

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

**Návrh modifikací principů spouštění a ukončování výstrahy železničních přejezdových
zabezpečovacích zařízení.**

Diplomová práce

2023

Bc. Miroslav Čadský

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Miroslav Čadský**
Osobní číslo: **D21449**
Studijní program: **N0788A04000 1 Dopravní technika**
Specializace: **Elektrická trakce a elektromobilita**
Téma práce: **Návrh modifikací principů spouštění a ukončování výstrahy železničních přejezdových zabezpečovacích zařízení.**
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě**

Zásady pro vypracování

1. Shmout principy a funkční vlastnosti spouštění a ukončování výstrahy současných přejezdových zabezpečovacích zařízení se zaměřením na PZS provozovaná na infrastruktuře Správy železnic s. o. (ČR).
2. Identifikovat, resp. shmout nedostatky či omezení stávajících principů a funkčních vlastností spouštění a ukončování výstrahy PZS. A to jak z pohledu propustnosti úrovněového křížení, tak i s ohledem na nepřímé bezpečnostní aspekty, resp. aspekty, které mohou mít vliv na bezpečnost PZ v kombinaci s jinými faktory.
3. Realizovat systémový návrh doplnění, úprav či zásadních modifikací principů a funkcí spouštění a ukončování výstrahy přejezdových zařízení s cílem eliminovat nedostatky identifikované, resp. shrnuté dle bodu 2.
4. V rámci systémového návrhu dle bodu 3 uvažovat v širším kontextu ostatních souvisejících zabezpečovacích systémů, tj. návrh koncipovat jako komplexní, který se neomezuje pouze na přejezdová zabezpečovací zařízení (v rozsahu stávajícího vymezení).
5. V rámci realizace systémového návrhu dle bodů 3 a 4 využít vhodnou a dostupnou modelovací techniku a nástroj – doporučeno je modelování za pomoci nástroje Simulink od firmy MathWorks.

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- ČSN 34 2650 ed. 2. Železniční zabezpečovací zařízení – Přejezdová zabezpečovací zařízení. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- KLEGA, Ondřej. *Vyrovnání přibližovací doby přejezdových zabezpečovacích zařízení v podmínkách SŽDC pro vozidla vybavená systémem ETCS analýza možností využití vlastností ETCS L2* [online]. Pardubice, 2017 [cit. 31.10.2022]. Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/68438/KlegaO_VyrovnanipriblizovaciDoby_JO_1cast_2017.pdf (<https://dk.upce.cz/handle/10195/68438>). Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera.
- NETOLICKÝ, Josef. *Vliv modifikací vlastností přejezdových zabezpečovacích zařízení mimo dosavadní funkční a principiální rámec na charakteristické bezpečnostní a provozní parametry těchto zařízení* [online]. Pardubice, 2017 [cit. 31.10.2022]. Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/68732/NetolickyJ_VlivModifikaci_JO_2017.pdf (<https://dk.upce.cz/handle/10195/68732>). Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera.
- MathWorks. *Self-Paced Online Courses – MATLAB & Simulink* [online kurz]. Dostupné na: <https://matlabacademy.mathworks.com/#simulink> [cit. 31.10.2022].
- ČSN EN 50 128 ed. 2. Drážní zařízení – Sdělovací a zabezpečovací systémy a systémy zpracování dat – Software pro drážní řídicí a ochranné systémy. Praha : Český normalizační institut, 2012.
- ČSN EN 50 126. Drážní zařízení – Stanovení a prokázání bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti (RAMS). Praha : Český normalizační institut, 2001.
- UNISIG. ERTMS/ETCS : System Requirements Specification : SUBSET-026 version 3.6.0 [online, soubor archivu SUBSET-026 v360.zip obsahující soubory formátu *.pdf]. UNISIG, 13.05.2016. Dostupné z: <https://www.era.europa.eu/content/set-specifications-3-ets-b3-r2-gsm-r-b1> [cit. 31.10.2022].

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Ouředníček, Ph.D.

Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě

Datum zadání diplomové práce:

30. listopadu 2022

Termín odevzdání diplomové práce:

9. května 2023

L.S.

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

Ing. Dušan Čermák, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlašuji:

Práci s názvem Návrh modifikací principů spouštění a ukončování výstrahy železničních přejezdových zabezpečovacích zařízení 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

Miroslav Čadský v. r.

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Janu Ouředníčkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, podněty, připomínky a věnovaný čas při zpracování mé diplomové práce. Za podporu při mém studiu na vysoké škole bych chtěl také hlavně poděkovat své rodině, která mi byla vždy oporou.

Anotace

Cílem diplomové práce je identifikace a shrnutí nedostatků stávajících řešení spouštění a ukončování výstrahy na úrovňových přejezdech v rámci železniční sítě Správy Železnic v ČR. Následné vytvoření systémového návrhu řešení identifikovaných problémů v rámci stávajících principů řízení výstrahy přejezdu, ale i uvažování ostatních zabezpečovacích systémů, jako je zaváděný systém ETCS. V souvislosti s tím se práce zaměřuje na simulace a vyhodnocení navrhovaných řešení s využitím programu Matlab Simulink.

Klíčová slova

Přejezdová zabezpečovací zařízení , Vyrovnání přibližovací doby, Minimální doba bez výstrahy na železničním přejezdu, ERTMS/ETCS

Title

Modifications design of principles of level crossing warning activation and deactivation.

Annotation

This master's thesis aims to identify and summarize the shortcomings of the current solutions for the warning activation and deactivation of the level crossings on the railway infrastructure network of Správa Železnic in the Czech Republic. System design, solving the identified shortcomings, follows. The System design respects both existing principles of level crossing as much as possible and other railway signalling systems – typically currently implemented ETCS. The proposed System design is partially realized and evaluated in Simulation model implemented in Matlab Simulink software.

Keywords

Railway crossing signalling, Optimalization of approach time, Minimum time without warning at the level crossing, ERTMS/ETCS.

OBSAH

ÚVOD.....	15
1. PRINCIPY A FUNKČNÍ VLASTNOSTI SPOUŠTĚNÍ A UKONČOVÁNÍ VÝSTRAHY SOUČASNÝCH PZZ PROVOZOVANÝCH NA INFRASTRUKTUŘE SPRÁVY ŽELEZNIC S. O. (ČR)	16
1.1. Spouštění a ukončování výstrahy na přejezdu	16
1.1.1. Vyklizovací doba.....	16
1.1.2. Přibližovací doba	17
1.1.3. Délka přibližovacího úseku	17
1.1.4. Anulace a Mezní doba anulace.....	18
1.2. Prvky pro spouštění a ukončování výstrahy	18
1.2.1. Kolejové obvody (KO).....	19
1.2.2. Sériový kolejový obvod (SKO).....	19
1.2.3. Paralelní kolejový obvod (PKO)	20
1.2.4. Počítače náprav.....	21
1.2.5. Anulační soubor elektronický (ASE)	24
2. SHRUTÍ IDENTIFIKOVANÝCH NEDOSTATKŮ STÁVAJÍCÍCH PRINCIPŮ SPOUŠTĚNÍ A UKONČOVÁNÍ VÝSTRAHY PZS	27
2.1. Hlavní provozní a bezpečnostní nedostatky PZS v ČR.....	27
2.1.1. Vliv rychlosti drážního vozidla na délku výstrahy.....	27
2.1.2. Absence detekčních prvků vyklizení přejezdu silničními vozidly	28
2.1.3. Absence minimální doby bez výstrahy na přejezdu – nejednoznačnost výstrahy.....	29
3. NÁVRH ÚPRAV PRINCIPŮ SPOUŠTĚNÍ A UKONČOVÁNÍ VÝSTRAHY PZS S CÍLEM ELIMINOVAT IDENTIFIKOVANÉ NEDOSTATKY	35
3.1. Vyrovnání přibližovací doby dle rychlosti drážního vozidla	35
3.2. Instalace detekčních prvků vyklizení přejezdu	36
3.3. Princip přenosu informace o vyklizení přejezdu	37

3.4. Modifikace ukončování výstrahy ve vztahu k nedostatečnému času bez výstrahy na přejezdu.....	39
4. NÁVRH ÚPRAV PRINCIPŮ SPOUŠTĚNÍ A UKONČOVÁNÍ VÝSTRAHY PZS V NÁVAZNOSTI NA PLÁNOVANÉ ZAVÁDĚNÍ SYSTÉMU ETCS	43
4.1. Možnosti pro navrhovaná řešení v rámci implementace systému ETCS	43
4.2. Navrhovaná řešení úprav spouštění a ukončování výstrahy	43
4.2.1. Vyrovnání přibližovací doby dle rychlosti drážního vozidla	43
4.2.2. Zvolení principu spouštění výstrahy na přejezdu	49
4.2.3. Instalace detekčních prvků vyklizení přejezdu silničními vozidly	50
4.2.4. Modifikace ukončování výstrahy ve vztahu k nedostatečnému času bez výstrahy na přejezdu.....	53
5. VYTVOŘENÍ SIMULACÍ VLIVŮ NAVRHOVANÝCH ŘEŠENÍ TYKAJÍCÍ SE ÚPRAV PRINCIPŮ SPOUŠTĚNÍ A UKONČOVÁNÍ VÝSTRAHY PZS	56
5.1. Simulační model přejezdu	56
5.2. Simulační model vyrovnání přibližovací doby	59
5.2.1. Vliv rychlosti na dobu výstrahy	61
5.2.2. Vliv uvažovaného zrychlení vlaku na délku odložení výstrahy	64
5.2.3. Vliv rekalkulace odložení výstrahy dle průběžně aktualizovaných dat zaslaných z vlaku	66
5.2.4. Vliv uvažovaného zrychlení vlaku na délku odložení výstrahy při využití rekalkulace.	71
5.3. Vztah znalosti pozice vlaku v rámci optimalizace přibližovací doby na zajištění minimální doby bez výstrahy.....	73
6. ZÁVĚR	77
Použitá literatura:	79
1. Příloha – Model PZS v programu Simulink.....	81
2. Příloha – Model pro simulaci odložení výstrahy	82
3. Příloha – Model pro simulaci rekalkulace odložení výstrahy	83

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Sériový kolejový obvod (převzato z [3]).....	20
Obrázek 2 – Paralelní kolejový obvod – (převzato z [3]).....	21
Obrázek 3 – Princip počítače náprav – volný počítací bod – (převzato z [4]).....	22
Obrázek 4 – Princip počítače náprav – obsazený počítací bod (převzato z [4]).....	22
Obrázek 5 – Princip dohledu počítače náprav (převzato z [3]).....	23
Obrázek 6 – Princip počítače náprav – pohled shora (převzato z [4]).....	23
Obrázek 7 – Princip relé ASE	25
Obrázek 8 – Umístění ASE na trati.....	25
Obrázek 9 – Spuštění výstrahy následným vlakem	30
Obrázek 10 – Spuštění výstrahy protisměrným vlakem	30
Obrázek 11 – Časová osa doby bez výstrahy základní	31
Obrázek 12 – Časová osa doby bez výstrahy – minimální doba bez výstrahy	31
Obrázek 13 – Časová osa doby bez výstrahy – nulová doba bez výstrahy.....	32
Obrázek 14 – Blokové schéma detekce vyklizení přejezdu.....	37
Obrázek 15 – Realizace vyhodnocení vyklizení přejezdu	38
Obrázek 16 – Diagram pro modifikaci rozhodování o ukončení výstrahy	40
Obrázek 17 – Modifikace pozice detekčních bodů pro zahájení výstrahy	40
Obrázek 18 – Diagram určení rozhodné rychlosti vlaku	44
Obrázek 19 – Princip zahajování výstrahy	46
Obrázek 20 – Princip optimalizace délky výstrahy	47
Obrázek 21 – Princip přenosu informace o vyklizení přejezdu v rámci ETCS	51
Obrázek 22 – Princip modifikace ukončování výstrahy s využitím systému ETCS	54
Obrázek 23 – Časová osa doby bez výstrahy základní (2)	55
Obrázek 24 – Diagram modelu činnosti přejezdu.....	56
Obrázek 25 – Diagram bloku řídicí logiky přejezdu.....	57
Obrázek 26 – Diagram bloku detekce obsazení úseků	57
Obrázek 27– Diagram bloku anulace vzdalovacích úseků	57
Obrázek 28 – Blok ovládání závor.....	58
Obrázek 29 – Výpočetní blok doby příjezdu na přejezd.....	58
Obrázek 30 – Blok simulace vyrovnání přibližovací doby.....	60
Obrázek 31 – Vliv znalosti pozice vlaku na ukončování výstrahy.....	74
Obrázek 32 – Model PZS v programu Simulink.....	81

Obrázek 33 – Model pro simulaci odložení výstrahy	82
Obrázek 34 – Model pro simulaci rekalkulace odložení výstrahy	83

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Data simulace rekalkulace odložení výstrahy pro $V_{\text{konst.}} = 80 \text{ km/h}$, $V_{\text{max}} = 160 \text{ km/h}$	70
Tabulka 2 – Data simulace rekalkulace odložení výstrahy pro $V_{\text{konst.}} = 80 \text{ km/h}$, $V_{\text{max}} = 120 \text{ km/h}$	71
Tabulka 3 – Data simulace rekalkulace odložení výstrahy pro $V_{\text{konst.}} = 80 \text{ km/h}$, $V_{\text{max}} = 160 \text{ km/h}$ a zrychlení $0,5 \text{ m/s}^2$	72

Seznam grafů

Graf 1 – Simulace odložení výstrahy (zrychlení $1,3 \text{ m/s}^2$, $V_{\text{max}} = 160 \text{ km/h}$).....	61
Graf 2 – Simulace odložení výstrahy (zrychlení $1,3 \text{ m/s}^2$, $V_{\text{max}} = 120 \text{ km/h}$).....	63
Graf 3 – Simulace odložení výstrahy (zrychlení $0,5 \text{ m/s}^2$, $V_{\text{max}} = 160 \text{ km/h}$).....	64
Graf 4 – Simulace odložení výstrahy (zrychlení $0,5 \text{ m/s}^2$, $V_{\text{max}} = 120 \text{ km/h}$).....	65
Graf 5 – Ukázka simulace principu rekalkulace při odkládání výstrahy	68
Graf 6 – Simulace rekalkulace odložení výstrahy ($V_{\text{konst.}} = 80 \text{ km/h}$, $V_{\text{max}} = 160 \text{ km/h}$) ...	69
Graf 7 – Simulace rekalkulace odložení výstrahy ($V_{\text{konst.}} = 80 \text{ km/h}$, $V_{\text{max}} = 120 \text{ km/h}$) ...	70
Graf 8 – Simulace vlivu uvažovaného zrychlení při využití rekalkulace	72

Seznam použitých zkratk

SŽ – Správa Železnic

PZZ – Přejezdové zabezpečovací zařízení

PZS – Přejezdové zařízení světelné

KO – Kolejový obvod

PKO – Paralelní kolejový obvod

SKO – Sériový kolejový obvod

ASE – Anulační soubor elektronický

ETCS – (*European Train Control System*) Evropský vlakový zabezpečovací systém

RBC – Rádiobloková centrála

MA – (Movement Authority) Povolení k jízdě

GSM-R – (Global System for Mobile Communications – Railway) Globální systém pro mobilní komunikaci – železniční

ÚVOD

Hlavním cílem této diplomové práce je úprava a optimalizace aktuálních řešení spouštění a ukončování výstrahy na železničních přejezdech v rámci železniční sítě Správy Železnic v rámci ČR. Přejezdová zabezpečovací zařízení prošla značným vývojem, mezi prvními způsoby ovládání přejezdů patřilo mechanické zařízení, které bylo ovládáno přímo dopravním zaměstnancem místně. Celkové řízení tak záviselo na spolehlivosti a nechybovosti daného zaměstnance. Postupem času došlo k vývoji železničních zabezpečovacích zařízení, zejména schopností detekovat kolejová vozidla, například pomocí kolejových obvodů či dnes pomocí počítačů náprav. Toto vedlo na možnost automatizace ovládání činnosti přejezdových zabezpečovacích zařízení. S postupným rozvojem intenzity železničního provozu ale vyvstaly určité nedostatky aktuálních řešení, týkající se zejména nadbytečné délky výstrahy či naopak nedostatečné minimální délky bez výstrahy na přejezdech. Řešení využívající původní principy spouštění výstrahy měly však omezené schopnosti, které limitovaly řešení daných problémů. S nástupem modernějších technologií se zde však naskytují dobré příležitosti dané problémy řešit v rámci implementace těchto technologií. Těmito technologiemi je myšleno zejména zavádění systému ETCS v rámci snahy zvýšení interoperability železniční dopravy evropské železnice. Jednou z výhod tohoto systému je u úrovní implementace L2 a L3 komunikace mezi mobilní částí (vlakem) a traťovou částí (RBC). Tato komunikace zajišťuje přenos informací o vlaku, jako například jeho aktuální polohu či rychlost. Znalost těchto aktuálních dat poskytuje dobrý základ pro úpravu stávajících řešení spouštění výstrahy, s cílem eliminovat nadbytečné čekací doby na přejezdu či nejednoznačnost průběhu výstrahy na přejezdech. Obsah diplomové práce se tak zabývá zejména těmito problémy, navrhuje různé způsoby optimalizace a porovnává vlivy jednotlivých řešení těchto problémů pomocí simulací.

1. PRINCIPY A FUNKČNÍ VLASTNOSTI SPOUŠTĚNÍ A UKONČOVÁNÍ VÝSTRAHY SOUČASNÝCH PZZ PROVOZOVANÝCH NA INFRASTRUKTUŘE SPRÁVY ŽELEZNIC S. O. (ČR)

Tato první kapitola se věnuje obecným principům realizací spouštění a ukončování výstrahy na železničních přejezdech v síti Správy Železnic, tj. v ČR. Jedná se tedy o rozbor této problematiky, který v zadání diplomové práce představuje bod číslo 1. Jako první je zde uveden obecný popis spuštění výstrahy a následně i konkrétní realizační prvky, které se za tímto účelem využívají.

1.1. Spouštění a ukončování výstrahy na přejezdu

Přejezdové zabezpečovací zařízení slouží k zajištění bezpečnosti provozu v místě úrovnového křížení pozemní komunikace a železnice. Cílem zařízení je, aby byli účastníci silničního provozu včas varováni před přijíždějícím vlakem. Norma ČSN 34 2650 ed. 2^[1] slouží jako návod pro nastavení patřičných dob a časů zahajování výstrahy. Ze znalosti rozměrových poměrů projektovaného přejezdu je pro daný přejezd nutno stanovit tyto vybrané hlavní parametry:

- Vyklizovací dobu
- Přibližovací dobu
- Délku přibližovacího/vzdalovacího úseku
- Mezní dobu anulace

1.1.1. Vyklizovací doba

Jedná se o časový údaj, který udává dobu, za kterou rozhodný účastník silničního provozu opustí oblast přejezdu. Buď, že opustí nebezpečné pásmo přejezdu nebo v případě přejezdu s celými závorami se dostane za závoru za přejezdem. Dle normy ČSN 34 2650 ed. 2^[1] může být rozhodný účastník buď silniční vozidlo či chodec. Norma definuje délku i rychlost pro tyto dva účastníky. Pro vozidlo délku 22 m a rychlost 5 km/h, pro chodce (který třeba tlačí vozík) délku 3 m a rychlost 3 km/h. Dle směrodatné délky pro

výpočet vyklizovací doby, která je dána konstrukčním uspořádáním přejezdu se rozhodne, zdali bude oblast přejezdu déle vyklízet silniční vozidlo či chodec. Hranice pro tyto dva účastníky je délka pásma přejezdu 25,5 m. Pokud je pásmo přejezdu kratší jak 25,5 m bude rozhodný účastník silniční vozidlo, jelikož mu doba vyklizení nebezpečného pásma bude trvat déle. V případech, kdy je pásmo přejezdu delší jak 25,5 m, bude rozhodným účastníkem chodec.

1.1.2. Přibližovací doba

Je doba, za kterou od zahájení výstrahy na přejezdu může nejdříve na přejezd přijet drážní vozidlo. Skládá se z vyklizovací doby, doby pro případné sklopení závor, je-li jimi přejezd vybaven, a také několika bezpečnostními dobami. Ty kompenzují například dobu reakce zařízení na povel k zahájení výstrahy, dobu zohledňující tolerance při zaokrouhlování a také dobu, která zajišťuje, aby vlak neprojel přejezdem těsně po sklopení závor, což by mohlo mít negativní psychický dopad na účastníky silničního provozu a vedlo by například ke ztrátě důvěry v dané zabezpečovací zařízení.

1.1.3. Délka přibližovacího úseku

Tento parametr stanovuje délku přibližovacího úseku neboli úseku, na jehož začátku musí dojít k detekci drážního vozidla. Tak aby se přejezd stihl včas uvést do výstrahy a účastníci silničního provozu stihli včas vyklidit nebezpečné pásmo přejezdu. Velikost délky přibližovacího úseku vychází z vypočtené přibližovací doby a z traťové rychlosti v daném přibližovacím úseku. Z těchto parametrů je pak stanovena minimální délka, na které musí být umístěn detekční bod výstrahy. Při výpočtu je nutné uvažovat případné změny traťové rychlosti v přibližovacím úseku nebo umístění stanice v přibližovacím úseku. V případě že se v přibližovacím úseku nachází železniční stanice, je nutné zavést logickou vazbu mezi spouštěním výstrahy na přejezdu z důvodu postavení vlakové cesty přes přejezd a příslušným návěstidlem na začátku takovéto jízdní cesty. Musí dojít totiž k časovému odložení rozsvícení povolující návěsti na návěstidle, aby byl dodržen čas přibližovacího úseku a nestalo se tak, že drážní vozidlo přijede na přejezd dřív, než uplyne přibližovací doba.

Dále jsou také určeny délky vzdalovacích úseků. Dle normy ČSN 34 2650 ed. 2^[1] jsou většinou shodné s délkami přibližovacích úseků v opačném směru. Tyto vzdalovací úseky slouží zejména k nastavení mezní doby anulace prvků pro zahájení výstrahy v přibližovacím úseku z opačné strany, než jede drážní vozidlo (viz 1.2.5).

1.1.4. Anulace a Mezní doba anulace

Anulace představuje funkci přejezdového zabezpečovacího zařízení anulovat spuštění výstrahy od vozidla, které projelo přes přejezd a najelo do vzdalovacího úseku. Tato funkce se využívá z důvodu, aby nedošlo k opakovanému spuštění výstrahy, kdy vlak již přejezdem projel a najel do vzdalovacího úseku. Obsazení vzdalovacího úseku by však vedlo k opětovnému spuštění výstrahy na přejezdu. Z tohoto důvodu je nutné bezpečně vyhodnotit směr jízdy vozidla přes přejezd a anulovat činnost správného KO ve vzdalovacím úseku.

Mezní anulace je pak parametr, který zajišťuje zrušení anulace přibližovacího úseku. Jedná se o maximální dobu, za kterou by drážní vozidlo projelo celý vzdalovací úsek. Vždy se počítá s nejhorsí variantou, tedy s vlakem o délce 700 m a s rychlostí 20 km/h. Tento parametr zajišťuje mezní čas anulace, aby například z důvodu poruchy nedošlo k překročení doby anulace. To by mohlo způsobit, že nedojde k detekci dalšího přibližujícího se drážního vozidla v opačném směru (viz Anulační soubor elektronický (ASE) 1.2.5), což by mohlo vést na hazardní situaci na přejezdu. Délka vzdalovacího úseku pro výpočet mezní doby anulace se dle normy ČSN 34 2650 ed. 2^[1] obvykle stanoví jako délka přibližovacího úseku v opačném směru.

1.2. Prvky pro spouštění a ukončování výstrahy

Tato část se již věnuje konkrétním prvkům a zařízením využívaných při realizaci spouštění a ukončování výstrahy na PZS v síti SŽ ČR.

Spouštěcí prvky výstrahy na PZS se dají rozdělit do 2 velkých skupin dle úrovně jejich zabezpečení neboli dle úrovně informace kterou přenášejí. Může se jednat o bezpečnou informaci detekce vozidla, při které víme že došlo skutečně k detekci přítomnosti/nepřítomnosti vozidla. Druhou skupinu pak tvoří spouštěcí prvky, jejichž úroveň informace se dá charakterizovat jako spolehlivá. Dle normy ČSN 34 2650 ed. 2^[1] se u přejezdů kategorie PZS 2 musí použít prvky, které jsou schopny alespoň spolehlivě vyhodnotit ovlivnění drážním vozidlem. V případě přejezdu kategorie PZS 3 je vyžadováno bezpečné vyhodnocování nepřítomnosti drážního vozidla v daném místě.

U přejezdu kategorie PZS 2, kde je zajištěno pouze spolehlivé spouštění výstrahy, se vyžaduje předání informace strojvedoucímu o stavu přejezdu, tedy zdali je přejezd ve výstraze a strojvedoucí tak může bezpečně pokračovat v jízdě na přejezd nebo musí snížit rychlost a přes přejezd projet opatrnou jízdou maximální rychlostí 10 km/h. Je tedy nutná instalace

přejezdů nebo hlavních návěstidel s přímou vazbou na daný přejezd. Tyto návěsti se umisťují minimálně v zábrzdě vzdálenosti od přejezdu, aby v případě že přejezd nepřešel do stavu výstrahy mohl strojvedoucí vlak včas zastavit či snížit rychlost a projet přes přejezd tzv. opatrnou jízdou neboli takovou rychlostí, aby v případě překážky na trati stihl vlak včas zastavit.^[2]

Bezpečné spouštěcí prvky

- Počítače náprav
- Paralelní kolejové obvody

Spolehlivé spouštěcí prvky

- Sériové kolejové obvody
- (Samostatné detektory kol)

1.2.1. Kolejové obvody (KO)

Tyto detekční prvky jsou založeny na principu využití železničních kolejí jako elektrických vodičů, kterými prochází elektrický proud. Při vjetí železničního vozidla do daného úseku s kolejovým obvodem, dochází k takzvanému „šuntování“ neboli vodivému propojení obou kolejnicových pásů, čímž dochází vlastně k uzavření elektrického obvodu. Vyhraničení kolejového obvodu je zajištěno ve většině případů kolejovými styky, které dělí kolejové vedení na jednotlivé úseky. Základní prvky používané v kolejových obvodech jsou:

- Zdroj signálu
- Kolejové vedení
- Vlakový šunt
- Přijímač signálu

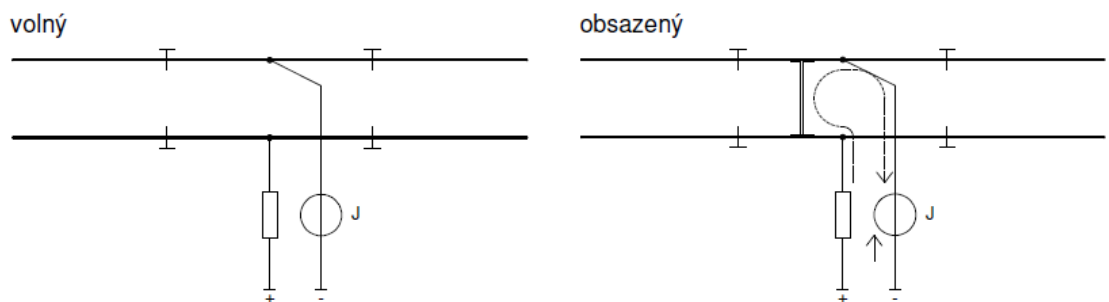
Kolejové obvody se pak dělí dle uspořádání těchto prvků a obecnému principu činnosti, na dva druhy, sériové a paralelní kolejové obvody. Oba tyto druhy mají každý své vlastnosti, které budou popsány dále.

1.2.2. Sériový kolejový obvod (SKO)

Sériový kolejový obvod je konstruován tak, že vysílací část je připojena na jeden kolejnicový pás a přijímací část (relé J) je připojena na druhý kolejnicový pás. V základním

stavu je tak relé J nevybuzené, jelikož není uzavřen elektrický obvod, respektive svodový proud mezi kolejnicemi (kolejnicovými pásy) je natolik nízký, že bezpečně nedojde k vybuzení daného relé. Pakliže však vjede do daného úseku drážní vozidlo, tak svými nápravami vodivě propojí oba kolejnicové pásy a tím uzavře elektrický obvod. Z vysílače tak poteče proud přes jeden kolejnicový pás, přes nápravu vozidla do druhého kolejnicového pásu a k relé J. Tímto způsobem dojde k vybuzení relé J.

Z tohoto principu pak vychází i základní vlastnost sériového kolejového obvodu, kterou je bezpečná detekce přítomnosti vozidla v daném úseku. Jedná se o bezpečnou aktivní informaci, jelikož pouze v případě že se v daném úseku nachází drážní vozidlo, dojde k vybuzení relé J. Typickým využitím SKO je tak bezpečné vyhodnocení dosažení daného místa v kolejišti vlakem, například při detekci průjezd vozidla přejezdem (viz speciální konstrukce ASE - 1.2.5). Musí se však používat bezpečnostní relé, například s nesvařitelnými kontakty, aby poruchou nedošlo k chybnému vyhodnocení.



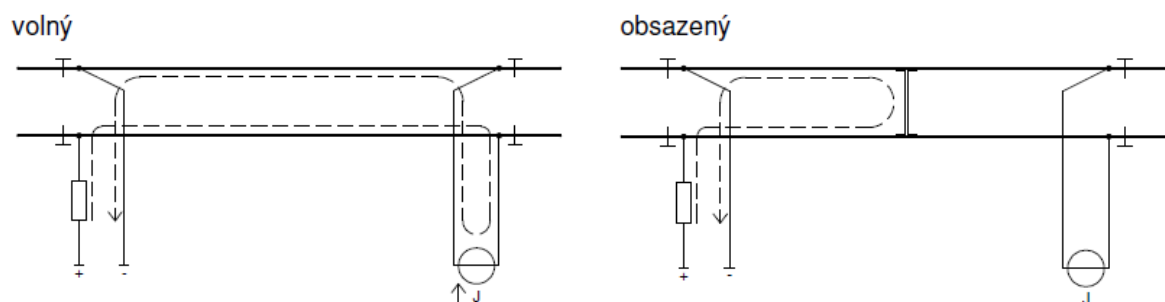
Obrázek 1 – Sériový kolejový obvod (převzato z [3])

1.2.3. Paralelní kolejový obvod (PKO)

Paralelní kolejový obvod se od sériového liší v uspořádání prvků KO a v základní činnosti. U paralelního kolejového obvodu je totiž elektrický obvod vždy uzavřen a kolejnicovými pásy protéká, kromě proudu uzavírajícího se svodem mezi kolejnicemi, zejména proud od vysílače k přijímači, a relé J je tak v základním stavu vždy vybuzeno. V případě však že do daného úseku vjede drážní vozidlo, tak propojí (šuntuje) oba kolejnicové pásy, čímž vlastně dojde ke změně energetických poměrů v kolejovém obvodu takovým způsobem, že napětí a proud přijímačové části KO se změní tak, že se relé J odbudí.

Z toho vyplývá, že základní vlastností paralelního KO je bezpečná detekce volnosti daného KO. Jelikož pouze v případě, že se v úseku nenachází vozidlo, je relé J vybuzeno, čímž PKO poskytuje aktivní bezpečnou informaci o nepřítomnosti vozidla neboli volnosti

daného KO. Samozřejmě musí být zajištěno, aby se poruchou nestalo, že relé J zůstane vybuzeno i v případě, že do daného úseku vjede drážní vozidlo, například zajištěním nesvařitelností kontaktů relé. Z toho důvodu se v bezpečnostně kritických aplikacích využívají speciální relé, které například mají zajištěnou nesvařitelnost kontaktů relé (používá se u různých typů KO ne pouze u PKO).^[3]

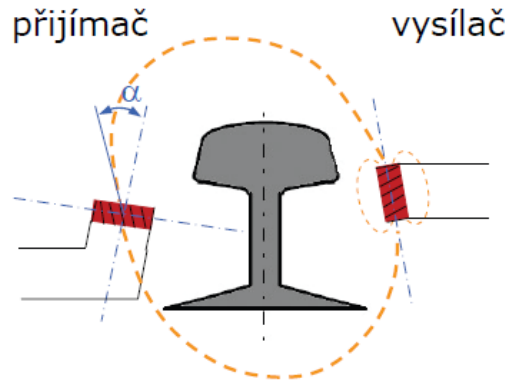


Obrázek 2 – Paralelní kolejový obvod – (převzato z [3])

Další výhodou paralelního KO je, že v principu umí detekovat lom kolejnice. Jelikož v případě, že dojde k lomu kolejnice, dojde vlastně k přerušení elektrického obvodu, a relé J se tak odbudí. Tato mechanická závada kolejnicového pásu se tak projeví trvalým obsazením KO.

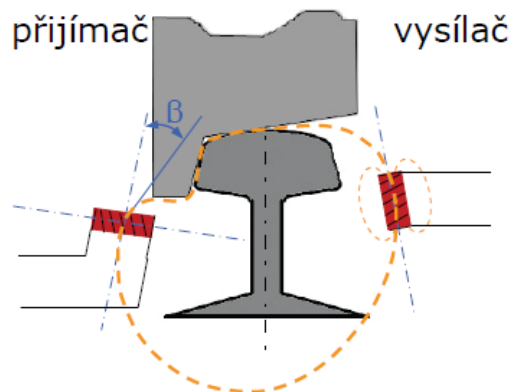
1.2.4. Počítače náprav

Jedná se o vývojově modernější způsob detekce obsazenosti kolejových úseků. Je založen na bodové detekci projíždějících kol a rozlišení směru jejich pohybu a vyhodnocení celkového počtu kol (náprav) v úseku vymezeném takovými detekčními (počítacími) body. Princip funkce počítacího bodu spočívá v generování a detekci elektromagnetického pole. Vysílací část, umístěná na jedné straně kolejnice tvoří cívka, které kolem sebe vytváří střídavé elektromagnetické pole. Z druhé strany kolejnice je umístěna detekční cívka, ve které se díky danému střídavému elektromagnetickému poli indukuje napětí. V případě že se nad počítacím bodem nenachází kolo drážního vozidla, dopadají siločáry daného elektromagnetického pole na cívkou pod úhlem „ α “ a v přijímací cívkce se tak indukuje tzv. referenční napětí. ^[4]



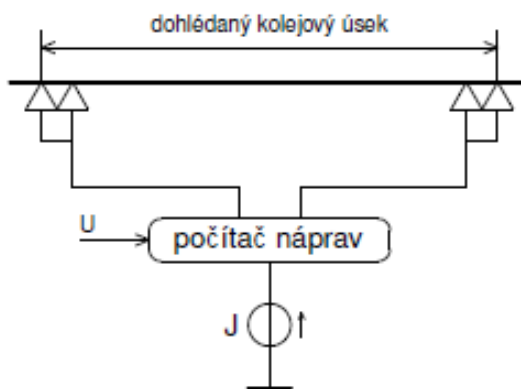
Obrázek 3 – Princip počítače náprav – volný počítací bod – (převzato z [4])

V případě však že nad daný počítací bod vjede drážní vozidlo, dojde k deformaci daného elektromagnetického pole kovovým kolem vozidla. To má za následek změnu úhlu, pod kterým siločáry na přijímací cívku dopadají. Siločáry tak na cívku dopadají pod negativním úhlem „ β “ a v přijímací cívce se indukuje napětí s fází posunutou o 180° .^[4]



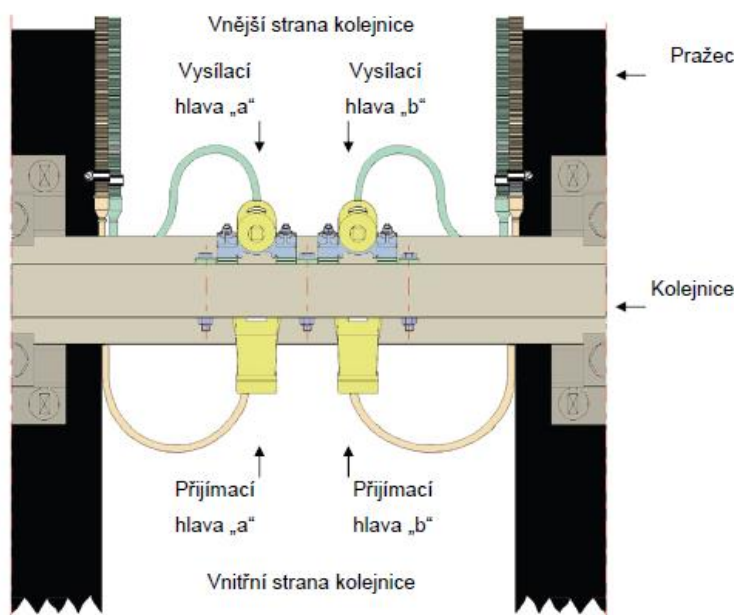
Obrázek 4 – Princip počítače náprav – obsazený počítací bod (převzato z [4])

Počítací body (detektory kol) musí být umístěny na hranicích sledovaného úseku, aby byla detekována jízda do daného úseku a následné uvolnění úseku, pakliže všechna kola drážního vozidla příslušný úsek opustí.



Obrázek 5 – Princip dohledu počítače náprav (převzato z [3])

Jednou z výhod počítačů náprav oproti KO, je i možnost detekce směru jízdy drážního vozidla. To je umožněno umístěním 2 vysílačů a 2 přijímačů u každého počítacího bodu. Nejdříve dochází k detekci kola vozidla jednou dvojicí přijímače a vysílače, následně druhou dvojicí. Vyhodnocovací logika pak vyhodnotí, který přijímač byl ovlivněn první a dle toho určí směr jízdy vozidla.



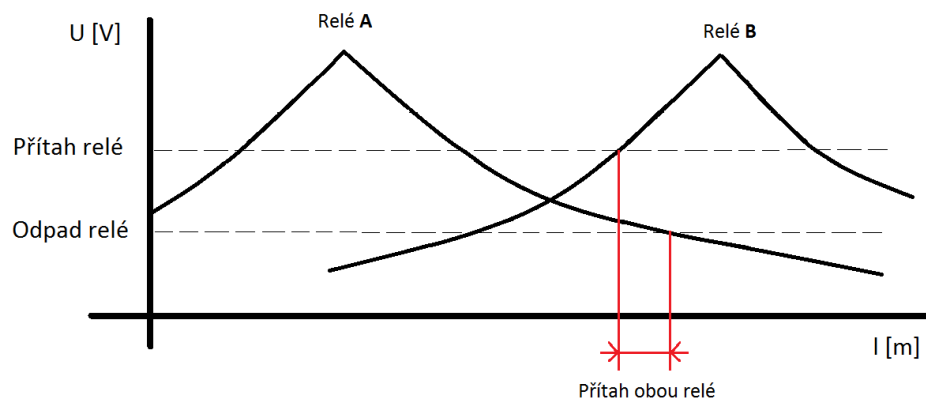
Obrázek 6 – Princip počítače náprav – pohled shora (převzato z [4])

Počítače náprav se řadí mezi bezpečné prvky pro spouštění výstrahy na přejezdu, a to z důvodu principu jejich činnosti. Počítač náprav i ve stavu, kdy není nad počítacím bodem kolo drážního vozidla, vytváří elektromagnetické pole, které přijímací část detekuje. Z toho vyhodnocovací logika může zjistit, zdali počítací bod pracuje bez poruchy. Tímto zajišťuje počítač náprav bezpečnou informaci o volnosti sledovaného úseku.

1.2.5. Anulační soubor elektronický (ASE)

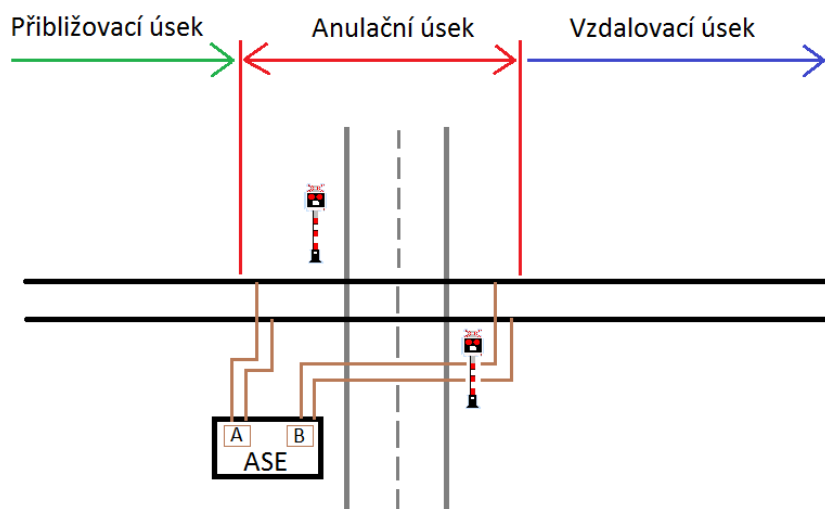
Anulační soubor elektronický, zkráceně ASE představuje zařízení pro bezpečnou detekci průjezdu vlaku přes přejezd. Základní kolejové obvody SKO a PKO totiž nedisponují funkcí k ignorování ojedinělého šuntu. V případě že například z projíždějícího silničního vozidla spadne nějaká kovová část a vodivě propojí kolejnice, mohlo by dojít k milnému vyhodnocení průjezdu drážního vozidla přejezdem. Z toho důvodu se používá zařízení ASE, které reaguje až na vícenásobný (viz. Obrázek 7) či pohybující se šunt, tedy průjezd drážního vozidla přes přejezd.

Anulační soubor elektronický bývá tvořen speciálními neohrazenými SKO, které ke své činnosti nevyžadují izolované styky. Jedná se o dva na sobě nezávislé sériové KO zapojené ke kolejnicovým pásům ve vzdálenosti max. 15 m (viz. Obrázek 7). Při přibližování vozidla k anulačnímu úseku dochází ke zmenšování impedance sériového KO, jak se náprava blíží k místu, kde se nachází vysílač a přijímač SKO. S klesající impedancí roste napětí na snímacím rezistoru. Když vzroste napětí nad určitou mez, dojde k sepnutí relé vyhodnocujícího obsazenost daného úseku. Obsazenost úseku kontrolují 2 relé A a B. Při jízdě z jedné strany dojde nejprve k vybuzení jednoho relé a po chvíli i druhého relé. Pomocí logického součinu je pak vyhodnocováno obsazení anulačního úseku, pakliže jsou obě relé současně vybuzená, nachází se v anulačním úseku drážní vozidlo. Tímto způsobem je zajištěno, že nedojde ke spuštění anulace na základě ojedinělého vodivého propojení kolejnic pomocí jiného kovového předmětu, než je železniční dvojkolí. Například v případě že by ze silničního vozidla upadla část nákladu, například kovová tyč, která by vodivě propojila oba kolejnicové pásy. V tomto případě by došlo k vybuzení pouze jednoho ze 2 relé, což nezpůsobí vyhodnocení anulačního úseku jako obsazeného.



Obrázek 7 – Princip relé ASE

Vyhodnocovací logika pak dle toho, který KO v přibližovacím úseku byl obsazen první, určí směr jízdy drážního vozidla. Po vyhodnocení směru jízdy drážního vozidla přes přejezd dojde k anulování funkce spínání výstrahy na přejezdu vzdalovacím úsekem, který slouží jak úsek přibližovací, tedy aktivující výstrahu, ale pro opačný směr jízdy.



Obrázek 8 – Umístění ASE na trati

Z důvodu eliminace možné poruchy vzdalovacího úseku je zaveden parametr „mezní doba anulace“. Jedná se o dobu, která je nutná, aby nejdelší železniční vozidlo (dle normy 700 m) bylo schopno rychlostí 20 km/h opustit vzdalovací úsek. Tento čas se začne odměřovat ve chvíli, kdy vlak vjede do prostoru přejezdu, kde je detekován anulačním úsekem. Po vypršení této doby dojde ke zrušení anulace vzdalovacího úseku, a pakliže je úsek pořád obsazený, dojde k opětovnému spuštění výstrahy na přejezdu.

Anulační soubor elektronický tak dává bezpečnou informaci o průjezdu drážního vozidla prostorem přejezdu a zajišťuje, že nedojde k opětovnému spuštění výstrahy drážním vozidlem, které přejezd opouští.

2. SHRUTÍ IDENTIFIKOVANÝCH NEDOSTATKŮ STÁVAJÍCÍCH PRINCIPŮ SPOUŠTĚNÍ A UKONČOVÁNÍ VÝSTRAHY PZS

2.1. Hlavní provozní a bezpečnostní nedostatky PZS v ČR

V této kapitole jsou shrnuty některé z identifikovaných hlavních provozních i bezpečnostních nedostatků PZS v železniční síti Správy Železnic, tj. v ČR. Jedná se o problémy týkající se jak doby trvání výstrahy na přejezdu, tak jednoznačnosti chápání výstrahy přejezdu z pohledu uživatele pozemní komunikace. Tato část se tak věnuje bodu číslo 2 ze zadání diplomové práce.

2.1.1. Vliv rychlosti drážního vozidla na délku výstrahy

Zahajování výstrahy na přejezdech v síti SŽ v ČR je řešeno pomocí detekčních prvků, jak bylo popsáno v kapitole 1.2. Pro určení místa, kde má být zbudován detekční prvek pro daný přejezd se počítá délka přibližovacího úseku. Tento parametr se stanovuje z doby pro vyklízení nebezpečného pásma přejezdu uživateli pozemní komunikace. Druhým parametrem, který ovlivňuje délku přibližovacího úseku, je pak maximální traťová rychlost v daném úseku. Oba tyto parametry počítají s nejhorší možnou situací, tedy že například přes přejezd jede dlouhá automobilová souprava pomalou rychlostí, či přes dlouhý přejezd přechází pomalý chodec. Parametr traťové rychlosti naopak počítá s nejrychlejším možným způsobem, za který se vlak dostane do prostoru přejezdu. V praxi nicméně tyto 2 limitní stavy (zejména parametry týkající se uživatelů pozemní komunikace) nastávají spíše zřídka, nicméně však z důvodu bezpečnosti musí být brány v potaz. To může způsobovat delší čekání na přejezdu, i když vozidla již včas opustila nebezpečné pásmo přejezdu, pořád musí brát PZS v potaz, že ještě přes přejezd jede/jde nejpomalejší účastník silničního provozu. S touto časovou prodlevou však nelze nic dělat, jelikož bychom museli vědět předem, jací uživatelé se k přejezdu blíží a jak dlouho (jakou rychlostí) přes přejezd projedou a vyklidí tak nebezpečné pásmo přejezdu. Nicméně druhý parametr přibližovací doby vztahující se k traťové rychlosti uvažuje že se drážní vozidlo blíží k přejezdu maximální povolenou traťovou rychlostí, např. 160 km/h, což je dosavadní maximální traťová rychlost v železniční síti ČR. Po stejné trati se však mohou pohybovat vlaky, které už ze svých konstrukčních omezení či jiných důvodů nejsou schopny dosáhnout právě dané traťové rychlosti. To má však za následek, že se budou

k přejezdu přibližovat nižší rychlostí, a tedy jim jízda přibližovacím úsekem bude trvat déle. To následně způsobí delší čekání silničních vozidel na přejezdu, a dochází tak k většímu omezení silničního provozu. Dlouhé čekání na přejezdech může také vést ke snížení důvěry v zabezpečovací zařízení uživateli pozemní komunikace, a následně i k tomu, že řidiči začnou výstražný stav přejezdu ignorovat, a i přes aktivní výstrahu přes přejezd projedou.

Pro zlepšení důvěry v zabezpečovací zařízení a snížení omezení silničního provozu by tak bylo vhodné optimalizovat přibližovací dobu pro drážní vozidlo v závislosti na jeho aktuální rychlosti.

Příklad vlivu aktuální traťové rychlosti na délku přibližovacího úseku uvedu na příkladu přibližovacího úseku dlouhého 1500 m s traťovou rychlostí 160 km/h.

Případě, kdy se k přejezdu blíží drážní vozidlo rychlostí 160 km/h:

$$t_{160} = \frac{L_p}{v_{p160}/3,6} = \frac{1500}{160/3,6} \cong 33,8 \text{ s}$$

Případ, kdy se k přejezdu blíží drážní vozidlo s maximální rychlostí 120 km/h:

$$t_{120} = \frac{L_p}{v_{p120}/3,6} = \frac{1500}{120/3,6} \cong 45,0 \text{ s}$$

Případ, kdy se k přejezdu blíží drážní vozidlo s maximální rychlostí 80 km/h:

$$t_{80} = \frac{L_p}{v_{p80}/3,6} = \frac{1500}{80/3,6} \cong 67,5 \text{ s}$$

Z výpočtů jsou vidět jednotlivé doby jízdy vlaků přibližovacím úsekem. V případě že přibližovacím úsekem jede vozidlo s maximální rychlostí 120 km/h, bude jeho jízda tímto úsekem trvat o 11,2 s déle (cca o 33 %). Pakliže jede drážní vozidlo přibližovacím úsekem pouhých 80 km/h, je doba, za kterou projede přibližovací úsek, 2x tak delší.

2.1.2. Absence detekčních prvků vyklizení přejezdu silničními vozidly

Aktuálně jedním z nejdiskutovanějších témat je detekce vyklizení prostoru přejezdu silničními vozidly a chodci, respektive každým uživatelem pozemní komunikace. Zkoumají

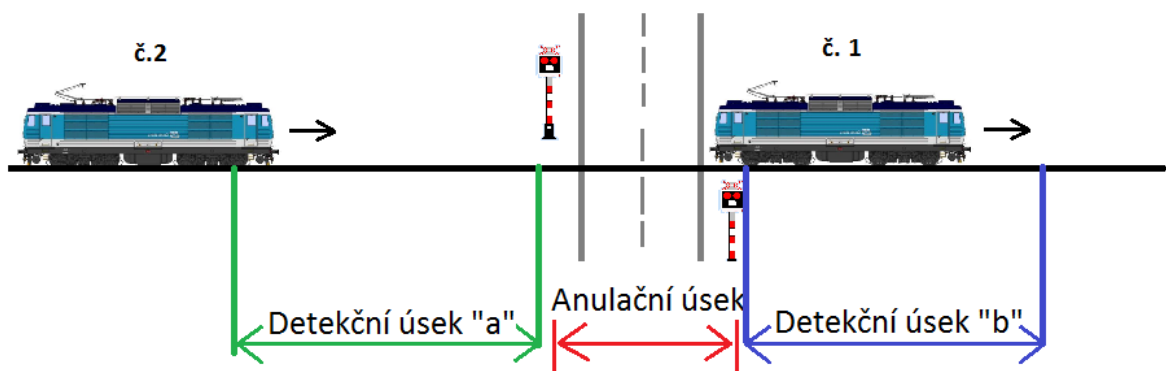
se a testují různé detekční prvky, jako jsou například infračervené závory či detekční kamery. Z hlediska laické veřejnosti se zdá být řešení jednoduché, na přejezd se umístí detekční kamera, která bude snímat oblast přejezdu a v případě, že na přejezdu zůstane silniční vozidlo, informuje drážní vozidlo, které se k přejezdu blíží, a to bezpečně zastaví. Problém zde však nastává v časném informování drážního vozidla tak, aby mělo v případě přijetí zprávy o nevyklizení přejezdu (respektive absence informace o vyklizení přejezdu) dostatek času (dráhy) na to bezpečně před přejezdem zastavit nebo alespoň snížit rychlost.

Je zde několik možností informování drážního vozidla o nevyklizení přejezdu. Buď tzv. bodově pomocí návěstidel či liniově s využitím vlakových zabezpečovačů. V případě využití návěstidel by bylo nutné je umístit na zábrzdnu vzdálenost od přejezdu + vzdálenost, po kterou musí strojvedoucí vidět danou návěst, což je dráha, kterou vlak ujede maximální traťovou rychlostí daného úseku za 12 s. Tento údaj vychází z výpočtu pro dohlednost návěstidel. Pro rychlost 160 km/h vychází požadovaná dohlednost v metrech přibližně 534 m, což je nezanedbatelná délka. Došlo by tak k prodloužení přibližovacího úseku a zároveň k prodloužení doby výstrahy na přejezdu, což by vedlo ke snížení kapacity propustnosti přejezdu, což je z hlediska silničního provozu nežádoucí. Zároveň by při dlouhém čekání na železničním přejezdu mohli uživatelé pozemní komunikace začít ztrácet důvěru či trpělivost s daným přejezdovým zařízením a v krajních případech i ignorovat výstrahu na přejezdu. Kupříkladu jezdí-li řidič opakovaně po stejném přejezdu a už ví, že výstraha na něm trvá dlouho, tak si místo zastavení může říct, že na přejezdu nechce čekat dlouho a že výstrahu stihne ještě projet, než se sklopí závory. To už však vede na riziko vzniku hazardní situace, kdy může například uváznout na přejezdu. Tím by tak ve výsledku došlo spíše ke zhoršení situace na přejezdech než k jejímu zlepšení. Z tohoto důvodu je nutné řešení tohoto problému realizovat v rámci komplexnější úpravy, která bude spolupracovat s různými zabezpečovacími zařízeními, a nikoliv pouze v rámci daného PZZ.

2.1.3. Absence minimální doby bez výstrahy na přejezdu – nejednoznačnost výstrahy

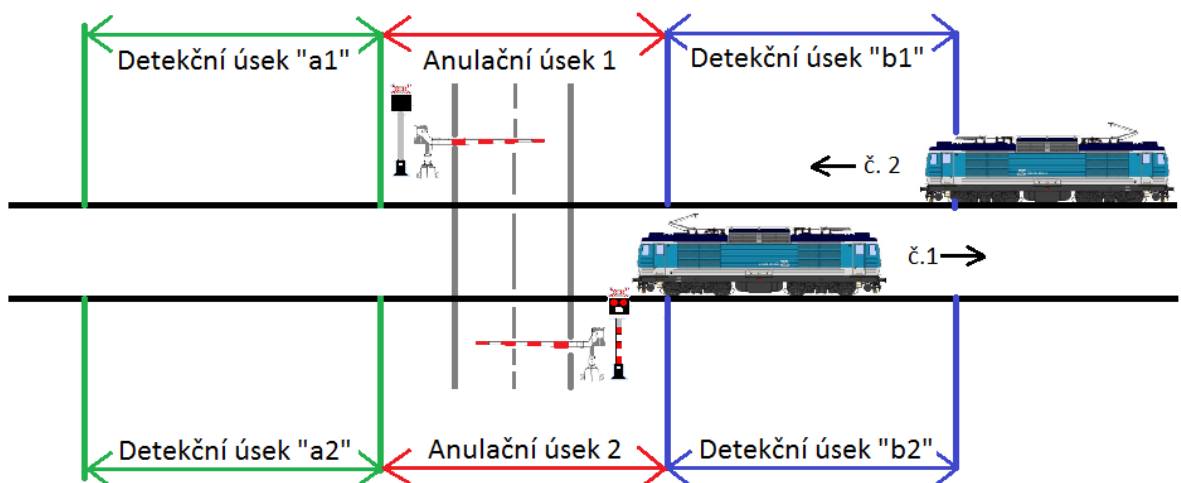
Dalším z provozních nedostatků u v současnosti provozovaných PZZ je absence určité garantované minimální doby, po kterou přejezd po ukončení výstrahy nepřejde opět do výstrahy, respektive výstraha je „ukončována“, ale k jejímu úplnému ukončení nedojde (náhlé opětovné sklopení závor). Tato situace nastává v případech, že po aktivaci vypínacích prvků na přejezdu prvním vlakem dojde opět k aktivaci výstrahy na přejezdu druhým vlakem. To

může nastat například v případech následných vlaků, které jedou v kratší vzdálenosti za sebou či v případě vícekolejně trati toto může nastat při jízdě více vlaků po různých kolejích, ať už protisměrně nebo v souběhu. První možnost je znázorněna na následujícím obrázku. Vlak č.1 v tomto případě již svými koly přejel kompletně do vzdalovacího úseku. Tím tak dojde k zahájení ukončování výstrahy. Bezprostředně poté by však do přibližovacího úseku vjel vlak č. 2, detekční úsek ho zaznamená a mělo by opět dojít ke spuštění výstrahy. Není zde tedy řešena problematika doby, kdy na přejezdu výstraha není.



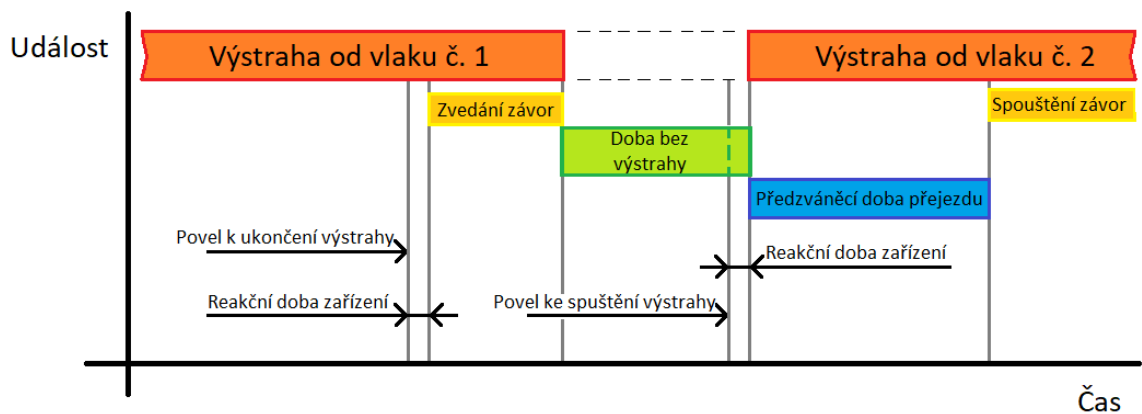
Obrázek 9 – Spuštění výstrahy následným vlakem

Druhý častější případ je pak pro vícekolejně tratě s intenzivnější železniční dopravou. U nich je větší pravděpodobnost, že pojedou vlaky v krátkém sledu po sobě, respektive proti sobě, jak je zobrazeno na následujícím obrázku.



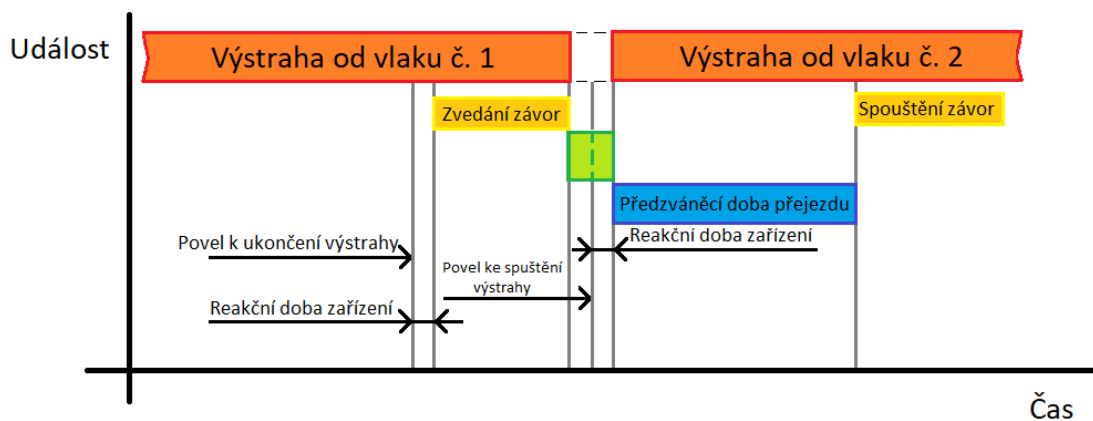
Obrázek 10 – Spuštění výstrahy protisměrným vlakem

Problém absence doby bez výstrahy zde nastává v případě, že vlak č. 1 najede do vzdalovacího úseku „b2“. Tím dojde k zahájení ukončování výstrahy na přejezdu. Během ukončování výstrahy však najede vlak č. 2 do přibližovacího úseku „b1“, čímž dojde k opětovnému spuštění výstrahy na přejezdu. Přejezd tak může kdykoliv během ukončování výstrahy přejít zpět do stavu výstrahy. Na následujících obrázcích jsou znázorněny, jak mohou vypadat časové osy popisující průběhy výstrahy pro jednotlivé možnosti jízdy vlaků následných či vlaků protisměrných na vícekolejně trati.



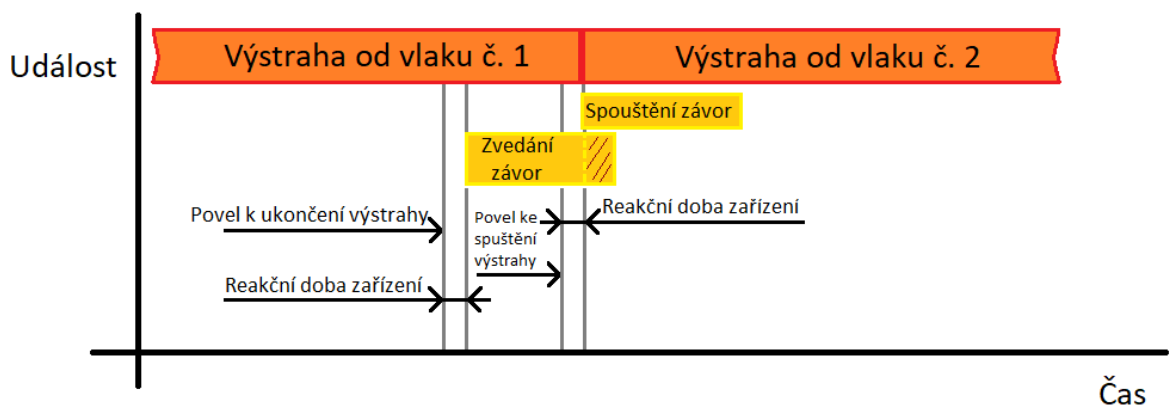
Obrázek 11 – Časová osa doby bez výstrahy základní

Obrázek 11 zobrazuje průběh výstrahy v případě, kdy je doba mezi jednotlivými výstrahami na přejezdu dostatečně dlouhá. Výstraha od vlaku č. 1 je ukončena, závory jsou zvednuté a na přejezdu není výstraha. Doba, po kterou je přejezd v bez výstražném stavu je zde znázorněna zelenou barvou a v tomto případě může trvat sekundy, ale i minuty či dokonce hodiny, záleží na intenzitě železničního provozu. Takovýto průběh výstrahy může být jak na jednokolejném, tak i vícekolejném přejezdu.



Obrázek 12 – Časová osa doby bez výstrahy – minimální doba bez výstrahy

Obrázek 12 na druhou stranu ukazuje jednu z krajních situací, kdy může dojít k jízdě následných vlaků v krátkém sledu za sebou či jízdě více vlaků u více kolejného přejezdu. Tato situace tak vede k tomu, že doba bez výstrahy na přejezdu po ukončení výstrahy je dlouhá pouze několik málo sekund (klidně 1-2 s). V tomto případě zařízení po skončení výstrahy a zvednutí závor opět spustí výstrahu z důvodu druhého vlaku, který se k přejezdu blíží například po 2. koleji. Obrázek naznačuje, že doba bez výstrahy znázorněná zelenou barvou může být minimální a v extrémním případě schody událostí i nulová, kdy po zvednutí závor a ukončení blikání výstrahy se výstraha opět rozblíká. Z pohledu řidiče takto znovuspuštěná výstraha může vzbudit určité pochybnosti o činnosti přejezdového zabezpečovacího zařízení, jelikož on po ukončení 1. výstrahy neočekával, že by byla spuštěna výstraha následná od jiného vlaku. Naopak čekal že bude již moci pokračovat v jízdě přes přejezd. Takto opakovaná výstraha v krátkém sledu může vést ke snížení důvěry v zařízení a trpělivosti řidičů.



Obrázek 13 – Časová osa doby bez výstrahy – nulová doba bez výstrahy

Obrázek 13 znázorňuje krajní možnost pro případ, kdy dojde ke spuštění výstrahy následným vlakem v čase, kdy ještě není zcela ukončena výstraha od prvního vlaku, nicméně již dochází například k zvedání závor. I tento průběh může u řidiče vzbudit určité pochybnosti, jelikož z jeho pohledu měl dojít k ukončení výstrahy, jenže v průběhu zvednutí závor se tyto závory opět spustí dolů a výstrah pokračuje dále přestože z pohledu řidiče 1 vlak již projel. Takovýto průběh může také vést ke snížení důvěry řidičů v činnost přejezdového zabezpečovacího zařízení.

Norma ČSN EN 34 2650 se o problému minimální doby bez výstrahy zmiňuje pouze v případech, kdy je v rámci zapínání výstrahy na přejezdu využito tzv. odložení výstrahy. „Pokud je zapínací prvek situován tak, že je potřebné odkládat okamžik zahájení výstrahy,

neuplatní se toto odložení v případě, že je při jízdě drážního vozidla na přejezd přejezdovým zařízením ve výstraze zjištěno, že doba, po kterou by byl přejezd otevřen, bude kratší než 7 s.“^[1]

Problém s absencí minimální doby bez výstrahy se týká zejména tratí s vysokou intenzitou provozu, jako mohou být například vícekolejné koridorové tratě. U těchto tratí je větší pravděpodobnost jízdy vlaků v krátkém sledu za sebou a opětovnému spuštění výstrahy přejezdu. Jedná se o již popsanou situaci, kdy vlak, který spustil výstrahu na přejezdu a následně přejezdem projel, aktivuje vypínací prvky výstrahy na přejezdu. Tím dojde k zahajování ukončování výstrahy. Nicméně v této době nebrání nic tomu, aby došlo k aktivaci zapínacích prvků přejezdu následným vlakem či vlakem jedoucím v opačném směru v případě vícekolejné trati. A v tomto případě pak není definováno, jak je správná reakce na tuto následující výstrahu. Například zdali se mají závory spustit dolů, jestliže výstraha úplně neskončila či má proběhnout nová předzváněcí doba přejezdu pro následný vlak.

K aktivaci zapínacích prvků výstrahy následným či protisměrným vlakem může dojít v různých okamžicích, průběh výstrahy přejezdu tak může vypadat různě. Když dojde k aktivaci v době, kdy je přejezd stále ve výstraze od prvního vlaku a nedošlo ani ke zvednutí závor, je tato situace z hlediska výstrahy na PZS jasná. V tomto případě zůstávají závory sklopené a výstraha pokračuje dále do té doby, než tento druhý vlak přejezd opustí. V dalších situacích však mohou nastat větší problémy, kdy k aktivaci zapínacích prvků dojde ve chvíli, kdy už je výstraha na PZS ukončována a dochází ke zvedání břevna závor. V tomto případě je pak nutné rozhodnout, jak má výstraha dále pokračovat.

Jedna z možností je, že dojde ke kompletnímu zvednutí závor, ale se zachováním blikání červených výstražných světel na výstražníku. Zároveň se začne odměřovat vyklizovací doba přejezdu a po jejím uplynutí se opět sklopí závory. Z hlediska uživatele pozemní komunikace tato situace může být lehce matoucí. Po zvednutí břevna závor zůstanou na výstražníku blikat červená světla výstrahy, zatímco co on očekává kompletní ukončení výstrahy a umožnění jízdy přes přejezd. Z pohledu řidiče totiž není jasné, že již běží předzváněcí doba pro výstrahu pro další blížící se vlak. Nicméně pokud se budou řidiči řídit výstrahou na výstražníku nedojde tak ke vzniku žádného rizika hazardní situace. Pouze zde může dojít ke snížení důvěryhodnosti v zařízení způsobené nejasným průběhem výstrahy. Další variantou následné výstrahy je v průběhu zvedání závor začít závory opět sklápět. Musí však být zajištěno, že se některé závory nezvedly dříve a na přejezd nevjelo nějaké vozidlo. I tento způsob výstrahy může vézt ke snížení důvěry řidiče v zabezpečovací zařízení, jelikož

z jeho pohledu se závory zvedají a následně opět sklápějí. Řidič se tak může domnívat, že jde o poruchu zařízení.

Hlavním z problému absence doby bez výstrahy na PZS je však možnost, kdy dojde k celkovému ukončení výstrahy na PZS (závory nahoře a neblinkají červená světla výstražníku) a v krátkém čase nato dojde opět k zahájení výstrahy právě následným či protijedoucím vlakem. Řidič se po ukončení výstrahy začne rozjíždět do oblasti, ze které už nemá výhled na výstražník. V tu chvíli však nic nebrání opětovné aktivaci výstrahy. Řidič, který však už výstražník minul nemá o této výstraze informaci a dalo by se na to nahlížet tak že vjel do nebezpečného pásma přejezdu již v době výstrahy na PZS, což je jeden ze závažných dopravních přestupků a policie v tomto případě může udělit řidiči 7 trestných bodů a udělí zákaz činnosti (řízení motorových vozidel na 1-6 měsíců ^[5]). Nicméně nedochází zde k hazardní situaci, jelikož je zde pořád dostatečná doba pro vyklizení nebezpečného pásma přejezdu.

Zamyšlení se nad absencí minimální doby bez výstrahy na PZS je zajímavé zejména z hlediska budoucího rozvoje ETCS, zejména pak úrovně ETCS L2 a L3. Vlakové zabezpečovací zařízení ETCS v těchto úrovních již nepotřebuje (v případě ETCS L2 jsou návěstidla možná, nikoliv však z hlediska principu samostatného ETCS nutná k bezpečné jízdě návěstidla), jelikož je dohled nad jízdou vozidel řízen pomocí interakce vlaku s RBC, která uděluje jednotlivým vlakům tzv. *Movement Authority* (povolení k jízdě). U výhradního provozu vozidel vybavených systémem ETCS tak může zabezpečovací zařízení pracovat s takzvanými pohyblivými prostorovými oddíly, které mají zcela nahradit dnes dominující pevné prostorové oddíly. Od pohyblivých prostorových oddílů se očekává zvýšení propustnosti trati, či jinými slovy budou vlaky jezdit častěji za sebou. Vlakový zabezpečovač ETCS totiž bude pro jednotlivé vlaky generovat brzdné křivky ke konci vlaku jedoucího před ním (+ bezpečnostní rezerva) a jízda následného vlaku tak nebude závislá na uvolnění celého následujícího pevného prostorového oddílu.

3. NÁVRH ÚPRAV PRINCIPŮ SPOUŠTĚNÍ A UKONČOVÁNÍ VÝSTRAHY PZZ S CÍLEM ELIMINOVAT IDENTIFIKOVANÉ NEDOSTATKY

3.1. Vyrovnání přibližovací doby dle rychlosti drážního vozidla

Problematika vztahující se k vyrovnání přibližovací doby k přejezdu v závislosti na aktuální rychlosti drážního vozidla je poměrně komplexní. Pro realizaci vyrovnání přibližovací doby je nutné znát aktuální rychlost vozidla v místě spouštěcího prvku přejezdu. Jede-li vozidlo v místě detekce maximální traťovou rychlostí, je odložení/vyrovnání výstrahy irelevantní. V případě pomaleji jedoucího vozidla již toto nutné je. Jendou z možností realizace vyrovnání přibližovací doby je zjištění bezpečné informace o rychlosti vozidla před dosažením zapínacího bodu, tj. před spuštěním výstrahy. Bylo by tak nutné zajistit bezpečný komunikační kanál mezi traťovou a mobilní částí zabezpečovacího zařízení. Jinými slovy vozidlo by muselo informovat traťovou část zabezpečovacího zařízení o své aktuální rychlosti, či by přímo sama traťová část musel disponovat systémem pro měření rychlosti jízdy vlaku. První problém nastává již v této části, současné řešení PZZ nedisponuje prostředky, které by realizovaly komunikační kanál s vozidlem. Navíc pro zajištění ideální optimalizace přibližovací doby by bylo nutné zajistit průběžnou komunikaci mezi vlakem a PZZ v době jízdy přibližovacím úsekem, kdy by docházelo k posílání aktuálních informací o rychlosti vlaku. Opět takovýto přenos informací není v současné době zajištěn.

Po vyřešení problému se zajištěním přenosu bezpečné informace o aktuální rychlosti vozidla se řešení vyrovnání přibližovací doby jeví jako relativně jednoduchý úkol. Jednou z možností realizace by byla výpočetní jednotka, která by z aktuální rychlosti vozidla vypočítala skutečnou přibližovací dobu jízdy vozidla přibližovacím úsekem. Tuto hodnotu by pak porovnávala se stanovenou přibližovací dobou pro daný přejezd a v případě že vypočítaná doba jízdy vozidla přibližovacím úsekem by byla delší než doba přibližovací, došlo by k odložení spuštění výstrahy o daný rozdílový čas. Takovýto způsob by však fungoval pouze v případě, že vlak jede konstantní rychlostí a v přibližovacím úseku nijak nezrychlí. Rozhodně však nelze vyloučit, že během další jízdy na přejezd svoji rychlost nezmění. Pokud dojde ke zpomalení, nedojde k ohrožení bezpečnosti na přejezdu, jelikož k němu vlak přijede později, než bylo teoreticky spočítáno. V tomto případě tak nedochází k ohrožení bezpečnosti, či vzniku hazardní situace, pouze dojde ke snížení efektivnosti vyrovnávání přibližovací

doby. Druhou možností je pak situace, kdy vlak v přibližovacím úseku zrychlí. V tomto případě už může dojít ke vzniku hazardní situace a tou je neuzavření závor, respektive nedostatečně dlouhá výstraha před příjezdem vlaku. Jelikož zrychlení v přibližovacím úseku způsobí, že se vlak do oblasti přejezdu dostane dříve, než bylo spočítáno s použitím rychlosti vlaku získané v detekčním místě, tj. jednalo by se o zkrácení skutečné přibližovací doby, oproti vypočítané přibližovací době, což je nepřipustné. Tento problém by bylo možné řešit s výpočtem, který bude uvažovat že od detekčního bodu bude vlak zrychlovat s maximálním zrychlením $1,3 \text{ m/s}^2$ na maximální traťovou rychlost. Tato hodnota zrychlení vychází z normy ČSN EN 34 2650, kde je definována jako průměrná hodnota zrychlení při výpočtech uvažující zrychlení, respektive zpomalení vlaku při jízdě přibližovacím úsekem. Sice s využitím takového způsobu výpočtu nedojde k vyrovnání přibližovací doby na nejoptimálnější hodnotu, ale bude zajištěna bezpečnost na přejezdu, kdy vlak k němu nepřiblíží dřív, než uplyne potřebná vypočítaná přibližovací doba daného přejezdu.

Problematika vyrovnání přibližovací doby pro železniční přejezdy je však komplexnější problém a řešení tohoto nedostatku by bylo vhodné v rámci nově nasazovaných technologií a zařízení, jako je například systém ETCS. V rámci tohoto systému již dochází ke komunikaci mezi vlakem a tratí, takže se dají přenášet různé informace o aktuálním stavu vlaku. Detailnější popis řešení je v kapitole č. 4.

3.2. Instalace detekčních prvků vyklizení přejezdu

Problematika detekce vyklizení přejezdu by se dala rozdělit na řešení 3 základních problémů, kterými jsou:

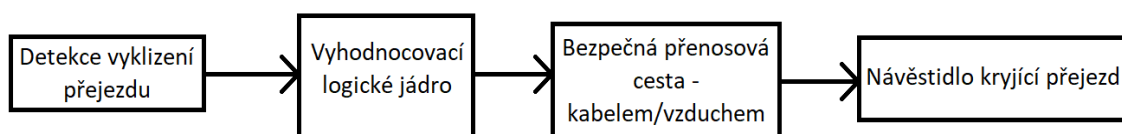
- Detekční prvky – detekční kamery s vyhodnocováním, infrazávory, laserové detektory
- Způsob informování drážního vozidla – bodově, liniově
- Cílený smysl systému – zastavení vozidla / snížení rychlosti a zmenšení následné škody

Realizace detekce vyklizení přejezdu bude vyžadovat řešení těchto 3 základních problémů. Jako detekční prvky pro snímání prostoru přejezdu by bylo vhodné využít inteligentní detekční kamery. Výhodou těchto zařízení oproti infračerveným závorám je možnost rozpoznání překážky na přejezdu. Dnešní tzv. „inteligentní“ kamery jsou schopny

z analýzy snímaného obrazu vyhodnocovat jízdu vozidel v protisměru, vybočení ze směru jízdy, překročení rychlosti, počítání vozidel a zejména pak i detekci překážek.^[6] Na rozdíl od detekčních kamer infrazávory pracují na jednodušším principu, a to přerušení infračerveného paprsku mezi přijímačem a vysílačem v případě že se do cesty paprsku dostane nějaký předmět, i když se nemusí jednat o překážku na přejezdu. Infrazávory mají tak méně přesný způsob vyhodnocování, u kterého může docházet k častějším chybám špatného vyhodnocení ne/vyklizení přejezdu. Bonusová funkce u inteligentních kamer je i možnost rozpoznání RZ vozidla, což by umožnilo předávat případné přestupky týkající se projetí přejezdu při výstraze policii. Oba tyto systémy jsou tak vhodné pro detekci vyklizení přejezdu, záleží pak na požadavcích na daný detektor vyklizení.

3.3.Princip přenosu informace o vyklizení přejezdu

Po vyhodnocení vyklizení přejezdu vozidly je pak důležité přenést tuto informaci na drážní vozidlo, aby v případě nevyklizení mohlo včas zastavit. Princip přenosu informace o stavu vyklizení přejezdu je na následujícím obrázku.

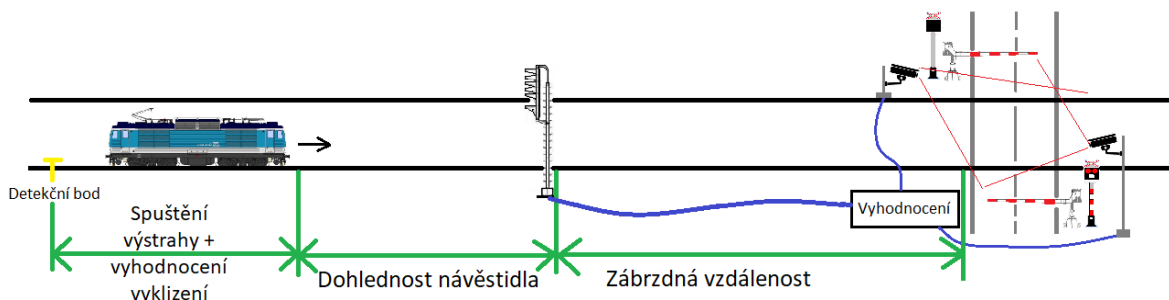


Obrázek 14 – Blokové schéma detekce vyklizení přejezdu

První blok představuje detekční kameru, která přenáší obraz do logického jádra. Logické jádro následně vyhodnocuje, zda došlo k vyklizení nebezpečného pásma přejezdu. Pakliže byl přejezd vyklizen, může být vydán povel návěstidlu pro svícení signálu volno. Nebyl-li přejezd vyklizen, je nutné na návěstidle kryjícím přejezd rozsvítit návěst stůj. Povely pro svícení návěstidla je vždy nutné přenést k návěstidlu bezpečnou cestou, ať už pomocí kabelu či bezdrátově. Důležité je hlavně, aby nedošlo k rozsvícení povolující návěsti v případech, kdy nedošlo k vyklizení přejezdu. Poslední blok řetězce je již samotné návěstidlo. Informace se na vozidlo pak dostává vizuální cestou, kdy musí být strojvedoucímu být zajištěna dostatečná dohlednost návěstidla. Ta se stanovuje dle následujícího vzorce.

$$D = \frac{10 \cdot v}{3} [m]$$

Tento vzorec vychází z technických norem pro železnici. ^[7] Za v se dosadí traťová rychlost úseku v km/h. Výsledná hodnota D pak v metrech udává, na jakou vzdálenost musí být návěstní znak jednoznačně rozeznatelný při nejvyšší traťové rychlosti. Tato vzdálenost pak splňuje podmínku stanovenou zákonem, že strojvedoucímu musí být umožněno pozorovat návěst po dobu alespoň 12 s. ^[8]



Obrázek 15 – Realizace vyhodnocení vyklizení přejezdu

Obrázek 15 znázorňuje případ realizace systému detekce vyhodnocování vyklizení přejezdu s bodovým přenosem informace na vozidlo. Po běžném spuštění výstrahy vlakem v detekčním bodě dojde klasicky ke spuštění výstrahy, odměřování vyklizovací doby a následnému sklopení závor. Po sklopení břevna závor dojde k vyhodnocení uvolnění přejezdu pomocí detekčních prvků a vyhodnocovací logiky. V případě že nedojde k vyklizení přejezdu, předá systém informaci dále navazujícímu zabezpečovacímu zařízení, a to prostřednictvím příslušného hlavního návěstidla zajistí omezení jízdy železničních vozidel na přejezd. Problematika takového řešení spočívá v čase nutném pro informování vozidla. Musí zde být potřebná dráha (čas), po kterou je návěst omezující jízdu přes přejezd vidět a za návěstidlem následně i dostatečná zábrzdňá vzdálenost k přejezdu, aby stihl vlak včas zastavit či snížit dostatečně rychlost. Zásadní nevýhodou takového řešení je tak podstatné prodloužení doby výstrahy před příjezdem vlaku, a to výrazně oproti vypočítané přibližovací době. Toto by pak vedlo na nepříznivé snížení propustnosti pozemní komunikace.

Více reálnou možností aplikování detekce vyklizení přejezdu je při zajištění přenosu liniově, ať už pomocí kódování KO v přibližovacích úsecích, či bezdrátově. Informace o nevyklizení přejezdu je tak předána přímo na vozidlo, které může začít okamžitě brzdit, ať už by se jednalo o automatickou reakci, či by brzdění zůstalo na strojvedoucímu. U liniového přenosu informace na vozidlo tak dojde ke zkrácení přibližovacího úseku o vzdálenost

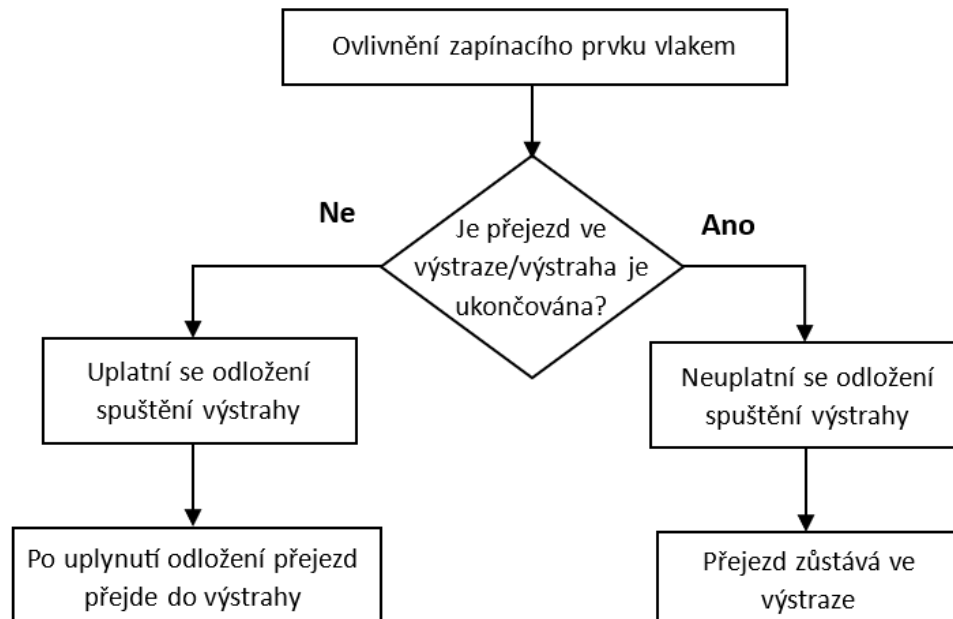
potřebnou pro viditelnost návěstidla. Nicméně je zde stále dlouhý úsek zábrzdne vzdálenosti, nutný pro bezpečné zastavení vlaku před přejezdem.

Další přístup k tomuto problému by pak byl nevyžadovat úplné zastavení vlaku při detekci nevyklizení přejezdu, nýbrž pouze jeho zpomalení s cílem snížit následky srážky s překážkou na přejezdu. Zde však nastává složitá otázka, kdy přesně má dojít k vyhodnocení vyklizení přejezdu ve vztahu ke snížení následků srážky. Sice i částečně snížení rychlosti může znamenat mnohem menší škody, nicméně stále škody.

3.4.Modifikace ukončování výstrahy ve vztahu k nedostatečnému času bez výstrahy na přejezdu

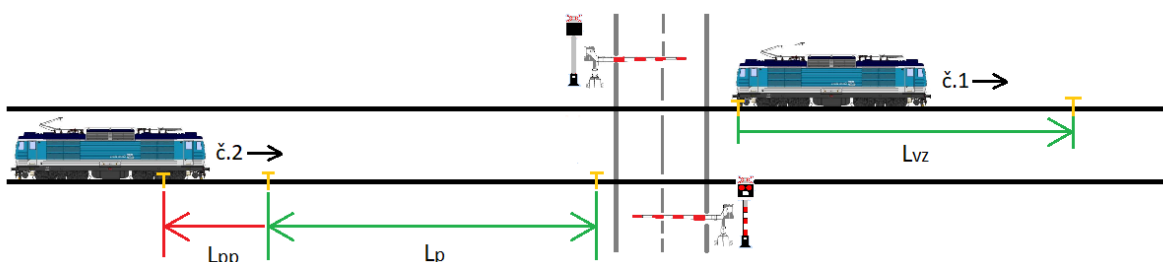
Jak již bylo řečeno v kapitole 2.1.3, normy přesně nedefinují, jak konkrétně dlouhá by doba bez výstrahy na přejezdu měla být. Hovoří pouze o případě neodložení spuštění výstrahy na přejezdu v případě, že by přejezd byl otevřen menší dobu než 7 s. Toto se však nevztahuje na přejezdy, u kterých se odložení spuštění výstrahy neuplatňuje.

Základní problém je tak kontrola polohy drážních vozidel blížících se k přejezdu v době, kdy by mělo dojít k zahájení ukončování výstrahy. Jedním z řešení tohoto problému by mohlo, být například umístění spínacích prvků výstrahy u všech přejezdů o vzdálenost, kterou vlak ujede za 7 s, respektive 17 s při započítání doby pro ukončení výstrahy (zvedání závor). V tomto případě by pak každé spuštění výstrahy na přejezdu bylo v základním stavu odloženo o zmíněných 17 s. Pakliže by již daný přejezd byl ve výstraze, a nebyla by zaručena minimální doba bez výstrahy 7 s, došlo by tak k neuplatnění odložení výstrahy a přejezd by tak zůstal ve výstraze. Pakliže by nebyl ovlivněn posunutý zapínací prvek, přejezd by mohl ukončit výstrahu, protože by bylo zajištěna stanovená doba bez výstrahy. Nenastane tak případ, že během ukončování výstrahy dojde k jejímu opětovnému spuštění. Nemohlo by tak dojít k nejednoznačnosti výstrahy z pohledu řidiče. Princip upraveného spuštění výstrahy je znázorněn na následujícím diagramu.



Obrázek 16 – Diagram pro modifikaci rozhodování o ukončení výstrahy

Na následujícím obrázku je vidět vizualizace, jak by mohlo vypadat řešení daného problému. Zeleně jsou znázorněny současné detekční úseky (v tomto případě: L_p = přibližovací úsek, L_{vz} = vzdalovací úsek) tvořené ať už kolejovými obvody či počítači náprav. Žlutě jsou pak znázorněny izolační styky pro KO či místa kde se nachází počítač body, dle toho, jakými prostředky je řešena detekce vozidel. Červeně je pak znázorněna úprava pozice zapínacího bodu výstrahy, označená jako L_{pp} = vzdálenost posunutého přibližovacího úseku, pro eliminaci nedostatečné doby bez výstrahy na přejezdu.



Obrázek 17 – Modifikace pozice detekčních bodů pro zahájení výstrahy

Obrázek vykresluje situaci, ve které vlak č. 1 již opustil oblast přejezdu, celý vjel do vzdalovacího úseku L_{vz} . Jelikož se v přibližovacím úseku L_p nenachází ještě žádné vozidlo, na přejezdu tak dojde k zahájení ukončování výstrahy (zvedání závor). V tu chvíli by však mohl do detekčního přibližovacího úseku najet následný vlak jedoucí po stejné či druhé

koleji, a výstraha by se nestihla ukončit, či by byla ukončena jen na krátkou chvíli. Tím že by došlo posunutí zapínacího bodu výstrahy přejezdu o vzdálenost, kterou vlak ujede za čas nutný pro dobu zvednutí břevna závor 10 s a času bez výstrahy na přejezdu 7 s, by došlo k včasné detekci následného vlaku a výstraha by nezačala být ukončována z důvodu jeho včasné detekce. Tento obrázek znázorňuje případ souběžné jízdy 2 vlaků po 2 různých kolejích. Můžou nastat i případy, kdy jedou vlaky po různých kolejích proti sobě, či méně často, následné jízdy 2 vlaků po stejné koleji. Všechny tyto případy mohou vést na popisovaný problém. Samozřejmě navrhovaná úprava posunutí příslušných detekčních bodů by musela být provedena pro všechny 4 přibližovací úseky.

Výpočet posunutí detekčního bodu:

- traťová rychlost $v = 160 \text{ km/h}$
- doba bez výstrahy $t = 7 \text{ s}$
- doba zvedání závor $t_z = 10 \text{ s}$ ^[1]

$$L_{pp} = v * t = \frac{160}{3,6} * 17 \sim \cong 756 \text{ m}$$

Z tohoto výpočtu tak vychází, že pro dodržení doby bez výstrahy za využití posunutí zapínacích prvků by byl nutné zapínací prvky posunout o 756 m.

V závislosti na zvoleném řešení problému lze uvažovat 2 hlavní řešení nedostatečné doby bez výstrahy na přejezdu. První možnost řešení by se týkala pouze eliminace ukončování výstrahy v případě, že by nebyl dostatek času k ukončení této výstrahy. Jinými slovy, ještě nedošlo k úplnému zvednutí břevna závor a už by byla spuštěna výstraha od následného vlaku. Řešení by počítalo s včasnou detekcí následného vlaku tak, aby vůbec nedošlo k ukončování výstrahy od 1. vlaku v případech, kdy by se výstraha na přejezdu nestihla vůbec ukončit před začátkem výstrahy od 2. vlaku. Takovéto řešení by mělo pozitivní vliv na důvěru řidičů k přejezdovému zařízení, jelikož by se výstraha nezačala ukončovat (zvedat se závory) pro případy, kdy by nestihla výstraha skončit úplně. Toto řešení by nemělo ani žádný vliv na propustnost přejezdu, jelikož by na přejezd silniční vozidla stejně nemohla vjet, z důvodu neukončené výstrahy a opětovného spuštění následně.

Druhá možnost řešení se pak věnuje i stavu, kdy by se výstraha na přejezdu stihla ukončit, jenže výstraha od následného vlaku by se spustila v řádu nižších jednotek sekund po

jejím ukončení. Toto řešení tak počítá s definicí výše uváděné „minimální doby bez výstrahy“, kdy by bylo nutné stanovit dostatečný čas této minimální doby bez výstrahy. Dle stanovení této doby by pak nedošlo k ukončení výstrahy, pokud by se měla následná výstraha od 2. vlaku spustit za čas menší jak definovaná minimální doba bez výstrahy. V závislosti na definované délce této doby pak může dojít k určitému snížení propustnosti železničního přejezdu. Kdy by například čas 7 s byl definován jako tato minimální doba bez výstrahy a pokud by čas bez výstrahy měl být kratší, nedošlo by k ukončení výstrahy vůbec. Za tento čas však přes přejezd mohl přejet určitý počet vozidel. Z tohoto důvodu je nutné provést další úvahy pro stanovení vhodné délky této minimální doby bez výstrahy.

4. NÁVRH ÚPRAV PRINCIPŮ SPOUŠTĚNÍ A UKONČOVÁNÍ VÝSTRAHY PZZ V NÁVAZNOSTI NA PLÁNOVANÉ ZAVÁDĚNÍ SYSTÉMU ETCS

4.1. Možnosti pro navrhovaná řešení v rámci implementace systému ETCS

Zajímavý způsob řešení problémů popsaných v kapitole č. 3 je zejména v rámci nastupujícího vlakového zabezpečovače ETCS implementovaného pro zvýšení bezpečnosti, plynulosti a interoperability železniční dopravy v rámci EU. Zajímavé jsou zejména aplikační úrovně ETCS L2 a L3. U těchto aplikačních úrovní se již počítá s bezdrátovou komunikací mezi vlaky a Rádioblokovou Centrálou (RBC) pomocí GSM-R.^[9] Tato komunikace umožňuje přenos dat oběma směry, tudíž přenos informací týkajících se vlaku, ať už se jedná o jeho rychlost či polohu na trati. Tato komunikace se tak dá mimo jiné využít v rámci řešení různých problémů spojených se spouštěním a ukončováním výstrahy na přejezdech.

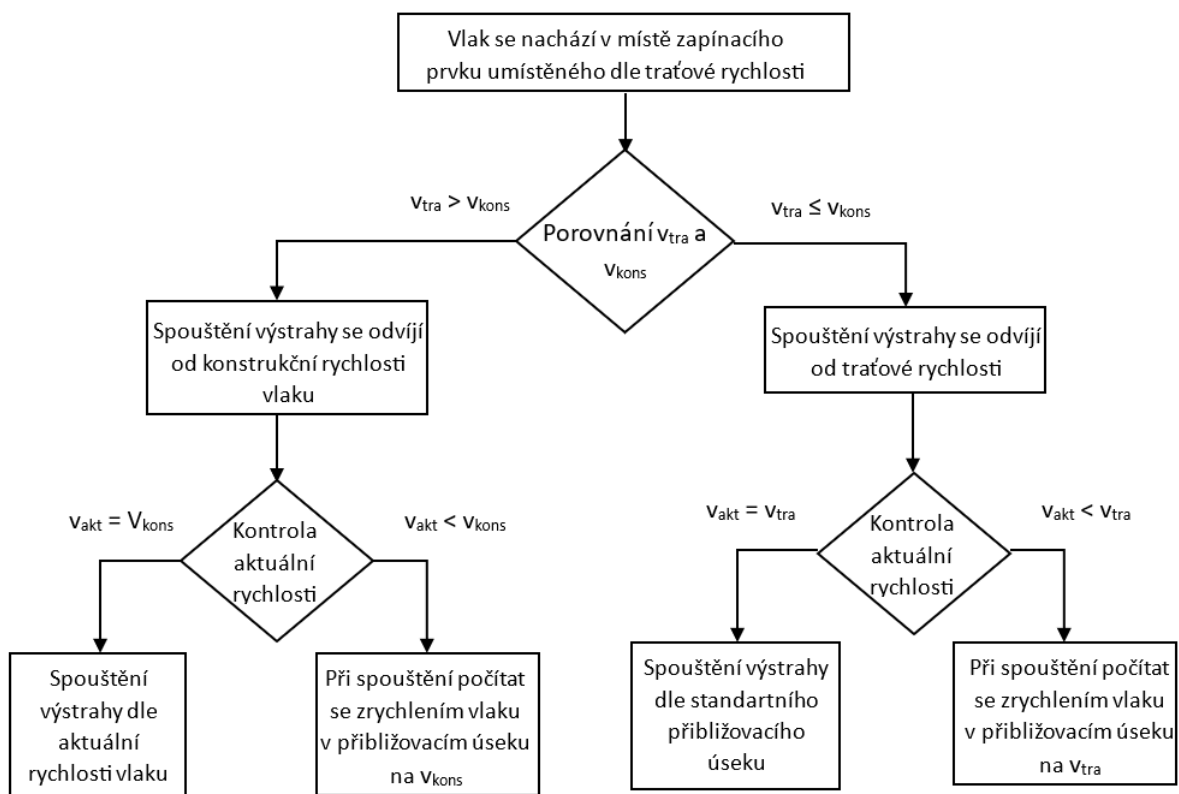
4.2. Navrhovaná řešení úprav spouštění a ukončování výstrahy

4.2.1. Vyrovnání přibližovací doby dle rychlosti drážního vozidla

V kapitole č. 3.1 bylo popsáno řešení způsobu vyrovnání přibližovací doby drážního vozidla v rámci zabezpečovacího zařízení daného přejezdu modifikací umístění zapínacích prvků výstrahy. Tato kapitola řeší možnosti modifikací spouštění výstrahy v závislosti rychlosti drážního vozidla v širším kontextu zabezpečovacích zařízení a neomezuje se na modifikaci pouze PZZ.

Jak již bylo zmíněno, probíhá v dnešní době postupné zavádění vlakového zabezpečovače ETCS v rámci sítě Správy Železnic ČR. Toto zařízení má dobré předpoklady pro řešení problémů s vyrovnáním přibližovací doby přejezdů pro různé rychlosti vlaků, jelikož v rámci systému ETCS od aplikační úrovně L2 dochází ke komunikaci (přenosu dat) mezi vlakem a RBC. Řešení spouštění výstrahy dle aktuální rychlosti vozidla by tak mohlo být řešeno pomocí informování traťové části zabezpečovacího zařízení (RBC) o aktuální rychlosti drážního vozidla právě samotným vozidlem. Další výhodou je i informování o typu vlaku nebo přesněji o jeho maximální konstrukční rychlosti. Například rychlíky či expresy mohou mít maximální rychlost 160 km/h, kdežto nákladní vlaky třeba jen 120 km/h, ale i

nižší rychlosti. V současné době palubní část ETCS umožňuje posílání paketů s informacemi RBC o aktuální rychlosti daného vlaku (V_{TRAIN}) a také o již zmíněné maximální, respektive konstrukční rychlosti vlaku (V_{MAXTRAIN}). Tato maximální konstrukční rychlost představuje maximální rychlost konkrétního vlaku v závislosti na nejnižší maximální konstrukční rychlosti vozů (či lokomotiv) daného vlaku. Následně ze znalosti maximální rychlosti vlaku, traťové rychlosti v daném úseku před přejezdem a aktuální rychlosti vlaku lze zařídit dynamickou délku přibližovacího úseku v závislosti na aktuální rychlosti, respektive zajistit odložení spouštění výstrahy na přejezdu vůči začátku stanovenému pro traťovou rychlost daného přibližovacího úseku. Řešení, jaká rychlost bude brána jako rozhodující při určení odložení výstrahy na přejezdu je znázorněno na následujícím diagramu.



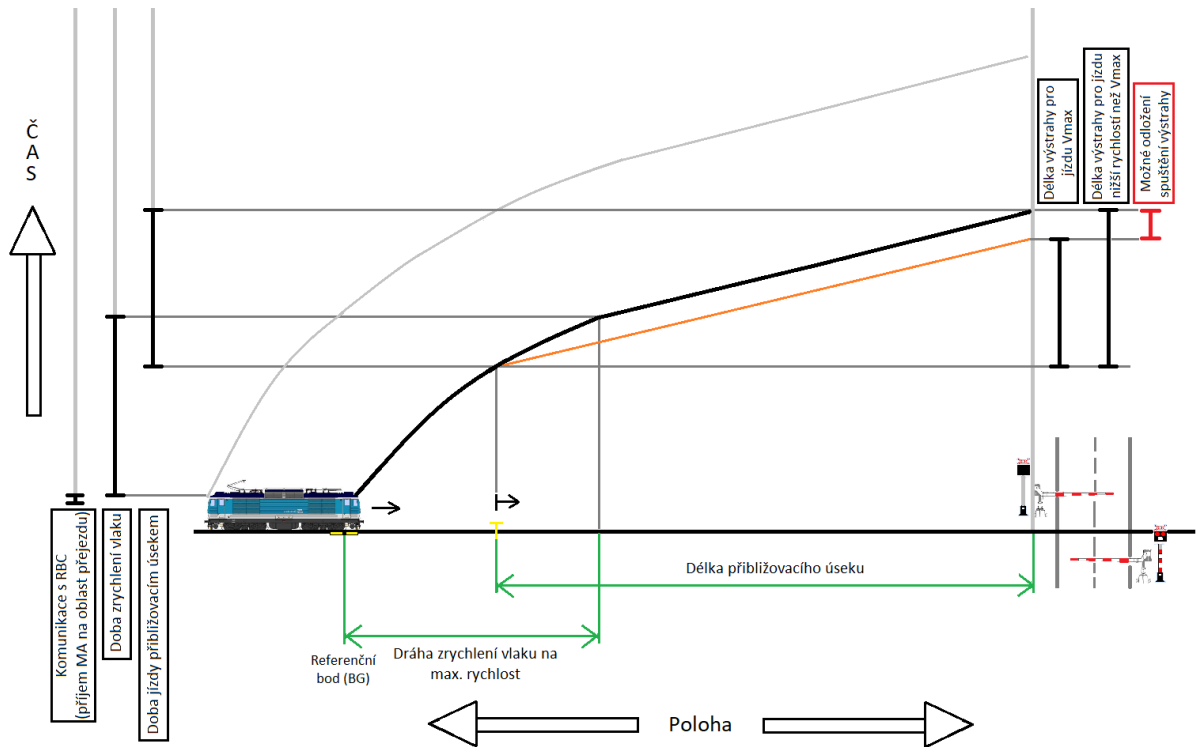
Obrázek 18 – Diagram určení rozhodné rychlosti vlaku

Diagram určení rozhodné rychlosti popisuje, jak bude volena rychlost při výpočtu pro určení odložení spouštění výstrahy na přejezdu. Jako první systém porovná traťovou rychlost (V_{tra}) v daném přibližovacím úseku a konstrukční rychlost vlaku (V_{kons}). Je-li konstrukční rychlost vlaku menší než traťová rychlost, nemůže tak vlak nikdy dosáhnout traťové rychlosti a při výpočtu bude tak pro daný vlak uvažována jako maximální rychlost jeho konstrukční rychlost. Je-li však traťová rychlost menší nebo rovna konstrukční rychlosti vlaku, bude při

výpočtu brána jako rozhodující tato rychlost. Dále se pak porovná aktuální rychlost vlaku s rozhodující rychlostí, je-li aktuální rychlost rovna maximální traťové, respektive konstrukční, budou přímo tyto rychlosti použity pro výpočet délky přibližovacího úseku a z něj případné doby odložení spouštění výstrahy přejezdu. Bude-li však aktuální rychlost vlaku nižší než traťová, respektive konstrukční, nabízí se pro smysluplné uplatnění odložení výstrahy při výpočtu délky přibližovacího úseku, a z něj případné doby odložení spouštění výstrahy přejezdu, uvažovat reálné zrychlení vlaku. Při možnosti zrychlení vlaku je však vždy nutné uvažovat hodnotu maximálního zrychlení, aby se stanovil nejkratší možný čas, za který se vlak k přejezdu přiblíží. Například tedy, že vlak při vjezdu do přibližovacího úseku stanoveného pro maximální traťovou rychlost 160 km/h, začne zrychlovat na tuto maximální traťovou, respektive konstrukční rychlost. Hodnota uvažovaného maximálního zrychlení by měla sama o sobě být předmětem samostatných úvah, respektive analýz, jelikož ne každý vlak této hodnoty zrychlení dosáhne, a navíc jsou zde značné rozdíly u zrychlení pro osobní vlaky oproti vlakům nákladním. Nákladní vlaky mohou mít zrychlení klidně poloviční oproti vlakům osobním. Pro účely této práce lze však uvažovat hodnotu $1,3 \text{ m/s}^2$, která se pro obdobné účely uvažuje i v normě ČSN 34 2650 ed. 2^[1]. Ze znalostí všech těchto informací se pak stanoví nejkratší doba, za kterou se vlak k přejezdu může dostat. Od této hodnoty se pak bude odvíjet případné odložení spuštění výstrahy.

Celkové řešení odložení spouštění výstrahy na přejezdu by tak mohlo vypadat následovně. Pro daný přejezd se stanoví dle klasických požadavků z normy ČSN 34 2650 ed. 2^[1] přibližovací doba a délka přibližovacího úseku. V tomto místě budou instalovány klasické izolované styky, či počítací body. V případech jedoucího vozidla pod dohledem ETCS, dostane toto vozidlo MA povolení pro jízdu do úseku s přejezdem ještě před najetím do přibližovacího úseku. Vlak zároveň předá informace o své poloze a dále i svoji aktuální a konstrukční rychlost do RBC. Ta následně porovná tyto informace o rychlosti s traťovou rychlostí v daném úseku, respektive s konstrukční rychlostí a určí, zdali vlak již jede maximální rychlostí (traťovou či konstrukční), kterou může v daném úseku jet. V případě že jede nižší rychlostí, bude nutno při výpočtu uvažovat i možné zrychlení na maximální možnou rychlost vlaku, ať už traťovou nebo konstrukční. RBC provede výpočet nejkratší doby příjezdu vlaku k přejezdu ze znalosti maximální možné rychlosti vlaku omezené ať už konstrukčními vlastnostmi vlaku nebo traťovou rychlostí. Tato minimální doba příjezdu vlaku na přejezd bude sloužit pro výpočet možného odložení výstrahy přejezdu a bude využita v případě, že vlak již během následné jízdy přibližovacím úsekem nepošle jiná aktuálnější data. Tento případ počítá tedy s tím že, vlak po odeslání dat do RBC začne zrychlovat na

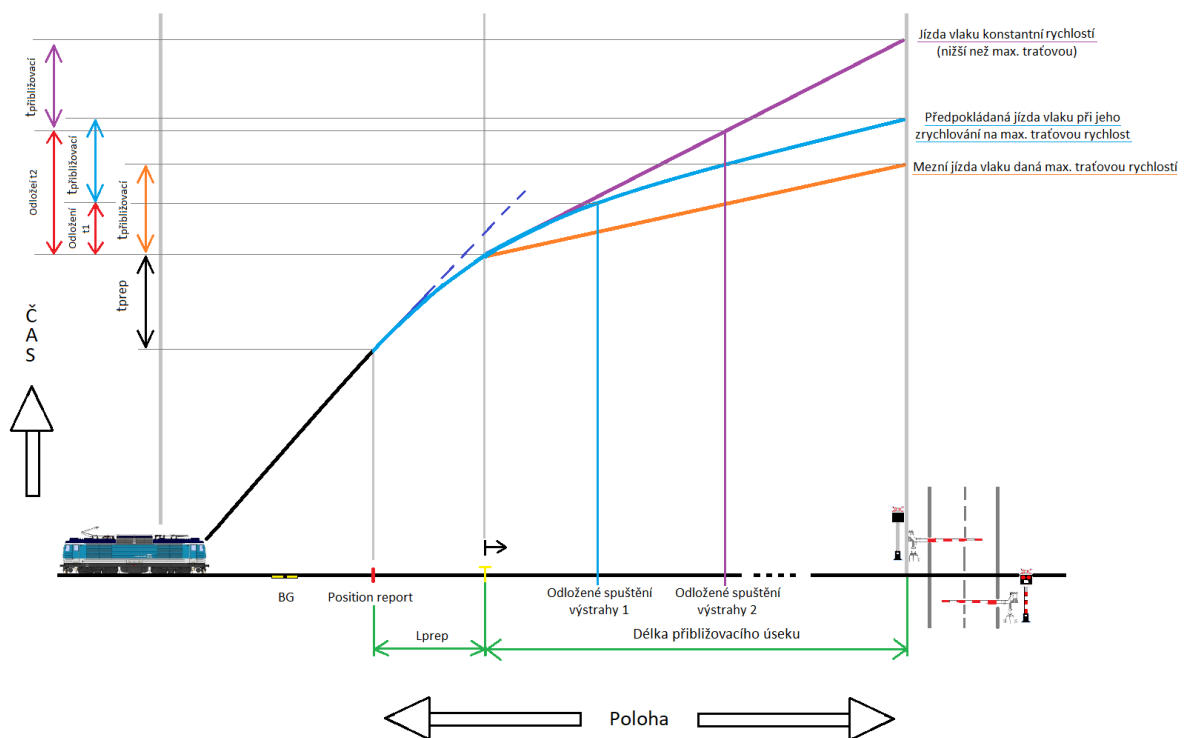
maximální traťovou, respektive konstrukční rychlost, pakliže už jí nejel. Z vypočtené minimální doby příjezdu vlaku se následně odvodí nejkratší možný čas, za který se vlak dostane k přejezdu.



Obrázek 19 – Princip zahajování výstrahy

Obrázek 19 popisuje princip jízdy vlaku oblastí přejezdu a vychází z grafické ideji z práce p. Netolického, která se věnuje také dané problematice.^[10] Pro to, aby mohl vlak vůbec do oblasti přejezdu vjet, musí mít na daný úsek MA (Movement Authority). Povolení MA získá komunikací s RBC, která udělí MA na určitý úsek, v tomhle případě úsek s přejezdem. Toto povolení se vždy vztahuje k poslednímu referenčnímu bodu (balíže), nad kterou vlak projel. Během jízdy daným úsekem vlak průběžně s určitou periodou posílá tzv. *position report* s aktuálními informacemi o jeho aktuální poloze a rychlosti. RBC z těchto údajů pak může stanovit minimální dobu příjezdu vlaku do oblasti přejezdu. RBC musí však počítat s nejkritičtější scénářem, který spočívá v tom, že vlak po odeslání informací do RBC začne zrychlovat na maximální možnou rychlost, pokud ji již vlak nejede. Toto zrychlení je v obrázku naznačeno černou barvou, oranžová barva pak znázorňuje příklad, kdy vlak při vjezdu do přibližovacího úseku jede konstantní maximální traťovou rychlostí. RBC tak musí stanovit dobu za kterou se vlak dostane na začátek přibližovacího úseku, zároveň vypočte i minimální dobu jízdy přibližovacím úsekem. Od zjištěné minimální doby jízdy od posledního

position report vyslaného vlakem po příjezd vlaku k přejezdu se tak odečte doba jízdy vlaku mezi aktuální polohou zaslou v position report a místem, ohraničující přibližovací úsek. Výsledný čas je tak skutečný čas, za který vlak projede přibližovacím úsekem. Tento čas se tak může porovnat s přibližovací dobou pro maximální rychlost (naznačena oranžově) a výsledný rozdíl představuje možnou dobu pro odložení výstrahy přejezdu. Aby bylo možné dosáhnout optimálního vyrovnání přibližovací doby je ideální, aby vlak posílal do RBC během jízdy před i v přibližovacím úseku aktuální data o své jízdě, tedy zejména svoji aktuální rychlost či polohu (ujetou dráhu), nikoliv jednou, ale opakovaně. Vlak totiž nemusí jet ani zrychlovat na maximální možnou rychlost, ale naopak zůstat na konstantní rychlosti či zpomalit, čímž se naskytuje možnost spuštění výstrahy přejezdu později o další časový úsek než při jízdě maximální rychlostí. Toto znázorňuje i následující obrázek.



Obrázek 20 – Princip optimalizace délky výstrahy

Obrázek 20 popisuje opět případ jízdy vlaku k přejezdu. Vlak načte balízovou skupinu (BG = balise group), což pro něj představuje referenční bod na trati. Dále si vlak pomocí odometrie odměřuje ujetou dráhu od daného referenčního bodu. Zároveň vlak s určitou periodou posílá do RBC aktuální data se svou rychlostí a polohou. RBC pak počítá již zmiňovanou dobu jízdy k přejezdu. Tento obrázek zejména ukazuje možnosti jízdy, respektive zrychlování vlaku při jízdě k přejezdu. RBC jak již bylo řečeno musí uvažovat

s nejkritičtějším stavem, a tím je minimální doba jízdy k přejezdu. Ta se odvíjí od toho, že vlak jede, respektive zrychlí na maximální rychlost, což naznačuje světle modrá čára v obrázku. Jenže vlak může od posledního position report jet stále konstantní rychlostí (tmavě modrá přerušovaná čára), nicméně RBC musí uvažovat právě kritičtější stav, a tím je naznačené zrychlení na maximální rychlost. Oranžově je pak v obrázku naznačena doba jízdy *t_{přibližovací}*, která vychází z maximální traťové rychlosti daného úseku. V ideálním případě, při optimalizaci vyrovnání přibližovací doby, by měla tato doba být stejná pro různé rychlosti jízdy vlaků. Při uvažování zrychlení vlaku se však k ideálnímu odložení výstrahy můžeme pouze přiblížit, jelikož se musí počítat vždy nejkratší možná doba, za kterou se vlak k přejezdu dostane (i když reálná doba bude delší). Světle modrá křivka tak naznačuje, že vlak nejede přibližovacím úsekem celou dobu maximální rychlostí, ale zrychluje na ní, je zde tak možnost odložit výstrahu o dobu t_1 , která je způsobena právě touto nižší rychlostí vlaku. Nicméně se může stát i to, že je vlak omezen konstrukční rychlostí, která je nižší než traťová rychlost (naznačeno fialově). To má pak za následek ještě delší dobu jízdy přibližovacím úsekem. Odložení výstrahy by tak v tomto případě mohlo být ještě delší, jako doba odložení t_2 . Nicméně aby RBC mohla zajistit optimalizaci odložení spuštění výstrahy je nutné, aby vlak posílal position report s určitou periodou. Čím kratší tato perioda bude, tím se můžeme dostat k lepší optimalizaci přibližovací doby. Periodické zasílání informací pomůže vyhodnotit případné zrychlování či zpomalování vlaku či zejména jízdu konstantní rychlostí nižší než maximální možnou (tmavě modrá přerušovaná čára), což má vliv na možnou celkovou dobu pro odložení výstrahy.

Dále pak RBC ze znalosti vypočítaného času, za který se vlak dostane k přejezdu stanoví možné časové odložení spuštění výstrahy. Následně pak záleží, jakým principem bude realizováno spuštění výstrahy přejezdu. Buď bude funkce spuštění výstrahy spočívat v komunikaci mezi RBC a PZZ, kdy bude spuštění výstrahy zahajováno na základě informací od RBC. V tomto případě princip odložení výstrahy pro vyrovnání přibližovací doby bude spočívat v odložení změny stavu příslušných informací, od RBC. Druhá možnost řešení je pak přenechat, spuštění výstrahy na PZZ primárně na základě stavu přibližovacího úseku, kdy odložení výstrahy bude zajištěno informací předanou od RBC na PZZ. Samotné PZZ pak bude odměřovat daný čas pro odložení výstrahy a aktualizovat tento čas odložení dle informací získaných od RBC.

4.2.2. Zvolení principu spouštění výstrahy na přejezdu

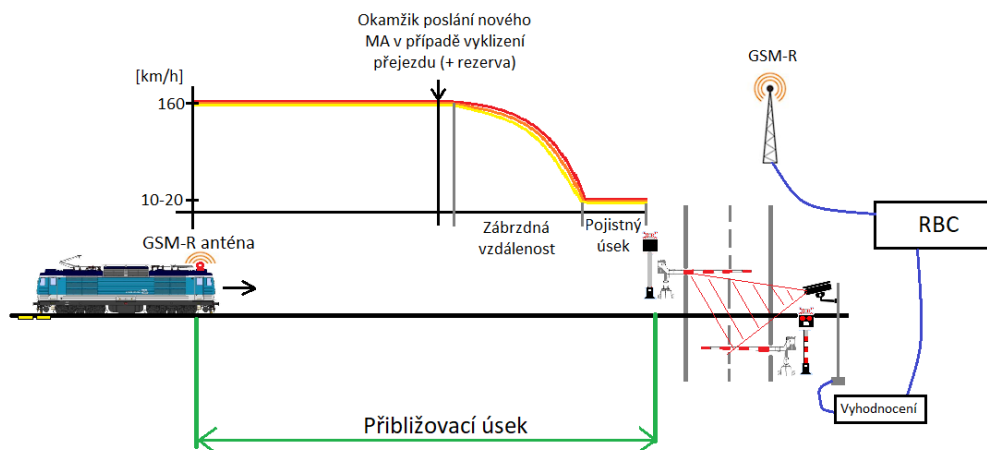
Jak již bylo řečeno, bude realizace vyrovnání přibližovací doby záviset na zvoleném způsobu, jakým bude docházet k zahajování výstrahy na přejezdech. Nabízí se zde více možností, například princip, kdy spouštění výstrahy zůstane v rámci daného přejezdu závislý na detekci příjezdícího vozidla. Tento způsob má určité výhody i nevýhody. Mezi výhody patří zejména zachování funkce přejezdu i při výlukách systému ETCS jeho poruchách či jízdě vozidel nevybavených tímto vlakovým zabezpečovacím systémem. Nevýhodou může být potřeba zachování, respektive zohlednění stávajícího způsobu konfigurace (umístění) zapínacích prvků pro spuštění výstrahy a jejich nutné údržby. Vyrovnání přibližovací doby přejezdu v závislosti na rychlosti drážního vozidla by pak mohlo spočívat v informacích předávaných z RBC do PZZ o odložení spuštění výstrahy na přejezdu. RBC by dostávala z vlaku potřebné aktuální informace (rychlost, polohu) a z nich by počítala o kolik může být na přejezdu odloženo spuštění výstrahy. Přejezdové zabezpečovací zařízení by pak po získání této informace samo odměřovalo zpoždění odložení výstrahy a její následné spuštění. Přenos informace o odložení výstrahy by probíhal vícekrát s určitou frekvencí vždy s aktuální hodnotou pro odložení výstrahy v závislosti na aktuálních datech od vozidla (rychlost, poloha, zrychlení). Přejezd by tak vždy pracoval s poslední získanou informací pro odložení výstrahy od RBC. Nutnost aktualizovat dobu odložení výstrahy vyplývá z potřeby výpočtu nejkratší možné doby, za kterou se vlak k přejezdu může dostat. Tato doba nesmí být kratší jak stanovená přibližovací doba daného přejezdu. Z tohoto důvodu vždy musí dojít k výpočtu nejkratšího možného času, za který se vlak k přejezdu dostane, což spočívá v předpokladu, že vlak zrychlí na maximální možnou rychlost, ať už konstrukční či traťovou. Z tohoto důvodu pro optimalizaci přibližovací doby zejména pro vozidlo jedoucí menší rychlostí než maximální možnou, je nutné aktualizovat dobu odložení výstrahy. Výhodou tohoto způsobu odkládání výstrahy je fakt, že v případě výpadku komunikace mezi RBC a PZZ bude PZZ počítat s mezní (maximální možnou pro daný okamžik) dobou odložení spuštění výstrahy vypočítané v RBC dle (pro daný okamžik) nejkratší doby přiblížení k přejezdu a nemůže tak nastat situace, kdy by se vlak k přejezdu přiblížil dříve než za stanovenou přibližovací dobu.

Druhý způsob řešení funkcí pro zahajování výstrahy na přejezdu je průběžná komunikace mezi RBC a PZZ. RBC by v tomto případě plnila funkci informování PZZ o nepřítomnosti vlaku v přibližovacím úseku, respektive o tom že není potřeba na přejezdu zahájit výstrahu. V tomto případě by funkce pro odložení spuštění výstrahy spočívala čistě na RBC, která by si počítala mezní hodnoty pro jízdu vlaku před přejezdem, tedy maximální

dobu odložení spuštění výstrahy. Tuto hodnotu by opět aktualizovala v závislosti na přenosu aktuálních informací z vlaku. Nevýhodou tohoto principu je pak možnost výpadku komunikace mezi RBC a PZZ. Tento výpadek by musel být řešen tak, že by se přejezd zachoval jako v případě, že přibližovací úsek obsazen, jelikož by ztratil bezpečnou informaci o jeho volnosti. V případě této ztráty by tak došlo ke spuštění výstrahy na přejezdu. Pro eliminaci tohoto problému při výpadku komunikace by mohlo být zajištěno, že přejezd bude volnost sledovat paralelně s RBC. Tedy by přibližovací úseky byly osazeny počítači náprav. A v případě že by došlo ke ztrátě komunikace by tak přejezd mohl fungovat nezávisle na RBC z dat od počítačů náprav, ale bez vyrovnání přibližovací doby.

4.2.3. Instalace detekčních prvků vyklizení přejezdu silničními vozidly

Problematika detekce vyklizení přejezdu silničním vozidlem a následné informování železničního vozidla měla jeden z hlavních problémů v současnosti používaných systémů, zejména možnost komunikaci mezi PZZ a drážním vozidlem. V rámci aktuálně nasazených řešení bylo možné realizovat informování vlaku pouze pomocí přenosu informace na návěstidlo a z návěstidla následným přenosem na vozidlo v podobě viditelnosti návěstního znaku strojvedoucím. Nevýhodou tohoto řešení je pouze bodový přenos informace na vozidlo a nutnost zajistit dostatečnou dohlednost návěstidla, což prodlužuje samotný přibližovací úsek přejezdu. V rámci uvažovaných instalací systému ETCS se zde však naskytují dobré možnosti ovlivnění jízdy vlaku na základě informace o vyklizení přejezdu silničním vozidlem. Princip řízení provozu v rámci systému ETCS totiž spočívá ve vydávání tzv. MA (movement authority = povolení k jízdě) od RBC pro jednotlivé vlaky. Bez MA vlak nemá povolení k jízdě, což systém hlídá a zabraňuje jízdě vlaku bez tohoto povolení. Implementace detekce vyklizení k přejezdu by tak mohla být jednou z podmínek udělení MA vlaku, který se k přejezdu blíží. Při vjezdu vlaku do přibližovacího úseku by vlak držel MA pouze na úsek před přejezdem. Mobilní část zabezpečovacího systému ETCS by tak generovala brzdnou křivku s pojistným úsekem tak, že by končila bezpečně před začátkem přejezdu. Toto je vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 21 – Princip přenosu informace o vyklizení přejezdu v rámci ETCS

Během jízdy v přibližovacím úseku by došlo klasicky k zahájení výstrahy na přejezdu detekčními prvky. Vlak by v tu chvíli měl povolení k jízdě MA pouze k hranici přejezdu. V rámci daného MA by byl zahrnut i tzv. pojistný úsek pro případy velmi nepříznivých atmosférických vlivů a jiných podmínek mající vliv na délku brzdné dráhy. Vlak následně pokračuje jízdou přibližovacím úsekem přejezdu, současně dochází k odměřování vyklizovací doby přejezdu. Po skončení odměřování vyklizovací doby přejezdu (po sklopení závor přejezdu) dojde k vyhodnocení vyklizení prostoru přejezdu. Pokudliže byl přejezd vyklizen, dojde k předání této informace RBC, a ta v reakci na tuto informaci může prodloužit MA i za oblast přejezdu pro daný vlak. K obnovení MA na oblast přejezdu by mělo dojít ještě, než se vlak dostane do brzdné křivky zastavení k přejezdu, aby nemusel začít brzdit, i když to nebude nutné. Důležité je tedy včasné vyhodnocení vyklizení přejezdu a včasné informování vlaku. Z tohoto důvodu je zde určitá rezerva mezi posláním nového MA a mezní křivkou pro brzdění před přejezdem. Například pro případy, kdy by došlo ke ztrátě dat při komunikaci mezi RBC a mobilní částí ETCS na vlaku. V případě že nedojde k vyklizení přejezdu, nedojde k prodloužení MA daného vlaku a ten je tak přinucen brzdit dle generovaných křivek od mobilní části ETCS. V realizaci může být zachována i tzv. uvolňovací rychlost 10 či 20 km/h, kdy ETCS již nehlídá úplné zastavení vlaku, nýbrž projetí za pojistný úsek.

Druhá možnost řešení předávání informace o ne/vyklizení přejezdu silničním vozidlem by pracovala na základě principu, že vlak má vydané MA i na oblast přejezdu. Vlak by se tak k přejezdu blížil, jako by byl přejezd ve výstražce a oblast přejezdu bezpečně vyklizena od silničních vozidel. Během jízdy drážního vozidla přibližovacím úsekem by došlo po sklopení závor k vyhodnocení vyklizení oblasti přejezdu silničními vozidly. V případě že by na přejezdu uvízlo vozidlo, došlo by k předání této informace z PZZ do RBC, a ta by pak

nařídila vlaku blížícímu se k přejezdu začít nouzově brzdit. Nevýhoda tohoto řešení je zajistit, že nedojde ke ztrátě informace o nevyklizení přejezdu a drážní vozidlo bude bezpečně informováno o tomto stavu, aby mohlo tak bezpečně zastavit.

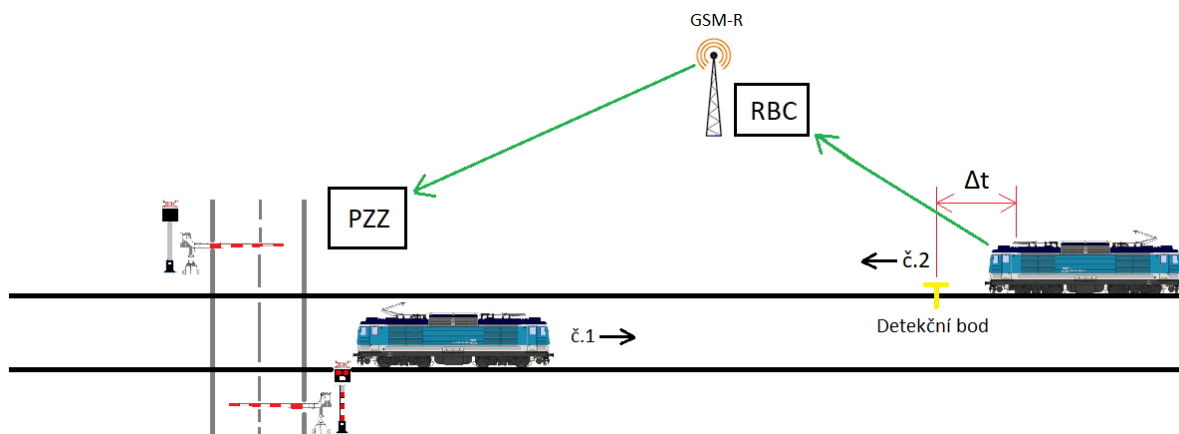
Další zajímavá oblast, která stojí za zamyšlení a návrh řešení je definice chování v případech, kdy silniční vozidlo, které neopustilo přejezd následně prorazí závory a přejezd opustí před příjezdem vlaku. V tomto případě již vlak nemá v oblasti přejezdu překážku v podobě silničního vozidla a mohl by jej tedy projet. Nicméně se může v oblasti přejezdu nacházet nějaká překážka vzniklá proražením závory. Také je nutné brát v úvahu případné poškození PZZ z důvodu případného proražení závory. Z tohoto důvodu by bylo vhodné, aby se vlak k přejezdu přiblížil sníženou rychlostí například 10 či 20 km/h. Strojvedoucí by pak jel dle rozhledových poměrů, a pakliže by viděl že se v prostoru přejezdu nenachází žádná překážka, mohl by jej touto sníženou rychlostí projet. Následně by mohl pokračovat za oblast přejezdu, kde by případně obdržel MA na další úsek.

Problematika s detekcí vyklizení přejezdu, respektive včasným informováním drážního vozidla má v současných řešení zásadní problém, a to je informování drážního vozidla v dostatečném předstihu, aby mělo dostatek brzdě dráhy na zastavení před přejezdem. Průběh výstrahy přejezdu se skládá z několika částí. Nejdříve dochází ke spuštění výstrahy, následuje odměřování vyklizovací doby, po kterou mají vozidla či chodci čas bezpečně opustit prostor přejezdu. Následuje doba určená ke sklápění závor a za ní pak následují 2 bezpečnostní doby. První je základní bezpečnostní doba, která musí uplynout od skončení měření vyklizovací doby do příjezdu čela drážního vozidla na přejezd a trvá 6 s.^[1] Druhá je pak tzv. přídavná bezpečnostní doba, která vyplývá z tolerancí při měření a zaokrouhlování a trvá 3 s.^[1] Z těchto informací tak vyplývá, že doba mezi sklopením závor a příjezdem drážního vozidla k přejezdu má být minimálně 6 s (případně až 9 s - bude-li se brát v úvahu velká přesnost aktuálních technologií). V tomto čase by tak mělo dojít k vyhodnocení vyklizení přejezdu a informování drážního vozidla. Při nevyklizení by pak vozidlo muselo včas zastavit před přejezdem. Jenže k tomu nebude mít dostatečnou brzdě dráhu. Dle vyhlášky č. 174/2000 Sb. Ministerstva Dopravy se pro tratě s rychlostí do 160 km/h udává zábrzdě vzdálenost 1 000 m. Při uvažování rychlosti 160 km/h a času do příjezdu k přejezdu 6 s, vychází zbylá dráha jízdy vlaku k začátku přejezdu přibližně 267 m. Tato hodnota se tak zdaleka neblíží definované zábrzdě vzdálenosti. Muselo by tak dojít k prodloužení přibližovacího úseku o 733 m, což by vedlo na prodloužení přibližovací doby o 16,49 s. To je ještě navíc extrémně optimistická úvaha, protože 1000 m je definovaná zábrzdě vzdálenost,

ale vlaky při splnění určitých podmínek mohou běžně rozkládat brzdnu dráhu do 2 zábrzdých vzdáleností, tj. mohou brzdit až na dráze 2000 m. A tedy pokud uvážíme dobu mezi sklopením závor a příjezdem drážního vozidla 6 s a brzdnu dráhu 2000 m, musel by se přibližovací úsek prodloužit o 1733 m a doba příjezdu vlaku na přejezd by se tak prodloužila minimálně o 38,99 s. A to v uvedeném výpočtu není uvažován čas pro vyhodnocení, přenos a reakci na informaci o nevyklizení přejezdu. Řešení daného problému tak vede na nezbytné prodloužení doby výstrahy na přejezdu a snížení propustnosti takového železničního přejezdu. V porovnání s ostatními navrhovanými úpravami principů spouštění a ukončování výstrahy PZZ tak jde tento princip opačným směrem. I z tohoto důvodu není tento princip zahrnut v simulacích.

4.2.4. Modifikace ukončování výstrahy ve vztahu k nedostatečnému času bez výstrahy na přejezdu

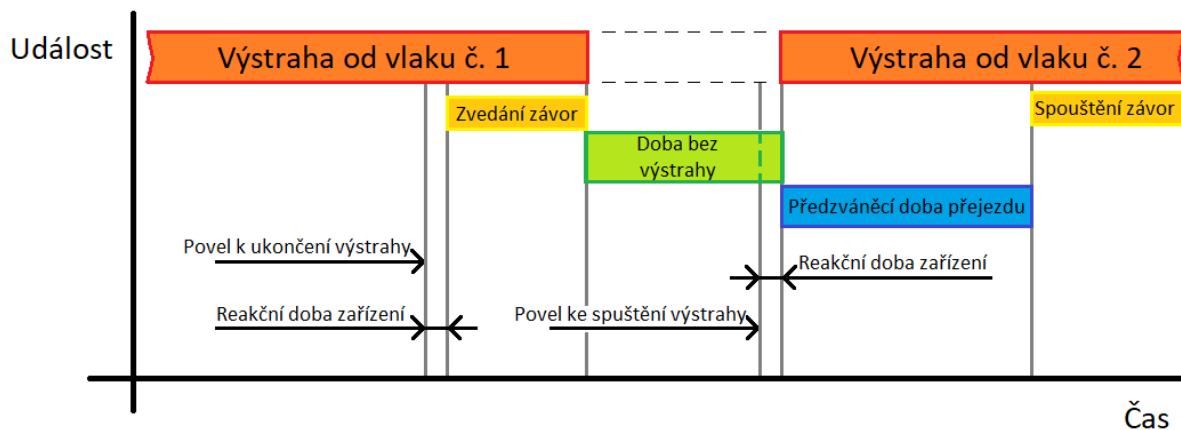
Pro řešení problematiky nedostatku času bez výstrahy na přejezdu mezi jednotlivými vlaky poskytuje opět optimální možnosti systém ETCS. Tedy zejména pro tratě vybavené aplikační úrovní minimálně L2 s výhradním provozem vozidel s ETCS. Zmíněnou výhodu představuje zejména dostupná informace o poloze jednotlivých vlaků na trati a zároveň znalost jejich aktuální rychlosti. Z těchto informací se tak dá za pomoci výpočtů zajistit, aby na přejezdu nedošlo k zahájení ukončování výstrahy, pokud by nebylo zajištěno, že do přibližovacího úseku nenajede další vlak, který by výstrahu opět spustil. Nutné je tedy zajistit, aby vlak informoval RBC o své aktuální poloze a rychlosti při přiblížení k přejezdu. RBC následně dle těchto dat rozhodne buď o možnosti neukončení výstrahy na přejezdu, či bude-li blížící se vlak, vzhledem ke své rychlosti, dostatečně daleko před spouštěcím bodem výstrahy přejezdu a bude zajištěna minimální doba bez výstrahy, tak výstrahu přejezdu ukončí.



Obrázek 22 – Princip modifikace ukončování výstrahy s využitím systému ETCS

Na tomto obrázku je vidět případ při kterém by mohlo dojít k neuplatnění ukončování výstrahy od vlaku č. 1 z důvodu nedostatečného času bez výstrahy na přejezdu. Vlak č. 1 zrovna najel do vzdalovacího úseku, což by vedlo na ukončování výstrahy na přejezdu v podobě zvedání závor. Pakliže se však k přejezdu blíží jiný vlak, který zahájí opětovné spuštění výstrahy, není zaručena minimální doba bez výstrahy na přejezdu. Princip řešení spočívá v tom, že RBC zná polohu a rychlost vlaku č. 2, kterou získává datovou komunikací s ním. Z těchto dat následně spočítá dobu, za kterou se tento vlak dostane k detekčnímu bodu, kde by spustil výstrahu na přejezdu (v obrázku naznačeno jako Δt). Pakliže by tento čas způsobil, že doba výstrahy na přejezdu bude kratší než minimální stanovená hodnota doby bez výstrahy na přejezdu, pošle RBC zprávu PZZ o tom, že nemá dojít k ukončení výstrahy na přejezdu. To bude mít pozitivní vliv na vnímání činnosti PZZ z pohledu řidičů, jelikož výstraha zůstane jednoznačná a nebude ukončována a v krátkém sledu opět spuštěna.

Ovlivnění činnosti přejezdu také závisí na způsobu, jakým bude řešeno spuštění jeho výstrahy. Pakliže bude výstraha spouštěna přímo činností PZZ, musí RBC poslat informaci o tom, že výstraha nemá být ukončena přímo do PZZ. Druhá možnost je případ, kdy by byla činnost PZZ řízena přímo povely z RBC. U tohoto řešení by se rozhodnutí o ukončení, respektive neukončení výstrahy řešilo přímo v RBC, která by pak PZZ posílala povely PZZ. RBC by si tak z jízdy vlaku č. 2 vyhodnotila, zdali bude na přejezdu dodržena minimální doba bez výstrahy. V případě že by nebyla, neposlala by RBC povel pro PZZ k ukončení výstrahy.



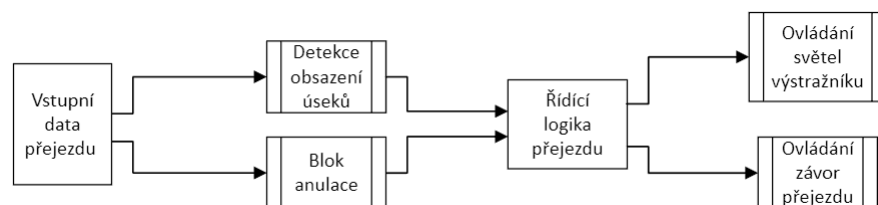
Obrázek 23 – Časová osa doby bez výstrahy základní (2)

Jak už bylo popsáno v kapitole 3.4 rozhodující je zajištění minimální doby bez výstrahy. Ta je na tomto časovém diagramu, který odpovídá obrázku 11 (viz. nahoře - kvůli přehlednosti) vyznačena zelenou barvou. Pakliže by tato doba byla z důvodu příjezdu druhého vlaku kratší než minimální stanovená, nesmí dojít k zahájení ukončování výstrahy.

5. VYTVOŘENÍ SIMULACÍ VLIVŮ NAVRHOVANÝCH ŘEŠENÍ TYKAJÍCÍ SE ÚPRAV PRINCIPŮ SPOUŠTĚNÍ A UKONČOVÁNÍ VÝSTRAHY PZS

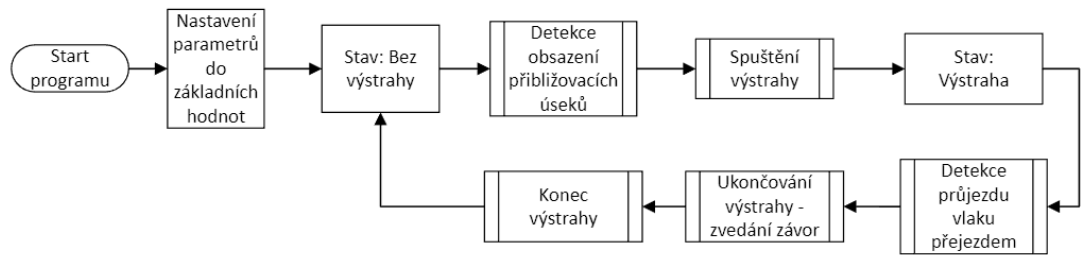
5.1. Simulační model přejezdu

V rámci vytvoření simulace navrhovaných úprav jsem vytvořil 2 modely. První model představuje simulaci činnosti přejezdu, jedná se o přejezd s 2 traťovými kolejemi. V modelu je simulována jízda vlaku pomocí ručního obsazování příslušných kolejových úseků uživatelem. Uživatel také zadává informace o vlaku, jako je jeho rychlost, maximální zrychlení či jaká je zvolená maximální traťová rychlost. Řídící logika přejezdu v návaznosti na tyto informace řídí výstrahu přejezdu. Model tak simuluje navrhované principy modifikací spouštění a ukončování výstrahy popsané v kapitole 4. Výsledný model přejezdu z pohledu uživatele je vidět v příloze č. 1. Model se skládá z vizualizace trati s přibližovacími úseky, přejezdu výstražníku a vizualizace stavu závor. Zjednodušený princip činnosti je vidět i na následujícím diagramu.



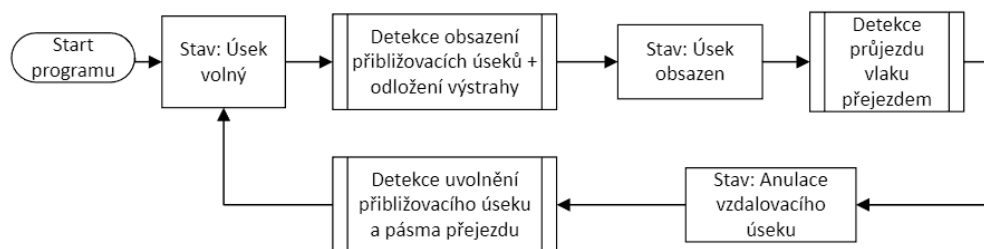
Obrázek 24 – Diagram modelu činnosti přejezdu

Obrázek 24 znázorňuje základní strukturu pro řízení vytvořeného modelu. Jako vstup do systému jsou brány informace od spouštěcích prvků výstrahy informující o obsazení přibližovacích, respektive vzdalovacích úseků, dále od bloku ASE zajišťující informaci o průjezdu vlaku přes přejezd. Dalšími vstupními daty jsou informace z výpočetního modelu jízdy vlaku k přejezdu. Ten počítá ze zadaných informací dobu, za jak dlouho přijede vlak na přejezd, respektive o kolik má být odloženo spuštění výstrahy. Tento výsledek je pak zohledněn při spouštění výstrahy pro daný vlak. Dále jsou více popsány jednotlivé bloky řídicí struktury.



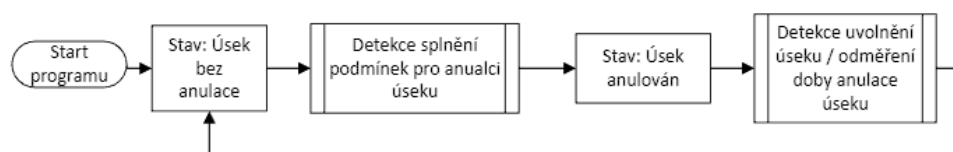
Obrázek 25 – Diagram bloku řídicí logiky přejezdu

Obrázek 25 zobrazuje diagram popisující detailněji princip činnosti řídicí logiky přejezdu. Tento blok zajišťuje přechod přejezdu mezi stavem „Bez výstrahy“ nebo „Výstraha“. Hlavní činností bloku je posílání informací pro ovládání výstrahy přejezdu jako je sklápění/zvedání závor a blikání výstražných světel či pozitivního bílého světla. Blok přebírá informace z bloků pro detekci obsazení úseků a bloků pro anulaci kolejových úseků.



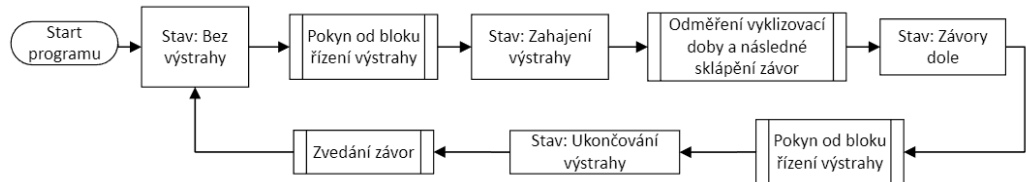
Obrázek 26 – Diagram bloku detekce obsazení úseků

Obrázek 26 zobrazuje diagram, na kterém je popsán princip činnosti bloku pro detekci obsazování úseků. Blok získává informace o obsazení jednotlivých kolejových úseků a předává tyto informace do řídicí logiky přejezdu. Zároveň tento blok slouží k zahájení anulace vzdalovacího úseku v případě, že je zaznamenána jízda vlaku přes přejezd pomocí ASE. Tento blok se nachází v modelu 4x, pro každou kolej (přibližovací úsek) je samostatný. Také zajišťuje odložení spuštění výstrahy od vlaku v závislosti na informacích z výpočetního bloku pro skutečnou dobu přibližovací jízdy vlaku k přejezdu.



Obrázek 27– Diagram bloku anulace vzdalovacích úseků

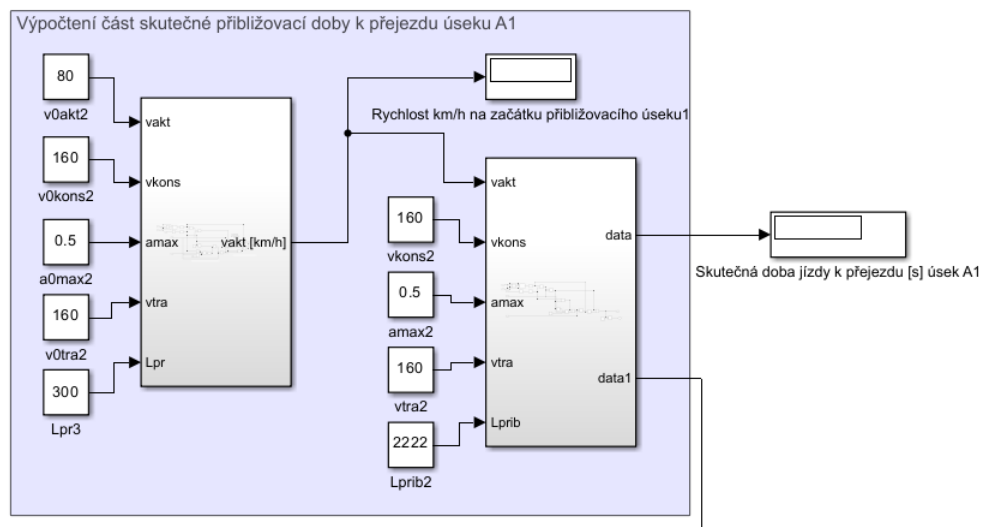
Obrázek 27 zobrazuje blok diagram který, jak už z jeho názvů vyplývá, zajišťuje anulaci činnosti vzdalovacích kolejových úseků. Stará se tak, že nedojde ke spuštění výstrahy při jízdě vlaku od přejezdu vzdalovacím úsekem. Zároveň odměřuje mezní dobu anulace pro daný vzdalovací úsek (viz. 1.1.4), která zajišťuje že v případě poruchy nezůstane úsek v anulaci.



Obrázek 28 – Blok ovládání závor

Poslední část tvoří blok zajišťující řízení pohybu závor (viz. Obrázek 28). Dle pokynů z bloku řídicí logiky dochází k zahájení odměřování vyklizovací doby a následnému sklápění závor. Po vyklizení přejezdu vlakem vyšle řídicí blok pokyn k zahájení ukončování výstrahy. Dojde tak ke zvedání závor a blok se dostane do základního stavu „Bez výstrahy“ a čeká na další povely z řídicího bloku.

V modelu jsou zároveň umístěny 4 výpočetní bloky (viz. Obrázek 29), které ze zadaných dat počítají možné odložení výstrahy blížícího se vlaku, vždy pro jednotlivé směry (z toho důvodu 4).



Obrázek 29 – Výpočetní blok doby příjezdu na přejezd

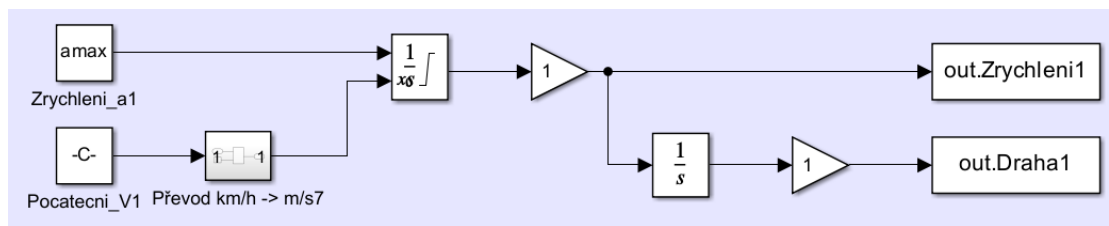
Výpočetní bloky se skládají ze 2 částí. První část počítá dobu jízdy a rychlost pro jízdu vlaku před vjezdem do přibližovacího úseku. Druhá část pak počítá již samostatnou jízdu přibližovacím úsekem. Výsledným výstupem je pak možná doba odložení výstrahy na přejezdu, která vstupuje do řídicího bloku výstrahy a dle její velikosti je řízeno spuštění, respektive odložení výstrahy. Jako vstupní parametry, které lze při výpočtech měnit jsou:

- Maximální traťová rychlost
- Konstrukční rychlost vlaku
- Aktuální rychlost vlaku
- Uvažované zrychlení
- Délka úseku k začátku přibližovacího úseku od místa poslání dat
- Délka přibližovacího úseku

Všechny tyto hodnoty lze pro různé výpočty měnit a simulovat různé případy. Zasláním aktuální rychlosti dochází vlastně k simulaci aktualizace dat dle informací, které vlak zasílá v tzv. *Position Report*, které se využívají při komunikaci mezi vlakem a RBC.

5.2. Simulační model vyrovnání přibližovací doby

Pro simulaci dat jízdy přibližovacím úsekem jsem vytvořil v programu Matlab v prostředí Simulink model, který dle vstupních dat modeluje předpokládanou jízdu vozidla k přejezdu. U přejezdových zabezpečovacích zařízení je vždy nutné předem znát minimální možnou dobu, za kterou může vlak dojet na přejezd od spuštění výstrahy, aby byl prostor přejezdu vyklizen. Tím je zajištěno, že drážní vozidlo nepřijede k oblasti přejezdu dříve, než proběhnou všechny úkony spojené s výstrahou, jako je měření vyklizovací doby, sklápění břevna přejezdu a další přídatné bezpečnostní doby, které zajišťují že vlak na přejezd nevjede okamžitě po sklopení závor. Tento simulační model bere jako hlavní parametry počáteční rychlost vlaku (*Pocatecni_VI*) a zvolené maximální zrychlení (*Zrychleni_a1*). Počáteční rychlosti následně převed z jednotek km/h na m/s, společně s maximálním zrychlením tyto hodnoty vstupují do integračního bloku. Tento blok pak integruje danou počáteční rychlost zrychlením každou 1 s, čímž simuluje zrychlování vlaku. Integrátor ještě přebírá proměnnou, která nastavuje mezní hodnotu rychlosti, tu uživatel zadá na začátku simulace. Z dané rychlosti se pak za pomoci derivačního bloku získá ujetá dráha vlaku, kdy při každé kalkulaci (dle velikosti vzorkování) dochází k zvětšování ujeté dráhy v závislosti na aktuální rychlosti.



Obrázek 30 – Blok simulace vyrovnání přibližovací doby

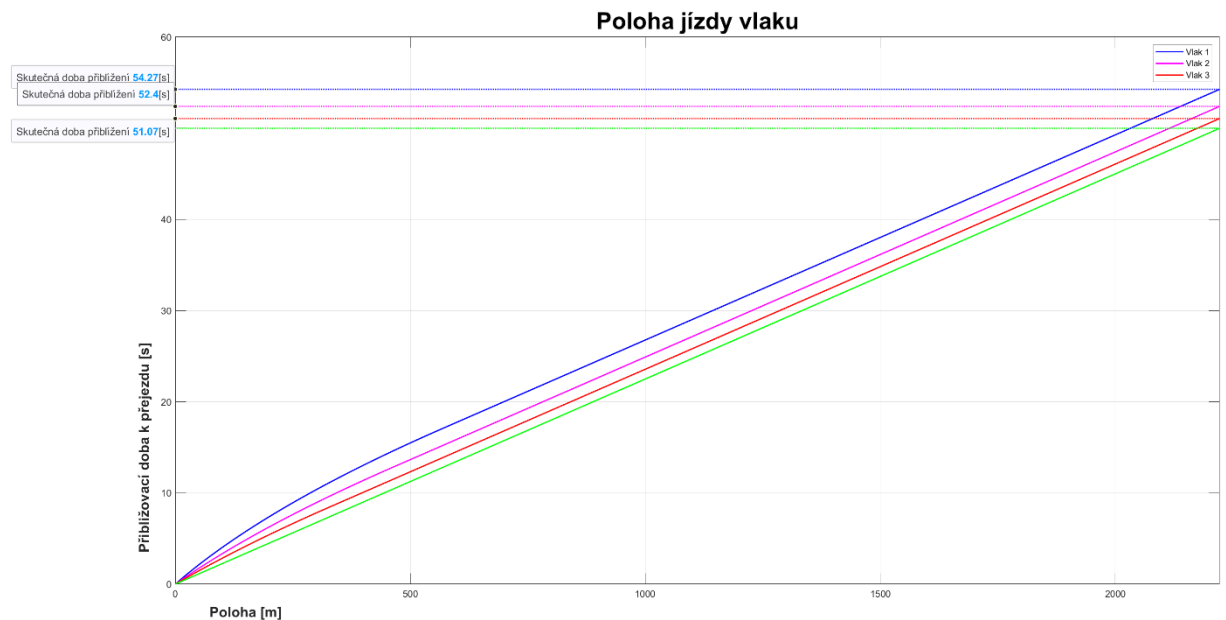
Tento blok tak simuluje jízdu vlaku dle zadaných parametrů, pomocí bloků *out.Zrychlení* a *out.Draha* jsou simulovaná data předána do *workspace* v Matlabu, kde lze pak s danými daty pracovat a provádět jejich vizualizace do grafů, či počítat právě možná odložení výstrahy (což je vidět i v následujících kapitolách). Obrázek celkového simulačního bloku je vidět v příloze č. 2.

Simulační blok jsem využil i v případech rekalkulace odložení výstrahy, kdy dochází k periodickému výpočtu možné doby odložení výstrahy, dle aktuálních zasláných dat z vlaku (viz. 5.2.3). Pro každou rekalkulaci byl samostatný blok, který přebíral informace z *workspace*, kde docházelo k výpočtu parametrů pro pozici následující rekalkulace (v jakém místě se vlak bude nacházet a jakou pojede rychlostí). Celý model využitý při simulování rekalkulací odložení výstrah je vidět v příloze č. 3. Při rekalkulaci odložení výstrahy byly také využity bloky, které počítaly pouze dráhu ze známe konstantní rychlosti vlaku. Vypočtené hodnoty pak byly využity pro vykreslení konstantní referenčních rychlostí jízdy vlaku (jako například konstantní rychlost 80 či jízda maximální traťovou rychlostí 160 km/h). Celková vizualizace dat probíhala za pomoci vytvořených skriptů pro vykreslení grafů, v programu Matlab. Skripty jsou celkem 2, jeden pro vykreslení dat pro základní odložení výstrahy, který vykresluje jízdu vlaku zvoleným přibližovacím úsekem. První skript slouží pro vykreslení základní jízdy vlaku přibližovacím úsekem, což je vidět v kapitolách 5.2.1 a 5.2.2. Uživatel ve skriptu zadá délku přibližovacího úseku a v simulaci pak nastaví požadované rychlosti a zrychlení, které chce simulovat. Po proběhnutí simulace pak stačí spustit skript, a dojde k vykreslení grafu i s naznačenými ukazateli doby jízdy přibližovacím úsekem. Druhý skript je pak složitější, ten slouží pro rekalkulaci dat při odložení výstrahy (viz. 5.2.3). V tomto skriptu uživatel na začátku zadá požadovaná data simulace délku přibližovacího úseku, pozici, při které dojde k zaslání prvních dat pro výpočet (*Position Report*), maximální rychlost, počáteční rychlost, maximální zrychlení a přibližovací dobu přejezdu. Uživatel pak spustí první část skriptu (skript je dělán pomocí tzv. *Live Script*, což umožňuje pouštět jeho

jednotlivé části), která z těchto parametrů vytvoří proměnné. Tyto proměnné jsou pak přebírány simulací. Postup je pak následující: uživatel vždy nechá proběhnout 1 simulaci, pak spustí další část ze skriptu, která vypočítá aktuální dobu jízdy vlaku a z ní patřičné údaje pro další rekalkulaci. Tyto údaje jsou pak použity v simulaci, kdy uživatel opět spustí další simulaci, ale s přidáním dalším blokem (viz. Obrázek 30), ten si vezme údaje o rekalkulaci a začíná simulaci pro tyto data. Další rekalkulace probíhají pak stejně.

5.2.1. Vliv rychlosti na dobu výstrahy

Jako hlavní část výstupů z modelování navrhovaných řešení byla simulace vlivu optimalizace přibližovací doby. Řešení tohoto problému, jak již bylo zmíněno vede na zlepšení propustnosti silničního provozu na železničních přejezdech. Jde o příklad realizace vyrovnání přibližovací doby s využitím systému ETCS, kdy vlak s určitou periodou posílá informace o své aktuální rychlosti, se kterou pak lze pracovat a využít ji právě k optimalizaci přibližovací doby. Tato kapitola se věnuje vyrovnání přibližovací doby ze znalosti rychlosti drážního vozidla v místě začátku přibližovacího úseku přejezdu. Výstupem simulace je zejména porovnání vlivů různých rychlostí přibližujících se drážních vozidel k přejezdu. Ve všech simulovaných případech je uvažována trať s maximální rychlostí 160 km/h, přibližovací doba přejezdu 50 s a z toho vycházející i délka přibližovacího úseku 2222 m.

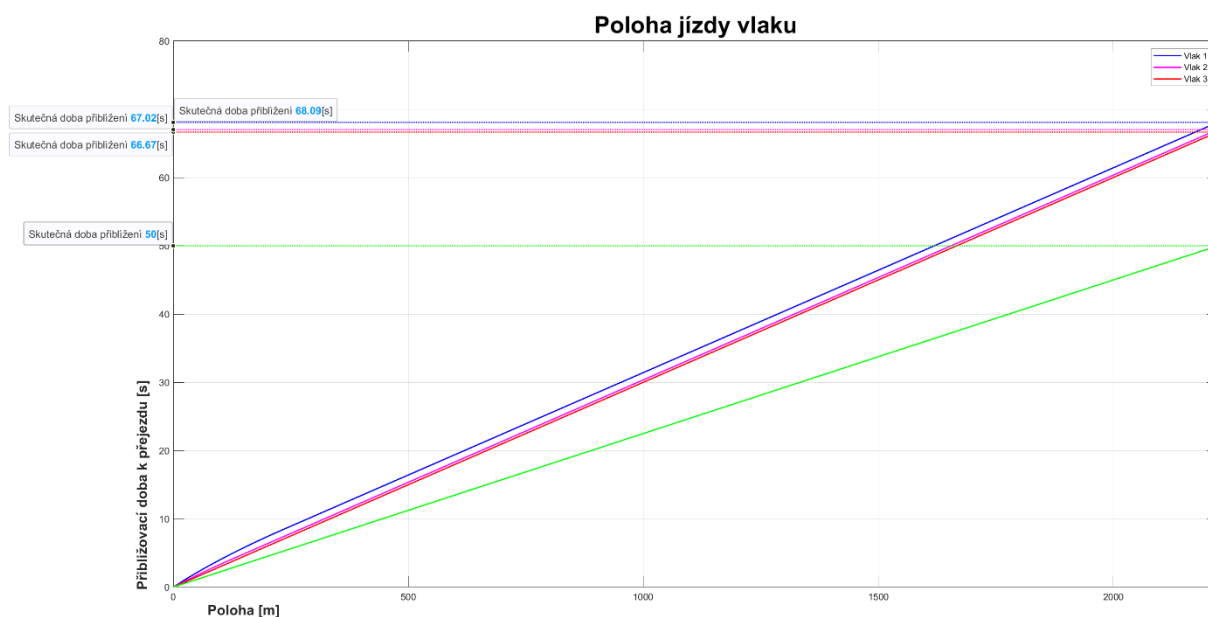


Graf 1 – Simulace odložení výstrahy (zrychlení 1,3 m/s², Vmax = 160 km/h)

Jako první výstup simulace je tento graf ukazující vliv rychlosti vlaku na začátku přibližovacího úseku na skutečnou dobu jízdy tímto přibližovacím úsekem. Na ose X je zobrazena poloha vlaku během jeho jízdy přibližovacím úsekem, kdy poloha 0 m značí začátek přibližovacího úseku a pravá mezní hodnota grafu (2222 m) ukazuje místo, kde se nachází přejezd. Osa Y pak představuje uplynulý čas jízdy vlaku přibližovacím úsekem. Jako referenční křivka je zde simulována jízda vlaku maximální traťovou rychlostí (160 km/h), tyto data jsou v grafu vynesena zelenou barvou. Představují tak simulaci jízdy vlaku maximální možnou konstantní rychlostí během jízdy přibližovacím úsekem. Jde tak o nejkratší možnou dobu, za kterou se vlak k přejezdu může dostat. Další hodnoty již představují simulace jízd vlaků, které na začátku přibližovacího úseku jely nižší rychlostí než maximální traťovou. Simulované hodnoty jsou pro vybrané rychlosti a to 80 km/h, 100 km/h a 120 km/h. Při výpočtu možného odložení spuštění výstrahy přejezdu se vždy však musí počítat s nejkritičtější scénářem, tedy že vlak začne okamžitě po vjetí do přibližovacího úseku zrychlovat na maximální možnou rychlost. Pro tuto simulaci bylo zvoleno zrychlení $1,3 \text{ m/s}^2$, které vychází z normy ČSN EN 34 2650 ed. 2^[1].

Z výsledných simulovaných dat vychází následující poznatky: Vlak jedoucí na začátku přibližovacího úseku rychlostí 80 km/h (modrá křivka) se při zrychlení na maximální rychlost dostal k přejezdu za 54,3 s, což by v případě využití vyrovnání přibližovací doby u tohoto přejezdu vedlo na zkrácení čekání vozidel o 4,3 s. Pro rychlost 100 km/h (fialová křivka) vyšla doba jízdy k přejezdu 52,4 s, a zkrácení čekací doby vozidel na přejezdu o 2,4 s. Poslední uvažovaná rychlost 120 km/h (červená křivka) představuje možnost zkrácení čekací doby vozidel na přejezdu o 1,1 s.

Z těchto výsledků je vidět že i při jízdě poloviční rychlostí oproti maximální traťové na začátku přibližovacího úseku s využitím optimalizace přibližovací doby se ušetří pouze nízké jednotky sekund. Sice i to má vliv na propustnost přejezdu pro silniční vozidla, ale ne nijak zásadní. Mnohem zajímavější z hlediska optimalizace přibližovací doby je tak například stav, kdy se daným přibližovacím úsekem přejezdu pohybuje drážní vozidlo, které má nižší maximální konstrukční rychlost, než je uvažovaná maximální traťová rychlost. Výsledky simulací pro omezenou konstrukční rychlost oproti traťové lze vidět na následujícím grafu.

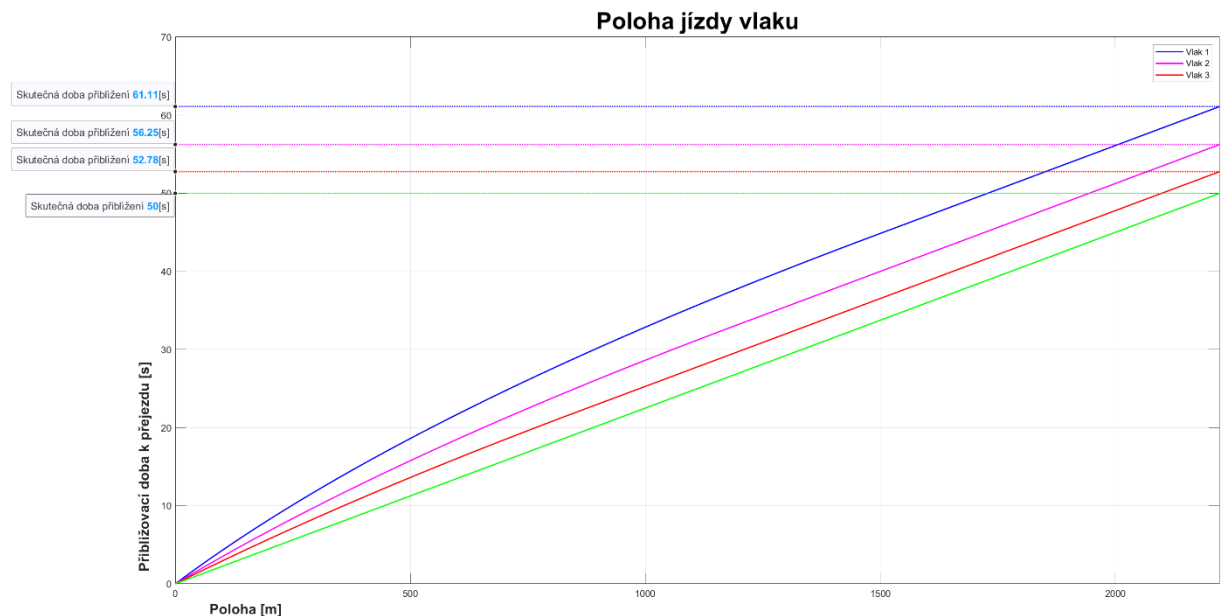


Graf 2 – Simulace odložení výstrahy (zrychlení $1,3 \text{ m/s}^2$, $V_{\text{max}} = 120 \text{ km/h}$)

Tento graf je výsledek simulace se stejnými vstupními parametry jako pro graf předchozí, je zde pouze omezena konstrukční rychlost vozidla na 120 km/h. V grafu je ponechána referenční křivka (zelená) pro nejkratší přibližovací dobu danou z maximální traťové rychlosti 160 km/h. Obdobně jako v předchozím případě zde dochází k simulaci nejkratší doby jízdy vozidla k přejezdu, tudíž se předpokládá že vozidlo začne po vjezdu do přibližovacího úseku okamžitě zrychlovat na jeho maximální možnou rychlost, která je v tomto případě daná konstrukční rychlostí. Z výsledků simulace vychází, že vliv rozdílné rychlosti na začátku přibližovacího úseku pro jednotlivé vstupy není tak zásadní. Je to zejména z důvodu, že rozdíl doby zrychlení je minimální, jelikož vlak zrychluje pouze na rychlost 120 km/h. Nicméně je z výsledků simulace vidět, že z důvodu omezení maximální rychlosti vozidla jeho konstrukčními vlastnostmi zde dochází ke značnějšímu prodloužení doby jízdy vlaku přibližovacím úsekem. Ze simulovaných dat vychází, že pro rychlost 120 km/h (červená křivka) se dá doba spuštění výstrahy odložit o 16,7 s, v případě úvodní rychlosti 100 km/h (fialová křivka) je možná doba odložení 17 s a pro rychlost 80 km/h (modrá křivka) pak 18,1 s. Z pohledu vyrovnání přibližovací doby se tak ušetří značná doba čekání silničních vozidel na přejezdu a dojde tak ke zvýšení jeho silniční dopravní propustnosti.

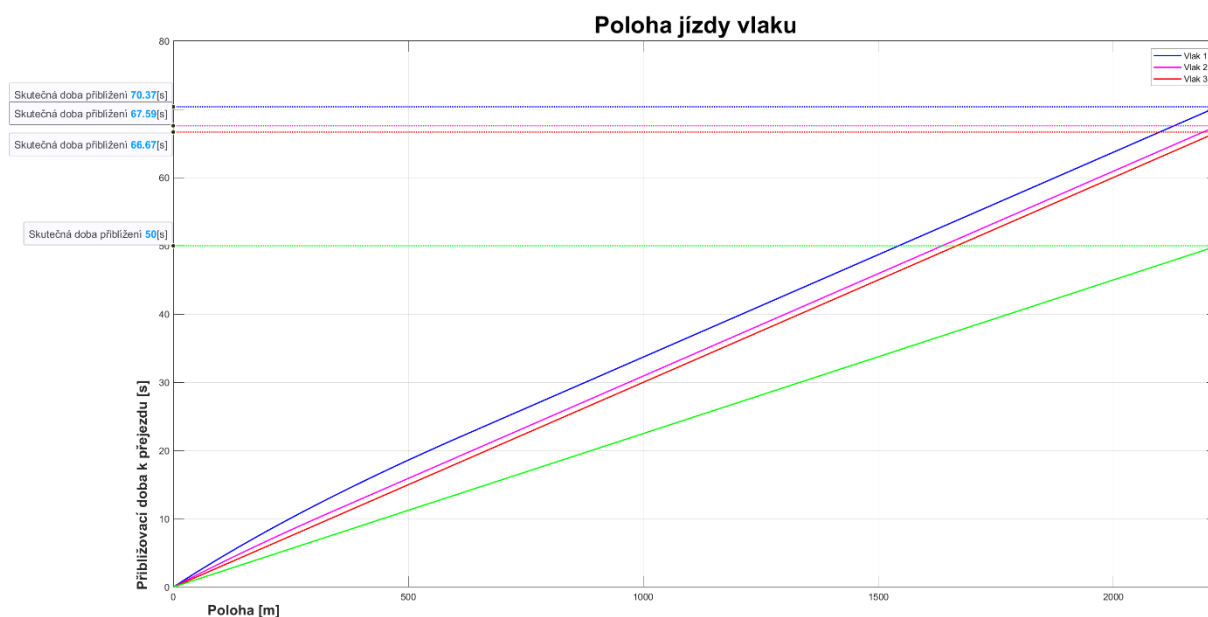
5.2.2. Vliv uvažovaného zrychlení vlaku na délku odložení výstrahy

Z hlediska výsledků simulovaných dat bylo také zajímavé sledovat vliv zvoleného maximálního zrychlení vlaku, uvažovaného v simulacích. Původně uvažované zrychlení $1,3 \text{ m/s}^2$ je spíše mezní hodnota, reálné hodnoty zrychlení jsou spíše nižší. A to jak u osobních vlaků, kde je tato hodnota omezena zejména pohodlím cestujících a u nákladní dopravy, kde je tato hodnota omezena parametry daného vlaku. U nákladních vlaků se dá pracovat dokonce s hodnotami zrychlení $0,3 - 0,5 \text{ m/s}^2$ [11]. Pro následující simulace byla tak zvolena hodnota zrychlení $0,5 \text{ m/s}^2$, zbylé hodnoty zůstaly stejné.



Graf 3 – Simulace odložení výstrahy (zrychlení $0,5 \text{ m/s}^2$, $V_{\max} = 160 \text{ km/h}$)

Tato data ze simulace ukazují průběh jízdy opět pro rychlosti 80, 100 a 120 km/h (modrá, červená, fialová) při maximální rychlosti 160 km/h, tentokrát ale s maximálním uvažovaným zrychlením $0,5 \text{ m/s}^2$. Je vidět že pro rychlost 120 km/h má uvažované zrychlení jen malý vliv a možná doba odložení výstrahy je pouze 2,8 s, oproti původní hodnotě 1,1 s. Pro nižší rychlosti je už vliv kalkulace s nižším zrychlením výraznější, při rychlosti 100 km/h se z původního odložení výstrahy 2,4 s dostaneme na hodnotu 6,3 s a při rychlosti 80 km/h dokonce na 11,1 s z původních 4,3 s. Toto již nejsou zanedbatelné hodnoty, zde již bude vliv na propustnost železničního přejezdu citelnější. V další části jsem simuloval i data při uvažovaném sníženém zrychlení opět na hodnotu $0,5 \text{ m/s}^2$ a pro omezenou konstrukční rychlost 120 km/h.



Graf 4 – Simulace odložení výstrahy (zrychlení $0,5 \text{ m/s}^2$, $V_{\text{max}} = 120 \text{ km/h}$)

Ze simulovaných dat je opět vidět různé délky přibližovací doby pro rychlosti 80, 100 a 120 km/h s uvažovanou maximální rychlostí 120 km/h (z konstrukčních důvodů vlaku) a se sníženou hodnotou zrychlení $0,5 \text{ m/s}^2$. Je vidět že v tomto případě uvažované snížené zrychlení nemá takový vliv na celkové výsledky, a to zejména z důvodu omezené možnosti zrychlení na rychlost pouze 120 km/h. Výpočet možnosti odložení výstrahy opět vychází z přibližovací doby 50 s, která je stanovena pro maximální traťovou rychlost 160 km/h. Data vyšla následovně, oproti výsledkům ze simulací pro zrychlení $1,3 \text{ m/s}^2$ je zde nárůst možnosti odložení výstrahy pro rychlost 100 km/h ze 16,7 s na 17,6 s a pro rychlost 80 km/h pak z 18,1 s na 20,4 s. U rychlosti 120 km/h pak nemá uvažovaná hodnota zrychlení žádný vliv z důvodu, že se vlak pohybuje již jeho maximální možnou rychlostí a dále tak nezrychluje.

V současné době však není v žádných specifikacích pro systém ETCS, který přenáší aktuální hodnoty parametrů z jízdy vlaku, specifikován datový přenos maximálního možného zrychlení vlaku. Jde tedy spíše o simulaci vlivu znalosti této hodnoty a vyhodnocení těchto dat pro případné rozhodování pro případnou implementaci/rozšíření přenášených zpráv mezi mobilní a traťovou částí systému ETCS. Celkově je tento problém složitější, jelikož maximální hodnotu zrychlení není tak jednoduché určit a je závislá na více parametrech.

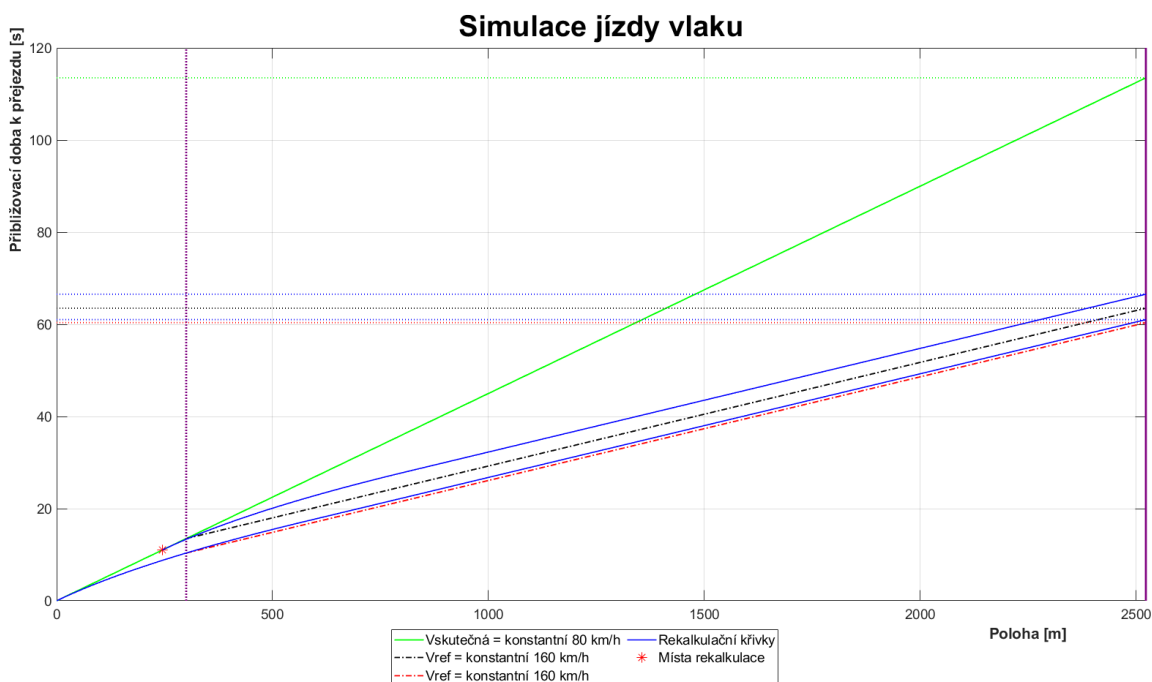
5.2.3. Vliv rekalkulace odložení výstrahy dle průběžně aktualizovaných dat zaslaných z vlaku

Jednou z nevýhod řešení z kapitoly 5.2.2 je případ, kdy vlak blížící se k přejezdu jede nižší rychlostí než maximální možnou, ať už se jedná o konstrukční či traťovou (dle toho, která je více omezující) a vlak dále nezrychluje. Návrh realizace odložení výstrahy totiž musí počítat s nejkritičtějším scénářem neboli počítat nejkratší možnou dobu, za kterou se vlak dostane k přejezdu. Tato doba vychází z předpokladu jízdy vlaku maximální rychlostí nebo zrychlením na maximální rychlost. Jenže právě vlak, který by jel konstantní rychlostí nižší než maximální možnou, snižuje účinnost návrhu vyrovnání přibližovací doby. Pro tento problém by tak bylo vhodné, aby docházelo k periodickému aktualizování informací posílaných z vlaku, respektive, aby docházelo k rekalkulaci možné doby odložení v závislosti na těchto aktualizovaných datech. Celkově však tento problém není 100 % řešitelný, jelikož i přesto že vlak jede konstantní rychlostí (nižší než maximální možnou) musí systém počítat s variantou, že vlak může kdykoliv začít zrychlovat a dle toho i stanovovat vypočtenou dobu jízdy k přejezdu. Tato realizace ve výsledku zlepšuje přesnost optimalizace přibližovací doby přejezdu, pomocí rekalkulací.

Mezi důvody jízdy vlaku nižší rychlostí, než maximální možnou rychlostí mohou být různé. Zajímavé je se však podívat na jeden z možných důvodů, kterým by v budoucnu mohl být například systém ATO (= automatic train operation – automatické řízení vlaku). Jde o v budoucnu plánovaně zaváděný systém automatického řízení, v rámci koncepce ATO over ETCS. „Ten vznikl roku 2012 v rámci Union Industry of Signalling – Sdružení průmyslu (železničního) zabezpečovacího zařízení (UNISIG)“^[12]. Tento systém bude optimalizovat jízdu vlak tím, že bude průběžně kalkulovat optimální rychlostní profil vlaku na základě dostupných informací o infrastruktuře, trati a jízdních řádech a na základě nich ovládat tah či brzdné systémy vlaku^[13]. Systém tak může vytvářet případy, kdy vlak jede nižší rychlostí, než je reálně možná z důvodu optimalizace jízdy daného vlaku. Například pomalejší jízdu, respektive jízdu výběhem z důvodu úspory elektrické energie. Nižší rychlost, než maximální možná pak vede na zmíněné problémy s vyrovnáním přibližovací doby přejezdů. Pokud by tak případný generovaný rychlostní profil systémem ATO over ETCS byl k dispozici systému pro vyrovnání přibližovací doby, mohlo by dojít k lepší kalkulaci díky znalosti maximální rychlosti, kterou vlak pojede. Samozřejmě by pak muselo být zajištěno, že nedojde k překročení daného generovaného rychlostního profilu. To by znamenalo nutnost, aby tato „doporučená“ křivka pro optimální jízdu byla předána do mobilní části systému ETCS na

lokomotivě a došlo by tak k dohledu jízdy dle této křivky. To je z důvodu, aby se nestalo, že vlak tuto křivku překročí, jelikož by pak tato křivka nemohla být bezpečně využita při rekalkulaci odložení spuštění výstrahy.

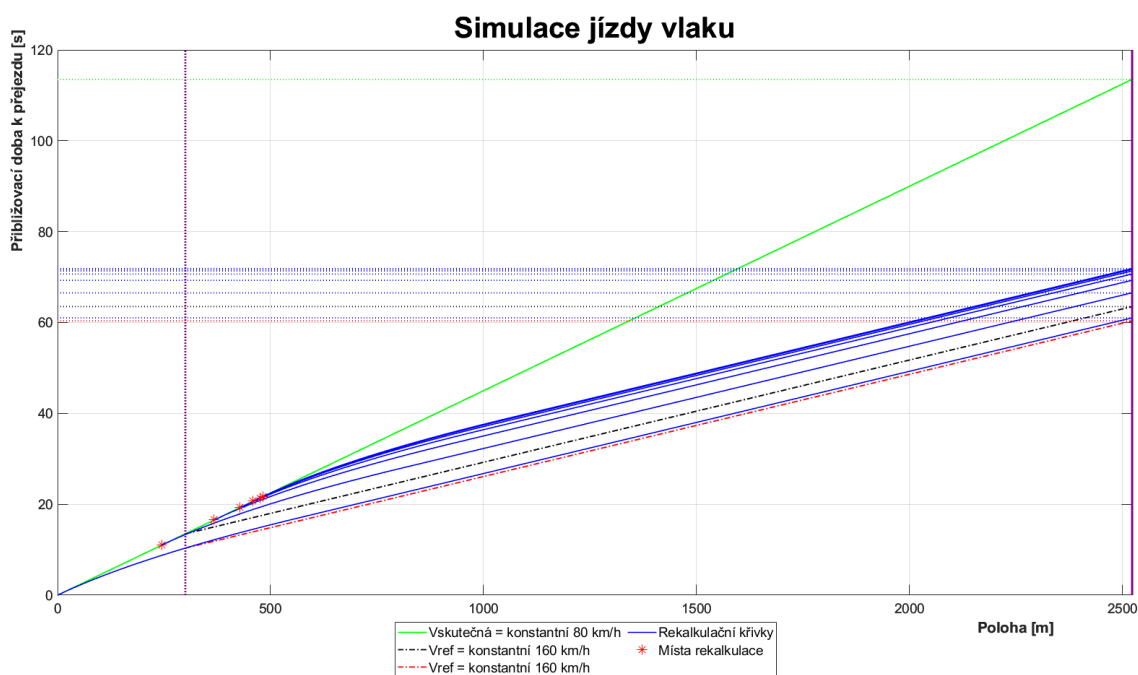
Pro problém jízdy nižší rychlostí než maximální možnou, jsem vytvořil simulační model, který simuluje rekalkulaci možného odložení výstrahy dle zasláných aktualizovaných dat z vlaku. Jako vzorový příklad jsem zvolil případ, kdy vlak jede konstantní rychlostí 80 km/h v traťovém úseku s maximální traťovou rychlostí 160 km/h. Přibližovací dobu přejezdu jsem zvolil 50 s a uvažované zrychlení vlaku jsem v tomto případě použil hodnotu $1,3 \text{ m/s}^2$ vycházející z normy ČSN EN 34 2650 ed. 2^[1]. Pro danou traťovou rychlost a přibližovací dobu přejezdu pak vychází délka přibližovacího úseku, jak je již výše uvedeno, 2222,22 m. Všechny tyto parametry tak jsou brány jako hlavní vstupy simulace. Simulace pak spočívá v modelování posílání dat o aktuální pozici a rychlosti jízdy vlaku, jako dochází k posílání v rámci ETCS při komunikaci mezi RBC a vlakovou částí ETCS. Tyto data pak vstupují do modelu, který z nich počítá nejkratší možnou dobu jízdy vlaku k přejezdu. Výpočet tak musí brát v úvahu zrychlení vlaku na maximální dovolenou rychlost. To však vede na nadměrnou délku výstrahy, jelikož se v této simulaci uvažuje jízda vlaku konstantní rychlostí 80 km/h, pro kterou vychází doba jízdy přibližovacím úsekem 100 s. První data, která jsou použita ke kalkulaci odložení výstrahy, vlak pošle 300 m před začátkem přibližovacího úseku. Jde o danou rychlost 80 km/h a pozici vlaku (300 m před začátkem přibližovacího úseku). Z těchto dat model spočítá, že nejkratší doba, za kterou se vlak dostane k přejezdu po vjezdu do přibližovacího úseku bude 50,6633 s. Odečtením přibližovací doby 50 s vyjde tak možné odložení výstrahy o 0,6633 s pro zasláná data z vlaku. V mezním čase (po vypršení doby odložení), kdy by mělo dojít k spuštění výstrahy dojde k zaslání nových aktuálních dat z vlaku, opět pro danou konstantní rychlost 80 km/h a aktuální pozici daného vlaku. Z těchto dat se provede rekalkulace nejkratší doby, za kterou se vlak dostane k přejezdu po vjezdu do přibližovacího úseku. V tomto případě model spočítá dobu jízdy přibližovacím úsekem na 55,5118 s neboli možnost odložení výstrahy o dalších 5,5118 s. Po uplynutí této doby dojde opět k zaslání aktuálních dat a rekalkulaci doby příjezdu na přejezd. Rekalkulace se tak může provádět do doby, než bude možné odložení výstrahy rovno nule, v tom případě už musí dojít ke spuštění výstrahy na přejezdu. Toto je krátký popis principu činnosti rekalkulace, popsána data jsou zobrazena na grafu v následujícím obrázku.



Graf 5 – Ukázka simulace principu rekalkulace při odkládání výstrahy

Všechny simulované grafy pro rekalkulaci odložení výstrahy mají shodnou grafickou vizualizaci. Na ose X je vynesena poloha v metrech a svislá osa je časová udávaná v sekundách. Svislá fialová tečkovaná čára představuje pozici spouštěcích prvků výstrahy daného přejezdu (začátek přibližovacího úseku) a pozice přejezdu je reprezentována fialovou svislou plnou čarou, která je na kraji v pravé části grafu. Délka mezi těmito svislými čarami je 2222 m a vychází ze stanovené přibližovací doby přejezdu 50 s a traťové rychlosti 160 km/h. Simulace začíná v levém dolním rohu, poloha i čas je 0. Jde o místo, kde dochází k zaslání prvního *Position Report* s aktuálními daty o rychlosti a pozici vlaku. Z těchto parametrů jsou pak dále simulovaná data. Světle zelená křivka představuje simulovanou jízdu daného vlaku, který jede po celou dobu konstantní rychlostí 80 km/h (*Vskutečná*). Černá čerchovaná čára představuje referenční křivku (*Vref*) k dané konstantní rychlosti, pro jízdu vlaku maximální možnou rychlostí 160 km/h v celém přibližovacím úseku. Princip rekalkulace probíhá následovně. První je stanovena modrá křivka, tedy křivka simulace nejkratší doby jízdy vlaku k přejezdu, která začíná v bodě [0, 0], kdy vlak pošle první data v rámci *Position Report*. Z této simulace je určena nejkratší doba jízdy k přejezdu, která vychází z předpokladu, že vlak začne zrychlovat na maximální povolenou rychlost 160 km/h. V místě, kde tato simulovaná křivka protne spouštěcí místo výstrahy je vložena ještě druhá referenční křivka (červená čerchovaná, *Vref*) pro jízdu vlaku maximální možnou rychlostí 160 km/h v celém přibližovacím úseku (přibližovací doba je 50 s). Pro simulovanou křivku vyšla nejkratší doba

jízdy přibližovacím úsekem 50,6633 s, což umožňuje odložení výstrahy o 0,6633 s. V tu chvíli, kdy dle simulované modré křivky by mělo dojít ke spuštění výstrahy (0,6633 s po tom co vlak vjede do přibližovacího úseku) dojde k 1. rekalkulaci odložení výstrahy (naznačeno červenou hvězdičkou). Vlak v tomto bodě zašle aktuální data o své rychlosti a aktuální poloze (je počítáno se zjednodušeným případem za účelem přehlednosti metody, kdy reálná zpoždění přenosu a zpracování informací nejsou uvažována). Z těchto dat dojde k simulaci a vykreslení 2. modré křivky, která představuje jízdu vlaku dle nových aktuálních dat a začíná v pozici zelené křivky, protože ta ukazuje, jak vlak reálně jede (konstantní rychlostí 80 km/h). Opět pro tuto simulaci dojde ke stanovení nejkratšího času jízdy vlaku z daného místa a spočítá se případné možné odložení výstrahy. Po odměření tohoto odložení výstrahy může dojít k další rekalkulaci z dat zaslaných v dalším *Position Report*. Tímto způsobem může pokračovat rekalkulace až do doby, kdy se možné odložení výstrahy blíží nule, viz graf na následujícím obrázku.



Graf 6 – Simulace rekalkulace odložení výstrahy ($V_{konst.} = 80 \text{ km/h}$, $V_{max} = 160 \text{ km/h}$)

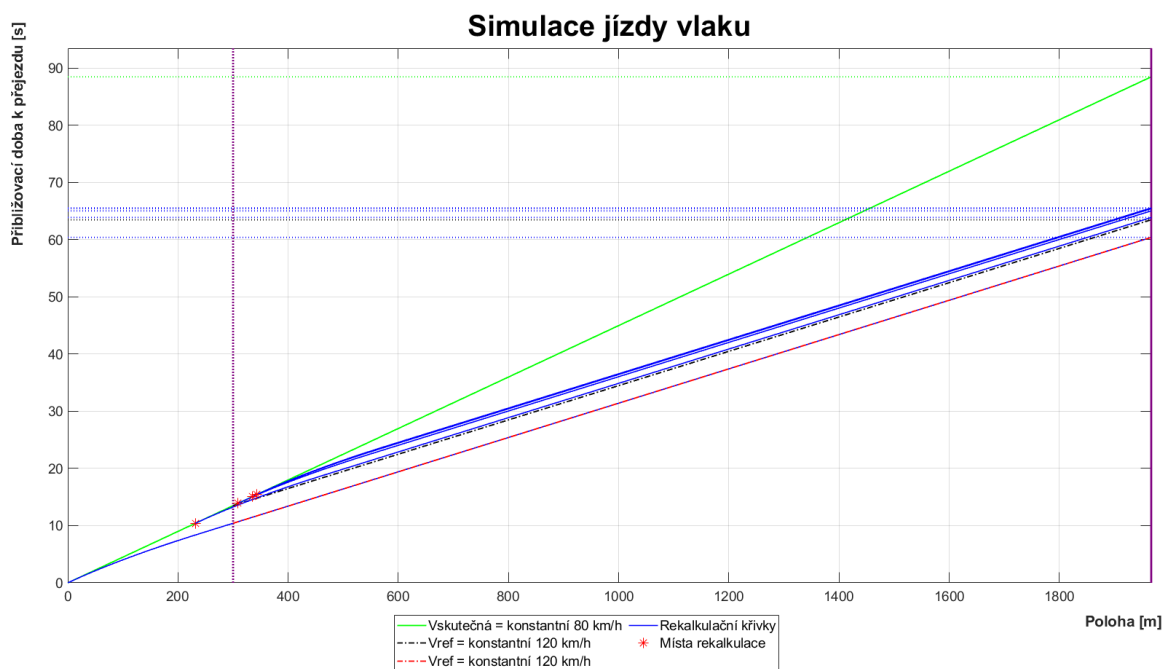
Tento graf ukazuje již finální výsledky pro rekalkulace odložení výstrahy pro zvolené parametry. Celkem bylo provedeno 6. rekalkulací, z dat v následující tabulce je vidět, že každé následné možné odložení výstrahy je o $\frac{1}{2}$ menší jak to předchodí. Rekalkulace dat by tak teoreticky šla do nekonečna, kde by se možné odložení limitně blížilo k nule. V tomto případě jsem jako poslední rekalkulační čas uvažoval hodnotu 0,17 s. Ze simulací vyšlo že

díky rekalkulaci by v tomto případě mohlo dojít k celkovému odložení výstrahy o přibližně 9,2 s, čímž by došlo ke zkrácení čekání na přejezdu. Všechny výsledky simulací možných odložení výstrahy jsou vidět v následující tabulce.

Tabulka 1 – Data simulace rekalkulace odložení výstrahy pro $V_{konst.} = 80 \text{ km/h}$, $V_{max} = 160 \text{ km/h}$

	Doba jízdy [s]	Odložení [s]
Přibližovací doba	50	
Doba jízdy při zrychlení	50,6633	0,6633
Doba jízdy po 1. rekalkulaci	53,1928	3,1928
Doba jízdy po 2. rekalkulaci	52,7559	2,7559
Doba jízdy po 3. rekalkulaci	51,3779	1,3779
Doba jízdy po 4. rekalkulaci	50,689	0,689
Doba jízdy po 5. rekalkulaci	50,3445	0,3445
Doba jízdy po 6. rekalkulaci	50,1722	0,1722
Výsledné možné odložení výstrahy		9,1956

Jako další simulaci zde uvádím případ jízdy vlaku stejnou konstantní rychlostí 80 km/h, ale na trati s maximální možnou rychlostí pouze 120 km/h. Z této rychlosti vychází délka přibližovacího úseku 1666,66 m, což byl další vstupní parametr simulace. Všechny výsledky simulace rekalkulací jsou vidět na následujícím obrázku a jsou shrnuty v následné tabulce.



Graf 7 – Simulace rekalkulace odložení výstrahy ($V_{konst.} = 80 \text{ km/h}$, $V_{max} = 120 \text{ km/h}$)

Tabulka 2 – Data simulace rekalkulace odložení výstrahy pro $V_{konst.} = 80 \text{ km/h}$, $V_{max} = 120 \text{ km/h}$

	Doba jízdy [s]	Odložení [s]
Přibližovací doba	50	
Doba jízdy při zrychlení	50	0
Doba jízdy po 1. rekalkulaci	50,6354	0,6354
Doba jízdy po 2. rekalkulaci	51,1583	1,1583
Doba jízdy po 3. rekalkulaci	50,3861	0,3861
Doba jízdy po 4. rekalkulaci	50,1287	0,1287
Výsledné možné odložení výstrahy		2,3085

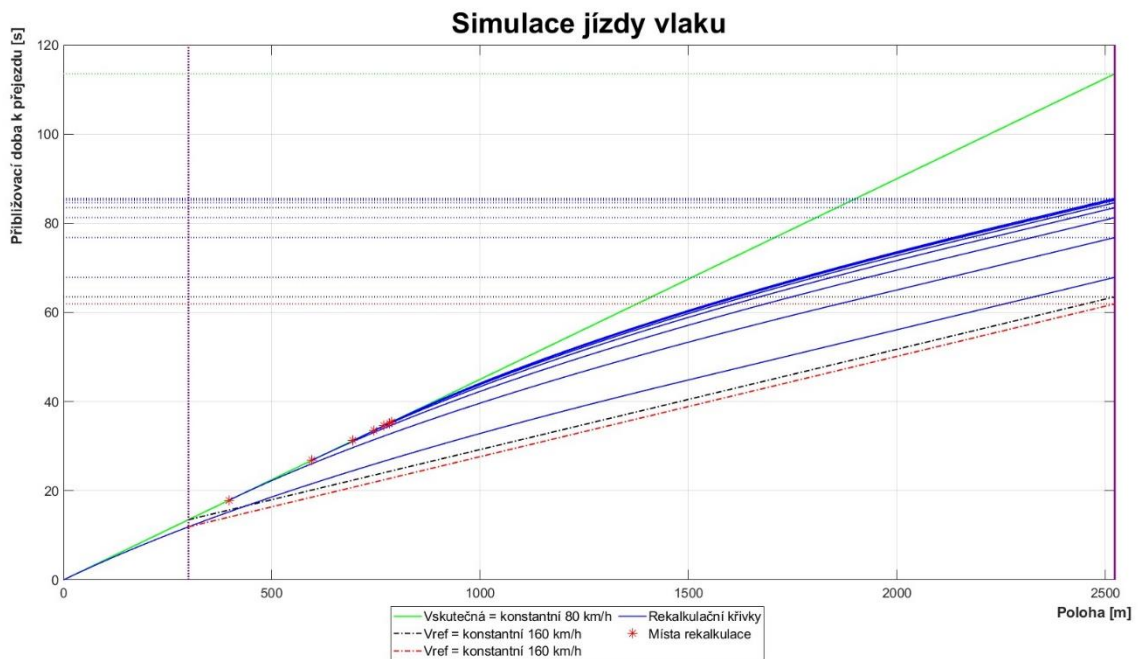
Ze simulace vyšly následující poznatky. Vlivem snížené maximální traťové rychlosti dojde k razantnímu snížení maximálního odložení výstrahy, pouze 2,3 s oproti původním 9,2 s. Snížená rychlost způsobí i to že u první simulace jízdy při zrychlení (první modrá křivka) dojde ke zrychlení na maximální traťovou rychlost ještě před vjezdem do přibližovacího úseku. To způsobí že pro tuto simulaci jízdy je možné odložení 0 s, což dokazuje i obrázek, kdy se tato simulace překrývá s křivkou pro jízdu maximální rychlostí (červená čerchovaná). První rekalkulace pak z toho důvodu vychází přímo v místě začátku přibližovacího úseku přejezdu.

5.2.4. Vliv uvažovaného zrychlení vlaku na délku odložení výstrahy při využití rekalkulace

Stejně jako pro klasické stanovení odložení výstrahy bude mít uvažované maximální zrychlení vlaku vliv na celkové možné odložení výstrahy při využití rekalkulací. V přechozích simulacích bylo uvažováno zrychlení $1,3 \text{ m/s}^2$, které stanovuje norma ČSN EN 34 2650 ed. 2^[1], reálně však zrychlení dosahuje mnohem nižších hodnot, ať už z důvodu pohodlí cestujících, tak technických možností daného vlaku. Pro nasimulování výsledků jsem použil stejné vstupní parametry jako při simulaci první rekalkulace pouze se změnou zrychlení.

- Traťová rychlost 160 km/h
- Konstantní rychlost vlaku 80 km/h
- Přibližovací doba přejezdu 50 s
- Délka přibližovacího úseku 2222 m
- Pozice zaslání prvního uvažovaného *Position Report* 300 m
- Uvažované zrychlení **0,5 m/s²**

Tyto parametry jsem tak zadal jako vstup do simulace. Výsledná data jsou vidět na následujícím obrázku a číselně jsou pak shrnuta v následné tabulce.



Graf 8 – Simulace vlivu uvažovaného zrychlení při využití rekalkulace

Graf simulace se drží stejných grafických vlastností jako předchozí obrázky. Zelená je skutečná jízda vlaku rychlostí 80 km/h, černá a červená čerchovaná čára jsou referenční křivky pro rychlost 160 km/h. Modře jsou pak již vyneseny rekalkulační simulace jízdy vlaku, kdy červenou hvězdičkou je naznačeno místo rekalkulace odložení výstražky.

Tabulka 3 – Data simulace rekalkulace odložení výstražky pro $V_{konst.} = 80 \text{ km/h}$, $V_{max} = 160 \text{ km/h}$ a zrychlení $0,5 \text{ m/s}^2$

	Doba jízdy [s]	Odložení [s]
Přibližovací doba	50	
Doba jízdy při zrychlení	55,9557	5,9557
Doba jízdy po 1. rekalkulaci	58,9306	8,9306
Doba jízdy po 2. rekalkulaci	54,4653	4,4653
Doba jízdy po 3. rekalkulaci	52,2326	2,2326
Doba jízdy po 4. rekalkulaci	51,1163	1,1163
Doba jízdy po 5. rekalkulaci	50,5582	0,5582
Doba jízdy po 6. rekalkulaci	50,2791	0,2791
Doba jízdy po 7. rekalkulaci	50,1395	0,1395
Výsledné možné odložení výstražky		23,6773

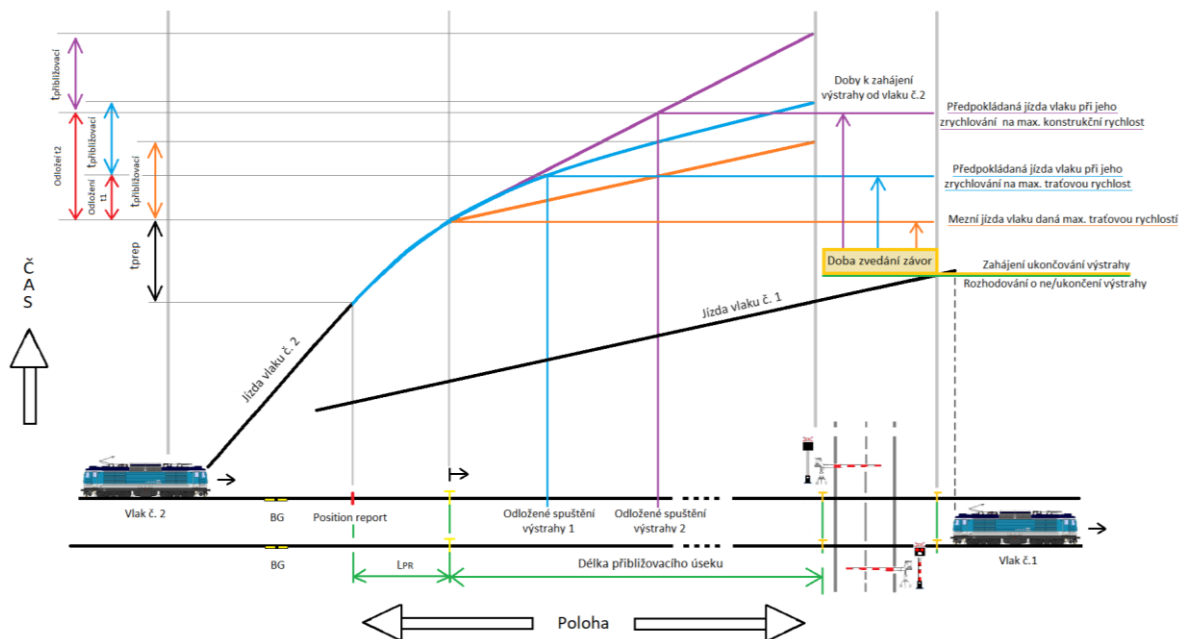
Z dat simulací vyšly následující poznatky. Jedním z hlavních výsledků je zvýšení možného odložení spuštění výstražky z původních 9,1956 s při uvažování zrychlení $1,3 \text{ m/s}^2$

na dobu dokonce 23,6773 s pro uvažované zrychlení $0,5 \text{ m/s}^2$. To představuje možnost navýšení odložení výstrahy o 14,4817 s, což je více jak dva a půl násobek původní hodnoty. Z těchto dat tak vychází, že volba uvažovaného zrychlení má značný vliv na velikost celkového možného odložení. Znalost tohoto parametru při výpočtech odložení výstrahy, by tak vedla na výraznější možnost optimalizace vyrovnání přibližovací doby přejezdů.

Z dat je vidět, že vliv uvažovaného zrychlení při výpočtech je celkem značný. V současné době však není přenos možného maximálního zrychlení nijak realizovaný. V budoucnu při specifikacích novějších verzí systému ETCS by bylo zajímavé se na tuto problematiku zaměřit. Z hlediska osobních vlaků by řešení bylo jednodušší, kde by se dalo vycházet z hodnoty maximálního zrychlení uvažovaného pro pohodlí cestujících, u nákladních vlaků by se však maximální hodnota zrychlení již určovala složitěji.

5.3. Vztah znalosti pozice vlaku v rámci optimalizace přibližovací doby na zajištění minimální doby bez výstrahy

Základním problémem zajištění minimální doby bez výstrahy na přejezdu, byla znalost doby, za kterou následný vlak opětovně spustí výstrahu přejezdu. Na základě této informace pak rozhodnout, má-li cenu ukončovat výstrahu od prvního vlaku, aby byla zajištěna minimální doba bez výstrahy na přejezdu před příjezdem druhého vlaku. Jinými slovy, aby se nestalo že se během ukončování výstrahy či krátce po ukončení výstrahy spustí výstraha nová, z důvodu jízdy následného vlaku. V rámci realizace systémového návrhu pro vyrovnání přibližovací doby však dochází k zasílání aktuálních informací o vlaku blížícím se k přejezdu. Tyto informace tak poskytují vhodný základ pro stanovení doby, za kterou tento následný vlak spustí výstrahu. Jako modelový příklad lze uvést následující: vlak pošle aktuální informace o vlastní rychlosti a pozici na trati (*Position Report*). Systém zná parametry trati, jako maximální traťová rychlost a vzdálenost pozice vlaku ve vztahu k začátku přibližovacího úseku. Z těchto informací tak může stanovit čas, za který by mělo dojít ke spuštění výstrahy, což vychází z mechanismu navrhovaného v kapitole 4.2.1, kdy dochází ke kalkulaci doby, za kterou dojde ke spuštění výstrahy, respektive odložení spuštění této výstrahy. Tato informace se pak využije v případě, že by mělo dojít k ukončení výstrahy na přejezdu. Systém zkontroluje dobu jízdy pro všechny možné vlaky blížící se k přejezdu a vyhodnotí, zdali bude zajištěna minimální doba bez výstrahy na přejezdu. Dle toho pak rozhodne o ukončení či neukončení výstrahy. Tento princip je vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 31 – Vliv znalosti pozice vlaku na ukončování výstrahy

Jde o obrázek vycházející z kapitoly 4.2.1, tedy principu spuštění výstrahy založeném na vyrovnání přibližovací doby. Tento systém pracuje na základě informace o tom, za jakou nejkratší dobu se vlak z daného místa dostane do oblasti přejezdu a pro tuto dobu pak stanovuje kdy má dojít ke spuštění výstrahy, respektive o kolik se má odložit její spuštění. Díky znalostem těchto informací může být tak rozhodnuto o ukončení či neukončení výstrahy od vlaku č.1 vztahené k době jízdy vlaku č.2 do spuštění následné výstrahy. V obrázku právě vlak č.1 opustil oblast přejezdu a vjel do vzdalovacího úseku. V tom okamžiku musí systém vyhodnotit, zdali ukončit či neukončit výstrahu ve vztahu k minimální době bez výstrahy a informacích o následném vlaku č.2. Systém tak porovná dobu, za kterou by mělo dojít ke spuštění výstrahy následným vlakem s minimální dobou bez výstrahy. Doby, za které dojde ke spuštění následné výstrahy jsou vyneseny v pravé části obrázku a v tomto případě popisují 3 vybrané možnosti, které mohou nastat ve vztahu k jízdě vlaku č. 2.

1. Vlak jede maximální traťovou rychlostí (oranžová)
2. Vlak zrychluje na maximální traťovou rychlost (modrá)
3. Vlak zrychluje na maximální konstrukční rychlost (fialová)

Systém bude vždy znát aktuální minimální dobu, za kterou dojde ke spuštění výstrahy následným vlakem (jedna z variant 1. – 3. dle toho, která bude nejkratší). Porovnáním doby

bez výstrahy s dobou ke spuštění výstrahy následným vlakem pak určí, má-li cenu výstrahu ukončit, bude-li zaručena minimální doba bez výstrahy na přejezdu či ne.

Je zde však několik problémů, které celý princip komplikují. Prvním je samotný výpočet doby jízdy vlaku z jeho aktuální pozice k místu, kde by mělo dojít ke spuštění výstrahy. Systém vždy musí počítat s nejkratší možnou dobou jízdy vlaku z jeho aktuální pozice, tedy počítat s tím, že vlak jede maximální možnou traťovou rychlostí (respektive konstrukční), či na ní od okamžiku posledního *Position report* zrychluje. To je z důvodu, aby bylo zajištěno že vlivem zrychlení vlaku po odeslání posledních informací se nestane, že vlak přijede k přejezdu dříve než dle dat, která poslal v posledním *Position Report*. Vlak však může po odeslání dat pokračovat dále svou rychlostí a nezrychlovat, to bude mít za následek rozdílnou dobu příjezdu k místu spuštění výstrahy dle dat vypočítaných systémem. Další varianta je ještě horší z pohledu realizace zajištění minimální doby bez výstrahy, a to že vlak po odeslání *Position Report* začne zpomalovat. To způsobí ještě značnější rozdíl systémem vypočtené doby pro odložení a následné spuštění výstrahy. Pro maximálně možnou eliminaci tohoto problému je tak vhodné, stejně jako u vyrovnání přibližovací doby, aby se data od vlaku posílal s určitou periodou a docházelo k rekalkulaci doby příjezdu k zapínacímu prvku výstrahy, pro minimalizaci rozdílu aktuální doby ke spuštění výstrahy a reálné doby, kdy dojde ke spuštění výstrahy. Tím bude zajištěno, že při rozhodování o ukončení či neukončení výstrahy bude systém vycházet z aktuálních dat o blížícím se vlaku.

Druhým problémem je pak situace, kdy by mělo dojít k ukončení výstrahy na přejezdu a následný vlak blížící se k přejezdu by ještě neobdržel MA povolení na oblast přejezdu. V tuto chvíli by ho systém neměl brát jako rozhodný pro ukončení či neukončení výstrahy na přejezdu, protože se může stát že vlak ani do oblasti rozhodné pro spuštění výstrahy vjet nemusí. Toto pak vede na další analýzy v oblastí včasného udělení MA na oblast přejezdu ve vztahu k zajištění minimální doby bez výstrahy. Toto „včasné“ udělení MA na oblast přejezdu se bude odvíjet od doby jízdy vlaku z jeho aktuální pozice po místo ovlivnění spuštění výstrahy. Je to tak čas před příjezdem vlaku k zapínacímu prvku výstrahy, ve kterém už musí dojít o rozhodnutí ukončení či neukončení výstrahy na přejezdu od předešlého vlaku. Dráha vlaku, pro kterou už bude nutné znát, zdali vlak obdržel MA či ne se bude odvíjet od rychlosti daného vlaku, aby tak byla zajištěna včasná informace pro rozhodnutí o ukončení či neukončení výstrahy přejezdu.

Zajímavé zamyšlení je také funkce zajištění minimální doby bez výstrahy v případě, kdy nebudou k dispozici informace ze systému ETCS, respektive RBC ať už z důvodu plánované či neplánované odstávky. V tomto případě by tak musel být u přejezdů

implementován i princip popisovaný v kapitole 4.2.4 s využitím posunutých detekčních bodů výstrahy, které by včas informovaly o následném vlaku. Bohužel v tomto případě není zajištěn technický přenos informace o rychlosti a přesnosti systému je tak nižší. Může tak docházet k zbytečnému omezení silniční dopravy i v případě dostatečného času bez výstrahy v případě pomalu jedoucích vlaků. Na druhou stranu dojde alespoň k eliminaci nejednoznačnosti výstrahy v podobě zvedajících a opět se sklápějících závor či spuštění výstrahy krátce po jejím ukončení.

6. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byla identifikace a shrnutí stávajících principů spouštění a ukončování výstrahy na PZS v rámci sítě Správy Železnic s. o. Následně analyzovat aktuální principy spouštění a ukončování výstrahy daných přejezdů a identifikovat nedostatky, respektive oblasti, ve kterých by mohlo dojít k vylepšení aktuálních řešení pro zvýšení bezpečnosti a plynulosti dopravy. Zejména navrhnout možnosti úprav s přihlédnutím k nově instalovaným technologiím poskytující lepší možnosti při realizaci zařízení pro spouštění a ukončování výstrahy na přejezdech. Práce se zaměřila zejména na řešení v rámci instalace nového jednotného vlakového zabezpečovače ETCS, který se již postupně začíná využívat v provozu v rámci sítě SŽ v ČR. S využitím informací, které systém ETCS poskytuje může dojít k optimalizaci aktuálních řešení průběhů výstrahy na přejezdech s efektem na propustnost silniční dopravy a zároveň přispět k eliminaci nejednoznačných průběhů výstrahy. Cílem této práce tak bylo navrhnout možná řešení daných problémů, provést simulace takovýchto řešení při optimálních podmínkách a provést následné zhodnocení vlivů jednotlivých řešení. Práce se zaměřuje zejména na problematiku optimalizace délky výstrahy na přejezdu, ve vztahu k jízdě železničního vozidla k přejezdu s využitím simulací (viz. kapitola 5.2.). Kdy v rámci jednotlivých navrhovaných řešení může dojít k úspoře jednotek či desítek sekund nadměrné výstrahy, jinak způsobené pomaleji jedoucím vozidlem v přibližovacím úseku, v závislosti na využití jednotlivých navrhovaných typů principů řešení (viz. výsledky kapitol 5.2.1 až 5.2.4). K výsledným datům je třeba však přistupovat s určitou rezervou, jelikož při výpočtech nebyla brána v potaz časová rezerva nutná pro přenos a zpracování dat. Vliv této časové prodlevy při komunikaci je spíše na téma pro další samostatné navazující práce týkající se dané problematiky. Z výsledků simulací také vyšlo, že i přes využití rekalkulací při výpočtech odložení výstrahy nedojde vždy k zajištění optimalizace na stejnou dobu jízdy vlaku k přejezdu jakou je stanovená přibližovací doba (příkladem jsou výsledky simulace jízdy vlaku konstantní rychlostí nižší než maximální možnou – viz. 5.2.3). Systém je omezen tím, že musí počítat s nehorším scénářem, kterým je zrychlení vlaku v přibližovacím úseku. Odložení výstrahy je tak limitováno fyzikálními vlastnostmi v podobě možného zrychlení vlaku při jízdě k přejezdu, které již nelze ovlivnit. Práce se dále věnuje také návrhu řešení způsobu zajištění minimální doby bez výstrahy na přejezdu (viz. kapitola 5.3). Toto řešení se odvíjí ze znalosti doby, za kterou bude na přejezdu spuštěna výstraha, což je známo díky navrhovanému řešení pro odkládání výstrahy na přejezdech. Odstranění daného problému povede na zlepšení jednoznačnosti výstrahy

z pohledu vnímání průběhu výstrahy na přejezdu uživateli pozemní komunikace. Opět zde však budou nutné další úvahy a analýzy zejména v oblasti definice časového intervalu minimální doby bez výstrahy, jelikož stanovením jeho nadměrné délky může vést k nežádoucímu snížení kapacity propustnosti přejezdu pro uživatele pozemní komunikace či v opačném případě nebude odstraněna opakovaná výstraha v krátkém čase, a zejména opětovné spuštění výstrahy před úplným ukončením výstrahy předchodí. Navrhované principy jsou také zahrnuty v modelu přejezdu vytvořeném v programu Simulink (viz. kapitola 5.1). Práce tak shrnuje možné směry pro vylepšení stávajících řešení pro zvýšení bezpečnosti a optimalizace provozu na přejezdech, a to především v návaznosti na nově budovaný zabezpečovací systém ETCS. Samostatná bezpečnost na přejezdech však bude zatím vždy závislá na uživatelích pozemních komunikací a jejich dodržování pravidel silničního provozu. Uvedené směry možných úprav řešení mají v nemalé míře přispět k důvěře uživatelů pozemní komunikace v činnost přejezdových zabezpečovacích zařízení, tím že budou minimalizovat dobu uzavření přejezdů či že průběh výstrahy bude jednoznačnější i v přechodových situacích.

POUŽITÁ LITERATURA:

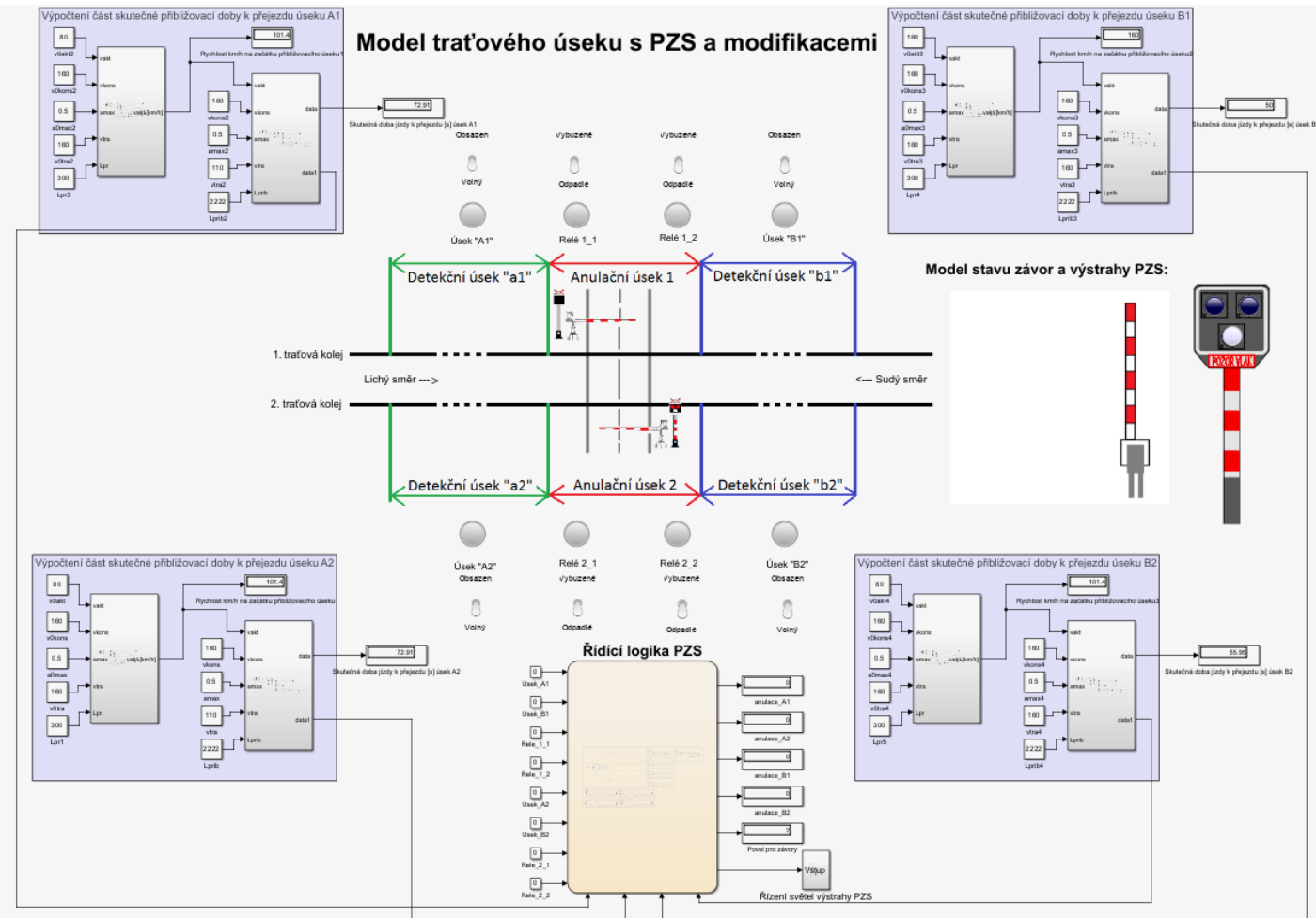
- [1] ČSN EN 34 2650. *Železniční zabezpečovací zařízení – Přejezdová zabezpečovací zařízení ed. 2*. Praha, 2010.
- [2] OUŘEDNÍČEK, Jan 2022. Přednáška: *Železniční zabezpečovací systémy – Přejezdová zabezpečovací zařízení*
- [3] ZZT, Studijní materiál: *Detekce vozidel*
- [4] ČERVENÝ, Jindřich, ed. *Porovnání vlastností počítačů náprav*. 2009. Bakalářská Práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Ing. Karel Dvořák.
- [5] *Nedovolená jízda přes železniční přejezd* [online]. [cit. 2023-01-21]. Dostupné z: <https://www.12bodu.cz/bodovany-prestupek-125c-1f-9.html>
- [6] ZAHRADNÍK, Jiří. *Zvýšení bezpečnosti železničních přejezdů*. 2019. Diplomová Práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Ing. Lubomír Macků, Ph.D.
- [7] TNŽ 34 2610. *Železniční světelná návěstidla: Technická norma železnic*. 1993.
- [8] OUŘEDNÍČEK, Jan. *Prezentace – Prostředky pro optické návěstění*. 2019
- [9] KONOPÁČ, Tomáš. *Příprava a rozvoj ETCS na síti Správy železnic* [online]. Praha, Březen 2022. Podklady pro interní školení Správy železnic – Oblastní ředitelství. Správa Železnic.
- [10] NETOLICKÝ, Josef. *Vliv modifikací vlastností přejezdových zabezpečovacích zařízení mimo dosavadní funkční a principiální rámec na charakteristické bezpečnostní a provozní parametry těchto zařízení* [online]. Pardubice, 2017 [cit. 2023-04-26]. Diplomová práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Ing. Ouředníček Jan, Ph.D.
- [11] Konzultace s panem Ing. Petr Nachtigall, Ph.D., UPCE, 14.4. 2023

[12] HEBERT, Alfréd, Vlastimil POLACH, Aleš LIESKOVSKÝ a Ivo MYSLIVEC. ATO over ETCS. *Reportér AŽD Praha*. 2018, **2018**(4), str. 42-45.

[13] TASLER, Gerd a Volker KNOLLMANN. Einführung des hochautomatisieren Fahrens – auf dem Weg zum vollautomatischen Bahnbetrieb. *SIGNAL+DRAHT*. 6/2018, str. 9.

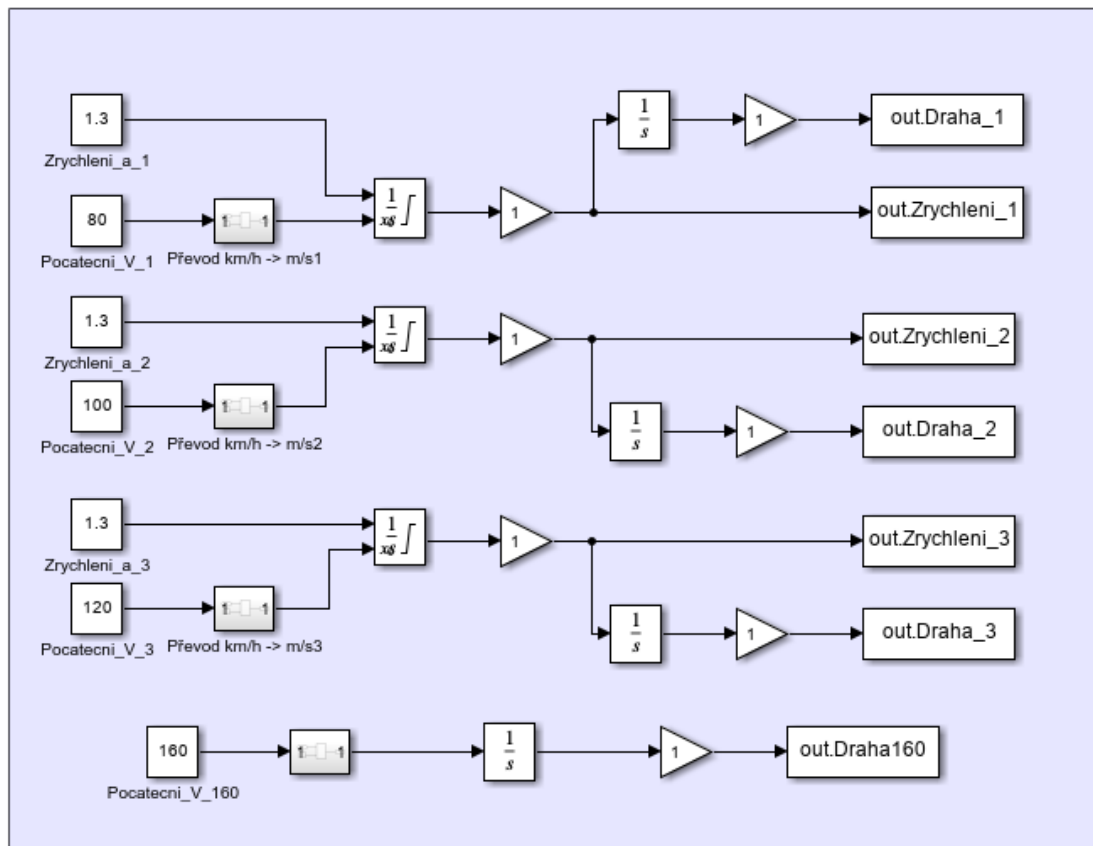
[14] MathWorks. Self-Paced Online Courses – MATLAB & Simulink [online kurz].
Dostupné na: <https://matlabacademy.mathworks.com/#simulink>.

1. PŘÍLOHA – Model PZS v programu Simulink



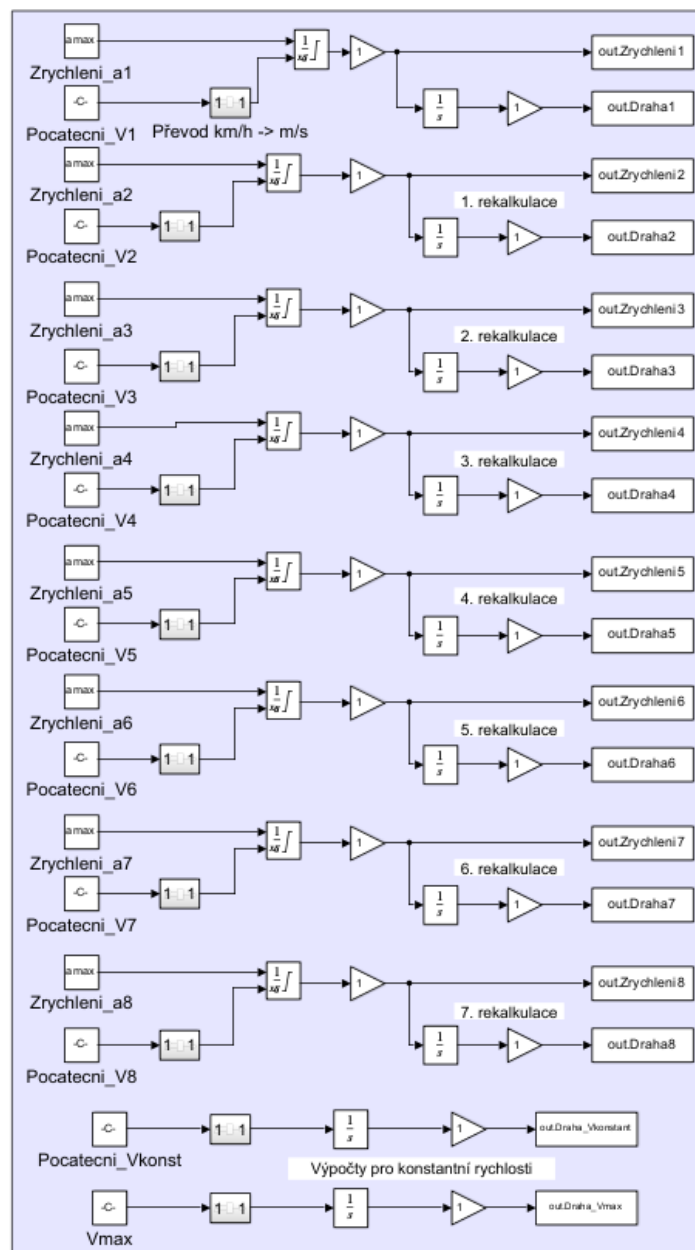
Obrázek 32 – Model PZS v programu Simulink

2. PŘÍLOHA – Model pro simulaci odložení výstrahy



Obrázek 33 – Model pro simulaci odložení výstrahy

3. PŘÍLOHA – Model pro simulaci rekalkulace odložení výstrahy



Obrázek 34 – Model pro simulaci rekalkulace odložení výstrahy