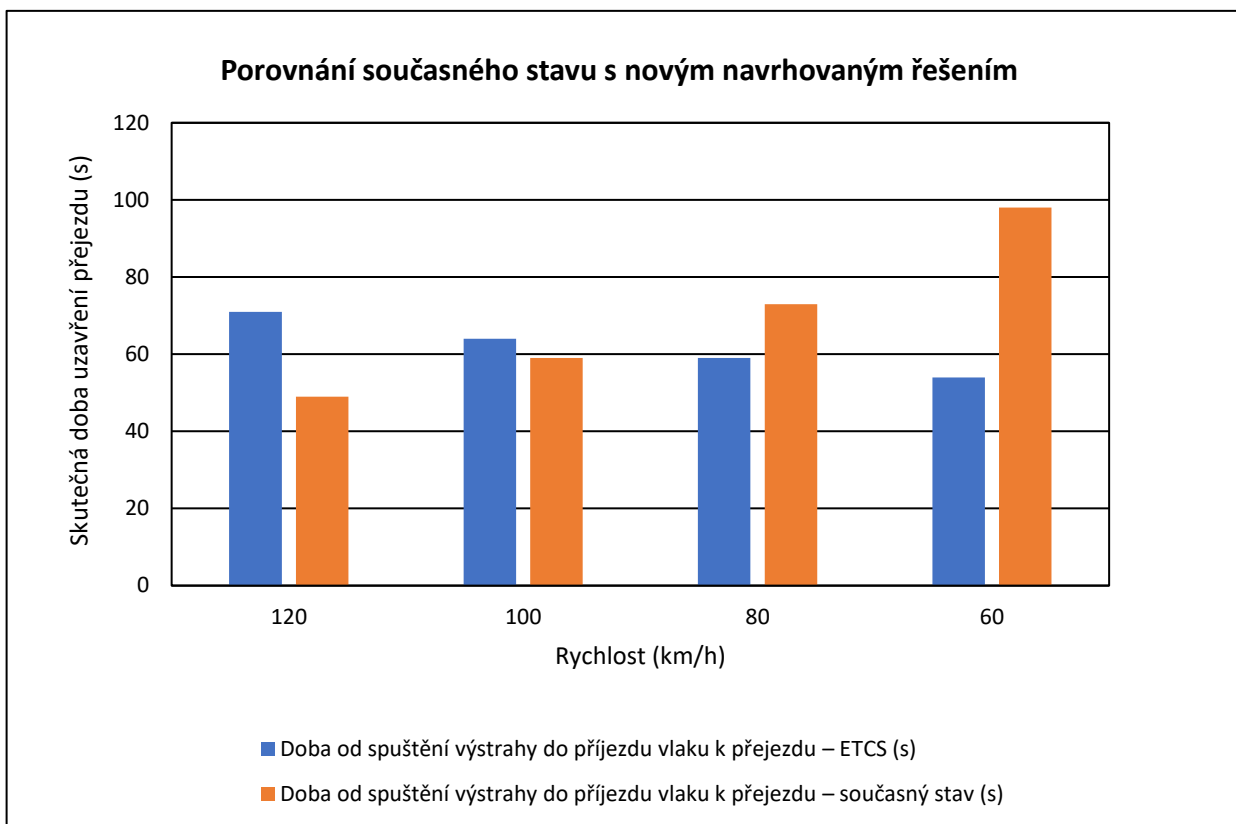
Zároveň je nutno podotknout, že pro vlaky pohybující se v oblasti přejezdu maximální traťovou rychlostí (která je ve všech případech výše nastavena na 160 km/h) se doby uzavření přejezdu výrazně nezhorší (hlavně pro vlaky sloužící pro převoz osob s lepšími brzdnými vlastnostmi), ale pro ty pohybující se pomaleji se výrazně zlepší.

S ohledem na fakt, že se autor stále musel držet technické normy, která jasně definuje různé bezpečnostní doby (jejichž součtem vzniká přibližovací doba) nebylo dosaženo takových výsledků, jaké by si autor přál. Důvod je právě v tom, že častokrát jsou doby uzavření přejezdu pro nižší rychlosti vlaku limitovány právě touto přibližovací dobou.

Velkou roli hrálo hlavně i to, že se počítalo pouze s přejezdy, na kterých je maximální traťová rychlost nastavena na 160 km/h, proto poslední výpočet je věnován nákladnímu vlaku č. 2 pohybujícímu se přes teoretický přejezd č. 2, ale s maximální traťovou rychlostí pouze 120 km/h:

Maximální konstrukční rychlost vlaku (km/h)	Vzdálenost perturbation location (m)	T_MAR (s)	Vzdálenost D_MAR	Doba od spuštění výstrahy do příjezdu vlaku k přejezdu – ETCS (s)	Doba od spuštění výstrahy do příjezdu vlaku k přejezdu – současný stav (s)	Vylepšení oproti aktuálnímu stavu (s)
120	2294	3	2361	71	49	<b>- 22</b>
100	1734	3	1790	64	59	<b>- 5</b>
80	1270	2	1314	59	73	<b>14</b>
60	866	2	899	54	98	<b>44</b>

*Tabulka 10 - optimalizace s použitím ETCS pro vlak č. 2 a přejezd č. 2 s maximální traťovou rychlostí 120 km/h*



*Graf 9 - Porovnání současného řešení s navrhovaným řešením ETCS pro vlak č. 1 a fiktivní přejezd*

Pro takový přejezd se navrhované řešení spíše nevyplácí, protože lze uvažovat, že se nákladní vlaky na takto širé trati budou pohybovat spíše kolem 100 km/h.

Na závěr je třeba zmínit, že v praxi může nastat mnoho situací, kdy se autorem navrhované řešení vyplácet nebude. Některé z nich budou blíže popsány v kapitole níže (viz 4.4).

#### **4.1.6 Vyhodnocení v reálném provozu**

Cílem tohoto výpočtu je zjistit, jak by se tento způsob upravování dob uzavření přejezdu projevil v praxi na tratích, kde už ETCS je v provozu. Pro tento ukázkový příklad byl vybrán úsek mezi Pardubicemi a Kolínem, což představuje velmi vytížený železniční koridor. Bohužel se autorovi nepodařilo sehnat informace o vlacích nákladních, které by jistě vykazovaly větší míru optimalizace, než vlaky určené pro přepravu osob (takové vlaky se totiž zpravidla pohybují vyšší rychlostí). Správa železnic již nevede sešitové jízdní řády nákladních vlaků, ale pouze vlaků určených pro přepravu osob. Příkladem takového sešitového jízdního řádu je dle obrázku níže rychlík R 874, který jezdí pravidelně mezi Brnem a Prahou.

## R 874

Brno hl.n. - Česká Třebová - Praha-Smíchov

Elektrická jednotka ř. 661.

1	2	3	5	6	7	8
<b>Česká Třebová</b> .....			6 08		6 14	160/ <sup>199</sup> / <sub>148</sub>
Odb Parník .....		3			17	
Dlouhá Třebová .....		2			19	
<b>Ústí nad Orlicí</b> .....		4	6 23	1	24	
Brandýs n.O.předj.k. ....		8 <sup>s</sup>			32 <sup>s</sup>	
<b>Choceň</b> .....		3	35 <sup>s</sup>	1	36 <sup>s</sup>	
Zámorsk.....		5 <sup>s</sup>			42	
Uhersko .....		3 <sup>s</sup>			45 <sup>s</sup>	
<b>Moravany</b> .....		2			47 <sup>s</sup>	
Kostěnice.....		1 <sup>s</sup>			49	
<b>Pardubice hl.n.</b> .....		6	55	5	7 00	
<b>Přelouč nákl. n.</b> .....		8			08	
Přelouč.....		1	7 09	1	10	
Řečany nad Labem .....		5			15	
Záboří nad Labem.....		4			19	
<b>Kolín seř.n.</b> .....		4			23	
<b>Kolín</b> .....		1	24	2	26	
Velim.....		5			31	
<b>Pečky</b> .....		3			34	
<b>Poříčany</b> .....		3			37	
Český Brod.....		3			40	
Úvaly.....		5 <sup>s</sup>			45 <sup>s</sup>	
<b>Praha-Běchovice</b> .....		4 <sup>s</sup>			50	
<b>Praha-Libeň</b> .....		5	55	3	58	
<b>Praha hl.n.</b> .....		6	8 04	5	8 09	60/40
<b>Výh Praha-Vyšehrad</b> .....	3)	4			13	
<b>Praha-Smíchov</b> .....	P	2	8 15			

Obrázek 16 - Sešitový jízdní řád – zdroj [13]

Pro vlak, který je uveden výše na obrázku, je omezena maximální rychlost na 160 km/h (dle sloupce 8), přičemž i ve výpočtu bude uvažováno s touto hodnotou. Pro demonstrativní účely tohoto výpočtu bude uvažováno s tím, že se v úseku nachází přejezd s parametry, jako je teoretický přejezd č. 1 dle kapitoly 4.1.2. Parametry jednotlivých souprav vlaků (brzdící % atd.) jsou uvedeny v tabulce níže společně s výpočty jednotlivých dob s použitím ETCS. Hodnoty a informace v sešitovém jízdním řádu byly autorovi poskytnuty v rámci praxe ve firmě AŽD. Bude počítán časový úsek od 7.00 do 12.00 hod., ve kterém bude uvažováno se všemi vlaky pohybujícími se v tomto úseku. Nákladní vlaky uvedeny v tabulce jsou pouze fiktivní, autorovi nebyl dostupný sešitový jízdní řád těchto vlaků.

<b>Pardubice - Kolín</b>	<b>Maximální rychlost soupravy (km/h)</b>	<b>Brzdící %</b>	<b>Ušetřený čas (s)</b>
R 874 Svitava	160	148	0
Os 5004	115	95	18
Ex 522 Valašský Expres	160	148	0
R 894 Zlínský Expres	160	148	0
R 872 Svitava	160	148	0
Os 5006	115	95	18
R 892 Slovácký Expres	160	148	0
R 870 Svitava	160	148	0
LE 410 Leo Expres	160	148	0
EC 144 Ostravan	160	148	0
Os 5008	115	95	18
Ex 220 Valašský Expres	160	148	0
Nákladní	100	75	7
Nákladní	80	75	30
Nákladní	80	75	30
		<b>CELKEM</b>	<b>121</b>

Tabulka 11 - tabulkový přehled skladby vlaků a jednotlivých dob

<b>Kolín - Pardubice</b>	<b>Maximální rychlost soupravy (km/h)</b>	<b>Brzdící %</b>	<b>Ušetřený čas (s)</b>
SC 241 Pendolino	160	146	0
R 885 Slovácký Expres	160	146	0
Os 5005	115	98	18
R 865 Svitava	160	146	0
LE 1253 Leo Expres	160	146	0
R 887 Slovácký Expres	160	146	0
Os 5007	115	98	18
R 867 Svitava	160	146	0
LE 1235 Leo Expres	160	146	0
EC 115 Cracovia	160	146	0
Os 5009	115	98	18
R 869 Svitava	160	146	0
Nákladní	100	75	7
Nákladní	80	75	30
Nákladní	80	75	30
		<b>CELKEM</b>	<b>121</b>

Tabulka 12 - tabulkový přehled skladby vlaků a jednotlivých dob

Dle tabulek výše je zřejmé, že celkový ušetřený čas **na jednom přejezdu** na trati mezi Pardubicemi a Kolínem v čase od 7.00 do 12.00 hod. by byl se současným provozem na této trati **121 + 121 = 242 sekund**. Tato ušetřená doba by byla jistě vyšší na tratích, na kterých se

pohybuje více osobních a nákladních vlaků než ta, která je uvedena v tomto výpočtu. V současné době se na území ČR vlaky pod dohledem ETCS pohybují ve velmi nízkém počtu, avšak nejvíce jich je právě v tomto úseku.

Pro demonstrativní účely autor přikládá i výpočet pro trať, na které se pohybuje většina osobních a nákladních vlaků:

<b>Fiktivní úsek</b>	<b>Maximální rychlost soupravy (km/h)</b>	<b>Brzdící %</b>	<b>Ušetřený čas (s)</b>
Osobní	120	98	15
Osobní	120	98	15
Osobní	120	98	15
Osobní	120	98	15
Osobní	120	98	15
Nákladní	100	75	7
Osobní	120	98	15
Rychlík	160	148	0
Osobní	120	98	15
Rychlík	160	148	0
Nákladní	80	75	30
Osobní	120	98	15
Nákladní	100	75	7
Rychlík	160	148	0
Rychlík	160	148	0
		<b>CELKEM*2 (2 směry)</b>	<b>328</b>

*Tabulka 13 - tabulkový přehled skladby vlaků a jednotlivých dob*

Pro přejezd na takové trati je vidět, že se tento způsob vyplatí více.

Otázkou pro další analýzy zůstává, jak by se toto řešení projevilo v rámci celé ČR, popřípadě alespoň pro všechny takto zabezpečené přejezdy v jednom celém úseku. Na základě toho by pak šlo vyhodnotit, zda se globálně vyplatí implementovat toto řešení na celém území ČR, nebo jen do některých úseků. V současné době na území ČR probíhá implementace ETCS na mnoha tratích a do budoucna se plánuje tento systém rozšířit do všech železničních koridorů.

#### **4.1.7 Nutné podmínky řešení**

Toto řešení předpokládá, že OBU bude nově odesílat do RBC informaci o své aktuální perturbation location. Bez této hodnoty RBC není schopno nijak vyhodnotit, jakou hodnotu T\_MAR musí na vlak v paketu 57 odeslat, aby bylo vše bezpečné. Reálné OBU tuto hodnotu do RBC v současné době neodesílá.

## 4.2 Odložení výstrahy přejezdu se zajištěním volnosti přejezdu

Výše navrhovaný způsob nezajistí, že je přejezd volný v době, kdy tímto přejezdem projíždí vlak. V roce 2019 se na železničních přejezdech evidovalo 398 dopravních nehod, z čehož 152 z nich způsobilo přímou srážku vlakem s osobním automobilem. Usmrčeno bylo celkem 18 osob, těžce zraněno 13. [14]

Proto je nutné se také zamyslet nad způsobem, kterým by se dalo přejezd více zabezpečit. Pro takové vyhodnocení volnosti přejezdu se může použít detektor překážek na přejezdu.

### 4.2.1 Detektor překážek na přejezdu

*„Detektor překážek monitoruje laserovým systémem vymezenou část přejezdu, to znamená, že čidlo monitoruje přesně vymezenou plochu v době, kdy je přejezd ve výstraze, a ještě pět sekund po úplném sklopení závor. Pak dojde k jeho deaktivaci, aby případný protijedoucí vlak na dvoukolejně trati nevyvolal nechtěnou reakci. Pokud během aktivní fáze detektoru systém zaznamená objekt větších rozměrů, aktivuje bezpečnostní systém, a to generální stop na tratích s radiofikací nebo vypne kód pro vlakový zabezpečovač na tratích s autoblokem.“ [8]*

Toto řešení má negativní dopad na všechny vlaky v dosahu základnové stanice, tedy i pro vlaky, které se nepohybují v blízkosti daného přejezdu. Navíc je nutné upozornit, že funkce Generální Stop prostřednictvím sítě TRS nemá garantovanou dostupnost. Z těchto důvodů je vhodné pro zastavení vlaku před překážkou na přejezdu využít vlakový zabezpečovač ETCS.

Pokud cílem nového způsobu spouštění výstrahy na přejezdu je současně zvyšování bezpečnosti, bude žádoucí, aby vlaku nebylo uděleno MA až do doby, než se zkontroluje, že je přejezd volný. Dle předešlých výpočtů se dá předpokládat, že toto řešení způsobí prodloužení doby uzavření přejezdu na poměrně dlouhou dobu. Bude tedy potřeba stanovit, zda je cílem snížit dobu uzavření přejezdu na minimum, či k současnému řešení přidat další prvky, které zajistí volnost přejezdu.

V praxi ETCS by to znamenalo, že by se doba předstihu odeslání MA Request „T\_MAR“ nastavila tak, aby odpovídala vyklizovací době daného přejezdu. V tomto případě by se dalo uvažovat hlavně s tím, že železniční přejezd disponuje přídatnou technologií, která by uměla vyhodnotit volnost přejezdu (např. detektor překážek, viz výše). Po vypršení vyklizovací doby by tato technologie zkontrolovala, zda je přejezd volný a teprve poté by RBC mělo mít možnost prodloužit MA přes železniční přejezd.



Výhodou tohoto řešení by bylo, že by RBC nemuselo pokaždé pro každý vlak zvlášť počítat bezpečnou hodnotu T\_MAR. Díky tomu by se ani nemuselo výrazněji zasahovat do chování komunikace mezi OBU a RBC, protože by RBC nepotřebovalo vědět perturbation location daných vlaků (T\_MAR by se nastavil na vyklizovací dobu, čímž by odpadla nutnost počítat tuto hodnotu v RBC jednotlivě pro každý vlak). Další, a tou největší výhodou by bylo, že by toto řešení zajistilo mnohem bezpečnější stav na přejezdu. Nevýhodou naopak je, že by se přejezdy musely vybavit těmito detektory překážek, což by bylo ekonomicky náročné, nicméně z pohledu bezpečnosti naopak velice žádoucí.

#### **Situace by tedy vypadala takto:**

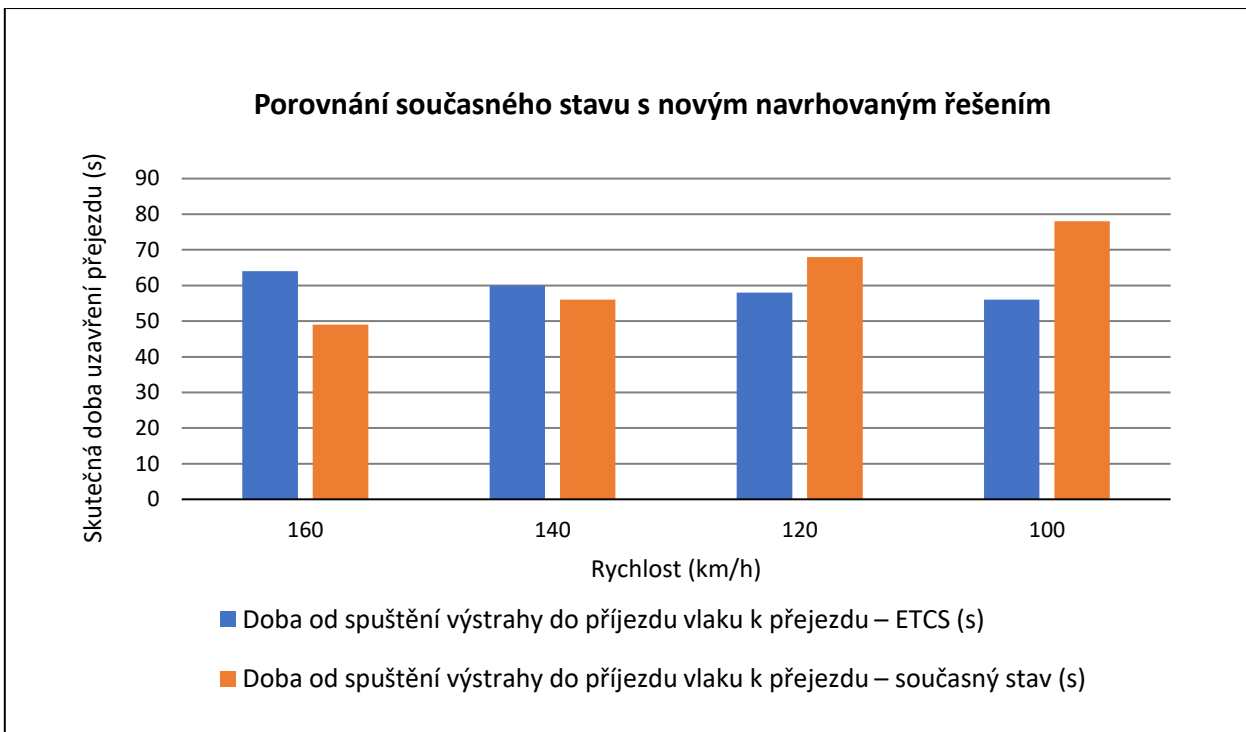
Vlak se blíží k danému přejezdu (který má danou šířku, a tedy i vyklizovací dobu), danou rychlostí a dostane se do vzdálenosti a doby, kdy odešle MA Request (s časovým předstihem T\_MAR takovým, který se rovná vyklizovací době). RBC v tu chvíli povolí přejezdu spuštění výstrahy, ale neprodlužuje vlaku MA a čeká na uplynutí vyklizovací doby. V momentě, kdy vyprší vyklizovací doba, se zkontroluje, zda je přejezd volný. Pokud ano, RBC vlaku prodlouží MA přes přejezd a vlak může bezpečně projet. Pokud ne, vlak začne brzdit a zastaví před tím, než se dostane svým čelem na přejezd, který je obsazený a kde by mohl způsobit nehodu.

#### **4.2.2 Výpočty**

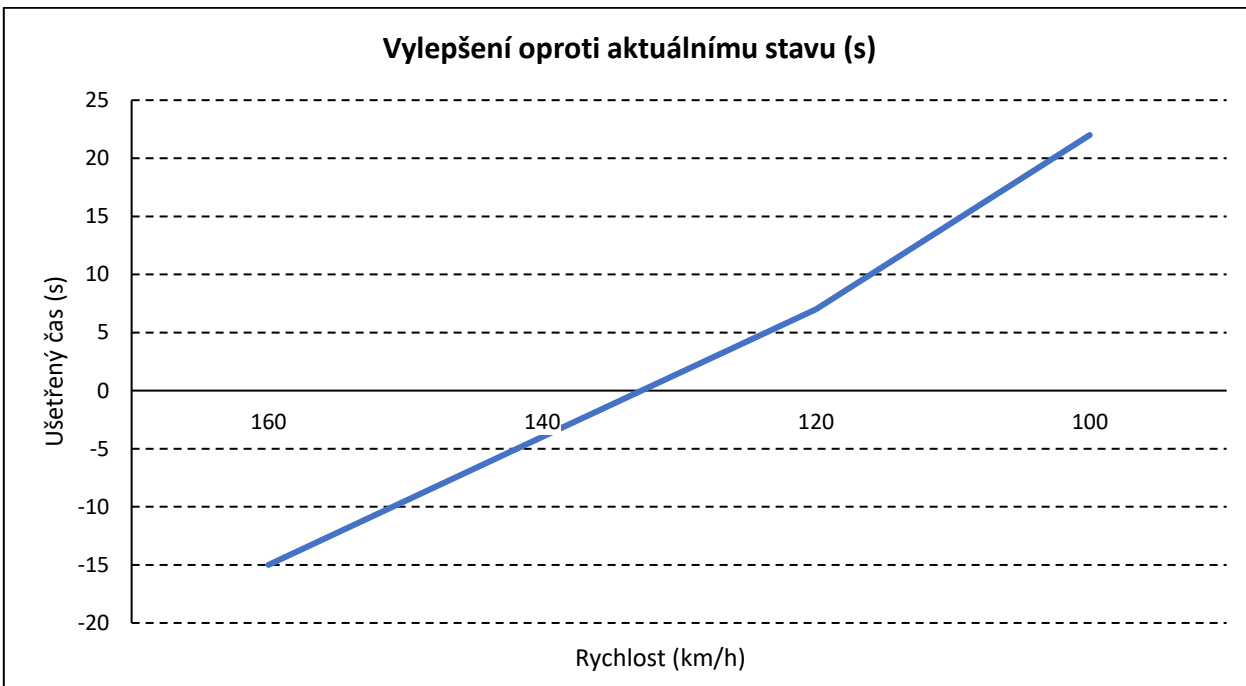
##### **Vlak č. 1 a přejezd č. 2:**

Maximální konstrukční rychlost vlaku (km/h)	Vzdálenost perturbation location (m)	T_MAR (s)	Vzdálenost D_MAR	Doba od spuštění výstrahy do příjezdu vlaku k přejezdu – ETCS (s)	Doba od spuštění výstrahy do příjezdu vlaku k přejezdu – současný stav (s)	Vylepšení oproti aktuálnímu stavu (s)
160	1562	29	2842	64	49	- 15
140	1207	29	2327	60	56	- 4
120	963	29	1923	58	68	7
100	757	29	1557	56	78	22

*Tabulka 14 - optimalizace s použitím ETCS pro vlak č. 1 a přejezd č. 2 - Bezpečnější varianta*



Graf 10 - Porovnání současného řešení s navrhovaným bezpečnějším řešením ETCS pro vlak č. 1 a přejezd č. 2



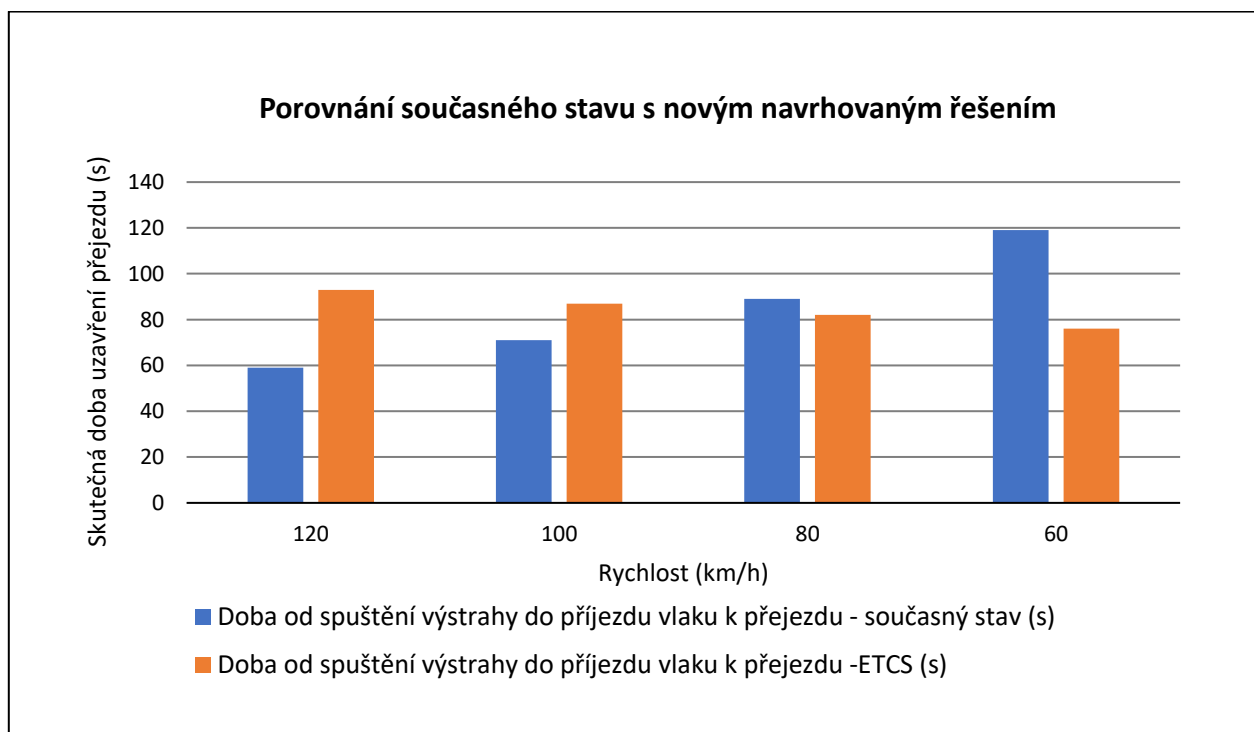
Graf 11 - Znázornění vylepšení dob pro vlak č. 1 a přejezd č. 2 - Bezpečnější varianta

Jak se dalo předpokládat, doby uzavření přejezdu pro rychlejší vlaky jsou s tímto řešením delší než doby uzavření přejezdu v současném stavu. Důležité ale je, že toto řešení výrazně zvyšuje bezpečnost na přejezdech. Vlaku se neprodlouží MA až do doby, než se pomocí detektoru zkontroluje, že je přejezd volný, a pokud se v době dosažení perturbation location MA neprodlouží, vlak zastaví v bezpečné vzdálenosti před přejezdem.

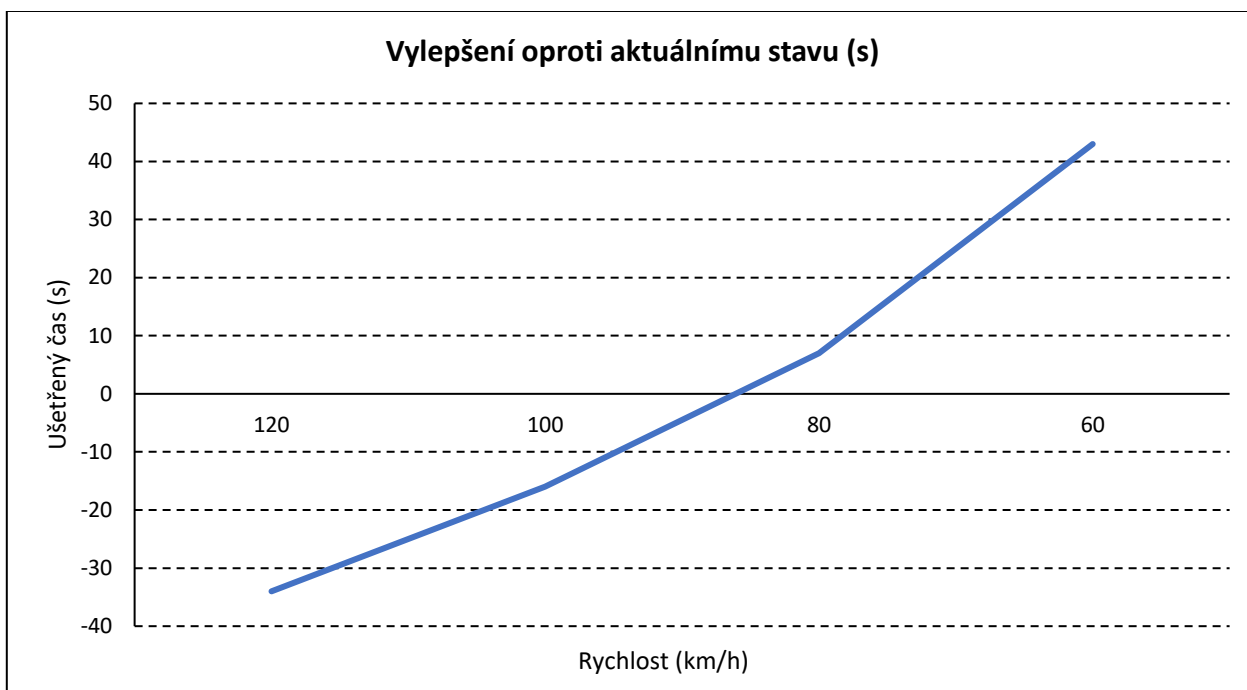
### Vlak č. 2 a přejezd č. 1:

Maximální konstrukční rychlost vlaku (km/h)	Vzdálenost perturbation location (m)	T_MAR (s)	Vzdálenost D_MAR	Doba od spuštění výstrahy do příjezdu vlaku k přejezdu – ETCS (s)	Doba od spuštění výstrahy do příjezdu vlaku k přejezdu – současný stav (s)	Vylepšení oproti aktuálnímu stavu (s)
120	2294	25	3110	93	59	- 34
100	1734	25	2414	87	71	- 16
80	1270	25	1814	82	89	7
60	866	25	1274	76	119	43

Tabulka 15 - optimalizace s použitím ETCS pro vlak č. 2 a přejezd č. 1 - Bezpečnější varianta



Graf 12 - Porovnání současného řešení s navrhovaným bezpečnějším řešením ETCS pro vlak č. 2 a přejezd č. 1



Graf 13 - Znáornění vylepšení dob pro vlak č. 2 a přejezd č. 1 - Bezpečnější varianta

Jak se dalo předpokládat, doby uzavření přejezdu pro nákladní vlaky s delší brzdou křivkou, či na užších přejezdech, jsou o mnoho vyšší, než jsou doby uvedeny v tabulce výše (Tabulka 14 - optimalizace s použitím ETCS pro vlak č. 1 a přejezd č. 2 - Bezpečnější varianta), protože tyto hodnoty jsou spočteny pro vlak s poměrně krátkou brzdou křivkou a poměrně širokým přejezdem.

Pokud ale vezmeme v potaz to, jak zásadním způsobem toto řešení ovlivní bezpečnost na přejezdu a kolik by to mohlo zachránit lidských životů, zdá se toto řešení být velice žádoucí.

### 4.3 Odložení výstrahy přejezdu s využitím informace o poloze bez zajištění volnosti přejezdu

Dalším způsobem, kterým by se dalo odložit výstrahu a tím i zkrátit dobu uzavření přejezdu je použití cyklicky odesílané informace o poloze z OBU do RBC („position report“). Vzhledem k tomu, že RBC díky těmto position reportům zná polohu vlaku na trati i jeho rychlost, může díky tomu vypočítat, kdy se vlak svým čelem k přejezdu přiblíží. Na to by byl zjednodušeně potřeba pouze jednoduchý algoritmus, který by vždy počítal v reálném čase dráhu, čas a rychlost, za který se vlak dostane k přejezdu, a to podle vzorce  $s = v \cdot t$  (resp.  $t = s/v$ ).

#### Situace by tedy vypadala takto:

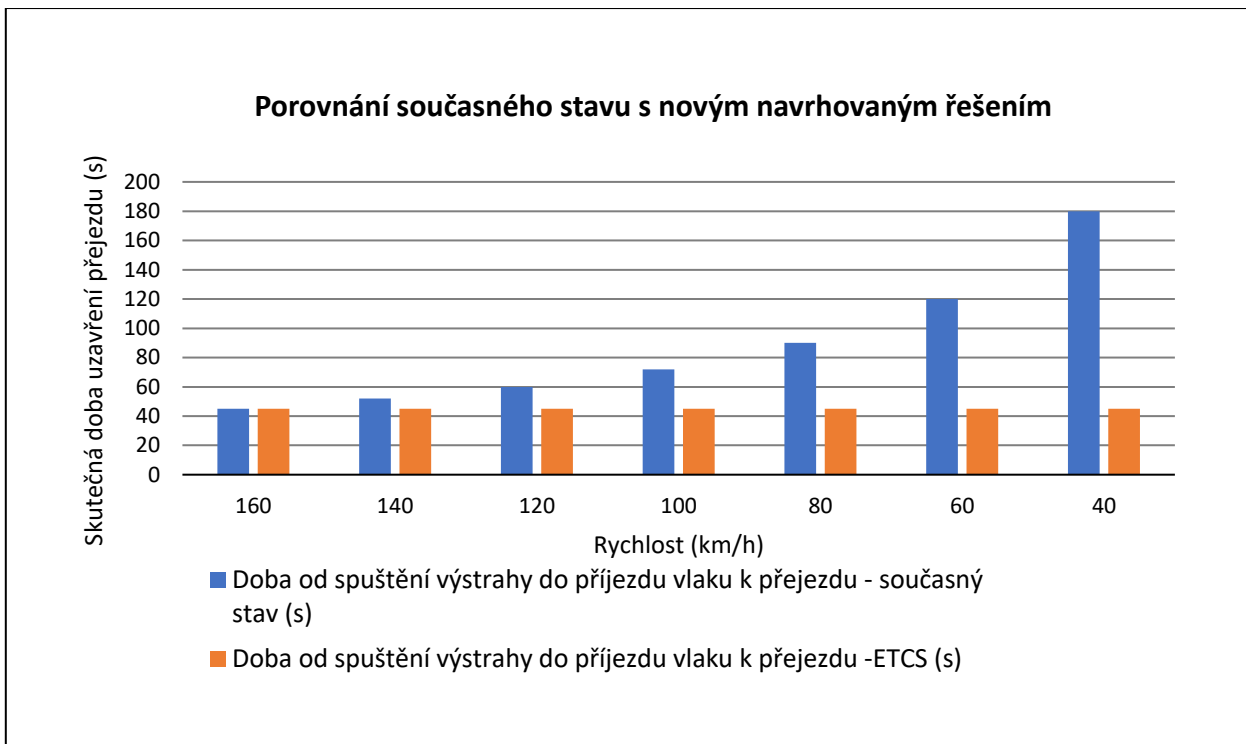
Vlak se nachází na trati vybavené systémem ETCS a RBC mu udělilo MA přes přejezd. V tu chvíli si RBC začíná počítat, za jak dlouho (při své aktuální vzdálenosti od přejezdu) se vlak svým čelem dostane k přejezdu. Tento čas si RBC počítá na základě toho, jakou má daný vlak maximální dovolenou rychlost dle MRSP. Po každém novém přijatém position reportu (v současné implementaci ETCS v ČR se odesílá po 5 sekundách) si tento čas počítá opakovaně znovu, aby se co nejvíce optimalizovala doba uzavření přejezdu (může se totiž stát, že se vlak pohybuje menší rychlostí, než je rychlost dle MRSP). Zároveň s tím RBC ví, jaká je přibližovací doba daného přejezdu dle ČSN 34 2650, kterou musí respektovat. Vlak pokračuje jízdu k přejezdu a v době, kdy RBC vyhodnotí, že je vlak vzdálen přesně na přibližovací dobu, začne spouštět výstrahu na přejezdu.

#### 4.3.1 Výpočty

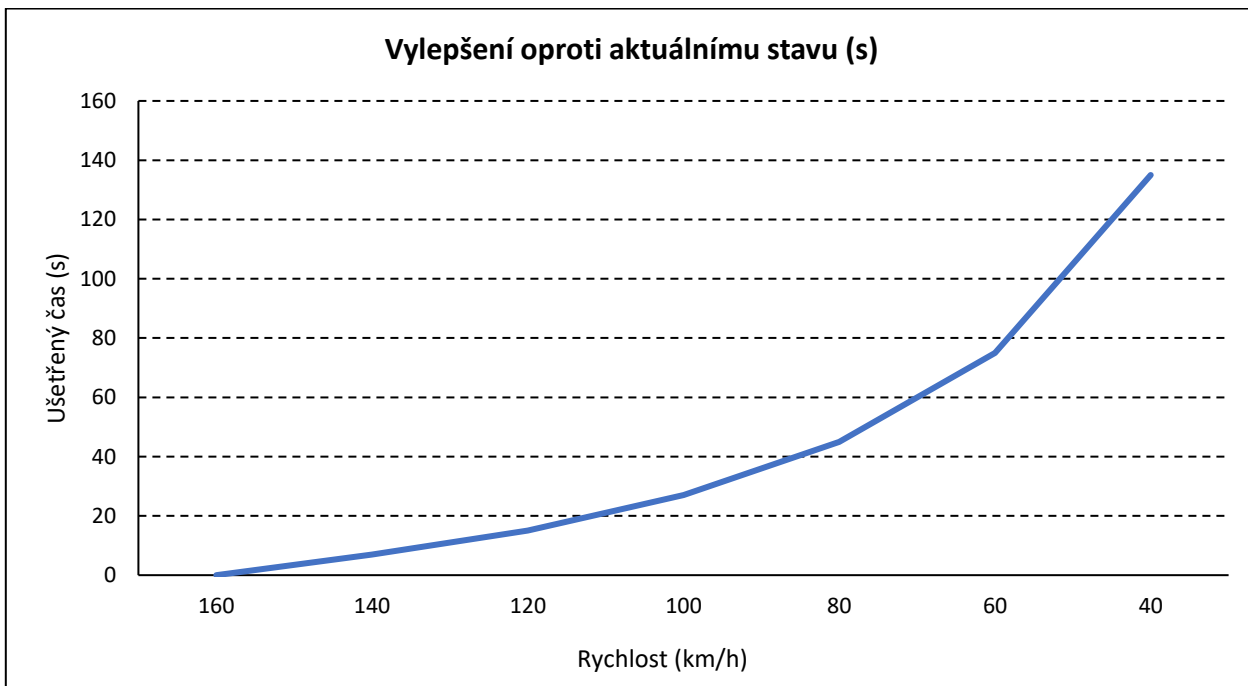
##### Přejezd č. 1:

Rychlost vlaku (km/h)	Délka přibližovacího úseku dle současné infrastruktury (m)	Délka přibližovacího úseku s použitím ETCS (m)	Přibližovací doba dle aktuálního stavu, pokud se vlak pohybuje danou rychlostí (s)	Přibližovací doba s použitím ETCS (s)	Vylepšení oproti aktuálnímu stavu (s)
160	2000	2000	45	45	<b>0</b>
140	2000	1750	52	45	<b>7</b>
120	2000	1500	60	45	<b>15</b>
100	2000	1250	72	45	<b>27</b>
80	2000	1000	90	45	<b>45</b>
60	2000	750	120	45	<b>75</b>
40	2000	500	180	45	<b>135</b>

Tabulka 16 - optimalizace s použitím ETCS pro přejezd č. 1 - řešení 3



Graf 14 - Porovnání současného řešení s řešením 3 ETCS pro přejezd č. 1



Graf 15 - Znázornění vylepšení dob pro přejezd č. 1 – Třetí řešení

Výhodou tohoto řešení je, že se u přejezdu nemusí počítat s „virtuálním bodem“, který je použit v předchozích řešeních, ani se zde nemusí počítat s brzdou křivkou vlaku.

Dále je výhodné, že se kvůli tomuto řešení nemusí do rozhraní komunikace mezi OBU a RBC přidávat nová proměnná (jako v případě prvního řešení), protože se počítá pouze s tím, co už ve specifikacích ETCS („subsetech“) nyní je. To pak velice usnadňuje implementaci v tom smyslu, že se nemusí měnit specifikace ETCS, což může být velice časově, legislativně a finančně náročné.

Další výhodou je samozřejmě také optimalizace doby uzavření přejezdu přesně vzhledem ke každému individuálnímu vlaku a jeho rychlosti. Ta se může v průběhu jízdy měnit (zvyšovat, snižovat), protože RBC po přijetí nového position reportu vždy bude znát aktuální rychlost vlaku, ale zároveň v tu chvíli (až do doby, než přijme nový position report) počítá s tím, že se vlak může pohybovat rychlostí až dle MRSP. Díky tomu je toto řešení optimalizačně nejefektivnější. Dále je výhodné, že vypočtené doby jsou optimalizované pro každý vlak individuálně bez ohledu na to, zda se jedná o nákladní či osobní vlak či jak dlouhou má brzdou křivku.

Nevýhodou tohoto řešení je však fakt, že odesílání position reportů, které OBU posílá na RBC, se může se ztrátou spojení přerušit. V tu chvíli a v případě, že RBC zrovna už odkládá výstrahu (vlak se v tuto chvíli nachází za spínacími prvky současné infrastruktury) a neobdržení position reportu přesně po 5 sekundách, RBC okamžitě spustí výstrahu bez ohledu na to, kde se dle posledního position reportu vlak nachází.

Další nevýhodou a zároveň i bezpečnostním rizikem je fakt, že position reporty přijaté do RBC nejsou nikdy 100% přesné. Důvodem je fakt, že je zde nějaká časová prodleva, než se informace na OBU vygeneruje, a následně, než se dostane z vlaku do RBC. Kvůli tomu by RBC současně vždy s každým přijatým position reportem muselo uvažovat s touto časovou prodlevou, která je podrobněji vysvětlena v dokumentu s názvem „**HANDLING OF LEVEL CROSSINGS WITH BASELINE3**“. Zdroj: [16]

Poslední, a tou největší nevýhodou tohoto řešení je to, že se nijak nezvýší bezpečnost na přejezdu. MA se totiž prodlužuje přes přejezd už v době, kdy na přejezdu není spuštěna výstraha.

## 4.4 Vyhodnocení návrhů a nepokryté situace → situace k dalšímu šetření

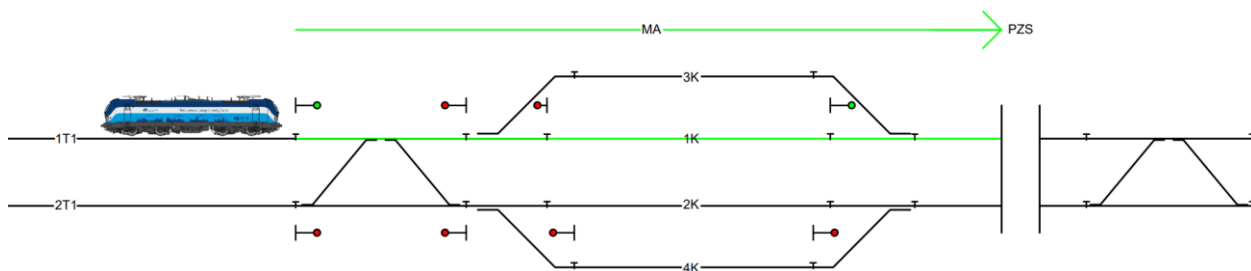
Současná implementace přenášení perturbation location uvažuje s maximální rychlostí vlaku podle MRSP. To je důležité v případech, kdy se přejezd nachází v blízkosti železničních stanic, protože to vlakům, pohybujícím se v tomto místě, umožňuje svou rychlost zvyšovat. Z hlediska samotné optimalizace doby výstrahy však tento způsob negativně prodlužuje dobu výstrahy.

### 4.4.1 Problematika místa zastavení před přejezdem

V případech, kdy se přejezd nachází v blízkosti železniční stanice nebo zastávky, resp. místa pravidelného zastavování vlaků, mohou nastat následující dvě situace:

#### Případ 1: Návěstidlo před přejezdem povoluje jízdu vlaku

Tento případ nastává typicky v místech, kde se železniční přejezd nachází v těsné blízkosti železniční stanice, a to za staniční kolejí ve směru jízdy vlaku. Pokud odjezdové návěstidlo povoluje jízdu (je postavena odjezdová vlaková cesta), RBC automaticky prodlužuje MA až k nejbližšímu možnému EOA za odjezdové návěstidlo, bez ohledu na to, zda vlak bude ve stanici zastavovat či nikoliv. Situačně je tento případ blíže popsán na obrázku 17 níže:



Obrázek 17 - Ilustrační schéma průběhu MA k přejezdu – zdroj vlastní

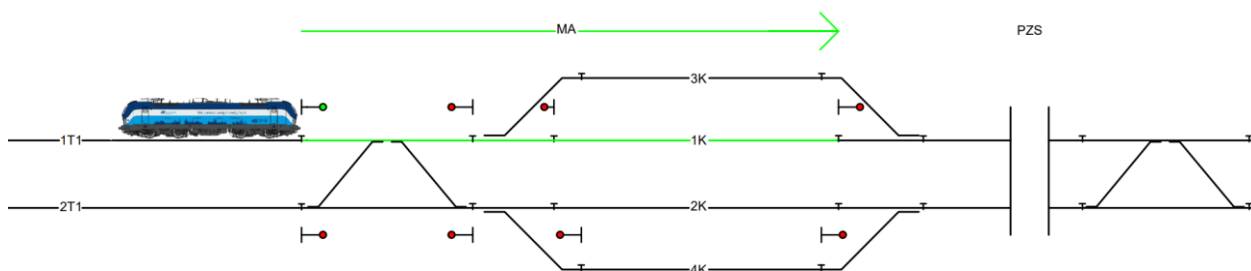
V praxi to tedy znamená, že vlak, který se pohybuje na trati před vjezdem do železniční stanice, si své brzdné křivky počítá k aktuálnímu EOA, což je v tomto případě (při postavené odjezdové vlakové cestě) daný přejezd, který se nachází za železniční stanicí. Průběh MA je na obrázku znázorněn zeleně. ETCS neví, že vlak bude zastavovat ve stanici, a tak odesílá v místě spočteném jako perturbation location MA Request, který spustí událost a přejezd za staniční kolejí přechází do výstrahy. Tento perturbation location je navíc stále počítán podle aktuální MRSP, což může být i 160 km/h (pokud se vlak pohybuje na hlavní koleji bez toho, aniž by mu byla postavena vjezdová vlaková cesta do stanice na vedlejší kolej – jinak by se MRSP snížila).



Vlak ve stanici zastaví a přejezd je uzavřen až do doby, než se vlak opětovně rozjede a celou svou délkou se dostane za železniční přejezd. Oproti současnému řešení tedy tento způsob optimalizace v oblasti železničních stanic není o nic lepší. Pokud ale vlak ve stanici zastavovat nebude, chování bude úplně stejné jako v případě, že se jedná o přejezd na širé trati. Obdobné chování přejezdu lze očekávat na širé trati, kde se před přejezdem nachází zastávka.

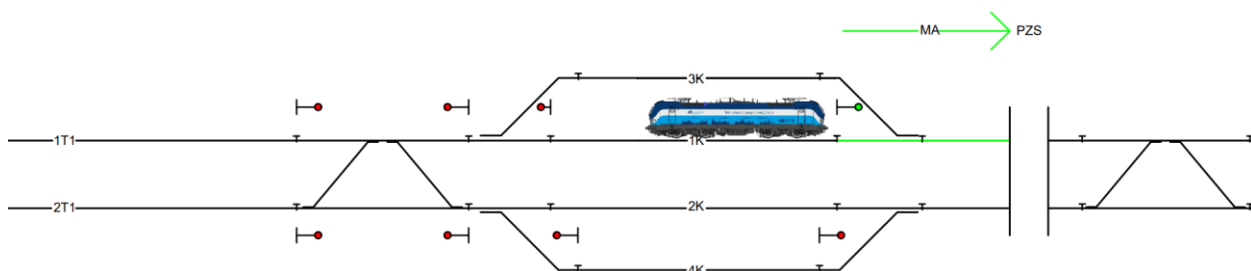
### Případ 2: Návěstidlo před přejezdem zakazuje jízdu vlaku

Dalším případem může být, že odjezdová vlaková cesta postavena nebude a vlak bude ve stanici zastavovat. MA tak bude končit právě u odjezdového návěstidla na konci staniční koleje. Průběh MA a situace je znázorněna na obrázku 18 níže, přičemž zeleně je opět vyznačeno MA:



Obrázek 18 - Ilustrační schéma průběhu MA k odjezdovému návěstidlu – zdroj vlastní

Problém by mohl nastat v době, kdy už vlak bude stát na staniční koleji, resp. se pohybuje v přibližovacím úseku přejezdu, postaví se odjezdová vlaková cesta a MA by se následně mělo prodloužit až do oblasti přejezdu. Blíže je situace popsána na obrázku 19 níže:



Obrázek 19 - Ilustrační schéma průběhu MA od odjezdového návěstidla k přejezdu – zdroj vlastní

V tuto chvíli se ale MA neprodlouží, protože na odjezdovém návěstidle dle stávajících principů fungování staničních zabezpečovacích zařízení stále svítí návěst STÚJ. Povolující znak se rozsvítí až v době, kdy uplynou všechny bezpečnostní doby spojené s PZS, tudíž aplikací autorovo navrhovaných řešení (4.1 a 4.3) se zkrácení dob uzavření přejezdu neuskuteční. RBC

v tomto případě uděluje MA na základě povolujícího znaku na odjezdovém návěstidle, a navíc bude MA prodlouženo až do oblasti za přejezdem.

#### **4.4.2 Problematika vícekolejných přejezdů**

Další komplikace by mohla nastat, kdyby se k přejezdu blížily vlaky z obou směrů. V tomto případě je nutno software vyhodnocení vylepšit tak, aby RBC vždy odkládalo výstrahu pro vlak, který se svým čelem na přejezdu objeví dříve, a také aby byl přejezd uzavřen vždy do doby, než se pomalejší vlak dostane do vzdalovacího úseku. Taková funkce však nebude složitá. Vyhodnocovat se totiž bude každá kolej zvlášť, a pokud bude alespoň u jednoho směru požadavek k uzavření přejezdu, přejezd se uzavře.

#### **4.4.3 Problematika rozjezdu vlaků**

Dále stojí za úvahu, zda nepřenášet perturbation location i z aktuální rychlosti (nikoliv pouze podle maximální dovolené dle MRSP). To by mohlo zkrátit dobu uzavření přejezdu v případě, že se vlak na širé trati pohybuje rychlostí nižší, než je MRSP. Jedná se typicky o případy rozjezdů vlaků v blízkosti železničního přejezdu. V těchto případech by však bylo nutné ve výpočtech přibližovací doby uvažovat i s teoreticky nejvyšším možným zrychlením vozidla, zároveň tuto hodnotu zrychlení kontrolovat a znemožnit její překročení. V tuto chvíli se nepředpokládá, že by se taková změna implementovala.

## 5 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo analyzovat funkci přejezdových zabezpečovacích zařízení a systému ETCS a navrhnout způsoby implementace systému ETCS tak, aby se s jeho využitím minimalizovala doba mezi uzavřením přejezdu a příjezdem čela vlaku k tomuto přejezdu.

Současně lze navrhnout řešení, které eliminuje riziko srážky vlaku s uvázlou překážkou na železničním přejezdu.

Navrhovaná řešení respektují technické specifikace pro interoperabilitu a základní požadavky českých norem pro zajištění bezpečnosti na železničních přejezdech.

První část práce se věnuje obecnému popisu přejezdových zabezpečovacích zařízení a všech potřebných pojmů a termínů, které jsou nutné pro správné chápání funkce těchto zařízení. Je zde také popsán aktuální způsob aktivace výstrahy přejezdových zabezpečovacích zařízení. Dále je v této části uvedena stručná analýza přebytečných dob uzavření přejezdu pro fiktivní přejezd, který poukazuje na neoptimálnost stávajícího řešení pro pomalejší vlaky. Současně jsou uvedena bezpečnostní rizika související se železničními přejezdy a statistika poukazující na počty jednotlivých typů železničních přejezdů v ČR.

Druhá část je věnována obecnému popisu systému ETCS a jeho funkcí. Pozornost je zaměřena především na vlastnosti a funkce systému ETCS, které souvisí s navrhovanou optimalizací doby uzavření přejezdu.

Třetí praktická část se věnuje návrhu řešení, ve kterém autor podrobně popisuje způsoby optimalizace dob uzavření přejezdu za použití systému ETCS. V této části práce jsou navrženy 3 způsoby řešení.

Prvním způsobem se autor snaží optimalizovat doby uzavření přejezdu tak, aby co nejméně časově omezoval silniční dopravu. Je tak navržen způsob, který má v mnoha případech pozitivní vliv na snížení těchto dob. Navrhované řešení je porovnáno se stávajícím způsobem činnosti přejezdu. Dále je zpracována analýza pro fiktivní přejezd trati mezi Pardubicemi a Kolínem, na které se v současnosti již vlaky pod dohledem ETCS pohybují. Tato analýza počítá ušetřený čas na jednom přejezdu v obou směrech jízdy vlaku s aktuálním jízdním řádem na dané trati.

Ve druhém navrženém způsobu se autor zaměřuje na řešení zvyšující bezpečnost na přejezdech bez ohledu na to, zda navrhované řešení prodlouží skutečné přibližovací doby.

Ve třetím navrženém způsobu se autor věnuje optimalizaci s využitím pravidelně posílaných informací o poloze (position reportů) z OBU do RBC. Toto řešení se jeví jako nejjednodušší a nejefektivnější ze všech předchozích, a to hlavně z toho důvodu, že se pomocí tohoto řešení časově nejvíce optimalizuje doba uzavření přejezdu za poměrně jednoduché implementace bez nutnosti změn technických specifikací pro interoperabilitu. Bohužel však rizika, která postupně vyplynula v průběhu zkoumání tohoto řešení, budou muset být předmětem dalšího šetření a zvážení.

V poslední kapitole praktické části je také vyhodnocení navrhovaných řešení a popis problémů, které by se mohly při implementaci vyskytnout.

**Výpočty a z nich plynoucí grafická znázornění poukazují na to, že provedené změny ve funkci přejezdových zabezpečovacích zařízení a implementaci ETCS v mnoha případech snižují dobu uzavření přejezdu a také vedou ke zlepšení dopravní situace a bezpečnosti na železničních přejezdech.**

Všechny tabulky a grafy jsou v této práci realizovány s pomocí programu MS Excel. Program Visual Studio Code slouží k vyhodnocování jednotlivých parametrů získaných z veřejně dostupného simulačního programu pro výpočet brzdných křivek v MS Excel od společnosti UNISIG. Obrázky znázorňující brzdné křivky a vzdálenosti jsou vytvořeny v programu Visual Studio Code a s pomocí programovacího jazyka Python s open source knihovnou Jupyter pandas. Díky programu AutoCad v této bakalářské práci vzniklo grafické znázornění typických situací na trati a jejich podrobnějšímu vysvětlení.

## 6 Seznam použité literatury

- [1] ČSN 34 2650. Železniční zabezpečovací zařízení - Přejezdová zabezpečovací zařízení. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [2] HRŮZA, Filip. Nejmodernější zabezpečovací zařízení v železniční dopravě [online]. [cit. 2021-7-29]. Dostupné z: [https://cena-dekana.fd.cvut.cz/prezentace/4\\_rocnik/hruza\\_filip/prace.pdf](https://cena-dekana.fd.cvut.cz/prezentace/4_rocnik/hruza_filip/prace.pdf)
- [3] PŘEDPIS PRO OBSLUHU PŘEJEZDOVÝCH ZABEZPEČOVACÍCH ZAŘÍZENÍ: ČD Z2. Olomouc, 2001, ročník 2000, číslo 1. Dostupné také z: [http://iwan.eu07.pl/jw/john\\_woods2009/predpisy/Z/Z2.pdf](http://iwan.eu07.pl/jw/john_woods2009/predpisy/Z/Z2.pdf)
- [4] CHUDÁČEK, Václav a Libor LOCHMAN. VĚDECKOTECHNICKÝ SBORNÍK ČD: VLAKOVÝ ZABEZPEČOVACÍ SYSTÉM ERTMS/ETCS. 5. Praha, 1998.
- [5] MACHÁČEK, Miloslav. Vědeckotechnický sborník ČD č. 33/2012: Instalace ETCS v českých podmínkách. Praha, 2012.
- [6] System Requirements Specification ERTMS/ETCS, Subset 026-4. ERA: Unisig, EEIG ERTMS Users Group, 2016.
- [7] ERTMS/ETCS Level 1 [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.mermecgroup.com/protect/atpatc-systems/629/ertmsetcs-level-1.php>.
- [8] SCHRÖTTER, Josef. Vědeckotechnický sborník ČD č. 41/2016: Železniční přejezdy – krizová místa v dopravě. Praha, 2016.
- [9] EUROPEAN RAILWAY AGENCY. INTRODUCTION TO ETCS BRAKING CURVES: ERTMS UNIT [online]. 2020 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: [https://www.era.europa.eu/sites/default/files/activities/docs/introduction\\_to\\_etcs\\_braking\\_curves\\_en.pdf](https://www.era.europa.eu/sites/default/files/activities/docs/introduction_to_etcs_braking_curves_en.pdf)
- [10] Konzultace o problematice: Systém ETCS, Ing Marek Jakub Ph.D., Ing Patrovský Jan, 01. 04. 2021, Závod technika, Výzkum a vývoj AŽD Praha s.r.o.
- [11] Rozhraní programu Black Box Data Editor: Závod technika, Výzkum a vývoj AŽD Praha s.r.o.

[12] SPRÁVA ŽELEZNIC. Přejezdy v číslech [online]. 2020 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/o-nas/bezpecna-zeleznice/bezpecnost-na-prejezdech/prejezdy-v-cislech>.

[13] Sešitový jízdní řád 2021 501 osobní – Správa Železnic

[14] BESIP, MINISTERSTVO DOPRAVY. Železniční přejezdy: Dopravní nehody a jejich následky [online]. 2020, 31, [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.ibesip.cz/getattachment/Statistiky/Statistiky-nehodovosti-v-Ceske-republice/Dopravni-nehodovost-2020/Zeleznicni-prejezdy/Zeleznicni-prejezdy.pdf?lang=cs-CZ>

[15] European Train Control System. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/European\\_Train\\_Control\\_System](https://cs.wikipedia.org/wiki/European_Train_Control_System)

[16] HANDLING OF LEVEL CROSSINGS WITH BASELINE3. *ERTMS* [online]. 2017 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: [https://ertms.be/sites/default/files/2019-02/68\\_Guideline%20Handling%20of%20Level%20Crossings%20with%20BL3%20v1.0%20-%20final.pdf](https://ertms.be/sites/default/files/2019-02/68_Guideline%20Handling%20of%20Level%20Crossings%20with%20BL3%20v1.0%20-%20final.pdf)

[17] MAREK, Jakub. Vědeckotechnický sborník ČD č. 47/2019. 2019

## 7 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Výpočty dob.....	19
Tabulka 2 - parametry teoretického vlaku č. 1 .....	44
Tabulka 3 - parametry teoretického vlaku č. 2 .....	45
Tabulka 4 - parametry teoretického přejezdu č. 1.....	45
Tabulka 5 - parametry teoretického přejezdu č. 2.....	45
Tabulka 6 - optimalizace s použitím ETCS pro vlak č. 1 a přejezd č. 1.....	51
Tabulka 7 - optimalizace s použitím ETCS pro vlak č. 1 a přejezd č. 2.....	53
Tabulka 8 - optimalizace s použitím ETCS pro vlak č. 2 a přejezd č. 1.....	55
Tabulka 9 - optimalizace s použitím ETCS pro vlak č. 2 a přejezd č. 2.....	57
Tabulka 10 - optimalizace s použitím ETCS pro vlak č. 2 a přejezd č. 2 s maximální traťovou rychlostí 120 km/h .....	59
Tabulka 11 - tabulkový přehled skladby vlaků a jednotlivých dob.....	62
Tabulka 12 - tabulkový přehled skladby vlaků a jednotlivých dob.....	62
Tabulka 13 - tabulkový přehled skladby vlaků a jednotlivých dob.....	63
Tabulka 14 - optimalizace s použitím ETCS pro vlak č. 1 a přejezd č. 2 - Bezpečnější varianta .....	65
Tabulka 15 - optimalizace s použitím ETCS pro vlak č. 2 a přejezd č. 1 - Bezpečnější varianta .....	67
Tabulka 16 - optimalizace s použitím ETCS pro přejezd č. 1 - řešení 3 .....	69

## 8 Seznam obrázků

Obrázek 1 - schéma funkce přejezdu – zdroj - přednášky předmětu RIZE .....	14
Obrázek 2 - schéma funkce přejezdu s vlakem na přejezdu – zdroj - přednášky předmětu RIZE.....	14
Obrázek 3 - počet přejezdů v ČR. – zdroj [12].....	16
Obrázek 4 - komunikace L1 - zdroj [7].....	24
Obrázek 5 - Architektura přenosu informací a dat – zdroj vlastní .....	26
Obrázek 6 - Rozhraní OBU a RBC – zdroj [6] .....	27
Obrázek 7 - Ilustrace obsahu zprávy 136 a paketu 0 – zdroj [11] .....	30
Obrázek 8 - Ilustrace obsahu zprávy 132 – zdroj [6].....	33
Obrázek 9 - Obsah paketu 57 – zdroj [6].....	34
Obrázek 10 - Znázornění brzdných křivek – zdroj vlastní.....	36
Obrázek 11 - Popis oblastí vzhledem k brzdným křivkám - zdroj [9] .....	37
Obrázek 12 - Ilustrace obsahu zprávy 129 a proměnné V_MAXTRAIN – zdroj [11] .....	38
Obrázek 13 - Ilustrace výpočtu brzdných křivek pro rychlost 160 km/h – zdroj vlastní .....	47
Obrázek 14 - Ilustrace výpočtu brzdných křivek pro rychlost 10 km/h a přejezd č. 1 a vlak č. 1 – zdroj vlastní .....	49
Obrázek 15 - Ilustrace výpočtu brzdných křivek pro rychlost 10 km/h a přejezd č. 2 a vlak č. 1 – zdroj vlastní .....	50
Obrázek 16 - Sešitový jízdní řád – zdroj [13].....	61
Obrázek 17 - Ilustrační schéma průběhu MA k přejezdu – zdroj vlastní.....	72
Obrázek 18 - Ilustrační schéma průběhu MA k odjezdovému návěstidlu – zdroj vlastní .....	73
Obrázek 19 - Ilustrační schéma průběhu MA od odjezdového návěstidla k přejezdu – zdroj vlastní .....	73



## 9 Seznam grafů

Graf 1 - Porovnání současného řešení s navrhovaným řešením ETCS pro vlak č. 1 a přejezd č. 1 .....	51
Graf 2 - Znázornění vylepšení dob pro vlak č. 1 a přejezd č. 1 .....	52
Graf 3 - Porovnání současného řešení s navrhovaným řešením ETCS pro vlak č. 1 a přejezd č. 2 .....	53
Graf 4 - Znázornění vylepšení dob pro vlak č. 1 a přejezd č. 2 .....	54
Graf 5 - Porovnání současného řešení s navrhovaným řešením ETCS pro vlak č. 2 a přejezd č. 1 .....	55
Graf 6 - Znázornění vylepšení dob pro vlak č. 2 a přejezd č. 1 .....	56
Graf 7 - Porovnání současného řešení s navrhovaným řešením ETCS pro vlak č. 2 a přejezd č. 2 .....	57
Graf 8 - Znázornění vylepšení dob pro vlak č. 2 a přejezd č. 1 .....	58
Graf 9 - Porovnání současného řešení s navrhovaným řešením ETCS pro vlak č. 1 a fiktivní přejezd .....	60
Graf 10 - Porovnání současného řešení s navrhovaným bezpečnějším řešením ETCS pro vlak č. 1 a přejezd č. 2 .....	66
Graf 11 - Znázornění vylepšení dob pro vlak č. 1 a přejezd č. 2 - Bezpečnější varianta .....	66
Graf 12 - Porovnání současného řešení s navrhovaným bezpečnějším řešením ETCS pro vlak č. 2 a přejezd č. 1 .....	67
Graf 13 - Znázornění vylepšení dob pro vlak č. 2 a přejezd č. 1 - Bezpečnější varianta .....	68
Graf 14 - Porovnání současného řešení s řešením 3 ETCS pro přejezd č. 1 .....	70
Graf 15 - Znázornění vylepšení dob pro přejezd č. 1 – Třetí řešení .....	70