

UNIVERZITA PARDUBICE  
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2020

Bc. DAVID MEISEL

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera

Bc. David Meisel

Diplomová práce

2020

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

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. David Meisel**  
Osobní číslo: **D18505**  
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**  
Studijní obor: **Elektrotechnické a elektronické systémy v dopravě**  
Téma práce: **Model železniční infrastruktury a jízdy vozidel pro verifikaci algoritmů železničních zabezpečovacích systémů.**  
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě**

### Zásady pro vypracování

1. Charakterizovat strukturu, rozhraní a funkce železničních zabezpečovacích systémů (stavědel, přejezdových zařízení, vlakových zabezpečovačů) ve vztahu k prvkům v kolejišti, k vozidlům a k obsluze.
2. Vymezit rozsahu modelovaných vlastností a stanovit úroveň jejich podrobnosti, resp. přesnosti, jaké má být dosaženo.
3. Specifikovat požadavky na funkce modelu, na rozhraní modelu k zabezpečovacím systémům (které mají být předmětem verifikace), na uživatelské rozhraní modelu a na další technická rozhraní a podmínky činnosti modelu.
4. Realizovat model dle stanovené specifikace (viz bod 3) prostředky a vývojovým prostředím pro programovací jazyk C++.
5. Demonstrovat funkčnost modelu na postupu verifikace vybraných algoritmů železničních zabezpečovacích systémů.

---

Rozsah pracovní zprávy:  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

- IEEE Standard for Communications-Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements, in IEEE Std 1474.1-2004 (Revision of IEEE Std 1474.1-1999) , vol., no., pp.0\_1-45, 2004 doi: 10.1109/IEEESTD.2004.95746
- VIRIUS, Miroslav. Programování v C++: od základů k profesionálnímu použití. Praha: Grada Publishing, 2018. Myslíme v... . ISBN 978-80-271-0502-1.
- ŠTOREK, V. Elektronické stavědlo K2002: Směrnice pro projektování. Choceň: Starmon, s. r. o. 2006.
- HÜBL, F. - ŠTOREK, V. Elektronické stavědlo K2002: Technický popis. Choceň: Starmon, s. r. o. 2006.
- STARÝ, F. Elektronické stavědlo K2002: Technické podmínky. Choceň: Starmon, s. r. o. 2006.
- 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.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Ouředníček, Ph.D.**  
Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací  
techniky v dopravě

Datum zadání diplomové práce: **12. února 2020**  
Termín odevzdání diplomové práce: **1. června 2020**

L.S.

---

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

---

**Ing. Dušan Čermák, Ph.D.**  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 21. dubna 2020

## **Prohlášení**

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

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

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

V Pardubicích dne 27. 4. 2020

Bc. David Meisel

## **Poděkování**

Touto cestou chci poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Ouředníčkovi Ph.D., za věcné a cenné připomínky k obsahu a úpravě práce , a především za jeho čas.

Taktéž bych rád poděkoval i společnosti STARMON s.r.o., za umožnění psaní této práce a řešitelskému kolektivu střediska elektroniky za cenné rady a připomínky z jejich strany.

Dále chci poděkovat všem, kteří mi byli oporou při psaní této, především mojí rodině.

## **ANOTACE**

Cílem této práce je navrhnout simulační nástroj, který umožňuje simulovat stavy železniční infrastruktury a jízdu vlaku po ní. V úvodu práce je provedena analýza vlastností jednotlivých prvků železniční infrastruktury a fyzikální rozbor pohybu vlaku. Další část práce se zabývá vlastní realizací modelu a verifikací vybraných algoritmů staničních zabezpečovacích zařízení.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

železniční zabezpečovací zařízení, bezpečnost, kolejiště, návěstidlo, výhybka, vlak, simulace, model.

## **TITLE**

Model of railway infrastructure and vehicles movement for railway signalling systems algorithm verification.

## **ANOTATION**

The goal of the thesis is to design a simulation tool, which would allow us to simulate the states of railway infrastructure with a train in movement. Analysis of individual railway infrastructure elements and physical analysis of the train movement is written at the beginning of the thesis. The next part deals with realization of the model and with verification of selected algorithms of station safety systems.

## **KEY WORDS**

Railway interlocking systems, safety, railway, signal, point, train, simulation, model

# Obsah

SEZNAM ILUSTRACÍ .....	10
SEZNAM TABULEK .....	11
SEZNAM SCHÉMAT .....	12
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....	13
TERMINOLOGIE .....	15
ÚVOD .....	16
<b>1 ŽELEZNIČNÍ ZABEZPEČOVACÍ SYSTÉMY .....</b>	<b>17</b>
<b>2 ŽELEZNIČNÍ INFRASTRUKTURA .....</b>	<b>18</b>
2.1 KOLEJOVÝ ÚSEK .....	18
2.1.1 <i>Prostředky pro detekci volnosti</i> .....	18
2.2 PRVKY S POHYBLIVÝMI ČÁSTMI .....	20
2.2.1 <i>Přestavné obvody</i> .....	21
2.2.2 <i>Dohlédací obvody</i> .....	22
2.2.3 <i>Řídící obvody</i> .....	22
2.3 NÁVĚSTIDLA .....	25
2.3.1 <i>Návěstní zapojení</i> .....	27
2.4 POMOCNÉ STAVĚDLO .....	31
2.5 STANIČNÍ ZABEZPEČOVACÍ ZAŘÍZENÍ .....	32
2.5.1 <i>Postup stavění JC</i> .....	33
2.5.2 <i>Stavědlo K-2002</i> .....	35
<b>3 VLAK .....</b>	<b>38</b>
3.1 MATEMATICKÝ MODEL POHYBU VOZIDLA .....	38
<b>4 DATOVÝ MODEL .....</b>	<b>45</b>
4.1 MODEL INFRASTRUKTURY .....	46
4.1.1 <i>Konfigurace infrastruktury</i> .....	46
4.1.2 <i>Analýza konfiguračních dat</i> .....	49
4.1.3 <i>Zobrazení infrastruktury</i> .....	52
4.2 SIMULACE JÍZDY VLAKU .....	54
4.3 INTERAKCE MEZI VLAKEM A INFRASTRUKTUROU .....	60
4.4 KOMUNIKACE SE STAVĚDLEM .....	61
4.5 REALIZACE MODELU .....	65
4.5.1 <i>Popis ovládání SW</i> .....	67



<b>5</b>	<b>VERIFIKACE ALGORITMŮ SZZ</b> .....	<b>69</b>
5.1	VERIFIKACE FUNKCÍ MODELU VŮČI OVĚŘENÉ KONFIGURACI .....	69
5.2	TESTOVÁNÍ MODULŮ JEDNOTEK.....	69
5.2.1	<i>Test modulu výhybky</i> .....	70
5.3	TESTOVÁNÍ MODULŮ V SOUVISLOSTI S POHYBEM VLAKU .....	72
	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>74</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>75</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>77</b>
	<b>PŘÍLOHA A - SCHÉMA ZAPOJENÍ VÝHYBKOVÉ KAZETY</b> .....	<b>78</b>
	<b>PŘÍLOHA B - SCHÉMA ZAPOJENÍ NÁVĚSTNÍ KAZETY</b> .....	<b>79</b>
	<b>PŘÍLOHA C – GRAFICKÉ ROZHRANÍ MODELU</b> .....	<b>80</b>
	<b>PŘÍLOHA D – JOP VÝHYBNA CEJŘOV</b> .....	<b>84</b>
	<b>PŘÍLOHA E – ZDROJOVÝ KÓD SW</b> .....	<b>85</b>

## SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1: Principiální zapojení PKO .....	19
Obr. 2: Principiální zapojení SKO .....	19
Obr. 3: Blokovaná struktura výměnového zapojení .....	20
Obr. 4: Princip zapojení přestavného obvodu a přestavníku .....	21
Obr. 5: Principiální zapojení řídicího obvodu .....	23
Obr. 6: Princip zapojení pětisvětelného návěstidla .....	27
Obr. 7: Blokovaná struktura SZZ .....	33
Obr. 8: Ideální vozidlo .....	39
Obr. 9: Sklonový a směrový profil trati .....	43
Obr. 10: Definice vazeb uvažovaných typů jednotek .....	47
Obr. 11: Příklad konfigurace prvku typu výhybka .....	48
Obr. 12: Oprávnění k jízdě vlaku .....	57
Obr. 13: Přímkový tachograf jízdy vlaku .....	59
Obr. 14: Pilovitá regulace rychlosti .....	59
Obr. 15: Brzdné křivky .....	60
Obr. 16: Vzájemná interakce sw modulů .....	66

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Informace o poloze výměny .....	22
Tab. 2: Návěstěné rychlostní stupně .....	29
Tab. 3: Předvěstěné rychlostní stupně .....	30
Tab. 4: Základní typy vozidlových odporů.....	41
Tab. 5: Průměrný součinitel rotačních hmot.....	44
Tab. 6: Společné parametry jednotek .....	46
Tab. 7: Definice barev světél ve stavových vektorech hlavních návěstidel .....	49
Tab. 8: Definice barev světél ve stavových vektorech seřadovacích návěstidel.....	49
Tab. 9: Význam barvy ve vztahu ke stavu jednotky .....	53
Tab. 10: Parametry vozu.....	55
Tab. 11: Parametry vlaku.....	56
Tab. 12: Parametry vlaku pro řízení rychlosti .....	58
Tab. 13: Povelý a odpovědi modulu SIMCAN.....	62
Tab. 14: Tabulka vstupů a výstupů .....	65
Tab. 15: Zkratky sw modulů.....	66

## SEZNAM SCHÉMAT

Schéma 1: Blokové schéma K-2002 .....	37
Schéma 2: Blokové schéma připojení simulátoru ke stavědlu K2002.....	45

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ATB	automatický blok
ATC	automatické řízení vlaků
CBTC	řízení vlaků založené na komunikaci
DO	dohlédací obvod
DOP	dálkové obslužné pracoviště
DSP	dynamický rychlostní profil
EBSP	křivka nouzového brzdění
EZ	elektromagnetický zámek
ETCS	evropský vlakový zabezpečovací systém
HW	hardware
JC	jízdní cesta
JOP	jednotné obslužné pracoviště
LOP	lokální obslužné pracoviště
LUP	lokální údržbářský počítač
OP	obslužné pracoviště
PC	posunová cesta
PDU	povinně dokumentovaný úkon
PKO	paralelní kolejový obvod
PN	počítač náprav
PO	přestavný obvod
ŘO	řídící obvod
SKO	sériový kolejový obvod
SP	simulační počítač

SSP	statický rychlostní profil
SW	software
SZZ	staniční zabezpečovací zařízení
TP	technologický počítač
VC	vlaková cesta
VZ	vlakový zabezpečovač

## TERMINOLOGIE

Prvek kolejiště	označení fyzického prvku železniční infrastruktury
Jednotka	označení logické reprezentace prvku železniční infrastruktury
Jízdní cesta	pod pojmem jízdní cesta je uvažována jízda vlaku nebo posunu.

## Úvod

Důležitým odvětvím v oblasti železniční dopravy je odvětví zabezpečovací techniky[1]. S postupným rozvojem železniční dopravy vzrůstají i požadavky na konstrukci nových nebo úpravy stávajících zabezpečovacích zařízení.

Cílem diplomové práce je navrhnout komplexní simulační software pro simulaci jízdy vlaku po konfigurovatelné železniční infrastruktuře. Navržený software SW má sloužit pro ověřování algoritmů, jejich správné implementace, v současných i nově vyvíjených zabezpečovacích zařízeních.

Hlavním důvodem pro výběr tématu byla absence podobného SW, ať už v prostředí společnosti STARMON s.r.o tak i mimo ni.

Protože je oblast zabezpečovací techniky poměrně specifická, neexistuje příliš mnoho zdrojů, z kterých lze čerpat inspiraci pro realizaci modelu. Je proto obtížné obsáhnout všechny potřebné funkcionality a vlastnosti simulátoru.

Cílem práce není implementace konkrétních algoritmů zabezpečovacích zařízení, nýbrž vytvořit nástroj pro jejich ověřování a testování. Součástí SW proto musí být i rozhraní pro komunikaci s výkonným jádrem zabezpečovacího zařízení.



# 1 Železniční zabezpečovací systémy

Železniční zabezpečovací zařízení je soubor technických prostředků a vazeb mezi nimi, jejichž primární úlohou je zvýšení bezpečnosti železniční dopravy, a to především nahrazením podílu lidského činitele v organizování a řízení železniční dopravy.

Dle účelu použití je lze rozdělit na [3]:

- Staniční zabezpečovací zařízení
- Traťové zabezpečovací zařízení
- Přejezdová zabezpečovací zařízení
- Vlakové zabezpečovací zařízení
- Komplexní zabezpečovací systémy

V současné době jsou nově nasazována technická zařízení, které pokrývají několik účelů použití, proto výše uvedené dělení postupně pozbývá na významu.

Norma TNŽ 342620 (mimo jiné) definuje tři kategorie úrovně zajištění a kontroly podmínek pro zabezpečenou jízdu (3 kategorie zabezpečovacího zařízení):

- a) 1. kategorie, ve kterých za splnění většiny bezpečnostních požadavků pro zabezpečenou jízdu vlaku odpovídají určení zaměstnanci;
- b) 2. kategorie, ve kterých splnění určených bezpečnostních požadavků pro zabezpečenou jízdu vlaku zajišťuje zabezpečovací zařízení a za splnění ostatních bezpečnostních požadavků odpovídají určení zaměstnanci;
- c) 3. kategorie, ve kterých splnění bezpečnostních požadavků pro zabezpečenou jízdu vlaku i posunu zajišťuje zabezpečovací zařízení. [2]

Při selhání funkce zabezpečovacího zařízení by mohlo dojít ke vzniku nehody, která by mohla mít za následek vznik škody ekonomické, nebo v horším případě ztráty na lidských životech. Jedná se proto o bezpečnostně kritický systém, a je nutné jej navrhovat takovým způsobem, kdy se každá jeho porucha projeví bezpečným (zpravidla více omezujícím) stavem. Takové systémy, kde se připouští vznik jednonásobné náhodné poruchy, na kterou se reaguje omezením funkce, se nazývají fail-save, bezpečné při poruše. Tyto systémy musí splňovat požadavky na funkční a technickou bezpečnost.

## 2 Železniční infrastruktura

Pod pojem železniční infrastruktura lze, z pohledu železniční zabezpečovací techniky, zahrnout nejen prvky, které fyzicky tvoří kolejiště a realizuje se po nich jízda kolejových vozidel, ale i řadu dalších technických zařízení, jež se různou měrou podílí na organizaci a řízení železniční dopravy. Jednotlivé prvky infrastruktury mají různé vlastnosti a poskytují různé informace o svém stavu. Následující řádky mají za cíl shrnout vlastnosti a sledované parametry uvažovaných prvků železniční infrastruktury v souvislosti s realizací a řízením pohybu vozidel ve vymezené části kolejiště, typicky v železniční stanici.

### 2.1 Kolejový úsek

Kolejový úsek představuje nejmenší rozlišitelnou část infrastruktury.

Kolejové úseky poskytují, prostřednictvím prostředků pro detekci vozidla, informace o své volnosti, příp. přítomnosti vozidla v daném úseku. Na základě těchto informací, je zabezpečovací zařízení schopno rozhodnout o povolení jízdy vozidla ve vymezeném úseku infrastruktury. Informace o obsazení a uvolnění kolejového úseku dále umožňují vyhodnotit průjezd vlaku konkrétním místem, což je důležité pro rušení závěrů a výluk prvků jízdní cesty při jejím vybavení. Proto je nejdůležitější vlastností kolejového příp. výhybkového úseku jeho volnost.

Dalšími sledovanými parametry úseku jsou, informace o přítomnosti vozidla nebo vyklizení úseku, poloze čela a konce vlaku a příp. rychlosti vlaku. V závislosti na použitém technickém řešení prostředků pro detekci volnosti jsou tyto informace relevantní nebo nikoliv.

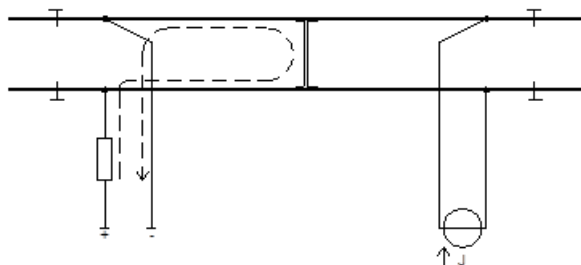
#### 2.1.1 Prostředky pro detekci volnosti

Pro účely detekce volnosti existuje celá řada prostředků, z nichž nejpoužívanější jsou sériové kolejové obvody SKO, paralelní kolejové obvody PKO a počítače náprav PN, které využívají detektory kol. Tyto prostředky poskytují různou míru přesnosti a množství informací o poloze a pohybu vlaku v dané části tratě.

- Kolejový obvod

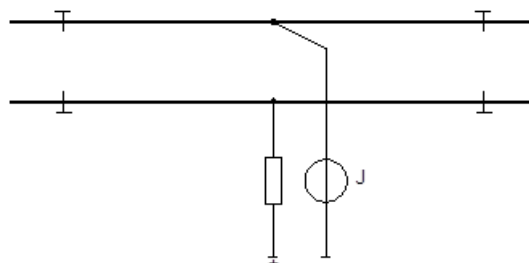
Kolejový obvod je liniový prostředek pro detekci volnosti a obsazení kolejového úseku. Kromě této základní funkce umožňují kolejové obvody i přenos informací na vozidlo od vlakového zabezpečovače LVS.

Kolejový obvod tvoří zdroj energie (napájecí část), kolejové vedení, dvojkolí železničního vozidla a přijímač (přijímačová část). Příslušným řazením jednotlivých částí lze získat sériový kolejový obvod SKO nebo paralelní kolejový obvod PKO. Principiální zapojení PKO ilustruje Obr. 1. SKO pak Obr. 2.



Obr. 1: Principiální zapojení PKO

Zdroj: [3]



Obr. 2: Principiální zapojení SKO

Zdroj: [3]

Paralelní kolejový obvod:

Informace o volnosti úseku je signalizována prostřednictvím vybuzeného výstupu. Stav obsazení je indikován odbuzením výstupu. V případě poruchy detekčního prvku je výstup odbuzen, což značí obsazený úsek. To má za následek provozní omezení, neboť volný úsek v poruše je indikován jako obsazený, ale nedojde k ohrožení bezpečnosti. PKO se tak užívají pro bezpečnou indikaci volnosti úseku.

Sériový kolejový obvod:

U SKO je obsazení úseku indikováno pomocí vybuzeného výstupu, neboť dojde ke spojení vysílací a přijímací části šuntovanou nápravou vozidla. Porucha a volnost úseku se u SKO projeví stejně. SKO jsou tak vhodné pro bezpečnou indikaci přítomnosti vozidla v úseku.

- Počítač náprav

Počítač náprav PN je technické zařízení, které umožňuje detekci a počítání náprav železničních vozidel, pomocí kolových detektorů tzv. Počítacích bodů PB. Kromě informace o volnosti poskytuje PN i informace o dalších parametrech kolejového úseku. Nad rámec detekce volnosti poskytuje PN informaci o směru projíždění / projetí úseku přímo jako jeden z výstupů. Vhodným uspořádáním počítacích bodů lze pokrýt celé zhlaví, nebo vytvořit překryvný úsek

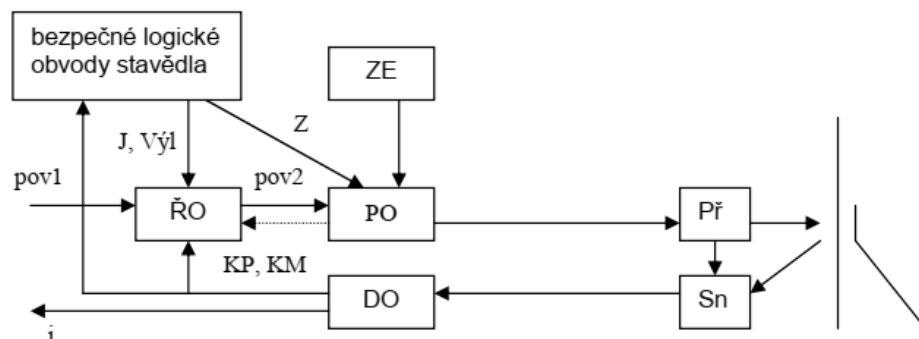
## 2.2 Prvky s pohyblivými částmi

Prvky kolejiště a s pohyblivými částmi umožňují změnu polohy této pohyblivé části. Toho lze dosáhnout pomocí manuálního mechanického přestavení v místě kolejiště kde se prvek nachází, nebo lze přestavení realizovat pomocí elektromechanického prvku, tzv. přestavníku. V této práci se uvažují pouze prvky centrálně stavěné pomocí přestavníku ze stavědlové ústředny.

- Výhybka (výměna)

Výhybka je prvek kolejiště, který umožňuje větvení kolejiště do více směrů a tím jízdu železničního vozidla do příslušného směru. Společně s kolejovými úseky určuje topologii kolejiště. Konstrukční provedení výhybky stanovuje maximální projížděnou rychlost přes výhybku (dána poloměrem odbočné větve).

Blokovou strukturu výměnového zapojení výhybky ilustruje Obr. 3. Bezpečné logické jádro stavědla poskytuje řídicímu obvodu informaci o závěru, výlukách a obsazení úseku. Řídicí obvod ŘO řídí přestavování a poveluje přestavný obvod PO. Přestavný obvod realizuje povely řídicího obvodu. Dohlédací obvody DO poskytují bezpečnou informaci o poloze výhybky.



Obr. 3: Blokovaná struktura výměnového zapojení

Zdroj:[3]

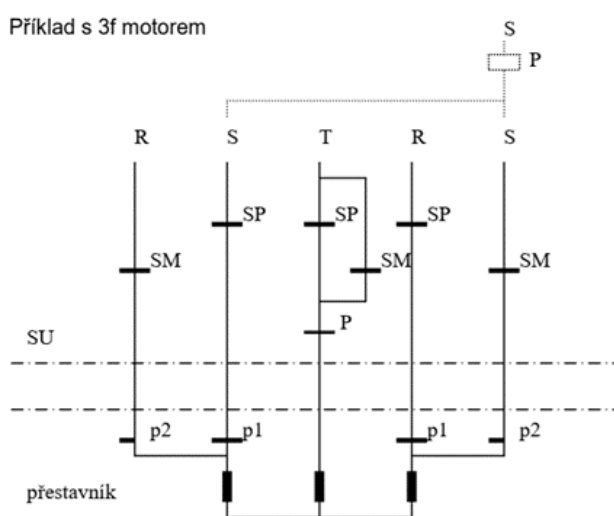
Kde:

ZE – Zdroj energie	pov1 - povel pro přestavení
ŘO – Řídicí obvod	J - informace o volnosti
PO – Přestavný obvod	Výl - informace o výluce
DO – Dohlédací obvod	Z - povel pro závěr
Př – Přestavník	KP- kontrola plusové polohy
Sn – Snímače pro určení polohy výhybky	KM - kontrola plusové polohy

### 2.2.1 Přestavné obvody

Polohu výměny lze měnit povelem k přestavení do jedné z krajních poloh, označovaných jako plusová a minusová. Za tímto účelem obsahuje výměnové zapojení přestavný obvod, který dodává energii přestavníku v době, kdy má být výhybka přestavována. Po dosažení koncové polohy, kdy již nedochází k přestavování je přestavník odpojen od zdroje energie. Tímto způsobem ovládání je bezpečně zajištěna nemožnost samovolného přestavení výměny. Kromě tohoto opatření bývají přestavné obvody doplněny ovládacím relé, které ovládá 3f stykač, který svými kontakty odpojí přívod energie k přestavníku a tím je bezpečně realizován závěr výměny (elektrický). Povel pro přestavení generují stavěcí plusové SP a stavěcí minusové SM relé 1. třídy bezpečnosti, které jsou součástí řídicích obvodů.

Principiální zapojení PO a přestavníku s 3f motorem ilustruje Obr. 4. Pro připojení přestavníku k přestavnému obvodu se využívá pětivodičové zapojení. V tomto úsporném zapojení jeden vodič slouží pro přivedení 1. fáze. Zbylé čtyři vodiče mění funkci. V průběhu přestavování přivádí tato skupina vodičů energii pro elektromotor přestavníku. Po dosažení koncové polohy dojde k připojení dohlédacích obvodů a je kontrolována koncová poloha. Současně se v PO připraví zapojení vodičů tak, aby byl umožněn pohyb výměny do druhé polohy (příslušný sled fází pro opačný směr otáčení elektromotoru přestavníku), díky čemuž je umožněna okamžitá reverzace. PO obsahují proudové relé P, které reaguje na protékající proud přímo připojenou fází. Až při průtoku stanovené hodnoty proudu (motor je připojen a se otáčí) dojde k jeho natažení a připojení zbylých fází k elektromotoru. V případě překročení maximální hodnoty proudu je přívod energie odpojen (ochrana motoru).



Obr. 4: Princip zapojení přestavného obvodu a přestavníku

Zdroj: [3]

Rozřez je stav výhybky, kdy došlo k jejímu násilnému přestavení vozidlem jedoucím do výhybky po hrotu z nesprávného směru. Při rozřezu může dojít k poškození výhybky (navzdory rozřezné konstrukci), proto je nutné výhybku před dalším použitím zkontrolovat.

### 2.2.2 Dohlédací obvody

Sledovanými parametry výhybky jsou poloha přilehlého jazyka, poloha závěru přilehlého jazyka a příp. poloha odlehlého jazyka. Tyto informace poskytují zabezpečovacímu systému dohlédací obvody, jež jsou součástí výměnového obvodu.

Informace o poloze výměny je trojstavová, což umožní detekovat poruchu dohlédacích obvodů, a v závislosti na volnosti výhybkového úseku rozřez výhybky, viz Tab. 1. Poloha je dohlížena pomocí dvou relé 1. třídy bezpečnosti, kontrolní plusové KP a kontrolní minusové KM.

Tab. 1: Informace o poloze výměny

Zdroj: [3]

KP	KM	význam
↓	↓	Mezipoloha, ztráta kontroly
↑	↓	koncová poloha +
↓	↑	koncová poloha -
↑	↑	mezipoloha, ztráta kontroly

Dohlédací obvody jsou připojené k přestavníku pomocí stejných vodičů, které přivádějí energii k přestavení výhybky. Zdroj pro napájení dohlédacích obvodů je střídavý, v přestavníku je měnič energie, nejčastěji dioda, a přijímačem je dvojice neutrálních relé. Tímto způsobem zapojení lze dosáhnout odolnosti proti průrazu kabelu, neboť měnič (dioda) je umístěný až v přestavníku, a při průrazu kabelu přijímací relé nenatáhne, neboť neutrální relé je citlivé na stejnosměrný proud.

### 2.2.3 Řídící obvody

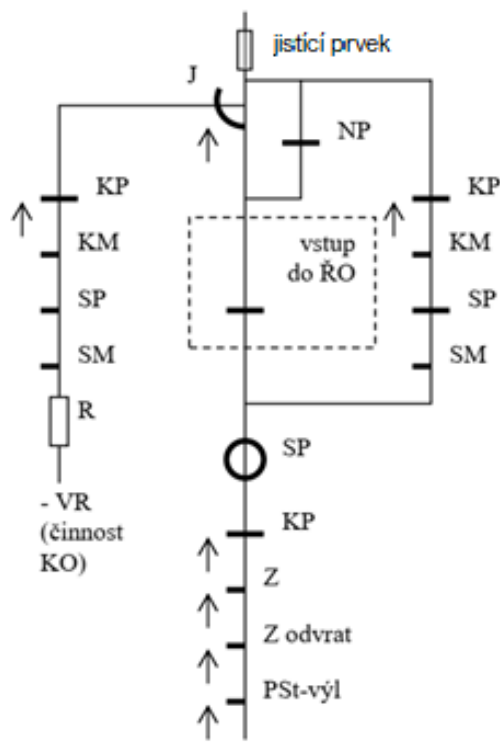
Řídící obvody vyhodnocují splnění podmínek pro přestavení a řídí přestavení výměny.

Principiální zapojení řídicího obvodu pro přestavení výměny do plusové polohy je zobrazeno na Obr. 5. Vstupem do řídicích obvodů je povel pro přestavení výměny, případně povel pro nouzové přestavení výměny.

Před zahájením přestavování se prověří podmínky pro realizovatelnost povelu:

- Výhybkový úsek je volný
- Výhybka není součástí jízdní cesty (na výhybce není závěr)
- Výhybka není odvratnou pro jinou jízdní cestu (prvkem přímé boční ochrany)
- Nebyl evidován rozřez výhybky
- Nejsou jiné výluky (předáno na pomocné stavědlo apod.)
- Výhybka už není v požadované poloze

Pokud nejsou splněny podmínky pro přestavení, nelze ovládat stavěcí relé, tj vydat povel pro přestavení výhybky do přestavných obvodů.



Obr. 5: Principiální zapojení řídicího obvodu

Zdroj: [3]

Pokud se výhybka začne pohybovat je žádoucí, aby dosáhla koncové polohy. Z tohoto důvodu je během přestavování vyloučena kontrola volnosti výhybkového úseku (pravá větev).

Pokud je výhybkový úsek obsazený (odpadlé kolejové relé J) poruchou detekčního prvku, nelze vydat povel pro přestavení. Proto je řídicí obvod upraven tak, aby bylo možné vydat povel

k nouzovému přestavení výměny NP. Jedná se o povinně dokumentovaný úkon obsluhy zabezpečovacího zařízení.

Obvod umožňuje i vyhodnocení rozřezu VR výhybky (levá větev), kdy je úsek obsazen a výměna nemá ani jednu koncovou polohu a současně není povel ke stavění do plusové ani minusové polohy. Tato část obvodu neobsahuje žádnou cívku relé pouze rezistor a kontakty. Při průtoku proudu touto částí obvodu tak dojde k vybavení jistícího prvku (pojistky, jističe) a je tím znemožněno další přestavování výhybky.

- Výkolejka

Výkolejka slouží k zamezení nežádoucího pohybu (ujetí) vozidla. Obvykle se instalují před zaústění manipulační nebo vlečkové koleje do koleje dopravní, jako prvky přímé boční ochrany vykolejením vozidla, pro jízdní cesty po těchto kolejích, v případech, kde není použito odvratných výhybek. Ovládání je místní nebo dálkové a je obvykle spojeno s mechanickým nebo elektromagnetickým zámkem.

Výkolejka se může nacházet v těchto polohách:

- na kolejnici (nahozená)
- mimo kolejnici (sklopená)
- ztráta kontroly

- Elektromagnetický zámek

Elektromagnetický zámek EZ převádí mechanické klíčové vlastnosti na elektrické a naopak. V elektromagnetickém zámku je držen fyzický klíč od závislého prvku kolejiště (výhybka, výkolejka). EZ tak umožňuje vytvořit trvalé závislosti mezi polohou prvku kolejiště a její indikací pro zabezpečovací zařízení. V případě, že je požadováno sledovat polohy obou jazyků výměny, jsou v EZ drženy dva závislostní klíče.

U EZ se detekují polohy:

- Klíč 1 vložen (zámek přilehlého jazyka uzamčen)
- Klíč 2 vložen (zámek odlehlého jazyka uzamčen)
- Klíč vyjmut (zámek uvolněn)



## 2.3 Návěstidla

Návěstidlo je technický prostředek k optickému předávání informací (dispozic) na vozidlo a tím k řízení provozu. Hlavním posláním návěstidel je zobrazit požadovaný návěstní znak.

Bezpečnost železniční dopravy přímo závisí na správném a jednoznačném vjemu návěsti. Proto je definovaná požadovaná dohlednost návěstního znaku, jako minimální vzdálenost, na kterou musí být znak jednoznačně rozeznán i při nejvyšší povolené rychlosti v daném úseku trati, aby bylo strojvedoucímu umožněno pozorovat návěst po dobu alespoň 12s .

Dohlednost se vypočítá ze vztahu:

$$D = 10 * \frac{v}{3}$$

Kde:  $D$  = požadovaná dohlednost [m]

$v$  = nejvyšší traťová rychlost v místě umístění návěstidla [km/h]

Dnes se zcela výlučně instalují návěstidla světelná. Zdrojem světla je žárovka na napětí 12V o jmenovitém výkonu 20W. Dnes se tyto světelné zdroje nahrazují moderními výkonovými LED zdroji, jednak z důvodu vyšší hospodárnosti provozu ale i z důvodu vyšší spolehlivosti. Náhrada klasických žárovek LED zdroji světla není triviální záležitostí, neboť technologicky je koncepce návěstidel navržena pouze pro použití žárovek (dohled svícení světla). Přesto je vyvinuto několik technických řešení pro použití LED zdrojů světla v návěstidlech.

Pořadí světel na návěstidle, ze kterých se tvoří jednotlivé návěstní znaky, a další technické požadavky na návěstidla jsou stanoveny normou TNŽ 34 2610 Železniční světelná návěstidla.

Dle funkce lze návěstidla rozdělit na [2]:

- Hlavní návěstidla
- Seřadovací návěstidla
- Předvěsti hlavních návěstidel

Základní návěstí hlavních návěstidel ve stanici je návěst absolutní „stůj“ tj. stálé červené světlo. Návěstidla automatického bloku ATB mají základní návěst „volno“, stálé zelené světlo. Význam návěsti „stůj“ u návěstidel ATB má permisivní význam. To znamená, že strojvedoucí musí před návěstidlem zastavit, ale při splnění určených podmínek může za tuto návěst pokračovat dle rozhledových poměrů. Poslední oddílové návěstidlo ATB má jako základní návěst „výstraha“, stálé žluté světlo, neboť předvěstí návěst „stůj“ na vjezdovém návěstidle.

Světelná návěstidla umožňují zobrazit návěstní znak za použití klidných ale i kmitavých světél, což dalo vzniknout rychlostní návěstní soustavě. Frekvence kmitání světél se uvažují dvě, a to pomalu kmitající o frekvenci 54 kmitů / min a rychle kmitající o frekvenci 108 kmitů/min [4].

Rychlostní návěstní soustava byla u nás zavedena předpisem SŽDC D1 Dopravní a návěstní předpisy, který stanovil použití výhradně světelných, na sobě závislých návěstidel, kdy každé hlavní návěstidlo, podle kterého se řídí provoz vlaků, je současně předvěstí návěstidla následujícího.

Hlavní návěstidla podporující rychlostní soustavu tak nejen zakazují nebo povolují jízdu vlaku, ale v případě povolující návěsti pak stanovují i maximální rychlost za tímto návěstidlem, typicky v obvodu výhybek k němu přilehlých, a zároveň předvěstí maximální rychlost u následujícího návěstidla.

Samostatná předvěst, upozorňující na návěst následujícího hlavního návěstidla, se použije v případech, kde nelze předvéstit následující návěst jiným hlavním návěstidlem, nejčastěji u vjezdových a oddílových návěstidel na širé trati. Tato samostatná předvěst rovněž podporuje rychlostní soustavu.

Návěstní znak může být složen z jednoho až tří světél, nebo může být doplněn světelnými pruhy, případně znaky indikátorů nebo proměnným ukazatelem rychlosti. Pokud je návěstní znak tvořen více jak jedním svítícím světlem, jedná se o složenou návěst. Takové návěstidlo je pomyslně rozděleno na dvě části, kde spodní část stanovuje dovolenou rychlost za návěstidlem (aktuálním), a horní část indikuje jakou návěst (rychlost) očekávat na následujícím hlavním návěstidle. Do rychlostní soustavy jsou doplňovány další rychlosti, které se zobrazují pomocí číselných indikátorů.

Světlo ze spodní skupiny nemůže nikdy svítit samostatně a svítí vždy trvalým svitem. Jestliže ve spodní části nesvítí žádné světlo, znamená to, že je jízda za návěstidlo buďto zakázána, jestliže je v horní části dávána návěst „stůj“, nebo je povolena nejvyšší traťovou rychlostí v daném místě, ale pouze při současné povolující návěsti v horní části návěstidla.

Pokud není možné rozsvítit povolující návěst, např. z důvodu poruchy, je možné povolit jízdu vlaku za návěstidlo dle rozhledových poměrů pomocí „přivolávací návěsti“.

Přivolávací návěst může být zobrazena dvěma způsoby:

- pomalu kmitajícím světlem bílé barvy
- pomalu kmitajícím světlem bílé barvy za současného stálého svitu červeného světla.

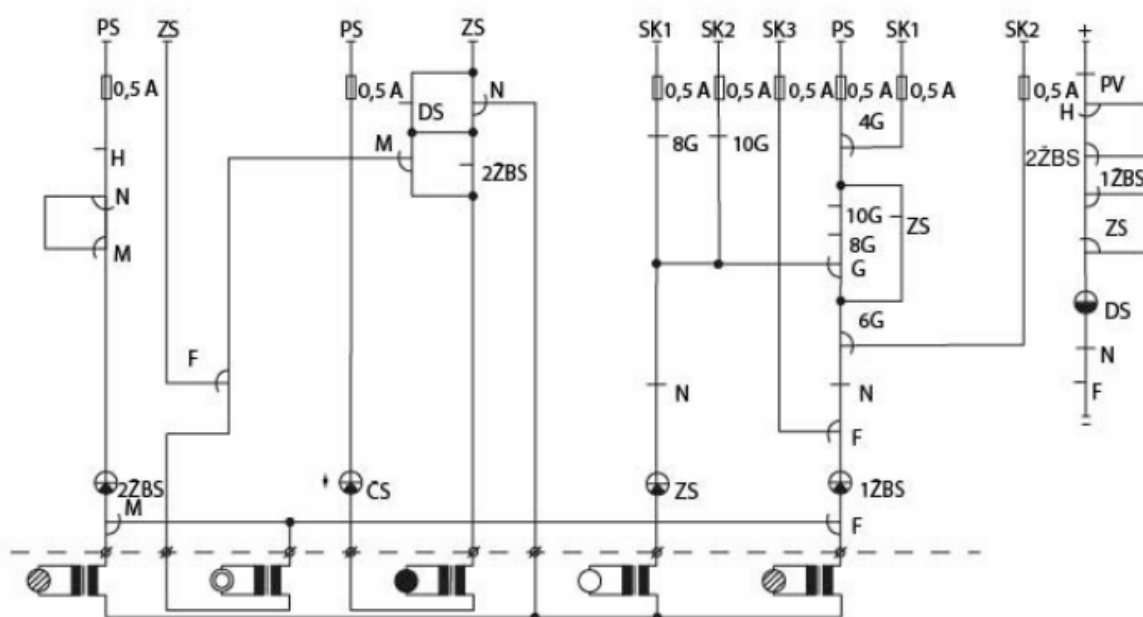
### 2.3.1 Návěstní zapojení

Hlavním úkolem návěstního zapojení je vydat povolení k jízdě jen pokud jsou splněny všechny nutné podmínky pro jeho vydání (funkce N, funkce M) a vydat povolení jen ve stupni, který odpovídá podmínkám v cestě, nebo je více omezující (funkce G, funkce H). Dalšími úkoly je kontrola správnosti jízdního znaku na návěstidle (funkce DS) a stavění nouzových vlakových cest (funkce F).

Návěstní zapojení musí být schopno bezpečně detekovat tři stavy světla:

- Svítí, pracovní proud žárovkou je v rozsahu definovaných hodnot
- Nesvítí, proud tekoucí obvodem světla je takový, aby neaktivoval dohledový prvek
- Zkrat v obvodu, obvodem protéká takový proud, který způsobí vybavení pojistky

Princip zapojení návěstidla zobrazuje Obr. 6. Ze schématu je patrné logické provedení níže popsaných funkcí a znázorněno provedení dohledu svícení jednotlivých světel.



Obr. 6: Princip zapojení pětisvětelného návěstidla

Zdroj: [6]

Jízdní znaky se rozsvěčují přitahem povelového relé, kdežto zakazující návěst se rozsvěčuje odpadem povelového relé. Priorita rozsvěčení návěstního znaku je taková, že nejdříve se rozsvěčí více povolující návěst a až poté se zhasíná více restriktivní návěst.

Zhasnuté návěstidlo, ačkoliv má význam návěsti „stůj“, představuje možný hazard, neboť hrozí jeho přehlédnutí. Proto je snahou udržet na návěstidle aktivní znak. V některých železničních správách se pro eliminaci tohoto rizika používá poziční návěst nebo dvouvláknových žárovek.

V ČR se pro eliminaci rizika používá následujících opatření:

- Přechod na více omezující návěst, příp. až na návěst „stůj“
- Přenos „červené“ na předchozí návěstidlo (v případě ATB)
- Spolehlivé zálohované napájení (2 zdroje napájení, baterie)
- Oddělení obvodů jednotlivých znaků (alespoň odděleným jištěním povolujících a zakazujících)
- Plánovaná preventivní výměna žárovek

Pro dosažení požadovaných vlastností návěstního zapojení je definována tato skupina logických funkcí:

- Funkce N povolení vlakové cesty

Funkce  $f(N)$  vydává souhlas s jízdou vlaku. Kontroluje splnění těchto základních podmínek pro všechny jednotky jízdní cesty:

- Správnou polohu pohyblivých jednotek, případně i dalších svázaných jednotek (prvky přímé boční ochrany)
- Volnost jednotky, případně i dalších svázaných jednotek (úsek za neprofilovými styky)
- Závěr jednotky, případně i dalších svázaných jednotek
- Výluky vázané k jednotce (nedovolené protisměrné jízdy na stejnou kolej)
- Ostatní vázané závislosti (PZZ)

Dále se kontroluje, že nevypršela doba platnosti povolení k jízdě (pokud je časově omezeno) a že je vydán povel k aktivaci funkce (důsledek zadání začátku a konce jízdní cesty).

Splnění podmínek je dohlíženo do doby, dokud čelo vlaku nemine návěstidlo.

Funkce  $f(N)$ , označovaná též jako „návěstní“ vydává povel pro rozsvícením povolující návěsti s nejnižším rychlostním stupněm.

- Funkce M povolení posunové cesty

Pro funkci  $f(M)$  zabezpečeného posunu platí stejné podmínky jako ve funkci  $f(N)$ , pouze některé závislosti jsou definovány odlišně. Nevyžaduje se volnost cílového úseku a povolují se protisměrné posunové cesty na kolej delší než 100m.

U posunových cest je splnění podmínek pro vydání povolující návěsti kontrolováno do doby, než celý posunový díl vjede za návěstidlo.

- Funkce F povolení nouzové cesty

Konkrétní technická řešení stavědel přistupují ke stavění nouzových cest různě a vyžadují i splnění různých podmínek pro rozsvícení „přivolávací návěsti“. Reléové zabezpečovací zařízení nekontrolují žádné podmínky, odpovědnost za splnění podmínek je na obsluhujícím dopravním zaměstnanci. Elektronická stavědla přistupují k řešení stejně jako reléová zařízení, nebo umožňují stavění nouzových jízdnic cest, funkce  $f(F)$ , kdy zařízení zajistí všechny podmínky, které lze splnit, a obsluze sdělí výčet nesplněných podmínek. Obsluhující dopravní zaměstnanec následně musí potvrdit, že je s nimi seznámen. Jedná se tedy o povinně dokumentovaný úkon PDU.

- Funkce H rychlostní

Funkce  $f(H)$  určuje rychlost povolenou návěstidlem na začátku jízdnic cesty (vydává povel k rozsvícení příslušného rychlostního omezení). Funkce vyhledá jednotku jízdnic cesty, pro kterou je povolena (pro danou jízdnic cestu) nejnižší rychlost, a tuto rychlost nastaví jako omezující pro celou jízdnic cestu. Rychlostní stupně návěstěné na tratích Správy Železnic s.p. zobrazuje Tab. 2.

Tab. 2: Návěstěné rychlostní stupně

Zdroj: [3]

$f(H)$	Návěstěná rychlost
H	maximální rychlost
10H (1H)	rychlost 100 km/h
8H	rychlost 80 km/h
6H	rychlost 60 km/h
4H	rychlost 40 km/h – základní rychlost

Funkce  $f(H)$  se použije pouze pro generování povelu s vyšší rychlostí, neboť povel s nejnižší rychlostí vydává funkce  $f(N)$ .

Funkce  $f(H)$  je omezena prostorově a časově dle  $f(N)$ , jejíž aktivita je nutnou podmínkou pro aktivitu  $f(H)$  v příslušném úseku. Funkce kontroluje časovou platnost povolení k jízdě, správnou polohu výhybek určujících daný rychlostní stupeň a také podmínku, že již není aktivována funkce  $f(H)$  pro žádný nižší rychlostní stupeň.

- Funkce G průjezdová

Funkce  $f(G)$  stanovuje rychlost povolenou návěstidlem na koci jízdni cesty. Funkce vyhledá návěstidlo na konci jízdni cesty a jím návěstěnou rychlost umístí do předvěsti návěstního znaku vlastního návěstidla. Rychlostní stupně předvěstěné na tratích Správy železnic s.p. zobrazuje Tab. 3.

Tab. 3: Předvěstěné rychlostní stupně

Zdroj: [3]

$f(G)$	Předvěstěná rychlost
G	u dalšího návěstidla je povolena maximální rychlost
10G (1G)	u dalšího návěstidla je povolena rychlost 100 km/h
8G	u dalšího návěstidla je povolena rychlost 80 km/h
6G	u dalšího návěstidla je povolena rychlost 60 km/h
4G	u dalšího návěstidla je povolena rychlost 40 km/h

Funkce  $f(G)$  se použije jen pro možnost generovat povel pro předvěstění vyšší rychlosti, neboť výchozí návěstí je výstraha (při nesplnění podmínek pro žádný rychlostní stupeň).

Funkce  $f(G)$  je omezena prostorově a časově dle  $f(N)$ , jejíž aktivita je nutnou podmínkou pro aktivitu  $f(G)$  v příslušném úseku. Funkce kontroluje časovou platnost povolení k jízdě, správnou polohu výhybek určujících cestu k danému návěstidlu (na konci cesty), na kterém je návěst odpovídající danému rychlostnímu stupni a svítí na něm smysluplná návěst, ale nesvítí návěst zakazující, a také podmínku, že nebylo vyhodnoceno splnění podmínek pro aktivaci některého z nižších rychlostních stupňů (předvěstění nižší rychlosti).

- Funkce DS dohled světel

Funkce DS provádí kontrolu správnosti jízdního znaku na návěstidle. Na základě bezpečné informace o svícení jednotlivých světel a bezpečné informaci o vydaném povelu zjišťuje, zda skutečně svítící světla vytvářejí smysluplný znak, a porovnává, zda svítící návěstní znak odpovídá povelu, nebo je příp. více omezující.

Korektní návěstního znak je podmínkou pro rozsvícení povolující návěsti. Při detekci nekorektního znaku, např. z důvodu přepálené žárovky, je snaha rozsvítit méně povolující znak. Zakazující návěst zhasíná až po rozsvícení korektního jízdního znaku.

## 2.4 Pomocné stavědlo

Pomocné stavědlo PSt slouží k místnímu ovládní a kontrole ústředně přestavovaných výhybek a výkolejek příp. jej lze použít i pro ovládní přejezdu nebo seřadovacích návěstidel.[6] Zřizují se v obvodu stanice v části, kde dochází k častému posunu, a obsluha těchto vnějších prvků by zbytečně zatěžovala výpravčího.

PSt se umísťuje se v blízkosti ovládaných výhybek, v místě odkud na ně má obsluhující zaměstnanec dobrý výhled, aby mohl řídit posun. Obsluhující zaměstnanec je plně zodpovědný za kontrolu volnosti a správné přestavení výhybky, neboť při předání řízení prvků na pomocné stavědlo, nejsou kontrolovány podmínky pro přestavení výhybky ani volnost úseků pomocí technických prostředků.

Předání na místní obsluhu probíhá v těchto krocích:

- Výpravčí nabídne danou jednotku k místní obsluze (po dohodě výpravčího s místní obsluhou), prvek je ve stavu „nabídnuto“. Jednotka zůstává ve stavu „nabídnuto“ dokud venkovní obsluha nepotvrdí převzetí, nebo pokud výpravčí „nabídku“ nevezme zpět.
- Místní obsluha potvrdí převzetí, ovládní a kontrola prvku je v její kompetenci, jednotka je ve stavu „předáno na místní stavění“.
- Po skončení činnosti místní obsluha nabídne jednotku k převzetí zpět výpravčímu.
- Výpravčí převezme jednotku k ústřednímu ovládní, jednotka je ve stavu „ústřední ovládní“.

## 2.5 Staniční zabezpečovací zařízení

Staniční zabezpečovací zařízení SZZ je část zabezpečovacího systému, který přispívá ke zvýšení bezpečnosti (primární úloha SZZ) a k řízení vlakové dopravy (sekundární úloha SZZ) ve vymezené oblasti železniční stanice. [3]

Stavědlo eliminuje hlavní průřezová rizika spojená s řízením dopravy, neboť zamezuje vydání nesprávných dispozic vozidlům kontrolou korektního návěstního znaku a informací pro vlakový zabezpečovač VZ, a zajišťuje správnou polohu pohyblivých prvků v kolejišti.

Hlavním úkolem stavědla je připravit a zajistit cestu pro bezpečnou jízdu vlaku nebo posunu, tj. realizovat závěr jízdní cesty.[3]

Pro tato zařízení se užívá název stavědlo, odvozený od jeho základní funkce „stavění“ jízdních cest pro vlaky a posunové díly. [5] Pojmem stavědlo je tedy myšleno technické zařízení zajišťující vzájemnou vazbu prvků v kolejišti, nikoliv stavba.

Vazbu stavědla na okolní prostředí definují jeho rozhraní. Blokovou strukturu stavědla ilustruje Obr. 7. Činnost stavědla je řízena z obslužného pracoviště OP, ze kterého je stavědlo povolováno. V opačném směru stavědlo předává OP informace o svém stavu. Obslužné pracoviště se zřizuje místní (LOP) i dálkové (DOP).

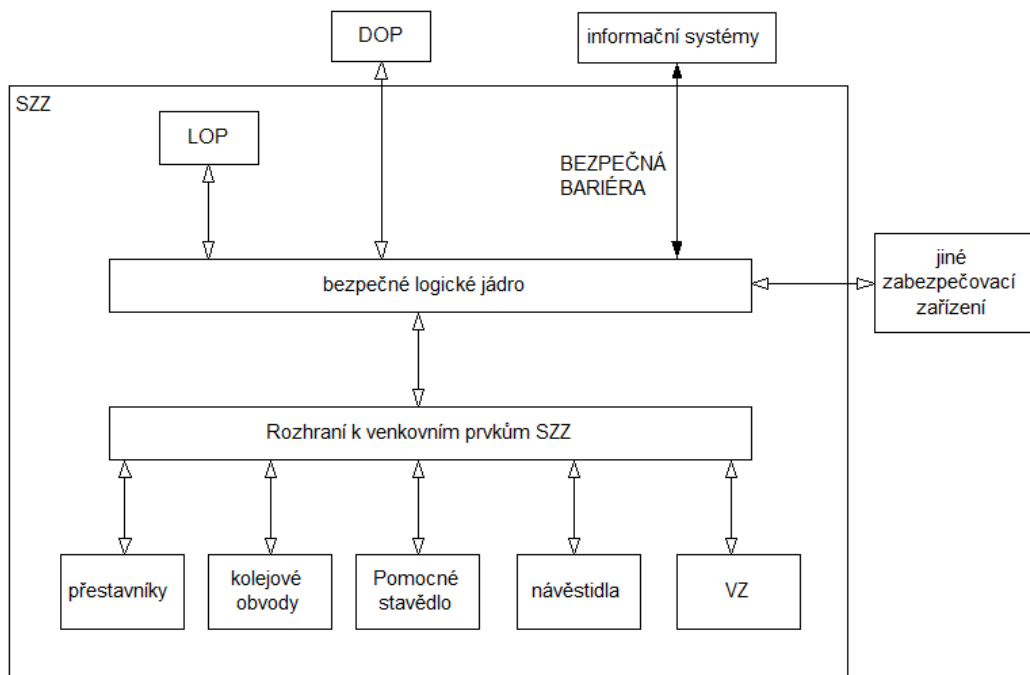
Vnější prvky zabezpečovacího zařízení tvořící jízdní cestu jsou umístěné v kolejišti, a proto je jejich vazba ke stavědlu realizována prostřednictvím rozhraním k venkovním prvkům, které zprostředkovává galvanické oddělení a energetickou konverzi signálů. Stavědlo tyto jednotky poveluje za účelem dosažení jejich požadované polohy a snímá jejich skutečný stav.

Dalším rozhraním stavědla jsou prostředky pro předávání oprávnění k jízdě vozidlu. Nejčastěji se jedná o světelná návěstidla anebo traťovou část vlakového zabezpečovače VZ. Stavědlo tyto prvky poveluje s cílem předat vozidlu správné dispozice pro jejich pohyb a v opačném směru snímá jejich stav.

Velmi často užívanou součástí stavědla je bezpečné rozhraní k dalším zabezpečovacím zařízením. Nejčastěji se jedná o traťové nebo přejezdové zabezpečovací zařízení. U moderních systémů je tato vazba realizována pomocí datového protokolu v počítačové síti.

Další požadovanou funkcí stavědla je vazba na nikoliv bezpečné informační systémy. Toto rozhraní musí být odděleno bezpečnou bariérou od ostatních částí stavědla.





Obr. 7: Bloková struktura SZZ

Zdroj: [3]

Nejdůležitější část stavědla tvoří bezpečné logické jádro, které bezpečně vykonává všechny úkony spojené s řízením pohybu vozidla ve vymezené části železniční infrastruktury. Pro účely zvládnutí poruch či mimořádných událostí musí jádro stavědla umožňovat vydání bezpečných nouzových povelů.

### 2.5.1 Postup stavění JC

Hlavním úkolem stavědla je připravit a zajistit cestu pro bezpečnou jízdu vlaku

Tuto činnost lze rozdělit na fázi stavění JC, dohled nad postavenou JC a vybavení JC.

Za tímto účelem musí stavědlo vykonat sekvenci úkonů:

- Kontrola dostupnosti jízdní cesty

V tomto kroku se kontroluje, zda je přijatý povel k postavení jízdní cesty kolejově realizovatelný.

- Nalezení a kontrola dostupnosti jednotek jízdní cesty

Kromě pojížděných prvků, tj. prvků přes které se realizuje jízda, jsou součástí JC i prvky přímé a nepřímé boční ochrany a případné prokluzové úseky. U těchto jednotek se zjišťuje jejich poloha, volnost a zda nejsou součástí některé dříve postavené JC.

- Vyhrazení jednotek jízdni cesty

Výsledkem této činnosti je, že všechny jednotky JC jsou pro tuto cestu rezervovány, což je neumožní využít pro jakýkoliv další přijatý povel využívající některou z rezervovaných jednotek.

- Přestavení jednotek s pohyblivými částmi do požadované polohy

Kontroluje se správná poloha všech vyhrazených jednotek obsahující pohyblivé prvky. Pokud jednotka není ve správné poloze, provede se její přestavení do požadované polohy.

- Zapevnění jízdni cesty

Jsou-li všechny jednotky JC ve správné poloze, je třeba tyto zapevnit, aby nedošlo během jízdy vozidla ke změně jejich polohy. Tato činnost reprezentuje funkci závěru JC.

- Vydání oprávnění k jízdě

Na základě informací o postavené jízdni cestě, dalších závislostech a vazbách lze vozidlu vydat oprávnění k jízdě. Při výběru příslušného stupeň oprávnění k jízdě jsou rozhodující omezení rychlosti pro jízdu přes výhybky a v případě, že je v cíli cesty požadováno zastavení vlaku, taktéž vzdálenost k cíli cesty a případně délka pojistného úseku, jsou-li zřízeny. Zvolené oprávnění k jízdě se přenáší na vozidlo pomocí dovolující návěsti na návěstidle na počátku JC.

- Vybavení jízdni cesty

Po postavení jízdni cesty se provádí dohled nad postavenou JC, což spočívá v trvalé kontrole splnění podmínek pro vydání oprávnění k jízdě a vydání správného oprávnění k jízdě. Vozidlo, které obdrží oprávnění k jízdě, smí tuto cestu využít, tzn. vjet do úseku JC.

Vozidlo projížděním postavené JC připravuje podmínky pro její vybavení tak, aby bylo zaručeno její bezpečné trvání po celou dobu jízdy vlaku, ale aby JC byla zapevněna jen po nezbytně nutnou dobu. Nejjednodušším způsobem vybavení JC je zrušení závěru jednotek celé cesty naráz po projetí celého vlaku, nebo zastavení vlaku v koncovém bodě JC. Pro zvýšení propustnosti kolejového zhlaví stanice lze JC vybavovat postupně. Princip postupného vybavování JC spočívá v nepřetržitém bezpečném sledování pohybu vlaku v JC. Na základě zjištění, že konec vlaku bezpečně opustil část JC, může být zrušen závěr jednotek této uvolněné části JC a jednotky této části mohou být použity pro další požadovanou JC. [5]

## 2.5.2 Stavědlo K-2002

*„Zařízení K-2002 je staniční zabezpečovací zařízení 3.kategorie určené pro zabezpečení jízd vlaků v malých a středních stanicích a zabezpečení vlečkových kolejišť. Obsluha zařízení odpovídá základním technickým podmínkám ČD pro "Jednotné obslužné pracoviště". Zařízení pracuje s horkou zálohou elektronické úrovně. Stavědlo může spolupracovat s venkovními prvky běžně používanými v zabezpečovací technice a navazujícími zabezpečovacími zařízeními.“ (7, strana 4)*

Blokové schéma stavědla K-2002 zobrazuje Schéma 1. Architektura systému je rozdělena do čtyř úrovní:

- Úroveň vzdáleného ovládání (0. úroveň)
- Úroveň místního ovládání (1. úroveň)
- Úroveň technologických počítačů (2. úroveň)
- Úroveň reléových obvodů (3. úroveň)
- Úroveň venkovních prvků (4. úroveň)

První dvě úrovně (0 a 1) jsou součástí pod systému MaDOS, který je určen pro místní a dálkové ovládání jednoho či více stavědel v rámci ucelené tratě. Ovládací počítače slouží k zobrazování stavu venkovních prvků a k zadávání povelů pro venkovní prvky. Pro zvládnutí mimořádných situací (při poruše části SZZ) umožňují ovládací počítače zadávat nouzové povelů.

Úroveň technologických počítačů vykonává bezpečné logické funkce. Architektura bezpečného logického jádra stavědla je 2 ze 2 v hlavním i záložním systému. Každý technologický počítač (TP) obsahuje dva nezávislé kanály, které mají shodné funkční algoritmy. Vstupní informace a rovněž výstupní povelů jsou mezi kanály inverzní. Mezi kanály existuje galvanicky oddělený komparační kanál, prostřednictvím něj si oba kanály porovnávají vstupní informace, vnitřní stavy, přijaté povelů a výstupy. V případě, že je při komparaci zjištěn nesoulad, uvedou se oba kanály do stavu bezpečného odstavení.

Vstupové kazety CANi30 a výstupové kazety CANo24 jsou řešeny také jako dvoukanalové. Každá kazeta komunikuje s TP pomocí dvojice galvanicky oddělených sběrnic CAN. Pro přenos informací je použito několik úrovní zabezpečení přenášených dat. Každá z kazet je vybavena elektronickým identifikátorem, který obsahuje informace sloužící k identifikaci kazety(adresu). Identifikátor je pevně spojen s konektorovým dílem, tudíž při výměně kazety zůstane ve své pozici. Tímto opatřením je umožněno vložit jakoukoliv kazetu příslušného typu

do kterékoliv pozice. Vstupová kazeta CANi30 zajišťuje bezpečné rozdělení vstupních signálů do dvou inverzních kanálů a testování správné činnosti signálem ENABLE. Výstupová kazeta CANo24 obsahuje komparátor s vnitřní bezpečností, který porovnává výstupy z obou kanálů. Pouze v případě úplné komplementarity výstupů obou kanálů dojde k vybuzení patřičného výstupu kazety. Kazeta CANo24 umožňuje dynamické testování výstupů.

Úroveň reléových obvodů zajišťuje výstup povelů z TP do venkovních zařízení a zpětný přenos informací z venkovních zařízení do TP. Pro zařízení K-2002 byla zvolena koncepce reléových kazet různých typů ( Výhybková kazeta, Návěstní kazeta, Univerzální kazeta ...). Každá kazeta obsahuje různý počet relé I. třídy bezpečnosti. Stav relé jsou indikovány na předním panelu pomocí LED diod a spínacích kontaktů relé. Schéma zapojení výhybkové kazety a kazety návěstidla je uvedeno Příloha A a Příloha B.

Jako venkovní zařízení jsou použity prvky zavedené pro použití v síti ČD.

Elektronické stavědlo K-2002 obsahuje dvě úrovně diagnostiky. První úroveň slouží pro informování obsluhujících pracovníků o stavu zařízení. K tomu slouží indikační prvky na monitoru a hlášení, která se zaznamenávají do poruchového seznamu. Druhá úroveň slouží pro informování udržujících pracovníků. K tomu slouží lokální údržbářský počítač LUP umístěný v reléové ústředně.

Zařízení K-2002 může být vybaveno staničním diagnostickým zařízením DISTA, které obsahuje měřicí ústřednu s deskami pro měření stejnosměrných i střídavých napětí, deskami pro měření izolačních stavů, deskami pro snímání kódovacího napětí a deskami pro snímání stavů kontaktů.

Pro přezkoušení funkční bezpečnosti byl navržen a realizován simulátor SIMCAN. Simulátor je k technologickému počítači připojen pomocí sběrnice CAN a CAN\ a nahrazuje a simuluje činnost vstupových kazet CANi30 a výstupových kazet CANo24, potažmo reléových vazeb a venkovních obvodů. Simulátor je složen z procesorové desky DISTA a simulačního počítače SP. Simulátor přijímá povely od TP určené pro kazety CANo24, potvrzuje tyto povely zpět do TP a přijaté povely předává ke zpracování do SP . Dále posílá indikace do TP na základě simulovaných stavů v SP. V SP jsou zobrazovány stavy venkovního zařízení. Tyto stavy lze pomocí klávesnice a myši nastavovat a tím simulovat chování venkovního zařízení, např. obsazení kolejového obvodu, spálení žárovky apod.

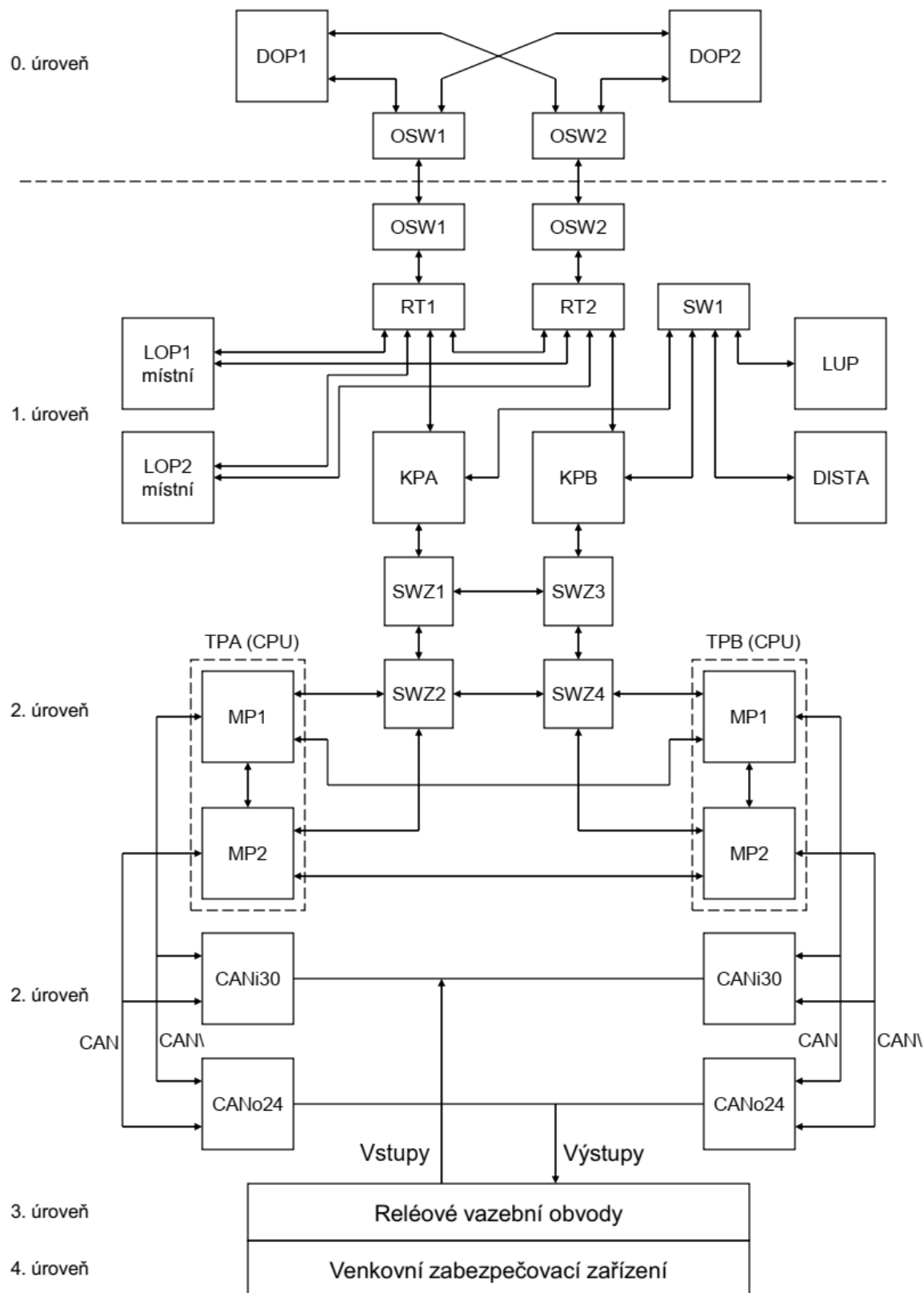


Schéma 1: Blokové schéma K-2002

Zdroj: [7]

## 3 Vlak

Jízda vlaku po železniční infrastruktuře, po vyhrazených prvcích, se realizuje podle stanovené vlakové cesty (VC) nebo posunové cesty (PC). Každý vlak je vymezen začátkem a koncem vlaku, je složen z jednoho nebo několika spojených vozů, je zaveden v grafikonu vlakové dopravy a má přiděleno číslo a stanoven druh. Pod pojem posunová cesta se řadí všechny pohyby vozidel, které nejsou vlakem.

Poloha a jízda vlaku nebo posunového dílu po železniční infrastruktuře je zabezpečovacím systémem detekována a sledována pomocí prostředků pro detekci volnosti kolejových úseků, kdy vlak svou jízdou sekvenčně obsazuje a uvolňuje jednotlivé kolejové úseky. Prostřednictvím detekce polohy vlaku, lze rozhodnout o projetí příslušného úseku JC a jeho následném uvolnění při postupném rušení závěru a výluk JC.

### 3.1 Matematický model pohybu vozidla

Matematický model pro simulaci pohybu vozidel popisuje jejich chování při pohybu po daném úseku trati pomocí matematických vztahů. Reálný pohyb vozidel po železničním svršku, tj s uvažováním všech vlivů, které na něj působí, je velice složitý. Proto se při vyšetřování pohybu vozidel užívá zjednodušení, která zanedbávají vlivy s malým účinkem na jízdu vozidla:

- Jsou uvažovány pouze síly tíhové a síly působící rovnoběžně se směrem pohybu. Reálně na vozidlo působí síly v podélném, příznmém i svislém směru.
- Vozidlo se pohybuje pouze rovnoběžně se směrem jízdy. Reálně je vozidlu umožněn pohyb všemi směry.
- Žádné části vozidla nevykonávají vzájemný pohyb
- Vozidlo považujeme za homogenní těleso, které má hmotnost soustředěnou v jednom bodě (těžišti příp. čele vlaku).

V případě popisu pohybu soupravy vozidel se navíc zavádí tato zjednodušení:

- Zanedbávají se vzájemné pohyby vozidel, které jsou reálně umožněny pomocí jejich pružného spojení pomocí spřáhel.
- Soupravu vozů lze definovat i jako jeden hmotný bod o hmotnosti rovné součtu hmotností všech dílčích vozů soustředěné v jednom bodě (těžišti příp. čele vlaku).

V souvislosti s uvažovanými zjednodušeními se užívá termínů „ideální vůz“ a „ideální vlak“.

Pro matematický popis jízdy soupravy vozidel se využívá pohybová rovnice vlaku [11], která vychází z Newtonových pohybových zákonů:

$$F_s - F_b - O_v - O_T = O_z$$

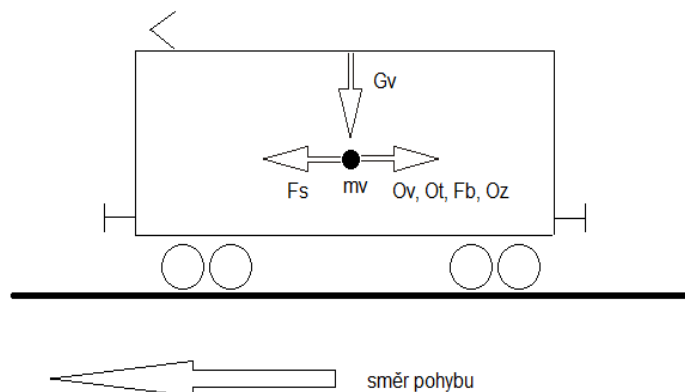
Kde:

$F_s$ – tažná síla na háku lokomotivy [N]
$F_b$ – celková brzdná síla soupravy [N]
$O_v$ – celkový vozidlový odpor soupravy [N]
$O_T$ – celkový traťový odpor soupravy [N]
$O_z$ – celkový odpor zrychlení soupravy [N]

Tato rovnice vyjadřuje závislost celkových odporových sil, jízdnicích odporů, působících proti směru pohybu a tažné síly způsobující pohyb. Grafické znázornění sil působících na ideální vozidlo ilustruje Obr. 8. Odporová síla, která působí pouze v okamžiku zrychlování vozidla se nazývá odpor zrychlení. Vozidlové odpory a odpory traťové společně tvoří skupinu označovanou jízdnicí odpory.

- Tažná síla  $F_s$

Tažná síla je úměrná mechanické práci, kterou musíme vykonat, abychom vozidlo o hmotnosti  $m_v$  uvedly do pohybu. Působící tažná síla udělí vozidlu zrychlení, a se zvyšující se rychlostí roste i kinetická energie vozidla. Velikost a průběh tažné síly závisí na trakční charakteristice hnacího vozidla.



Obr. 8: Ideální vozidlo

Zdroj: [12]

Tíha vozidla se za pomoci zákona síly určí ze vztahu:

$$Gvi = mi * g \quad [N]$$

Kde:

$m_i$  – hmotnost vozidla [kg]  
 $g$  – gravitační zrychlení,  $g = 9,81$  [m\*s-2]

Celková tíha soupravy vozidel je dána součtem tíhy jednotlivých vozů.

$$Gv = \sum_{i=1}^n Gvi \quad [N]$$

- Celková brzdná síla  $F_b$

Pro umožnění snížení rychlosti, musí vozidlo disponovat prostředky pro brždění. Úkolem brzdícího zařízení je snížit kinetickou energii vozidla. Brzdná síla působí proti směru pohybu vozidla. Její velikost je dána poměrem kinetické energie, kterou bylo nutné zmařit, a zábrzdné dráhy. Brzdná síla není po celou dobu brždění konstantní, proto se ve výpočtech pracuje s průměrnou brzdnou silou, která tuto nelinearitu aproximuje. Průměrná brzdná síla se určí dle vztahu:

$$F_{bi} = \frac{E_K}{L_Z} \quad [N]$$

Celková brzdná síla soupravy je dána součtem brzdných sil jednotlivých vozidel.

$$Fb = \sum_{i=1}^n Fbi \quad [N]$$

- Vozidlové odpory  $O_v$

Vozidlové odpory jsou produkovány vozidlem. Jedná se o sílu působící proti směru pohybu vozidla, která závisí na okamžité rychlosti vozidla. Velikost vozidlového odporu je dána stavem a konstrukcí vozidla. Dle fyzikální podstaty vzniku je lze rozdělit na:

Odpor valivého tření – vzniká mezi vozidlem a kolejnicemi (konstanta A v rovnici)

Odpor čepového tření – vzniká v nápravových ložiskách (konstanta B v rovnici)

Odpor vzduchu – vzniká mezi vozidlem a vzduchem (konstanta C v rovnici)



Pro určení vozidlového odporu se používá empirických vztahů zjištěných měření. Hodnota vozidlového odporu se stanovuje dle rovnice:

$$O_{vi} = Gv * (A + B * v + C * v^2) \quad [N]$$

Pro stanovení hodnoty jednotlivých konstant lze využít vypočtených hodnot dle Tab. 4.

V technické praxi je zaveden měrný vozidlový odpor, který vyjadřuje, jaká odporová síla v newtonech působí na jeden kN tíhy vozidla. Označuje se malým písmenem  $o_v$  a udává se v jednotkách N/kN. Z vypočteného vozidlového odporu se získá pomocí vztahu:

$$o_{vi} = \frac{O_{vi}}{G_{vi}} = \frac{O_{vi}}{m_{vi} * g} \quad [N/kN]$$

Celkový vozidlový odpor soupravy je dán součtem vozidlových odporů jednotlivých vozů.

$$Ov = \sum_{i=1}^n O_{vi} \quad [N]$$

Tab. 4: Základní typy vozidlových odporů

Zdroj: [11]

Typ	Typ soupravy vozů	Konstanty jízdního odporu		
		A	B	C
R	osobní čtyřnápravové vozy	1,35	0,008	0,00033
S	osobní a nákladní vozy	1,9	0	0,00047
M4	osobní čtyřnápravové vozy lehké stavby	1,8	0,01	0,00048
M2	osobní dvounápravové vozy lehké stavby	1,5	0	0,00869
U2	prázdné dvounápravové nákladní vozy	1,9	0	0,00047
U4	prázdné čtyřnápravové nákladní vozy	2	0	0,0008
T2	ložené dvounápravové nákladní vozy	1,7	0,003	0,00018
T4	ložené čtyřnápravové nákladní vozy	1,3	0	0,00033

- Traťové odpory  $O_T$

Jako traťové odpory označujeme síly působící proti pohybu vozidla, které závisí na tíze vozidla a na konstrukci trati. Jedná se odpor z oblouku trati  $O_o$ , odpor z tunelu  $O_t$  a odpor ze sklonu trati  $O_s$ . Stejně jako u vozidlových odporů se zavádí měrný odpor.

Celkový traťový odpor vozidla je dán součtem dílčích odporů.

$$O_{ti} = O_{oi} + O_{ti} + O_{si} \quad [\text{N}]$$

Celkový traťový odpor soupravy je dán součtem traťových odporů jednotlivých vozů.

$$O_T = \sum_{i=1}^n O_{Ti} \quad [\text{N}]$$

Odpor z oblouku trati

Při průjezdu vozidla obloukem na něj působí vnější síly, které jej vychylují z přímého směru a udělují mu směr dle trajektorie kolejí. Velikost této síly je dána více faktory, nejvýznamnější je poloměr oblouku. Oblouk je definován poloměrem oblouku  $R_j$  a kilometrickou polohou začátku a konce uvažovaného oblouku, viz Obr. 9.

Při výpočtu odporu z oblouku se užívají Rocklovy vzorce:

$$O_{oi} = G_{vi} * o_{oj} \quad [\text{N}]$$

$$o_{oj} = \frac{650}{R_j - 55} \quad [\text{N/kN}] \quad \text{-pro } R_j \geq 300\text{m}$$

$$o_{oj} = \frac{650500}{R_j - 30} \quad [\text{N/kN}] \quad \text{-pro } R_j < 300\text{m}$$

Odpor z tunelu

Průjezd vlaku tunelem představuje pro jízdu vlaku odpor, neboť je čelem vlaku vytlačován sloupec vzduchu. Velikost traťového odporu z tunelu se vypočte dle následujících vztahů:

$$O_{ti} = G_{vi} * o_{tj} \quad [\text{N}]$$

Odpor tunelu pro jednokolejný a dvojkolejný tunel má stanoveny empirické hodnoty[12]:

$$o_{tj} = 0,002 \quad [\text{N/kN}] \quad \text{- pro jednokolejný}$$

$$o_{tj} = 0,001 \quad [\text{N/kN}] \quad \text{- pro dvojkolejný}$$

Aby bylo možné projíždět tunely konstantní tažnou silou, jsou delší tunely konstruovány se sklonem 2‰, a tudíž není třeba odpor z tunelu uvažovat.

Odpor ze sklonu trati  $o_s$

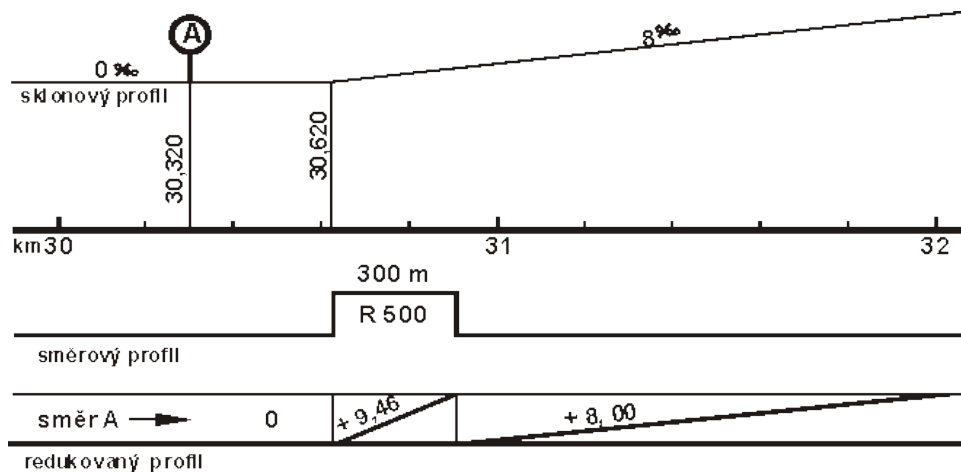
Každý úsek trati má definovanou velikost sklonu a polohu krajních bodů, definujících místo změny sklonu, viz Obr. 9. Sklon je definován jako přírůstek nivelety na úseku o délce 1000m. Velikost sklonu úseku trati  $s_j$  je udávána v promile [‰] a je číselně rovna měrnému odporu ze sklonu, tedy platí:

$$o_{si} \text{ [N/kN]} = s_j \text{ [‰]}$$

Odpor ze sklonu se pro každé vozidlo vypočte dle vztahu:

$$O_{si} = G_{vi} * o_{si} \quad \text{[N]}$$

Odpor ze sklonu je nejvýznamnější ze všech traťových odporů, neboť jeho hodnota je marginální v porovnání s ostatními traťovými odpory.



Obr. 9: Sklonový a směrový profil trati

Zdroj: [12]

- Odpor zrychlení  $O_z$

Kromě výše zmíněných jízdních odporů, působí na vozidlo ještě odpor zrychlení vozidla.

Odpor zrychlení se projevuje pouze při zrychlování vozu. Je závislý na velikosti zrychlení  $a$  [m\*s-2], hmotnosti vozu  $m_v$  [kg] a velikosti součinitele rotačních hmot  $\rho_d$ .

Odpor ze zrychlení posuvných hmot:

$$O_{zposi} = \frac{G_{vi}}{g} * a = m_{vi} * a \quad \text{[N]}$$

Kromě uvažovaného odporu posuvných hmot působí proti směru pohybu odpor rotujících hmot, jehož příčinou jsou všechny rotační části vozidla (nápravy, rotory motorů), které působí při pohybu vozidla jako setrvačnické.

Za účelem usnadnění výpočtů vznikla bezrozměrná jednotka součinitelů rotačních hmot, která vyjadřuje přepočtenou mechanickou práci, která je potřebná k rozpočívání rotačních částí vozidla, na posuvný pohyb. Tato hodnota je připočtena k reálné hmotnosti vozidla jako další pomyslná část hmotnosti. Součinitel rotačních hmot lze stanovit pro každé konkrétní vozidlo. Pro jednotlivé druhy vozidel byl statisticky určen průměrný součinitel rotačních hmot, který lze ve výpočtech využít, viz

Tab. 5.

Tab. 5: Průměrný součinitel rotačních hmot

Zdroj: [12].

Typ vozu	$\rho_d$
Osobní vozy	$\rho_d = 0,06$
Nákladní vozy prázdné	$\rho_d = 0,1$
Nákladní vozy ložené	$\rho_d = 0,04$
Elektrické a motorové lokomotivy	$\rho_d = 0,20$
Elektrické a motorové jednotky a vozy	$\rho_d = 0,15$

Odpor zrychlení se pak vypočte dle vztahu:

$$O_{Zi} = \frac{G_{vi}}{g} * (1 + \rho_d) * a = m_{vi} * (1 + \rho_d) * a \quad [\text{N}]$$

Celková hodnota odporu zrychlení je dána součtem dílčích hodnot odporů ze zrychlení jednotlivých vozidel soupravy.

$$O_Z = \sum_{i=1}^n O_{Zi} \quad [\text{N}]$$

Pohybovou rovnicí soupravy lze se znalostí vztahu pro odpor ze zrychlení upravit do tvaru:

$$F_s - F_b - O_v - O_T = \frac{G_v}{g} * (1 + \rho_d) * a$$

## 4 Datový model

Navržený datový model simuluje stav železniční infrastruktury pro vymezenou oblast, typicky železniční stanici, a umožňuje simulovat jízdu vlaku po ní prostřednictvím sekvenčního obsazování a uvolňování jednotlivých kolejových úseků v čase. Součástí modelu je rovněž rozhraní pro datovou komunikaci se stavědlem K2002. Způsob připojení simulátoru ke stavědlu ilustruje Schéma 2.

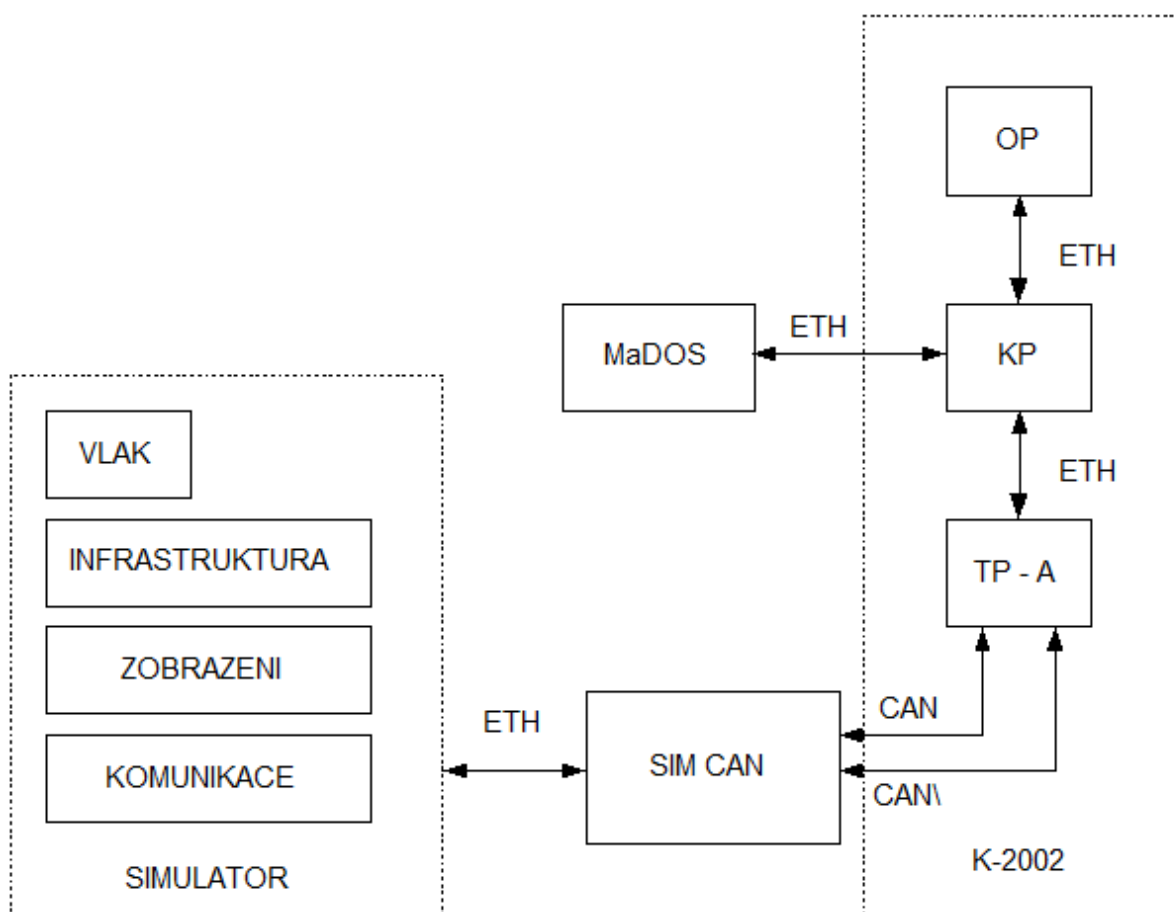


Schéma 2: Blokové schéma připojení simulátoru ke stavědlu K2002

[Zdroj: autor]

Datový model kolejiště umožňuje online změnu parametrů všech prvků kolejiště a parametrů vlaků. Ovládání simulátoru a zobrazení grafických informací zprostředkovává grafické uživatelské rozhraní (GUI). Činnost simulátoru a průběh komunikace se stavědlem jsou zobrazovány v terminálovém okně.

## 4.1 Model infrastruktury

Pro popis vlastností a vzájemných vazeb prvků kolejiště je navržena abstraktní jednotka. Jedná se o datovou strukturu, jejíž položky definují okamžitý stav prvku, vazbu na sousední prvky a další parametry potřebné pro simulaci chování konkrétního prvku. Tímto způsobem lze docílit relevantní definice parametrů všech jednotek, což je zásadní pro korektní simulaci infrastruktury.

### 4.1.1 Konfigurace infrastruktury

Vytvoření konfigurace infrastruktury je počátečním krokem v procesu jejího modelování. Cílem konfigurace je vytvořit konfigurační data, která definují vlastnosti a parametry všech prvků infrastruktury, popisují topologii kolejiště a definují rychlostní a sklonové poměry trati.

Struktura parametrů jednotek je rozdílná v závislosti na typu simulovaného prvku, přesto lze definovat parametry společné pro všechny jednotky. Soubor parametrů společných pro všechny jednotky zobrazuje Tab. 6. Jedná se o skupinu parametrů, které umožňují manipulaci s jednotkou, pomocí definice typu, a procházení souboru jednotek, prostřednictvím její jednoznačné identifikace,

Tab. 6: Společné parametry jednotek

[Zdroj: autor]

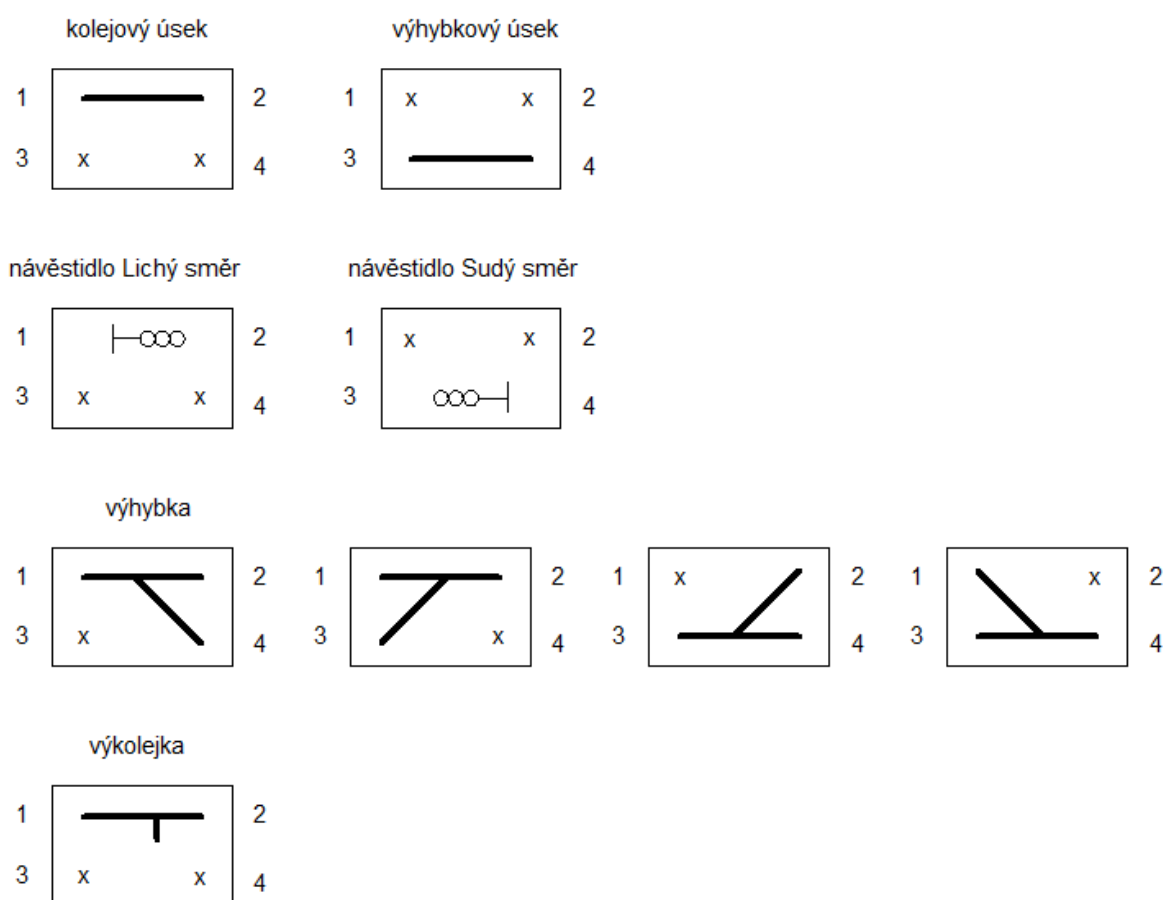
<b>parametr</b>	<b>hodnota</b>
název	1K, 1, V1, Vk1, L1, P3525
typ	KU = kolejový úsek / VU = výhybkový úsek / V = výhybka / VK = výkolejka / N = návěstidlo / P = přejezd
číslo	1-999
poloha	Kilometrická poloha na trati [km]
vazba na sousední jednotky P1 P2 P3 P4	Název sousední jednotky, příp. klíčové slovo

Podkladem pro vytvoření konfiguračních dat jednotek je závěrová tabulka dané stanice, jejíž přílohou je situační schéma. Jedná se o dokumenty komplexně popisující infrastrukturu dopravní a případně vymezenou část trati.

Z uvedených podkladů lze stanovit jednoznačný název a typ všech jednotek infrastruktury.

Ze situačního schématu je patrná topologie infrastruktury, kterou je třeba nadefinovat pomocí vazeb mezi sousedními jednotkami, Každá jednotka má nadefinované čtyři porty pro vyjádření vazby na sousední jednotku/ky, viz Obr. 10. Tento způsob popisu umožňuje vyjádřit následnost libovolných typů prvků infrastruktury.

Pro vymezení začátku a konce simulované infrastruktury je vyhrazené klíčové slovo „END“, které se použije místo názvu sousední jednotky v odpovídajícím portu. Pro definici neobsazeného portu je vyhrazené klíčové slovo „EMPTY“.



Obr. 10: Definice vazeb uvažovaných typů jednotek

[Zdroj: autor]

Situační schéma dále poskytuje informace o kilometrické poloze všech prvků kolejiště, na jejímž základě lze definovat polohu všech jednotek, a informace o průběžných parametrech trati, které je třeba definovat v podobě sklonovníku a rychlostníku trati.

Dokument také definuje zřízení pomocných stavědel a EZ. Tyto prvky nemají určenou polohu, neboť definují vzájemné závislosti prvků kolejiště, a proto se u těchto jednotek položka poloha nevyplňuje ani nekontroluje.

Jako poloha u jednotek kolejový nebo výhybkový úsek se udává poloha začátku úseku. Tato informace je využita při výpočtu délky kolejového úseku.

Tabulka výhybek poskytuje informace o základní poloze výhybky, a v případě, že výhybka není ústředně přestavovaná definuje závislost mezi základní polohou výhybky a EZ. Dle tabulky rychlostí je třeba nadefinovat maximální rychlost do odbočky pro všechny jednotky typu výhybka u ústředně stavěných výhybek. Uvedené parametry je třeba definovat v konfiguračních datech jednotek. Strukturu konfiguračních dat jednotky typu výhybka ilustruje Obr. 11.

```
[V1]
nazev=V1
typ=V
cislo=1
poloha=26646
p1=mK
p2=1K
p3=EMPTY
p4=V2
prestav=EPR
zak_pol=P|
rychlost= 40
```

Obr. 11: Příklad konfigurace prvku typu výhybka

[Zdroj: autor]

Typ použitých návěstidel a složení jejich světel lze definovat na základě situačního schéma. Informaci o tom, jaká světla jsou na návěstidle použita je v konfiguračních datech zanesena pomocí vektoru světel viz Tab. 7. Použitím stejné logiky jsou vytvořeny stavové vektory barva, kmitání pomalé a kmitání rychlé. Kombinace těchto vektorů dává vzniknout výsledný návěstní znak na návěstidle. V případě že se jedná o seřaďovací návěstidlo je pořadí barev a návěstí dané dle Tab. 8.

Tabulka jízdních cest specifikuje definované VC a PC. Pro každou JC jsou určeny vyhrazené jednotky, které jsou součástí JC, požadované polohy jednotek, včetně jednotek boční ochrany a další závislosti ( PZZ, traťový souhlas). Tyto závislosti je třeba definovat v konfiguračních datech v podobě stejně konstruované závěrové tabulky, neboť se jich využívá při testování mechanismů stavění JC.



Tab. 7: Definice barev světél ve stavových vektorech hlavních návěstidel

[Zdroj: autor]

vektor	pořadí bitu							
	7	6	5	4	3	2	1	0
vektor světél	Y	R	G	W	Y2	YS	G1S	G2S
barva	Y	R	G	W	Y2	YS	G1S	G2S
kmitá pomalu	Y		G	W				
kmitá rychle	Y		G	W				

Tab. 8: Definice barev světél ve stavových vektorech seřadovacích návěstidel

[Zdroj: autor]

vektor	pořadí bitu	
	1	0
vektor světél	W	B
barva	W	B

Kde:

Y – horní žlutá, R – rudá, G – zelená,

W – bílá, Y2 – spodní žlutá, B - modrá

YS – žlutý pruh, G1S – zelený pruh,

G2S – druhý zelený pruh

Konfigurační data každého prvku lze pomocí GUI vytvořit nebo editovat a uložit pro následné použití. Pro zefektivnění práce se simulačním SW, umožňuje GUI načtení konfigurace prvků infrastruktury z konfiguračního souboru.

#### 4.1.2 Analýza konfiguračních dat

Vytvořená množina jednotek utváří ucelený popis infrastruktury. Při validaci vstupních dat, je třeba ověřit správné provázání jednotek mezi sebou, z pohledu topologie kolejiště, a analyzovat hodnoty položek každé jednotky. Proces validace je optimalizován sekvenčním procházením množiny jednotek, kdy nedochází k nadbytečnému cyklickému procházení všech položek množiny.

- Procházení položek

Unikátní název jednotky a vazba na jednotky sousední umožňují sekvenční procházení celé množiny jednotek.

Množina jednotek se začne procházet od jednotky na začátku trati zleva, tj. jednotka s klíčovým slovem „END“ na portu 1 nebo 3. Pokud tato jednotka není v konfiguraci na prvním místě, je nejprve vyhledána.

První průchod množinou jednotek je realizován na základě definované základní polohy výhybek, tj. bodů větvení topologie kolejiště. Následující jednotky jsou voleny dle nastavených vazeb. Po dosažení jednotky na konci trati, tj. jednotka s klíčovým slovem „END“ na portu 2 nebo 4, následují variantní průchody topologie.

Při variantních průchodech topologií kolejiště je využit seznam variantních bodů. Ze seznamu se vybere první jednotka, která umožňuje větvení kolejiště směrem doleva při uvažovaném směru trati. Následující jednotka je zvolena na základě definované základní polohy vybrané jednotky. Následující jednotky jsou voleny dle nastavených vazeb. Pokud se při procházení narazí na další variantní bod, ověřuje se, že umožňuje sloučení směrem zleva při uvažovaném směru trati. Všechny využití variantní body se ze seznamu variantních bodů odstraní, a následuje další variantní průchod.

Pokud jsou vyčerpány všechny variantní body pro směr větvení na levou stranu, aplikuje se stejný mechanismus procházení pro variantní body pro směr větvení na pravou stranu. Tímto způsobem je pokryto projití celé topologie kolejiště.

U každé právě zkoumané jednotky se provede ověření topologie, přiřazení grafického symbolu, výpočet parametrů jednotky a určení směru trati.

- Ověření topologie

Simulační SW prochází konfigurační data a ověřuje správnou definici vazeb jednotky. Na základě typu jednotky se validuje odpovídající struktura definice vazeb jednotky. Pokud definice vazeb neodpovídá příslušnému typu, jsou konfigurační data prohlášena za nevalidní a simulace se přerušena.

V případě detekce jednotky typu výhybka, je její název přidán do seznamu variantních bodů. Tento seznam označuje body větvení topologie kolejiště a je využíván při variantním procházení topologie kolejiště.

Následně se kontroluje provázanost vazeb jednotlivých jednotek, tak aby byla dodržena integrita vazeb mezi sousedními jednotkami. Postupně se projdou všechny porty pro vyjádření vazby zkoumané jednotky a u každého z nich se zjišťuje, jestli je jednotka s uvedeným názvem v množině jednotek definovaná, a zda má v odpovídajícím portu správně nastavenou vazbu na právě zkoumanou jednotku. V případě, že je v některém kroku zjištěn nesoulad, je definice vazeb dané jednotky prohlášena za nevalidní a simulace je přerušena. Uživateli je poskytnuta informace o tom, která z jednotek obsahuje nevalidní vazbu.

- Přřazení grafického symbolu

Na základě typu a definice vazeb jednotky lze jednotce jednoznačně přiřadit odpovídající grafický symbol, dle předdefinovaných typů. Tento krok je stěžejní pro odpovídající zobrazení topologie infrastruktury.

- Ověření parametrů

U právě zpracovávané jednotky se ověřuje, zda konfigurační data obsahují všechny vyžadované parametry. Rozsah vyžadovaných parametrů se odvíjí od typu jednotky.

Délka kolejového úseku je fyzicky vymezena polohou izolovaných styků, případně počítacích bodů. Pro účely simulace je délka úseku stanovena dle kilometrické polohy výhybek na krajích staniční koleje, případně dle polohy návěstidel ohraničujících daný úsek

Kromě parametrů definovaných konfiguračními daty jednotek, mají jednotky kolejových úseků parametry, které vyjadřující informace o průběžných parametrech trati. Jedná se o hodnoty maximální traťové rychlosti příp. dočasného omezení traťové rychlosti a sklonových poměrů trati. Tyto parametry je nutné, na základě znalosti kilometrické polohy začátku úseku a jeho délky, doplnit z definovaného rychlostníku a sklonovníku trati.

- Určení směru trati

V průběhu analýzy vstupních dat modelu se stanoví a porovnává směr trati. Tato informace se určí na základě charakteru vývoje kilometrické polohy sousedních jednotek.

V každém kroku analýzy se provede rozdíl kilometrické polohy zkoumané jednotky a jednotky sousední. Pokud je rozdíl záporný, stanoví se směr trati „ZLEVA“, pokud je rozdíl kladný, je směr trati definován jako „ZPRAVA“. V průběhu analýzy musí mít rozdíl neměnný charakter, tzn. všechny vypočtené rozdíly musí být buďto kladné nebo záporné.

### 4.1.3 Zobrazení infrastruktury

Zobrazení topologie infrastruktury vychází z předpisu pro jednotné ovládací pracoviště ZTP-JOP, dle [9] a znázorňuje uspořádání prvků kolejiště, přičemž rozložení prvků nereflexuje jejich reálnou geografickou polohu, tzn. velikost segmentů není nijak úměrná reálné délce kolejových úseků. Kolejiště se skládá z dílčích grafických symbolů přiřazených jednotlivým jednotkám v procesu analýzy konfiguračních dat. Zobrazení jednotlivých grafických symbolů je provedeno v souladu s definicí dle ZTP-JOP, kdy je zachováno zobrazení dle JOP, ale jednotkám není přiděleno menu s povely.

U jednotek s pohyblivými částmi je definováno několik druhů grafických symbolů, v závislosti na druhu jednotky, zobrazujících odpovídající polohu jednotky. Ztráta dohledu polohy u jednotek s pohyblivými částmi se vyznačí i v průběhu přestavování, tj. změny polohy z jedné koncové polohy do druhé.

Barva grafického symbolu vyjadřuje stav jednotky. Význam barvy ve vztahu k stavu jednotky shrnuje Tab. 9. V případě zavedení varovného štítku nebo výluky je symbol podbarven odpovídající barvou (výluka má vyšší prioritu). Nouzové uvolňování závěru je indikováno přerušovaně v aktuální barvě [9].

- priority zobrazení barev

Při zobrazení grafických symbolů jednotlivých jednotek je třeba řešit prioritu zobrazení barev grafických symbolů, neboť se poměrně často vyskytuje situace, kdy má daná jednotka stav odpovídající více barvám.

Obecně lze konstatovat, že znázornění více významné informace má přednost. Na základě tohoto předpokladu je definovaná priorita zobrazení stavu jednotky od nejvyšší po nejnižší takto [9]:

- 1) nouzový závěr jednotky, nerozlišený závěr – světle tyrkysová
- 2) úsek obsazený - červená
- 3) úsek volný pod závěrem JC - zelená, úsek volný pod závěrem PC - bílá
- 4) předáno na PSt - modrá
- 5) úsek volný – šedá

Tab. 9: Význam barvy ve vztahu ke stavu jednotky

Zdroj: autor na základě [9]

<b>barva</b>	<b>význam</b>
červená	obsazený kolejový úsek, hlavní návěstidlo zablokované v poloze STŮJ
šedá	volný kolejový úsek, bez závěru jízdní cesty, hlavní návěstidlo s návěstí STŮJ, seřadovací návěstidlo s návěstí POSUN ZAKÁZÁN, elektromagnetický zámek se zapevněným klíčem, pomocné stavědlo při ústředním ovládní
zelená	volný kolejový úsek pod závěrem vlakové cesty, hlavní návěstidlo s návěstí povolující jízdu
bílá	volný kolejový úsek pod závěrem posunové cesty, návěstidlo s návěstí POSUN DOVOLEN, hlavní návěstidlo s přivolávací návěstí – přerušovaně, elektromagnetický zámek s uvolněným klíčem, pomocné stavědlo v režimu předávání obsluhy,
světle tyrkysová	volný kolejový úsek pod nerozlišeným závěrem, jednotka pod nouzovým závěrem,
modrá	místní nouzové ruční stavění, v obvodu PSt,
fialová	ztráta komunikace s jednotkou
tmavě tyrkysová	jednotky s nastaveným varovným štítkem
hnědá - pozadí	jednotky v kolejové výluce
modrá - pozadí	jednotky v napěťové výluce
fialová	ztráta komunikace s prvkem

## 4.2 Simulace jízdy vlaku

Navržený simulátor jízdy vozidla obsahuje matematický model vlaku, modul pro automatické řízení jízdy vlaku (ATC) a mechanismy pro konfiguraci parametrů vlaku včetně jeho složení z jednotlivých vozů.

- Matematický model vlaku

Matematický model vlaku popisuje chování soupravy vozidel při jízdě po určeném úseku trati.

Jízdu soupravy vozidel lze chápat jako pohyb hmotných bodů po trajektorii dané kolejovým úsekem. Pohyb vozidla lze poměrně přesně modelovat pomocí několika za sebou následujících rovnoměrně zrychlených, rovnoměrných nebo rovnoměrně zpomalených pohybů. Simulace pohybu soupravy vozidel se pak řídí kinematickými a dynamickými zákony a platí pro ni pohybová rovnice vlaku, viz kapitola 3.1, kterou je vhodné upravit do tvaru s osamostatněným členem okamžitého zrychlení soupravy vozidel:

$$F_s - F_b - O_v - O_T = \frac{G_v}{g} * (1 + \rho_d) * a$$

$$a = \frac{F_s - F_b - O_v - O_T}{G_v * (1 + \rho_d)} * g$$

Na základě určené hodnoty okamžitého zrychlení soupravy  $a$  [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ] jsou vypočteny hodnoty dalších parametrů definujících pohyb vlaku.

Pro řešení pohybové rovnice vlaku je použita analytická metoda výpočtu jízdní doby s konstantním časovým krokem  $\Delta t$  [s], která stanovuje průběh okamžité rychlosti vozidla v [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ] v závislosti na čase  $t$  [s] a určuje ujetou dráhu vozidla  $s$  [m]. Pohybová rovnice je řešena iteračně s konstantním časovým krokem  $\Delta t$ . Zvolená velikost časového kroku  $\Delta t$  určuje přesnost výpočtu.

Stanovení okamžité rychlosti soupravy vozidel v  $i$ -tém kroku výpočtu:

$$v_i = v_{i-1} + a_i * \Delta t \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

Stanovení ujeté dráhy soupravy vozidel v  $i$ -tém kroku výpočtu:

$$s_i = s_{i-1} + \frac{v_{i-1} + v_i}{2} * \Delta t \quad [\text{m}]$$

Stanovení celkového času jízdy soupravy vozidel v i-tém kroku výpočtu:

$$t_i = t_{i-1} + \Delta t \quad [\text{s}]$$

Okamžitá rychlost vlaku  $v$ , ujetá dráha  $s$  a celkový čas jízdy vlaku  $t$  jsou výstupními hodnotami matematického modelu.

Pro jednotlivé vozy a z nich složený vlak jsou definovány parametry reflektující jejich konstrukci a fyzikální vlastnosti. Sledované parametry pro jednotlivé vozy definuje Tab. 10 a pro vlak Tab. 11

Tab. 10: Parametry vozu

Zdroj: autor

<b>parametr</b>	<b>jednotka</b>	<b>typická hodnota</b>
označení	-	-
druh	-	nákladní / osobní
pořadí vozu v rámci vlaku	-	1-99
hmotnost	t	10-55
délka	m	15-30
maximální rychlost	km/h	80-200
počet náprav	-	2-10
vzdálenost nápravy od začátku vozu	mm	-
vzdálenost nápravy od konce vozu	mm	-
vzdálenost mezi podvozky	mm	-
rozvor podvozku	mm	-
Konstanta vozidlového odporu A	-	1,3-2
Konstanta vozidlového odporu B	-	0-0,01
Konstanta vozidlového odporu C	-	0,0008-0,09
Součinitel rotačních hmot $p_d$	-	01-0,2

Tab. 11: Parametry vlaku

Zdroj: autor

<b>parametr</b>	<b>jednotka</b>	<b>typická hodnota</b>
označení	-	-
číslo	-	1-99999
druh	-	nákladní / osobní
počet vozů	-	dle počtu vozů
hmotnost	t	150-4500
délka	m	50-750
maximální rychlost vlaku	km/h	dle nejnižší hodnoty vozů
celkový vozidlový odpor	N	dle součtu jednotlivých vozů
celkový traťový odpor	N	dle součtu jednotlivých vozů
celkový odpor zrychlení	N	dle součtu jednotlivých vozů

- Modul automatického řízení vlaku

Modul automatického řízení vlaku má za úkol řídit rychlost vlaku na základě dispozic k jízdě předaných na vozidlo.

Mechanismy předání dispozic mezi tratí a vlakem jsou v modulu ATC navrženy tak, aby bylo možné tento modul použít i v systému řízení jízdy vlaku pomocí technologie CBTC<sup>1</sup> (Communications-based train control), neboli řízení vlaků založené na komunikaci [8]. Z čehož plyne i způsob předávání dispozic k jízdě na vozidlo a způsob řízení rychlosti. Detailní vysvětlení principů systému CBTC je uvedeno např. v [14], definice systému pak v [8].

Vlak pomocí datové zprávy hlásí traťové části systému CBTC svoji polohu (polohu čela vlaku), měřenou od posledního (nebo několika) projetého referenčního bodu na trati a aktuální rychlost. Traťová část na základě znalosti polohy čela vlaku a jeho délky vytvoří oprávnění k jízdě vozidla (MA), a to následně předává pomocí datové zprávy konkrétnímu vozidlu. Oprávnění k jízdě obsahuje maximální povolenou rychlost a délku oprávnění k jízdě měřenou od poslední známé polohy čela vlaku. Na základě přijatého MA vlak stanoví statický rychlostní profil (SSP), podle kterého je řízena jízda vozidla.

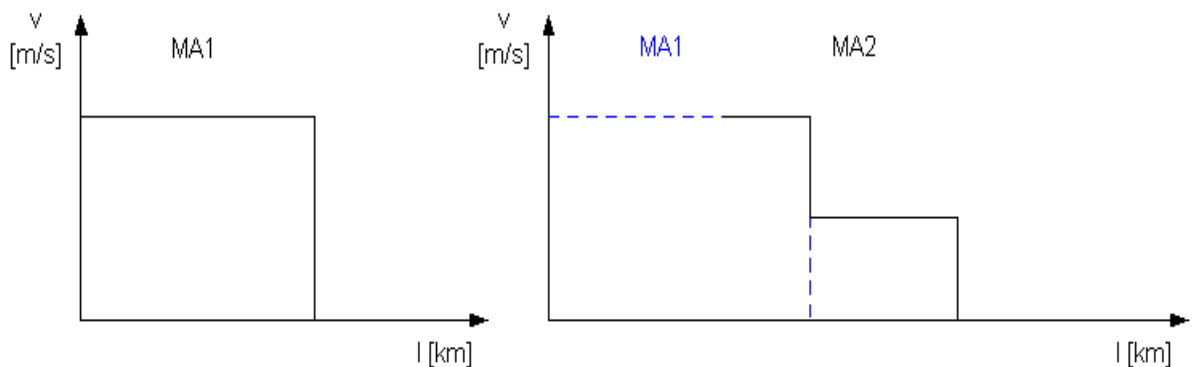
<sup>1</sup> Při zadání práce se uvažovalo použití simulátoru pro testování algoritmů tohoto systému řízení dopravy



Délka oprávnění k jízdě reflektuje požadavky na bezpečnou vzdálenost mezi jednotlivými vlaky, místo požadovaného zastavení vlaku a případnou vzdálenost rychlostního omezení.

Rychlost povolená v oprávnění k jízdě vozidla se stanoví na základě maximální traťové rychlosti v daném místě trati, případně jejího dočasného omezení, a v závislosti na topologii kolejistiště, tj. povolené rychlosti jízdy přes výhybky. Cílová rychlost, tj. rychlost ve vzdálenosti povolené MA, se uvažuje nulová, tedy je požadováno zastavení vlaku. Vhodným načasováním odeslání následného MA lze cílovou rychlost změnit. Obě varianty oprávnění k jízdě ilustruje Obr. 12. Pokud by vlak obdržel více MA ve stejný okamžik, má přednost MA s vyšší restrikcí.

V případě použití simulátoru v konvenčním systému řízení železniční dopravy jsou do oprávnění k jízdě zadány informace korespondující s informacemi návěstidel. Délka oprávnění je stanovena na základě vzdálenosti k dalšímu návěstidlu příp. požadovanému místu zastavení, a jako povolená rychlost je použita rychlost povolená návěstidlem. V případě předvěsti je vlaku vydáno další oprávnění s rychlostí odpovídající předvěstěné rychlosti.



Obr. 12: Oprávnění k jízdě vlaku

Zdroj: autor

Řízení rychlosti jízdy vlaku je dalším úkolem modul ATC.

Jízda vlaku je modulem ATC řízena pomocí definovaných parametrů vlaku viz

Tab. 12. Jejich nastavením lze simulaci jízdy vozidla ovlivnit. Na základě nastavených parametrů vlaku jsou upraveny hodnoty příslušných veličin v matematickém modelu, a vypočteny odpovídající výstupní hodnoty modelu. Na základě informace o aktuální rychlosti a

poloze čela vlaku se vyhodnotí požadavek na změnu rychlosti vlaku a je nastaven adekvátní režim jízdy.

Tab. 12: Parametry vlaku pro řízení rychlosti

Zdroj: autor

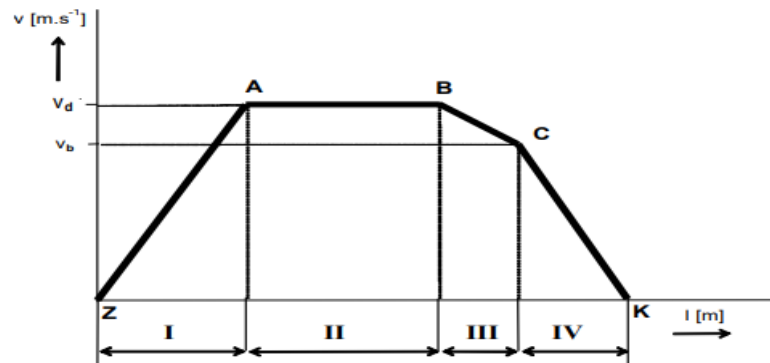
parametr	jednotka	typická hodnota
poloha čela vlaku	m	dle výpočtu fyzikálního modelu
poloha konce vlaku	m	dle výpočtu fyzikálního modelu
nominální povolená rychlost $v_n$	km/h	dle oprávnění k jízdě
aktuální rychlost $v_i$	km/h	dle výpočtu fyzikálního modelu
maximální zrychlení vlaku $a_r$	m/s <sup>2</sup>	1.0-1.4
odrychlení vlaku při jízdě výběhem $a_v$	m/s <sup>2</sup>	0.1
odrychlení při provozním brždění $a_{bp}$	m/s <sup>2</sup>	0.95-1.4
odrychlení při nouzovém brždění $a_{bn}$	m/s <sup>2</sup>	1.2-1.3
povolená odchylka nominální rychlosti $v_o$	km/h	3-5
typ pohybu	-	zrychlení / výběh / brždění provozní/ brždění nouzové

Průběh pohybu vlaku lze pro zjednodušení zobrazit přímkovým tachografem, viz Obr. 13. Pohyb vlaku lze rozdělit na fázi rozjezdu I, jízdu konstantní silou II, jízdu výběhem II a fázi brždění IV.

Tímto zjednodušením se simulátor při řízení rychlosti dopouští nepřesnosti, kdy se ve fázi rozjezdu, jízdy výběhem a brždění vozidla uvažuje konstantní průběh zrychlení, resp. odrychlení, po celou dobu trvání této dynamické změny rychlosti,

Takové zjednodušení je dle mého názoru přípustné, neboť v oblasti železniční zabezpečovací techniky se užívá, např. při výpočtu délky přibližovacího úseku u PZZ viz [16], nebo při vyšetřování pohybu vozidla po infrastruktuře vybavené systémem ETCS<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Zdroj: konzultace s vedoucím DP.



Obr. 13: Přímkový tachograf jízdy vlaku

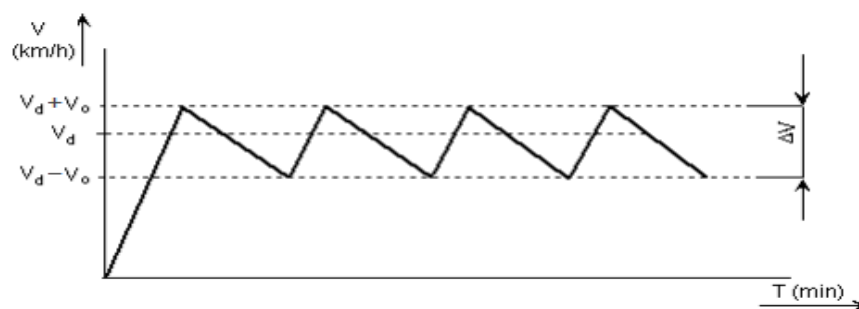
Zdroj: [11]

Ve fázi rozjezdu, jak již bylo zmíněno, se předpokládá konstantní průběh zrychlení  $a_r$  až do dosažení povolené rychlosti  $v_d$ .

Během jízdy výběhem dochází ke snižování rychlosti, za předpokladu konstantního průběhu odrychlení  $a_v$ .

Při jízdě silou se předpokládá zrychlení pohybu vlaku nulové, tedy jízda konstantní rychlostí. Simulátor však využívá pilovitého způsobu vedení vlaku, viz Obr. 14 a to z důvodu zohlednění reálně používaných technických řešení při regulaci rychlosti vlaku, kdy jsou pro dosažení potřebné tažné síly řazeny jednotlivé rychlostní stupně. Během jízdy konstantní rychlostí se střídají fáze rozjezdu a jízdy výběhem. Rychlost vlaku se udržuje v tolerančním pásmu rychlosti  $\Delta v$  vymezeném velikostí povolení odchylky rychlosti  $v_o$ .

Po dosažení nominální rychlosti rovné horní hodnotě tolerančního pásma, tj:  $v_n = v_d + v_o$  dojde ke změny druhu pohybu na jízdu výběhem. Jízda výběhem trvá až do poklesu nominální rychlost na úroveň dolní hranice tolerančního pásma, tedy  $v_n = v_d - v_o$ .



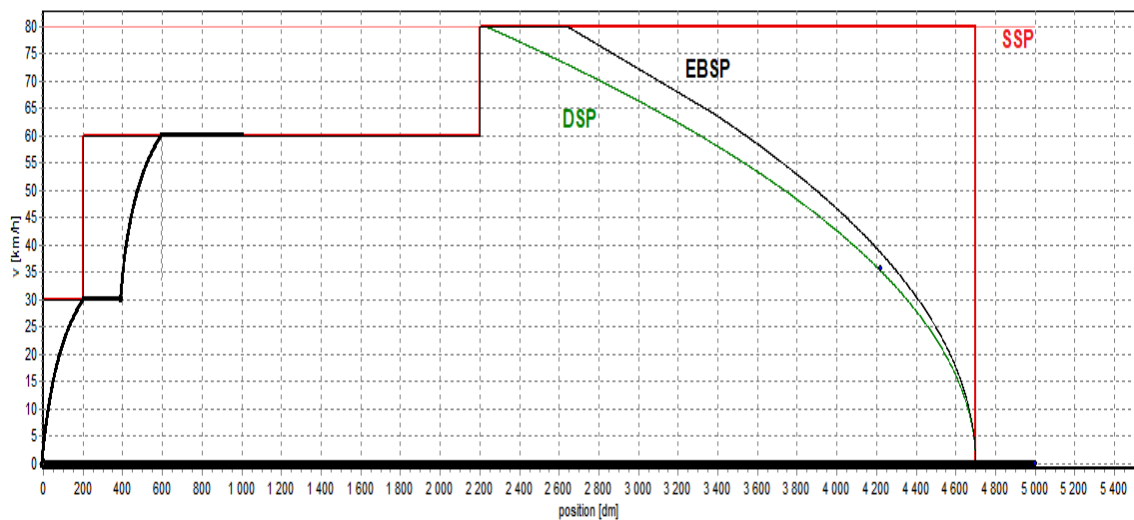
Obr. 14: Pilovitá regulace rychlosti

Zdroj: [11]

Pro účely brzdění se využívá brzdnych křivek získaných z brzdneho modelu IEEE, model bezpečného brzdění, přesně definovaný normou IEEE 1474-1, viz [8]. Model vypočítává řadu rychlostních profilů, z nichž se pro účely brzdění využívají tyto dvě křivky, viz Obr. 15:

- dynamický rychlostní profil (DSP) určuje průběh nominální rychlosti během jízdy vlaku se započtením provozního brzdění
- křivka nouzového brzdění (EBSP) vyjadřuje průběh rychlosti při aplikaci nouzového brzdění

Na základě vypočteného DSP je určen okamžik začátku provozního brzdění. Při provozním brzdění se předpokládá konstantní průběh odrychlení  $a_{bp}$  až do dosažení požadované cílové rychlosti. Průběh aktuální rychlosti vlaku je sledován a v případě překročení DSP je aplikováno nouzové brzdění, které se řídí brzdnu křivkou EBSP. V průběhu nouzového brzdění se předpokládá konstantní průběh odrychlení  $a_{bn}$ .



Obr. 15: Brzdne křivky

Zdroj: Autor

### 4.3 Interakce mezi vlakem a infrastrukturou

Pro simulaci pohybu vlaku po infrastruktuře je nutná spolupráce datového modelu infrastruktury a simulátoru jízdy vlaku. Model vlaku přijímá informace od infrastruktury potřebné pro řízení jízdy vozidla, a naopak předává modelu infrastruktury informace nutné pro jeho lokalizaci v rámci jednotlivých úseků trati.

- Pohyb vlaku

Jízda vlaku po infrastruktuře se simuluje prostřednictvím sekvenčního obsazování a uvolňování příslušných kolejových úseků v čase. Doba setrvání vlaku v konkrétním úseku je dána délkou úseku a aktuální rychlostí vlaku.

Trajektorie jízdy vlaku je daná výchozí pozicí vlaku a polohou výměn v právě realizované JC.

Pro potřeby simulace pohybu vlaku je nutné předat vlaku také informace o sklonových poměrech trati v místě, kde se má vlak pohybovat, neboť ty mají vliv na výpočet jeho aktuální rychlosti.

- Vydání oprávnění k jízdě

Jízda vlaku je v základním režimu řízena na základě návěstních znaků na návěstidlech a rychlostních poměrech v daném úseku trati. Po aktivaci testovacího režimu, je možné vlaku přidělit libovolné dispozice k jízdě. Oprávnění k jízdě je vlaku předáváno buďto sekvenčně, v návaznosti na jeho aktuální poloze, nebo je odesláno najednou pro celou JC.

- Vyhodnocení polohy vlaku

Vlak hlásí svoji aktuální pozici a rychlost modelu infrastruktury. Model infrastruktury, na základě znalosti pozice čela vlaku a polohy výměn, přiřadí vlak do konkrétního úseku.

Úseku, ve kterém se nachází čelo vlaku, model přiřadí obsazenost a číslo přítomného vlaku. Příznak obsazení úseku trvá až do doby, kdy úsek opustí konec vlaku, což má tedy za následek uvolnění úseku.

Na základě sledování sekvence obsazování a uvolňování úseků konkrétním vlakem, dle čísla vlaku, lze detekovat pohyb vlaku, a určit směr projetí úseku vlakem.

#### **4.4 Komunikace se stavědlem**

Model obsahuje rozhraní pro datovou komunikaci s modulem SIMCAN připojeným ke stavědlu K-2002.

Prostřednictvím tohoto rozhraní se stavědlu simuluje stav vstupů a získává se stav jeho výstupů. Tímto způsobem lze stavědlu ovlivnit chování prvků kolejiště a současně vyhodnocovat reakci stavědla na změnu vlastností prvků.

Datová komunikace s modulem SIMCAN probíhá formou výzva - odpověď. Komunikace probíhá v uzavřené síti bez přítomnosti dalších síťových prvků.

Pro komunikaci je použitý nezabezpečený komunikační protokol typu UDP. Data se posílají a přijímají prostřednictvím síťového socketu, který je třeba před začátkem komunikace vytvořit s definovanou IP adresou, lokálním a vzdáleným portem.

Modul SIMCAN je ze strany simulátoru povelován pomocí povelů dle Tab. 13. Jednotlivé povelů umožňují změnit stav požadovaných vstupů, získat jejich aktuální stav a také získat aktuální stav všech výstupů stavědla. Data se do datagramu vkládají jako sekvence znaků.

Tab. 13: Povelů a odpovědi modulu SIMCAN

Zdroj: autor

<b>povel</b>	<b>data</b>	<b>význam</b>	<b>odpověď</b>
FF	FF FF FF	ověření komunikace	FF FF FF FF
FE	FE FE FE	žádost o stav vstupů	FE + stavy vstupů
FD	FD FD FD	žádost o stav výstupů	FD + stavy výstupů
02	počet měněných vstupů + číslo vstupu + stav vstupu	změna vstupu	bez odpovědi

Po odeslání povelů ke změně vstupu je třeba, pro ověření nastavení vstupu na požadovanou hodnotu třeba, odeslat povel pro žádost o stavu vstupů a porovnat shodu s požadavkem.

Aby simulátor pracoval s aktuálními hodnotami vstupů a výstupů stavědla, odesílají se pravidelně povelů ke zjištění stavu vstupů a výstupů. Perioda je v základním nastavení stanovena na 200 ms.

Povel pro ověření komunikace slouží ke zjištění „živosti“ modulu SIMCAN. Po navázání spojení se pravidelně odesílá dotaz, a musí následovat odpověď. V případě, že simulátor nepřijme na tuto výzvu odpověď (do stanového času), považuje se spojení za nenávané. Tímto mechanismem lze detekovat poruchy spojení, např. rozpojení kabelu apod.

Konfigurace vstupů a výstupů stavědla je závislá na konkrétní instalaci. Pro každou instalaci je vytvořena tabulka vstupů a výstupů, která definuje fyzické vazby stavědla a prvků kolejiště, tzn. přiřazuje význam jednotlivým vstupům a výstupům stavědla. Příklad tabulky vstupů a výstupů zobrazuje

Tab. 14.

Pokud je například požadováno simulovat poruchu svitu červeného světla návěstidla L1, dle

Tab. 14 , je odeslán povel „02 01 22 00“.



Tab. 14: Tabulka vstupů a výstupů

Zdroj: autor

číslo vstupu	jednotka	relé		číslo výstupu	jednotka	relé
1	V1	KP		1	V1	SP
2	V1	KM		2	V1	SM
3	V1	J/2A		3	V1	BS
4	V2	KP		4	V2	SP
5	V2	KM		5	V2	SM
6	V2	J/2A		6	V2	BS
7	EZ1	D		7	EZ1	P
8	EZ2	D		8	EZ2	P
16	PřS	ŽS		13	PřS	KŽP
17	PřS	ZS		14	PřS	ŽP
18	L1	ZS		15	L1	KBP
19	L1	ČS		16	L1	ZP
20	L1	BS		17	L1	ČP
21	L2	ZS		18	L1	BP
22	L2	ČS		19	L2	KBP
23	L2	BS		20	L2	ZP
24	L2	Ž2S		21	L2	ČP
				22	L2	BP
				23	L2	Ž2P

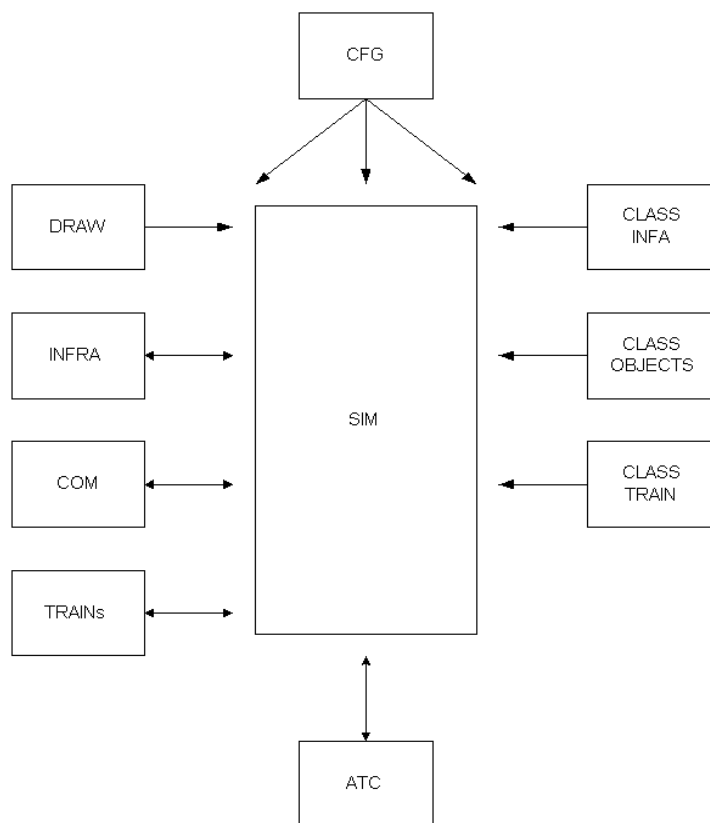
#### 4.5 Realizace modelu

Model je realizován vývojovými prostředky Borland CBuilder a je napsán v jazyce C++.

Koncepce SW je řešena modulárně, kdy každý z modulů v reprezentuje množinu souvisejících funkcionalit. Vzájemná interakce SW modulů je zachycena na Obr. 16. Význam zkratk modulů s popisem jejich funkce je pak v

Tab. 15.

Při vytváření tříd bylo využito principu dědičnosti a zapouzdření, dle [10], kdy každá třída v sobě zahrnuje soubor metod pro práci s jejími složkami.



Obr. 16: Vzájemná interakce sw modulů

Zdroj: Autor

Tab. 15: Zkratky sw modulů

Zdroj: autor

<b>název</b>	<b>Funkce</b>
CFG	Poskytuje grafické rozhraní a metody pro práci s konfiguračními soubory
DRAW	Zprostředkovává vykreslení grafických objektů (infrastruktury)
INFRA	Umožňuje editaci prvků infrastruktury v grafickém rozhraní.
COM	Poskytuje grafické rozhraní a metody pro nastavení parametrů komunikace se stavědlem K2002
SIM	Obsahuje metody pro ovládání a řízení simulace.
CLASS INFA	Knihovna tříd, obsahuje definice všech datových typů infrastruktury
CLASS OBJECTS	Knihovna tříd, obsahuje definice všech datových typů.
CLASS TRAIN	Knihovna tříd, obsahuje definice datových typů vlaku
ATC	Obsahuje metody pro ovládání a řízení jízdy vlaků.
TRAINS	Zajišťuje kontrolu jízdy vlaku, počítá matematický model pohybu vlaku.

Každý z prvků kolejiště (železniční infrastruktury) je reprezentován dvojicí objektů, tj. video objektem (VO) a funkčním objektem (FO). Video objekt obsahuje metody a složky související s grafickým zobrazením objektu, kdežto funkční objekt obsahuje metody pro manipulaci s jeho složkami, které mají vazbu na funkčnost jednotky.

#### 4.5.1 Popis ovládání SW

Pro ovládání modelu kolejiště a simulátoru jízdy vlaku je vytvořen jeden hlavní a několik pomocných formulářů. Všechny formuláře jsou zobrazeny v Příloha C .

Formulář vlaku slouží jednak pro definici a změnu parametrů vlaku nebo vozidel, která vlak tvoří, ale také pro vykreslení tachografu daného vlaku, včetně vyznačení přijatého oprávnění k jízdě vlaku a vypočtených brzdých charakteristik.

Formulář simulace je rozdělený do několika částí. Spodní část formuláře vykresluje topologii kolejiště. Horní část je určena pro řízení simulace a správu vlaků. Pravá část je použita pro ovládání modelu kolejiště pomocí definice a změny parametrů jednotlivých jednotek. V první spodní části je terminálová část, ve které se vypisují stavové informace v průběhu simulace.

Dílní formuláře jsou vytvořeny za konkrétním účelem. Ať už se jedná o možnost načítání konfigurací ze souborů, nebo konfiguraci jednotlivých jednotek kolejiště, případně nastavení parametrů a navázání komunikace se stavědlem.

Po aktivaci testovacího režimu ve formuláři simulace, se zpřístupní část hlavního formuláře, kde lze manuálně vydávat oprávnění k jízdě vozidlům.

Volba ignorovat povely umožní pro všechny jednotky ignorovat povely od stavědla a trvale zachovávat jejich nastavený stav.

- Hlavní formulář

Pro globální ovládání simulace slouží část *simulation* hlavního formuláře. Simulace se spustí příp. zastaví stiskem tlačítka start/stop. Rychlost vykreslování topologie kolejiště a rychlost pohybu vlaku lze upravovat posuvníky. Po stisku tlačítek v části *simulation* se otevře odpovídající dialogové okno. Checkbox „test mode“ je použit pro aktivaci testovacího režimu.

V části *trains*, která slouží pro správu vlaků lze vlak vytvořit a také zrušit. Pro vytváření vlaku je stanoveno pravidlo, že v průběhu simulace lze vytvořit pouze jeden vlak se stejným označením ID. Po stisku tlačítka „create train“ se vlak vytvoří a otevře se jeho dialogové okno. V případě zavření dialogového okna vlaku jej lze zobrazit pomocí tlačítka „view train“ na hlavním formuláři.

Sekce *ATC* slouží pro vytvoření a manuální odeslání oprávnění k jízdě vlaku. Struktura oprávnění je navržena tak, že jedno oprávnění se může skládat ze čtyř částí. Tato část se zpřístupní po aktivaci testovacího režimu.

Část *infrastructure* hlavního formuláře slouží pro nastavení parametrů jednotek kolejistě. Ve sloupcích na jeho levé straně je zobrazen seznam všech jednotek v závislosti na typu. Po výběru konkrétního prvku je přednastaví jeho aktuální parametry do políček vedle seznamu. Jejich modifikací lze parametry změnit. Pro uložení změn je nutné stisknout tlačítka „edit section/point“ příp. „edit signal“.

- Formulář vlaku

Pro každý vytvořený vlak se vytvoří formulář vlaku, v jehož záhlaví je zobrazeno číslo vlaku. Tím je možné rozeznat formuláře jednotlivých vlaků. V základním nastavení se v levé části zobrazuje tachogram vlaku. Pravá část formuláře slouží pro nastavení parametrů jednotlivých vozů a celého vlaku. Pro uložení hodnot je třeba stisknout tlačítka „set parameters“. Pro spuštění simulace pohybu vlaku je použito tlačítka „start/stop movement“.

- Ostatní formuláře

Formulář *configuration* byl vytvořen za účelem načítání nebo uložení konfigurace dílčích SW modulů. Zatržením příslušné volby a definicí cesty ke konfiguračnímu souboru lze po stisku tlačítka „save“ nebo „load“ provést požadovanou operaci.

Formulář *connection* slouží pro nastavení parametrů komunikace se stavědlem K-2002. V terminálovém okně formuláře se zobrazuje průběh komunikace. Zatržením volby „keep alive connection“ dochází k pravidelnému ověřování spojení.

Formulář *infrastructure* obsahuje několik částí, které umožňují vytvořit, nebo editovat jednotky infrastruktury, nebo vytvořit sklonovník a rychlostník trati.

## **5 Verifikace algoritmů SZZ**

Účelem návrhu modelu kolejistiště a simulátoru jízdy vlaku je jejich použití pro verifikaci funkčních algoritmů bezpečného logického jádra stavědla.

Aby bylo možné prohlásit model kolejistiště za validní, je třeba ověřit jeho korektní funkčnost na verifikované konfiguraci stavědla.

Po validaci funkcí modelu lze přistoupit k jeho použití v rámci zkoušení stavědla.

### **5.1 Verifikace funkcí modelu vůči ověřené konfiguraci**

Každé stavědlo před jeho nasazením do provozu podléhá zkoušení dle zkušebního předpisu, který stanoví požadovaný rozsah zkoušených funkcí. Konfigurace stavědla se po verifikaci funkcí prohlásí za správnou.

Verifikace funkcí modelu byla provedena na ověřené konfiguraci stavědla pro stanici: Ždírec nad Doubravou. Model reprezentoval stejnou infrastrukturu, jakou mělo v konfiguraci stavědlo.

V rámci verifikace funkcí modelu byla provedena série testů, během kterých bylo ověřeno korektní chování modelu.

### **5.2 Testování modulů jednotek**

Model infrastruktury umožňuje simulovat libovolné stavy prvků kolejistiště, neboť při zkoušení funkce jednotky je třeba vyzkoušet nejen validní stavy, ale i stavy nevalidní / vzniklé poruchou, včetně jejich kombinací.

Účelem testování modulů je ověřit správnost algoritmů, týkajících se dané komponenty.

Nejprve byly provedeny testy pro všechny uvažované moduly jednotek s pohyblivými částmi, tj. výhybka, výkolejka.

Následovalo testování modulu návěstidlo, kdy se kromě správnosti povelování ověřovala i korektnost algoritmů funkcí H a G.

Pro testování byla použita konfigurace stavědla: Výhybna Cejřov Vzhledem k rozsahu provedených testů není vhodné zde všechny popisovat. Pro ilustraci je uveden test modulu výhybky.

### 5.2.1 Test modulu výhybky

Informace o dosažení krajní koncové polohy prvku umožňuje zabezpečovacímu zařízení vyhodnotit splnění povelu k přestavení do požadované polohy. V případě nesplnění povelu k přestavení musí stavědlo provést odpovídající reakci.

Každý test nejprve ověřuje korektní funkci jednotky a následně se zkouší reakce stavědla na možné poruchové stavy jednotky.

- Přestavení do koncové polohy

Výhybka je v základní poloze (+). Na OP vydáme povel S-, tj povel k přestavení do opačné polohy (-). Výhybka se začne pohybovat a nejpozději do stanovené doby (10s) musí přejít do koncové polohy (-). Zobrazení polohy výhybky na simulátoru odpovídá zobrazení na OP.

Výhybka je v krajní poloze (-). Na OP vydáme povel S+, tj povel k přestavení do základní polohy (+). Výhybka se začne pohybovat a nejpozději do stanovené doby (10s) musí přejít do koncové polohy (+). Zobrazení polohy výhybky na simulátoru odpovídá zobrazení na OP.

- Porucha přestavníku

Na simulátoru zapneme testovací režim. V seznamu vybereme odpovídající výhybku a nastavíme jí polohu P (+). Zapneme volbu ignorovat povel. Výhybka je v základní poloze (+). Na OP vydáme povel S-, tj povel k přestavení do opačné polohy (-). Výhybka se nezačne pohybovat a na OP se vypíše informace o tom, že se výhybka nezačala pohybovat.

Na simulátoru zapneme testovací režim. V seznamu vybereme odpovídající výhybku a nastavíme jí polohu M (-). Zapneme volbu ignorovat povel. Výhybka je v krajní poloze (-). Na OP vydáme povel S+, tj povel k přestavení do základní polohy (+). Výhybka se nezačne pohybovat a na OP se vypíše informace o tom, že se výhybka nezačala pohybovat.

- Ztráta kontroly

Na simulátoru zapneme testovací režim. V seznamu vybereme odpovídající výhybku a nenastavíme jí žádnou koncovou polohu. Na OP se vypíše informace o ztrátě kontroly výhybky. Zobrazení polohy výhybky na simulátoru odpovídá zobrazení na OP.

Na simulátoru zapneme testovací režim. V seznamu vybereme odpovídající výhybku a nastavíme jí obě koncové polohy P(+) i M(-). Na OP se vypíše informace o ztrátě kontroly výhybky. Zobrazení polohy výhybky na simulátoru odpovídá zobrazení na OP.

Na simulátoru výhybce nastavíme polohu P(+).

- Rozřez

Na simulátoru zapneme testovací režim. V seznamu vybereme odpovídající výhybku a nenastavíme jí žádnou koncovou polohu. Na OP se vypíše informace o ztrátě kontroly výhybky. Zobrazení polohy výhybky na simulátoru odpovídá zobrazení na OP. Na simulátoru obsadíme příslušný výhybkový úsek. Na OP se vypíše informace o rozřezu výhybky.

Na simulátoru zapneme testovací režim. V seznamu vybereme odpovídající výhybku a nastavíme jí obě koncové polohy P(+) i M(-). Na OP se vypíše informace o ztrátě kontroly výhybky. Zobrazení polohy výhybky na simulátoru odpovídá zobrazení na OP. Na simulátoru obsadíme příslušný výhybkový úsek. Na OP se vypíše informace o rozřezu výhybky.

Na OP vydáme povel ZRV pro zrušení rozřezu. Jedná se o povinně dokumentovaný úkon, který je třeba potvrdit sekvencí A S D F +ENTER.

Na simulátoru výhybce nastavíme polohu P(+) a uvolníme příslušný výhybkový úsek.

- Doběh výhybky

Na simulátoru zapneme testovací režim. Výhybka je v základní poloze (+). Na OP vydáme povel S-, tj povel k přestavení do opačné polohy (-). Jakmile se výhybka začne pohybovat, na simulátoru obsadíme příslušný výhybkový úsek. Výhybka musí dojít do koncové polohy (-).

Na simulátoru zapneme testovací režim. Výhybka je v koncové poloze (-). Na OP vydáme povel S+, tj povel k přestavení do základní polohy (+). Jakmile se výhybka začne pohybovat, na simulátoru obsadíme příslušný výhybkový úsek. Výhybka musí dojít do základní polohy (+).

Na simulátoru uvolníme příslušný výhybkový úsek.

- Nouzové přestavení – porucha přestavníku

Na simulátoru zapneme testovací režim. V seznamu vybereme odpovídající výhybku a nastavíme jí polohu P (+). Zapneme volbu ignorovat povely. Výhybka je v základní poloze (+). Na OP vydáme povel NS-, tj povel k nouzovému přestavení do opačné polohy (-). Výhybka se nezačne pohybovat a na OP se vypíše informace o tom, že se výhybka nezačala pohybovat.

Na simulátoru zapneme testovací režim. V seznamu vybereme odpovídající výhybku a nastavíme jí polohu M (-). Zapneme volbu ignorovat povely. Výhybka je v krajní poloze (-).

Na OP vydáme povel SN+, tj povel k nouzovému přestavení do základní polohy (+). Výhybka se nezačne pohybovat a na OP se vypíše informace o tom, že se výhybka nezačala pohybovat.

### **5.3 Testování modulů v souvislosti s pohybem vlaku**

V souvislosti pohybem vlaku byla realizována celá řada testů související se stavěním JC. Ať už se jednalo o fázi přípravy, dohledu či rušení JC. Pro příklad je uveden test, ve kterém došlo při průjezdu vlaku k poruše detekce volnosti na jednom z úseků JC. Pro testování byla použita konfigurace stavědla: Výhybna Cejřov. Test nejprve ověřuje korektní průběh funkce a následně se zkouší reakce stavědla na poruchu.

- Postupné rušení závěru projaté JC

Nejprve je nutné vytvořit podmínky pro jízdu vlaku. Všechny kolejové a výhybkové úseky jsou volné, jednotky s pohyblivými prvky jsou v základní poloze a bez závěru. Na OP zadáme povel pro postavení JC od návěstidla S na úsek LK2. Po kontrole splnění podmínek pro postavení této JC dojde k vytvoření závěru příp. výluk všech jednotek JC.

Nyní můžeme přistoupit k definici parametrů pro simulaci. V hlavním formuláři povolíme testovací režim a vytvoříme vlak s ID 10. Fyzikální parametry vlaku necháme předvolené dle výchozích hodnot. Polohu vlaku nastavíme na 60,0 km a aktuální rychlost nastavíme na 50 km/h. Spustíme simulaci pohybu vlaku. Dojde k obsazení posledního traťového úseku T1-5CE-CH a vlak se začne pohybovat dle vypočtené brzděné křivky nouzového brždění.

Na hlavním formuláři vytvoříme oprávnění k jízdě pro vlak ID 10 s těmito parametry: délka 61310 m, rychlost 50 km/h a odešleme jej vlaku. Vlak po přijetí MA přepočítá rychlostní profily a na základě DSP řídí svou rychlost.

Jak se vlak pohybuje po kolejišti postupně obsazuje a následně uvolňuje jednotlivé úseky SK, V2, 1K LK1 až LK2. Ve chvíli, kdy čelo vlaku najede do kolejového úseku SK (tzv. zhasací úsek návěstidla S) dojde ke zhasnutí povolující návěsti na návěstidle S a obsazení kolejového úseku SK.

V okamžiku, kdy čelo vlaku obsadí výhybkový úsek V2 a následně úsek 1K, konec vlaku vyklidí úsek SK a dojde k uvolnění kolejového úseku SK a vyhodnocení průjezdu vlaku kolejovým úsekem SK. Vyhodnocení průjezdu celého vlaku daným úsek umožní vybavení této projaté části JC, tzn. zrušení závěru pro danou jednotku JC.



Najetím čela vlaku do výhybkového úseku V1 dojde ke zhasnutí povolující návěsti na návěstidle S1 a obsazení výhybkového úseku V1. Další jízda vlaku obsadí kolejový úsek LK1 a následně uvolní kolejový úsek 1K a výhybkový úsek V1. Jízda vlaku končí v úseku LK2 jeho obsazením a uvolněním kolejového úseku LK1.

Postupným „posouváním“ obsazenosti úseků je detekován průjezd vlaku a provedeno postupné rušení závěru projeté JC.

Pro verifikaci algoritmu postupného rušení závěru projeté JC byl zvolen případ, kdy dojde během průjezdu vlaku k poruše detekce volnosti, kdy se daný kolejový úsek bude jevit stále jako obsazený.

Postup testu je stejný do fáze rozjezdu vlaku. Na hlavním formuláři vytvoříme oprávnění k jízdě pro vlak ID 10 s těmito parametry: délka 61310 m, rychlost 50 km/h a odešleme jej vlaku. Vlak po přijetí MA přepočítá rychlostní profily a na základě DSP řídí svou rychlost. Následně zapneme volbu ignorovat povely.

Ve chvíli, kdy čelo vlaku najede do kolejového úseku SK (tzv. zhášecí úsek návěstidla S) dojde ke zhasnutí povolující návěsti na návěstidle S a obsazení kolejového úseku SK. Nyní nastavíme stav volnosti kolejového úseku SK na obsazeno.

V okamžiku, kdy čelo vlaku obsadí výhybkový úsek V2 a následně úsek 1K, konec vlaku vyklidí úsek SK, ale nedojde k uvolnění kolejového úseku SK, neboť jeho stav volnosti je simulátorem udržován stále jako obsazený a k vyhodnocení průjezdu vlaku kolejovým úsekem SK nedojde.

Vyklizení výhybkového úseku V2 koncem vlaku má za následek jeho uvolnění, ale vzhledem k nejistotě, že vlak projel celý není možné zrušit závěr JC jednotky. Zavede se tady na jednotku závěr nerozlišený. Totéž platí i pro úsek 1K.

Najetím čela vlaku do výhybkového úseku V1 dojde ke zhasnutí povolující návěsti na návěstidle S1 a obsazení výhybkového úseku V1. Další jízda vlaku obsadí kolejový úsek LK1 a následně uvolní kolejový úsek 1K a výhybkový úsek V1. Jízda vlaku končí v úseku LK2 jeho obsazením a uvolněním kolejového úseku LK1.

Zobrazení JOP na konci testu je uvedeno v Příloha D .

## Závěr

V počátku návrhu simulátoru bylo uvažováno o komunikaci se stavědlem pomocí rozhraní MaDOS. Toto rozhraní umožňuje povelování stavědla, čehož by se využilo při tvorbě testovacích scénářů, kdy by nebylo nutné obsluhovat OP stavědla. Měl jsem také ambice navrhnout simulátor tak, aby docházelo ke kontrole vykonávání logických funkcí stavědla. Při hlubším rozpracování problematiky jsem však zjistil, že realizace těchto funkcionalit by v podstatě znamenala kopírování SW stavědla a OP, což se mi jevilo značně neefektivní. Proto byla rozpracována problematika pohybu vozidla po infrastruktuře, což je funkcionalita při testování zatím postrádaná.

V průběhu návrhu datového modelu bylo třeba řešit řadu aspektů, ať už se jednalo o funkční provedení modelu, spolupráce modelu kolejiště a simulátoru jízdy, či grafického rozhraní modulu. Některá prvotní řešení se ukázala jako slepá a bylo třeba je změnit. Výsledkem mého snažení je funkční model kolejiště a simulátor jízdy vozidla. Navržená struktura konfiguračních dat je velmi podobná již používané konfiguraci stavědla.

Hlavní přínos práce spočívá v možnosti využít dynamický pohyb vlaku po infrastruktuře. Model tak umožní projíždění jednotlivých úseků kolejiště, čehož lze s výhodou využít při ověřování konfigurace stavědla, kdy není nutné ručně sekvenčně obsazovat a uvolňovat jednotlivé úseky. Výchozí polohu vlaku lze určit, a je tak možné projetí jen části kolejiště. Pro ověření časově závislých funkcí tento model není příliš vhodný, neboť vlivem zpoždění komunikace mezi simulátorem a bezpečným jádrem stavědla může vzniknout znatelná nepřesnost.

Vzhledem ke složitosti a rozsahu prováděných logických funkcí stavědla, nebylo možné obsáhnout všechny potřebné typy a parametry jednotek, nicméně i stávající stav umožnil verifikaci části logických funkcí stavědla. Přidáním testovacích scénářů lze pokrýt verifikaci další množiny logických funkcí stavědla.

Navržená struktura modelu umožňuje postupné rozšiřování funkcionalit prostřednictvím přidání dalších SW modulů. Lze tedy předpokládat, že se simulátor postupně vyvine v komplexní simulační nástroj.

Jako nejperspektivnější rozšíření se jeví modul počítače náprav, neboť je hojně užíván pro pokrytí zhlaví stanic. Přidáním tohoto modulu by bylo možné simulovat ovlivňování jednotlivých počítačích bodů a tím verifikovat algoritmy počítače náprav.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Modul CDV4 - Železniční doprava: Kapitola II. Zabezpečovací technika v železniční dopravě (ČÁST 1) [online]. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011 [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/129>
- [2] TNŽ 34 2620. Železniční zabezpečovací zařízení Staniční a traťové zabezpečovací zařízení. 1. Praha: GENERÁLNÍ ŘEDITELSTVÍ ČD, 2002.
- [3] OUŘEDNÍČEK, Jan. Přednášky z předmětu Zabezpečovací zařízení 1. Pardubice, 2019.
- [4] SŽDC D1: Dopravní a návěstní předpis. Se změnou č.4. Praha: Správa železniční dopravní cesty, 2018.
- [5] CHUDÁČEK, V. a kol. Železniční zabezpečovací technika Praha, 2005.
- [6] Zabezpečovací technika v dopravě [online]. 1. Brno: Code Creator, s.r.o, 2014 [cit. 2020-07-10]. ISBN 978-80-88058-17-5. Dostupné z: <https://publi.cz/eknihy/?book=147-zabezpecovaci-technika-v-doprave>
- [7] MLÁDEK, J. Elektronické stavědlo K-2002: Technický popis. 1. Choceň, 2015.
- [8] IEEE Standard for CommunicationsBased Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements. In IEEE Std 1474.1-2004 (Revision of IEEE Std 1474.1-1999). New York: American National Standards Institute, 2005. ISBN 0-7381-4487-8 SS95275.
- [9] Základní technické požadavky - Jednotné obslužné pracoviště (IV. vydání, návrh), České dráhy 1998
- [10] VIRIUS, Miroslav. Programování v C++: od základů k profesionálnímu použití. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0502-1.
- [11] Famfulík, J. a kol. Lokomotivní simulátor. Vsb.cz [online]. Ostrava: VSB, 2010 [cit. 2020-07-15]. Dostupné z: [http://www.342.vsb.cz/laksim/LS\\_skripta.htm](http://www.342.vsb.cz/laksim/LS_skripta.htm)
- [12] MARTIN, Zítko. Co spotřebuje vagón? In: Vagony.cz [online]. Nové Město nad Metují: vagony. cz, 2018 [cit. 2020-07-16]. Dostupné z: <https://www.vagony.cz/vagony/energie.html>
- [13] WHAT IS CBTC? Cbtcsolutions [online]. 2020 [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: <https://www.cbtcsolutions.ca/blog/2017/1/30/what-is-cbtc-ieee-14741>

[14] CHUDÁČEK, V., Poupě O. Zabezpečovací technika v železniční dopravě I. díl. NADAS, Praha, 1970.

[15] Stránky přátel železnic: Železniční zabezpečovací technika [online]. Pardubice: Spolek přátel železnic, 2008 [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20080618093858/http://spz.logout.cz:80/zabezpec/ztp-jop.html>

[16] ČSN 34 2650. Železniční zabezpečovací zařízení - Přejezdová zabezpečovací zařízení. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha A - Schéma zapojení výhybkové kazety

Příloha B – Schéma zapojení návěstní kazety

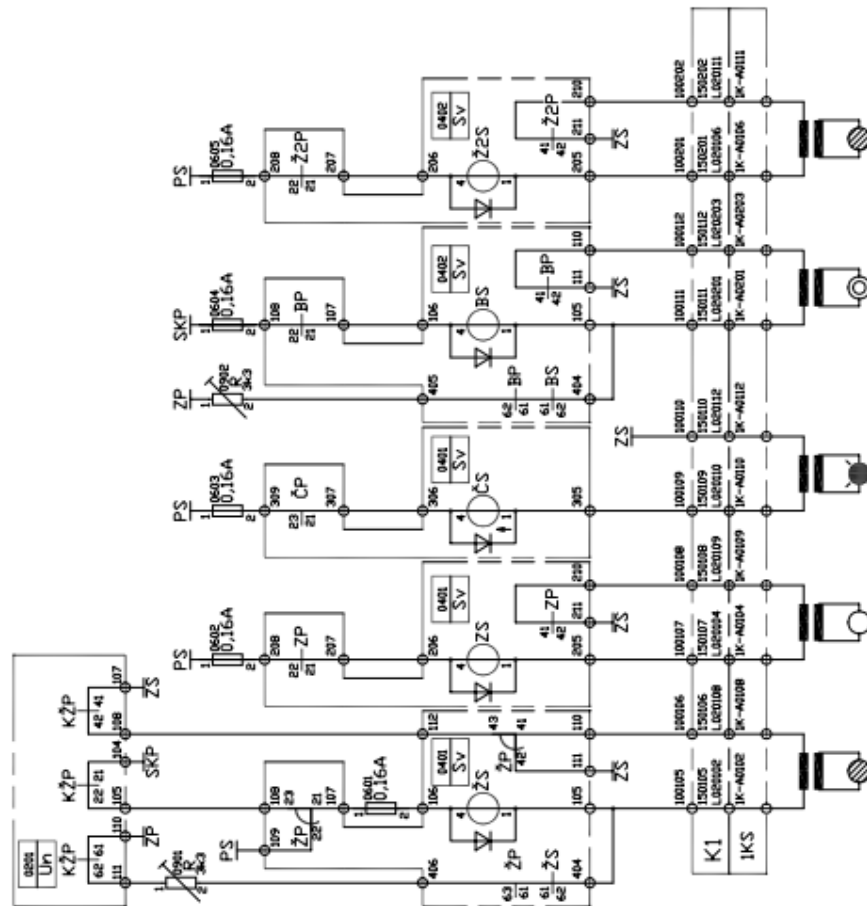
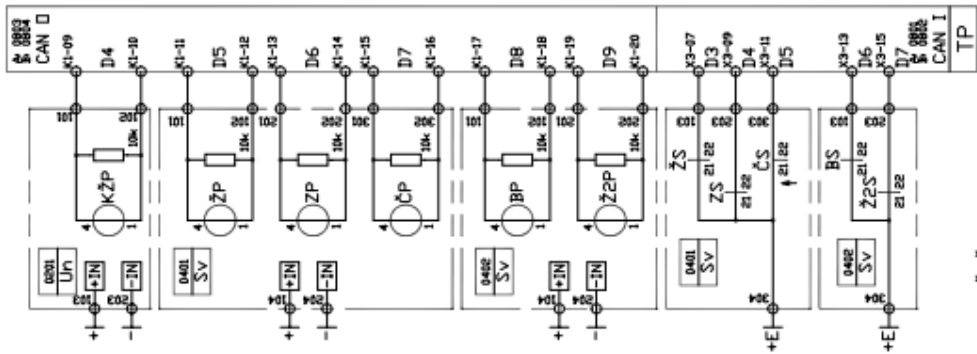
Příloha C – Grafické rozhraní modelu

Příloha D – JOP výhybna Cejřov

Příloha E – Zdrojový kód SW

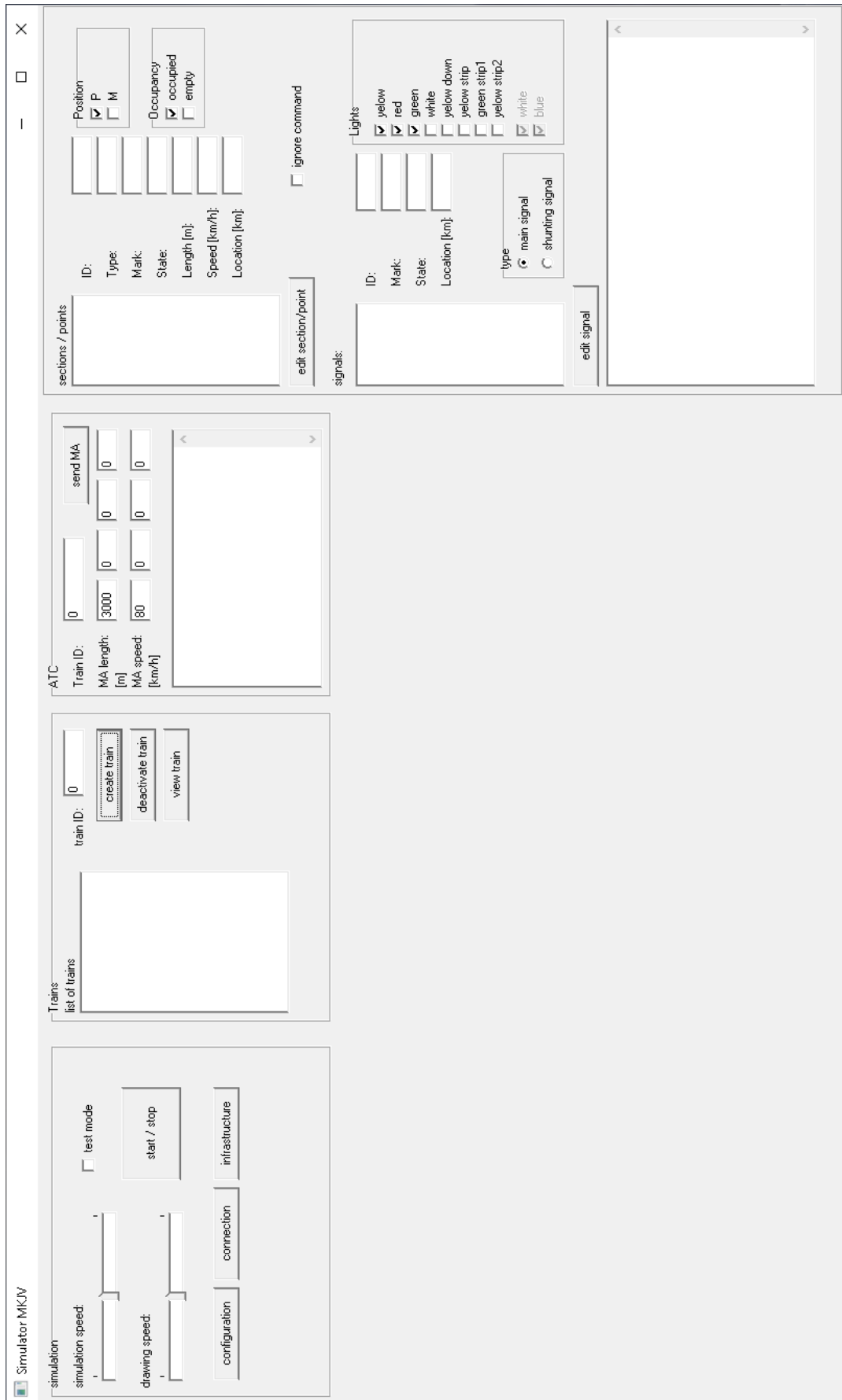


# Příloha B - Schéma zapojení návěštní kazety



SKŘÍŇI11  
 AKCE: PS 01 TŘEBEHOVICE P10, DEFINITIVNÍ SZ  
 VÝKRES: NÁVĚSTIDLO L  
 ČÍSLO VÝKRESU: 202  
 10.03

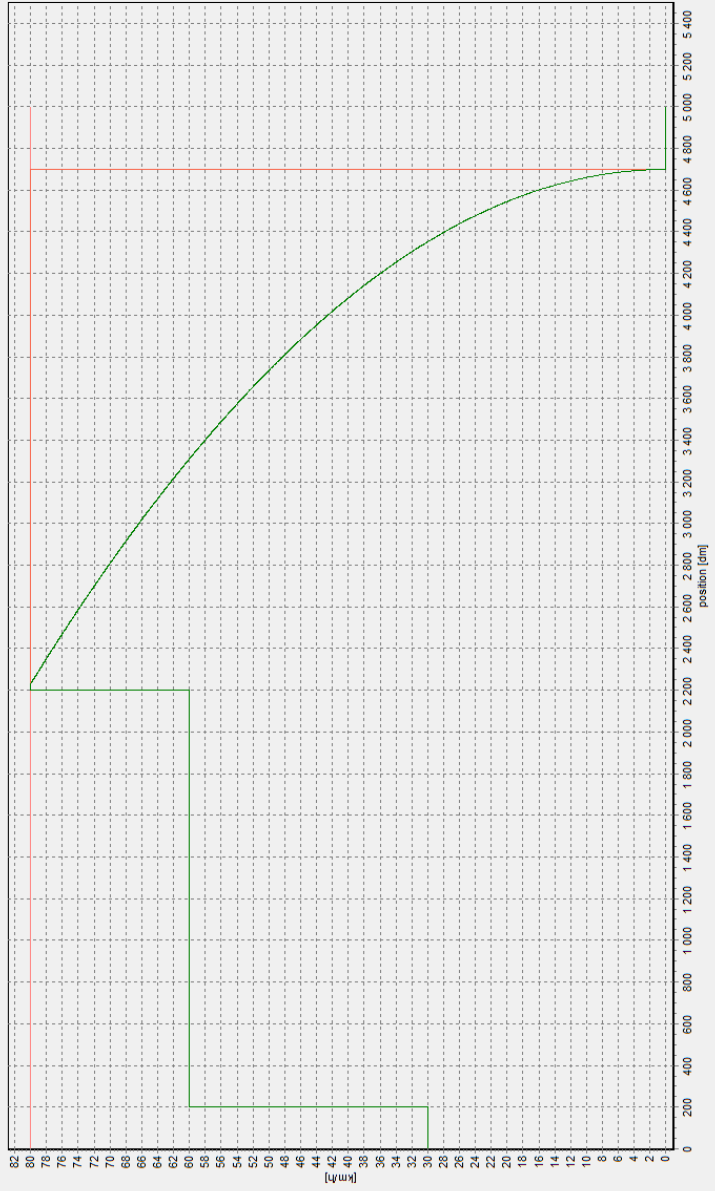
# Příloha C – Grafické rozhraní modelu





train ID: 0

max train — SSP — DSP — under speed • Current speed



train parameters:

predefined trains	
ID	0
weight	243
length	96,66
acceleration	1,2
deceleration normal	1
deceleration emergency	1,2
deceleration fault	1,104
deceleration unpowered	0,1
maximal speed	80
number of wagon	4
movement direction	0
overspeed limit	0
actual position	0
actual speed	0
position uncertainty	0

send PDS\_rep set train parameters

break fault start / stop simulation

PDS_rep of train ID: 0 send	distance: 0
id: 0 speed: 1	distance: 0
PDS_rep of train ID: 0 send	distance: 0
id: 0 speed: 2	distance: 0
PDS_rep of train ID: 0 send	distance: 0
id: 0 speed: 0	distance: 0
PDS_rep of train ID: 0 send	distance: 0
id: 0 speed: 0	distance: 0
simulation of train ID: 0 - is stopped!	
simulation of train ID: 0 - is turning...	
PDS_rep of train ID: 0 send	distance: 0
id: 0 speed: 2	distance: 0
PDS_rep of train ID: 0 send	distance: 1
id: 0 speed: 3	distance: 1
PDS_rep of train ID: 0 send	distance: 2
id: 0 speed: 3	distance: 2

wagon parameters:

predefined wagon	
label	M11
weight	27,9
length	19,521
acceleration	1,3
deceleration normal	1
deceleration emergency	0,94
deceleration fault	1,104
deceleration unpowered	0,1
maximal speed	80
order in train	0
number of axis	4
distance of begin	3,105
distance of end	3,105
distance chassis	12,6
distance axis	2,1

set wagon parameters

decel_fault:	0,00	[m/s <sup>2</sup> ]
decel_unpower:	0,00	[m/s <sup>2</sup> ]
max_speed:	0,00	[km/h]
order:	0	[ ]
print chassis parameters...		
train parameters setting successful		
print train parameters:		
id:	0	
weight:	243,00	[t]
length:	96,66	[m]
accel_normal:	1,20	[m/s <sup>2</sup> ]
decel_emergency:	1,20	[m/s <sup>2</sup> ]
decel_fault:	1,10	[m/s <sup>2</sup> ]
decel_unpower:	0,10	[m/s <sup>2</sup> ]
max_speed:	80,00	[km/h]
no_wagons:	4	[ ]
mov_dir:	1	[ ]
over_speed_limit:	0,00	[km/h]
distance:	0,00	[dm]
actual_speed:	0,00	[km/h]
position_uncer:	0,00	[%]

Infrastructure

sections / points

ID:

Type:

Mark:

State:

Length:  [ m ]

Speed:  [ km/hod ]

Location:  [ km ]

Position

P

M

signals:

ID:

Type:

Mark:

State:

Location:

type

main signal

shunting signal

Lights

- yellow
- red
- green
- white
- yellow down
- yellow strip
- green strip1
- yellow strip2
- white
- blue

Topology:

p1   p2

p3   p4

Gradient profile:

Speed profile:

Location:  [km/h]

Length:  [ m ]

Gradient:  [ % ]

Location:  [km/h]

Length:  [ m ]

Speed:  [km/h]

**connection**

keep alive connection

Port out:

Port in:

LCS:

Host IP:

```

UDP socket created
Send query
No data recieved.
Send query
No data recieved.
Send query
No data recieved.
Send query
No data recieved.
UDP socket destroyed
  
```

**configuration**

parameters:

infrastructure

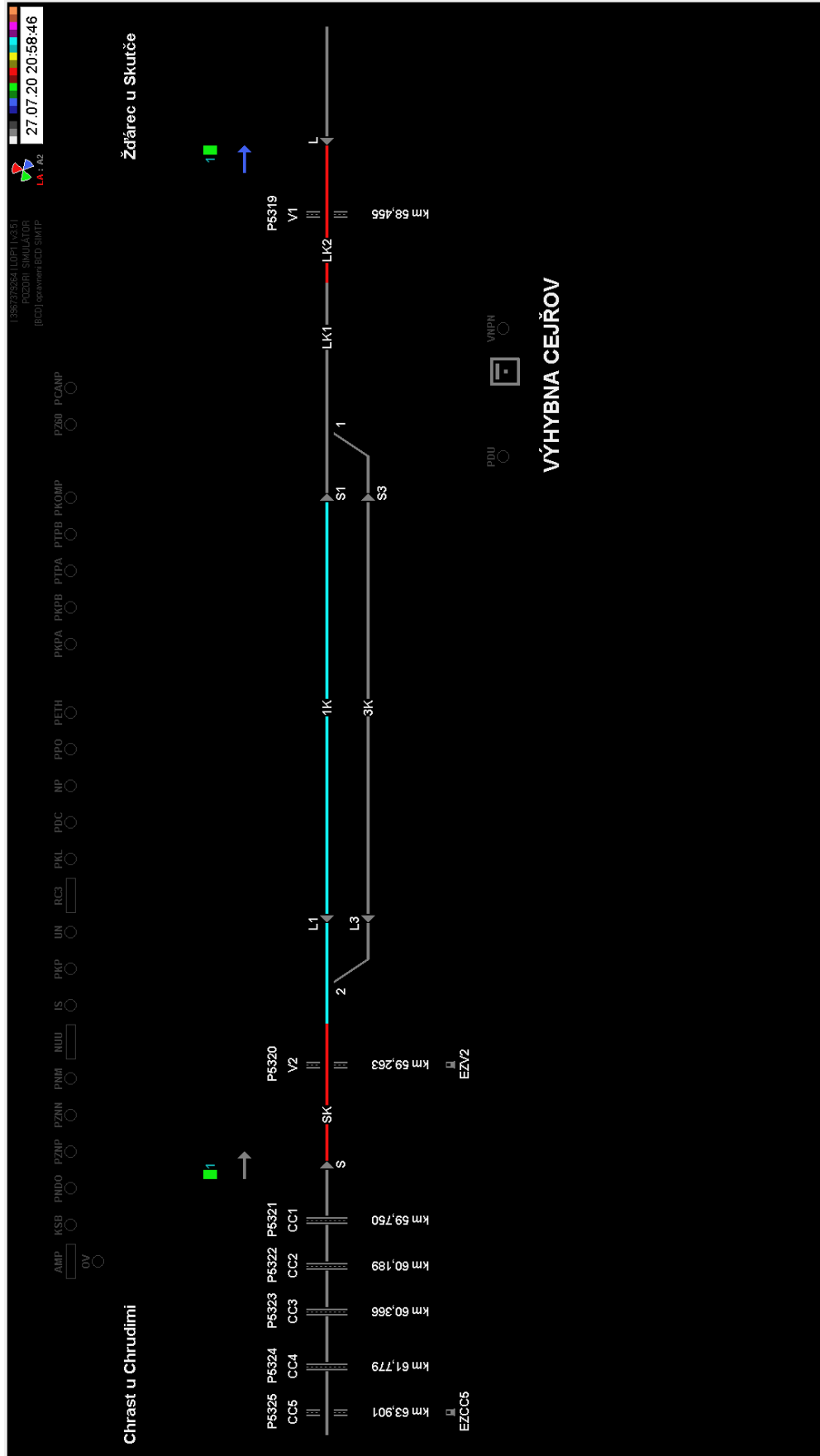
trains

connection

simulation

File name:

# Příloha D – JOP výhybna Cejřov



## **Příloha E – Zdrojový kód SW**

Na přiloženém CD jsou uloženy zdrojové a binární soubory navrženého SW. Na CD lze nalézt i předdefinovaná konfigurační data modelu infrastruktury