

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2020

Zuzana Telecká

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Porovnání výpočtu jízdních dob před a po zavedení systému ETCS
Bakalářská práce

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Zuzana Telecká**
Osobní číslo: **D16790**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Technologie a řízení dopravy: Technologie a řízení dopravních systémů**
Téma práce: **Porovnání výpočtu jízdních dob před a po zavedení systému ETCS**
Zadávací katedra: **Katedra technologie a řízení dopravy**

Zásady pro vypracování

Úvod

1. Analýza systému ETCS a jeho dopad na výpočet jízdních dob
2. Současný stav výpočtu jízdních dob a provozních intervalů v ČR
3. Identifikace případů vlivu ETCS na jízdni dobu nebo provozní interval
4. Výpočet jízdních dob před a po zavedení systému ETCS

Závěr

Rozsah pracovní zprávy: **30-40**
Rozsah grafických prací: **3-4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. WINTER, Peter a Jens BRABAND. Compendium on ERTMS: European rail traffic management system. 1st ed. Hamburg: Eurailpress, c2009, 260 s. ISBN 978-3-7771-0396-9
2. SMĚRNICE SŽDC č. 104. Provozní intervaly a následná mezidobí. Praha: SŽDC, 2013
3. MATUŠKA, Jaroslav a Ivo HRUBAN. TECHNOLOGIE A ŘÍZENÍ ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY. Pardubice: Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera, 2011

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Nachtigall, Ph.D.**
Katedra technologie a řízení dopravy

Datum zadání bakalářské práce: **7. února 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **31. července 2020**

L.S.

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

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

V Pardubicích dne 6. února 2020

Prohlašuji:

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

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

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnici 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 Praze dne 30. července 2020

Zuzana Telecká

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala všem, kteří mi při psaní bakalářské práce pomáhali a dávali mi cenné rady a připomínky. Zejména bych chtěla poděkovat vedoucímu práce, panu profesorovi Ing. Petru Nachtigalovi, Ph.D., za odborné vedení a čas mně věnovaný při psaní práce. Také bych chtěla poděkovat své rodině a příteli za velkou podporu a pomoc během celého mého studia.

ANOTACE

Práce analyzuje vlakový zabezpečovač ETCS a představuje míru realizace v České republice a v evropských zemích. Dále se zabývá dopadem systému ETCS na výpočet jízdních dob. V druhé části práce je popsán současný stav výpočtu provozních intervalů a následných mezidobí. Ve třetí kapitole identifikuje případy, ve kterých došlo zavedením systému k ovlivnění jízdni doby nebo provozního intervalu. Výstupem práce jsou konkrétní příklady výpočtů, na kterých je demonstrován vliv systému ETCS.

KLÍČOVÁ SLOVA

Implementace, ETCS, vlakový zabezpečovač, jízdni doby, provozni intervaly

TITLE

Comparison of the calculation traveling times before and after introducing ETCS system

ANNOTATION

The thesis analyzes the automatic train control system ETCS and describes the implementation rate in the Czech Republic and in the European countries. In the second part, the project introduces the calculation operating intervals and subsequent interval. In the third part, the project identifies the cases, when implementation of the ECTS had an effect either on the traveling time or operating intervals. The output of the thesis are specific examples of calculations, on which the effect of ETCS is demonstrated.

KEYWORDS

Implementation, ETCS, automatic train control, traveling times, operating intervals

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	5
SEZNAM TABULEK.....	6
SEZNAM ZKRATEK.....	7
ÚVOD.....	5
1 Analýza systému ETCS	6
1.1 Systém ETCS.....	6
1.2 Aplikační úrovně ETCS	7
1.2.1 ETCS Level 0 (L0).....	7
1.2.2 ETCS Level STM (L STM).....	7
1.2.3 ETCS Level 1 (L1).....	7
1.2.4 ETCS Level 1 s eurosmýčkami	8
1.2.5 ETCS Level 1 s radiovým spojením GSM – R.....	8
1.2.6 ETCS Level 2 (L2).....	8
1.2.7 ETCS Level 3 (L3).....	9
1.3 Aktuální stav implementace systému ERTMS/ETCS.....	10
1.3.1 Národní implementační plán ERTMS (ČR).....	11
1.3.2 Strategie realizace ETCS v ČR.....	11
2 výpočet jízdnicích dob a provozních intervalů v ČR.....	12
2.1 Jízdní doby.....	12
2.1.1 Pohybové rovnice.....	12
2.1.2 Dynamická rovnice pohybu vlaku	12
2.1.3 Trakční charakteristika.....	14
2.1.4 Stanovení třídy sklonu trati.....	14
2.1.5 Stanovení maximální rychlosti	15
2.2 Provozní intervaly	17
2.2.1 Staniční provozní intervaly.....	18
2.2.2 Traťové provozní intervaly.....	20
2.2.3 Nástupištní provozní intervaly.....	21
2.2.4 Následná a příjezdná mezidobí	22
3 Identifikace případů vlivu ETCS na jízdní dobu nebo provozní interval	23
3.1 Vliv systému ETCS na jízdní dobu.....	23
3.1.1 Zvýšení povolené rychlosti.....	23
3.1.2 Jízda vlaku v obvodu výhybek přilehlých k hlavnímu návěstidlu.....	24
3.1.3 Existence přejezdu v obvodu výhybek přilehlých k hlavnímu návěstidlu	24
3.2 Vliv systému ETCS na provozní intervaly	25
4 Výpočet jízdnicích dob před a po zavedení systému ETCS	26

4.1	Výpočet jízdní doby – Zvýšení rychlosti.....	26
4.1.1	Jízdní doba v úseku Břeclav – Vranovice při rychlosti 160 km·h ⁻¹	26
4.1.2	Jízdní doba v úseku Břeclav – Vranovice při rychlosti 200 km·h ⁻¹	28
4.2	Výpočet jízdní doby – jízda vlaku v obvodu výhybek přilehlých k hl. návěstidlu....	30
4.2.1	Jízda vlaku bez ETCS v obvodu výhybek přilehlých k hlavnímu návěstidlu	30
4.2.2	Jízda vlaku s ETCS L2 v obvodu výhybek přilehlých k hlavnímu návěstidlu....	31
4.3	Výpočet jízdní doby – existence přejezdu v obvodu výhybek přilehlých k hlavnímu návěstidlu	32
4.3.1	Výpočet jízdní doby v přibližovacím úseku přejezdu č. 6806 bez ETCS.....	33
4.3.2	Výpočet s ETCS pro přibližovací úsek přejezdu č. 6806 s ETCS L2:.....	34
4.4	Výstupy z výpočtů.....	35
	ZÁVĚR.....	38
	SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	39
	SEZNAM PŘÍLOH.....	40

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma aplikační úrovně ETCS L1 Zdroj: (3)	8
Obr. 2 Schéma aplikační úrovně ETCS L2 Zdroj: (3)	8
Obr. 3 Schéma aplikační úrovně ETCS L3 Zdroj: (3)	9
Obr. 4 Podíl tratí a vozidel se systémem ETCS L1 a/nebo L2 Zdroj: (5)	10
Obr. 5 Plán pokrytí železniční sítě systémem ETCS do roku 2024 Zdroj: (15)	11
Obr. 6 Třídy sklonu Zdroj: (10)	14
Obr. 7 Normativ hmotnosti pro lokomotivu řady 854 a pro typ jízdního odporu R Zdroj: (7) 15	15
Obr. 8 Rychlost jízdy přes zabezpečené výhybky Zdroj: (7)	16
Obr. 9 Schéma PIPVO Zdroj: (autorka)	18
Obr. 10 Schéma PIPV Zdroj: (autorka)	19
Obr. 11 Schéma PIPO Zdroj: (autorka)	19
Obr. 12 Schéma PIPOV Zdroj: (autorka)	20
Obr. 13 Schéma PINJ Zdroj: (autorka)	20
Obr. 14 Schéma PIPJ Zdroj: (autorka)	21
Obr. 15 Schéma PIPOV-NVC Zdroj: (8 s. 59)	21
Obr. 16 Schéma PIPOV-NOC Zdroj: (8 s. 59)	21
Obr. 17 Schéma následného a příjezdného mezidobí Zdroj: (autorka)	22
Obr. 18 Časová úspora při jízdě vlaku v obvodu výhybek Zdroj: (autorka)	24
Obr. 19 Staničení a průběh jízdy vlaku, Břeclav – Vranovice ($160 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) Zdroj: (autorka) .	26
Obr. 20 Staničení a průběh jízdy vlaku, Břeclav – Vranovice ($200 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) Zdroj: (autorka) .	28
Obr. 21 Graf časové úspory na jízdní době při zvýšení rychlosti Zdroj: (autorka)	35
Obr. 22 Graf časové úspory na jízdní době v na zhlaví a záhlaví Zdroj: (autorka)	36
Obr. 23 Úspora na jízdní době s existencí přejezdu Zdroj: (autorka)	37

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Typy jízdních odporů Zdroj: (10).....	15
Tab. 2 Úspora na jízdní době úseku Břeclav – Vranovice Zdroj: (autorka).....	35
Tab. 3 Úspora na jízdní době v na zhlaví a záhlaví v ŽST Rájec-Jestřebí Zdroj: (autorka)	36
Tab. 5 Úspora JD s existencí přejezdu na záhlaví ŽST Rájec-Jestřebí Zdroj: (autorka)	36

SEZNAM ZKRATEK

CNC – Core Network Corridors

ČR – Česká republika

EIRENE – European Integrated Railway Radio Enhanced Network

ERTMS – European Rail Traffic Management System

ETCS – European Train Control System

EU – Evropská Unie

GSM – Global System for Mobile communications

GSM-R – Global System for Mobile communications – Railway

JD – Jízdní doba

PZS – Přejezdové zabezpečovací zařízení světelné

RBC – Radiobloková centrála

SZZ – staniční zabezpečovací zařízení

TEN-T – Trans-European Transport Networks

TZZ – Traťové zabezpečovací zařízení

VZZ – Vlakové zabezpečovací zařízení

ZZ – Zabezpečovací zařízení

ŽST – Železniční stanice

ÚVOD

V Evropské unii existuje řada národních vlakových zabezpečovačů, které se od sebe liší stát od státu. Velkým problémem je jejich nekompatibilitnost, což omezuje konkurenceschopnost železniční dopravy vůči dopravě silniční. Řešením je zavedení jednotného evropského zabezpečovacího systému ETCS. Aplikační úrovně systému jsou postupně implementovány napříč evropskými železnicemi. Zavedení jednotného zabezpečovače má a bude mít pozitivní dopady na zabezpečení a řízení železničního provozu. Uvedení zabezpečovače do provozu bude mít pozitivní vliv na nejdůležitější vlastnost vlaku – jeho brzdění. Se systémem bude možné vypočítávat brzdné křivky až k místu ohrožení (nebudou počítány k návěstidlu, jako tomu bylo doposud). Zvýšením rychlosti jízdy vlaku v rozhodných úsecích dojde ke krácení jízdních dob i provozních intervalů.

Práce se zaměřuje na charakteristiku evropského zabezpečovače, jeho aplikačních částí a míru implementace jak v České republice, tak ve světě. Dále jsou v práci vysvětleny výpočty jízdních dob a provozních intervalů v ČR a identifikovány případy, kdy má na tyto výpočty vliv zavedení ETCS.

Výstupem práce jsou konkrétní příklady výpočtů s jejich porovnáním a určením, zda došlo k ovlivnění jízdní doby nebo provozního intervalu po implementaci systému ETCS.

1 ANALÝZA SYSTÉMU ETCS

V současné době existuje více než dvacet různých vlakových zabezpečovacích zařízení napříč Evropskou unií. Jsou to historicky zavedené a doposud používané národní systémy, které jsou typově rozdílné, technicky zastaralé a mají nižší než potřebnou úroveň bezpečnosti a funkčnosti. Rozdílnost těchto systémů omezuje hospodářskou soutěž a zhoršuje konkurenceschopnost železniční dopravy ve vztahu k silniční dopravě. Řešením je vytvoření a zavedení jednotného a bezpečnějšího systému v celé Evropské unii. Proto již v roce 1995 Evropská komise definovala globální strategii pro vývoj Evropského systému řízení železniční dopravy ERTMS – European Rail Traffic Management System. Cílem bylo připravit budoucí implementaci systému na evropské železniční síti a zajistit interoperabilitu jednotlivých subsystémů pro vysokorychlostní i konvenční evropský železniční systém (1 s. 81).

ERTMS je projekt, který je složen ze dvou částí:

- komunikace – projekt EIRENE (European Integrated Railway Radio Enhanced Network), v jehož rámci byl vytvořen systém GSM-R (Global System for Mobile communications-Railway). GSM-R je rádiový systém pro poskytování hlasové a datové komunikace, založený na standardním GSM za použití frekvencí speciálně vyhrazených pro železniční aplikace s určitými specifickými a pokročilými funkcemi (6).
- zabezpečení a řízení dopravy – projekt ETCS (European Train Control System)

1.1 Systém ETCS

Jedná se o moderní vlakový zabezpečovací systém, který je průběžně implementován a nahrazuje národní vlakové zabezpečovače ve státech EU. Systém funguje zcela samostatně nebo může spolupracovat se stávajícími technologiemi. Zavedení systému je možné jak na konvenčních, tak i na vysokorychlostních tratích. ETCS používá prostředky pro přenos dat mezi traťovou a mobilní částí systému; těmito prostředky jsou eurosmyčky, balízy a eurorádio (1 s. 82).

Systém ETCS se skládá z traťové a mobilní části a má pět aplikačních úrovní (jednotlivě budou popsány v následující kapitole). Vlak vybavený vyšší aplikační úrovní ETCS ve své mobilní části může být veden v režimu ETCS, který odpovídá vybavení traťové části.

Traťová část předává vlaku informace opravňující k jízdě a zároveň spolupracuje se stávajícím ZZ, od kterého získává informace o povolené maximální rychlosti, postavení návěstidel a volnosti tratě (L1 a L2). V případě L1 se informace předává z traťové části pomocí balíz, eurosmyček nebo prostřednictvím GSM-R. U úrovní L2 a L3 slouží pro předávání

informací GSM-R systém z radioblokové centrály (RBC). Balízy zde slouží jako prostředek pro určení polohy vlaku, u L3 slouží k zjišťování vlnosti koleje (1 s. 82).

Mobilní část systému zajišťuje bezpečnou jízdu vlaku. Informace jsou získávány z traťové části nebo pomocí přenosového modulu (STM), který zprostředkovává data z národního VZZ. Průběžně je kalkulován dynamický rychlostní profil, kontrola stavu vlaku. Tyto informace jsou pak předávány RBC a dále na stanoviště strojvedoucího. U aplikační úrovni L3 se kontroluje celistvost vlaku (1 s. 82).

1.2 Aplikační úroveň ETCS

1.2.1 ETCS Level 0 (L0)

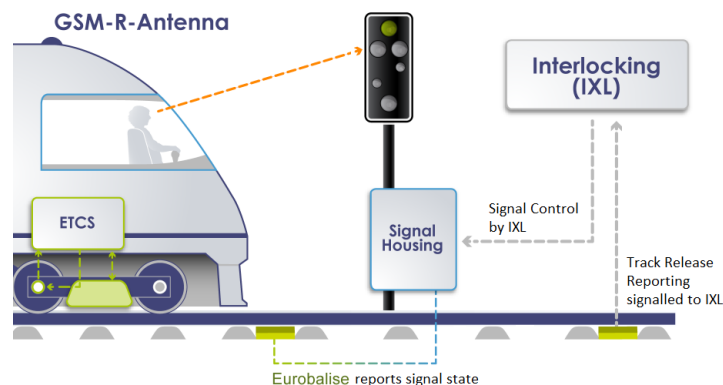
Vedení vlaku je zde v omezeném režimu ETCS, tzn. k dispozici je pouze minimum funkcí. Oprávnění k jízdě předává stávající návěštní signalizace. V tomto režimu nejsou k dispozici data z traťové části, systém ETCS tedy nemůže zasahovat do jízdy vlaku – bezpečná jízda je závislá na strojvedoucím. Zařízení tak hlídá pouze maximální rychlost. Toto řešení je používáno tam, kde není možné trať vybavit traťovou částí ETCS (např. zastaralé železniční uzly s analogovým ZZ) nebo traťová část není ještě vybudována (1 s. 91-92).

1.2.2 ETCS Level STM (L STM)

Aplikační úroveň L STM je využívána na tratích s traťovou částí národního VZZ. Mobilní část systému zobrazuje strojvedoucímu informace pouze z tohoto VZZ, takže množství informací je omezené. Obvykle jde o maximální rychlost a o návěštní znak následujících hlavních návěštidel. Stav trati je získáván pomocí přenosového modulu, který interpretuje informace z traťové části národního VZZ (1 s. 92).

1.2.3 ETCS Level 1 (L1)

V tomto režimu (popsaného ve schématu 1) je zachována návěštní signalizace, která je zde nadřazena signalizaci na stanovišti strojvedoucího. Stávající ZZ zabezpečuje volnost koleje a polohu vlaku. Na začátku a na konci kolejového úseku (v blízkosti hlavních návěštidel) jsou umístěny balízy, díky kterým jsou do vlaku předávána stálá nebo proměnná data a zároveň pomocí těchto balíz vlak předává traťové části informace o své poloze. Tento režim s sebou nese problém s aktuálními informacemi, proto jsou pro aktualizaci informací vkládány tzv. eurosmyčky nebo radiové spojení GSM-R (1 s. 93).



Obr. 1 Schéma aplikační úrovně ETCS L1 Zdroj: (3)

1.2.4 ETCS Level 1 s eurosmyčkami

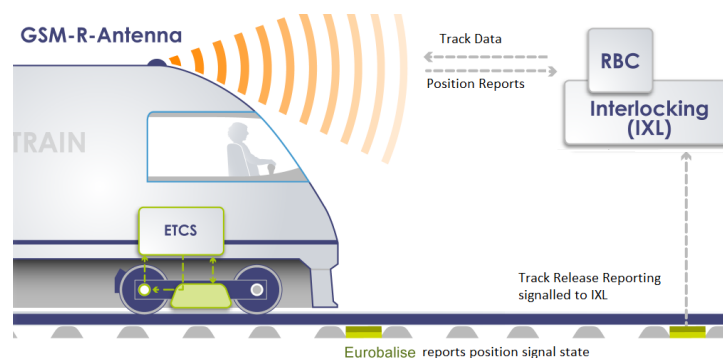
Po vložení eurosmyček dojde ke snížení vlivu nevýhod bodového VZZ. Na vlaku je umístěna balízová anténa, pomocí které jsou eurosmyčky čteny a jsou doplněna aktuální data z předcházející balízy. Průběžným doplňováním informací o trati před vlakem lze optimalizovat jízdu vlaku. Zavedením eurosmyček je možné i navýšit kapacitu tratě (1 s. 93).

1.2.5 ETCS Level 1 s radiovým spojením GSM – R

Pro eliminaci nevýhod bodového VZZ je možné zavést komunikační systém GSM-R. Balízy zprostředkovávají základní informace a pomocí GSM-R mohou být průběžně aktualizovány (1 s. 94).

1.2.6 ETCS Level 2 (L2)

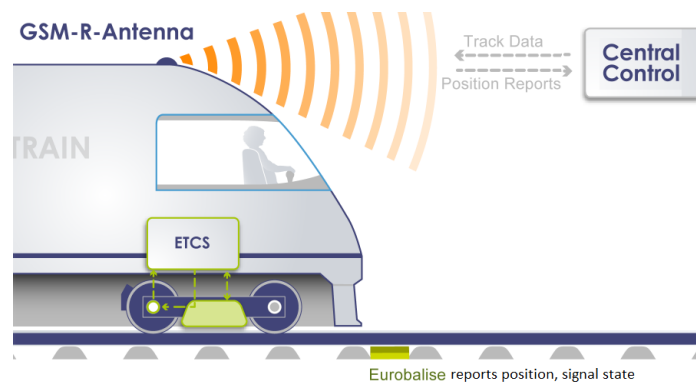
Pro výměnu dat mezi traťovou částí, mobilní částí a RBC je používána komunikační síť GSM-R. Volnost koleje a postavení vnějších prvků ZZ je kontrolována stávajícím ZZ, následně je informace předána do RBC, která pomocí GSM-R dává vlaku oprávnění k jízdě. V této aplikační úrovni nejsou nutná pevná návěstidla. Ty jsou však ponechávána pro vlaky, které nejsou vedeny v režimu ETCS nebo jako záložní systém (1 s. 95). Schéma ETCS L2 je znázorněno v obrázku 2.



Obr. 2 Schéma aplikační úrovně ETCS L2 Zdroj: (3)

1.2.7 ETCS Level 3 (L3)

Aplikační úroveň L3 (popsaná v obrázku 3) zajišťuje všechny funkce, jako úroveň L2, navíc kontroluje i volnost koleje. Pomocí GSM-R vlak neustále hlásí svou polohu, která je určena výpočtem podle rychlosti vlaku a polohy nepřepínatelných balíz. V libovolný okamžik vysílá vlaková část do RBC přesné informace o poloze vlaku, zároveň je k dispozici informace o celistvosti vlaku. Vlaky se mohou pohybovat v pohyblivých prostorových oddílech, díky čemuž je zvýšena kapacita tratě a dochází k hospodárnému provozu. Aplikační úroveň L3 by se v budoucnu mohla stát univerzálním zabezpečovacím systémem pro evropské železnice (1 s. 95).



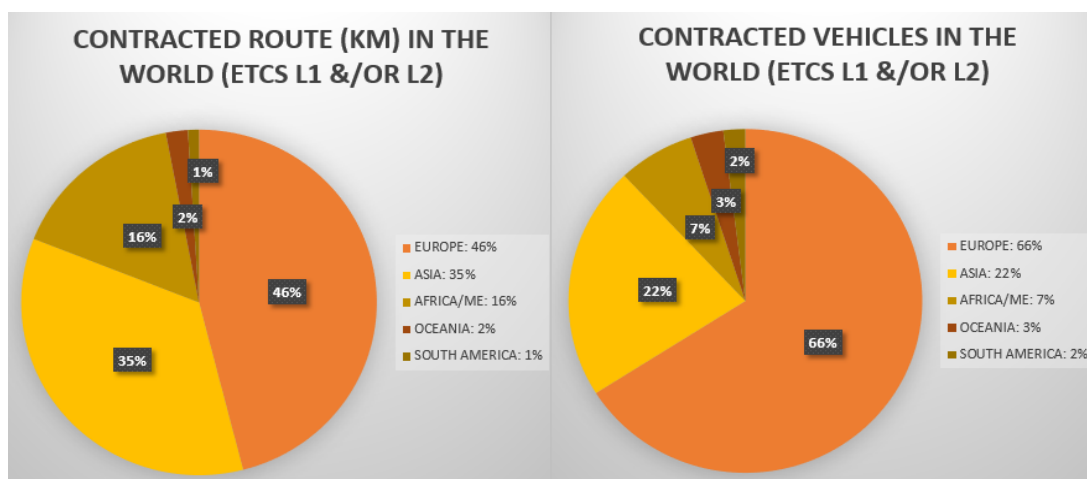
Obr. 3 Schéma aplikační úrovně ETCS L3 Zdroj: (3)

1.3 Aktuální stav implementace systému ERTMS/ETCS

Na konci roku 2017 bylo v Evropské unii téměř 4 500 kilometrů CNC (Core Network Corridors) tratí provozováno se systémem ERTMS a okolo 7 000 vozidel je dnes vybaveno systémem ETCS (z nichž byla podstatná většina financována z EU). Téměř všechny italské a španělské vysokorychlostní tratě jsou chráněny systémem ERTMS (rychlost vlaků dosahuje až 320 km·h⁻¹). Nejdelsí železniční tunel v Alpách¹ je v provozu výhradně ERTMS. Systém se také používá na příměstských linkách, např. Madrid (4 s. 4).

Současně s evropským vývojem se stal systém ERTMS celosvětovým standardem. Země, jako jsou například Čína, Tchaj-wan, Jižní Korea, Indie, Alžírsko, Libye, Saudská Arábie, Mexiko, Nový Zéland nebo Austrálie, zahájily investiční programy na zavedení systému ERTMS. Očekává se, že systém se stane unikátním pro řízení železniční dopravy po celém světě (5).

Grafy vyjadřující procentuální podíl tratí a vozidel se systémem ETCS L1 a/nebo L2 ve světovém měřítku (zahrnuti jsou i rámcové smlouvy):



Obr. 4 Podíl tratí a vozidel se systémem ETCS L1 a/nebo L2 Zdroj: (5)

Důležitým dokumentem pro implementaci systému ERTMS/ETCS v Evropě je „The European Deployment Plan“, který stanoví lhůty pro zavedení systému ERTMS a jeho cílem je zajistit postupné zavádění systému ERTMS na hlavních evropských železničních trasách.

Členské státy Evropské unie také vypracovaly své Národní implementační plány (National Implementation Plans), stanovující kroky při zavádění plně interoperabilních subsystémů „Řízení a zabezpečení“.

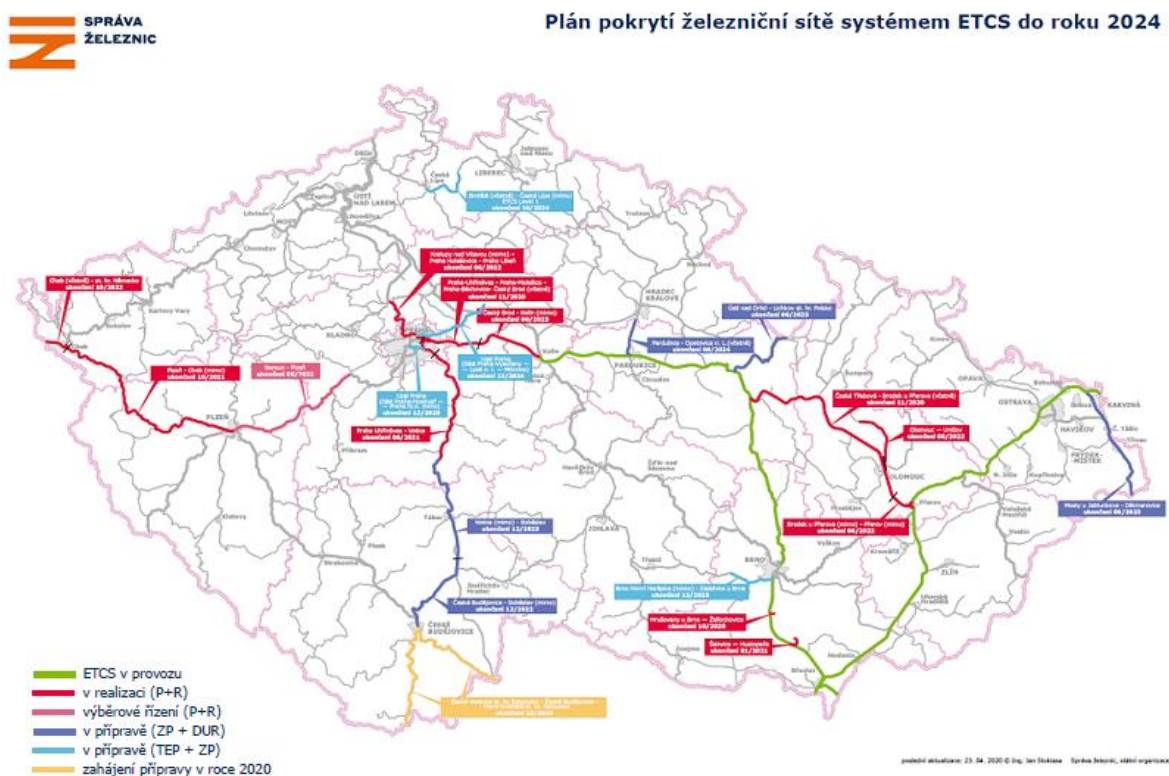
¹ Gotthardský úpatní tunel je železniční tunel, který prochází alpským Gotthardským masivem (Švýcarsko). Se svými 57 kilometry jde o nejdelsí železniční tunel světa (<https://company.sbb.ch/en/media/background-information/gotthard-base-tunnel.html>).

1.3.1 Národní implementační plán ERTMS (ČR)

V dokumentu jsou definovány cíle pro zavedení a rozvoj systému ETCS v ČR. Dále stanovuje strategii výstavby ERTMS pro tratě TEN-T (Trans-European Transport Networks). Popisuje postup při přechodu od národních systémů třídy B (traťový rádiový systém a liniový vlakový zabezpečovač) k systémům třídy A (GSM-R a ETCS) (7 s. 14).

1.3.2 Strategie realizace ETCS v ČR

Strategie popsána v Národním implementačním plánu ERTMS. Očekává se pět let migračního období, ve kterém dojde k postupnému přechodu na systém ETCS. V tomto období bude využito duálního vybavení na tratích (liniový vlakový zabezpečovač + ETCS). Dále bude po uplynutí migračního období zakázán vstup vlakům bez funkční kompatibilní palubní části ETCS na souvislé úseky tratí vybavených tímto systémem (7 s. 15). Na obrázku č. 5 je zakreslen plán implementace systému:



Obr. 5 Plán pokrytí železniční sítě systémem ETCS do roku 2024 Zdroj: (15)

2 VÝPOČET JÍZDNÍCH DOB A PROVOZNÍCH INTERVALŮ V ČR

2.1 Jízdní doby

Pro výpočet jízdních dob se využívá vlaková dynamika. Zde je vlak chápán jako hmotný bod, u kterého je respektována jeho délka. Při výpočtech se zanedbávají vzájemné pohyby vozidel mezi sebou nebo pohyby ve svislém či příčném směru.

2.1.1 Pohybové rovnice

Základními rovnicemi pro výpočty jsou pohybové rovnice uvedené ve vztahu (1) a (2):

$$v = \frac{s}{t} \quad [\text{m}\cdot\text{s}^{-1}] \quad (1)$$

$$a = \frac{v}{t} \quad [\text{m}\cdot\text{s}^{-2}] \quad (2)$$

kde: s – ujetá dráha [m]
 v – rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
 t – čas [s]
 a^2 – zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]

V rámci výpočtů jízdních dob jsou rovnice samozřejmě vhodně upravovány podle potřeby. Pohybová rovnice pro zrychlení počítá nejen s rozjezdem z klidu a s úplným zastavením vozidla, ale také se zrychlováním a zpomalováním vzhledem k omezení traťové rychlosti. Poté je do vzorce přidána hodnota počáteční rychlosti, jak ukazuje vzorec (3) pro zrychlení a vzorec (4) pro zpomalení:

$$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \quad [\text{m}] \quad (3)$$

$$s = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \quad [\text{m}] \quad (4)$$

2.1.2 Dynamická rovnice pohybu vlaku

Jízda vlaku po trati je ovlivňována mnoha faktory. Síly, působící během jízdy, jsou vyjádřeny ve vztahu (5):

$$m \cdot a \cdot (1 + \rho) = F_t - F_b - m \cdot (w_v + w_t) \quad [-] \quad (5)$$

Kde: m .. hmotnost vlaku [kg]
 a zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]
 ρ ... součinitel rotujících částí [-]
 F_t ... tažná síla [kN]
 F_b .. brzdná síla [kN]
 w_v .. měrný vozidlový odpor [$\text{N}\cdot\text{t}^{-1}$]

² Pro zjednodušení vycházíme z pohybu rovnoměrně zrychleného, hodnota zrychlení je tedy konstantní – pohyb, jehož rychlost se za každou časovou jednotku změní o stejnou hodnotu.

w_t .. měrný traťový odpor [$N \cdot t^{-1}$]

SOUČINITEL ROTUJÍCÍCH ČÁSTÍ

Určuje vliv dvojkolí, rotorů trakčních motorů, nápravové převodovky apod. Obecně se hodnoty pohybují v rozmezích: pro lokomotivy 0,10-0,25, pro jednotky 0,08-0,15 a pro vozy 0,04-0,08. Při rovnoměrném pohybu je součinitel dán vztahem (6):

$$M = m \cdot (1 + \rho) [t] \quad (6)$$

MĚRNÝ VOZIDLOVÝ ODPOR

Vzniká mezi vozidlem a kolejnicí, v nápravových ložiskách a mezi vozidlem a vzduchem. Velikost vozidlových odporů závisí na konkrétních podmínkách a je proměnlivá. Pro výpočty jsou používány statisticky stanovené matematické výrazy v závislosti na rychlosti. Výraz pro výpočet vozidlového odporu je kvadratická rovnice obsahující tři konstanty (a, b, c) a proměnnou rychlost.

MĚRNÝ TRAŤOVÝ ODPOR

Jde o působení traťových poměrů na jízdu vozidla. Síly, které působí při jízdě do stoupání, v obloucích a tunelech. Měrný traťový odpor lze vyjádřit dle vztahu (7):

$$w_t = \frac{g}{s} + w_{obl} + w_{tun} [N \cdot t^{-1}] \quad (7)$$

Kde: w_t .. měrný traťový odpor [$N \cdot t^{-1}$]

g ... tíhové zrychlení ($9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)

s sklon trati [‰]

w_{obl} měrný odpor oblouku [‰]

w_{tun} měrný odpor tunelu [‰]

MĚRNÝ ODPOR OBLOUKU

Určujeme zvlášť pro oblouky do 300 m (8) a nad 300 m (9), nad 1000 m se odpor zanedbává:

$$w_{obl} = \frac{650}{R-55} [‰] \quad (8)$$

$$w_{obl} = \frac{500}{R-30} [‰] \quad (9)$$

kde: w_{obl} měrný odpor oblouku [‰]

R ... poloměr oblouku [m]

MĚRNÝ ODPOR TUNELU

Při průjezdu tunelem vlak vytlačuje vzduch a tím se zvětšuje odpor. V tunelech delších než 100 se stoupání trati snižuje o 0,2 %.

ODPOR VÝHYBEK

Uvažuje se u rozsáhlejších železničních stanic, kdy se pohybuje přibližně do 1 %.

2.1.3 Trakční charakteristika

Charakterizuje závislost tažné síly hnacích vozidel na rychlosti jízdy. Tažnou sílu vypočítáme z tvaru (10):

$$F = \frac{P \cdot 3,6}{v} [\text{N} \cdot \text{t}^{-1}] \quad (10)$$

Kde: F ... tažná síla[N]

V ... rychlost [km·h⁻¹]

P ... výkon[kW]

2.1.4 Stanovení třídy sklonu trati

Velikost rozjezdového a zábrzdného zrychlení je ovlivněn sklonem trati a výkonem hnacího vozidla. Třídy sklonu jsou určeny směrnici SŽDC (ČD) D2/1 (tabulka 1). Zařazení úseku trati do traťové třídy určíme pomocí vztahu (11):

$$TS = \frac{s+2}{2} [-] \quad (11)$$

Na spádu v ‰																			
2	11	17	26																
až	až	až	až																
10	16	25	30																
Na stoupání v ‰																			
0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30				
je třeba užít třídy sklonu																			
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI				

Obr. 6 Třídy sklonu Zdroj: (10)

Zabezpečená výhybka – výhybka, na jejíž správné poloze a uzavření je závislé rozsvícení návěsti dovolující jízdu na hlavním návěstidle (u zabezpečených posunových cest na seřaďovacím návěstidle). Rychlost přes zabezpečené výhybky závisí na jejich zabezpečení (tabulka 4):

Stupeň zabezpečení	Rychlost nejvíce proti / po hrotu (km.h ⁻¹)	Použitý technický prostředek
1.	60 / 120	výměnový zámek odtlačný zámek elektrický výměnový zámek elektrický odtlačný zámek mechanický přestavník elektrický přestavník bez kontroly polohy jazyků
2.	80 / 120	mechanický závorník uzamykatelný závorník elektrický přestavník s kontrolou polohy jazyků (přestavník s konstrukcí předcházející typu EP 600)
3.	120 / 120	výměnový zámek a odtlačný zámek mechanický nebo uzamykatelný závorník a stojanový zámek mechanický nebo uzamykatelný závorník a odtlačný zámek mechanický přestavník a mechanický závorník elektrický přestavník s kontrolou polohy jazyků a elektromagnetický závorník (přestavník s konstrukcí předcházející typu EP 600) elektrický přestavník typu EP 600 s kontrolou polohy jazyků
4.	160 / 160	elektrický přestavník s kontrolou polohy jazyků a vícebodovou kontrolou polohy jazyků

Obr. 8 Rychlost jízdy přes zabezpečené výhybky Zdroj: (7)

2.1.5.2 Rychlost návěstěná návěstidly

Rychlost dána světelnou soustavou návěstí hlavních návěstidel dovolující nebo zakazující jízdu vlaku.

2.2 Provozní intervaly

Dle směrnice SŽDC č. 104 lze provozní interval definovat jako nejkratší dobu, která je potřebná na splnění všech úkonů předepsaných pro zajištění bezpečnosti a plynulé jízdy vlaků v místech možného vzájemného ohrožení v dopravnách a na širé trati. Je to tedy nejkratší doba mezi příjezdem, odjezdem nebo průjezdem prvního vlaku a příjezdem, odjezdem nebo průjezdem druhého vlaku (9 s. 11).

Okamžik, kdy vlak zastaví v dopravně nebo stanovišti na místě, kde pravidelně zastavuje (s podmínkou, že uvolní vjezdové zhlaví a dojede celý) nazýváme příjezdem vlaku. Naopak okamžik, kdy je vlak uveden do pohybu z místa, kde pravidelně stojí, nazýváme odjezd vlaku. Průjezdem vlaku rozumíme okamžik, kdy čelo vlaku mine ve stanici odjezdové nebo jiné určené hlavní návěstidlo, na širé trati oddílové návěstidlo (8 s. 44-45).

Místo ohrožení je místo, kde se protínají vlakové cesty dvou vlaků, nebo jejich předepsané pokračování (prodloužení). Podle místa možného ohrožení jízd vlaků můžeme rozdělit provozní intervaly na staniční a traťové (8 s. 44).

Provozní interval se skládá ze složky staničních (statických) operací a dynamické složky. Obecná skladba provozního intervalu je dána vztahem (12) a (13)³:

$$t_p = t_I + t_{II} \text{ [min]} \quad (12)$$

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \text{ [min]} \quad (13)$$

Statická složka obsahuje operace v dopravně spojené s bezpečným vjezdem, odjezdem nebo průjezdem vlaku a je stanovena součtem časů jednotlivých úkonů, kterými se podle znění předpisů a technologických postupů práce řídí staniční a traťoví pracovníci k zajištění bezpečnosti a plynulosti vlakové dopravy. Složka staničních operací je ovlivněna mnoha faktory, zejména druhem staničního a traťového zabezpečovacího zařízení, způsobem obsluhy výměn a druhem návěstidel, stavebním uspořádáním stanice (členitostí zhlaví, typem výhybek,

³ kde t_p provozní interval [min],
 t_I časové složky prvního vlaku [min],
 t_{II} časové složky druhého vlaku [min],
 t_1 dynamická složka prvního vlaku [min],
 t_2 statická složka prvního vlaku [min],
 t_3 statická složka druhého vlaku [min],
 t_4 dynamická složka druhého vlaku [min] (8 s. 45).

počtem zaústěných tratí, umístěním výpravní budovy), počtem a odbornou vyspělostí provozních pracovníků a také místními ustanoveními (8 s. 45).

Dynamická složka se vztahuje k jízdě vlaků a je určena vzdáleností pro vjezd, odjezd, průjezd vlaku a rychlostí vlaků. Je ovlivněna délkou vlaku, hmotností soupravy, druhem a řadou lokomotivy, délkou stanice a přilehlých výpočetních délek (zhlaví, zábrzdná vzdálenost, užitečná délka dopravních kolejí), sklonovými a směrovými poměry ve stanici a v blízkosti stanice (8 s. 45).

Pro analytický výpočet provozních intervalů se užívá technologických časů (uvedeny v příloze A).

2.2.1 Staniční provozní intervaly

Staniční provozní intervaly se stanoví pro stanice, odbočky a pro zastávky na dvoukolejných tratích vybavených jednostranným nástupištěm. Místy ohrožení jsou v tomto případě zhlaví stanic a odboček, staniční koleje a nástupiště (9 s. 11).

2.2.1.1 Provozní interval postupného vjezdu a odjezdu (PIPVO)

Definujeme jako nejkratší dobu mezi okamžikem příjezdu nebo průjezdu prvního vlaku a okamžikem odjezdu nebo průjezdu druhého vlaku v dopravně⁴. Místo možného ohrožení vždy jen na odjezdovém zhlaví druhého odjíždějícího nebo projíždějícího vlaku (8 s. 46).

V případě, že druhý vlak odjíždí na tutéž traťovou kolej, ze které první vlak přijel, jedná se o specifický případ provozního intervalu postupného vjezdu a odjezdu PIK – provozní interval křižování (případně postupných vjezdů pro určité případy, kdy je druhý vlak projíždějící) (9 s. 12).



Obr. 9 Schéma PIPVO Zdroj: (autorka)

⁴ Složky PIPVO:

t_1 – od okamžiku zjištění, že vjíždějící vlak vjel celý (podmínkou je uvolnění místa ohrožení) do zastavení nebo průjezdu vlaku (délka tohoto intervalu ovlivňuje kombinace SZZ a TZZ)

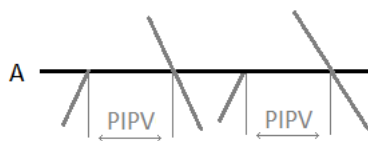
t_2 – zrušení vlakové cesty (od postavení vjezdového návěstidla na „Stůj“ do uvolnění závěru výměn, popř. i odhláškou)

t_3 – příprava vlakové cesty (popř. i nabídka a přijetí nebo žádost o souhlas a jeho udělení), od zjišťování volnosti vlakové cesty do postavení odjezdového návěstidla a jeho předvěsti na návěst dovolující jízdu, délka intervalu ovlivněna SZZ

t_4 – výprava vlaku (od postavení hlavního návěstidla na návěst dovolující jízdu pro odjíždějící vlak do uvedení vlaku do pohybu) (8 s. 46-47).

2.2.1.2 Provozní interval postupných vjezdů (PIPV)

Definujeme jako nejkratší dobu mezi okamžikem příjezdu nebo průjezdu prvního vlaku a příjezdu nebo průjezdu druhého vlaku v dopravně⁵.



Obr. 10 Schéma PIPV Zdroj: (autorka)

2.2.1.3 Provozní interval postupných odjezdů (PIPO)

Vyjadřuje nejkratší dobu mezi okamžikem odjezdu nebo průjezdu prvního vlaku a okamžikem odjezdu nebo průjezdu druhého vlaku v dopravně⁶.



Obr. 11 Schéma PIPO Zdroj: (autorka)

2.2.1.4 Provozní interval postupného odjezdu a vjezdu (PIPOV)

Definovaný jako nejkratší dobu mezi okamžikem odjezdu nebo průjezdu prvního vlaku a okamžikem příjezdu nebo průjezdu druhého vlaku v dopravně⁷.

⁵ Složky PIPV:

t_1 – od okamžiku zjištění, že vjíždějící vlak vjel celý (podmínkou je uvolnění místa ohrožení) do zastavení nebo průjezdu vlaku (délku intervalu ovlivňuje kombinace SZZ a TZZ)

t_2 – zrušení vlakové cesty (od postavení vjezdového návěstidla na „Stůj“ do uvolnění závěru výměn, popř. i odhláškou)

t_3 – příprava vlakové cesty (od zjištění volnosti vlakové cesty do postavení hlavního návěstidla a jeho předvěsti před místem možného vzájemného ohrožení na návěst dovolující jízdu)

t_4 – od okamžiku, kdy je čelo vlaku před předvěstí hlavního návěstidla kryjícího místo ohrožení do okamžiku zastavení nebo průjezdu vlaku (9 s. 13).

⁶ Složky PIPO:

t_1 – představuje zjištění, že vlak odjel nebo projel celý (od okamžiku odjezdu nebo průjezdu vlaku do okamžiku, kdy konec vlaku uvolní místo možného vzájemného ohrožení)

t_2 – zrušení vlakové cesty (od postavení vjezdového návěstidla na „Stůj“ do uvolnění závěru výměn, popř. i odhláškou)

t_3 – příprava vlakové cesty (popř. i nabídka a přijetí nebo žádost o souhlas a jeho udělení), od zjišťování volnosti vlakové cesty do postavení odjezdového návěstidla a jeho předvěsti na návěst dovolující, délka intervalu ovlivněna SZZ

t_4 – výprava vlaku (od postavení hlavního návěstidla na návěst dovolující jízdu pro odjíždějící vlak do uvedení vlaku do pohybu) (8 s. 46-47).

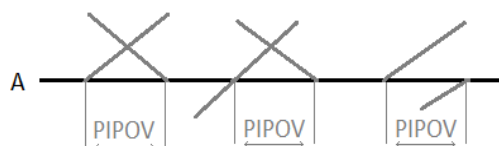
⁷ Složky PIPOV:

t_1 – představuje zjištění, že vlak odjel nebo projel celý (od okamžiku odjezdu nebo průjezdu vlaku do okamžiku, kdy konec vlaku uvolní místo možného vzájemného ohrožení)

t_2 – zrušení vlakové cesty (od postavení vjezdového návěstidla na „Stůj“ do uvolnění závěru výměn, popř. i odhláškou)

t_3 – příprava vlakové cesty (od zjištění volnosti vlakové cesty do postavení hlavního návěstidla a jeho předvěsti před místem možného vzájemného ohrožení na návěst dovolující jízdu)

t_4 – od okamžiku, kdy je čelo vlaku před předvěstí hlavního návěstidla kryjícího místo ohrožení do okamžiku zastavení nebo průjezdu vlaku (9 s. 14).



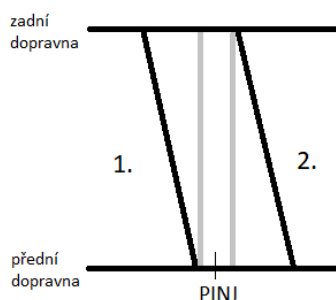
Obr. 12 Schéma PIPOV Zdroj: (autorka)

2.2.2 Traťové provozní intervaly

Místo ohrožení je zde prostorový oddíl, kdy první vlak opouští prostorový oddíl a druhý do něho vjíždí. Stanovuje se pro všechny dopravní, případně stanoviště na širé trati, v nichž druhý vlak do prostorového oddílu vstupuje.

2.2.2.1 Provozní intervaly následné jízdy (PINJ)

Vyjadřující nejkratší dobu mezi okamžikem příjezdu nebo průjezdu vlaku prvního v přední dopravě (v níž vlak opouští prostorový oddíl) a okamžikem odjezdu nebo průjezdu druhého vlaku stejného směru v zadní dopravě (v níž druhý vlak vstupuje do prostorového oddílu)⁸.



Obr. 13 Schéma PINJ Zdroj: (autorka)

2.2.2.2 Provozní intervaly protisměrné jízdy (PIPJ)

Definován jako nejkratší dobu mezi okamžikem, kdy první vlak opustil prostorový oddíl a okamžikem odjezdu nebo průjezdu druhého vlaku opačného směru⁹.

⁸ Složky PINJ:

t₁ – zjištění, zda vlak uvolnil prostorový oddíl (od okamžiku uvolnění místa ohrožení do zastavení nebo průjezdu prvního vlaku), délka intervalu ovlivněna SZZ a TZZ

t₂ – zrušení cesty v přední dopravě

t₃ – postavení cesty pro druhý vlak v zadní dopravě

t₄ – výprava vlaku u vlaku odjíždějícího, u projíždějícího jízda od okamžiku, kdy je čelo vlaku na dohlednost před předvěstí odjezdového/vjezdového nebo oddílového návěstidla do okamžiku průjezdu

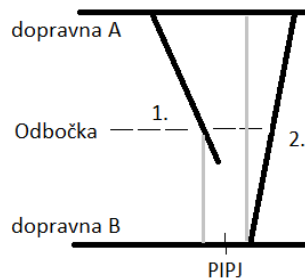
⁹ Složky PIPJ:

t₁ – zjištění, zda vlak uvolnil prostorový oddíl (od okamžiku uvolnění místa ohrožení do zastavení nebo průjezdu prvního vlaku), délka intervalu ovlivněna SZZ a TZZ

t₂ – zrušení cesty v přední dopravě

t₃ – postavení cesty pro druhý vlak v zadní dopravě

t₄ – výprava vlaku u vlaku odjíždějícího, u projíždějícího jízda od okamžiku, kdy je čelo vlaku na dohlednost před předvěstí odjezdového/vjezdového nebo oddílového návěstidla do okamžiku průjezdu



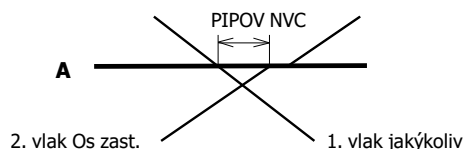
Obr. 14 Schéma PIPJ Zdroj: (autorka)

2.2.3 Nástupištní provozní intervaly

Jedná se o interval postupného odjezdu a vjezdu a stanovujeme ho pouze pro vlaky s přepravou cestujících, jejichž vlakové cesty se vzájemně nevyklučují. Tyto intervaly zjišťujeme tam, kde může dojít k ohrožení bezpečnosti cestujících při vystupování a nastupování, tj. ve stanicích bez peronizace ležicích na vícekolejných tratích nebo na zastávkách dvoukolejných tratí, kde je vybudováno pouze jedno nástupiště pro obě traťové koleje. (8 s. 58)

2.2.3.1 Provozní interval pro vjezd druhého vlaku osobního zastavujícího (PIPOV-NVC)

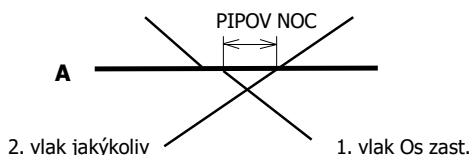
Vyjadřující nejkratší dobu mezi odjezdem nebo průjezdem libovolného vlaku z koleje ležící blíže k výpravní budově a vjezdem osobního vlaku, který zastavuje na koleji vzdálenější od výpravní budovy.



Obr. 15 Schéma PIPOV-NVC Zdroj: (8 s. 59)

2.2.3.2 Provozní interval pro odjezd prvního vlaku osobního zastavujícího (PIPOV-NOC)

Jedná se o nejkratší dobu mezi odjezdem osobního vlaku, který zastavuje na koleji vzdálenější od výpravní budovy, a vjezdem nebo průjezdem libovolného vlaku na kolej ležící blíž k výpravní budově.



Obr. 16 Schéma PIPOV-NOC Zdroj: (8 s. 59)

2.2.4 Následná a příjezdná mezidobí

Následná a příjezdná mezidobí jsou stanovena pro každý druh vlaku zvlášť a při výpočtu se neslučují vlaky zastavující a projíždějící.

2.2.4.1 Následná mezidobí

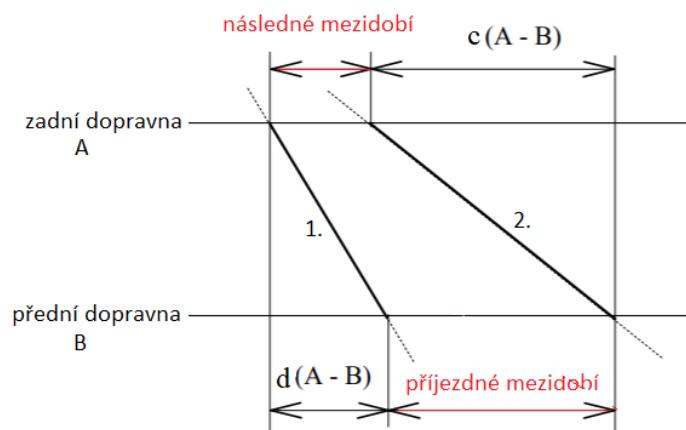
Doba mezi odjezdem (průjezdem) prvního vlaku ze stanice nebo odbočky a odjezdem (průjezdem) druhého vlaku z téže stanice nebo odbočky po téže traťové koleji do téhož prostorového oddílu. Výpočet následného mezidobí se provádí pro přední dopravnu.

Délka následného mezidobí závisí na druhu traťového a staničního zabezpečovacího zařízení, rychlosti a délce vlaků, délce a konfiguraci stanic, počtu a délce prostorových oddílů v mezistaničních úsecích a na předepsané technologii práce při přijímání a výpravě vlaků (10 s. 35)

2.2.4.2 Příjezdná mezidobí

Nejkratší dobu mezi příjezdem (průjezdem) prvního vlaku a příjezdem (průjezdem) druhého vlaku do stejné (přední) dopravní z téže traťové koleje. Výpočet se provádí pro zadní dopravnu.

Příjezdné mezidobí se vypočítá jako součet následného mezidobí a doby jízdy druhého vlaku v mezistaničním úseku c zmenšený o dobu jízdy prvního vlaku v mezistaničním úseku d .



Obr. 17 Schéma následného a příjezdného mezidobí Zdroj: (autorka)

3 IDENTIFIKACE PŘÍPADŮ VLIVU ETCS NA JÍZDNÍ DOBU NEBO PROVOZNÍ INTERVAL

Na tranzitních koridorech České republiky zavádí Správa železnic evropský vlakový zabezpečovač úrovně 2 (dále ETCS). Zároveň zde roste provoz na hlavních železničních trasách a s ním i problémy s průjezdnou kapacitou. Tratě zde nejsou funkčně oddělené, takže se na nich setkává osobní i nákladní doprava. Na horní hranici využití kapacity tratí jsou zejména příměstské úseky tranzitních koridorů, kde dochází k souběhu dálkové a regionální dopravy. Tendence růstu provozu se očekává i nadále, je tedy nutné hledat způsoby, jak kapacitu dopravní cesty zvýšit. ETCS v tomto případě může být nástrojem ke zvýšení kapacity dopravní cesty.

Zásadní změnou po zavedení systému ETCS je způsob, jakým lze definovat rychlostní profil. Bod zlomu rychlostního profilu nebude omezen návěstmi a návěstidly, nýbrž bude situován dynamicky. Možnost zvýšení přesnosti jízdy vlaku nabízí zabezpečovač v oblasti brzdných křivek, kdy křivku neurčí strojvedoucí podle odhadu, ale bude vypočtena samotným systémem. Dle brzdných schopností a okamžité rychlosti vlaku lze pod dohledem ETCS substituovat jednotnou zábrzdnu vzdálenost vzdáleností individuální.

Z hlediska provozních intervalů je přínosem zajištění přímé boční ochrany bez odvrátne výhybky a nutnosti snižování rychlosti předjíždějících vlaků (odpadají vlakové cesty s omezením). Předjížděný vlak je možné vypravit bezprostředně po průjezdu předjíždějího vlaku, protože prostorové oddíly lze rozdělit na dílčí části, tím se zkracují následná mezidobí. Nově půjde zabezpečit i vjezd na obsazenou kolej (12 s. 2).

3.1 Vliv systému ETCS na jízdní dobu

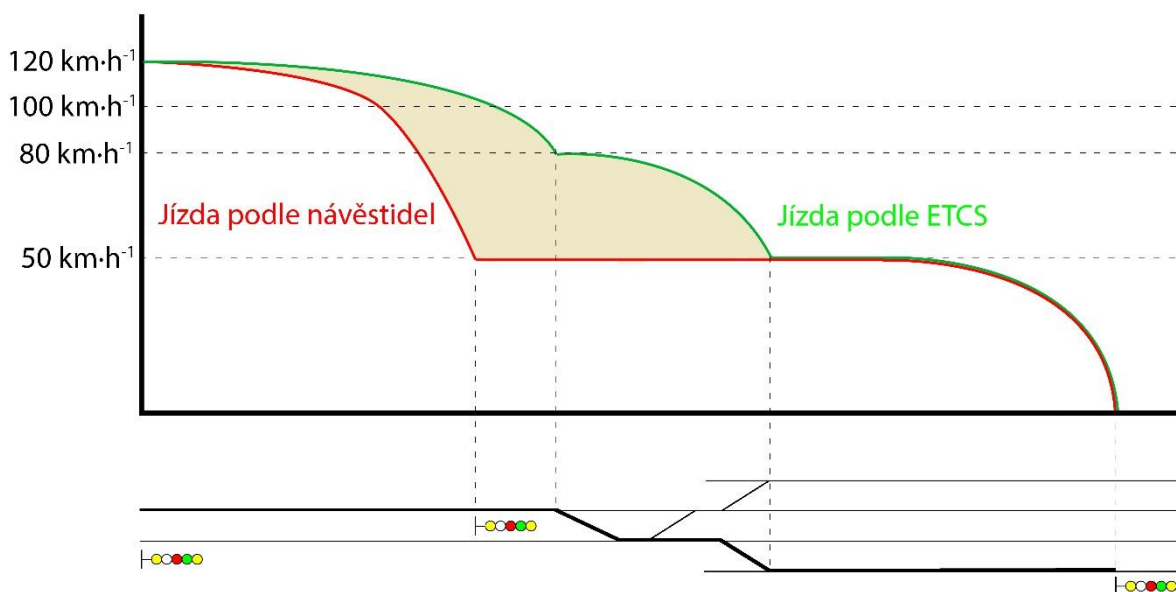
3.1.1 Zvýšení povolené rychlosti

Díky ETCS bude možné zvýšit rychlost nad $160 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, což je v současnosti nejvyšší povolená rychlost na českých tratích, i když tuzemští dopravci provozují vlaky schopné rychlostí vyšších. Dohled ETCS na jízdu vlaku je jen jedna z podmínek pro zvýšení povolené rychlosti, nutností je celkové prověření stavebních parametrů tratí.

Výrazným počinem ve zvyšování rychlosti nad $160 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ byly zkušební a testovací jízdy dne 9. prosince 2019. V úseku Břeclav – Vranovice byly realizovány jízdy rychlostí $200 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Využila se pro ně lokomotiva Siemens Vectron, která je plně vybavena palubní částí evropského vlakového zabezpečovacího systému ETCS. Testy se zaměřily na chování systému ETCS při rychlostech nad $160 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (13).

3.1.2 Jízda vlaku v obvodu výhybek přilehlých k hlavnímu návěstidlu

Časová úspora bude vznikat i v případě jízdy vlaku přes výhybky přilehlých k hlavnímu návěstidlu. Na obrázku č. 22 je znázorněna možnost zvýšení rychlosti při pojíždění výhybek na zhlaví a záhlaví.



Obr. 18 Časová úspora při jízdě vlaku v obvodu výhybek přilehlých k hlavnímu návěstidlu Zdroj: (autorka)

V úseku mezi návěstidlem a tzv. rozhodnou výhybkou¹⁰ se bude vlak pod dohledem ETCS pohybovat rychleji (bude snižovat rychlost k místu ohrožení nikoliv k návěstidlu). Zároveň je zde rozdíl v rychlostech při pojíždění zhlaví stanice. Při absenci systému ETCS je vlaku návěstěna rychlost podle výhybky s nejnižší konstrukční rychlostí. V případě vlaku vybaveného ETCS bude možné projíždět přes tyto výhybky právě jejich konstrukční rychlostí.

3.1.3 Existence přejezdu v obvodu výhybek přilehlých k hlavnímu návěstidlu

Zvyšování rychlosti se systémem ETCS v části zhlaví může být problematické, pokud se v obvodu výhybek přilehlých k hlavnímu návěstidlu nachází přejezd. V tomto případě se bude posuzovat nastavení rychlosti jízdy vlaku na přibližovacím úseku.

„Z hlediska omezení rychlosti jízdy vlaku se rozhodným pro úpravu rychlosti ETCS stane právě tento přibližovací úsek přejezdu (který může počítat s rychlostí 40 km/h od hlavního návěstidla) a tím neumožní využít potenciál štíhlých výhybek v obvodu zhlaví a současně

¹⁰ Za rozhodnou výhybku bude označena výhybka, kterou vlak musí pojíždět sníženou rychlostí (první výhybka ve směru jízdy vlaku neumožňující průjezd plnou traťovou rychlostí).

neumožní využít možné zvýšení rychlosti pro stávající jízdu sníženou rychlostí danou technickými dispozicemi dané vlakové cesty na danou kolej po zavedení ETCS.“ (12 s. 4).

3.2 Vliv systému ETCS na provozní intervaly

Vliv implementace systému ETCS lze pozorovat i u traťových intervalů. Zde přichází možnost krácení provozního intervalu následné jízdy. Kratší časový rozstup mezi prvním a následným vypraveným vlakem umožňuje zabezpečovač díky jeho schopnosti generovat konkrétní brzdovou křivku dle parametrů vlaku. Na stávajícím záhlaví stanice bude nutné vytvořit další prostorový oddíl (bez nutnosti zřízení návěstidla) ke zjištění vjezdu celého vlaku za tento bod (12 s. 4).

Další možností krácení provozního intervalu se nabízí u následných mezidobí. Nově bude možné vytvořit další prostorový oddíl na stávajícím záhlaví stanice bez nutnosti zřizovat návěstidlo. Dosáhnutí zkrácení této doby do okamžiku druhého (následujícího) vlaku bude možné dosáhnout vhodným nastavením ETCS L2 (12 s. 4).

4 VÝPOČET JÍZDNÍCH DOB PŘED A PO ZAVEDENÍ SYSTÉMU ETCS

V této kapitole bakalářské práce jsem se zaměřila na konkrétní příklady výpočtů jízdních dob jak před zavedením, tak po zavedení systému ETCS. Cílem následujících výpočtů je demonstrovat vliv implementace systému ETCS na jízdní dobu.

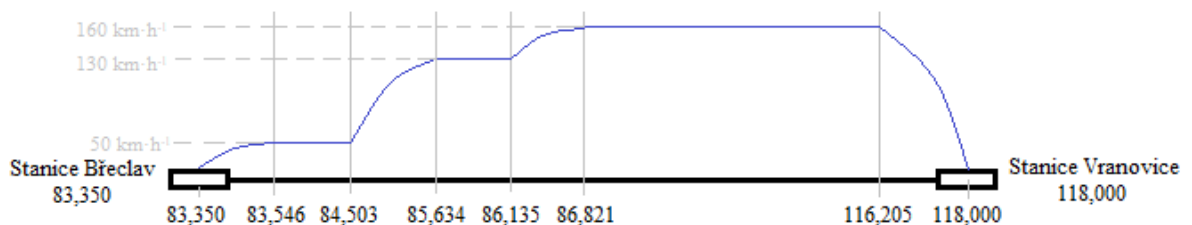
4.1 Výpočet jízdní doby – Zvýšení rychlosti

Pozitivní vliv na jízdní dobu, ve smyslu jejího zkrácení, budeme moci pozorovat na úsecích, kde se po implementaci systému ETCS zvýší povolená rychlost nad $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3, dne 9. prosince 2019 v úseku Břeclav – Vranovice byly realizovány jízdy rychlostí $200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Využitá lokomotiva byla plně vybavena palubní částí evropského vlakového zabezpečovacího systému ETCS a testy se zaměřily na chování systému ETCS při rychlostech nad $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (13).

Výpočet níže demonstruje jízdní doby právě v úseku Břeclav – Vranovice při rychlostech $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a $200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

4.1.1 Jízdní doba v úseku Břeclav – Vranovice při rychlosti $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

V následujících krocích je proveden výpočet jízdní doby v úseku Břeclav – Vranovice při rychlosti $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Staničení a průběh jízdy je uveden v následujícím obrázku.



Obr. 19 Staničení a průběh jízdy vlaku v úseku Břeclav – Vranovice ($160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) Zdroj: (autorka)

Výpočet se skládá z následujících kroků:

- Zrychlení vlaku z $0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ na $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (km 83,350)

$$t = \frac{v - v_0}{a} = \frac{13,89}{0,5} = 28 \text{ s}$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 28^2 = 196 \text{ m}$$

- Od km 83,546 jízda rychlostí $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ po výhybku č. 111 v km 84,503:

$$84,503 - 83,546 = 0,957 \text{ km}$$

$$t = \frac{s}{v} = \frac{957}{13,89} = 69 \text{ s}$$

- Od výhybky č. 111 (km 84,503) zvyšování rychlosti z $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ na rychlost $130 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$:

$$83,503 + 1,131 = \text{km } 85,634$$

$$t = \frac{v - v_0}{a} = \frac{36,11 - 13,89}{0,5} = 45 \text{ s}$$

$$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 13,89 \cdot 45 + \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 45^2 = 1131 \text{ m}$$

- Mezi kilometrem 85,634 a 86,135 jízda konstantní rychlostí $130 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$:

$$86,135 - 85,634 = 0,501 \text{ km}$$

$$t = \frac{s}{v} = \frac{501}{36,11} = 14 \text{ s}$$

- Od odjezdového návěstidla v km 86,135 zvyšování rychlosti na $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$:

$$86,135 + 0,686 = \text{km } 86,821$$

$$t = \frac{v - v_0}{a} = \frac{44,44 - 36,11}{0,5} = 17 \text{ s}$$

$$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 36,11 \cdot 17 + \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 17^2 = 686 \text{ m}$$

- Jízda konstantní rychlostí $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ od km 86,821 až do km 116,205:

$$116,205 - 86,821 = 29,384 \text{ km}$$

$$t = \frac{s}{v} = \frac{29384}{44,44} = 662 \text{ s}$$

- V km 116,205 začátek snižování rychlosti a zastavení ve stanici Vranovice v km 118,000 na druhé staniční koleji:

$$118,000 - 1,795 = \text{km } 116,205$$

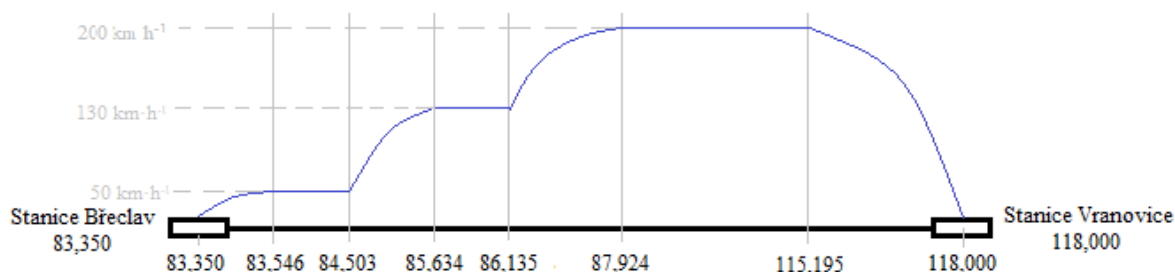
$$t = \frac{v_0 - v}{a} = \frac{44,44}{0,55} = 81 \text{ s}$$

$$s = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 44,44 \cdot 81 - \frac{1}{2} \cdot 0,55 \cdot 81^2 = 1795 \text{ m}$$

Celková jízdní doba činí 916 sekund, tedy 15 minut a 16 vteřin.

4.1.2 Jízdní doba v úseku Břeclav – Vranovice při rychlosti 200 km·h⁻¹

V následujících výpočtech je proveden výpočet jízdní doby v úseku Břeclav – Vranovice při rychlosti 200 km·h⁻¹. Staničení a průběh jízdy je uveden v následujícím obrázku.



Obr. 20 Staničení a průběh jízdy vlaku v úseku Břeclav – Vranovice (200 km·h⁻¹) Zdroj: (autorka)

Výpočet se skládá z následujících kroků:

- Zrychlení vlaku z 0 km·h⁻¹ na 50 km·h⁻¹ (km 83,350)

$$t = \frac{v - v_0}{a} = \frac{13,89}{0,5} = 28 \text{ s}$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 529 = 196 \text{ m}$$

- Od km 83,483 jízda rychlostí 50 km·h⁻¹ po výhybku č. 111 v km 84,503:

$$84,503 - 83,546 = 0,957 \text{ km}$$

$$t = \frac{s}{v} = \frac{957}{13,89} = 69 \text{ s}$$

- Od výhybky č. 111 (km 84,503) zvyšování rychlosti z 50 km·h⁻¹ na rychlost 130 km·h⁻¹:

$$83,503 + 1,131 = \text{km } 85,634$$

$$t = \frac{v - v_0}{a} = \frac{36,11 - 13,89}{0,5} = 45 \text{ s}$$

$$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 13,89 \cdot 45 + \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 2025 = 1131 \text{ m}$$

- Mezi kilometrem 85,634 a 86,135 jízda konstantní rychlostí 130 km·h⁻¹:

$$86,135 - 85,634 = 0,501 \text{ km}$$

$$t = \frac{s}{v} = \frac{501}{36,11} = 14 \text{ s}$$

- Od odjezdového návěstidla v km 86,135 zvyšování rychlosti na $200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$:

$$86,135 + 1,789 = \text{km } 87,924$$

$$t = \frac{v - v_0}{a} = \frac{55,55 - 36,11}{0,5} = 39 \text{ s}$$

$$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 36,11 \cdot 39 + \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 1521 = 1789 \text{ m}$$

- Jízda konstantní rychlostí $200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ od km 87,924 až do km 115,195:

$$115,195 - 86,821 = 28,374 \text{ km}$$

$$t = \frac{s}{v} = \frac{28374}{55,55} = 511 \text{ s}$$

- V km 115,195 začátek snižování rychlosti a zastavení ve stanici Vranovice v km 118,000 na druhé staniční koleji:

$$118,000 - 115,195 = 2,805 \text{ km}$$

$$t = \frac{v_0 - v}{a} = \frac{55,55}{0,55} = 101 \text{ s}$$

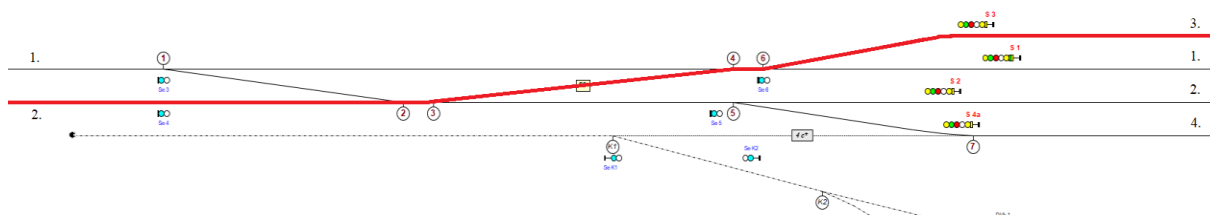
$$s = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 55,55 \cdot 101 - \frac{1}{2} \cdot 0,55 \cdot 10201 = 2805 \text{ m}$$

Celková jízdní doba činí 807 sekund, tedy 13 minut a 27 vteřin.

4.2 Výpočet jízdní doby – jízda vlaku v obvodu výhybek přilehlých k hlavnímu návěstidlu

Výpočty níže vyjadřují časovou úsporu v případě, kdy se vlak pod dohledem ETCS pohybuje rychleji v úseku mezi hlavním návěstidlem a místem ohrožení (rozhodnou výhybkou). Zároveň při poježdění zhlaví stanice vlakem nevybaveného ETCS se návěstí rychlost podle výhybky s nejnižší konstrukční rychlostí. Časová úspora vznikne tehdy, pokud bude vlak vybaven evropským zabezpečovačem a bude tedy možné poježdět výhybky právě jejich konstrukční rychlostí.

Pro tyto výpočty byla zvolena stanice Rájec-Jestřebí, kterou jsem vybrala z důvodu jejího dlouhého záhlaví (ze směru Blansko) a zároveň z důvodu existence přejezdu v obvodu výhybek přilehlých k hlavnímu návěstidlu (ze směru Skalice nad Svitavou). Na schématu níže je zakreslena vybraná trasa jízdy vlaku. Ve vyznačené vlakové cestě se nachází dvě výhybky – výhybka č. 3, která je konstruována na rychlost $80 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a výhybka č. 6, která je konstruována na rychlost $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.



Obr. 20 Trasa jízdy vlaku (ze směru Blansko) Zdroj: (autorka na podkladě „Plánky stanic“ z PPD¹¹)

4.2.1 Jízda vlaku bez ETCS v obvodu výhybek přilehlých k hlavnímu návěstidlu

První výpočet ukazuje situaci, kdy přijíždějící vlak do stanice není vybaven systémem ETCS – jeho rychlost se snižuje z traťové rychlosti $140 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ na rychlost $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ k vjezdovému návěstidlu, od tohoto bodu pokračuje sníženou rychlostí přes záhlaví a zhlaví. Následně zastaví na koleji č. 3 v km 185,291.

V následujících krocích je proveden výpočet jízdní doby přijíždějícího vlaku ze směru Blansko bez ETCS. Výpočet se skládá z následujících kroků:

- Brzdění ze $140 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ na $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ k vjezdovému návěstidlu v km 183,549:

$$t = \frac{v_0 - v}{a} = \frac{38,89 - 16,67}{0,55} = 40 \text{ s}$$

$$s = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 38,89 \cdot 40 - \frac{1}{2} \cdot 0,55 \cdot 40^2 = 1116 \text{ m}$$

¹¹ PPD – Portál provozování dráhy

- Jízda konstantní rychlostí $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$:

$$185,038 - 183,549 = 1,489 \text{ km}$$

$$t = \frac{s}{v} = \frac{1489}{16,67} = 89 \text{ s}$$

- Začátek snižování rychlosti a zastavení ve stanici Rájec-Jestřebí v km 185,291 na koleji č. 3:

$$185,291 - 185,038 = 0,253 \text{ km}$$

$$t = \frac{v_0 - v}{a} = \frac{16,67}{0,55} = 30 \text{ s}$$

$$s = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 16,67 \cdot 30 - \frac{1}{2} \cdot 0,55 \cdot 30^2 = 253 \text{ m}$$

Jízdní doba v tomto případě činí 159 sekund, tedy 2 minuty a 39 vteřin.

4.2.2 Jízda vlaku s ETCS L2 v obvodu výhybek přilehlých k hlavnímu návěstidlu

Oproti tomu druhý příklad počítá se zavedeným systémem ETCS. Zde je patrný rozdíl v rychlosti poježděných úseků. Vlak snižuje svou rychlost ze $140 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ na $80 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ k rozhodné výhybce (mezi hlavním návěstidlem a rozhodnou výhybkou se vlak pohybuje rychleji) a touto rychlostí ji projíždí. Dále vlak brzdí a projíždí druhou výhybku rychlostí $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a zastaví na koleji č. 3 v km 185,291. Rozhodná výhybka se nachází v km 184,395.

V následujících krocích je proveden výpočet jízdní doby přijíždějícího vlaku ze směru Blansko s ETCS. Výpočet se skládá z následujících kroků:

- Brždění ze $140 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ na $80 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ke km 184,395:

$$t = \frac{v_0 - v}{a} = \frac{38,89 - 22,22}{0,55} = 30 \text{ s}$$

$$s = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 38,89 \cdot 30 - \frac{1}{2} \cdot 0,55 \cdot 30^2 = 919 \text{ m}$$

- Jízda konstantní rychlostí $80 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ přes výhybku:

$$184,395 - 184,337 = 0,058 \text{ km}$$

$$t = \frac{s}{v} = \frac{58}{22,22} = 3 \text{ s}$$

- V km 184,337 začátek snižování rychlosti na $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$:

$$t = \frac{v_0 - v}{a} = \frac{22,22 - 16,67}{0,55} = 10 \text{ s}$$

$$s = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 22,22 \cdot 10 - \frac{1}{2} \cdot 0,55 \cdot 10^2 = 195 \text{ m}$$

- Od km 184,532 jízda konstantní rychlostí 60 km·h⁻¹:

$$185,038 - 184,532 = 0,506 \text{ km}$$

$$t = \frac{s}{v} = \frac{506}{16,67} = 30 \text{ s}$$

- Od km 184,532 začne brzdit a zastaví ve stanici Rájec-Jestřebí v km 185,291 na koleji č. 3:

$$185,291 - 0,253 = \text{km } 185,038$$

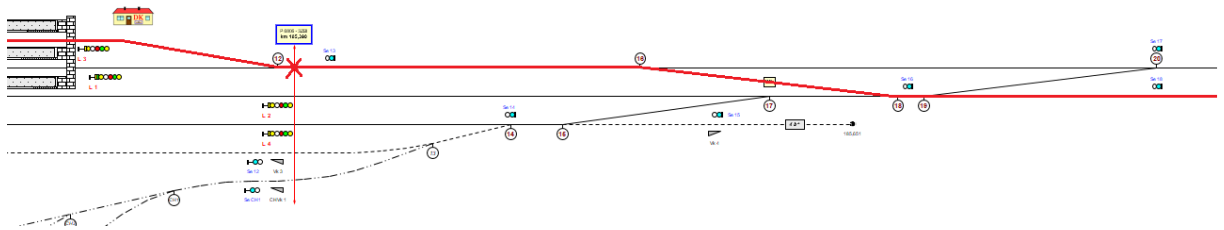
$$t = \frac{v_0 - v}{a} = \frac{16,67}{0,55} = 30 \text{ s}$$

$$s = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 16,67 \cdot 30 - \frac{1}{2} \cdot 0,55 \cdot 30^2 = 253 \text{ m}$$

Jízdní doba činí v tomto případě 103 vteřin, tedy 1 minuta a 43 vteřin.

4.3 Výpočet jízdní doby – existence přejezdu v obvodu výhybek přilehlých k hlavnímu návěstidlu

Problematickou situací se stává existence přejezdu nebo přibližovacího úseku přejezdu v obvodu výhybek přilehlých k hlavnímu návěstidlu. V tomto úseku nelze jednoduše zvýšit rychlost bez posouzení, zda skutečná přibližovací doba vlaku není kratší než požadovaná přejezdem. Na schématu níže je zakreslená trasa jízdy vlaku napříč záhlavím s označeným přejezdem č. 6806, který se nachází v km 185,390.



Obr. 21 Trasa jízdy vlaku (ze směru Skalice nad Svitavou) Zdroj: (autorka na podkladě „Plánky stanic“ z PPD)

Metodika výpočtu dob u světelného přejezdového zabezpečovacího zařízení vychází z normy ČSN 34 2650 (příloha D). Pro přejezd č. 6806 je uveden následující výpočet:

Délka směrodatná pro výpočet vyklizovací doby – „d_T“:

$$d_T = d_p + d_s^{12} + 30 + 22 = 52 \text{ m}$$

Vyklizovací doba – „t_V“ u přejezdu s celými závory:

¹² kde:

d_p – délka pásma přejezdu d_p je délka pozemní komunikace, ve které se nesmí nacházet silniční vozidlo v době jízdy drážního vozidla. Je to délka pozemní komunikace od místa zastavení čela silničního vozidla:

a) k nejbližšímu konci břežna závory, je-li za přejezdem závora
b) k hranici nebezpečného pásma za přejezdem, není-li za přejezdem závora

d_s – délka silničního vozidla je zpravidla:

a) u přejezdu d_s = 22; b) u přechodu nebo křížení s cyklistickou stezkou d_s = 3 m

$$t_V = 3,6 \cdot d_T \cdot V_s^{-113} = 3,6 \cdot 52 \cdot 3^{-1} = 62,4 \text{ s}$$

Přibližovací doba – „ t_L “ u přejezdu s celými závoryami:

$$t_L = t_r + t_V + t_{b1} + t_{b2} + t_u^{14} = 1 \cdot 62,4 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 10 = 82,4 \text{ s}$$

Délka přibližovacího úseku – „ L_p “:

$$L_p = V_t \cdot t_L \cdot 3,6^{-115} = 120 \cdot 82,4 \cdot 3,6^{-1} = 2\,746 \text{ m}$$

Z výpočtu zjistíme nastavenou přibližovací dobu přejezdu ve stanici Rájec-Jestřebí, která činí 82,4 sekund a přibližovací úsek přejezdu v délce 2 746 kilometru. Pokud se přejezd nachází v km 185,390, přičtením přibližovacího úseku zjistíme počátek tohoto úseku, a to v km 188,136.

Po určení jízdní doby pod dohledem ETCS je možné porovnat výsledek s požadovanou přibližovací dobou přejezdu a zjistit, zda lze zvýšit rychlost vlaku na zhlaví a záhlaví a využít potenciál štíhlých výhybek. Pro porovnání jízdních dob je uveden výpočet jak se zavedeným systémem, tak i bez něho.

4.3.1 Výpočet jízdní doby v přibližovacím úseku přejezdu č. 6806 bez ETCS

Z přechozích výpočtů bylo zjištěno, že přibližovací úsek leží mezi km 185,390 a 188,136. V následujících krocích je proveden výpočet jízdní doby přijíždějícího vlaku ze směru Skalice nad Svitavou v přibližovacím úseku bez ETCS. Výpočet se skládá z následujících kroků:

- Jízda konstantní rychlostí 120 km·h⁻¹ od km 188,136 do km 186,808:

$$188,136 - 186,791 = 1,345 \text{ km}$$

$$t = \frac{s}{v} = \frac{1345}{33,33} = 40 \text{ s}$$

- Brzdění na 60 km·h⁻¹ k vjezdovému návěstidlu v km 186,039:

$$186,791 - 186,039 = 0,752 \text{ km}$$

¹³ kde:

V_s - rychlost nejpomalejšího silničního vozidla (pro chodce a cyklisty je $V_s = 3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ a pro ostatní uživatele $V_s = 5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$)

d_T - délka směrodatná pro výpočet vyklizovací doby

¹⁴ kde:

t_r - doba od ovlivnění ovládacího prvku závislého na jízdě drážního vozidla do zahájení výstrahy (pokud není uvedeno jinak $t_r = 1 \text{ s}$)

t_V - vyklizovací doba

t_{b1} - základní bezpečnostní doba, tj. doba, která musí uplynout od skončení měření vyklizovací doby do příjezdu čela drážního vozidla na přejezd, $t_{b1} = 6 \text{ s}$

t_{b2} - přídavná bezpečnostní doba, tj. doba, která vyplývá z tolerancí při měření a zaokrouhlování, u nově projektovaných PZS $t_{b2} = 3 \text{ s}$

t_u - doba sklápění závory (pokud není udáno jinak $t_u = 10 \text{ s}$)

¹⁵ kde:

V_t - nejvyšší dovolená traťová rychlost před přejezdem

$$t = \frac{v_0 - v}{a} = \frac{33,33 - 16,67}{0,55} = 30 \text{ s}$$

$$s = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 33,33 \cdot 30 - \frac{1}{2} \cdot 0,55 \cdot 30^2 = 752 \text{ m}$$

- Jízda konstantní rychlostí $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ dokud nemine přejezd v km 185,390:

$$186,039 - 185,390 = 0,649 \text{ km}$$

$$t = \frac{s}{v} = \frac{649}{16,67} = 39 \text{ s}$$

Jízdní doba v tomto případě činí 109 sekund, tedy 1 minuta a 49 vteřin.

4.3.2 Výpočet s ETCS pro přibližovací úsek přejezdu č. 6806 s ETCS L2:

V následujících krocích je proveden výpočet jízdní doby příjezdového vlaku ze směru Skalice nad Svitavou v přibližovacím úseku s ETCS. Výpočet se skládá z následujících kroků:

- Jízda konstantní rychlostí $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ od km 188,136 do km 186,228:

$$188,136 - 186,228 = 1,908 \text{ km}$$

$$t = \frac{s}{v} = \frac{1908}{33,33} = 57 \text{ s}$$

- V km 186,228 začátek snižování rychlosti na $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ k rozhodné výhybce v km 185,671:

$$185,671 + 0,557 = \text{km } 186,228$$

$$t = \frac{v_0 - v}{a} = \frac{33,33 - 22,22}{0,55} = 20 \text{ s}$$

$$s = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 33,33 \cdot 20 - \frac{1}{2} \cdot 0,55 \cdot 20^2 = 557 \text{ m}$$

- Jízda konstantní rychlostí $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$:

$$185,671 - 185,581 = 0,09 \text{ km}$$

$$t = \frac{s}{v} = \frac{90}{16,67} = 6 \text{ s}$$

- Snižování rychlosti z $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ na $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ke km 185,386 (výhybka č. 12), během brzdění průjezd přejezdu č. 6806:

$$185,581 - 185,390 = 0,191 \text{ km}$$

$$s = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \Rightarrow 191 = 22,22 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot 0,55 \cdot t^2 \Rightarrow t = 9,8 \text{ s}$$

$$t = \frac{v_0 - v_x}{a} \Rightarrow 9,8 = \frac{22,22 - v_x}{0,55} \Rightarrow v_x = 61 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

Jízdní doba v tomto případě činí 93 sekund, tedy 1 minuta a 33 vteřin.

4.4 Výstupy z výpočtů

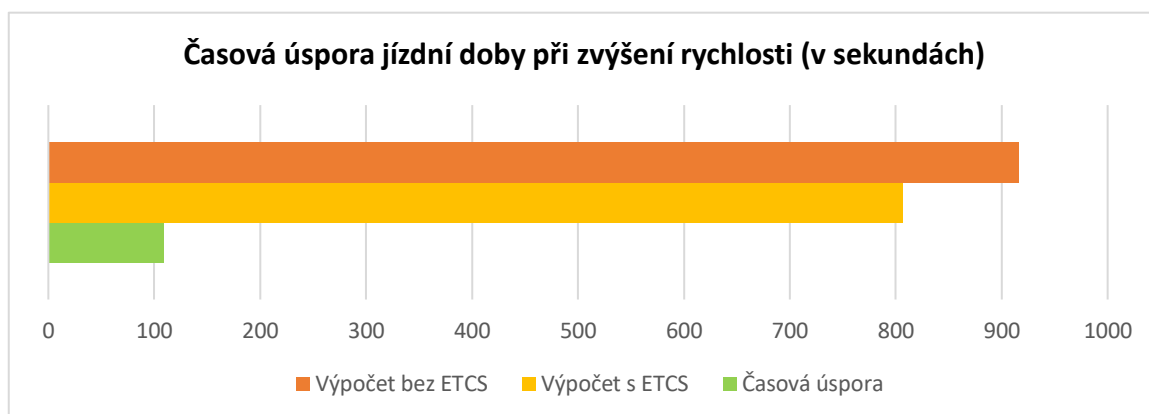
Dle předchozích výpočtů lze konstatovat, že zavedení ETCS L2 bude mít pozitivní vliv na jízdní dobu, jinak řečeno dojde k jejímu zkrácení. V této části kapitoly jsou shrnuty a graficky znázorněny konkrétní časové úspory.

Následující tabulka vyjadřuje časovou úsporu, která vznikne po implementaci systému ETCS L2 (zvýšení rychlosti závisí také na dalších aspektech, např. na stavu infrastruktury atp., nelze tedy zavést $200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ihned po zavedení ETCS L2).

V tabulce č. 2 můžeme vidět zkrácení jízdní doby při zvýšení rychlosti nad nynější povolené maximum ze $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ na $200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Tab. 2 Úspora na jízdní době úseku Břeclav – Vranovice Zdroj: (autorka)

Břeclav – Vranovice	$160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$	$200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$
Jízdní doba	916 s 15 minut a 16 vteřin	807 s 13 minut a 27 vteřin
Úspora na jízdní době	109 s = 1 minuta a 49 vteřin	
	Jízdní doba se zkrátí o 11,9 %	

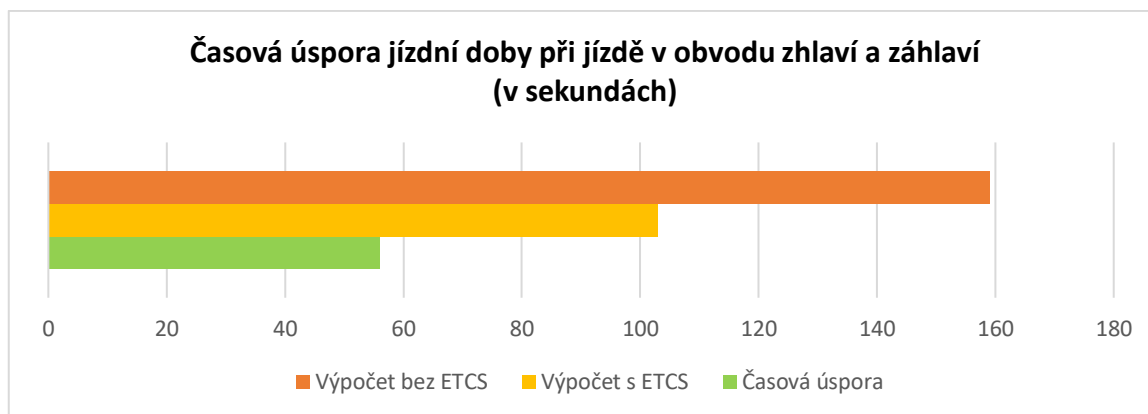


Obr. 21 Graf časové úspory na jízdní době při zvýšení rychlosti Zdroj: (autorka)

Tabulka č. 6 uvádí jízdní doby před a po zavedení systému ETCS na trati č. 260 ve stanici Rájec-Jestřebí. Zkrácení jízdní doby můžeme pozorovat při uvolňování zhlaví a záhlaví, kdy se vlak pohybuje rychleji v úseku mezi hlavním návěstídem a místem ohrožení (rozhodnou výhybkou). Zároveň při pojíždění zhlaví stanice vlakem nevybaveného ETCS se návěstí rychlost podle výhybky s nejnižší konstrukční rychlostí. Časová úspora vznikne tehdy, pokud bude vlak vybaven evropským zabezpečovačem a bude tedy možné pojíždět výhybky právě jejich konstrukční rychlostí.

Tab. 3 Úspora na jízdě v na zhlaví a záhlaví v ŽST Rájec-Jestřebí Zdroj: (autorka)

ŽST Rájec-Jestřebí	Před zavedením ETCS	Se zavedeným ETCS
Jízdni doba ze směru Blansko	159 s 2 minuty a 39 vteřin	103 s 1 minuta a 43 vteřin
Úspora na jízdě	56 sekund	
	Jízdni doba se zkrátí o 35 %	

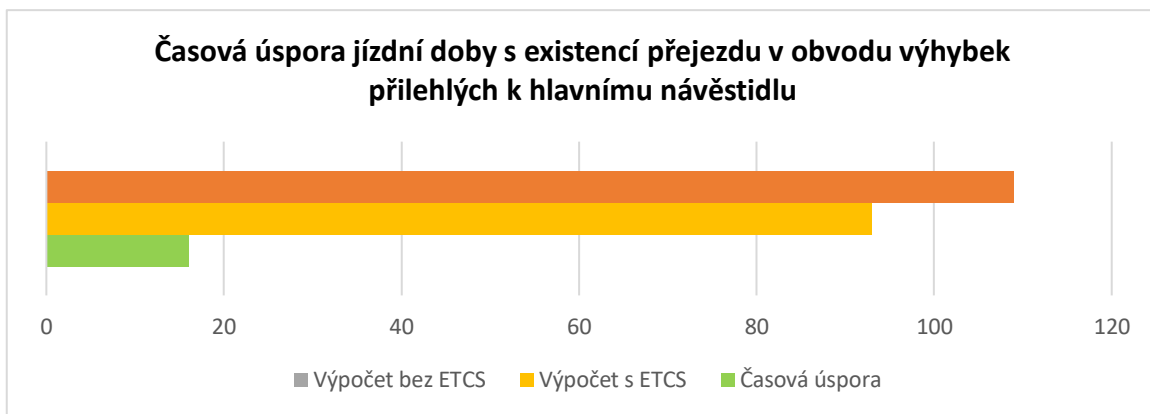


Obr. 22 Graf časové úspory na jízdě v na zhlaví a záhlaví v ŽST Rájec-Jestřebí Zdroj: (autorka)

V obvodu výhybek stanice Rájec-Jestřebí ze směru Skalice nad Svitavou se nachází přejezd. V tomto případě nebylo možné jednoduše zvýšit rychlost vlaku v oblasti zhlaví a záhlaví a bylo nutné posoudit, zda skutečná přibližovací doba vlaku není kratší než doba požadovaná přejezdem. Výpočtem jsem dospěla k přibližovacímu úseku v délce 2 746 metrů a požadované přibližovací době přejezdu 82,4 sekund. Vzhledem k porovnání skutečné jízdě doby pod dohledem ETCS v přibližovacím úseku přejezdu a požadované přibližovací době je možné konstatovat, že není nutné měnit konfiguraci přejezdu a lze tedy zvýšit rychlost na zhlaví a záhlaví stanice Rájec-Jestřebí ze směru Skalice nad Svitavou. Časovou úsporu vyjadřuje tabulka č. 5:

Tab. 4 Úspora na jízdě s existencí přejezdu v obvodu záhlaví stanice Rájec-Jestřebí Zdroj: (autorka)

ŽST Rájec-Jestřebí	Před zavedením ETCS	Se zavedeným ETCS
Jízdni doba ze směru Skalice nad Svitavou (v přibližovacím úseku přejezdu č. 6806)	109 s 1 minuta a 49 vteřin	93 s 1 minuta a 33 vteřin
Úspora na jízdě	16 sekund	
	Jízdni doba se zkrátí o 14,7 %	



Obr. 23 Úspora na jízdní době s existencí přejezdu v obvodu záhlaví stanice Rájec-Jestřebí Zdroj: (autorka)

ZÁVĚR

V analytické části práce autorka shrnula charakteristiku evropského vlakového zabezpečovače ETCS a problematiku výpočtů jízdních dob a provozních intervalů v ČR.

V praktické části se zaměřila na vliv implementace ETCS a jeho dopad na výpočet jízdních dob a provozních intervalů a zároveň byly identifikovány případy, kdy má systém ETCS vliv na tyto výpočty. Dále byly provedeny výpočty u konkrétních úseků.

Cílem této práce bylo porovnat výpočty jízdních dob před a po zavedení systému ETCS; tento cíl byl splněn.

Zvyšování maximální povolené rychlosti nad $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ je v současné době aktuální téma v ČR. Pro překročení této hranice je nutné splnit určité podmínky, jedna z nich znamená zajistit dohled ETCS na jízdu vlaku. Uvedeným příkladem bylo demonstrováno zkrácení jízdní doby v úseku Břeclav – Vranovice při jízdě vlaku maximální rychlostí $200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Jízdní dobu se v tomto případě podařilo snížit skoro o 12 % (z 15 minut a 16 vteřin na 13 minut a 27 vteřin).

V případě jízdy vlaku v obvodu výhybek přilehlých k hlavnímu návěstidlu bylo zjištěno, že se vlak vedeným systémem ETCS může pohybovat rychleji v úsecích zhlaví a záhlaví. Dochází tedy k rychlejšímu uvolňování těchto úseků, což může mít pozitivní vliv na stabilitu jízdního řádu. Výpočet jízdní doby se zaměřil na ŽST Rájec-Jestřebí jak ze směru Blansko, tak ze směru Skalice nad Svitavou. Ze směru Blansko se podařilo zkrátit jízdní dobu o 35 % (z 2 minut a 39 vteřin na 1 minutu a 43 vteřin).

V obvodu výhybek a skalickém záhlaví se nachází přejezd. Zde bylo nutné prověřit nastavení přejezdu tak, aby nedošlo ke zkrácení skutečné přibližovací doby vlaku, kterou požaduje konfigurace přejezdu. V tomto úseku byla jízdní doba zkrácena o necelých 15 % (z 1 minuty a 49 vteřin na 1 minutu a 15 vteřin) a zároveň byla dodržena požadovaná přibližovací doba vlaku.

Z výše uvedeného lze usoudit, že systém ETCS by mohl mít pozitivní dopad na kapacitu dráhy a na celkové zvýšení konkurenceschopnosti železniční dopravy vůči dopravě individuální/silniční.

SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- (1) WINTER, Peter a Jens BRABAND. *Compendium on ERTMS: European rail traffic management system*. 1st ed. Hamburg: Eurailpress, c2009, 260 s. ISBN 978-3-7771-0396-9.
- (2) *Národní implementační plán ERTMS* [online]. Praha: Ministerstvo dopravy, 2017 [cit. 2018-11-14]. Dostupné z: <https://www.mdcz.cz/getattachment/Dokumenty/Drazni-doprava/>
- (3) European Train Control System (ETCS). *European Train Control System (ETCS)* [online]. Paris: Thales Group, 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.thalesgroup.com/en/european-train-control-system-etcs>
- (4) *COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT: Delivering an effective and interoperable European Rail Traffic Management System (ERTMS) – the way ahead* [online]. Brusel: EUROPEAN COMMISSION, 2017 [cit. 2018-12-02]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/swd20170375-ertms>
- (5) *THE EUROPEAN RAIL TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM: ERTMS History* [online]. Belgie: UNIFE, 2013 [cit. 2018-12-02]. Dostupné z: <http://www.ertms.net>
- (6) *Aktuální informace o záměrech nasazování systému ERTMS v ČR* [online]. Plzeň: Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, 2016 [cit. 2018-12-02]. Dostupné z: <http://fel.zcu.cz/export/sites/fel/old/events/seminars/DE/doc/2016/04.pdf>
- (7) MATUŠKA, Jaroslav a Ivo HRUBAN. *TECHNOLOGIE A ŘÍZENÍ ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY*. Pardubice: Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera, 2011.
- (8) *Směrnice SŽDC č. 104: Provozní intervaly a následná mezidobí*. Praha: Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, 2013.
- (9) ČD D23: Služební předpis pro stanovení provozních intervalů a následných mezidobí. Praha: České dráhy, 2002.
- (10) ČD D2/1: *Doplňk s technickými údaji k dopravním předpisům*. Praha: České dráhy, 2006.
- (11) HRUBAN, Ivo, Petr NACHTIGALL a Ondřej ŠTĚPÁN. Přínosy zavedení ETCS z pohledu brzdných křivek. *Vědeckotechnický sborník ČD č. 40/2015*. Praha: České dráhy, 2015.
- (12) HRUBAN, Ivo, Petr NACHTIGALL a Ondřej ŠTĚPÁN. Přínosy zavedení ETCS z pohledu kapacity dráhy. *Vědeckotechnický sborník ČD č. 41/2016*. Praha: České dráhy, 2016.
- (13) Správa železnic testuje trať Břeclav – Vranovice na rychlost 200 km/h. *SPRÁVA ŽELEZNIC* [online]. Břeclav, 2020, 13. 1. 2020 [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://www.szdc.cz/-/sprava-zeleznic-testuje-trat-breclav-vranovice-na-rychlost-200-km-h>
- (14) ČSN 34 2650. *Železniční zabezpečovací zařízení. Přejezdová zabezpečovací zařízení. Ed. 2. ÚNMZ*, 2010
- (15) Interní dokument Stavební správy západ, Správa železnic, státní organizace, 2020

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Technologické časy.....	41
Příloha B – Plánky stanic.....	42
Příloha C – Parametry souprav.....	46
Příloha D – Výpočet dob u PZS.....	47

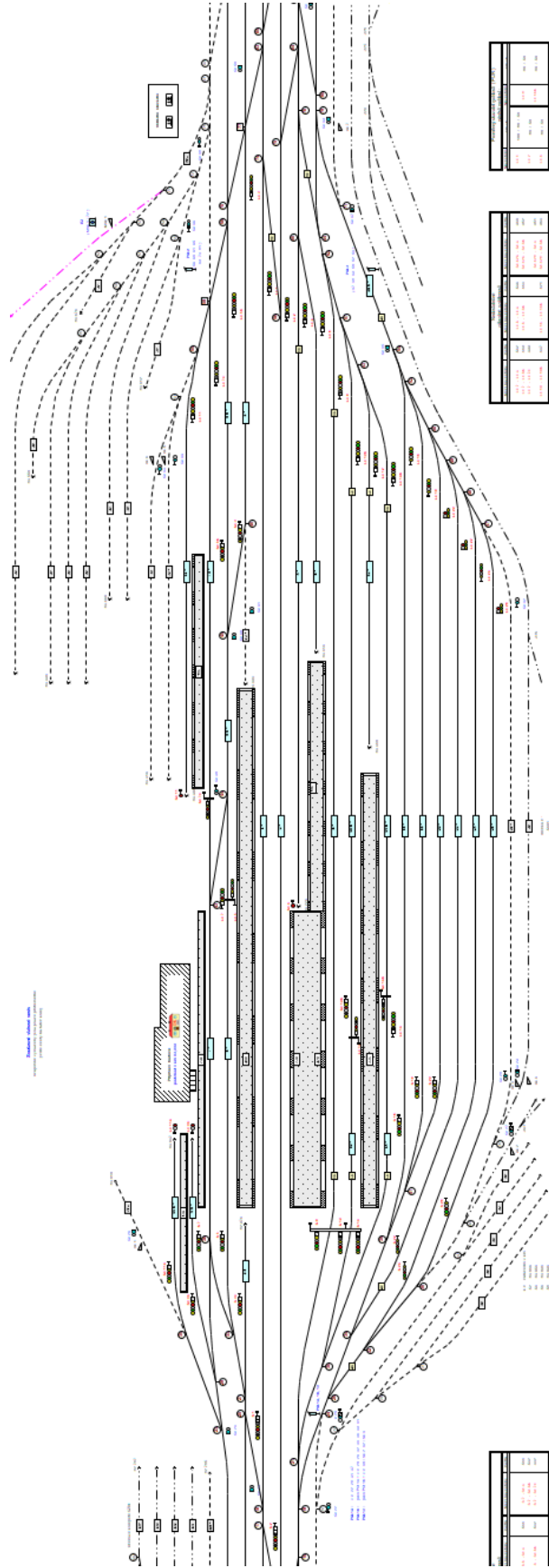
Příloha A – Technologické časy

Č.	Označení	Čas [min]	Popis činnosti
1	CHŮZE	0,10	Za každých 10 m chůze
2	PÁKA	0,05	Přestavení 1 páky (návěstní, výměnové, záporníkové)
3	TLAČÍTKO	0,05	Obsluha 1 řadiče, tlačítka, závěrníku
4	HRADLO	0,10	Obsluha 1 hradlového závěru
5	TELEFON	0,25	Telefonický hovor s jednou hovornou (odhláška-nabídka-přijetí, rozkaz k postavení vlakové cesty, hlášení "postaveno-volno" a p.
6	CESTA IND.	0,20	Postavení vlakové cesty na RZZ s individuální obsluhou výměn (jen A)
7	CESTA SKUP	0,10	Postavení vlakové cesty na RZZ se skupinovým stavěním vlakových cest
8	DOHLEDNOST	0,20	Doba určená pro strojvedoucího, aby pochopil změnu návěstí a správně na ni reagoval
9	NÁVRAT	0,10	Vstup osoby do dopravní kanceláře (návrat výpravčího)
10	HLÁŠENÍ	0,10	Rozkaz nebo hlášení dané osobně (rozkaz k postavení vlak.cesty, hlášení "postaveno-volno", hlášení, že vlak vjel celý a p.)
11	KNOFLÍK	0,05	Nastavení posuvného knoflíku včetně přeložení směrového závěrníku
12	BUDÍK	0,05	Zazvonění hradlovým budíkem (určení čísla koleje, potvrzení správnosti čísla koleje)
13	RADIO	0,25	Hlášení radiopojítkem, že vlak vjel celý
14	BUBEN	0,05	Zasunutí bubnu
15	ŽÁDOST	0,10	Žádost o souhlas (na hradlovém poloautobloku i RPB)
16	UDĚLENÍ HR.	n*0,10	Udělení souhlasu na hradlovém poloautobloku (n = počet prostorových oddílů)
17	UDĚLENÍ R.	n*0,05	Udělení souhlasu na RPB (n = počet prostorových oddílů)
18	VÝMĚNA 1	0,10	Ruční přestavení jedné výměny
19	VÝMĚNA 2	0,30	Přestavení a uzamčení výměny, nebyla-li předtím při jízdě po hrotu uzamčena
20	VÝMĚNA 3	0,40	Odemčení, přestavení a uzamčení výměny
21	VÝMĚNA 4	0,60	Vyjmutí klíče z EMZ, odemčení, přestavení a uzamčení jedné výměny, uzamčení klíče do EMZ
22	PŘEVZETÍ KL.	0,10	Převzetí klíčů z tabule
23	ZAVĚŠENÍ KL.	0,20	Zavěšení klíčů na tabuli
24	KONTROLA KL.	0,10	Kontrola klíčů zavěšených na tabuli
25	VYJMUTÍ KL.	0,05	Vyjmutí jednoho klíče z ústředního zámku, klíčového bubnového přístroje, EMZ
26	UZAMČENÍ KL.	0,05	Uzamčení jednoho klíče do ústředního zámku, klíčového bubnového přístroje, EMZ
27	KLÍČ	0,10	Zasunutí, otočení a vyjmutí klíče
28	KOLO	0,06	Za každých 10 m jízdy na kole

Zdroj: Předpis ČD D 23

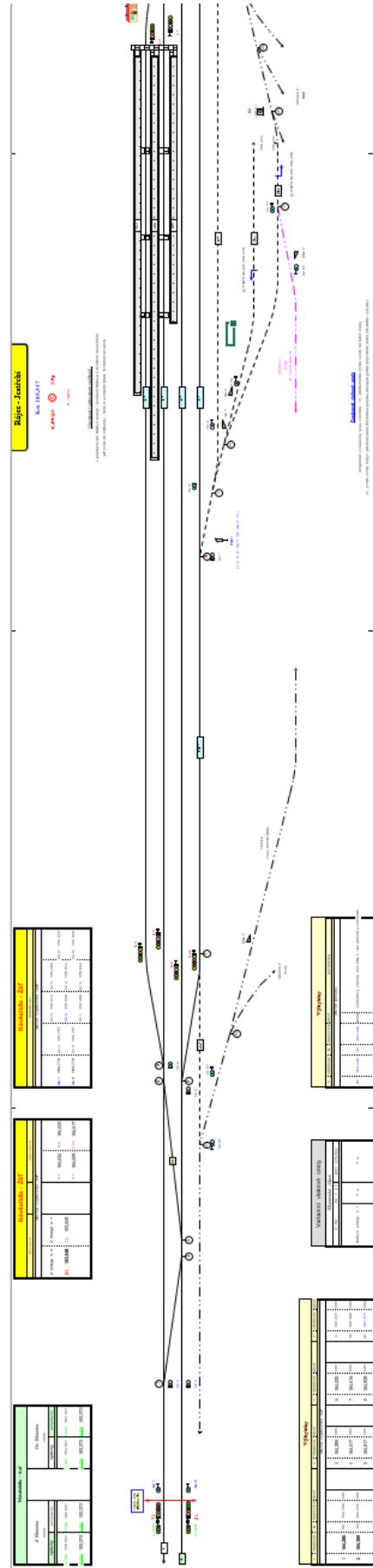
Příloha B – Plánky stanic

Břeclav – osobní stanice



Zdroj: PPD

Rájec-Jestřebí (ze směru Blansko)



Zdroj: PPD

Příloha C – Parametry souprav

a) Souprava pro výpočet zvýšení rychlosti Břeclav – Vranovice

hv řady 193 „Siemens Vectron“	1x
vůz Ampz ¹⁴³	1x
vůz Bmz ²²⁴	3x
Maximální rychlost soupravy	200 km·h ⁻¹
Délka přes nárazníky	124 580 mm
Hmotnost obsazené soupravy	294 t

Zdroj: autorka

b) Souprava pro výpočet jízdy vlaku v obvodu výhybek přilehlých k hlavnímu návěstidlu/pro jízdu vlaku s existencí přejezdu v obvodu výhybek

„InterPanter“ – elektrická jednotka řady 640

vůz 660.0	1x
vůz 662.0	2x
vůz 064.0	1x
vůz 661.0	1x
Maximální rychlost jednotky	160 km·h ⁻¹
Délka přes spřáhla	132 400 mm
Hmotnost obsazené jednotky	270,3 t

Zdroj: autorka

Příloha D – Výpočet dob u PZS (ČSN 34 2650)

Přibližovací doba – „ t_L “

- přibližovací doba t_L je dána součtem vyklizovací doby (viz níže) a dalších dílčích dob

a) u přejezdu s PZS bez závor

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

kde:

t_r - doba od ovlivnění ovládacího prvku závislého na jízdě drážního vozidla do zahájení výstrahy (pokud není uvedeno jinak $t_r = 1$ s)

t_{b1} - základní bezpečnostní doba, tj. doba, která musí uplynout od skončení měření vyklizovací doby do příjezdu čela drážního vozidla na přejezd, $t_{b1} = 6$ s

t_{b2} - přídavná bezpečnostní doba, tj. doba, která vyplývá z tolerancí při měření a zaokrouhlování, u nově projektovaných PZS $t_{b2} = 3$ s

b) u přejezdu s PZS s polovičními závory

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

kde:

t_x - přídavná doba na úplné sklopení břevna

c) u přejezdu s PZS s celými závory

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

kde:

t_u - doba sklápění závory (pokud není udáno jinak $t_u = 10$ s)

Vyklizovací doba – „ t_v “

- vyklizovací doba t_v je nejkratší doba, během níž může ještě bezpečně projet přejezdem nejdelší a nejpomalejší silniční vozidlo, cyklista nebo projít chodec, kteří jsou při spuštění výstrahy ve vzdálenosti 1 m před výstražníkem, nebo břevnem závory, je-li blíže.

- Tzn., že musí:

a) u přejezdu s PZS bez závor a u přejezdu s PZS s polovičními závory minout hranici nebezpečného pásma za přejezdem

b) u přejezdu s PZS s celými závory a u přejezdu s PZM minout závoru za přejezdem

Vyklizovací doba se stanoví z rovnice:

$$t_v = 3,6 \cdot d_T \cdot V_s^{-1}$$

kde:

V_s - rychlost nejpomalejšího silničního vozidla (pro chodce a cyklisty je $V_s = 3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ a pro ostatní uživatele je $V_s = 5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$)

d_T - délka směrodatná pro výpočet vyklizovací doby

Délka směrodatná pro výpočet vyklizovací doby – „ d_T “

- do délky směrodatné pro výpočet vyklizovací doby d_T je třeba zahrnout kromě délky pásma přejezdu i délku silničního vozidla

$$d_T = d_p + d_s$$

kde:

d_p – délka pásma přejezdu

d_s – délka silničního vozidla

Délka pásma přejezdu – „ d_p “

- délka pásma přejezdu d_p je délka pozemní komunikace, ve které se nesmí nacházet silniční vozidlo v době jízdy drážního vozidla. Je to délka pozemní komunikace od místa zastavení čela silničního vozidla:
 - a) k nejbližšímu konci břevna závory, je-li za přejezdem závora
 - b) k hranici nebezpečného pásma za přejezdem, není-li za přejezdem závora

Délka silničního vozidla – „ d_s “

- délka silničního vozidla je zpravidla:
 - a) u přejezdu $d_s = 22$ m
 - b) u přechodu nebo křížení s cyklistickou stezkou $d_s = 3$ m (14)