

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2020

BC. VOJTĚCH PORWISZ

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

**Technologicko-provozní aspekty křížení dráhy
a pozemní komunikace**

Bc. Vojtěch Porwisz

Diplomová práce

2020

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Vojtěch Porwisz**
Osobní číslo: **D18483**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Technologie a řízení dopravy**
Téma práce: **Technologicko-provozní aspekty křížení dráhy a pozemní komunikace**
Zadávací katedra: **Katedra technologie a řízení dopravy**

Zásady pro vypracování

Úvod

1. Analýza technologicko-provozních aspektů železničního přejezdu
2. Návrh adaptivní délky přibližovacího úseku
3. Vyhodnocení návrhu

Závěr

Rozsah pracovní zprávy: **50-60**
Rozsah grafických prací: **5-6**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

WINTER, Peter a UIC. Compendium on ERTMS (European Rail Traffic Management System. Hamburk: DW Media Group GmbH | Eurailpress, 2009. ISBN 978-3-7771-0396-9
ČSN 34 2650. Železniční zabezpečovací zařízení – Přejezdová zabezpečovací zařízení. Praha: ČNI, 2010
SŽDC (ČD) D2_81. Předpis pro organizování a provozování drážní dopravy. Praha: Správa železniční dopravní cesty, 2010
ČSN 73 6380. Železniční přejezdy a přechody, změna Z1. Praha: ČNI, 2004

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jaroslav Matuška, Ph.D.**
Katedra technologie a řízení dopravy

Datum zadání diplomové práce: **6. února 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **22. května 2020**

L.S.

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

doc. Ing. Jaromír Šíroký, Ph.D.
vedoucí katedry

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji:

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

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

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 22. 5. 2020

Bc. Vojtěch Porwisz

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro zpracování této diplomové práce. Zvláště pak děkuji vedoucímu práce, a to doc. Ing. Jaroslavu Matuškoví, Ph.D., za odborné vedení a konzultování mé práce a za rady, které mi poskytoval. Dále pak děkuji za cenné rady a informace panu Ing. Marku Jakobovi, Ph.D. a panu Ing. Janu Patrovskému z firmy AŽD Praha s.r.o. Děkuji za konzultace, rady a pomoc při mém psaní práce panu Ing. Petru Nachtigalovi, Ph.D.

Anotace

Předmětem této diplomové práce je problematika technologie železničního přejezdového zabezpečovacího zařízení v návaznosti na ETCS. V analytické části jsou zjištěny technologické ukazatele, které ovlivňují délku přibližovacího úseku, a popsán systém ETCS. Návrhová část se zabývá adaptivní délkou přibližovacího úseku a její výhody jsou ověřeny pomocí dopravního modelu.

Klíčová slova.

Adaptivní délka přibližovacího úseku, dopravní model, Euro Train Control System, rychlost vlaku, železniční přejezd.

Title

Technological and operational aspects of the railway crossing line and roads

Annotation

The subject of this diploma thesis is the issue of technology of railway level crossing security equipment in connection with ETCS. In the analytical part, technological indicators that affect the length of the approach section are identified and the ETCS system is described. The design part deals with the adaptive length of the approach section and its advantages are verified using a transport model.

Keywords

Adaptive length of the approach section, Transport model, Euro Train Control System, Train speed, Railway crossing.

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK.....	10
SEZNAM ZKRATEK	12
ÚVOD.....	14
1 ANALÝZA TECHNOLOGICKO-PROVOZNÍCH ASPEKTŮ ŽELEZNIČNÍHO PŘEJEZDU	15
1.1 Železniční zabezpečovací zařízení – ČSN 34 2650.....	17
1.1.1 Délka přibližovacího úseku.....	17
1.1.2 Přibližovací doba	18
1.1.3 Vyklizovací doba	19
1.1.4 Předzváněcí doba.....	20
1.1.5 Návaznost technologie PZS.....	20
1.2 Rychlosti vlaků	22
1.3 Průzkum železničního přejezdu	24
1.4 Euro train control system.....	28
1.4.1 Základní princip systému ETCS.....	30
1.4.2 Euro Train Control System Level 1.....	31
1.4.3 Euro Train Control System Level 2.....	32
1.4.4 Euro Train Control System Level 3.....	33
1.4.5 Global System for Mobile Communication for Railways	35
2 NÁVRH ADAPTIVNÍ DÉLKY PŘIBLIŽOVACÍHO ÚSEKU	36
2.1 Subsety ETCS	36
2.2 Pakety ETCS.....	37
2.2.1 Movement Authority.....	38
2.2.2 Paket 88 (Level Crossings Information).....	41
2.3 Výpočet bodů křivek dle ETCS	42

2.4	Železniční přejezd v systému ETCS	46
2.4.1	<i>Vlaky bez systému ETCS</i>	<i>47</i>
2.4.2	<i>Vlaky se systémem ETCS.....</i>	<i>47</i>
2.5	Teoretický přejezd	49
2.5.1	<i>Parametry teoretického přejezdu.....</i>	<i>49</i>
2.5.2	<i>Výpočet délky přibližovacího úseku dle ČSN 34 2650.....</i>	<i>52</i>
2.6	Technologie adaptivní délky přibližovacího úseku	56
2.6.1	<i>Pohled na bezpečnost.....</i>	<i>61</i>
2.6.2	<i>Shrnutí zvolené technologie</i>	<i>63</i>
3	VYHODNOCENÍ NÁVRHU	64
3.1	Porovnání dob uzavření přejezdu	64
3.1.1	<i>Změna nejvyšší dovolené rychlosti.....</i>	<i>68</i>
3.1.2	<i>Změna skladby vlaků.....</i>	<i>69</i>
3.1.3	<i>Skladba vlaků bez systému ETCS.....</i>	<i>70</i>
3.1.4	<i>Shrnutí analýzy dob uzavření přejezdu</i>	<i>71</i>
3.2	Dopravní model	72
3.2.1	<i>Analýza získaných hodnot vybraných přejezdů.....</i>	<i>75</i>
3.2.2	<i>Shrnutí analýzy dopravního modelu</i>	<i>78</i>
	ZÁVĚR	80
	SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	82
	SEZNAM PŘÍLOH.....	84

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Úseky železničního přejezdu	16
Obr. 2 Přejezd s kolmým úhlem křížení	19
Obr. 3 Kostra systému PZZ	21
Obr. 4 Interaktivní mapa vybraného dopravního průzkumu	25
Obr. 5 Přejezd Červenka, Olomouc (P6520)	26
Obr. 6 Přejezd Úvaly, Praha východ (P4933).....	26
Obr. 7 Přejezd Šakvice, Břeclav (P6795)	26
Obr. 8 Přejezd Svitavy (P6828)	26
Obr. 9 Různé systémy vlakových zabezpečovačů v hnacím vozidle	29
Obr. 10 Princip systému ETCS	30
Obr. 11 Systém ETCS Level 1	32
Obr. 12 Systém ETCS Level 2	33
Obr. 13 Systém ETCS Level 3	35
Obr. 14 Movement Authority	38
Obr. 15 Oblast odesílání žádosti o nové MA	39
Obr. 16 Body dle systému ETCS	40
Obr. 17 Symbol nezabezpečeného přejezdu	41
Obr. 18 Body systému ETCS při využití paketu 88	42
Obr. 19 Graf brzdných křivek osobního vlaku – délka 83 metrů	45
Obr. 20 Graf brzdných křivek nákladního vlaku – délka 600 metrů	46
Obr. 21 Půdorys teoretického přejezdu – 90°	51
Obr. 22 Půdorys teoretického přejezdu – úhel x	52
Obr. 23 Body systému ETCS pro různé charaktery vlaků	56
Obr. 24 Vývojový diagram komunikace systému ETCS	58
Obr. 25 Rozdělení MA na sekce	59
Obr. 26 Volba času žádosti o nové MA	60
Obr. 27 Body systému ETCS a adaptivní technologie	62
Obr. 28 Graf celkové doby uzavření železničního přejezdu	78
Obr. 29 Graf celkové doby čekání UPK	79

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Vybrané železniční přejezdy	26
Tab. 2 Hodnoty celostátního sčítání dopravy 2016	27
Tab. 3 Odvození bodů dle systému ETCS	43
Tab. 4 Parametry vlaků	43
Tab. 5 Výsledné hodnoty bodů pro osobní vlak – délka 200 metrů	44
Tab. 6 Výsledné hodnoty bodů pro osobní vlak – délka 83 metrů	44
Tab. 7 Výsledné hodnoty bodů pro nákladní vlak – délka 400 metrů	45
Tab. 8 Výsledné hodnoty bodů pro nákladní vlak – délka 600 metrů	46
Tab. 9 Proměnné teoretického přejezdu	50
Tab. 10 Konstanty teoretického přejezdu	50
Tab. 11 Proměnné teoretického přejezdu – celé závory 90°	52
Tab. 12 Délka přibližovacího úseku – celé závory 90°	53
Tab. 13 Proměnné teoretického přejezdu – celé závory 73°	53
Tab. 14 Délka přibližovacího úseku – celé závory 73°	54
Tab. 15 Proměnné teoretického přejezdu – bez závor	54
Tab. 16 Délka přibližovacího úseku – bez závor	55
Tab. 17 Charaktery vlaků	64
Tab. 18 Průměrné doby uzavření přejezdu – adaptivní technologie	65
Tab. 19 Průměrné doby uzavření přejezdu – pevně stanovená DPÚ	66
Tab. 20 Průměrné doby uzavření přejezdu – skutečná DPÚ	67
Tab. 21 Průměrná doba uzavření železničního přejezdu dle zvolené technologie	68
Tab. 22 Souhrn dob uzavření železničního přejezdu dle zvolené technologie	68
Tab. 23 Průměrná doba uzavření železničního přejezdu – 140 km/h	69
Tab. 24 Souhrn dob uzavření železničního přejezdu – 140 km/h	69
Tab. 25 Průměrná doba uzavření železničního přejezdu – změna skladby	70
Tab. 26 Souhrn dob uzavření železničního přejezdu – změna skladby	70
Tab. 27 Souhrn dob uzavření železničního přejezdu – s/bez ETCS	71
Tab. 28 Harmonogram jízd	74
Tab. 29 Předdefinované charaktery vlaků	74
Tab. 30 Výstup dopravního modelu – Červenka, Olomouc (P6250)	75
Tab. 31 Výstup dopravního modelu – Úvaly, Praha východ (P4933)	76
Tab. 32 Výstup dopravního modelu – Šakvice, Břeclav (P6795)	77

Tab. 33 Výstup dopravního modelu – Svitavy (P6828)	77
--	----

SEZNAM ZKRATEK

BTM	Balise Transmission Module
ČD	České dráhy
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
D_LX	Vzdálenost balízy od přejezdu
DMI	Driver Machine Interface
DPÚ	Délka přibližovacího úseku
DSP	Dynamic Speed Profile
EBD	Emergency Brake Deceleration
EBI	Emergency Brake Intervention
EOA	End Of Authority
ERTMS	European Rail Traffic Management System
ETCS	Euro Train Control System
EU	Evropská unie
EVC	European Vital Computer
GSM-R	Global System for Mobile Communications – Railway
HV	Hnací vozidlo
I	Indication
JRU	Juridical Recording Unit
L_LX	Vzdálenost od železničního přejezdu
LTM	Loop Transmission Module
LZB	Linienzugbeeinflussung
MA	Movement Authority
MAR	Movement Authority Request
MRSP	Most Restrictive Speed Profile

P	Permitted Speed
PD	Přibližovací doba
PK	Pozemní komunikace
PL	Perturbation Location
PZS	Přejezdový zabezpečovací systém
PZZ	Přejezdové zabezpečovací zařízení
RBC	Radiobloková centrála
RPDI	Roční průměr denních intenzit
RSB	Reálný spínací bod
SSP	Static Speed Profile
SVL	Supervises Location
SŽ	Správa železnic
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty
T_MAR	Čas žádosti o nové povolení k jízdě
TIU	Train Interface Unit
TP	Technické podmínky Ministerstva dopravy
TTP	Tabulka trat'ových poměrů
UPK	Uživatel pozemní komunikace
V_LX	Rychlost přes přejezd
VSP	Virtuální spínací bod
W	Warning Speed
ZUB	Zugbeeinflussung
ZZ	Zabezpečovací zařízení
ŽKV	Železniční kolejové vozidlo

ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá problematikou technologicko-provozních aspektů úrovnového křížení dráhy a pozemní komunikace. Dosavadně nejbezpečnějším řešením křížení pozemní komunikace a dráhy je křížení mimoúrovňové, to je ale stále velmi nákladné, proto je nejčastějším typem křížení železniční přejezd.

V bakalářské práci (1) bylo zjištěno, že uživatel pozemní komunikace reaguje na bezpečnostní prvky přejezdu různorodým způsobem. Jedním z mnoha prohřešků, který často způsobuje mimořádné události, je nerespektování pravidel silničního provozu a pravidel bezpečného chování v obvodu křížení dráhy a pozemní komunikace. Uživatelé pozemní komunikace buď nerespektovali bezpečné chování na železničních přejezdech, nebo nerespektovali výstražné zařízení železničního přejezdu. V těchto případech docházelo k projetí železničního přejezdu ve výstraze – roli při rozhodování uživatele pozemní komunikace by mohla hrát i doba uzavření železničního přejezdu. Čím delší je doba čekání před přejezdem, tím větší jsou pochybnosti o správné funkčnosti přejezdu a tím větší je i pokušení jej projet.

Hlavním problémem železničního přejezdu je z technologického hlediska délka přibližovacího úseku, která je dimenzována na nejvyšší dovolenou rychlost traťového úseku (až 160 km/h). Z hlediska bezpečnosti je vše v pořádku. K uzavření železničního přejezdu dojde vždy včas, ale při průjezdu pomalejšího vlaku (nákladní vlak – 100 km/h) není uzavření železničního přejezdu optimální. Prodlužuje se doba uzavření železničního přejezdu a s tím narůstá riziko nerespektování pravidel silničního provozu. Vzniká otázka, jak by bylo možné adaptivně měnit délku přibližovacího úseku na základě rychlosti a charakteru vlaku, když tyto informace nejsou nijak ověřené? Odpovědí by mohl být nově testovaný systém *Euro Train Control System* (ETCS) Level 2. Tento systém pracuje s informacemi o vlaku, zná jeho charakter a rychlost. Z tohoto hlediska lze teoreticky provázat jednotlivé prvky systému, díky kterým by bylo možné adaptivně volit délku přibližovacího úseku na základě znalosti informací o konkrétním vlaku.

Cílem diplomové práce je analýza technologicko-provozních aspektů křížení dráhy a pozemní komunikace a návrh adaptivní délky přibližovacího úseku.

1 ANALÝZA TECHNOLOGICKO-PROVOZNÍCH ASPEKTŮ ŽELEZNIČNÍHO PŘEJEZDU

V teoretické části práce bude provedena analýza technologicko-provozních aspektů železničního přejezdu. Součástí této analýzy je definování pojmů vycházejících z České technické normy (ČSN) 34 2650 týkajících se uzavírání železničního přejezdu na popud jízdy vlaku. Dále bude provedena analýza druhů vlaků a jejich rychlosti, průzkum vybraných přejezdů a popis a funkce systému ETCS včetně komunikačního systému *Global System for Mobile Communication for Railways*.

Technologické ukazatele přejezdového zabezpečovacího systému tvoří součást technického a technologického celku přejezdového zabezpečovacího zařízení (PZZ). Tyto systémové prvky doprovázejí PZZ jak před samotnou aktivací výstrahy na PZZ, tak při reakci PZZ na popud průjezdu železničního kolejového vozidla (ŽKV) přibližovacím úsekem, anulačním úsekem a vzdalovacím úsekem PZZ, když je tento systém ve výstraze. Technologické ukazatele ovlivňující přejezdový zabezpečovací systém (PZS):

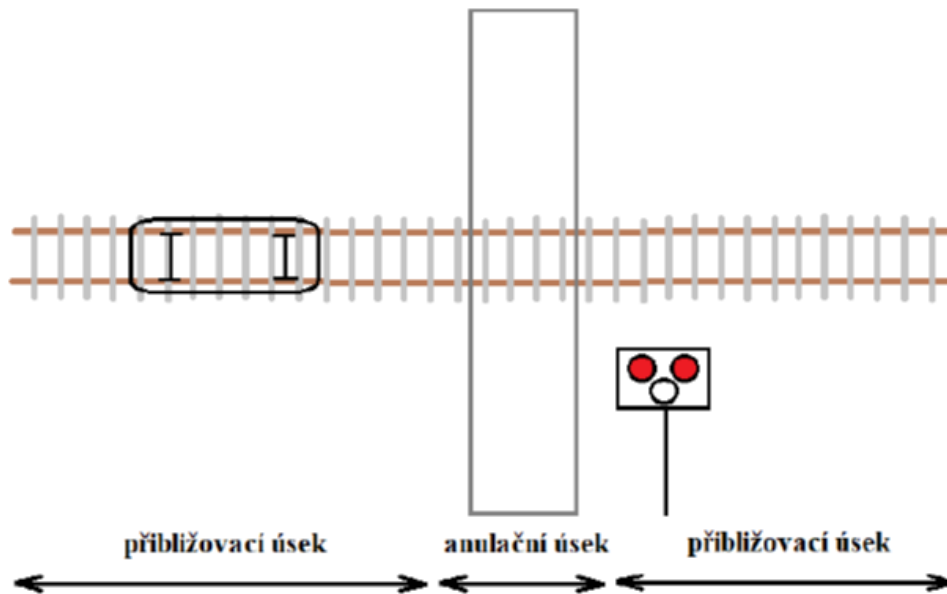
- a) Bez závor
- b) S polovičními závory
- c) S celými závory.

Přejezdové zabezpečovací systémy bez závor jsou systémy, které disponují pouze výstražníkem. Systémy s polovičními závory jsou PZS, u kterých sklopené závory přehrazují u obousměrné komunikace pouze jízdní pruhy ve směru jízdy na železniční přejezd. PZS s celými závory jsou standardní PZZ, kde se závory spouštějí přes oba jízdní pruhy.

Technologické ukazatele přejezdového zabezpečovacího systému definuje norma **ČSN 34 2650 „Železniční zabezpečovací zařízení – Přejezdová zabezpečovací zařízení“** (2). Technologické ukazatele PZS lze zařadit do fáze aktivace spínacího bodu přejezdu ŽKV, neboť jednotlivé technologické ukazatele upravují, kdy a jak dlouho bude přejezd ve výstraze, kdy a jak dlouho budou spuštěny závory. Technologické ukazatele jsou součástí fungování přejezdu také během výstrahy PZZ, kdy ŽKV postupně mívá úseky PZZ u samotného přejezdu. Mezi tyto úseky patří:

- a) Přibližovací úsek
- b) Anulační úsek
- c) Vzdalovací úsek.

Jednotlivé úseky jsou vyobrazeny na obrázku (1).



Obr. 1 Úseky železničního přejezdu

Zdroj: (Autor)

Technologické ukazatele PZS návazně na PZZ zabezpečují železniční přejezd s výstražníkem bez závor a s výstražníkem s břevny závor. Z hlediska legislativního je železniční přejezd jako takový definován ve dvou úrovních:

- a) Silniční doprava
- b) Železniční doprava.

V oboru silniční dopravy je železniční přejezd definován Zákonem č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů, Zákonem č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů. Výše zmíněné předpisy definují bezpečné chování v okolí železničního přejezdu a poukazují na postih, který plyne z nedodržení těchto předpisů. (1)

Z hlediska železniční dopravy je železniční přejezd definován převážně Zákonem č. 266/1994 Sb., o drahách, ve znění pozdějších předpisů. Součástí jsou také vyhlášky a ČSN normy, které byly popsány v bakalářské práci (1). **Norma ČSN 34 2650 je pro tuto diplomovou práci zásadní.**

1.1 Železniční zabezpečovací zařízení – ČSN 34 2650

Norma ČSN 34 2650 zajišťuje formou základních technických požadavků a řešení PZZ bezpečnost při křížení silničních a drážních vozidel, cyklistů a chodců na dráze celostátní, regionální a na vlečkách. Součástí normy jsou definice pojmů, technické požadavky na PZZ a PZS, metodiky výpočtu délek přejezdu, metodika výpočtu dob PZS a metodika výpočtu délky přibližovacího úseku. V příloze této normy jsou navíc technické výkresy ve formě půdorysu přejezdu, nákresy samotného výstražníku se závoryami i bez a tabulky.

Doba výstrahy, včetně doby uzavření přejezdu závoryami a jeho následného otevření, až po ukončení výstrahy přejezdu, je ovlivněna aspekty:

- a) Délka přibližovacího úseku
- b) Přibližovací doba
- c) Vyklizovací doba
- d) Předzváněcí doba. (2)

1.1.1 Délka přibližovacího úseku

Délka přibližovacího úseku je definována v ČSN 34 2650 jako L_P . Délka přibližovacího úseku je vzdálenost, kterou ŽKV urazí nejvyšší dovolenou rychlostí traťového úseku před železničním přejezdem. Délka přibližovacího úseku je definována rovnicí:

$$L_P = \frac{1}{3,6} \cdot V_t \cdot t_L, \quad (1)$$

kde L_P je délka přibližovacího úseku (m);

V_t ... nejvyšší dovolená rychlost na rozhodujícím úseku před přejezdem ($km \cdot h^{-1}$);

t_L ... přibližovací doba (s).

Délka přibližovacího úseku se měří od bližšího okraje jízdního pruhu na pozemní komunikaci (PK). Pokud se v traťovém úseku, který kříží PK, nachází koleje s různou nejvyšší dovolenou rychlostí, je délka dána součtem nejvyšších dovolených rychlostí a součtem přibližovacích dob. Vzorec pro různé součty dílčích délek je definován rovnicí:

$$L_P = \frac{1}{3,6} \cdot \sum_{i=1}^n V_{ti} \cdot \sum_{i=1}^n t_{Li} \quad (2)$$

Použití rovnice (2) je možné jen tam, kde má různost rychlostí trvalý charakter. Pokud je tomu naopak, je doporučeno počítat v celém přibližovacím úseku jen s nejvyšší rychlostí.

V návaznosti na tuto diplomovou práci je délka přibližovacího úseku ten technologický prvek systému, který bude dále upravován v závislosti na rychlosti ŽKV dle jeho předem definovaného charakteru. (2)

1.1.2 Přibližovací doba

Přibližovací doba (PD) je potřebný údaj, který slouží pro výpočet délky přibližovacího úseku. Je dána součtem vyklizovací doby a dalších dílčích dob. PD je nejkratší možná doba od okamžiku, kdy PZS reaguje na jízdu ŽKV, do doby, kdy čelo ŽKV může vjet na železniční přejezd. Dle ČSN 34 2650 je přibližovací doba definována třemi vzorci:

- a) U přejezdu s PZS bez závor

$$t_l = t_r + t_v + t_{b1} + t_{b2}, \quad (3)$$

- b) U přejezdu s PZS s polovičními závorami

$$t_l = t_r + t_v + t_{b1} + t_{b2} + t_x, \quad (4)$$

- c) U přejezdu s PZS s celými závorami

$$t_l = t_r + t_v + t_{b1} + t_{b2} + t_u + t_{u2}, \quad (5)$$

kde t_l je přibližovací doba (s);

t_r ... doba reakce zařízení (s);

t_v ... vyklizovací doba (s);

t_{b1} ... základní bezpečnostní doba (s);

t_{b2} ... přídavná bezpečnostní doba (s);

t_u ... doba sklápění břevna závor (s);

t_{u2} ... doba povelu sklápění závor (s);

t_x ... přídavná doba na úplné sklopení závor (s).

Vždy je počítáno s dobou reakce zařízení na ŽKV, vyklizovací dobou, základní bezpečnostní dobou (doba, která se počítá poté, co skončí vyklizovací doba) a přídavnou bezpečnostní dobou (toleranční doba při zaokrouhlování). Vzorec (4) pro přejezdy se systémem PZS s polovičními závorami uvažuje navíc proměnou přídavné doby na úplné sklopení závor. Vzorec (5) pro přejezd s celými závorami je doplněn o proměnnou doby sklápění břevna a doby povelu sklápění břevna závor. (2)

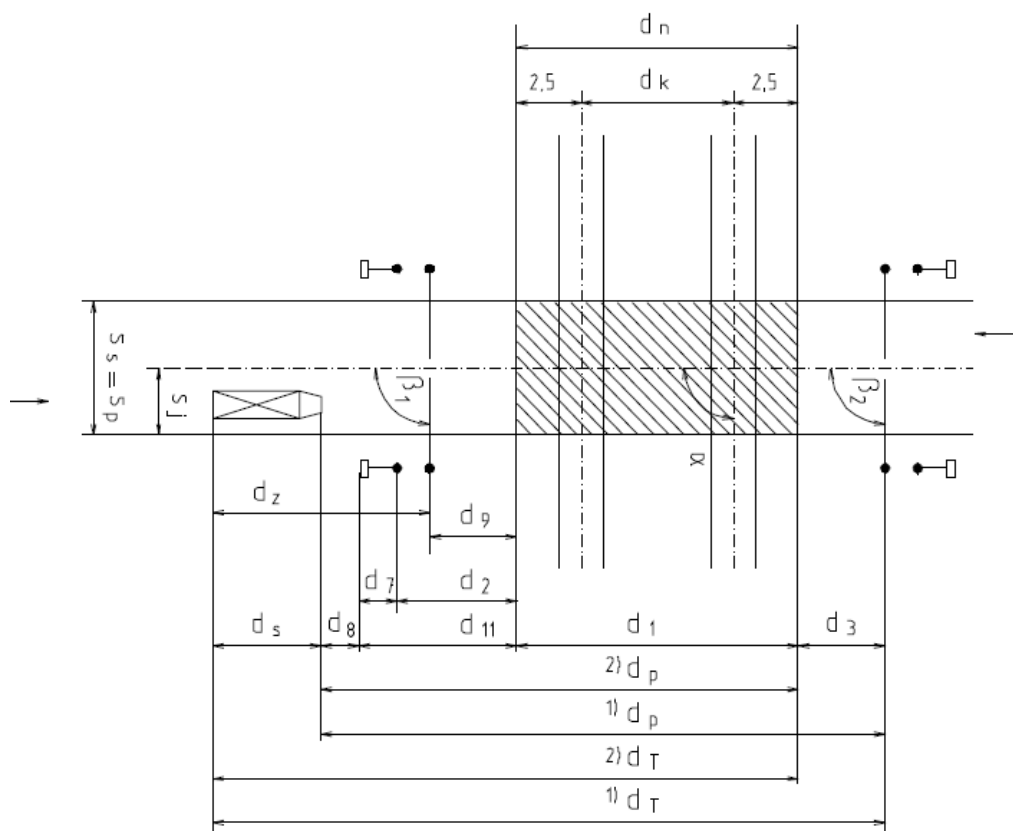
Tyto vzorce nejsou předmětem návrhu v diplomové práci, ale bez těchto vzorců není možné spočítat výslednou délku přibližovacího úseku, která už předmětem změny je.

1.1.3 Vyklizovací doba

Součástí železničního přejezdu je provoz na pozemní komunikaci, která kříží dráhu. Uživatelé PK využívají různé formy přemístění a různé formy dopravních prostředků (chůze, kolo, osobní automobil, nákladní automobil atd.). Každá forma i předmět přemístění má vlastní charakter. Převážně se jedná o rozměry a rychlost. Norma ČSN tyto charakteristiky definuje pro nejpomalejší a nejdelší silniční vozidlo, cyklistu nebo chodce:

- Nejpomalejší a nejdelší silniční vozidlo (22 metrů, 5 km/h)
- Cyklista (3 metry, 3 km/h)
- Chodec (3 metry, 3 km/h).

Charakteristiky silničního vozidla, cyklisty nebo chodce přímo ovlivňují vyklizovací dobu. Jedná se totiž o nejkratší dobu, při které může přes železniční přejezd projet nejdelší a nejpomalejší silniční vozidlo, cyklista nebo chodec, kteří jsou ve vzdálenosti d_8 (vzdálenost, ze které je možno zpozorovat změnu stavu výstražníku dle obrázku (2) před výstražníkem, nebo břevnem závoře).



Obr. 2 Přejezd s kolmým úhlem křížení

Zdroj: (2)

Vyklizovací doba ovlivňuje výslednou přibližovací dobu, tím pádem také celkovou délku přibližovacího úseku. Vyklizovací doba je dána vzorcem:

$$t_V = 3,6 \cdot d_T \cdot V_S^{-1}, \quad (6)$$

kde t_V je vyklizovací doba (s);

d_T ... délka směrodatná pro výpočet vyklizovací doby (m);

V_S ... rychlost nejpomalejšího silničního vozidla ($km \cdot h^{-1}$).

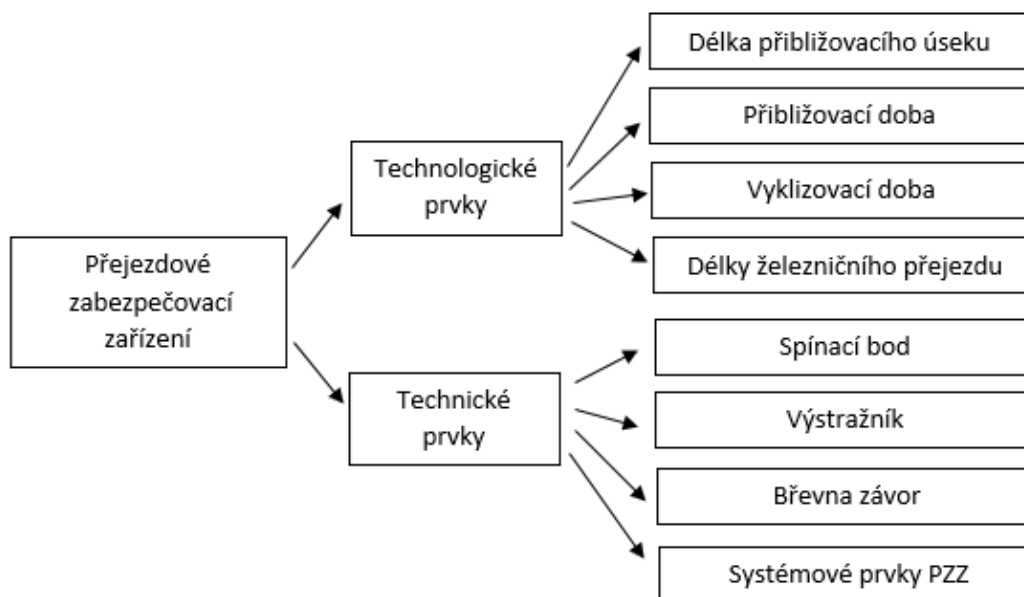
Vzorec (6) vyklizovací doby je složen z proměnné „délka směrodatná pro výpočet vyklizovací doby“. Tato proměnná se skládá z délek železničního přejezdu a silničního vozidla (viz obrázek (2) výše). Délka železničního přejezdu a délka a rychlost silničního vozidla ovlivňují dobu, za kterou je schopen uživatel pozemní komunikace (UPK) opustit prostor železničního přejezdu. Z tohoto důvodu vzorec (6) přímo ovlivňuje přibližovací dobu a následnou délku přibližovacího úseku. (2)

1.1.4 Předzváněcí doba

Předzváněcí doba tvoří technologickou část PZS se závorami. Definiuje dobu od spuštění výstrahy při interakci PZS s ŽKV do okamžiku, kdy se mohou spouštět břevna závor. Pokud je PZS s celými závorami, je předzváněcí doba shodná s přibližovací dobou. Naopak, pokud jsou závory přejezdu poloviční, je potřeba brát v úvahu délky směrodatné pro výpočet předzváněcí doby, které jsou spolu s koeficientem 3,6 násobeny s rychlostí nejpomalejšího silničního vozidla. (2)

1.1.5 Návaznost technologie PZS

Výše zmíněné technologické prvky (doby a délky) PZS vytváří jeden systémový celek, který spolu s PZZ tvoří kostru systému zabezpečení železničního přejezdu (dle obrázku (3)).



Obr. 3 Kostra systému PZZ

Zdroj: (Autor)

Jízdu ŽKV tyto prvky systému neovlivňují, naopak ovlivňují kapacitu¹ a bezpečnost pozemní komunikace na daném úseku. Kapacita je ovlivněna dočasným zastavením provozu na PK přejezdovým zabezpečovacím systémem v místě, kde PK kříží dráhu, a to po dobu, kdy je přejezd z bezpečnostních důvodů uzavřen (přejezd ve výstraze na popud ŽKV). Bezpečnost ovlivňuje PZZ vizuálním či fyzickým oddělením železničního provozu od silničního pomocí výstražníku bez a se závorami. Možnost, jak zvýšit propustnost a bezpečnost železničního přejezdu, je vést PK mimoúrovňově. Toto řešení je opodstatněné na koridorových tratích nebo u křížení dráhy s PK 1. třídy. Stále jde o finančně nejnáročnější řešení, obzvláště pokud se na železniční síti ČR nachází 7 858 železničních přejezdů (4).

Další možností je vytvořit tzv. adaptivní délku přibližovacího úseku, která se mění na základě charakteru vlaku, který je předem znám. Pokud bude systémem předem definována maximální rychlost ŽKV, která nepřekračuje rychlost traťovou, je technologicky možné dle vzorce (1) upravovat délku přibližovacího úseku. Teoreticky lze říci, že délka adaptivního přibližovacího úseku pro vlak jedoucí 160 km/h (konvenční ŽKV osobní dopravy) může být jiná, než pro vlak jedoucí 100 km/h (nákladní vlak). Tato diplomová práce slouží jako podklad k porovnání, zdali u vybraného přejezdu dojde k úspoře doby čekání před železničním přejezdem a možnému navýšení bezpečnosti PK v závislosti na úpravě adaptivní délky přibližovacího úseku, neboť délka přibližovacího úseku ovlivňuje dobu, po kterou je železniční přejezd pro UPK uzavřen.

¹ Kapacita = maximální intenzita, kterou je daný prvek infrastruktury schopen pojmout; intenzita = počet vozidel za jednotku času [voz/h], [voz/den].

1.2 Rychlosti vlaků

Rychlost vlaku je základní prvek, který ovlivňuje přibližovací úsek, a tím pádem i čas, po který bude železniční přejezd pro UPK uzavřen. Rychlost vlaku upravuje předpis SŽDC (ČD) D2 a předpis SŽDC (ČD) D4. Oba tyto předpisy jsou závazné pro všechny dopravce, kteří na dráze Správy železnic (SŽ) provozují železniční dopravu. Předpis SŽDC (ČD) D2 rychlosti vlaků rozděluje na:

- a) Základní rychlost vlaku
- b) Traťová rychlost
- c) Stanovená rychlost
- d) Nejvyšší dovolená rychlost
- e) Konstrukční rychlost. (3)

Základní rychlost vlaku

Rychlost, která je definována dle druhu vlaku předpisem SŽDC (ČD) D2 a předpisem SŽDC (ČD) D4.

Traťová rychlost

Traťová rychlost je maximální dovolená rychlost, kterou je možné daný úsek s ŽKV projet. Je uvedena v tabulce traťových poměrů (TTP). Pokud dochází ke změně rychlosti v úseku trati, je změna vyznačena rychlostníky. (3)

Stanovená rychlost

Stanovená rychlost je rychlost omezená traťovou rychlostí, přechodným omezením rychlosti, hlavními návěstidly, konstrukční rychlostí nebo technickým stavem jak vozidla, tak infrastruktury. (3)

Konstrukční rychlost

Nejvyšší rychlost, kterou může hnací a speciální vozidlo jet vzhledem ke svým konstrukčním charakteristikám.

Tato diplomová práce uvažuje všechny tyto rychlostní definice. Rychlost tvoří charakter vlaku a je ovlivňována z hlediska druhu vlaku, maximální dovolené rychlosti traťového úseku, stanovené rychlosti (rychlost omezená dle stavu a omezení infrastruktury) a konstrukční rychlosti ŽKV. Tyto rychlostní charakteristiky ovlivňují rychlost, kterou ŽKV projíždí traťový úsek, jehož součástí jsou i železniční přejezdy. Žádný z vlaků nesmí překročit základní rychlost,

1.3 Průzkum železničního přejezdu

Z důvodu ověření proveditelnosti zavedení prvku adaptivní délky přibližovacího úseku je potřeba provést analýzu dat dopravních intenzit v obvodu reálných železničních přejezdů. Z vybraného vzorku železničních přejezdů byly vybrány problémové železniční přejezdy, u kterých je možnost vysoké diverzifikace rychlosti vlaků dle druhů vlaků. Data byla získávána z webových stránek Ředitelství silnic a dálnic, konkrétně z dat celostátního sčítání dopravy 2016 (6). K celostátnímu sčítání dopravy došlo dle Ředitelství silnic a dálnic v roce 2000, 2005, 2010, 2016 a další průzkum se připravuje v roce 2020 dle aktuální situace. Vybrané průzkumy jsou bodové a byly prováděny formou pozorování. Hlavní hodnoty získané celostátním sčítáním dopravy jsou:

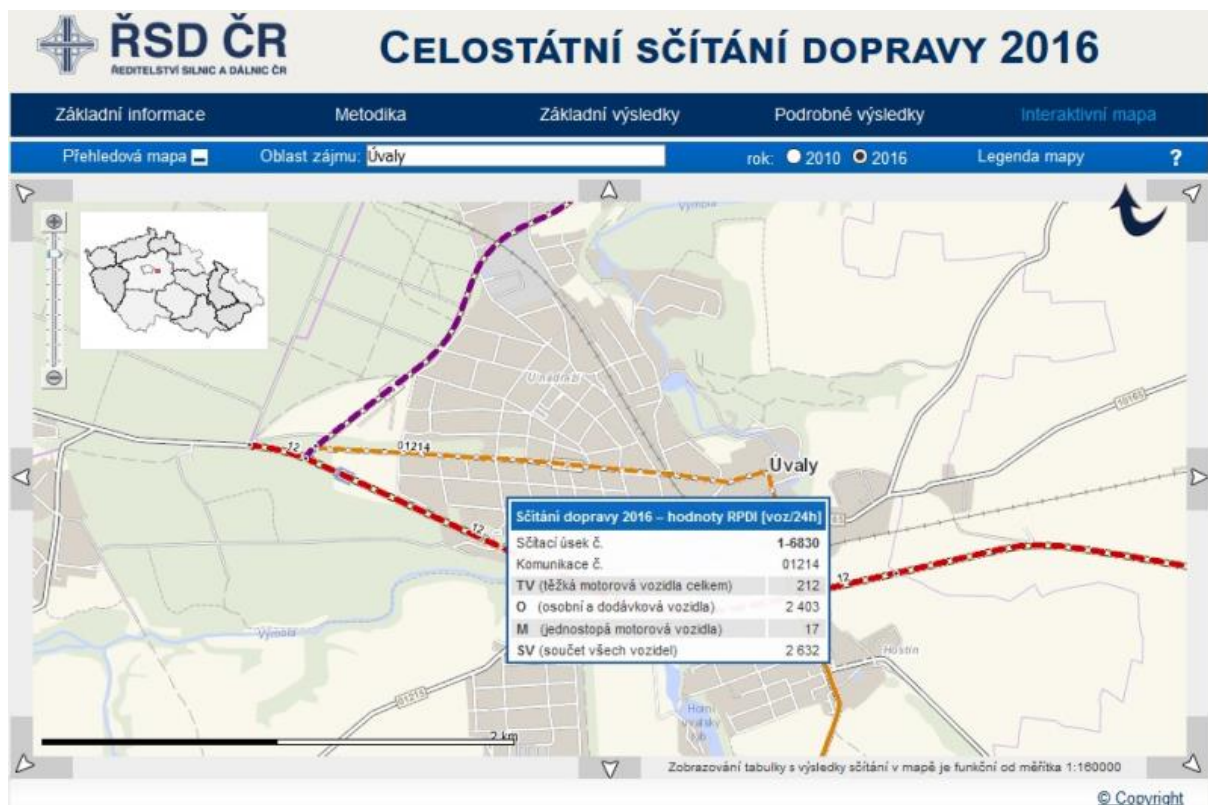
- a) Druh silničního vozidla
- b) Roční průměry denních intenzit dopravy (RPDI)², pracovní den
- c) Roční průměry denních intenzit dopravy, volné dny
- d) Roční průměry denních intenzit dopravy, pracovní den – různé druhy vozidel
- e) Roční průměry denních intenzit dopravy, volné dny – různé druhy vozidel
- f) Špičková hodinová intenzita dopravy³
- g) Roční průměry denních intenzit dopravy, dle času
- h) Padesátirázová intenzita dopravy⁴
- i) Roční špičková hodinová intenzita dopravy. (6)

² Roční průměr denních intenzit dopravy (RPDI) = aritmetický průměr denních intenzit dopravy všech dnů v roce [voz/h].

³ Špičková hodinová intenzita dopravy = nejvyšší hodinová intenzita dopravy [voz/hod].

⁴ Padesátirázová intenzita dopravy $I_{50} = 50$. nejvyšší hodnota hodinové intenzity dopravy v kalendářním roce [voz/h]. (8)

Hodnoty celostátního sčítání dopravy jsou získávány dle zásad Technických podmínek (TP) 189 – Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích. Na obrázku (4) je zobrazena interaktivní mapa, na které jsou po označení vybraného úseku zobrazeny hodnoty příslušného průzkumu. Tato mapa je spravována internetovou stránkou Ředitelství silnic a dálnic. (7)



Obr. 4 Interaktivní mapa vybraného dopravního průzkumu

Zdroj: (7)

Po zobrazení dialogového okna lze získat informaci o číslu sčítacího úseku. Toto číslo je směrodatné pro orientaci v excelovské tabulce vydávanou Ředitelstvím silnic a dálnic. Z excelovské tabulky lze získat hodnoty zmíněné výše. Získané hodnoty jsou zásadní pro tuto diplomovou práci v rámci ověření, zdali optimalizace pomocí adaptivní délky přibližovacího úseku za pomoci systému ETCS vede k úspoře času uzavření železničního přejezdu a tím také k navýšení bezpečnosti, neboť kratší doba, po kterou je přejezd uzavřen, může vést k většímu respektování pravidel silničního provozu UPK.

Data sčítání dopravy

Na základě rozboru vybraného vzorku přejezdů byly vybrány takové typy železničních přejezdů, které odpovídají možnému návrhu teoretického přejezdu. Převážně se jedná o takové přejezdy, kde dochází k časté diverzifikaci rychlosti jednotlivých druhů vlaků. Železniční přejezdy vybrané pro tuto práci jsou zobrazeny v tabulce (1).

Tab. 1 Vybrané železniční přejezdy

Zdroj: (Autor, 17)

Železniční přejezd	Obec	Okres	Počet kolejí	Rychlost [km/h]
P6520	Červenka	Olomouc	2	160
P4933	Úvaly	Praha východ	3	140
P6795	Šakvice	Břeclav	2	160
P6828	Svitavy	Svitavy	2	140

Výše zobrazené železniční přejezdy reprezentují vybraný vzorek přejezdů s údaji, které budou směrodatné pro analýzu návrhového prvku adaptivní délky přibližovacího úseku v návaznosti na ETCS. Přejezdy P6520, P4933, P6795 a P6828 jsou vyobrazeny na obrázku (5), (6), (7) a (8).

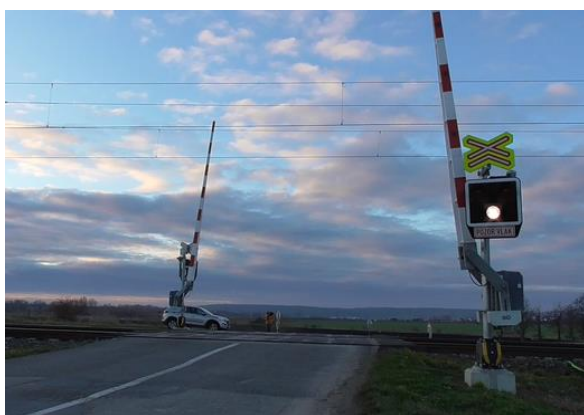


Obr. 5 Přejezd Červenka, Olomouc (P6520)



Obr. 6 Přejezd Úvaly, Praha východ (P4933)

Zdroj: (16)



Obr. 7 Přejezd Šakvice, Břeclav (P6795)



Obr. 8 Přejezd Svitavy (P6828)

Zdroj: (16)

Vybrané železniční přejezdy zabezpečují PZS s výstražníkem a celými závory (závory uzavírají komunikaci v obou směrech). Traťová rychlost je v těchto úsecích v rozmezí od 140 do 160 km/h.

Tabulka (2) zobrazuje hodnoty získané z celostátního sčítání dopravy z roku 2016.

Tab. 2 Hodnoty celostátního sčítání dopravy 2016

Zdroj: (6)

Železniční přejezd	Padesátirázová intenzita [voz/hod]	Špičková intenzita [voz/hod]	RPDI (6 – 18) [voz/den]	RPDI (18 – 22) [voz/den]	RPDI (22 – 6) [voz/den]
P6520	54	49	351	53	40
P4933	353	322	2 120	340	171
P6795	114	103	655	102	62
P6828	80	73	525	79	53

Hodnoty získané z průzkumu budou sloužit jako podklad pro ověření optimalizace při využití návrhového prvku adaptivní délky přibližovacího úseku. Konkrétně budou hodnoty využity jako vstupy pro sestavení dopravního modelu, ze kterého budou získávány hodnoty celkové doby uzavření železničního přejezdu, počet dotčených UPK jízdou ŽKV a celková doba čekání UPK před železničním přejezdem.

1.4 Euro train control system

Z historického hlediska vznikaly železniční systémy v Evropě odděleně. Každá země vedla vlastní vývoj v tomto odvětví, je tedy patrné, že s razantním nástupem železniční dopravy muselo dojít k prohloubení technologického a technického rozdílu napříč Evropou. První myšlenky o jednotném železničním systému v Evropě přišly se vznikem Evropské unie. Postupem času začala Evropa řešit otázku jednotného hospodářského prostoru, s nímž souvisí také hledání způsobů, jak rozdíly v jednotlivých zemích minimalizovat. Co se týče železniční dopravy, řeší Evropská unie tento problém vydáním souboru směrnic, které upravují směr, kterým by se měl jednotný železniční systém vyvíjet. Převážně jde o směrnici Evropského parlamentu a Rady Evropské unie **2016/797 ze dne 11. května 2016 o interoperabilitě železničního systému ve společenství. (9)**

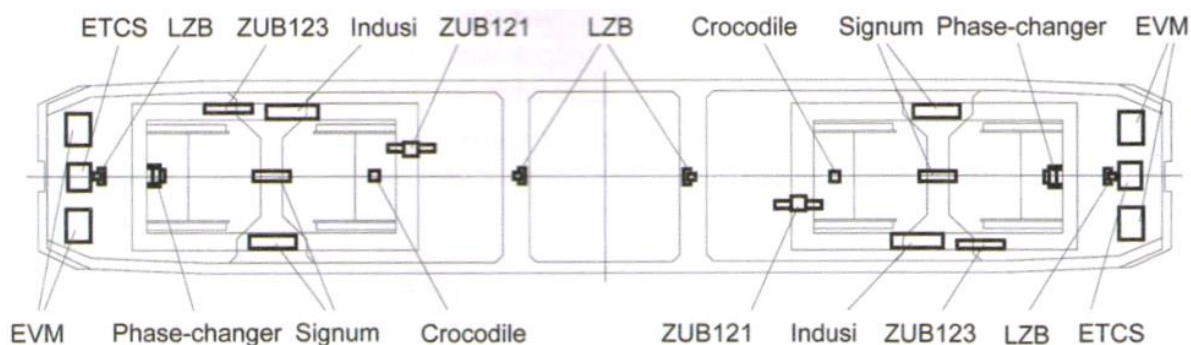
Hlavním účelem směrnice (9) je vytvoření železničního systému, kde je možno organizovat a zabezpečit železniční dopravu bez přerušení stanovených výkonů mezi státy Evropské unie. Z tohoto důvodu je potřeba plnit a dodržovat technické a technologické aspekty, které stanovuje výše zmíněná směrnice. Pokud jsou podmínky jednotnosti plněny, je možné takový železniční systém nazvat jako interoperabilní. Funkční interoperabilní systém železniční dopravy zlepšuje služby mezi jednotlivými státy a zjednodušuje mezinárodní kontakt s třetími zeměmi. Vytváří jednotný trh pro obnovu, modernizaci a provoz železničního systému v Evropské unii. Nespornou výhodou je zvýšení konkurenceschopnosti oproti jiným druhům dopravy. (5)

Součástí interoperability železniční dopravy v evropském systému je vývoj a postupné zavádění subsystémů, mezi které patří také systém *European Rail Traffic Management System* (ERTMS). Systém ERTMS je manažerský systém, jehož cílem je vytvoření interoperabilního železničního systému. Systém ERTMS se skládá z podsystémů:

- a) *Traffic Management Layer* (strategie, plánování, informace, monitorování)
- b) *Signalling* (integrovaný evropský signální systém)
- c) ETCS (systém jednotného vlakového zabezpečovače)
- d) GSM-R (železniční komunikace).

Subsystém, který je pro tuto diplomovou práci zásadní, je systém *European Train Control System* (ETCS) – systém jednotného vlakového zabezpečovače. Momentálně se na Evropské železnici vyskytuje mnoho nekompatibilních vlakových zabezpečovačů. Ve finální fázi může ŽKV vypadat jako na obrázku (9), kdy ŽKV musí disponovat vlakovým zabezpečovačem ETCS – evropský vlakový zabezpečovač, LZB – německý, rakouský a španělský vlakový

zabezpečovač, ZUB – Dánsko a Německo, Indusi – Německo, Srbsko, Rakousko a Rumunsko, Crocodile – Francie a Belgie. Pokud je potřeba, aby bylo vozidlo kompatibilní na více územích, je potřeba počítat s náklady na údržbu, instalaci a zakoupení několika systémů vlakového zabezpečovače. Pokud bude ETCS v celém evropském železničním systému, tyto náklady budou nižší. (5)



Obr. 9 Různé systémy vlakových zabezpečovačů v hnacím vozidle

Zdroj: (5)

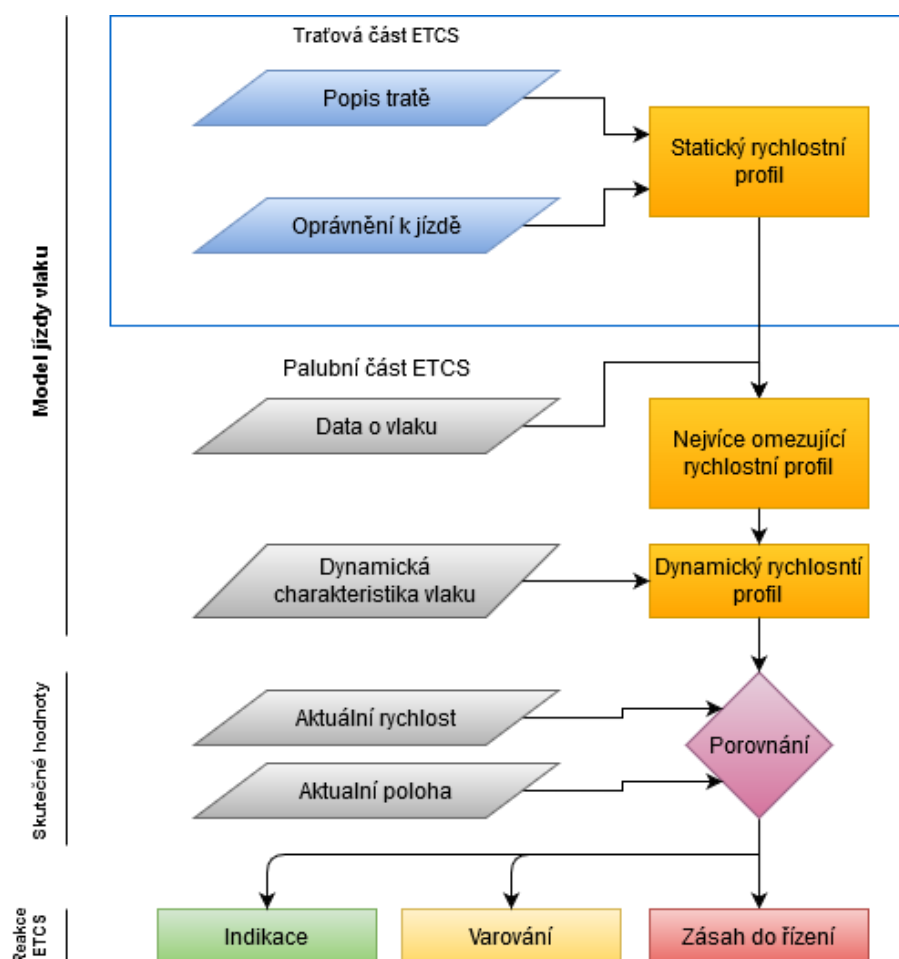
Z tohoto důvodu je vyvíjen systém ETCS, který je strukturálním podsystémem ERTMS, který by měl zajistit kompatibilitu ŽKV na celém území Evropského železničního systému.

Euro Train Control System vlakového zabezpečovače se skládá z:

- a) Infrastrukturní část
 - a. Radibloková centrála
 - b. Eurobalíza
 - c. *Euroloop* (koaxiální kabel)
 - d. *Lineside Electronic Unit*
 - e. Radiová komunikační síť GSM-R
 - f. *Radio in-fill unit* (radiový přijímač)
- b) Palubní část
 - a. *European Vital Computer* (EVC)
 - b. *Train Interface Unit* (TIU)
 - c. Odometry
 - d. *Driver Machine Interface* (DMI)
 - e. *Balise Transmission Module* (BTM)
 - f. *Loop Transmission Module* (LTM)
 - g. Euroradio a palubní část GSM-R
 - h. *Juridical Recording Unit* (JRU)
 - i. Specifický přenosový modul pro ETCS L0. (5)

1.4.1 Základní princip systému ETCS

System ETCS pracuje na základě předem definovaných hodnot, které porovnává s reálnou situací, která se vztahuje k samotné jízdě ŽKV. Zásadní jsou pro tento systém informace o trati a oprávnění k jízdě, které vytváří *static speed profile* (SSP) – statický rychlostní profil. Statický rychlostní profil je porovnán s daty o vlaku, ze kterého je definován *most restrictive speed profile* (MRSP) – nejvíce omezující rychlostní profil. Nejvíce omezující rychlostní profil přechází na *dynamic speed profile* (DSP) – dynamický rychlostní profil, který vzniká na základě informace o dynamické charakteristice vlaku. Výše zmíněné definice vytváří model jízdy vlaku, který je potřeba porovnat se skutečnou hodnotou, jako je aktuální rychlost jízdy vlaku a aktuální poloha vlaku. Výsledkem je reakce ETCS formou indikace, varování či zásahu do řízení. Ze základního principu, který je vyobrazen v obrázku (10) lze zjistit, že je možné získat jak hodnoty rychlosti předdefinované, tak hodnoty rychlosti aktuální. Tyto hodnoty jsou směrodatné pro sestavení adaptivní délky přibližovacího úseku. (5)



Obr. 10 Princip systému ETCS

Zdroj: (5)

System ETCS je dělen do několika úrovní:

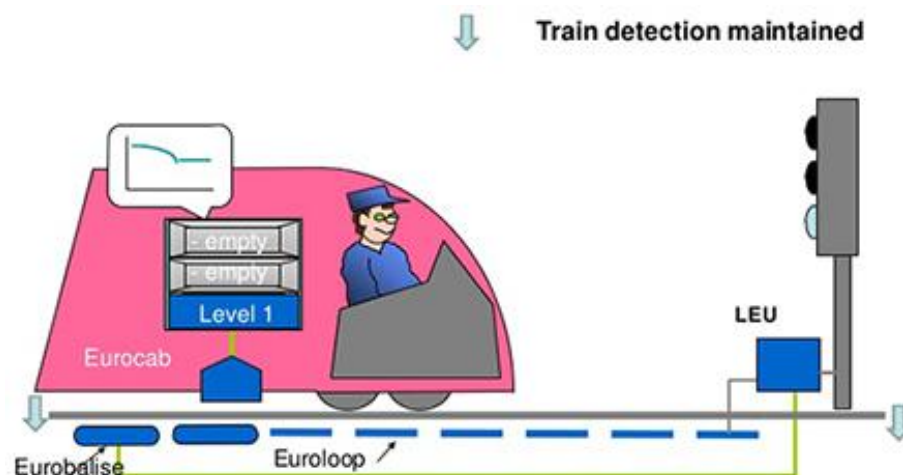
- a) ETCS Level 1
- b) ETCS Level 2
- c) ETCS Level 3
- d) Level 0 (na tratích bez infrastrukturního ETCS s ŽKV, které disponuje ETCS).

Každá z výše zmíněných úrovní vlakového zabezpečovače má rozdílnou úroveň chování systému a využívá rozdílnou interakci mezi vozidlem, strojvedoucím, infrastrukturou. (5)

1.4.2 Euro Train Control System Level 1

Jedná se o bodový vlakový zabezpečovač systému ETCS. Součástí je infrastrukturní část a zařízení vozidla, mezi kterými probíhá komunikace. Zabezpečení jízdy vlaku probíhá spojitě. Systém umožňuje dohlížet na pohyb vlaku v prostorově vymezené oblasti, aniž by docházelo k neoprávněnému překročení této hranice v dané oblasti. Systém dohlíží na dodržování nejvýše dovolené rychlosti jízdy ŽKV v každém místě trati, pro které má ŽKV oprávnění k jízdě. Vlakový zabezpečovač sleduje obě výše zmíněné hodnoty, a pokud je jedno z těchto pravidel porušeno, je strojvedoucí vlaku upozorněn na porušení pravidla, přičemž musí strojvedoucí reagovat. Pokud strojvedoucí nereaguje, postupuje ETCS Level 1 v souladu se zásadami železniční zabezpečovací techniky a zasahuje restriktivně do řízení hnacího vozidla.

Systém ETCS úrovně Level 1 lze využít v dopravnách s kolejovým rozvětvením vybavené staničním zabezpečovacím zařízením a v traťových úsecích, které jsou vybaveny traťovým zabezpečovacím zařízením. Systém stále počítá s činností hlavních návěstidel (interakce strojvedoucí a vizuální kontakt na návěstidlo). Volnost a obsazenost kolejových úseků je zjišťována pomocí prvků staničního a traťového zabezpečovacího zařízení. *Euro Train Control System* komunikuje na bázi vzájemného přenosu informací se staničním zabezpečovacím zařízením (ZZ) a traťovým ZZ, tyto informace určují aktuální stav a zabezpečení vlakové cesty. Přejezdová zabezpečovací zařízení nejsou součástí systému ETCS. (5)



Obr. 11 Systém ETCS Level 1

Zdroj: (10)

1.4.3 Euro Train Control System Level 2

Úroveň systému ETCS Level 2 je liniový vlakový zabezpečovač, který komunikuje na úrovni infrastruktura-vozidlo. Systém spojitě dohlíží na pohyb vlaku ve vymezené oblasti, která je hlídána, aby nedošlo k nepovolenému překračování hranic této oblasti. Samotná jízda je omezená nejvyšší dovolenou rychlostí v celém úseku, na který je vydáno povolení k jízdě systémem. Pokud dojde k porušení jedné z výše zmíněných podmínek, systém zakročí varováním a následně restriktivním zásahem do řízení. Systém ETCS Level 2 je určen pro dopravní s kolejovým rozvětvením vybavené staničním ZZ a tratě vybavené traťovým ZZ. (5)

Provoz je doplněn hlavními návěstidly. Za situace, kdy jsou ve sledovaném úseku všechny ŽKV, které disponují palubním zařízením komunikujícím dle aplikace systému ETCS Level 2, je možný provoz bez hlavních návěstidel. (5)

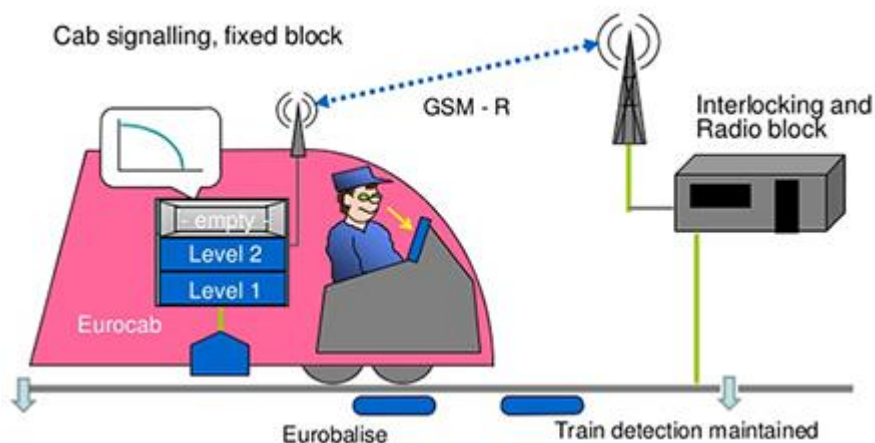
Staniční ZZ komunikuje s hlavním ústředím části systému ETCS Level 2, tj. radioblokovou centrálou (RBC). Součástí přenosu jsou definované informace o aktuálním stavu zabezpečení vlakové cesty v oblasti staničního zabezpečovacího zařízení. Na širé trati komunikuje traťové zabezpečovací zařízení s RBC, dochází k přenosu informací o stavu zabezpečení vlakové cesty konkrétního traťového oddílu, které konkrétní traťové ZZ zabezpečuje. Volnost a obsazenost kolejového úseku kontroluje prvek, který je součástí staničních a traťových ZZ. Systém ETCS L2 je pomocí RBC navázán na přejezdové zabezpečovací zařízení (PZZ). Existuje tedy možnost nastavit PZZ tak, aby byl upravován čas počátku výstrahy dle informace z RBC, která má přesné údaje o aktuální rychlosti vlaku.

Infrastrukturní část využívá ústřední prvek – radioblokovou centrálu. Hlavním úkolem tohoto systému je identifikace a sledování všech vlaků, které jsou vybaveny palubní součástí systému ETCS. Radiobloková centrála vydává oprávnění k jízdě na základě indikovaných stavů

staničního a traťového ZZ, předává informace palubní části ETCS v ŽKV, přijímá povely nadřazeného lidského činitele, komunikuje na základě předávaných informací s lidským činitelem. (5)

Palubní část systému určuje polohu vzhledem k referenčním bodům, jsou měřeny, získávány specifické veličiny a informace v průběhu jízdy ŽKV. Informace z palubní části jsou přenášeny do RBC. Mezi hlavní specifické veličiny a informace patří:

- a) Aktuální rychlost
- b) Informace od bodového a liniového infrastrukturního prvku
- c) Výpočet nejvíce omezujícího statického rychlostního profilu
- d) Výpočet dynamického rychlostního profilu
- e) Porovnávání hodnot aktuálních veličin s jízdou vlaku
- f) Restriktivní zásah do řízení při nevyhovující situaci
- g) Předávání a přijímání informací od strojvedoucího
- h) Ukládání dat pro zpětnou kontrolu.



Obr. 12 Systém ETCS Level 2

Zdroj: (10)

1.4.4 Euro Train Control System Level 3

Liniový vlakový zabezpečovací systém na principu radiové komunikace mezi infrastrukturou a ŽKV. Systém spojitě dohlíží na pohyb vlaků v dané oblasti bez neoprávněného překročení hranice oblasti, zároveň je kontrolována nejvyšší dovolená rychlost jízdy ŽKV v každé oblasti, na kterou bylo vydáno povolení k jízdě. Pokud je jeden z výše zmíněných bodů porušen, systém varuje a následně restriktivně zakročí do řízení ŽKV. Aby systém mohl být plně využíván, je potřeba, aby ve sledovaném úseku byla všechna vozidla vybavena zařízením podporujícím funkce systému ETCS Level 3. Tento systém je zatím veden

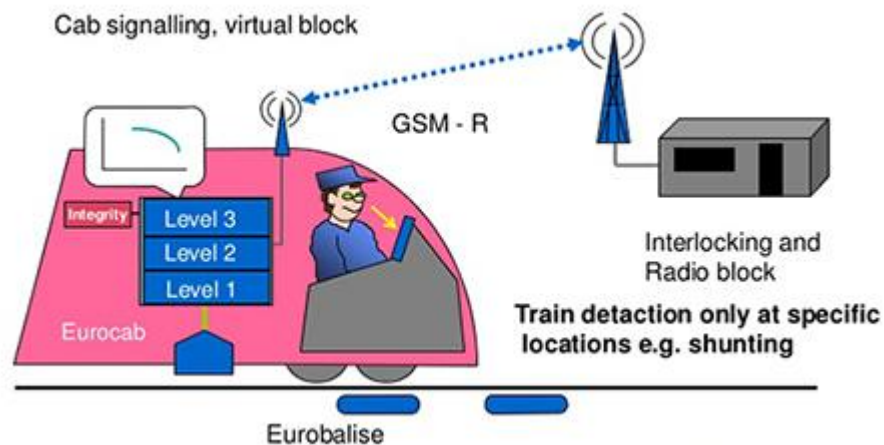
v teoretické fázi (není reálně nasazen). Systém lze využít v dopravnách, které jsou vybaveny staničním ZZ, pokud je ale doprava obsluhována dálkově integrovaně z radioblokové centrály, není nutnost, aby oblast byla vybavena infrastrukturním staničním zařízením. Traťové úseky jsou vybaveny traťovým ZZ, ale tak jako u staničního ZZ při systému ETCS Level 3, pokud je ovládání traťového úseku prováděno integrovaně přes RBC, není v oblasti potřeba infrastrukturního traťového ZZ. (5)

Aby tento systém mohl fungovat správně, je potřeba, aby staniční i traťové ZZ bylo schopné předávat všechny informace do RBC. Hlavní návěstidla již nejsou potřeba, předpokládá se, že všechna ŽKV jsou vybavena palubní částí systému ETCS Level 3. Celistvost vlaku určuje vozidlo pomocí technického prostředku. Přejezdové ZZ je součástí ETCS Level 3. Opět je zde tedy možnost úpravy délky přibližovacího úseku dle informace z RBC, která má přesné údaje o aktuální rychlosti vlaku.

Infrastrukturní část systému je schopna identifikovat všechny vlaky v dané oblasti, neboť všechny vlaky musí být vybaveny palubním zařízením ETCS Level 3. Systém zabezpečení ETCS Level 3 vydává oprávnění k jízdě na základě informací o konkrétním vozidle, je schopen sledovat polohu vlaku, získává informace o všech vlacích v dané oblasti, přijímá povely od obsluhujícího zaměstnance a předává důležité informace obsluhujícímu zaměstnanci. (5)

Palubní část systému ETCS Level 3 je komplexní soubor prvků, které umožňují:

- a) Rozpoznat polohu vzhledem k referenčním bodům
- b) Komunikaci s RBC
- c) Sledování rychlosti jízdy
- d) Zjišťování kontinuální celistvosti vlaku
- e) Přijímání bodových a liniových informací
- f) Výpočet nejvíce omezujícího rychlostního profilu
- g) Výpočet dynamického rychlostního profilu
- h) Porovnávat hodnoty veličin související s jízdou vlaku
- i) Restriktivní zásah do řízení vlaku
- j) Přijímat povely od strojvedoucího nebo zařízení automatického vedení vlaku
- k) Předávat informace strojvedoucímu nebo zařízení, které automaticky vede vlak.



Obr. 13 Systém ETCS Level 3

Zdroj (10)

1.4.5 Global System for Mobile Communication for Railways

Global System for Mobile Communication for Railways (GSM-R) – globální mobilní železniční komunikační systém slouží pro radiové spojení a přenos dat v systému ETCS. Systém slouží k operativní komunikaci, hlasovým službám (komunikace mezi provozními zaměstnanci) a přenosu dat (datová komunikace mezi ŽKV a RBC ETCS). Maximální rychlost, při které je možné zabezpečit správný přenos dat, je až 500 km/h. Systém GSM-R slouží pro komunikaci mezi ŽKV a RBC, kdy mimo jiné u systému ETCS Level 2 a Level 3 je zabezpečená komunikace s PZZ. Existuje tedy komunikační prostředek pro získávání potřebných dat o ŽKV a infrastruktuře, na základě kterých je možné adaptivně měnit délku přibližovacího úseku. (5)

2 NÁVRH ADAPTIVNÍ DÉLKY PŘIBLIŽOVACÍHO ÚSEKU

Praktická část diplomové práce se zabývá analýzou dat vlaků v systému ETCS. Součástí praktické části je také návrh teoretického přejezdu, jehož výstupem budou vypočtené délky přibližovacího úseku dle normy. Výsledné hodnoty budou porovnány a na základě nich vznikne návrh adaptivní délky přibližovacího úseku.

Předmětem této diplomové práce je návrh adaptivní délky přibližovacího úseku, proto je třeba si uvědomit, jakým způsobem je možné tento návrh realizovat v dnešních podmínkách. Předpokladem pro správnou funkčnost systému je vzájemná komunikace podsystémů jako je RBC, PZS, mobilní i infrastrukturní části ETCS. V současnosti není vždy pravidlem, aby podsystémy tykající se ETCS spolu oboustranně komunikovaly. Další prvek, který značně ovlivňuje, jakým směrem se systém ETCS v České republice (ČR) bude ubírat, je budoucí provozovatel systému (provozovatel dráhy). V ČR je největším provozovatelem dráhy státní organizace Správa železnic (SŽ), která je povinná dodržovat legislativu Evropské unie (EU). Jedním z cílů EU je vedení států Evropské unie k jednotnému železničnímu systému, jehož součástí je jednotné zabezpečení jízdy vlaků tak, aby byla zajištěna interoperabilita, jednotnost a bezpečnost jízdy vlaku v různých státech. Splněným předpokladem vize je dostupnost dokumentů, které systém i vizi ETCS popisují. Mezi tyto dokumenty patří tzv. subsety systému ETCS, které popisují funkčnost systému, a podle kterých je možné navrhnout optimální uzavření přejezdu před příjezdem ŽKV.

2.1 Subsety ETCS

Na vývoji ETCS se podílí řada zemí, je proto nutné, aby měl systém jasně definovanou strukturu. K tomu slouží dokument, který systém ETCS konkrétně popisuje, a to včetně jeho podsystémů. V tomto dokumentu jsou definovány:

- a) Pojmy
- b) Modifikace
- c) Funkce
- d) Vzorce
- e) Pravidla
- f) Komunikace systému
- g) Rychlostní profily
- h) Povolení k jízdě vlaku

- i) Kontrola jízdy vlaku
- j) Vzdálenost vlaku
- k) Rychlostní omezení
- l) Restrikce
- m) Křížení dráhy a pozemní komunikace.

Dokumenty, které popisují danou problematiku, se nazývají subsety. Pro tuto diplomovou práci je zásadní subset 26, který popisuje funkčnost systému ETCS a obsahuje všechny definice výše zmíněné. Subset 26 je rozdělen do devíti kapitol, které byly vydány v roce 2016, ale každoročně dochází k jejich aktualizaci. Na základě těchto dokumentů lze provést návrh adaptivní délky přibližovacího úseku. V dokumentu subset 26 jsou popsány také tzv. pakety, které jsou nedílnou součástí systému ETCS. Bez těchto paketů by systém ETCS vůbec nemohl fungovat. (11)

2.2 Pakety ETCS

Základem každého systému je správná komunikace jeho podsystémů mezi sebou. Z tohoto důvodu je potřeba, aby měl systém jasně definovanou strukturu komunikace, která zajistí bezproblémový a bezpečný provoz systému. Systém ETCS využívá tzv. paketů, které jsou součástí jazyka ETCS. Pomocí tohoto jazyka je systém schopen komunikovat na úrovni trať-vozdlo a opačně. Předmětem přenosu jsou informace (pakety), které se dělí na:

- a) *Track to train* (255 paketů)
- b) *Train to track* (44 paketů). (12)

Pakety obsahují příkazy (soubor proměnných), které jsou seskupené do jednoho celku s přesně definovanou vnitřní strukturou. Každý paket obsahuje jedinečné číslo, které jej definuje. Aby byl paket správně identifikován, je potřeba, aby disponoval konkrétní délkou v bitech. Skládá se z orientační informace a volitelné vzdálenostní stupnice. Informační část obsahuje definovanou sadu proměnných. Struktura paketu je následující:

- a) *NID_PACKET* (identifikační číslo paketu)
- b) *Q_DIR* (směr přenášených dat)
- c) *L_PACKET* (počet bitů v paketu)
- d) *Q_SCALE* (určení stupnice vzdálenosti)
- e) *Information* (definované sady proměnných). (12)

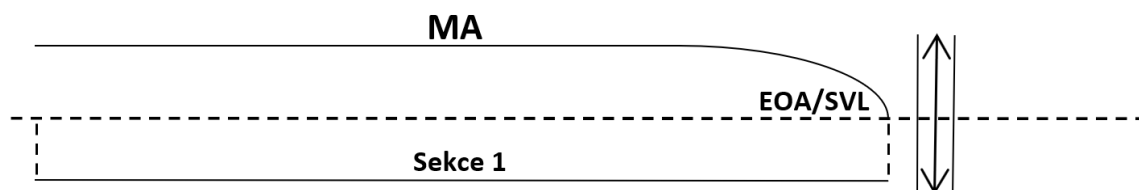
Příkladem, jak funguje paket v praxi, může být například paket *Position report parameters*. Hlavním účelem tohoto paketu je definování aktuální polohy ŽKV. K tomu, aby byl paket rozpoznán, využívá systém přesně dané proměnné. Palubní jednotka ETCS zvolený paket vloží do zprávy a tu následně přenesou na RBC, která reaguje na danou zprávu. V praxi to znamená, že systém je schopen dobře komunikovat s jasně formovanou informací. Výhodou je také možnost doplnění nových paketů do systému, což umožní například odložit výstrahu dle charakteru vlaku (druh a rychlost vlaku). Současně již existují pakety, které k odložené výstraze vedou, ale stále se jedná o teoretickou bázi projektu ETCS. Jedná se zejména o:

- a) Paket 88 (*Level Crossings Information*)
- b) Paket 57 (*Movement Authority Request*)
- c) Paket 15 (*Level 2/3 Movement Authority*)
- d) Paket 65 (*Temporary Speed Restriction*). (12)

Tyto pakety se přímo týkají části tratě, kde se úrovně kříží železniční trať se silniční komunikací. Stále se počítá s tím, že železniční přejezdy i v systému ETCS budou existovat, je tedy potřeba tuto část infrastruktury patřičně zabezpečit. (11)

2.2.1 Movement Authority

S tímto pojmem je počítáno v této diplomové práci převážně v oblasti samotné jízdy vlaku. Dle dokumentu subset 26 se jedná o povolení k jízdě v určitém úseku s určitým časem platnosti do cílového bodu. Cílovým bodem se rozumí bod rozhodnutí (ohrožení), ke kterému se váže jízda vlaku, a do kterého je potřeba bezpečně zastavit, pokud nejsou splněny podmínky pro udělení *Movement Authority* (MA) pro další úsek.



Obr. 14 Movement Authority

Zdroj: (Autor)

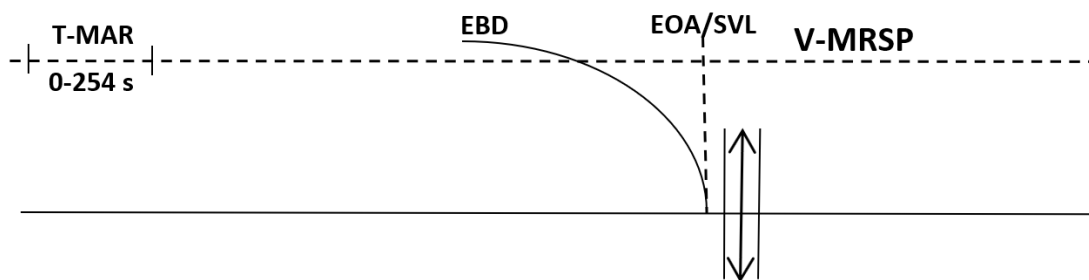
Přehledně je tento úsek znázorněn na obrázku (14), kdy MA je povolení k jízdě a *End Of Authority* (EOA) spolu se *Supervises Location* (SVL) je tzv. bod ohrožení.

Hlavním předpokladem pro vydávání MA je systémová znalost tohoto příkazu. Subset 26 definuje tento příkaz paketem 57 *Movement Authority Request* (MAR). K tomu, aby žádost o MA byla podána do RBC, je potřeba, aby ŽKV bylo vybaveno palubní jednotkou ETCS. Parametry pro vydávání nového MA stanovuje RBC. Radiobloková centrála kontroluje čas, kdy

dorazí vlak k bodu ohrožení, a také čas, pro který bylo MA vydáno. Žádost o MA může být opakovaná, ale v případě, že RBC nevydá nové parametry MA, jsou platná stará data = zastavení vlaku v bodě ohrožení. S každým požadavkem o MA musí palubní jednotka zaslat informaci do RBC s důvodem, proč je MAR zaslán. Mezi tyto důvody patří:

- a) Výběr strojvedoucího
- b) Dosažení času před bodem ohrožení
- c) Uplynutí času pro vydané MA
- d) Byly ztraceny údaje o MA. (12)

Aby RBC kontrolovala, zdali jsou splněny podmínky vydaného MA, je potřeba znát délku sekce, pro kterou bylo MA vydáno, a je potřeba znát časový limit MA daného úseku. Žádost o MA se odesílá v oblasti před počátkem indikace, kdy začíná kontrola strojvedoucího před bodem ohrožení. Jedná se o časový úsek 0-254 sekund. V tomto časovém rozmezí je zasílán MAR, který RBC vyhodnocuje. Pokud jsou splněny všechny podmínky, RBC vydává MA pro další úsek. Pokud tyto podmínky splněny nejsou, dochází k tomu, že palubní systém ETCS vede strojvedoucího k zastavení vlaku před bodem ohrožení. Pokud strojvedoucí nereaguje, dochází k zásahu do řízení. Na obrázku (15) je vyobrazena oblast T_MAR, kde dochází k odesílání informace s žádostí o MA. Pokud nebude MA uděleno, následují kroky k zastavení vlaku, které v nejzazším případě doprovází křivka *Emergency Brake Deceleration* (EBD). (11)



Obr. 15 Oblast odesílání žádosti o nové MA

Zdroj: (Autor)

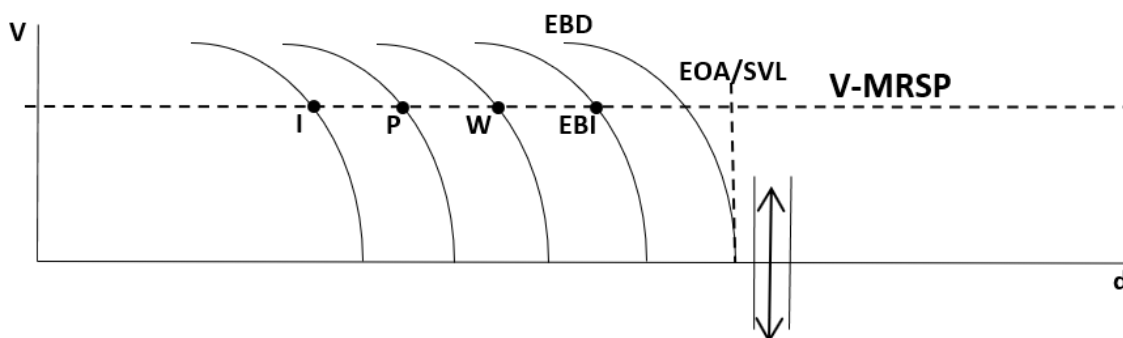
Tento koncept kontroly vlaku je zásadní pro železniční provoz, a týká se také železničních přejezdů. V systému ETCS je totiž počítáno, že každý přejezd musí být zabezpečen. Pokud tomu tak není, železniční přejezd je bodem ohrožení a povolení jízdy je vázáno pouze k tomuto bodu a ne skrz (vlak musí zastavit před železničním přejezdem). Tato situace však nebrání UPK vjezdu na železniční přejezd v době, kdy je přejezd v poruše. Pokud je závada v signalizaci výstrahy přejezdu, do prostoru přejezdu mohou nevědomky dále vstupovat UPK. Z tohoto důvodu je vlak nucen zastavit před železničním přejezdem a následně může vlak pokračovat v jízdě za situace, kdy dává návěst pozor a jede rychlostí 10 km/h. Porucha PZZ je však dle

bakalářské práce (1) minimálním důvodem ke vzniku mimořádné události, ta mnohem častěji vzniká v důsledku nerespektování pravidel silničního provozu ze strany UPK.

Hlavní výhodou tohoto konceptu kontroly je vznik nových bodů v návaznosti na křivku EBD, ke kterým se teoreticky může vázat uzavření železničního přejezdu.

Jízda vlaku k bodu ohrožení

Během jízdy vlaku palubní jednotka ETCS provádí výpočty, díky kterým jsou pro každý bod tratě (bod ohrožení) vytvářeny tzv. brzdné křivky. Pokud RBC vydá nové povolení k jízdě MA, tyto brzdné křivky jsou nahrazeny a vlak dále pokračuje do dalšího bodu ohrožení. V situaci, kdy není vydáno nové MA (např. při neuzavření železničního přejezdu), systém reaguje následovně. Prvotní fází je indikace (zvukový signál upozorňuje na stav změny). S touto změnou se začne na *Driver Machine Interface* (DMI) zobrazovat vzdálenost do cíle, indikace rychlosti zežloutne. Systém indikuje strojvedoucímu, aby snížil rychlost, později dojde k snižování povolené rychlosti vlaku. Při překročení povolené rychlosti dochází k další indikaci, která vyzývá k okamžitému zpomalení. Pokud se strojvedoucí svou reakcí blíží



Obr. 16 Body dle systému ETCS

Zdroj: (Autor)

k brzdné křivce *Emergency Brake Intervention* (EBI), dochází po dosažení této křivky dle dispozic vlaku k zásahu systému ETCS do řízení strojvedoucího a vlak následně zastaví před bodem ohrožení. Celý tento proces tvoří body dle obrázku (16). Tyto body vycházejí z jednotlivých brzdných křivek, které kontrolují samotnou jízdu vlaku. (11)

Jednotlivé body jsou generovány od prvotní křivky EBD, která vychází z místa před bodem ohrožení (EOA/SVL). Křivka EBD vzniká dle rychlosti vlaku MRSP. V místě křivky EBD je žádoucí, aby brzda vlaku byla v plné účinnosti. Z tohoto důvodu je potřeba definovat bod EBI, kde dochází k aktivaci brzdy systémem ETCS. Před bodem EBI je definován bod *Warning Speed* (W), následuje bod *Permitted Speed* (P) ve kterém je zohledněn čas na reakci strojvedoucího, a jako poslední je generován bod indikace (I), u kterého dochází k varování strojvedoucího na změnu situace. Současně můžeme bod (I) chápat jako *Perturbation Location*

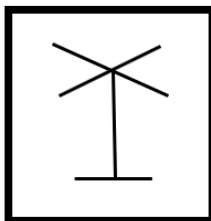
(PL). Výše zmíněné body mohou být teoreticky vázány k technologii uzavření železničního přejezdu. (11)

Další možností, při které dochází ke vzniku nových bodů, k nimž lze vázat uzavření železničního přejezdu, je paket 88.

2.2.2 Paket 88 (Level Crossings Information)

Paket 88 je popsán v subsetu 7 systému ETCS. Tento paket lze využít v situaci, kdy je železniční přejezd v poruše, tedy je třeba, aby vlak dostal informaci o omezení rychlosti nebo nutnosti před přejezdem zastavit. Výhodou tohoto paketu je přenos informace do vozidlové části ETCS, která nemůže být odmítnuta. Přenos paketu 88 je možný indukční smyčkou, balízou, rádiem. (11)

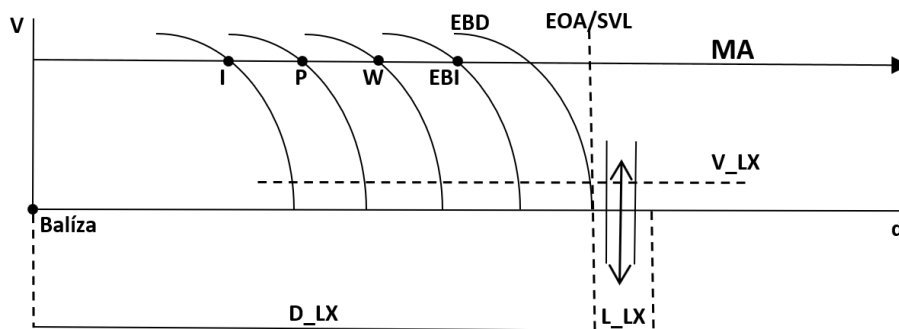
Technologie tohoto paketu je následující. *Movement Authority* je veden až za železniční přejezd, tímto paketem není vlak omezen. Vlak svou jízdou míjí vztažnou balízu, která předává informaci o vzdálenosti balízy od přejezdu (D_LX). Díky této informaci si mobilní část ETCS vytvoří před přejezdem EOA/SVL (bod ohrožení). Lze tedy stanovit, zdali je potřeba před přejezdem zastavit či nikoli. Dle podmínek české legislativy je známo, že potřeba zastavit zde není, stačí snížit rychlost na 10 km/h. Pokud bude železniční přejezd nezabezpečen, je stále potřeba dodržovat rychlost 10 km/h (V_LX) až po místo, kdy konec vlaku mine železniční přejezd. Paket 88 definuje hranici železničního přejezdu jako L_LX. Systémově je pro splnění legislativního rámce průjezdu nezabezpečeným přejezdem třeba, aby bod L_LX byl předsunut minimálně o 60 m před hranicí železničního přejezdu – jednak z důvodu včasného zpozorování vlaku UPK, ale také proto, aby strojvedoucí mohl reagovat na nenadálou situaci na přejezdu. Mobilní jednotka DMI strojvedoucího informuje symbolem (17), že se blíží k nezabezpečenému přejezdu, vlak musí tedy brzdit dle bodu ohrožení EOA/SVL. Po dosažení rychlosti 10 km/h je EOA/SVL nahrazen V_LX, která nám říká, po jaký bod je potřeba dodržet rychlost 10 km/h. Pokud je přejezd zabezpečen, symbol (17) na DMI zmizí. (11)



Obr. 17 Symbol nezabezpečeného přejezdu

Zdroj: (12)

Paket 88 je aktivní v případě, kdy se dá přijmout MA. Výhodou tohoto paketu je znalost vzdálenosti přejezdu od vztažné balízy, možnost vydat MA až za železniční přejezd, přičemž je stále železniční přejezd dohlíženým místem dle systému ETCS. Mobilní část vyžaduje po strojvedoucím přijetí paketu 88, zároveň dochází k indikaci nezabezpečeného přejezdu symbolem (17).



Obr. 18 Body systému ETCS při využití paketu 88

Zdroj: (Autor)

Obrázek (18) zobrazuje situaci, kdy vlak využívá paket 88. Povolení k jízdě je vedeno za železniční přejezd, opět vznikají body kontroly železničního přejezdu a možnost adaptivně měnit místo, kde započne délka přibližovacího úseku. (11)

2.3 Výpočet bodů křivek dle ETCS

Technologie výpočtu jednotlivých bodů křivek je popsána v dokumentu subset 26. Jednotlivé body jsou odvozeny od křivky EBD, která je definována jako soustava složitých rovnic. Aby byly dodrženy parametry výpočtů jednotlivých bodů, bude v této diplomové práci využit naprogramovaný software v programu Microsoft Excel, který slouží pro výpočet křivky EBD a jejích návazných bodů. Tento software byl vyvinut ve spolupráci s *European Union Agency for Railways*. Soubor je nazván *Braking Curves Simulation Tool v4.2* a je veřejně dostupný na webových stránkách agentury. (13)

Jak již bylo zmíněno, hlavním konstrukčním prvkem jednotlivých bodů je křivka EBD, následuje bod EBI jejichž poloha je stejná, protože dohlížená oblast je stejná i pro EOA/SVL. Na bod EBI navazuje bod *Warning speed*, který je definován jako časový odklad 2 sekundy od bodu EBI, následuje bod *Permitted speed*, který je definován jako časový odklad 2 sekundy od bodu *Warning speed*. Posledním bodem je bod Indikace, která má přesně definovanou

rovnici. Na bod Indikace navazuje časová oblast žádosti o nové povolení k jízdě zvané T_MAR (0-254 sekund). Všechny body a jejich odvození jsou vyobrazeny v tabulce (3). (11)

Tab. 3 Odvození bodů dle systému ETCS

Zdroj: (12)

Bod	Odvození
EBD	Složitá soustava rovnic dle subsetu 26
EBI	Náběh nouzové brzdy [s]
W	2 [s]
P	2 [s]
I	$T_{Indication} = \max\{(0,8 * T_{bs}), 5s\} + T_{driver}$ kde T_{bs} je náběh provozní brzdy [s]; $T_{driver} \dots 4$ [s].
T_MAR	Rozmezí 0-254 [s]

Výpočet probíhá pomocí softwaru Microsoft Excel, do kterého jsou zadávány parametry výpočtu jednotlivých bodů. Po výpočtu následuje sjednocení jednotek na metry dle rychlosti MRSP. Díky tomuto sjednocení lze definovat přesnou polohu jednotlivých bodů, které vycházejí z přednastavené rychlosti MRSP.

Do výpočtu byly zahrnuty parametry vlaků dle tabulky (4).

Tab. 4 Parametry vlaků

Zdroj: (Autor)

Druh vlaku	Rychlost [km/h]	Brzdicí procenta [%]	Délka vlaku [m]	Režim brzdění
Osobní	160, 140, 120, 100, 80, 60	120	200	R
Osobní	160, 140, 120, 100, 80, 60	143	83	R + Mg
Nákladní	100, 90, 80	130	400	P
Nákladní	100, 90, 80	80	600	G

Osobní vlak – délka 200 metrů

Pro tento teoretický osobní vlak byla zadána rychlost 160-60 km/h, brzdící procenta 120 %, délka vlaku 200 m a režim brzdění typu R. Výsledné hodnoty jednotlivých bodů I, P, W, EBI jsou vyobrazeny v následující tabulce (5).

Tab. 5 Výsledné hodnoty bodů pro osobní vlak – délka 200 metrů Zdroj (Autor, 13)

Rychlost [km/h]	I [m]	P [m]	W [m]	EBI [m]
160	2110,47	1653,03	1564,15	1475,26
140	1588,58	1250,82	1173,06	1095,28
120	1246,77	957,22	890,61	823,94
100	980,68	739,39	683,88	628,32
80	745,25	552,24	507,84	463,4
60	539,67	323,47	290,17	256,84

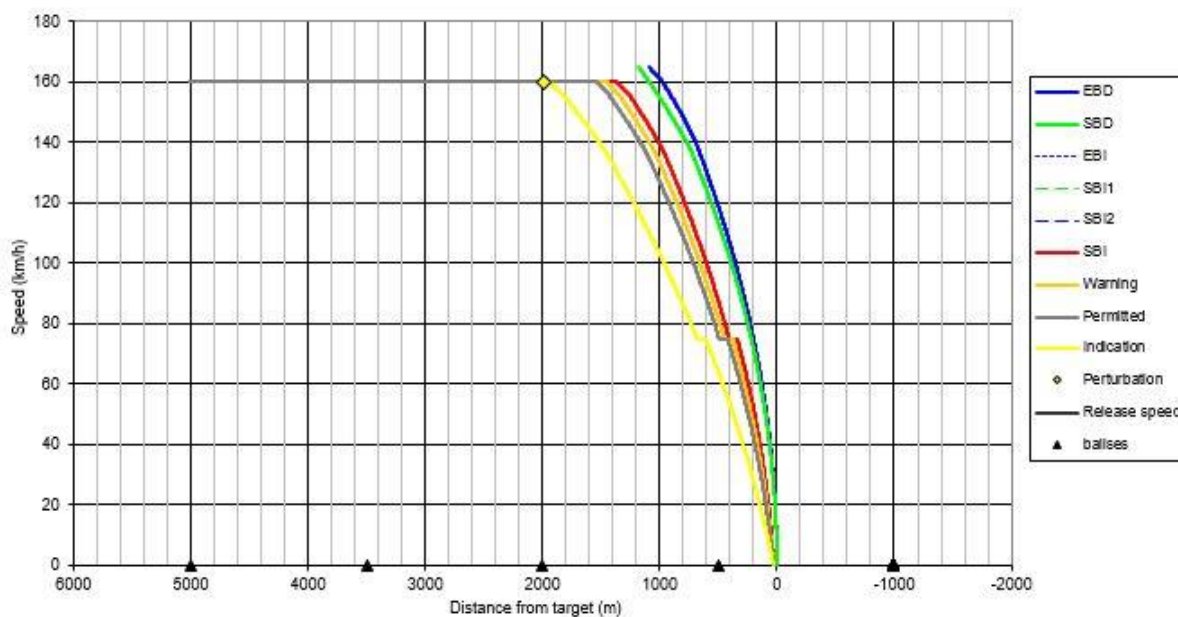
Osobní vlak – délka 83 metrů

Pro tento teoretický osobní vlak byla zadána rychlost 160-60 km/h, brzdící procenta 143 %, délka vlaku 83 m a režim brzdění typu R + Mg. Výsledné hodnoty jednotlivých bodů I, P, W, EBI jsou vyobrazeny v následující tabulce (6).

Tab. 6 Výsledné hodnoty bodů pro osobní vlak – délka 83 metrů Zdroj: (Autor, 13)

Rychlost [km/h]	I [m]	P [m]	W [m]	EBI [m]
160	1993,11	1540,71	1451,84	1362,95
140	1499,04	1165,69	1087,94	1010,16
120	1205,79	920,09	853,43	786,76
100	954,25	716,2	660,65	605,09
80	727,77	537,27	492,87	448,43
60	529,23	314,98	281,66	248,32

Na obrázku (19) je pro názornost vykreslen graf zobrazující osobní vlak s délkou 83 metrů při rychlosti 160 km/h (viz první řádek tabulky 6). Graf zobrazuje jednotlivé body v závislosti na rychlosti a vzdálenosti.



Obr. 19 Graf brzdících křivek osobního vlaku – délka 83 metrů

Zdroj: (13)

Nákladní vlak – délka 400 metrů

Pro tento teoretický nákladní vlak byla zadána rychlost 100-80 km/h, brzdící procenta 130 %, délka vlaku 400 m a režim brzdění typu P. Výsledné hodnoty jednotlivých bodů I, P, W, EBI jsou vyobrazeny v následující tabulce (7).

Tab. 7 Výsledné hodnoty bodů pro nákladní vlak – délka 400 metrů

Zdroj: (13)

Rychlost [km/h]	I [m]	P [m]	W [m]	EBI [m]
100	1294,37	890,57	835,05	779,49
90	1128,33	764,93	714,95	664,95
80	972,71	649,66	605,24	560,8

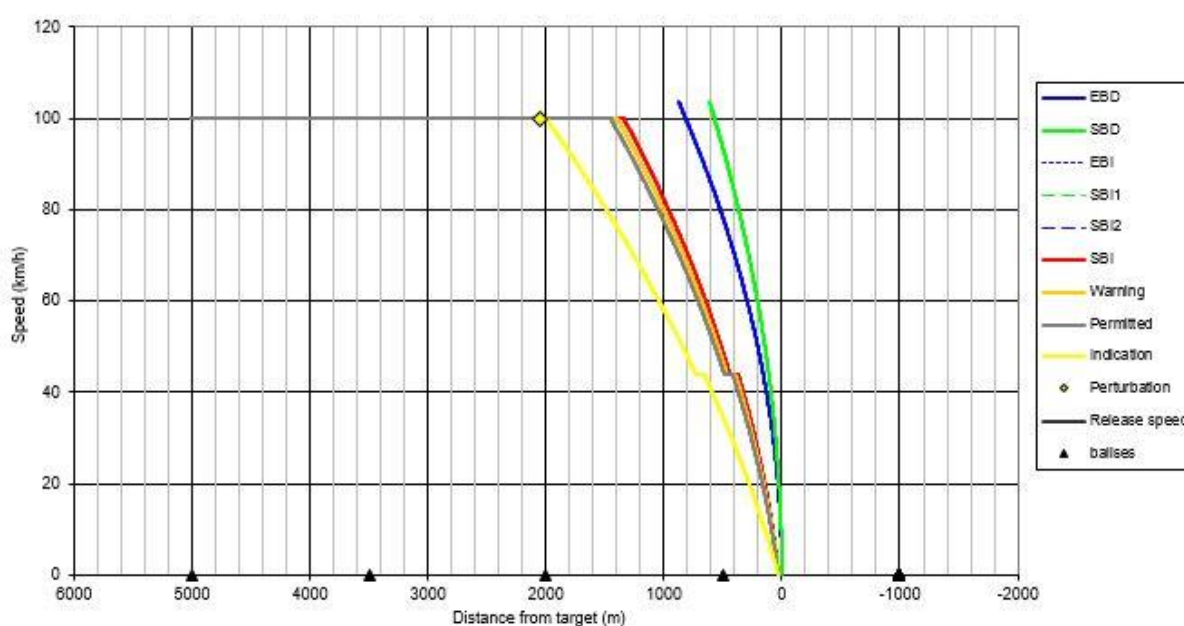
Nákladní vlak – délka 600 metrů

Pro tento teoretický nákladní vlak byla zadána rychlost 100-80 km/h, brzdící procenta 80 %, délka vlaku 600 m a režim brzdění typu G. Výsledné hodnoty jednotlivých bodů I, P, W, EBI jsou vyobrazeny v následující tabulce (8).

Tab. 8 Výsledné hodnoty bodů pro nákladní vlak – délka 600 metrů Zdroj: (Autor, 13)

Rychlost [km/h]	I [m]	P [m]	W [m]	EBI [m]
100	2043,69	1451,23	1395,67	1340,12
90	1712,86	1243,91	1193,92	1143,92
80	1469,59	1052,76	1008,33	963,89

Pro názornost je zobrazen na obrázku (20) graf nákladního vlaku s rychlostí 100 km/h a délkou 600 metrů, který je závislý na délce a rychlosti.



Obr. 20 Graf brzděných křivek nákladního vlaku – délka 600 metrů

Zdroj: (13)

Z výsledků lze vidět zásadní rozdíly jednotlivých bodů převážně díky změnám brzdících procent, délce vlaku a režimu brzdění. Dalším zásadním kritériem je konkrétní rychlost vlaku. Výsledky jsou směrodatné pro porovnání jednotlivých bodů s délkou přibližovacích úseků teoretických přejezdů a následné nalezení řešení vztahující se ke stanovení adaptivní délky přibližovacího úseku.

2.4 Železniční přejezd v systému ETCS

Hlavní vliv na vývoj ETCS a s ním spojené problematiky adaptivní délky přibližovacího úseku má objednatel. V ČR je do této pozice stavěna státní organizace SŽ (provozovatel dráhy) s největším podílem provozované dráhy u nás.

Ačkoli může přinést změna v technologii železničního přejezdu něco dobrého, je tento zásah vzhledem k počtu železničních přejezdů u nás stále neekonomický. Z tohoto důvodu řešení adaptivní délky přibližovacího úseku není v zájmu objednatele a není tedy ani v zájmu zprostředkovatele systému, aby se touto otázkou zabýval. Momentální směr vývoje zohledňuje již zavedený systém PZZ, který bude integrován do systému ETCS. Přejezdové ZZ bude fungovat na základním principu spínacích bodů, kdy technologie délky přibližovací doby zůstane nezměněna. V praxi to znamená, že i přes to, že systém ETCS disponuje potřebnými údaji o vlaku, bude PZZ stále počítat, že v oblasti jede vlak, který dodržuje nejvyšší dovolenou rychlost traťového úseku (např. 160 km/h). Délka přibližovacího úseku bude tedy odpovídat nejvyšší dovolené traťové rychlosti, a ne předdefinované rychlosti vlaku MRSP – uzavření železničního přejezdu proto nebude optimální.

Pokud by byl vývoj směřován do oblasti adaptivní délky přibližovacího úseku, je třeba si uvědomit, jaké druhy vlaku mohou být v systému ETCS provozovány:

- a) Vlaky bez systému ETCS
- b) Vlaky se systémem ETCS.

V první fázi je nutné definovat, jak se budou chovat vlaky bez systému ETCS, jejichž charakter tedy nebude znám. Poté je možné zaměřit se i na ostatní vlaky, které jsou na systém ETCS již napojeny a poskytují o sobě potřebné informace.

2.4.1 Vlaky bez systému ETCS

Vlaky, které nejsou kompatibilní se systémem ETCS, nemají jasně daný charakter, nemůže být tedy bezpečně určena přesná poloha ani aktuální či přednastavená rychlost (MRSP), kterou daný vlak nesmí překročit. Tyto vlaky budou stále využívat národní zabezpečovací systém, nebudou komunikovat s RBC. PZZ bude reagovat na popud jízdy ŽKV s přesně danou délkou přibližovacího úseku dle nejvyšší dovolené rychlosti traťového úseku. V tomto případě tedy nedojde k optimalizaci systému. Vzhledem k tomu, že je legislativně definován postupný přechod z národních ZZ do systému ETCS, je stále potřeba zachovat národní formu zabezpečení dráhy včetně PZS.

2.4.2 Vlaky se systémem ETCS

Vlaky dozorované systémem ETCS mají jasně daný charakter, můžeme určit přesnou polohu, aktuální přednastavenou rychlost (MRSP), lze definovat směr jízdy vlaku. Hlavním aspektem je stále ovlivňování jízdy vlaku dle povolení k jízdě MA, které vydává RBC.

Systémově je dáno, že vlak musí zastavit před železničním přejezdem, který je součástí systému ETCS, pokud není železniční přejezd zabezpečen (kontrola prvku PZS proběhla záporně). V tomto případě není potřeba se vázat na klasický systém PZZ (spínací body). Pro zabezpečení železničního přejezdu stačí informace o tom, že železniční přejezd je funkční a RBC následně vydá MA pro další úsek. Momentálně je možná pouze jednoduchá komunikace železničního přejezdu s národním zabezpečením.

Železniční přejezdy v systému ETCS

Aby mohl přejezd zaručit řádný přenos informací, musí systém PZZ komunikovat oboustranně. Je potřeba, aby byla PZZ provedena diagnostika na popud RBC, která dostala žádost o nové MA pro daný vlak, který se blíží k bodu ohrožení (EOA/SVL). Na základě tohoto popudu provede PZS diagnostiku, při kterém využívá definice dle předpisu SŽDC (ČD) Z2 – Předpis pro obsluhu přejezdových a zabezpečovacích zařízení. Mezi tyto definice patří:

- a) Bezporuchový stav
- b) Pohotovostní stav
- c) Nouzový stav
- d) Poruchový stav. (14)

Jak již bylo zmíněno v bakalářské práci (1), bezporuchový stav je takový, kdy není vyhodnocen nouzový ani poruchový stav železničního přejezdu. Pohotovostní stav PZS je stav, kdy není vyhodnocen poruchový stav. Nouzový stav přejezdu je stav, kdy je zařízení v závadě, ale tato závada neohrožuje bezpečnost provozu na železničním přejezdu. Poruchový stav je situace, kdy je na přejezdu indikována porucha, která ohrožuje bezpečnost provozu na železničním přejezdu. V případech, kdy je indikován poruchový stav, nebude vydáváno MA pro další úsek, nebo bude vydán paket 88, který přikazuje snížení rychlosti na požadovanou hodnotu (10 km/h), a to ve vzdálenosti 60 metrů před přejezdem.

K přenosu informací bude RBC mezi železničním přejezdem využívat nových ovládacích povelů, a to převážně v situaci, kdy se k železničnímu přejezdu blíží vlak v systému ETCS. Pokud PZZ dostane příkaz od RBC vyžadující diagnostiku PZZ, bude díky tomuto povelu známo, že přejezdové ZZ bude reagovat na uzavření a otevření dle povelů z RBC. Pokud do systému vstoupí vlak bez ETCS, radiobloková centrála nijak nezareaguje (nevyšle povel k diagnostice), a systém PZZ bude reagovat dle národního zabezpečení. Z tohoto důvodu je nutné, aby diagnostika PZZ proběhla dříve, než vlak mine reálný spínací bod národního PZZ.

2.5 Teoretický přejezd

Z legislativního hlediska je stále nutné dodržovat normy ČSN. V návaznosti na tuto diplomovou práci se jedná o normy ČSN 34 2650 (2) a ČSN 73 6380 (15), které nám definují podmínky, za kterých může být silniční komunikace křížena s železniční dopravou. Je tedy patrné, že při zavádění systému ETCS bude nutno tyto normy dodržovat do doby jejich legislativní změny. Jak je zmíněno v kapitole 2.4, momentálním cílem objednatele systému není změna PZS. V dosavadním plánu se počítá s využitím stálého a již osvědčeného PZS na principu spínacích bodů, kterými je většina železničních přejezdů vybavena. Pokud by došlo ke změně názoru ohledně optimalizace PZS, zřejmě by tato změna stále využívala dosavadní osvědčenou metodu výpočtu délky přibližovacího úseku, neboť tyto technologické prvky zaručují, že než mine čelo vlaku železniční přejezd, opustí nejdelší a nejpomalejší vozidlo železniční přejezd.

Na základě těchto skutečností je potřeba definovat tzv. teoretický přejezd, pro který je možno definovat délky přibližovacího úseku dle dané situace (rychlost vlaku, charakter trati). Pokud bude zjištěno, že se délky přibližovacích úseků teoretického přejezdu vážou k některému z bodů vycházejících z brzdných křivek dle technologie ETCS (jak je popsáno v kapitole 2.2), je možné prohlásit, že uzavření přejezdu lze vázat k bodům, které utváří brzdné křivky dle technologie ETCS, přičemž bude dodržena bezpečnost daná normou ČSN 34 2650.

Teoretický přejezd je v této diplomové práci vybrán dle dispozic, které mohou vést k optimalizaci PZS. Popsané železniční přejezdy budou zabezpečeny PZS s výstražníkem a závorami, a budou svírat různé úhly se silniční komunikací tak, aby byly zaručeny reálné výsledky.

Pro sestavení teoretického přejezdu je potřeba definovat parametry teoretického přejezdu.

2.5.1 Parametry teoretického přejezdu

Mezi parametry, které jsou potřebné k odvození délky přibližovacího úseku, patří:

- a) Proměnné
- b) Konstanty.

Proměnné lze upravovat tak, aby bylo nalezeno řešení pro danou situaci, zejména se jedná o rychlost ŽKV, úhel, který svírá silniční komunikace a dráha, a počet traťových kolejí.

Mezi další kritéria patří konstanty, které jsou pevně dány normou a z důvodu zachování technologie a bezpečnosti je nelze měnit. Tabulka (9) zobrazuje zvolené proměnné a jejich hodnoty, které budou pro teoretický přejezd zásadní. (2)

Tab. 9 Proměnné teoretického přejezdu

Zdroj: (Autor, 2)

Proměnné	Zvolené hodnoty	Jednotka
Rychlost ŽKV	160, 140, 120, 100, 80, 60	[km/h]
Rychlost nejpomalejšího sil. voz.	5	[km/h]
Délka nejpomalejšího sil. voz.	22	[m]
Úhel svírající sil./žel.	90, 73	[°]
Počet kolejí	1, 2, 3	[-]

Tabulka (10) zobrazuje konstanty a jejich hodnoty, které jsou pro teoretický přejezd pevně dány normou. (2)

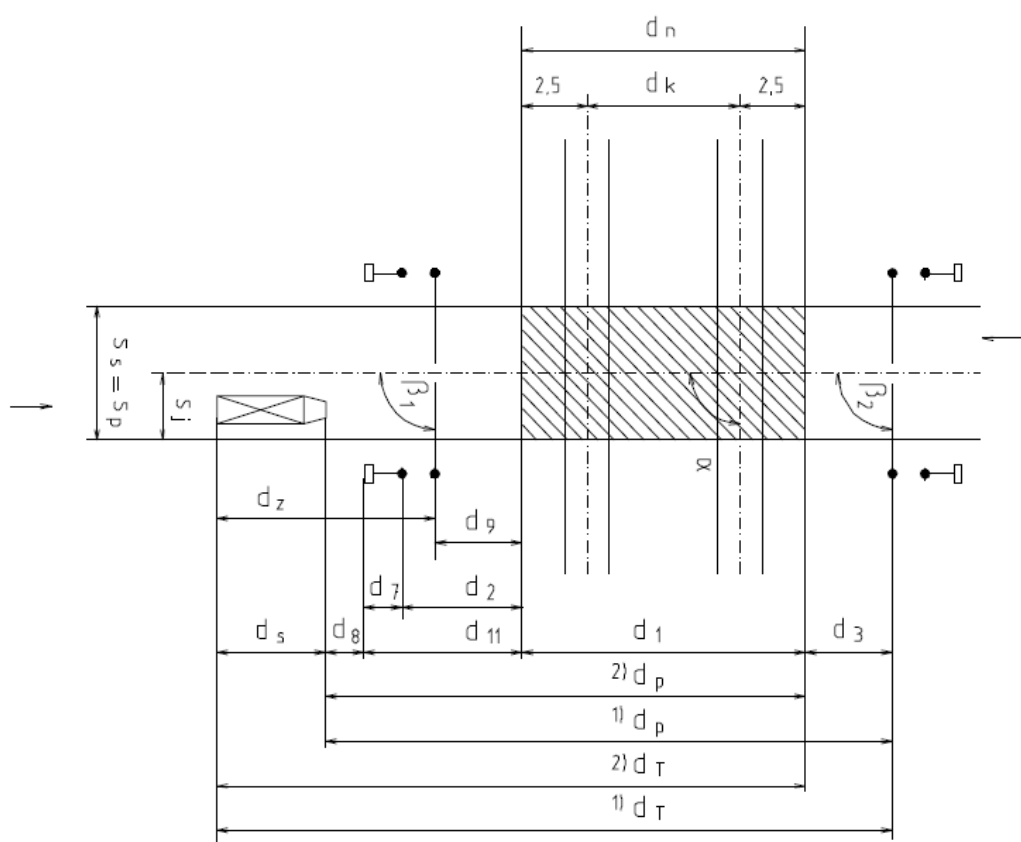
Tab. 10 Konstanty teoretického přejezdu

Zdroj: (2)

Konstanty	Hodnota	Jednotka
Osová vzdálenost kolejí	4	[m]
Nebezpečné pásmo	5	[m]
Vzdálenost výstražníku od neb. pásma	1,5	[m]
Vzdálenost sil. vozidla od výstražníku	1	[m]
Vzdálenost světél výstražníku od osy jeho sloupu	1	[m]
Šířka jízdního pruhu	2,5	[m]
Doba reakce PZS	1	[s]
Bezpečnostní doba 1	6	[s]
Bezpečnostní doba 2	3	[s]
Doba sklápění závor	10	[s]

Výše zmíněné proměnné lze v rámci optimalizace PZS měnit. Pokud se jedná o konstanty, změna může způsobit optimalizaci na úkor bezpečnosti, a proto je potřeba tuto optimalizaci dobře zvážit. Konkrétně se jedná o rychlost nejpomalejšího silničního vozidla a délku nejdelšího silničního vozidla. Tyto dvě hodnoty jsou definovány normou jako rychlost 5 km/h a délka 22 metrů. Při jejich změně dochází ke zkrácení / prodloužení délky přibližovacího úseku.

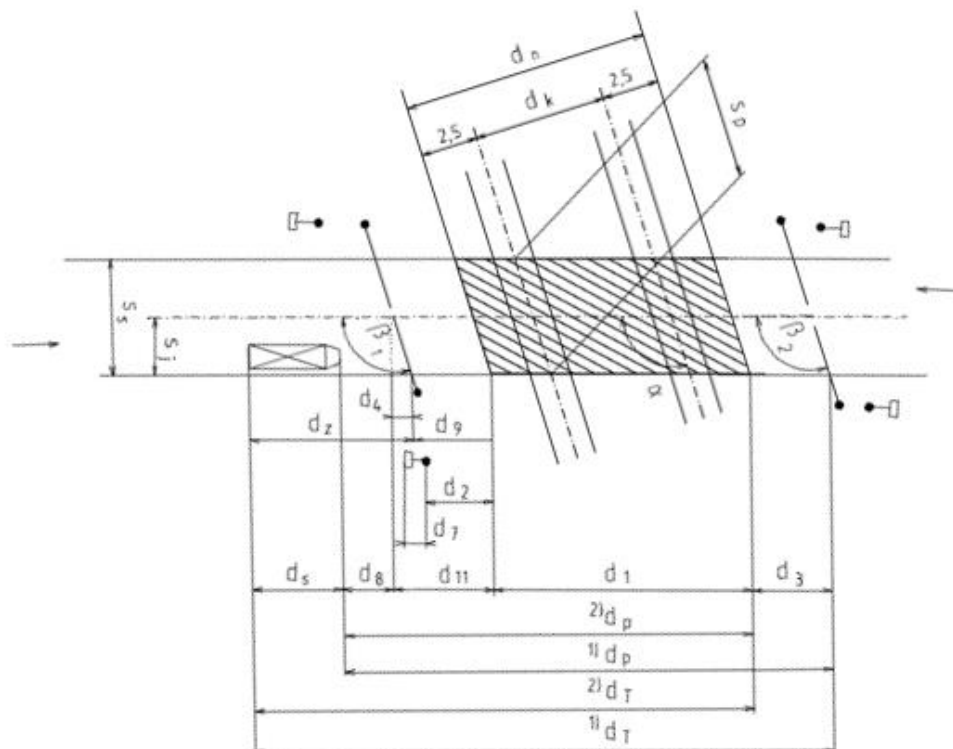
Zvolený teoretický přejezd je v této diplomové práci zásadní pro získání výsledků délky přibližovacího úseku. Technickým zobrazením dle normy ČSN je půdorys teoretického přejezdu s úhlem míjení komunikace 90° , jako na obrázku (21). (2)



Obr. 21 Půdorys teoretického přejezdu – 90°

Zdroj: (2)

U teoretického železničního přejezdu, kdy dráha kříží silniční komunikaci pod jiným než pravým úhlem, je potřeba vzít v potaz převážně změny v technologii výpočtu délek železničního přejezdu. Je nutné zohlednit rozdíl úhlu závor vůči silniční komunikaci oproti drážnímu tělesu. Tato situace má především za následek prodloužení délky železničního přejezdu. V technické dokumentaci by půdorys teoretického přejezdu vypadal jako na obrázku (22).



Obr. 22 Půdorys teoretického přezedu – úhel x

Zdroj: (2)

2.5.2 Výpočet délky přibližovacího úseku dle ČSN 34 2650

K výpočtu délky přibližovacího úseku pro jednotlivé varianty byly využity postupy z normy ČSN 34 2650, která je popsána v kapitole 1.1. K výpočtu byl využit autorův software Microsoft Excel, díky kterému bylo možné provést několik variací výpočtu dle zadaných parametrů. Příklad výpočtu pro železniční přezezd s celými závory je součástí přílohy (A). (2)

Železniční přezezd – celé závory 90°

Pro tento železniční přezezd jsou zadány proměnné hodnoty dle tabulky (11). Železniční přezezd svírá úhel 90° a je uzavřen celými závory v obou směrech jízdních pruhů.

Tab. 11 Proměnné teoretického přezedu – celé závory 90°

Zdroj: (Autor)

Proměnné	Zvolené hodnoty	Jednotka
Rychlost ŽKV	160, 140, 120, 100, 80, 60	[km/h]
Rychlost nejpomalejšího sil. voz.	5	[km/h]
Délka nejpomalejšího sil. voz.	22	[m]
Úhel svírající sil./žel.	90	[°]
Počet kolejí	1, 2, 3	[-]

Výsledné hodnoty délky přibližovacího úseku pro železniční přejezd svírající úhel 90° se silniční komunikací jsou zobrazeny v tabulce (12).

Tab. 12 Délka přibližovacího úseku – celé závory 90°

Zdroj: (Autor)

Rychlost [km/h]	Délka přibližovacího úseku [m]		
	1 kolej	2 koleje	3 koleje
160	1913	2041	2169
140	1674	1786	1898
120	1435	1531	1627
100	1196	1276	1356
80	956	1020	1084
60	717	765	949

Z tabulky (12) lze vyčíst znatelný rozdíl délky přibližovacího úseku u vlaků s rychlostí běžné osobní dopravy (zeleně zvýrazněno) a vlaků s rychlostí konvenční nákladní dopravy (červeně zvýrazněno).

Železniční přejezd – celé závory 73°

Pro tento železniční přejezd jsou zadány proměnné hodnoty dle tabulky (13). Železniční přejezd svírá úhel 73° a je uzavřen celými závory v obou směrech jízdních pruhů.

Tab. 13 Proměnné teoretického přejezdu – celé závory 73°

Zdroj: (Autor)

Proměnné	Zvolené hodnoty	Jednotka
Rychlost ŽKV	160, 140, 120, 100, 80, 60	[km/h]
Rychlost nejpomalejšího sil. voz.	5	[km/h]
Délka nejpomalejšího sil. voz.	22	[m]
Úhel svírající sil./žel.	73	[°]
Počet kolejí	1, 2, 3	[-]

Hodnoty délky přibližovacího úseku pro železniční přejezd svírající úhel 73° jsou vyobrazeny v tabulce (14).

Tab. 14 Délka přibližovacího úseku – celé závory 73°

Zdroj: (Autor)

Rychlost [km/h]	Délka přibližovacího úseku [m]		
	1 kolej	2 koleje	3 koleje
160	1945	2073	2201
140	1702	1814	1926
120	1458	1554	1650
100	1215	1295	1375
80	972	1036	1100
60	729	777	825

Z tabulky (14) můžeme vyčíst rozdíl délky přibližovacího úseku u vlaků s rychlostí běžné osobní dopravy (zeleně zvýrazněno) a vlaků s rychlostí nákladní dopravy (červeně zvýrazněno). U dvojkolejné trati je rozdíl při rychlosti 160 a 100 km/h v délce přibližovacího úseku 778 metrů. Při rychlosti ŽKV 100 km/h ujede úsek 778 metrů za 28 sekund, což je doba, po kterou při adaptivní délce přibližovacího úseku může být železniční přejezd stále otevřen.

Železniční přejezd – bez závor

Pro porovnání hodnot délky přibližovacího úseku v různých případech je vypočtena délka přibližovacího úseku pro železniční přejezd bez závor pouze s PZS s výstražníkem. V tabulce (15) jsou zadány proměnné hodnoty železničního přejezdu bez závor.

Tab. 15 Proměnné teoretického přejezdu – bez závor

Zdroj: (Autor)

Proměnné	Zvolené hodnoty	Jednotka
Rychlost ŽKV	160, 140, 120, 100, 80, 60	[km/h]
Rychlost nejpomalejšího sil. voz.	5	[km/h]
Délka nejpomalejšího sil. voz.	22	[m]
Úhel svírající sil./žel.	90	[°]
Počet kolejí	1, 2, 3	[-]

Hodnoty délky přibližovacího úseku železničního přejezdu svírajícího úhel 90° se silniční komunikací dle zadaných proměnných jsou zobrazeny v tabulce (16).

Tab. 16 Délka přibližovacího úseku – bez závor

Zdroj: (Autor)

Rychlost [km/h]	Délka přibližovacího úseku [m]		
	1 kolej	2 koleje	3 koleje
160	1436	1564	1692
140	1257	1369	1481
120	1077	1173	1269
100	898	978	1058
80	718	782	843
60	539	587	635

Z výsledných hodnot je patrné, že rozdíl délky přibližovacího úseku u PZS se závorami a bez závor je znatelný. Zkrácení přibližovacího úseku je dáno především absencí doby potřebné k uzavření železničního přejezdu závorou (10 sekund). Zvýrazněny jsou rychlosti vlaků běžné osobní dopravy (zeleně zvýrazněno) a rychlosti vlaku nákladních expresů (zvýrazněno červeně).

Skutečná délka přibližovacího úseku

V normě ČSN 34 2650 se objevuje pojem skutečná délka přibližovacího úseku. Tento pojem není v normě dostatečně vysvětlen, nicméně se jedná o vzdálenost, ve které je podsystem (spínací bod) reálně instalován, a to z důvodu terénních či stavebních dispozic (tunel, propustek, most, jiné zařízení atd.). Oproti tomu délka přibližovacího úseku je ideální pozice, kde by měl být podsystem PZS instalován dle normy.

Z tohoto důvodu je proveden sběr dat rozdílu mezi vypočtenou a skutečnou hodnotou délky přibližovacího úseku, který je následně průměrován. Hodnoty jsou brány z tabulky přejezdů. Délka přibližovacího úseku bude u vybraných řešení navýšena o 242 metrů, díky čemuž je získána skutečná délka přibližovacího úseku. Pro náhled situací bude využita hodnota navýšení délky přibližovacího úseku o 500 metrů. (2)

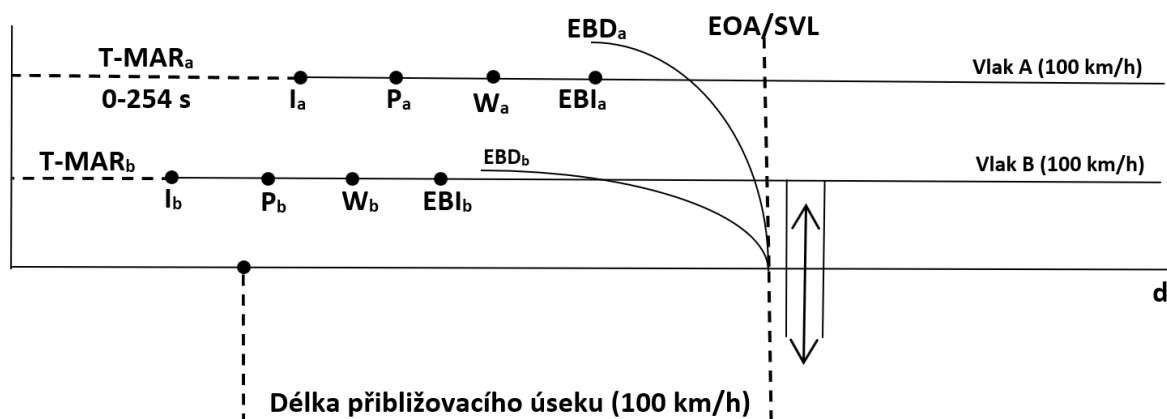
Zhodnocení výsledků

Výsledné hodnoty délky přibližovacího úseku, které jsou součástí přílohy (B), jsou směrodatné pro návrh adaptivní délky přibližovacího úseku. Dodržení normy ČSN 34 2650 a ČSN 73 6380 nám zaručuje plnění legislativního rámce, který zaručuje bezpečné a včasné uzavření železničního přejezdu pro UPK.

V rámci optimalizace lze uvažovat o změně definice nejdelšího silničního vozidla (22 metrů) a nejpomalejšího silničního vozidla (5 km/h). Jako příklad lze uvést změnu rychlosti tohoto vozidla na 7 km/h – u železničního přejezdu, který je vybaven celými závorami, má úhel křížení dvojkolejné železniční trati a silniční komunikace 90° a blíží se k němu vlak jedoucí 160 km/h, bude délka přibližovacího úseku přesně 1712 metrů. Pokud navíc bude délka vozidla místo původních 22 metrů pouze 20 metrů, pak bude délka přibližovacího úseku 1666 metrů. Při zachování původních hodnot (22 metrů, 5 km/h) by přitom přibližovací úsek měřil celých 2041 metrů.

2.6 Technologie adaptivní délky přibližovacího úseku

V kapitole 2.3 a 2.5.2 byly vypočteny hodnoty, které reprezentují jak délku přibližovacího úseku dle ČSN 34 2650, tak body v systému ETCS (I, P, W, EBI, EBD). Z prvotní analýzy je zřejmé, že jednotlivé body razantně mění vzdálenost od bodu rozhodnutí EOA/SVL (ohrožení), a to na základě charakteru vlaku (brzdící procenta, rychlost vlaku, délka vlaku), jak je zobrazeno na obrázku (23).



Obr. 23 Body systému ETCS pro různé charaktery vlaků

Zdroj: (Autor)

Není tedy možné zaručit bezpečné uzavření železničního přejezdu dle normy ČSN 34 2650 na základě konkrétního bodu v systému ETCS, protože jednotlivé body systému se nachází buď před délkou přibližovacího úseku nebo za ní. Druhým nevyhovujícím aspektem pro volbu konkrétního bodu systému ETCS z hlediska včasného uzavření železničního přejezdu je fakt,

že po obdržení nového MA jednotlivé body dle brzdné křivky EBD zmizí, protože je nahradí nové body, které se vztahují k novému místu ohrožení EOA/SVL za železničním přejezdem. Na základě těchto skutečností je rozhodnuto, že klíčovým prvkem návrhu adaptivní délky přibližovacího úseku bude samotná délka přibližovacího úseku dle normy ČSN 34 2650. Radiobloková centrála bude využívat znalost této technologie tak, aby délka přibližovacího úseku zvolená dle rychlosti vlaku zaručila bezpečnost a možnost nejpomalejšímu a nejdelšímu vozidlu včas opustit přejezd, než čelo vlaku mine železniční přejezd. Tato technologie zabezpečení přejezdu je dlouhodobě ověřena praxí, proto je možné se této technologii držet i v samotném návrhu.

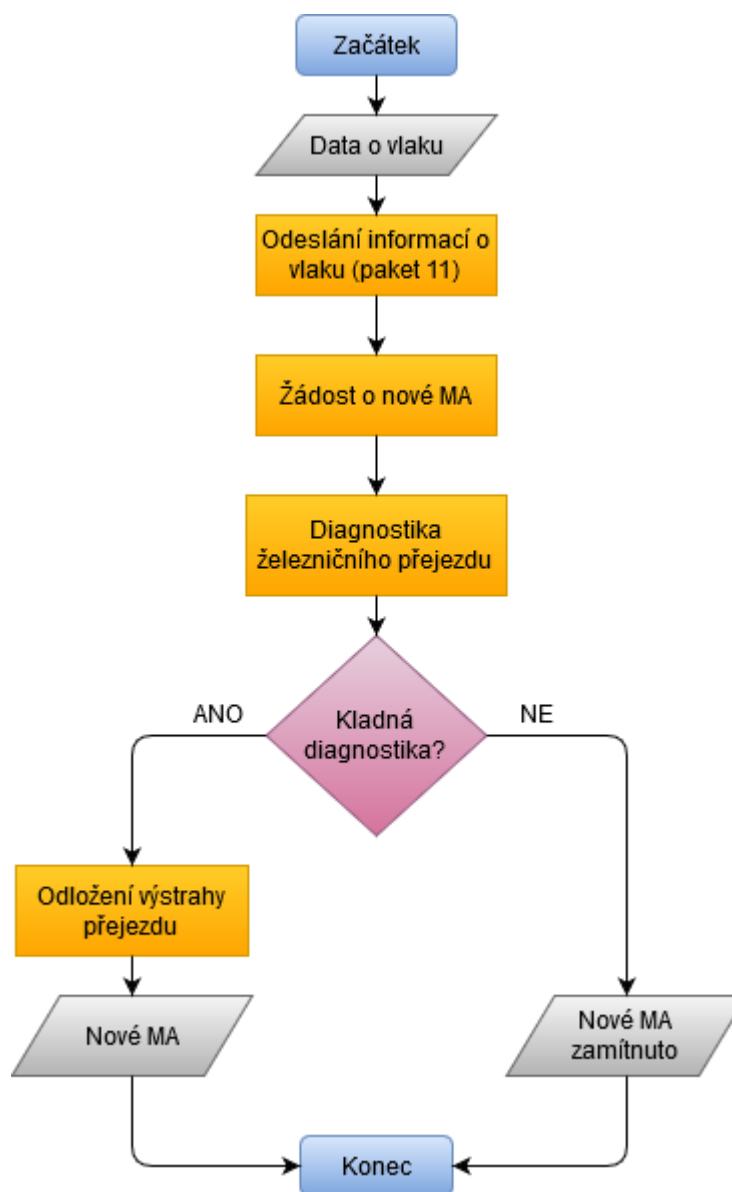
Dalším návrhovým prvkem adaptivní délky přibližovacího úseku je vzájemná komunikace mezi RBC, PZS a mobilní jednotkou ETCS, ke které dochází v oblasti MAR. Při porovnání vypočtené vzdálenosti bodu indikace, která navazuje na oblast MAR, a délky přibližovacího úseku dle normy, dochází k situaci, kdy je oblast MAR:

- a) Před počátkem polohy délky přibližovacího úseku dle normy
- b) Za počátkem polohy délky přibližovacího úseku dle normy.

Pokud je oblast MAR před polohou délky přibližovacího úseku dle normy, dochází k veškeré komunikaci mezi mobilní jednotkou ETCS a RBC před touto oblastí. Součástí komunikace mezi mobilní jednotkou ETCS a RBC před koncem MA je:

- a) Z mobilní jednotky ETCS do RBC
 - a. Zaslání informací o vlaku (paket 11)
 - b. Žádost o nové MA
- b) Z RBC do PZS
 - a. Příkaz k diagnostice
- c) Z PZS do RBC
 - a. Kladná / záporná diagnostika
- d) Z RBC do mobilní jednotky ETCS
 - a. Kladná diagnostika – nové MA
 - b. Záporná diagnostika – žádost o MA zamítnuto
- e) Z RBC do PZS
 - a. Odložení výstrahy dle charakteru vlaku.

Jednotlivé kroky procesu komunikace zobrazuje vývojový diagram na obrázku (24).



Obr. 24 Vývojový diagram komunikace systému ETCS

Zdroj: (Autor)

V opačném případě a dle analýzy vypočtených hodnot v kapitole 2.3 a 2.5.2 ve většině případů může nastat situace, kdy je oblast MAR za počátkem oblasti délky přibližovacího úseku dle normy. V této situaci může nastat komunikace mezi mobilní jednotkou ETCS a RBC po uplynutí počátku délky přibližovacího úseku a nebude tak dodržena norma ČSN 34 2650. Tuto situaci je možné řešit několika způsoby:

a) Vztažná balíza

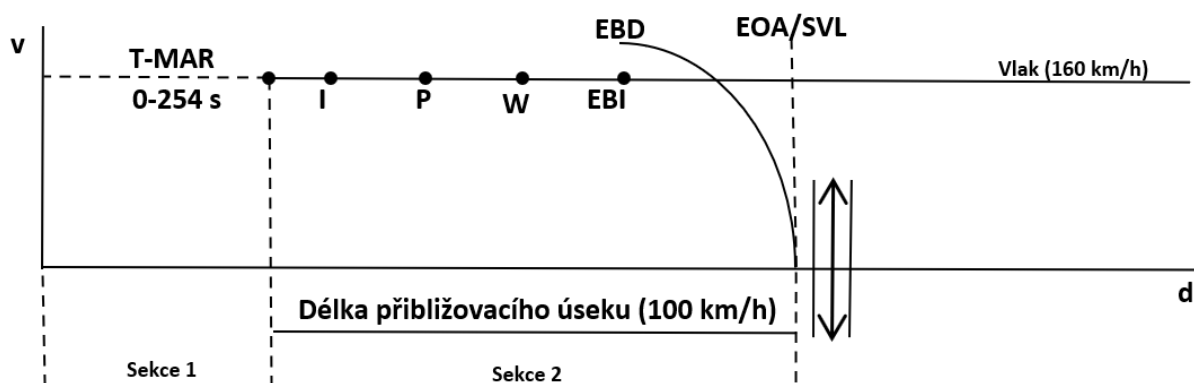
Za této situace bude dle dispozic nejvyšší dovolené traťové rychlosti a technologie normy ČSN 34 2650 stanovena délka přibližovacího úseku pro konkrétní železniční přejezd, a na tomto místě bude umístěna vztažná balíza, která na popud ŽKV vyšle do mobilní části ETCS informaci o blížícím se železničním přejezdu. Na tuto informaci mobilní ETCS zareaguje

předáním informací o vlaku (pokud tak dříve neučinil) do RBC a následně zašle MAR (pokud tak dříve neučinil) do RBC. V případě, že tyto informace zaslal dříve, je platná prvotní informace o MA vydaná RBC. Radiobloková centrála reaguje na tuto situaci příkazem diagnostiky dotčeného přejezdu. Pokud je železniční přejezd v pořádku, RBC adaptivně zvolí délku přibližovacího úseku dle získaných informací o vlaku, a do této polohy odloží výstrahu přejezdu. Adaptivní délka přibližovacího úseku je zvolena na základě rychlosti MRSP konkrétního vlaku a znalosti technologie výpočtu délky přibližovacího úseku dle normy ČSN 34 2650.

Toto řešení je obdobné u paketu 88, který zasílá informace o železničním přejezdu ze vztažné balízy. Povolení k jízdě MA je vedeno za železniční přejezd, ale dokud není železniční přejezd zabezpečen, je vlak nucen před železničním přejezdem zpomalit. Toto řešení nevyužívá stávající technologie dle normy ČSN 34 2650. Výhodou tohoto řešení je v případě nefunkčního PZS možnost zpomalit na 10 km/h a pokračovat dále v jízdě za železniční přejezd, zatímco při nevyužití paketu 88 je vlak nucen zastavit před koncem MA (prodloužení jízdy vlaku). Další nevýhodou tohoto řešení je nutnost instalace dalších zařízení do infrastruktury dráhy. Všechny tyto aspekty staví toto řešení do poslední pozice volby řešení.

b) Rozdělení MA na sekce

V kapitole 2.2.1 byl zmíněn pojem sekce v souvislosti s MA. Každé povolení k jízdě může být rozděleno do několika sekcí, jak je zobrazeno na obrázku (25).



Obr. 25 Rozdělení MA na sekce

Zdroj: (Autor)

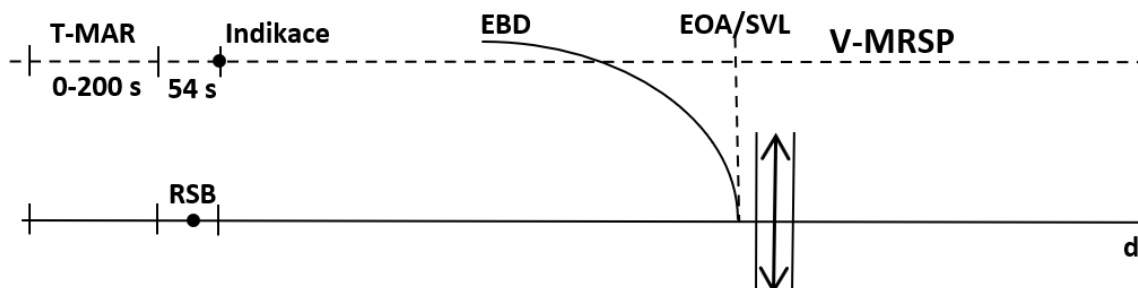
Poslední sekce je prohlášena za koncovou sekci, kdy bude systémem vyžadováno zaslat MAR před tím, než vlak vstoupí do této koncové sekce. Každá sekce má jasně dané specifikace (vzdálenost, maximální dovolenou rychlost atd.) Na základě těchto údajů lze počátek koncové sekce stanovit před délkou přibližovacího úseku, která je stanovená dle technologie normy, dispozic přejezdu a nejvyšší dovolené rychlosti přes tento přejezd. Toto řešení zaručí, že žádost

o MA včetně návazných kroků určující adaptivní délku přibližovacího úseku (komunikace s RBC a odložená výstraha) bude odeslána vždy před polohou počátku délky přibližovacího úseku dle normy, bude tak zajištěn dostatečný čas pro opuštění železničního přejezdu. Výhodou je, že nemusí být instalována vztažná balíza. Po ukončení provozu vlaků bez ETCS budou původní prvky PZS zrušeny a nahrazen již funkčním přejezdem v systému ETCS, nebo může být stávající PZS zachováno jako sekundární zabezpečení.

c) Volba času žádosti o nové MA

Dle definice ETCS je oblast MAR v časovém rozmezí 0-254 sekund od bodu indikace. V tomto časovém rozmezí lze nadefinovat, kdy mobilní část ETCS zažádá o nové MA a spustí tak kroky, které vedou k volbě adaptivní délky přibližovacího úseku dle rychlosti vlaku MRSP. Oblast MAR je závislá na rychlosti vlaku a časovém fondu žádosti MA. Při vyšší rychlosti vlaku je oblast MAR větší než při rychlosti nižší.

Ze získaných dat lze říci, že počáteční poloha oblasti MAR je vždy před polohou reálného spínacího bodu. Za těchto skutečností je dostatečná doba pro žádost o nové MA a kroky s tím spojené (komunikace s RBC a odložená výstraha) v časovém fondu MA 0-200 sekund z celkového času 254 sekund. Tato časová hodnota zajišťuje, že vyslání žádosti o nové MA proběhne vždy před počáteční polohou délky přibližovacího úseku dle nejvyšší dovolené rychlosti traťového úseku. Na obrázku (26) je tato situace zobrazena.



Obr. 26 Volba času žádosti o nové MA

Zdroj: (Autor)

Výhodou tohoto řešení je, stejně jako u řešení B, možnost pouze upravit funkce softwaru. Nedochází k instalacím pevných infrastrukturních prvků, které zvyšují celkové finanční náklady na instalaci návrhu. Po ukončení provozu vlaků bez systému ETCS může být národní PZS (spínací a vypínací body) odstraněn a zůstane zachován přejezd integrovaný do systému PZS, nebo může být využit stávající systém jako sekundární zabezpečení.

2.6.1 Pohled na bezpečnost

Výše zmíněné návrhy využívají jak nového systému ETCS, tak dosavadní technologie zabezpečení přejezdu pomocí PZS. S těmito návrhy vzniká otázka bezpečnosti.

Kombinace vlaků s a bez systému ETCS

Pokud do obvodu železničního přejezdu vstoupí vlak bez systému ETCS, využije tento vlak národního zabezpečení (národní PZS). Délka přibližovacího úseku bude odpovídat nejvyšší dovolené rychlosti traťového úseku, není tedy počítáno s optimalizací. RBC o vlaku neví, proto nijak na situaci nereaguje.

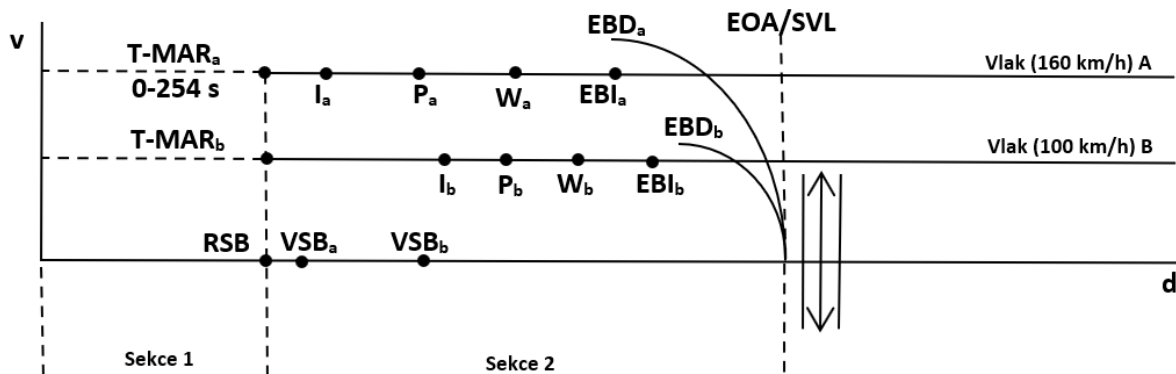
V druhém případě se k přejezdu blíží vlak s ETCS. Před počátkem reálného spínacího bodu (RSB) jsou zaslány informace o vlaku včetně žádosti o nové MA. V případě, že RBC získá negativní diagnostiku od PZS, musí vlak před přejezdem zastavit (absolutní zabezpečení). V případě že je diagnostika kladná, je vydáno nové MA za železniční přejezd (vlak dále pokračuje očekávanou rychlostí, maximálně však MRSP). Radiobloková centrála na základě informací o vlaku (MRSP) adaptivně zvolí délku přibližovacího úseku dle technologie normy ČSN 34 2650. Tímto krokem je výstraha přejezdu odložena do tzv. virtuálního spínacího bodu, který odpovídá vypočtené délce přibližovacího úseku dle aktuální přednastavené rychlosti MRSP. RBC odpojí reálný spínací bod dle nejvyšší dovolené traťové rychlosti do doby, než vlak mine místo virtuálního spínacího bodu. V místě virtuálního spínacího bodu jde na popud RBC železniční přejezd do výstrahy a reálný spínací bod je znovu spuštěn. Pokud by do procesu (na stejné koleji) vypnutého reálného spínacího bodu vstoupil nový vlak, na principu obsazených kolejových obvodů zůstane železniční přejezd ve výstraze, dokud konec nového vlaku nemine konec železničního přejezdu. Pokud by při odložené výstraze vstoupil do obvodu přejezdu vlak na další traťové koleji s vyšší rychlostí (větší délka přibližovacího úseku), RBC spustí výstrahu pro nový vlak v případě, že je výstraha přejezdu žádána dříve (na základě technologie adaptivní délky přibližovacího úseku) než u vlaku prvního.

V případě, že proces adaptivní délky přibližovacího úseku naruší vlak bez systému ETCS, je primárně brán v potaz tento vlak, a to na základě národního zabezpečení PZS. Odložená výstraha jednoho směru bude nahrazena výstrahou od reálného spínacího bodu PZS dle nejvyšší dovolené traťové rychlosti.

Jednotlivé kroky vedou k optimalizaci délky přibližovacího úseku dle charakteru vlaku u vlaků zabezpečených systémem ETCS. U vlaků bez systému ETCS nedochází k optimalizaci.

Vlak bez ETCS stále využívá národní zabezpečení přejezdu PZS. V obou případech je dodržena norma ČSN 34 2650.

Na obrázku (27) jsou vyobrazeny jednotlivé body. V případě nového MA jsou tyto body I, P, W, EBI nahrazeny přímkou bez omezení. Jedná se o návrh řešení B.



Obr. 27 Body systému ETCS a adaptivní technologie

Zdroj: (Autor)

Další bod zobrazený na obrázku (27) je RSB, který představuje reálné národní zabezpečení pomocí PZS odvozeného od nejvyšší dovolené rychlosti tratového úseku, ke kterému je připočten rozdíl reálného umístění (dispozice terénu atd.), a virtuální spínací bod (VSB), generovaný RBC dle charakteru rychlosti vlaku a znalosti normy ČSN 34 2650. Virtuální spínací body jsou pohyblivé dle charakteru rychlosti MRSP, např. vlak jedoucí 160 km/h získá VSB u dvojkolejné trati 2041 metrů od železničního přejezdu, zatímco vlak jedoucí 100 km/h získá VSB ve vzdálenosti 1276 metrů od přejezdu. Výhoda generování virtuálních spínacích bodů je v jejich pozici, která je nezávislá na terénních podmínkách infrastruktury, tj. nachází se tam, kde je vypočtena – oproti reálnému spínacímu bodu, jehož skutečná vzdálenost se může oproti té vypočtené lišit i o 250-500 metrů.

Změna rychlosti v čase

Jedním z charakterů vlaku je změna rychlosti v čase. Pokud by vlak měnil rychlost za virtuálním spínacím bodem konkrétního železničního přejezdu (jeho rychlost by narůstala), nebyla by dodržena délka přibližovacího úseku stanovená RBC dle charakteristiky aktuální rychlosti vlaku.

Jedno z řešení je systémově zakázat akceleraci vlaku v místě, kdy mine virtuální spínací bod. Akcelerace bude povolena, až čelo vlaku mine železniční přejezd. Toto řešení prodlužuje jízdní doby vlaku v oblasti železničního přejezdu. Naopak zpomalování vlaku v čase lze řešit přenosem informace o aktuální rychlosti vlaku v místě spínacího bodu. Vlak není omezován, jen doba uzavření železničního přejezdu není optimální, protože vlak do minutí železničního přejezdu zpomalil (bezpečnost není ohrožena).

Další možností je také složitá predikce zrychlení či zpomalení vlaku, přičemž na tomto základě by byla předdefinována adaptivní délka přibližovacího úseku železničního přejezdu, která by počítala s průběžnou změnou rychlosti.

Tato diplomová práce počítá s řešením využití předdefinované rychlosti vlaku MRSP, která nesmí být překročena. Pokud vlak nebude dodržovat rychlost MRSP (vlak pojedje rychlostí nižší), stále bude délka přibližovacího úseku stanovena dle přednastavené rychlosti MRSP. Toto řešení vylučuje komplikaci s možnou změnou rychlosti v oblasti délky přibližovacího úseku. Zároveň, pokud je rychlost oproti MRSP nižší, je možné s vlakem v oblasti délky přibližovacího úseku akcelarovat či zpomalovat (vlak musí však dodržet rychlost MRSP).

Zastávka v oblasti železničního přejezdu

V případě, že se délka přibližovacího úseku nachází v obvodu zastávky, je řešením brát tuto pozici jako místo s fiktivním odjezdovým návěstidlem. Vlak, který v tomto místě zastavuje, bude uděleno MA pouze do stanoveného místa v zastávce. Po uběhnutí doby odbavení cestujících a uplynutí části přibližovací doby RBC vydá nové oprávnění k další jízdě. Tímto způsobem bude dodržena bezpečnost vycházející z normy ČSN 34 2650.

2.6.2 Shrnutí zvolené technologie

Tato diplomová práce bude uvažovat návrh rozdělení MA na sekce a návrh předsunuté oblastí MAR. Oba typy řešení vedou k žádosti o nové MA před RSB, kdy je zajištěna komunikace mobilní jednotky ETCS a RBC před kritickým místem (RSB pro nejvyšší dovolenou traťovou rychlost). Součástí komunikace mobilní jednotky ETCS a RBC je charakteristika vlaku, žádost o MA. Následuje komunikace RBC s PZS, který provede diagnostiku. Na základě diagnostiky PZS radiobloková centrála vydává nové MA a odkládá výstrahu. Výstraha železničního přejezdu je odložena do doby, kdy vlak mine virtuální spínací bod, který vzniká na základě informací o infrastruktuře (délka přejezdu, počet kolejí, nejvyšší dovolená rychlost traťového oddílu atd.) a informací o vlaku. Výpočet adaptivní délky probíhá na základě normy ČSN 34 2650, přičemž je garantováno včasné vyklizení železničního přejezdu nejpomalejším a nejdelším vozidlem. Současně je zachován národní PZS pro provoz vlaků bez systému ETCS (tyto vlaky nevyužívají adaptivní délku přibližovacího úseku). Po ukončení provozu vlaků bez ETCS může být dosavadní systém PZS (spínací a vypínací body) odpojen, nebo může být tento systém ponechán jako sekundární zabezpečení železničního přejezdu.

3 VYHODNOCENÍ NÁVRHU

V závěru diplomové práce jsou porovnány doby uzavření železničního přejezdu při využití adaptivní, vypočtené a skutečné délky přibližovacího úseku. Součástí vyhodnocení návrhu adaptivní délky přibližovacího úseku je i dopravní model, jehož výstupem bude náhodně vygenerovaný harmonogram jízd vlaků a uživatelů pozemní komunikace přes železniční přejezd. Na základě těchto výstupů jsou porovnány hodnoty celkové doby uzavření železničního přejezdu, počet ovlivněných uživatelů pozemní komunikace a celková doba čekání před uzavřeným železničním přejezdem.

Výsledné hodnoty slouží jako prvek v rozhodovacím procesu, zdali návrh adaptivní délky přibližovacího úseku (DPÚ) může systém silniční komunikace využívaný UPK optimalizovat.

3.1 Porovnání dob uzavření přejezdu

V analýze proveditelnosti návrhu adaptivní délky jsou porovnány hodnoty času návrhového prvku s již zavedenou technologií výpočtu délky přibližovacího úseku. V prvotní fázi jsou určeny charaktery vlaku. V tabulce (17) jsou tyto charaktery zobrazeny.

Tab. 17 Charaktery vlaků

Zdroj: (Autor)

Charakter druh vlaku	MRSP [km/h]	Délka vlaku [m]	Charakter druh vlaku	MRSP [km/h]	Délka vlaku [m]
1 - Os	160	200	11 - Os	140	80
2 - Os	160	180	12 - Os	140	80
3 - Os	160	285	13 - Os	140	150
4 - Os	160	200	14 - Os	140	230
5 - Os	160	90	15 - Os	140	150
6 - Os	160	80	16 - Os	120	50
7 - Os	160	150	17 - N	100	400
8 - Os	160	90	18 - N	100	600
9 - Os	160	370	19 - N	100	300
10 - Os	140	200	20 - N	100	500

Tento vybraný vzorek reprezentuje intenzitu železniční dopravy teoretického přejezdu pracovního dne v čase od 16:00 do 17:00 hod. Vlaky jsou ve vybraném čase v poměru 0,45 (160 km/h), 0,3 (140 km/h), 0,05 (120 km/h) a 0,2 (100 km/h) z celkového počtu 20 vlaků. Teoretický železniční přejezd má dvě traťové koleje s nejvyšší dovolenou rychlostí traťového úseku 160 km/h. Úhel křížení silniční komunikace je 90°, šířka komunikace je 5 metrů. Železniční přejezd je zabezpečen PZS s celými závorami.

Adaptivní délka přibližovacího úseku

Výsledné hodnoty pro adaptivní délku přibližovacího úseku přejezdu využívají technologie virtuálních spínacích bodů na základě vypočtené délky přibližovacího úseku dle normy ČSN 34 2650. Mezi tyto hodnoty patří:

- a) Přibližovací doba
- b) Doba průjezdu drážního vozidla přejezdem
- c) Celková doba uzavření železničního přejezdu.

Přibližovací doba je stanovena dle normy ČSN 34 260. Výsledná hodnota vychází z nejdelšího a nejpomalejšího vozidla, délek železničního přejezdu a technických parametrů uzavření přejezdu. Přibližovací doba není závislá na rychlosti vlaku, a tudíž je hodnota pro různé charakteristiky vlaku stejná. Doba průjezdu vlaku přejezdem je závislá na délce a rychlosti vlaku, je to však hodnota, kterou nelze v rámci této diplomové práce optimalizovat. Pro otevření přejezdu byla definována hodnota 10 sekund, přičemž při součtu této hodnoty s dobou průjezdu vlaku přejezdem a přibližovací doby se získá celková doba uzavření přejezdu dle charakteru vlaku. V tabulce (18) jsou vyobrazeny průměrné doby uzavření přejezdu dle rychlosti vlaku při využití adaptivní technologie.

Tab. 18 Průměrné doby uzavření přejezdu – adaptivní technologie

Zdroj: (Autor)

Rychlost vlaku [km/h]	Přibližovací doba [s]	Průjezd vlaku přejezdem [s]	Uzavření přejezdu [s]
160	46	4,2	60,2
140	46	3,9	59,9
120	46	1,7	57,7
100	46	16,4	72,4

Z výchozích průměrných hodnot z tabulky (18) vyplývá, že rozdíl v době uzavření přejezdu pro vlaky s charakterem rychlosti 160, 140 a 120 km/h je obdobný. Tato skutečnost je dána především obdobnou délkou vlaků. Pokud je porovnán rozdíl uzavření přejezdu osobního a nákladního vlaku, můžou se tyto hodnoty lišit až o 12,2 sekund. Celková doba uzavření přejezdu za jednu hodinu při průjezdu 20 vlaků (pokud vlaky uzavírají železniční přejezd nezávisle na sobě) je 1249 s, tj. 20,8 min.

Pevně stanovená délka přibližovacího úseku (160 km/h)

Další tabulka (19) zobrazuje průměrné hodnoty uzavření železničního přejezdu vypočtené na základě pevně stanovené délky přibližovacího úseku pro nejvyšší dovolenou rychlost traťového úseku 160 km/h. Parametry železničního přejezdu zůstávají dle předchozího zadání.

Tab. 19 Průměrné doby uzavření přejezdu – pevně stanovená DPÚ

Zdroj: (Autor)

Rychlost vlaku [km/h]	Přibližovací doba [s]	Průjezd vlaku přejezdem [s]	Uzavření přejezdu [s]
160	46	4,2	60,2
140	52,5	3,9	66,4
120	61,2	1,7	72,9
100	73,5	16,4	99,9

V tabulce (19) jsou vidět razantní rozdíly v celkové době uzavření přejezdu oproti návrhu adaptivní délky přibližovacího úseku v tabulce (18). Tento rozdíl je dán především vzdáleností, kterou musí vozidlo urazit od RSB k přejezdu se sníženou rychlostí, která je dána charakterem vlaku. Průměrný rozdíl oproti adaptivnímu návrhu je 0 sekund (rychlost 160 km/h); 6,5 s (rychlost 140 km/h); 15,2 s (rychlost 120 km/h); 27,5 s (rychlost 100 km/h). Celková doba uzavření přejezdu za jednu hodinu při průjezdu 20 vlaků (pokud vlaky uzavírají železniční přejezd nezávisle na sobě) je 1412 s, tj. 23,5 min.

Skutečná délka přibližovacího úseku (160 km/h)

V kapitole 2.5 by definován pojem skutečná délka přibližovacího úseku. Jedná se o polohu RSB, která je zvolená na základě terénních, technických a technologických podmínek. Za této situace se může RSB od polohy vypočtené délky přibližovacího úseku lišit až o 250-500 metrů, což způsobuje razantní prodloužení doby uzavření železničního přejezdu. V tabulce (20) jsou

zobrazeny průměrné hodnoty uzavření železničního přejezdu, pokud je vzdálenost RSB od přejezdu 2283 metrů. Charakter železničního přejezdu je neměnný.

Tab. 20 Průměrné doby uzavření přejezdu – skutečná DPÚ

Zdroj: (Autor)

Rychlost vlaku [km/h]	Přibližovací doba [s]	Průjezd vlaku přejezdem [s]	Uzavření přejezdu [s]
160	51,4	4,2	65,6
140	58,7	3,9	72,6
120	68,5	1,7	80,2
100	82,2	16,4	108,6

Při výpočtu doby uzavření železničního přejezdu dle RSB vzniká mezi osobním vlakem s rychlostí 160 km/h a nákladním vlakem s rychlostí 100 km/h rozdíl okolo 43 sekund. Celková doba uzavření železničního přejezdu za jednu hodinu při průjezdu 20 vlaků (pokud vlaky uzavírají železniční přejezd nezávisle na sobě) je 1541 s (25,7 min), přičemž rozdíl v celkové době uzavření přejezdu oproti adaptivní délce činí 292 s, tj. 4,9 min.

Pokud by železniční přejezd měl RSB nadnesen až o 500 metrů, rozdíl mezi osobním vlakem s rychlostí 160 km/h a nákladním vlakem s rychlostí 100 km/h by byl okolo 47 sekund. Rozdíl v celkové době uzavření železničního přejezdu oproti adaptivní délce přibližovacího úseku je 429 s, tj. 7,2 min.

Délka přibližovacího úseku – souhrn technologií

V tabulce (21) je souhrn průměrných dob uzavření železničního přejezdu dle rychlosti a zvolené technologie při průjezdu 20 vlaků.

Tab. 21 Průměrná doba uzavření železničního přejezdu dle zvolené technologie

Zdroj: (Autor)

Rychlost vlaku [km/h]	Průměrná doba uzavření železničního přejezdu dle zvolené technologie [s]		
	Adaptivní DPÚ (160 km/h)	Vypočtená DPÚ (160 km/h)	Skutečná DPÚ (160 km/h)
160	60,2	60,2	65,6
140	59,9	66,4	72,6
120	57,7	72,9	80,1
100	72,4	99,9	108,6

V tabulce (22) je zobrazen celkový souhrn dob uzavření železničního přejezdu dle zvolené technologie při průjezdu 20 vlaků vybraných charakterů.

Tab. 22 Souhrn dob uzavření železničního přejezdu dle zvolené technologie

Zdroj: (Autor)

	Adaptivní DPÚ (160 km/h)	Vypočtená DPÚ (160 km/h)	Skutečná DPÚ (160 km/h)
Celková doba uzavření přejezdu [s]	1248	1412	1541
Úspora času [s]	0	163	292

Za situace, kdy je úhel svírání silniční komunikace a dráhy menší než 90°, doba uzavření přejezdu narůstá, neboť se prodlužují délky železničního přejezdu. Tento nárůst je však pouze v desetinách sekund.

3.1.1 Změna nejvyšší dovolené rychlosti

V rámci této podkapitoly byly změněny parametry železničního přejezdu na nejvyšší dovolenou rychlost 140 km/h pro 3 traťové koleje. Úhel dráhy křižující silniční komunikaci je 90°, silniční komunikace je široká 5 metrů. Vypočtená délka přibližovacího úseku je 1898 metrů a skutečná délka přibližovacího úseku je 2140 metrů. V rámci analýzy je využita skladba vlaků z podkapitoly 3.1, kdy vlaky původně jedoucí 160 km/h budou mít rychlost 140 km/h, ostatní charaktery vlaku zůstávají neměnné. V tabulce (23) jsou zobrazeny průměrné hodnoty dob uzavření železničního přejezdu pro rychlost 140 km/h.

Tab. 23 Průměrná doba uzavření železničního přejezdu – 140 km/h Zdroj: (Autor)

Rychlost vlaku [km/h]	Průměrná doba uzavření železničního přejezdu dle zvolené technologie [s]		
	Adaptivní DPÚ (140 km/h)	Vypočtená DPÚ (140 km/h)	Skutečná DPÚ (140 km/h)
140	62,6	62,6	69,5
120	59,7	68,6	75,9
100	74,5	94,7	103,4

V tabulce (24) jsou následně zobrazeny celkové doby uzavření železničního přejezdu dle zvolené technologie pro přejezd s nejvyšší dovolenou traťovou rychlostí 140 km/h.

Tab. 24 Souhrn dob uzavření železničního přejezdu – 140 km/h Zdroj: (Autor)

	Adaptivní DPÚ (140 km/h)	Vypočtená DPÚ (140 km/h)	Skutečná DPÚ (140 km/h)
Celková doba uzavření přejezdu [s]	1296	1397	1532
Úspora času [s]	0	101	236

3.1.2 Změna skladby vlaků

V této analýze byla provedena změna skladby vlaků projíždějících teoretickým přejezdem. Za hodinu projede teoretickým přejezdem opět 20 vlaků. Charakter přejezdu z důvodu porovnání hodnot zůstává neměnný dle kapitoly 3.1. V příloze (C) jsou charaktery vlaků zobrazeny. Poměr vlaků je v tomto případě 0,2 (160 km/h); 0,25 (140 km/h); 0,05 (120 km/h); 0,2 (100 km/h); 0,2 (90 km/h); 0,1 (80 km/h). V tabulce (25) jsou pro tuto variantu výsledné hodnoty zobrazeny.

Tab. 25 Průměrná doba uzavření železničního přejezdu – změna skladby

Zdroj: (Autor)

Rychlost vlaku [km/h]	Průměrná doba uzavření železničního přejezdu dle zvolené technologie [s]		
	Adaptivní DPÚ (160 km/h)	Vypočtená DPÚ (160 km/h)	Skutečná DPÚ (160 km/h)
160	60,9	60,9	66,3
140	60,1	66,6	72,8
120	57,7	72,9	80,1
100	70,1	97,6	106,3
90	72,9	106,3	116,0
80	66,2	111,1	122,0

Celková doba uzavření železničního přejezdu dle zvolené technologie je zobrazena v tabulce (26). Jedná se o hodnoty pozměněné skladbou vlaků.

Tab. 26 Souhrn dob uzavření železničního přejezdu – změna skladby

Zdroj: (Autor)

	Adaptivní DPÚ (160 km/h)	Vypočtená DPÚ (160 km/h)	Skutečná DPÚ (160 km/h)
Celkem [s]	1296	1688	1843
Úspora času [s]	0	392	547

Pokud by byl RSB nadnesen až o 500 metrů, byla by celková doba uzavření přejezdu u skutečné DPÚ 2009 s (33,5 min). Za této situace by řešení adaptivní DPÚ uspořilo 713 s, tj. 11,9 min.

3.1.3 Skladba vlaků bez systému ETCS

Železniční přejezd mohou v určitých případech využívat také vlaky bez systému ETCS. V tomto případě RBC nijak na situaci nereaguje (nevyužívá adaptivní délku přibližovací doby). Samotný vlak bez systému ETCS využije národního zabezpečení PZS (nedojde k optimalizaci). Za situace, kdy je skladba vlaků v kombinaci s a bez systému ETCS, dochází k časové optimalizaci, není ale tak velká, jako při využití všech vlaků se systémem ETCS. V rámci

analýzy je využita technologie adaptivní DPÚ a skutečné DPÚ pro vlaky bez systému ETCS, kdy RSB je ve vzdálenosti 2283 metrů od přejezdu. Charakter přejezdu zůstane zachován, tak jako v prvním případě kapitoly 3.1. V příloze (D) jsou zobrazeny vybrané charaktery vlaku. Poměr vlaků je následující: 0,6 (vlaky se systémem ETCS); 0,4 (vlaky bez systému ETCS). Osobních vlaků je 16 a nákladní vlaky jsou 4 z celkového počtu 20 vlaků. V tabulce (27) je zobrazen souhrn výsledných hodnot při změně skladby vlaku s a bez systému ETCS.

Tab. 27 Souhrn dob uzavření železničního přejezdu – s/bez ETCS

Zdroj: (Autor)

	Adaptivní DPÚ s kombinací vlaků bez systému ETCS (160 km/h)	Vypočtená DPÚ (160 km/h)	Skutečná DPÚ (160 km/h)
Celkem [s]	1349	1412	1541
Úspora času [s]	0	63	192

Při sečtení hodnot kombinace skladby vlaků s a bez systému ETCS je výsledná doba uzavření železničního přejezdu 1349 s (22,5 min). Pokud se tato hodnota porovná s celkovou dobou uzavření železničního přejezdu bez adaptivní technologie, dochází k ušetření 192 s (3,2 min). V případě, kdy by 50 % vlaků bylo bez systému ETCS, bude celkový ušetřený čas 100 s (1,7 min). Pokud by všechny vlaky měly systém ETCS, bude celková úspora času oproti vlakům bez systému 292 s, tj. 4,9 min.

Z této analýzy je patrné, že při rostoucím počtu vlaků bez systému ETCS je schopnost adaptivní technologie zvýšit úsporu času nižší. Tato situace je dána především tím, že vlaky bez systému ETCS využívají běžný národní PZS, takže nedochází k optimalizaci v závislosti na rychlosti.

3.1.4 Shrnutí analýzy dob uzavření přejezdu

Podkapitola 3.1 analyzovala možnou časovou úsporu při využití technologie adaptivní délky přibližovacího úseku. Z jednotlivých analýz je zřejmé, že pro nejvyšší možnou úsporu času je třeba, aby systém využívaly především vlaky se systémem ETCS. Při zvýšeném počtu vlaku bez systému ETCS se úspora času snižuje.

Další poznatek vychází z analýzy, kdy došlo ke změně skladby vlaku. Pokud dochází k navýšení počtu nákladních vlaků, je úspora času znatelnější. Tato situace je dána především

tím, že vlaky jedoucí 100 km/h, reagující na RSB umístěné dle nejvyšší dovolené traťové rychlosti (160 km/h), tento úsek ujedou za mnohem delší dobu než vlaky jedoucí 160 km/h.

Pokud dojde ke změnám parametrů železničního přejezdu, např. snížení nejvyšší dovolené rychlosti traťového úseku, podle kterého je počítána délka přibližovacího úseku, ze 160 km/h na 140 km/h, zvýší se počet vlaků jedoucí maximální dovolenou rychlostí. Z tohoto důvodu je úroveň ušoupeného času uzavření železničního přejezdu nižší než u varianty s nejvyšší dovolenou rychlostí 160 km/h. Poměr vlaků jedoucích nižší rychlostí je nižší, zároveň se již nejedná o tak velké rychlostní rozdíly.

V podkapitole 3.1.3 byla analyzována celková doba uzavření železničního přejezdu v kombinaci s vlaky se systémem ETCS a vlaky bez tohoto systému. Z výsledných hodnot vyplývá, že úspory času uzavření železničního přejezdu jsou patrné i u této kombinace vlaků.

Výše získané hodnoty jsou směrodatné pro následující analýzu, kdy budou porovnávány hodnoty celkové doby uzavření železničního přejezdu, počet ovlivněných UPK a celkové doby čekání UPK.

3.2 Dopravní model

Za účelem ověření proveditelnosti návrhu adaptivní délky přibližovacího úseku byl autorem vytvořen dopravní model pomocí softwaru Microsoft Excel. Tento model využívá princip pseudonáhodného čísla, které je následně transformováno na hodnotu sledované veličiny. Na základě sledované veličiny je možné vytvořit situaci, která odpovídá reálnému provozu na vybraných místech. Tento výsledek je následně zobecňován replikacemi. Dopravní model je součástí příloh (E) a (F).

Aby bylo možné tento model sestavit, byl definován cíl tohoto modelu. Cílem tohoto modelu je vygenerování harmonogramu jízd vlaků a silničních vozidel v jedné hodině, které nepřekračují padesátirázovou intenzitu dopravy. Na základě těchto skutečností byl autorem sestaven dopravní model, který využívá tyto vstupy:

- a) Maximální počet vlaků [voz/hod]
- b) Maximální počet silničních vozidel [voz/hod]
- c) Absolutní četnost
- d) Pseudonáhodné číslo
- e) Podíl vlaků využívající směr A nebo B
- f) Podíl silničních vozidel využívající směr A nebo B

g) Charaktery vlaků.

Výstupem dopravního modelu je harmonogram jízd, který se skládá z těchto výstupních hodnot:

- a) Počet vlaků projíždějících železniční přejezdem [voz/hod]
- b) Počet UPK projíždějících železničním přejezdem [voz/hod]
- c) Směr vlaků blížících se k přejezdu
- d) Směr UPK blížících se k přejezdu
- e) Charakter vlaku (rychlost, délka a druh vlaku)
- f) Čas průjezdu vlaku železničním přejezdem [min]
- g) Čas průjezdu UPK železničním přejezdem [min].

Výsledné hodnoty slouží k ověření návrhu této diplomové práce. Vygenerovaný počet vlaků bude časově porovnán s vygenerovaným počtem vozidel projíždějících přejezdem v konkrétním směru a v konkrétním čase (pro zjednodušení modelu přijíždějí vozidla vždy v celou minutu). V tabulce (28) je zobrazen výstup dopravního modelu ve formě harmonogramu jízd. U vlaků lze porovnat vygenerovaný charakter vlaku s předdefinovanými charaktery, které jsou součástí vstupu do dopravního modelu. Tyto charaktery zobrazuje tabulka (29).

Tab. 28 Harmonogram jízd

Harmonogram jízd					
Čas [min]	UPK			Vlak	
	Směr		Suma	Charakter vlaku	Směr
	A	B			
0	2	3	5	8 B	
1	1	3	4		
2	1	2	3		
3	4	2	6		
4	1	1	2		
5	2	1	3		
6	3	3	6		
7	1	3	4		
8	3	0	3		
9	1	2	3		
10	2	2	4		
11	6	1	7		
12	1	3	4		
13	3	6	9	13 A	
14	2	4	6	15 B	
15	4	1	5		
16	1	1	2		
17	0	1	1	6 B	
18	3	2	5		
19	0	4	4		
20	3	2	5	12 B	
21	3	4	7		
22	2	2	4		
23	0	3	3		
24	4	3	7		
25	0	6	6		
26	4	4	8		
27	2	4	6		
28	4	6	10		
29	1	3	4		
30	4	5	9	14 B	
31	5	3	8		
32	1	2	3		
33	1	2	3	20 B	
34	1	1	2		
35	5	3	8		
36	0	4	4	7 A	
37	2	0	2		
38	6	2	8		
39	1	3	4		
40	0	1	1		
41	2	1	3	1 B	
42	0	3	3		
43	2	2	4		
44	5	2	7		
45	2	4	6	4 B	
46	4	2	6		
47	3	1	4	5 B	
48	1	3	4		
49	3	5	8		
50	1	3	4		
51	5	6	11		
52	3	2	5		
53	3	2	5	19 A	
54	5	5	10		
55	2	4	6	3 A	
56	3	2	5		
57	7	3	10		
58	1	2	3		
59	2	1	3	20 B	

Tab. 29 Předdefinované charaktery vlaků Zdroj: (Autor)

Charaktery vlaků			
Charakter	Druh	MRSP	Délka vlaku
1	Os	160	200
2	Os	160	180
3	Os	160	285
4	Os	160	200
5	Os	160	90
6	Os	160	80
7	Os	160	150
8	Os	160	90
9	Os	160	370
10	Os	140	200
11	Os	140	80
12	Os	140	80
13	Os	140	150
14	Os	140	230
15	Os	140	150
16	Os	120	50
17	N	100	400
18	N	100	600
19	N	100	300
20	N	100	500

Hodnoty z harmonogramu jízd jsou analyzovány, přičemž je sledována celková doba uzavření železničního přejezdu, počet ovlivněných UPK a celková doba čekání UPK před zavřením železničním přejezdem, a to při využití adaptivní DPÚ a skutečné DPÚ.

3.2.1 Analýza získaných hodnot vybraných přejezdů

V této podkapitole jsou analyzovány výsledky dopravního modelu, který se zakládá na hodnotách pro vybrané přejezdy popsané v kapitole 1.3. V modelech je generován počet UPK nepřekračující padesátirázovou intenzitu dopravy konkrétního železničního přejezdu. Zároveň jsou využity získané hodnoty celkové doby uzavření železničního přejezdu, které jsou součástí přílohy (G).

Červenka, Olomouc – P6520

Dopravní model pro tento železniční přejezd vygeneroval charaktery 15 vlaků za hodinu, z toho tři páry vlaků se navzájem na železničním přejezdu potkávají. Z 15 vlaků je 12 osobních a 3 nákladní. Dále model vygeneroval 44 UPK jedoucích přes železniční přejezd, přičemž 22 UPK bylo dotčeno jízdou vlaku přes železniční přejezd. Tabulka (30) výsledné hodnoty zobrazuje v časovém fondu jedné hodiny.

Tab. 30 Výstup dopravního modelu – Červenka, Olomouc (P6250)

Zdroj: (Autor)

	Adaptivní DPÚ	Skutečná DPÚ	Úspora
Celková doba uzavření přejezdu [s]	1000	1247	247
Počet ovlivněných UPK	19	22	3
Celková doba čekání UPK [s]	1081	1409	328

Dle výsledků z tabulky (30) došlo díky adaptivní délce přibližovacího úseku k ušetření 247 sekund, přičemž počet dotčených vozidel klesl z 22 na 19. Celková doba čekání všech UPK ovlivněných jízdou vlaku klesla ze 1409 s (23,5 min) na 1081 s (18 min), díky adaptivní technologii bylo ušetřeno 328 s (5,5 min) čekání (v průběhu 1 h).

Úvaly, Praha východ – P4933

Tento železniční přejezd má 3 traťové koleje s nejvyšší dovolenou rychlostí traťového úseku 140 km/h. Přejezd má nejvyšší padesátirázovou intenzitou dopravy ze čtyř vybraných přejezdů v této diplomové práci, konkrétně 353 voz/hod. Tyto údaje včetně charakterů vlaků jsou zadávány do dopravního modelu. Výsledkem dopravního modelu je harmonogram jízd, který se skládá z 15 vlaků, z toho dva páry vlaků se na železničním přejezdu vzájemně potkávají. Skladba vlaků dle kategorie je 12 osobních a 3 nákladní vlaky. Železničním

přejezdem projede dle modelu 328 UPK za hodinu, z toho 146 UPK je ovlivněno jízdou vlaku přes železniční přejezd. Tabulka (31) zobrazuje výsledné hodnoty modelu pro železniční přejezd P4933.

Tab. 31 Výstup dopravního modelu – Úvaly, Praha východ (P4933) Zdroj: (Autor)

	Adaptivní DPÚ	Skutečná DPÚ	Úspora
Celková doba uzavření přejezdu [s]	992	1151	159
Počet ovlivněných UPK	146	146	0
Celková doba čekání UPK [s]	6097	7333	1236

Z výsledků tabulky (31) lze říci, že adaptivní technologie nesnížila počet dotčených UPK, ale snížila dobu čekání UPK a celkovou dobu uzavření železničního přejezdu. Hlavním důvodem nesnížení počtu dotčených UPK není jen nižší rychlost přes železniční přejezd, ale také šířka železničního přejezdu, která je díky 3 traťovým kolejím větší. Z celkového počtu 15 vygenerovaných vlaků je při adaptivní technologii železniční přejezd uzavřen celkem 992 s, tj. 16,5 min. Rozdíl mezi uzavřením přejezdu při adaptivní a momentálně využívané technologii činí 159 s, tj. 2,7 min. Nejzajímavější je hodnota celkové doby čekání UPK u železničního přejezdu – při této situaci došlo k ušetření 1235 s tj. 20,6 min čekání.

Šakvice, Břeclav – P6795

Tento železniční přejezd má 2 traťové koleje, přičemž padesátirázová intenzita dopravy UPK je 114 voz/hod. Nejvyšší dovolená rychlost traťového úseku je 160 km/h. Dle harmonogramu jízd, který byl vygenerován dopravním modelem, projede železničním přejezdem 9 vlaků, z toho 5 osobních a 4 nákladní. Z celkového počtu 72 vozidel je jízdou vlaku dotčeno 21 vozidel. V tabulce (32) jsou zobrazeny získané hodnoty z dopravního modelu.

Tab. 32 Výstup dopravního modelu – Šakvice, Břeclav (P6795)

Zdroj: (Autor)

	Adaptivní DPÚ	Skutečná DPÚ	Úspora
Celková doba uzavření přejezdu [s]	593	791	198
Počet ovlivněných UPK	21	21	0
Celková doba čekání UPK [s]	953	1512	559

Z výsledných hodnot v tabulce (32) lze vyčíst ušetřenou dobu uzavření železničního přejezdu i úsporu celkové doby čekání UPK při využití adaptivní délky přibližovacího úseku.

Svitavy – P6828

Na tomto železničním přejezdu je nejvyšší dovolená rychlost traťového úseku 140 km/h, přičemž silniční komunikaci křížuje dvojkolejná trať. Dopravní model pro tento případ vygeneroval 7 osobních vlaků za hodinu, zároveň železničním přejezdem projede 77 voz/hod. Tabulka (33) výsledné hodnoty dopravního modelu pro tuto konkrétní situaci zobrazuje.

Tab. 33 Výstup dopravního modelu – Svitavy (P6828)

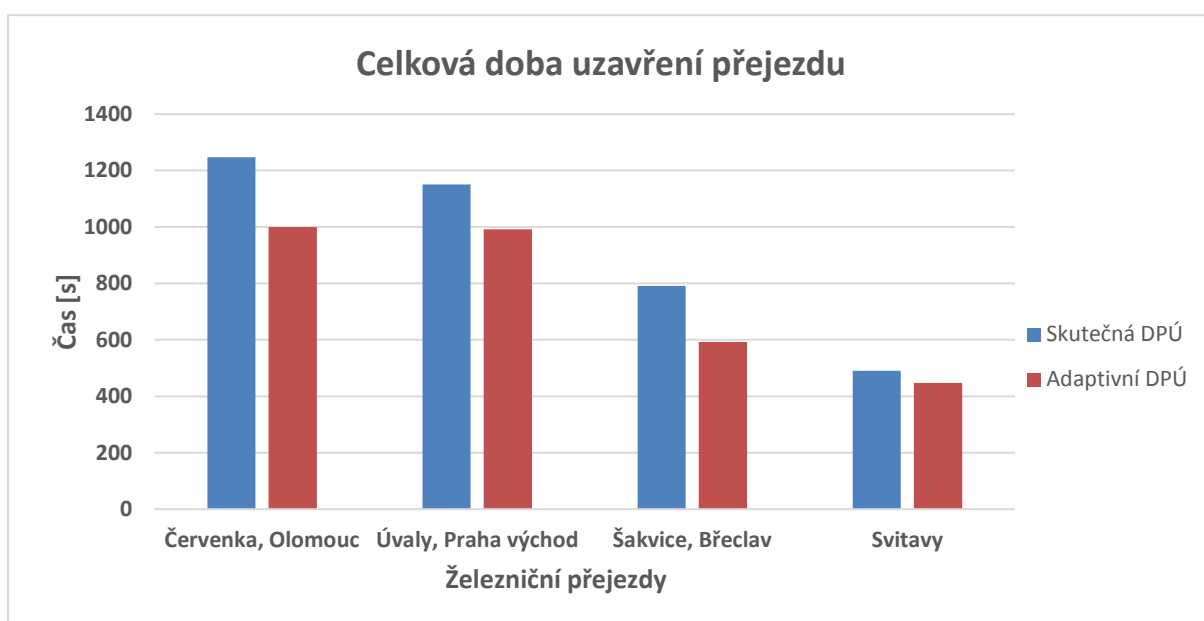
Zdroj: (Autor)

	Adaptivní DPÚ	Skutečná DPÚ	Úspora
Celková doba uzavření přejezdu [s]	447	490	43
Počet ovlivněných UPK	18	18	0
Celková doba čekání UPK [s]	370	482	112

V tomto případě je úspora celkové doby uzavření železničního přejezdu nejnižší ze všech dotčených přejezdů. Hlavním důvodem je skladba vlaků, kdy přejezdem v tomto případě projíždí pouze osobní vlaky. Opět nedošlo ani ke snížení počtu vozidel, které jsou dotčeny jízdou ŽKV. Celková úspora doby čekání UPK je 112 s, tj. 1,9 min.

3.2.2 Shrnutí analýzy dopravního modelu

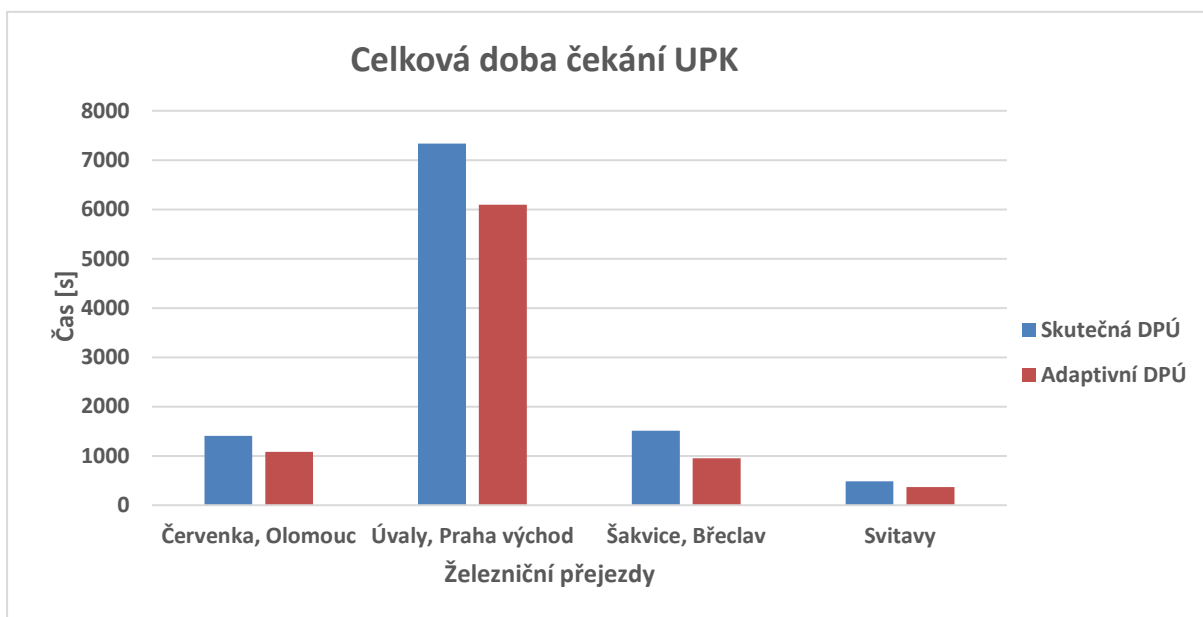
Z výsledných hodnot podkapitoly 3.2.1 je zřejmé, že dochází k optimalizaci při využití adaptivní délky přibližovacího úseku. Při navyšující se intenzitě silniční dopravy dochází k větším úsporám v čase, po který musí UPK čekat na otevření železničního přejezdu. Zásadní roli hraje také skladba vlaků, neboť při větším podílu nákladních vlaků dochází k větší úspoře času. Pokud je intenzita dopravy nízká, lze říci, že se výsledky optimalizace neprojeví ve významné míře, a není tedy třeba tuto technologii zavádět. Avšak díky kratší době čekání UPK před přejezdem může dojít ke zvýšení respektování pravidel silničního provozu, a tedy i k navýšení bezpečnosti. Na obrázku (28) jsou pro porovnání zobrazeny hodnoty celkové doby uzavření přejezdu pro vybrané přejezdy.



Obr. 28 Graf celkové doby uzavření železničního přejezdu

Zdroj: (Autor)

Na následujícím obrázku (29) jsou zobrazeny hodnoty celkové doby čekání UPK před vybranými uzavřenými přejezdy.



Obr. 29 Graf celkové doby čekání UPK

Zdroj: (Autor)

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byla analýza technologicko-provozních aspektů křížení dráhy a pozemní komunikace a návrh adaptivní délky přibližovacího úseku.

Doba uzavření železničního přejezdu je závislá jak na rychlosti a délce nejpomalejšího silničního vozidla, tak na délce jednotlivých částí železničního přejezdu. Tyto aspekty přímo ovlivňují přibližovací dobu. Důležitá je také znalost rychlosti ŽKV. Délka přibližovacího úseku je zásadní pro návrhovou část této diplomové práce.

Pro analýzu proveditelnosti návrhového prvku adaptivní délky byla využita data dopravních intenzit silničních komunikací, které úrovnově křížují dráhu v místě vybraných železničních přejezdů.

Tato diplomová práce popisuje možné rozšíření systému ETCS, přičemž nejdůležitější úroveň pro tuto práci je systém ETCS Level 2, do kterého byl integrován návrh adaptivní délky přibližovacího úseku.

V návrhové části byl proveden výpočet bodů, které vycházejí z brzdné křivky EBD. Prvotní myšlenkou bylo možné navázání těchto bodů na vypočtenou délku přibližovacího úseku dle normy ČSN 34 2650. Výsledky však ukázaly razantní změnu poloh jednotlivých bodů v závislosti na charakteru vlaku (rychlost, brzdící procenta, délka vlaku). Aby bylo možné tyto body porovnat s délkou přibližovacího úseku dle normy (2), vytvořil autor teoretický přejezd, pro který byly vypočítány jednotlivé délky přibližovacího úseku dle charakteru přejezdu.

Na základě analýzy výsledných hodnot byla zavrhnuta prvotní myšlenka navázání bodů ETCS na délku přibližovacího úseku dle normy, protože by nebyla dodržena přibližovací doba zaručující bezpečnost pro UPK. Při vydání nového MA pro další úsek jsou navíc dosavadní body systému ETCS nahrazeny novými. Tyto skutečnosti vedly autora k nové myšlence, a to vytvoření adaptivní délky přibližovacího úseku s využitím virtuálního spínacího bodu

Poslední kapitola vyhodnocuje návrh porovnáním dob uzavření železničního přejezdu. Z výsledků je patrné, že při využití adaptivní délky přibližovacího úseku dochází k úspoře času uzavření přejezdu. Porovnání dob bylo provedeno pro přejezdy s různými charakteristikami, a úspora času byla zaznamenána jak u přejezdu, jehož charakter je pozměněn (změna nejvyšší dovolené rychlosti), tak i u přejezdů, kde se mění skladba vlaků (poměr osobních a nákladních vlaků, vlaky s a bez systému ETCS).

V rámci řešení diplomové práce byl autorem vytvořen dopravní model, který měl za cíl stanovení harmonogramu jízd a ověření navržených prvků. Výsledné hodnoty ověřily využitelnost návrhu adaptivní délky přibližovacího úseku, neboť k úspoře času došlo u všech vybraných železničních přejezdů. Například u přejezdu Červenka, Olomouc – P 6520 došlo během hodiny k úspoře 247 sekund z celkové doby uzavření přejezdu a 328 sekund z celkové doby čekání UPK při zavřeném přejezdu. Snížení doby čekání UPK může vést k většímu respektování pravidel silničního provozu.

Přínosem práce je využití poznatků získaných v teoretické části k návrhu adaptivní délky přibližovacího úseku, který byl následně ověřen analýzou a dopravním modelem. Návrh adaptivní délky přibližovacího úseku v návaznosti na ETCS Level 2 může být reálnou inspirací při řešení otázky optimalizace dob uzavření železničního přejezdu.

SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- (1) PORWISZ, Vojtěch. Bezpečnost přejezdů. Univerzita Pardubice: Dopravní fakulta Jana Pernera, 2018.
- (2) ČSN 34 2650. Železniční zabezpečovací zařízení – Přejezdová zabezpečovací zařízení. Praha: ČNI, 2010.
- (3) SŽDC (ČD) D2_81. Předpis pro organizování a provozování drážní dopravy. Praha, DOP, 2001.
- (4) Správa železniční dopravní cesty, Přejezdy v číslech. [online]. [cit. 2019-28-12].
Dostupné z:
<<https://www.szdc.cz/o-nas/bezpecnost/bezpecnost-na-prejezdech/prejezdy-v-cislech>>
- (5) WINTER, Peter a UIC. Compendium on ERTMS (European Rail Traffic Management System). Hamburk: DVV Media Group GmbH I Eurailpress, 2009.
ISBN 978-3-7771-0369-9
- (6) Ředitelství silnic a dálnic, Celostátní sčítání dopravy 2016. [online]. [cit. 2020-03-04].
Dostupné z:
<<https://www.rsd.cz/wps/portal/web/Silnice-a-dalnice/Scitani-dopravy>>
- (7) Ředitelství silnic a dálnic, Přehledová mapa. [online]. [cit. 2020-03-04].
Dostupné z:
<<http://scitani2016.rsd.cz/pages/map/default.aspx>>
- (8) BARTOŠ, Luděk. Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích, Technické podmínky, II. vydání. Plzeň: EDIP s.r.o., 2012.
- (9) Směrnice Evropského parlamentu a rady (EU) 2016/797 o interoperabilitě železničního systému v Evropské unii (přepracované znění). EU, 2019.
- (10) Balise. [online]. [cit 2020-09-05]. Dostupné z: <<http://www.railsystem.net/balise/>>
- (11) Konzultace o problematice: Systém ETCS, Ing Jakub Marek Ph.D., Ing Patrovský Jan, 01. 02. 2020, Výzkum a vývoj AŽD Praha s.r.o.
- (12) System Requirements Specification ERTMS/ETCS, Subset 026-4. ERA: Unisig, EEIG ERTMS Users Group, 2016.
- (13) Braking Curves Simulation Tool v4.2, European Rail Traffic Management System (ERTMS). ERA: ERA ERTMS Unit, 2016.
- (14) SŽDC (ČD) Z2. Předpis pro obsluhu přejezdových a zabezpečovacích zařízení. Olomouc, Jerid spol. s.r.o., 2000. Správa železnic dopravní cesty.
- (15) ČSN 73 6380. Železniční přejezdy a přechody, změna Z1. Praha: ČNI, 2004.

- (16) Obrázky vybraných přejezdů, Panorama, Seznam.cz, a.s. [Online]. [cit 2020-09-05].
Dostupné z: <<https://mapy.cz>>
- (17) Tabulky traťových poměrů, Odbor základního řízení provozu. Praha: Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, 2012. [online]. [cit 2020-09-05].
Dostupné z: <<https://provoz.szdc.cz/Portal/ViewArticle.aspx?oid=524607>>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A Výpočet délky přibližovacího úseku

Příloha B Výsledné hodnoty délky přibližovacího úseku

Příloha C Změna skladby vlaků

Příloha D Vlaky s/bez systému ETCS

Příloha E Dopravní model – vstupy

Příloha F Dopravní model – výstupy

Příloha G Celkové doby uzavření železničního přejezdu

PŘÍLOHY

Příloha A Výpočet délky přibližovacího úseku

Zdroj: (Autor)

Výpočet délky přibližovacího úseku (90° vůči komunikaci) - celé závory

Proměnné	Hodnota	Jednotka
Rychlost nejpomalejšího vozidla	5	km/h
Délka nejpomalejšího vozidla	22	m
Počet kolejí přejezdu navíc	1	koleje
Rychlost ŽKV	160	km/h

Délka pásma přejezdu	14	m
Délka směrodatná pro výpočet vyklizovací doby	36	m

Vyklizovací doba	25,92	s
Přibližovací doba	45,92	s
Předzváněcí doba	25,92	s

Konstanty	Hodnota	Jednotka
Osová vzdálenost kolejí	4	m
Vzdálenost nebezpečného pásma	5	m
Vzdálenost výstražníku od nebz. pás.	1,5	m
Vzdálenost vozidla od výstražníku	1	m
Vzdálenost čelních ploch výstražníku	1	m
Doba reakce zařízení	1	s
Bezpečnostní doba 1	6	s
Bezpečnostní doba 2	3	s
Doba sklápění závor	10	s

Délka přibližovacího úseku	2041	m
----------------------------	------	---

Příloha B Výsledné hodnoty délky přibližovacího úseku

Zdroj: (Autor)

Vypočtené DPÚ dle normy 34 2650

Rychlost vlaku [km/h]	1 kolej, 90°	2 koleje, 90°	3 koleje, 90°	1 kolej, 73°	2 koleje, 73°	3 koleje, 73°
160	1913	2041	2169	1945	2073	2201
140	1674	1786	1898	1702	1814	1926
120	1435	1531	1627	1458	1554	1650
100	1196	1276	1356	1215	1295	1375
90	1076	1148	1220	1094	1166	1238
80	956	1020	1084	972	1036	1100
60	717	765	949	729	777	825

Příloha C Změna skladby vlaků

Zdroj: (Autor)

Charakteristické číslo – druh vlaku	MRSP [km/h]	Délka vlaku [m]	Charakteristické číslo – druh vlaku	MRSP [km/h]	Délka vlaku [m]
1 – Os	160	200	11 – N	100	500
2 – Os	160	180	12 – N	100	400
3 – Os	160	285	13 – N	100	300
4 – Os	160	200	14 – N	100	350
5 – Os	140	90	15 – N	90	200
6 – Os	140	80	16 – N	90	250
7 – Os	140	150	17 – N	90	100
8 – Os	140	90	18 – N	90	600
9 – Os	140	370	19 – N	80	300
10 – Os	120	50	20 – N	80	100

Příloha D Vlaky s/bez systému ETCS

Zdroj: (Autor)

Charakteristické číslo – druh vlaku	MRSP [km/h]	Délka [m]	ETCS	Charakteristické číslo – druh vlaku	MRSP [km/h]	Délka [m]	ETCS
1 – Os	160	200	Ano	11 – Os	140	80	Ano
2 – Os	160	180	Ano	12 – Os	140	80	Ano
3 – Os	160	285	Ne	13 – Os	140	150	Ne
4 – Os	160	200	Ano	14 – Os	140	230	Ano
5 – Os	160	90	Ano	15 – Os	140	150	Ano
6 – Os	160	80	Ne	16 – Os	120	50	Ne
7 – Os	160	150	Ano	17 – N	100	400	Ano
8 – Os	160	90	Ano	18 – N	100	600	Ano
9 – Os	160	370	Ne	19 – N	100	300	Ne
10 – Os	140	200	Ne	20 – N	100	500	Ano

Model vlakové dopravy – vstupy			
Počet vlaků přes železniční přejezd [vlak/hod]	Absolutní četnost	Pravděpodobnost	Kumulace
0	0	0	0
1	0	0	0
2	1	0,002816901	0,0028169
3	2	0,005633803	0,0084507
4	3	0,008450704	0,01690141
5	3	0,008450704	0,02535211
6	5	0,014084507	0,03943662
7	7	0,01971831	0,05915493
8	9	0,025352113	0,08450704
9	10	0,028169014	0,11267606
10	12	0,033802817	0,14647887
11	14	0,03943662	0,18591549
12	15	0,042253521	0,22816901
13	16	0,045070423	0,27323944
14	19	0,053521127	0,32676056
15	20	0,056338028	0,38309859
16	24	0,067605634	0,45070423
17	28	0,078873239	0,52957746
18	30	0,084507042	0,61408451
19	38	0,107042254	0,72112676
20	49	0,138028169	0,85915493
Nultý vlak	50	0,14084507	1

Celkem:	355
---------	-----

Model vlakové dopravy – výstupy				
Náhodná veličina				
Náhodné číslo	0,38161652			
Počet vlaků přes přejezd	14			
Pořadí	Náhodné číslo	Směr vlaku	Charakter vlaku	Čas průjezdu vlaku přejezdem
1	0,004309255	A	6	12
2	0,634323843	B	3	35
3	0,415908491	A	7	60
4	0,818033262	B	15	29
5	0,80056101	A	17	35
6	0,066764456	A	12	11
7	0,417577336	A	8	54
8	0,093158288	A	18	7
9	0,534394005	A	10	29
10	0,696273563	B	9	1
11	0,537750701	B	3	46
12	0,933801407	B	18	32
13	0,767916846	B	11	20
14	0,5947509	B	1	57
15				
16				
17				
18				
19				
20				

Příloha G Celkové doby uzavření železničního přejezdu Zdroj: (Autor)

Charaktery vlaků			Adaptivní DPÚ			Vypočtená DPÚ (160 km/h)			Skutečná DPÚ (160 km/h)				
Číslo charakteru	Rychlost MRSP [km/h]	Délka [m]	Přibližovací doba [s]	Přjezd přejezdem [s]	Celkové uzavření přejezdu [s]	Přibližovací doba [s]	Přjezd přejezdem [s]	Celkové uzavření přejezdu [s]	Rozdíl oproti adaptivní DPÚ [s]	Přibližovací doba [s]	Přjezd přejezdem [s]	Celkové uzavření přejezdu [s]	Rozdíl oproti adaptivní DPÚ [s]
1	160	200	46,00	4,61	60,61	45,92	4,61	60,54	0,08	51,37	4,61	65,98	-5,37
2	160	180	46,00	4,16	60,16	45,92	4,16	60,09	0,08	51,37	4,16	65,53	-5,37
3	160	285	46,00	6,53	62,53	45,92	6,53	62,45	0,08	51,37	6,53	67,89	-5,37
4	160	200	46,00	4,61	60,61	45,92	4,61	60,54	0,08	51,37	4,61	65,98	-5,37
5	160	90	46,00	2,14	58,14	45,92	2,14	58,06	0,08	51,37	2,14	63,51	-5,37
6	160	80	46,00	1,91	57,91	45,92	1,91	57,84	0,08	51,37	1,91	63,28	-5,37
7	160	150	46,00	3,49	59,49	45,92	3,49	59,41	0,08	51,37	3,49	64,86	-5,37
8	160	90	46,00	2,14	58,14	45,92	2,14	58,06	0,08	51,37	2,14	63,51	-5,37
9	160	370	46,00	8,44	64,44	45,92	8,44	64,36	0,08	51,37	8,44	69,81	-5,37
10	140	200	46,00	5,27	61,27	52,48	5,27	67,75	-6,48	58,71	5,27	73,98	-12,71
11	140	80	46,00	2,19	58,19	52,48	2,19	64,67	-6,48	58,71	2,19	70,89	-12,71
12	140	80	46,00	2,19	58,19	52,48	2,19	64,67	-6,48	58,71	2,19	70,89	-12,71
13	140	150	46,00	3,99	59,99	52,48	3,99	66,47	-6,48	58,71	3,99	72,69	-12,71
14	140	230	46,00	6,04	62,04	52,48	6,04	68,53	-6,48	58,71	6,04	74,75	-12,71
15	140	150	46,00	3,99	59,99	52,48	3,99	66,47	-6,48	58,71	3,99	72,69	-12,71
16	120	50	46,00	1,65	57,65	61,23	1,65	72,88	-15,23	68,49	1,65	80,14	-22,49
17	100	400	46,00	14,58	70,58	73,48	14,58	98,06	-27,48	82,19	14,58	106,77	-36,19
18	100	600	46,00	21,78	77,78	73,48	21,78	105,26	-27,48	82,19	21,78	113,97	-36,19
19	100	300	46,00	10,98	66,98	73,48	10,98	94,46	-27,48	82,19	10,98	103,17	-36,19
20	100	500	46,00	18,18	74,18	73,48	18,18	101,66	-27,48	82,19	18,18	110,37	-36,19
Celkem:					1248,85			1412,19	-163,33			1540,64	-291,78