



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**  
**ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ**

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY  
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

**ZABEZPEČOVACÍ ZAŘÍZENÍ PRO REGIONÁLNÍ TRATĚ**  
SECURITY SYSTEM FOR REGIONAL TRAIN ROUTES

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

Martin Pitřík

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

Ing. Martin Musil

BRNO 2017

## **Abstrakt**

Tato práce popisuje návrh, realizaci a testování zabezpečovacího zařízení pro regionální tratě. V rámci práce je navrhnut a realizován hardware a jeho firmware, komunikační rozhraní a obslužný software. Návrh je zaměřen na celkovou jednoduchost a nízké pořizovací náklady, a to vše při současném zachování všech možností nabízených moderními zabezpečovacími zařízeními.

## **Abstract**

This project describes design, implementation and testing of security system for regional train routes. Project includes design and implementation of hardware, firmware, communication interface and software. Design is focused on simplicity and low installation costs, while all possibilities of modern security systems remains preserved.

## **Klíčová slova**

Železniční doprava, zabezpečovací zařízení, kolejové obvody, počítač náprav, mikroprocesorový systém, drážní předpisy, ModBus, RS485.

## **Keywords**

Railway transport, security systems, rail circuits, axle computers, microprocessor, railway regulations, ModBus, RS485

## **Citace**

PITŘÍK, Martin. *Zabezpečovací zařízení pro regionální tratě*. Brno, 2017. 45 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Musil Martin.

# Zabezpečovací zařízení pro regionální tratě

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Martina Musila. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....  
Martin Pitřík  
14. května 2017

## Poděkování

Poděkování patří panu Bc. Michalovi Markovi za cenné rady a připomínky při návrhu a implementaci zabezpečovacího zařízení. Rovněž chci poděkovat vedoucímu práce panu Ing. Martinovi Musilovi za pomoc při vypracování bakalářské práce.

© Martin Pitřík, 2017

*Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákon-  
né, s výjimkou zákonem definovaných případů.*

# Obsah

1	Úvod .....	2
2	Zabezpečení železničního provozu .....	3
2.1	Způsoby vyhodnocení obsazenosti koleje .....	3
2.2	Proměnné návěstidla a jejich návěstí .....	7
2.3	Výhybky a výkolejky .....	9
2.4	Používané zabezpečovací zařízení .....	10
2.5	Telefonické dorozumívání a dirigování .....	13
3	Přehled technologií .....	14
3.1	Komunikační rozhraní .....	14
3.2	Přehled součástí .....	17
4	Realizace zabezpečovacího zařízení .....	20
4.1	Komunikace .....	20
4.2	Hardware .....	21
4.3	Firmware .....	24
4.4	Software .....	26
4.5	Instalace zabezpečovacího zařízení .....	32
5	Testování .....	34
5.1	Testovací scénáře .....	35
6	Závěr .....	37
	Příloha A .....	39
	Příloha B .....	42



# 1 Úvod

Řada regionálních i hlavních tratí není v současné době vybavena zabezpečovacími zařízeními. Doprava na nich je zabezpečena pomocí telefonního dorozumívání mezi výpravčími jednotlivých stanic, v případě regionálních tratí pak dirigována dirigujícím dispečerem, který udává pokyny strojvedoucímu vlaku k další jízdě soupravy.

Nevýhodou telefonického dorozumívání a dirigování je velká možnost lidského selhání či špatné interpretace udělených rozkazů. Jejich špatná pochopení, neuposlechnutí nebo nedostatečná zodpovědnost při výkonu práce, nejištěna technickým vybavením v podobě zabezpečovacího zařízení, může vést k vykolejení až srážce vlaku. Z nedávné historie lze zmínit přehození výhybky pod vagonem rychlíku ve stanici Horažďovice, ke kterému došlo vlivem nedostatečné pozornosti signalisty, který provedl změnu polohy výhybky bez ujištění, zda vlak již skutečně danou výhybkou projel. Nehoda si vyžádala 37 zraněných. Nelze také nezmínit jednu z největších železničních nehod v České republice, ke které došlo v srpnu roku 1990 u Spálova v podhůří Jizerských hor. Viníky nehody byli výpravčí, kteří vinou nepřesné komunikace poslali dva vlaky proti sobě na jednokolejně trati. V nepřehledném skalnatém terénu došlo ke srážce manipulačního vlaku s osobním motorovým vlakem, který po nárazu začal hořet. Nehoda si vyžádala 14 mrtvých a 32 zraněných. Oběma těmto nehodám by předešla instalace zabezpečovacího zařízení.

Stále rostoucí zájem o železniční dopravu, který lze pozorovat v posledních letech a kladení vyšších požadavků na bezpečnost železničního provozu povede k otázce dovybavení většiny tratí vhodným zabezpečovacím zařízením. Z ekonomického hlediska je však zřejmé, že investice do instalace zabezpečovacích zařízení používaných na hlavních tratích není na tratích regionálních návratná. Přitom však i základní forma zabezpečovacího zařízení přinese zvýšení bezpečnosti provozu a rovněž umožní rychlejší odbavení vlaků či dokonce navýšení kapacity dané tratě. Proto se objevují projekty, které si kladou za cíl vytvořit vhodné zabezpečovací zařízení pro regionální tratě, které klade vhodný poměr na pořizovací cenu, cenu provozu a míru zabezpečení tratě.

Do reálného provozu se již dostala technologie radioblok od firmy AŽD Praha, která většinu technologického vybavení zabezpečovacího zařízení přesouvá na drážní vozidlo, se kterým pak centrála komunikuje prostřednictvím sítě GSM<sup>1</sup> a sleduje polohu přes GPS<sup>2</sup>. Právě přenesení technologie na drážní vozidlo je mírně problematické, jelikož pro zajištění bezpečnosti je nutné, aby každé vozidlo na trati bylo vybaveno zabezpečovacím zařízením. Tato podmínka se při současné liberalizaci železnice začíná jevit jako problém, protože požadavky na vybavení souprav vhodným zabezpečovacím zařízením nejsou většinou součástí výběrových řízení.

Cílem práce je vyvinout zabezpečovací zařízení instalované převážně na straně železniční infrastruktury, které díky jednoduchosti ponechává nižší pořizovací náklady a zajistí zvýšení bezpečnosti. Zároveň taky nebude klást požadavky na technické vybavení drážního vozidla. Navržené zabezpečovací zařízení musí být schopno zabránit konfliktním vlakovým cestám, protisměrné jízdě vlaků nebo změně postavené vlakové cesty v případě, kdy je daná vlaková cesta již obsazena vlakem. V následujících kapitolách je přehled používaných technologií zabezpečovacích zařízení, dále je zmíněn návrh hardwaru a komunikace s nadřazeným systémem, firmwaru pro obsluhu jednotlivých částí infrastruktury a získání jejího stavu a softwaru zajišťujícího logiku navrženého zabezpečovacího zařízení. Detailněji je zmíněna samotná činnost logiky, popisu řízené oblasti a způsobu interakce systému s obsluhou. Poslední část práce je věnována testování navrženého řešení.

---

<sup>1</sup> Globální systém pro mobilní komunikaci.

<sup>2</sup> Globální polohový systém.

## 2 Zabezpečení železničního provozu

V počátcích železniční dopravy zabezpečení provozu spočívalo pouze na lidském faktoru. Později se začala objevovat nejrůznější technologická opatření vedoucí ke zvýšení bezpečnosti provozu. Postupně se objevovala řešení v podobě výhybkových zámek a jejich klíčů opatřených štítkem dle polohy výhybky, poté přišly zabezpečovací zařízení založené na mechanice a elektromechanice. Většina těchto zabezpečovacích zařízení však nebyla schopna zcela vyloučit nehodu vzniklou lidským selháním. Až s nástupem elektroniky a počítačové techniky se v železničním provozu objevují zabezpečovací zařízení schopné vyloučit takřka jakékoliv selhání lidského faktoru. Jejich rozvoj je však pozvolný a i v současnosti se lze setkat s elektromechanickými zabezpečovacími zařízeními či zabezpečením bez pokročilejších technologických řešení.

V elektronickém a počítačovém zabezpečení provozu železniční dopravy je používán komplexní systém zahrnující senzory, výkonové spínací reléové obvody, mechanismy ovládající stavění výhybek, signalizační a indikační zařízení, komunikační sítě, počítačové a reléové obvody zajišťující logiku a rozhraní zajišťující komunikaci s obsluhou. V této kapitole jsou shrnuty podstatné části zabezpečovacích systémů a také dalších možností, jak lze zajistit provoz železniční dopravy.

### 2.1 Způsoby vyhodnocení obsazenosti koleje

Vyhodnocení obsazenosti koleje je klíčovým bodem všech zabezpečovacích zařízení. V historii železniční zabezpečovací techniky lze nalézt množství technických prostředků na vyhodnocení stavu obsazenosti koleje. V následujících podkapitolách si zmiňme dva aktuálně používané způsoby.

#### 2.1.1 Kolejové obvody

Kolejový obvod [1] je složen z kolejového vedení a samotného vyhodnocovacího zařízení (obr. 1). Kolejové vedení tvoří úsek železničního svršku, ve kterém kolejnicové pásy reprezentují elektronické vodiče. Jednotlivé kolejnicové pásy jsou spojeny svárem, případně za pomoci kolejnicových spojek. Jelikož použití spojek je z hlediska elektrického odporu značně neurčité z důvodu, že jsou primárně určeny pro mechanické spojení, jsou v těchto místech zřízeny stykové propojky zajišťující elektrické propojení kolejového obvodu. Na konci každého úseku je kolejový obvod od dalšího oddělen izolačními spojkami (obr. 2). Izolační spojky zajišťují mechanické spojení koleje, nicméně z hlediska elektrických vlastností představují izolant.

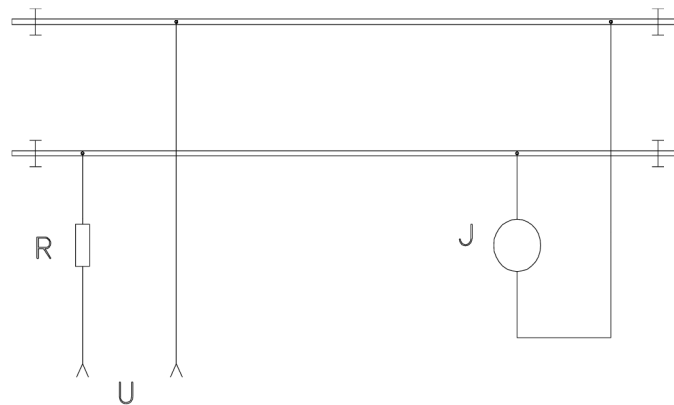


Obr. 1: Vyhodnocovací zařízení kolejového obvodu.



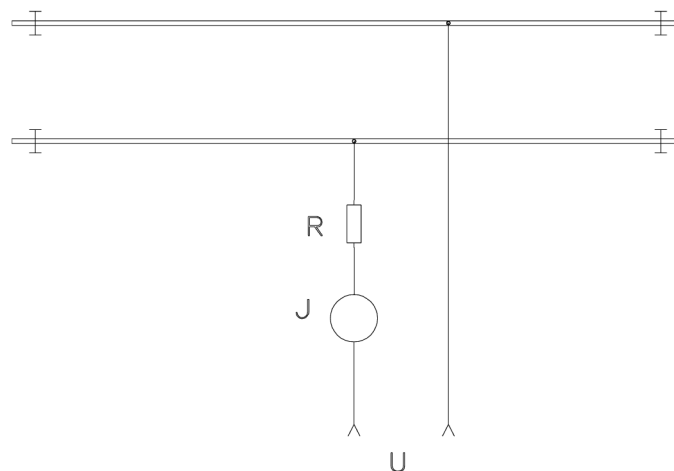
Obr. 2: Napojení kolejového obvodu.

Pro získání bezpečné informace o stavu koleje je potřeba, aby i v případě poruchy nebyla obsazená kolej vyhodnocena jako volná. Při poruchovém stavu je nutné hlásit danou kolej vždy jako obsazenou. Tuto podmínku splňuje paralelní typ kolejových obvodů (obr. 3). Paralelní kolejový obvod má na začátku kolejového obvodu připojeno napájení a na konci obvodu je připojeno snímací relé. Relé je v případě volné koleje sepnuto proudem protékajícím kolejovými pásy. Při vjezdu vozidla do kolejového obvodu dochází ke spojení kolejových pásů vodivým dvoukolím vlaku. Elektrický odpor dvoukolí společně se stykovým odporem dvoukolí a železniční kolejnice je natolik významný, že nelze přímo hovořit o zkratu kolejového obvodu. Pro tento stav je používán pojem šuntování kolejového obvodu. Celkový odpor všech dvoukolí vlaku se poté nazývá pojmem vlakový šunt. Vlivem šuntování dochází k poklesu proudu protékajícího přes cívku relé, jelikož část proudu protéká přes dvoukolí vlaku. Pokles proudu na cínce relé vede k jeho rozepnutí. Rozepnutí relé je interpretováno jako obsazení daného úseku koleje. Jakákoliv porucha vždy povede k poklesu proudu, případně k přerušení kolejového obvodu. Tímto je zajištěno, že daná kolej bude vždy v případě poruchy vyhodnocena jako obsazená.



Obr. 3: Zapojení paralelního kolejového obvodu. [1]

Předčasné zrušení závěru však může vést k nehodě, jelikož důležité části vlakové cesty přestanou být chráněny proti přestavení v době, kdy jízda vlaku ještě neskončila. Proto je vhodné doplnit obvod, který nesmí neoprávněně hlásit obsazení kolejového obvodu, tedy při poruše nebude volnou kolej hlásit jako obsazenou. Tomuto účelu vyhovují sériové kolejové obvody. Sériový kolejový obvod (obr. 4) funguje na principu, kdy vjezdem dvoukolí vlaku do kolejového obvodu dojde k jeho uzavření. Uzavření kolejového obvodu je interpretováno jako jeho obsazení.



Obr. 4: Zapojení sériového kolejového obvodu. [1]

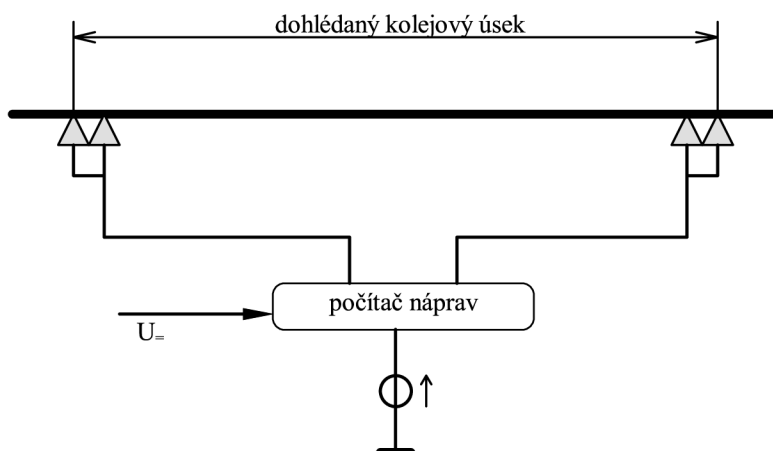
## 2.1.2 Počítače náprav

Počítače náprav [1] [2] slouží k vyhodnocení obsazenosti koleje a jsou alternativou ke kolejovým obvodům. Z hlediska bezpečnosti detekce lze počítače náprav přirovnat k paralelnímu typu kolejových obvodů, kdy při poruše je hlášeno obsazení dané koleje. Kolejový obvod je však schopen indikovat obsazenost úseku v jakémkoliv místě, což nelze od počítače náprav očekávat.



Obr. 5: Senzor počítače náprav.

Jedná se o zařízení využívající bodových prvků ke kontrole volnosti tratě. Počítač náprav se skládá z vyhodnocovací jednotky a detektoru kol (obr. 5), který detekuje průjezd železničního kola a je vždy umístěn v páru na začátku a na konci daného úseku koleje. Pár a nikoliv pouze jeden snímač zde musí být umístěn proto, aby počítač náprav mohl správně vyhodnotit směr pohybu vlaku pohybujícího se na hranici úseku a tak správným způsobem nápravy přičítat nebo odečítat. Snímač je tvořen magnetem a snímací cívkou. Při vjezdu vozidla dojde ke změně magnetického toku mezi magnetem a cívkou, který vede k indukovaní napěťového pulzu na cívce. Informace z detektoru kol jsou přivedeny do vyhodnocovací jednotky, která vyhodnocuje volnost nebo obsazení úseku, případně směr jízdy vlaku a počet jeho náprav. Vyhodnocovací jednotka rovněž slouží k napájení snímače. Výpadek napájení vede k poruchovému obsazení úseku. Jednotku lze realizovat prostřednictvím čítačů nebo prostřednictvím mikroprocesoru. Princip počítače náprav je vyobrazen na obr. 6.



Obr. 6: Princip počítače náprav. [1]

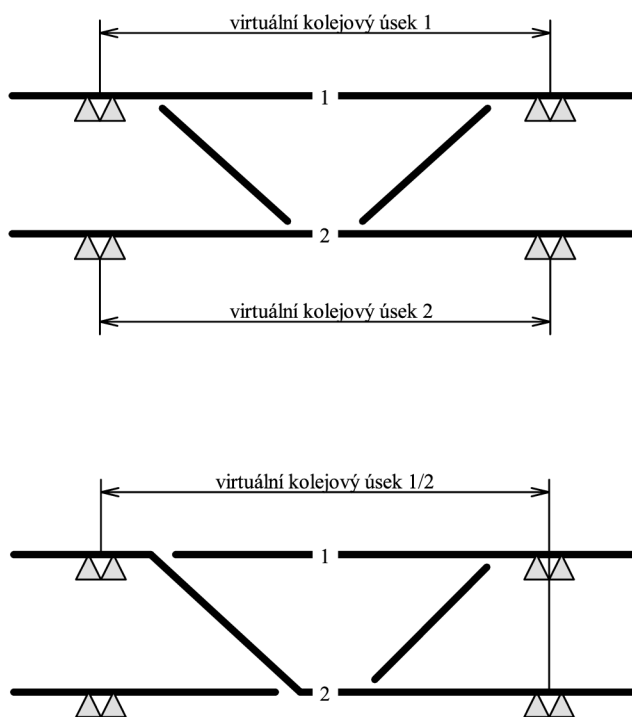
Čítačový počítač náprav vede signál ze senzorů na vstupní zesilovač s aktivními filtry. Zesílený signál je přiveden na diskriminátor a dále na binární čítač, který řídí relé obsazení. Při nulovém stavu čítače je relé odpadlé, jinak je přitaženo. Koncové paměti společně se směrovou pamětí řídí relé volnosti. Obě relé jsou propojena a výstupem je kolejové relé jako pro klasický kolejový obvod.

Mikroprocesorový počítač náprav pracuje na principu dvou samostatných jednotek, které se musí shodnout na výsledku. Signál ze senzoru je veden přes pásmovou propust na zesilovač a spouštěcí obvod. Výsledné impulzy zpracovávají nezávisle dvojice mikroprocesorových modulů. Výstupem každého modulu je dvojice relé pracující v inverzním režimu. Relé obou modulů jsou propojeny a je na ně připojena reléová logika obsahující kolejové relé a relé kontrolní, které sleduje synchronizaci modulů. Počítač náprav typu S350 od firmy Siemens obsahuje mikroprocesor na bázi mikroprocesoru 8085 s taktovací frekvencí 2 MHz.

Mikroprocesorové počítače náprav rovněž umožňují kromě kontroly obsazenosti úseku koleje další funkce. Počítače náprav jsou schopny vykonávat:

- Počítání náprav vlaku.
- Korekce chyb pro kolejové úseky v traťovém bloku, což vede k eliminaci chybových stavů.
- Přemostění vadných bloků.
- Vyhodnocování na základě polohy výhybek, vytvářejí se tak virtuální kolejové úseky (obr. 7).
- Vyhodnocovat směr jízdy vlaku.

Počítače náprav lze využít pro staniční, traťové a přejezdové zabezpečovací zařízení. U přejezdových zabezpečovacích zařízení jsou pak použity dva počítací úseky, které přes sebe přesahují v místě křížení silnice a železnice. Počítač náprav lze rovněž kombinovat s úseky kontrolovanými kolejovými obvody za předpokladu neprodlené detekce obsazení.



Obr. 7: Virtuální kolejové úseky.[1]



## 2.2 Proměnné návěstidla a jejich návěští

Návěstidlo [3] slouží k předání pokynů strojvedoucímu o další možné jízdě vlaku. Proměnná návěstidla mohou dávat více návěští (obr. 8), případně žádnou. Návěstidla informují o volnosti následujícího úseku a o rychlostních omezeních dle postavené vlakové cesty. Rovněž informují o návěští na následujícím návěstidle.

Rozlišujeme hlavní návěstidla a jejich předvěsti, pod které spadají návěstidla vjezdová, odjezdová, cestová, oddílová a krycí, dále pak rozlišujeme návěstidla platná pro posun, indikátory k hlavním návěstidlům a přejezdníky.



Obr. 8: Odjezdová návěstidla ve stanici Rohatec s návěští volno (vlevo) a s návěští stůj (vpravo).

### 2.2.1 Hlavní návěstidla a jejich předvěsti

Hlavní návěstidla dovolují nebo zakazují jízdu vlaku za návěstidlo. V případě, kdy dovolují jízdu vlaku za návěstidlo, nařizují, jakou rychlostí smí vlak jet. Návěstidla platná pouze pro jízdu vlaku jsou opatřena bíločervenými pruhy stejné délky. Návěstidla platná jak pro jízdu vlaku, tak posun jsou poté opatřena pruhy nestejně délky. Rozlišujeme tyto typy hlavních návěstidel:

- Vjezdová návěstidla kryjí stanice, odbočky, kolejové splitky, křížení tratí a vlečky.
- Odjezdová návěstidla řídí odjezdy vlaků ze stanice, odboček a vleček. Většinou se zřizují pro každou kolej, případně pro určitou skupinu kolejí jako skupinová odjezdová návěstidla. Návěstidla pak mohou být doplněna identifikátorem značícím, pro kterou kolej návěst dovolující jízdu vlaku platí.
- Cestová návěstidla řídí jízdu vlaku ve stanici a zřizují se mezi vjezdovými a odjezdovými návěstidly, případně pro ukončení vlakové cesty. Tyto návěstidla lze slučovat s odjezdovými návěstidly.
- Oddílová návěstidla ohraničují jednotlivé traťové oddíly.
- Krycí návěstidla slouží na širé trati ke krytí míst, ve kterých by mohla být ohrožena bezpečnost dopravy. Především se používají ke krytí železničních přejezdů.

Předvěsti se před hlavní návěstidla umísťují nejméně na zábrzdnu vzdálenost. Zábrzdna vzdálenost vychází z traťové rychlosti daného úseku železniční tratě.

Základní návěstí vjezdových, odjezdových a cestových návěstidel je návěst stůj. Návěst stůj zakazuje další jízdu vlaku za dané návěstidlo a strojvedoucí je povinen před tímto návěstidlem zastavit. Návěst je dávana červeným světlem. Základní návěst pro bloková návěstidla bez automatického

bloku je stůj, s automatickým blokem volno. Základní návěst posledního blokového návěstidla je výstraha. Přehled nejčastějších návěstí hlavních návěstidel (s přihlédnutím k tématu práce) je uveden níže:

- Návěst volno je dávana stálým zeleným světlem. Vlak za toto návěstidlo může jet největší dovolenou rychlostí. Následující návěstidlo může signalizovat návěst výstraha, návěst signalizující očekávání rychlosti případně návěst volno.
- Návěst rychlost 40 km/h a volno je dávana kombinací zeleného a žlutého světla. Na tuto návěst smí vlak jet v obvodu výhybek přilehlém k návěstidlu rychlostí nejvíce 40 km/h a dále pak největší dovolenou rychlostí.
- Návěst rychlost 40 km/h a očekávejte 40 km/h je dávana přerušovaným a stálým žlutým světlem. Na tuto návěst smí vlak jet v obvodu výhybek přilehlém k návěstidlu rychlostí nejvíce 40 km/h, dále pak nejvíce 40 km/h.
- Návěst výstraha je dávana stálým žlutým světlem. Na tuto návěst musí vlak zpomalovat jízdu tak, aby před následujícím návěstidlem zakazujícím další jízdu zastavil.
- Rychlost 40 km/h a výstraha je dávana dvojicí žlutých stálých světel. Na tuto návěst smí vlak jet v obvodu výhybek přilehlém k návěstidlu a v dalším úseku koleje rychlostí nejvíce 40 km/h a musí zmenšovat rychlost jízdy tak, aby zastavil před následujícím návěstidlem zakazujícím jízdu.
- Návěst stůj je dávana stálým červeným světlem. Návěst zakazuje další jízdu vlaku za návěstidlo, vlak musí zastavit před tímto návěstidlem.

Opakování světelné předvěsti opakuje návěst předchozího návěstidla, v případě stanice následujícího návěstidla. Zřizuje se v místech, kde není přímý pohled na návěstidlo, případně v místech, kde mezi tímto a následujícím návěstidlem není zachována minimální zábrzdná vzdálenost. Opakování návěsti volno je signalizováno stálým bílým a zeleným světlem, pro návěst očekávejte rychlost 40 km/h se jedná o stálé bílé a přerušované žluté světlo a pro návěst výstraha o stálé bílé a žluté světlo.

V případě poruchy návěstidla je jízda za návěstidlo povolena na přivolávací návěst. Jízda na přivolávací návěst je možná i při vjezdu na obsazenou kolej. Návěst je dávana kombinací přerušovaného bílého a stálého červeného světla. Při návěsti opatrně na přivolávací návěst je vlaku umožněno projet kolem návěstidla za podmínky nepřekročení rychlosti 30 km/h.

## 2.2.2 Světelná seřad'ovací návěstidla

Seřad'ovací návěstidla [3] platí pro posun s posunovým dílem. Návěsti seřad'ovacích návěstidel jsou shrnuty zde:

- Návěst posun zakázán je dávana stálým modrým světlem. V případě sloučení s hlavním návěstidlem zakazuje posun návěst stůj. Tato návěst zakazuje posunovat za dané návěstidlo, v případě skupinového návěstidla za námezník.
- Návěst posun dovolen je dávana stálým bílým světlem. Návěst dovoluje posunovat s posunovým dílem za návěstidlo.

Dále existuje celá řada dalších návěstí platných pro jízdu vlaku, posun s posunovým dílem nebo návěstí na přejezdnících a indikátorech, o jejichž existenci se zde zmiňuji jen v rámci úplnosti, že zde zmíněný výčet není úplný, ale jejich výklad jde nad rámec této práce. Další informace je možné dohledat v [3].

## 2.3 Výhybky a výkolejky

Výhybka je drážní infrastruktura v místě styku jednotlivých kolejí, která umožňuje jízdu vlaku do příslušného směru. Je rozlišováno několik typů výhybek, které se od sebe liší svým mechanickým provedením a počtem směrů.

Za zmínku zde stojí samovratná výhybka [4], která je trvale přestavena do jednoho směru a umožňuje své rozříznutí drážním vozidlem. Po průjezdu vlaku se výhybka vrací zpět do svého původního stavu. Před samovratné výhybky se umísťují návěstidla samovratných výhybek. Samovratné výhybky jsou často osazovány v dopravních D3 u regionálních tratí, ve kterých dochází ke křížování vlaků.

Výkolejky jsou prvky železniční infrastruktury zabraňující neoprávněnému odjezdu vlaku z koleje. Z hlediska dálkového řízení lze jejich obsluhu řešit stejným způsobem jako obsluhu výhybek pomocí elektromotorických přestavníků.

### 2.3.1 Elektromotorické přestavníky

Při dálkovém řízení se využívají elektromotorické přestavníky [5] (obr. 9). Elektromotorický přestavník umožňuje ovládání a zabezpečení výhybek a výkolejek. Vyrábějí se v rozřezné i nerozřezné variantě. Přestavník se skládá ze stavěcího a kontrolního obvodu.

Stavěcí obvod dává příkaz k přestavení výhybky. Kontroluje obsazenost výhybky pomocí kolejového obvodu výhybky obsluhující kontakty kolejového relé. Dále je přestavník opatřen kontakty závěrného relé, které provádí kontrolu a zabrání přestavení výhybky v případě jejího uzávěru existující vlakovou cestou. Kontrolní obvod kontroluje polohu výhybky a její přehození do požadované polohy.



Obr. 9: Výhybka vybavena elektromotorickým přestavníkem.

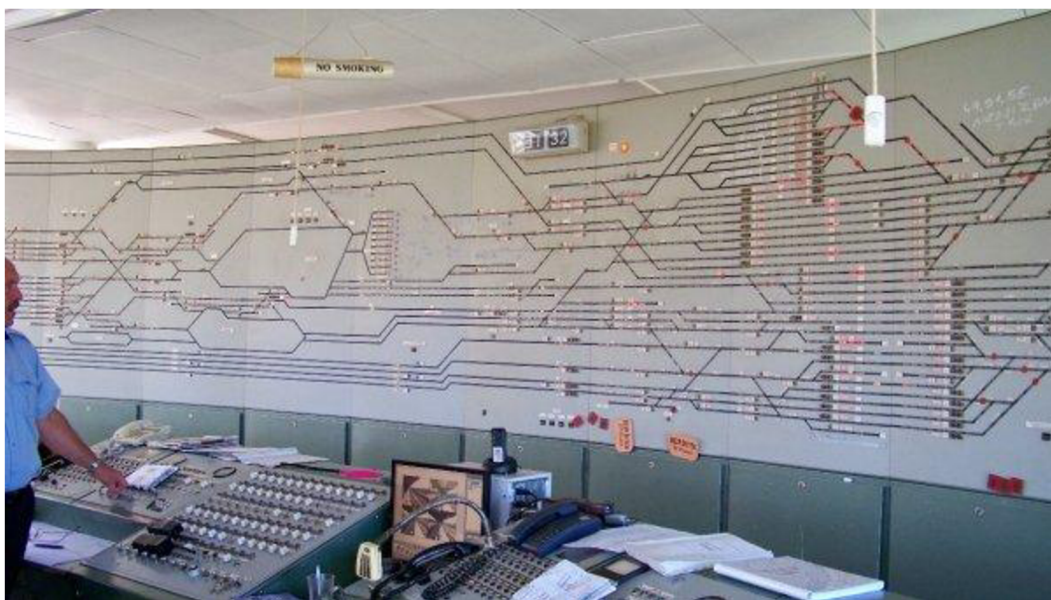


## 2.4 Používané zabezpečovací zařízení

Zabezpečovací systém [6] je komplexní systém zajišťující bezpečnost železniční dopravy. Zajišťuje podmínky pro bezpečnou jízdu drážního vozidla jak v rámci staniční oblasti, tak na širé trati. V případě staničního zabezpečovacího zařízení kontroluje volnosti vlakových cest, přestavení výhybek ve vlakové cestě, zajištění správné pozice odvrátných výhybek a výkolejek a zajištění těchto prvků proti dalšímu přestavení. Rovněž vylučuje současné konfliktní vlakové cesty. Traťové zabezpečovací zařízení vylučují protisměrné jízdy po jedné koleji.

### 2.4.1 Reléové zabezpečovací zařízení

Reléové zabezpečovací zařízení [7] (obr. 10) je nejstarší typ elektronického staničního zabezpečovacího zařízení. Kromě železnice je tento typ rovněž používán pro řízení provozu metra a pro řízení rozsáhlejších vlečkových sítí.



Obr. 10: Zadávací úroveň reléového zabezpečovacího zařízení v České Třebové.

Činnost logiky reléového zabezpečovacího zařízení je založena na elektronických obvodech. Jedná se o reléovou logiku, která je založena na obvodech obsahujících relé k realizaci logických funkcí. Výhodou těchto obvodů je spolehlivost, kdy porucha vede vždy k odpadnutí relé a možnost přímého spínání výkonových částí zabezpečovacího zařízení (reléovým spínacím obvodům se prozatím nelze vyhnout ani v případě nejnovějších zabezpečovacích zařízení). Nevýhodou tohoto typu logiky je rychlost spínání relé, nicméně v rámci zabezpečovacích zařízení se nejedná o podstatný nedostatek, protože změna stavů není příliš častá.

Rozlišujeme několik typů těchto zabezpečovacích zařízení. Individuální, které umožňují samostatné nastavení polohy výhybek a až poté umožní postavení vlakové cesty a nastavení návěsti povolující jízdu. Druhým typem je cestové reléové zabezpečovací zařízení, které zajistí požadované nastavení poloh výhybek dle navolené vlakové cesty. Dle způsobu, kterým lze zadat vlakovou cestu je dělíme na dvoutlačítkové systémy založené na stlačení dvojice tlačítek značících začátek a konec stavěné vlakové cesty a na systémy s kódovou (číslíkovou) volbou založené na zadání číselného kódu začátku a konce stavěné vlakové cesty.

## 2.4.2 Elektronické stavědlo ESA 11

V současnosti se na hlavních železničních tratích používá zabezpečovací zařízení typu ESA 11 [8], které je vyvinuto firmou AŽD Praha. Toto zabezpečovací zařízení umožňuje ovládání oblasti s přibližně 250 výhybkami. Ačkoliv se jedná o staniční zabezpečovací zařízení, tak řízená oblast nemusí mít charakter stanice.

Rozhraní zabezpečovacího zařízení je analogové. Veškeré logické funkce jsou tedy vykonávány počítačovou částí zabezpečovacího zařízení. Rozhraní lze napojit na reléové nebo elektronické spínače pro výkonové signály k jednotlivým prvkům železniční infrastruktury, případně k dalším typům starších zabezpečovacích zařízení. V praxi je nezdívka kombinace zabezpečovacího zařízení ESA 11 s reléovými zabezpečovacími zařízeními.

Řídící úroveň (část na obr. 11) organizuje činnost zabezpečovacího systému a zajišťuje komunikaci jednotlivých modulů navzájem a logickou činnost zabezpečovacího zařízení. Technicky se jedná o řešení pomocí počítačové sítě s čtveřicí výpočetních jednotek. Ve stejném čase probíhá současně dvojnásobné zpracování dvěma na sobě zcela nezávislými programy, jejichž výsledky jsou v čase porovnávány a musí docházet ke shodě. K datovým přenosům jsou využívány komunikační sítě ETMNET a PENET.



Obr. 11: Řídící úroveň ESA 11, ústřední stavědlo Bohumín.

Zadávací úroveň slouží ke styku techniky a obsluhy (obr. 12). Zobrazení je zajištěno grafickým výstupem, který je doplněn výstupem textovým. Dále lze zajistit propojení se systémem graficko-technologické nadstavby, čímž dojde k zajištění automatického vedení dopravní dokumentace. Rovněž lze provést propojení s diagnostickým systémem.



Obr. 12: Zadávací úroveň ESA 11, ústřední stavědlo Bohumín.

### 2.4.3 Radioblok

Na některých regionálních tratích je v provozu zabezpečovací zařízení typu radioblok RBA 10 [9], které je vyvinuto firmou AŽD Praha. Instalace tohoto typu zabezpečovacího zařízení je možná na jednokolejných regionálních tratích s maximální traťovou rychlostí do 100 km/h, v dopravních pásech s omezením rychlosti dle způsobu zabezpečení výhybek. Jedna centrála umožňuje řízení oblasti tvořené až 35 dopravními, kde každá dopravná může mít maximálně čtyři dopravní koleje. V celé oblasti může být současně maximálně 16 vlaků. V dané oblasti je vyžadována dostupnost datové sítě GSM, a to minimálně v obvodu dopravní a v několika sta metrovém úseku tratě před a za dopravnou.

Jedná se o systém pro zabezpečení a řízení regionálních tratí. Systém je koncipován tak, aby náklady na jeho provoz a instalaci byly minimální. Toho je dosaženo speciálními technickými prostředky navrhnutými výhradně pro tento typ zabezpečovacího zařízení a integrací stávajících prvků infrastruktury do systému.

Tento typ zabezpečovacího zařízení brání vydávání vzájemně kolizních vlakových cest. Obsluha je jeho prostřednictvím informována o stavu celé řízené oblasti. Dále za pomoci GPS provádí kontrolu nad jízdou vlaku v dané oblasti. Zabezpečovací zařízení rovněž umožňuje případné nouzové zastavení vlaku. Zastavení vlaku je technicky řešeno montáží elektronického ventilu na brzdové potrubí, jedná se tedy o nekomplikovaný zásah do drážního vozidla. Ke komunikaci s terminálem zabezpečovacího zařízení, montovaným na drážním vozidle, je využívána datová komunikace prostřednictvím sítě GSM.

Architektura zařízení je tvořena radioblokovou centrálou RBS-100, jednotlivými radioblokovými terminály na drážních vozidlech RBV-100 (obr. 13) a komunikační infrastrukturou (obr. 14) zahrnující datovou a hlasovou výměnu informací. Část infrastruktury je montována přímo na drážní vozidlo. Dále je k dispozici na straně obsluhy systém graficko-technologické nadstavby a zařízení pro záznam komunikace.



Obr. 13: Terminál umístěný na drážním vozidle typu RBV-100. [10]



Obr. 14: Technické vybavení pro činnost terminálu. [10]



## 2.5 Telefonické dorozumívání a dirigování

Telefonické dorozumívání je nejrozšířenější formou zabezpečení provozu na regionálních tratích. Řízení provozu a jeho bezpečnost spočívá převážně na lidském faktoru. Zabezpečení je založeno na telefonickém dorozumívání přes telekomunikační zařízení mezi jednotlivými výpravčími, výpravčími a signalisty, případně mezi dirigujícím dispečerem a strojvedoucím vlaku. Doprava se řídí pomocí tří základních telefonických hlášení [11], kterými je nabídka, přijetí a odhláška. Nabídkou se rozumí žádost výpravčího o souhlas k jízdě vlaku do sousední dopravní obsazené výpravčím. Přijetí je souhlas výpravčího dopravní s jízdou vlaku ze sousední dopravní obsazené výpravčím. Odhláška je zpráva o volnosti traťového úseku od obsazené dopravní do předešlé dopravní.

V případě, že jednotlivé dopravní na trati nejsou obsazeny výpravčím, je souhlas s jízdou vlaku získáván rozdílným způsobem. Zpravidla se jedná o zjednodušené řízení drážní dopravy podle drážního předpisu D3 [11]. Dopravní v této trati jsou poté nazývány dopravními D3. Provoz na těchto tratích je řízen dirigováním dle pokynů dirigujícího dispečera a grafikonu vlakové dopravy. Dirigující dispečer zakresluje údaje o jízdě vlaku do grafikonu splněné vlakové dopravy. Předjíždění či křížování jednotlivých vlaků je stanoveno grafikonem a je umožněno pouze v určených dopravních D3, v případě mimořádnosti lze udělit změny vydáním rozkazu strojvedoucím o mimořádném křížování nebo předjíždění. Strojvedoucí komunikuje s dispečerem prostřednictvím traťového telefonu, případně vysílačkou v určených dopravních D3.

Na tratích dle předpisu D3 se používají neměnné návěstidla, případně krycí návěstidla pro krytí železničních přejezdů. Vjezdové návěstidlo je zastoupeno lichoběžníkovou tabulkou značící hranici dané dopravní, odjezdová návěstidla se v dopravních D3 nezřizují.

Výhybky a výkolejky v dopravních D3 jsou obsluhovány personálem vlaku (obr. 15) a jsou zabezpečeny výměnovými zámky bránícími neoprávněnému přestavení výhybky. V dopravních lze rovněž použít samovratné výhybky, před kterými se zřídí návěstidlo samovratné výhybky. Použití samovratných výhybek urychluje odbavení vlaku v dané dopravně, neboť odpadá nutnost personálu vlaku provádět přestavování jednotlivých výhybek ručně.



Obr. 15: Obsluha výhybky personálem vlaku v dopravně D3 Osoblaha.

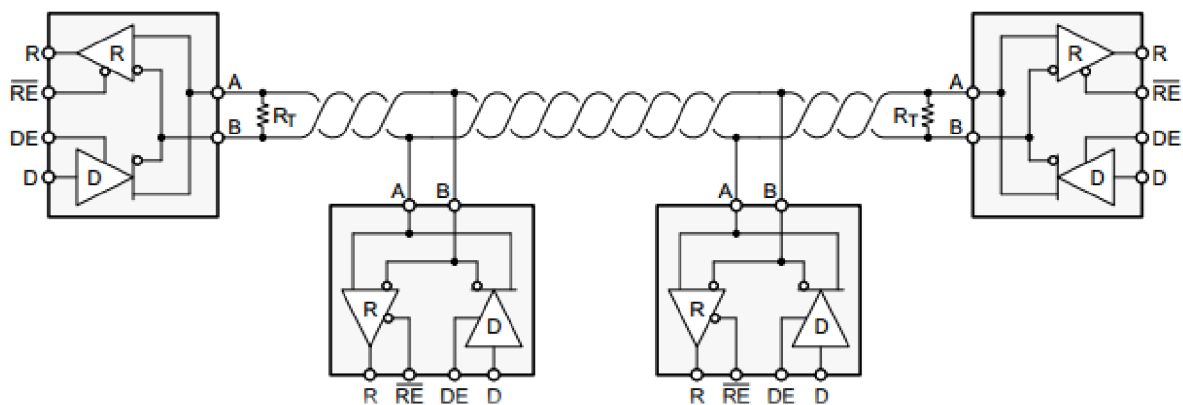
## 3 Přehled technologií

Následující kapitola se zmiňuje o vybraných technologiích použitých pro návrh zabezpečovacího zařízení. Jedná se o komunikační rozhraní, komunikační protokol a jeho implementaci a výběr jednotlivých komponent.

### 3.1 Komunikační rozhraní

Sériová komunikace [12] je častým typem komunikace mezi jednotlivými zařízeními. Rozlišujeme dva typy sériové komunikace, a to synchronní a asynchronní. Výhodou synchronního přenosu je větší rychlost přenosu dat, ale je vhodná spíše na kratší vzdálenosti. Na delší vzdálenosti s menšími objemy dat je vhodná komunikace asynchronní.

Na fyzické vrstvě lze komunikaci řešit prostřednictvím sériového rozhraní typu RS485 [12]. Jedná se o rozhraní užívané především v průmyslovém prostředí, které bylo definované v roce 1983 sdružením EIA. Rozhraní umožňuje vytvořit sériové dvou vodičové poloduplexní vícebodové spoje. Jeho definice je obdobná známějšímu standardu RS232, od kterého se liší jinými napěťovými úrovněmi, nepřítomností řídicích signálů, možností vytváření sítí (obr. 16) a možností komunikace na delší vzdálenosti. Komunikovat lze do vzdálenosti až 1200 metrů, poté je potřeba použít opakovače. Definice rozhraní RS485 neurčuje standardní konektor a zapojení jednotlivých signálů. Princip komunikace na RS485 je řešen za pomoci dvojice vodičů. Tyto vodiče jsou buzeny v protifázi a na přijímací straně jsou vyhodnocovány jejich napěťové rozdíly. Tento princip komunikace odstraňuje aditivní rušení. Z tohoto vyplývá vhodnost použití zkrouceného páru vodičů.

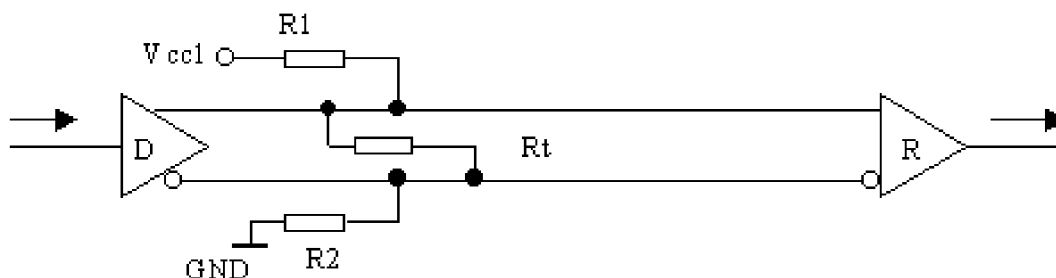


Obr. 16: Zapojení RS485 sítě. [13]

RS485 umožňuje připojení maximálně 16 zařízení, v případech, kdy mají jednotlivá připojená zařízení menší zátěž lze připojit až 128 zařízení. Doporučená síťová topologie pro RS485 je linie s krátkými odbočkami, není doporučeno provádět zapojení do topologií hvězda a strom.

Konce linky jsou osazeny rezistorem o shodné velikosti impedance vedení, čímž dochází k eliminaci odrazů na vedení. Jelikož přenosové rychlosti jsou v praxi nízké (řádově do 19,2 kBd) a nižší velikost zakončovacího odporu vede ke snížení úrovně signálu a také ke snížení odolnosti proti poruchám, je doporučeno používat pro zakončení odpor větší, do 1000  $\Omega$ . Dále je nutné jednoznačně definování klidového stavu sběrnice. V době, kdy na sběrnici žádné zařízení nevysílá je totiž linka citlivá na vznik poruch zapříčiněných indukovaným napětím, které se mohou jevit jako validní data.

Definování klidového stavu se zajišťuje připojením rezistorů s odporem od 470 Ω do 1000 Ω k datovým vodičům (obr. 17).



Obr. 17: Definování klidového stavu linky. [12]

### 3.1.1 Komunikační protokol Modbus

Modbus [14] je komunikační protokol sloužící pro komunikaci jednotlivých zařízení nezávisle na použité síti. Lze komunikovat prostřednictvím ethernetu pomocí TCP/IP<sup>3</sup> a pomocí sériových rozhraní RS232C a RS485. Komunikace funguje na principu klient – server, v případě komunikace prostřednictvím TCP/IP toto omezení neplatí. Na sběrnici je jedno hlavní zařízení (server) posílající požadavky. Ostatní zařízení připojené na sběrnici jsou klienti, kteří odpovídají na dotazy, které jsou jim adresovány. V případě komunikace po sériovém rozhraní jsou definovány dva vysílací režimy, které určují formát vysílaných dat:

- RTU režim odesílá byte jako jeden znak. Integrita je zajištěna pomocí kontrolního CRC<sup>4</sup> součtu a paritního bitu. Vysílání zprávy musí být souvislé bez mezer delších než 1,5 znaku. Začátek a konec zprávy značí pomlka delší než 3,5 znaku.
- ASCII<sup>5</sup> režim byte odesílá jako dvojici ASCII znaků (v podobě čísla v šestnáctkové soustavě). Začátek zprávy je určen znakem „:“ a konce dvojicí znaků CR a LF<sup>6</sup>. Oproti RTU režimu je komunikace pomalejší.

Adresace je rozdělena na tři skupiny adres. Jedná se o všesměrovou adresu 0 (broadcast) adresující zprávu všem zařízením. Blok adres od 1 do 247 je vyhrazen pro adresování jednotlivých zařízení (unicast) a na zaslané zprávy je zaslána odpověď. Blok adres od 248 do 255 je rezervován pro pozdější využití.

Start	Adresa	Funkce	Data	LRC	Konec
1 znak	2 znaky	2 znaky	0 do 2 x 252 znaků	2 znaky	2 znaky CR, LF

Obr. 18: Zpráva ve formátu ASCII. [14]

Na obr. 18 je znázorněna zpráva protokolu v komunikačním režimu ASCII [14]. Zpráva se skládá ze znaku značícího začátek zprávy, za kterým následuje dvojice znaků pro adresu cílového zařízení. Další dvojice znaků určuje kód funkce (tab. 1), úplný přehled všech funkcí komunikačního protokolu lze nalézt v [15]. Dále následuje blok znaků nesoucích samotná data. Zpráva je zakončena

<sup>3</sup> Sada protokolů pro komunikaci v počítačové síti.

<sup>4</sup> Cyklický redundantní součet.

<sup>5</sup> Standardní kód pro výměnu informací.

<sup>6</sup> CR, LF jsou pojmenované bílé znaky v ASCII.

vypočteným LRC<sup>7</sup> a ukončovacími znaky CR a LF. Postup výpočtu LRC [16] je dán součtem hodnoty adresy, hodnoty kódu funkce a všech přenášených dat rozdělených po osmicích bitech. Výsledek je poté přes dvojkový doplněk převeden na záporné číslo a oříznut na osmici bitech.

Komunikace probíhá odesláním zprávy, na kterou odpovídá adresované zařízení (v případě, že se nejedná o všesměrovou adresu, na kterou žádné zařízení neodpovídá). Formáty zpráv a jejich odpovědi určuje komunikační protokol dle funkčního kódu zprávy. Komunikace pro jednotlivé typy zpráv je podrobně popsána v [15].

Kód	Popis funkce
01	Čtení jednoho nebo více bitech.
02	Čtení jednoho nebo více bitech.
04	Čtení jednoho nebo více 16bitových registrů.
06	Zápis jednoho 16bitového registru.

Tab. 1: Kódy některých funkcí protokolu.

### 3.1.2 Knihovna NModbus4

Implementaci protokolu Modbus pro C# zajišťuje knihovna NModbus4 [21]. Jedná se o odnož knihovny Modbus, se kterou je dodržována kompatibilita v podobě shodného veřejného rozhraní knihovny. Knihovna umožňuje připojení klientských zařízení a zajištění komunikace prostřednictvím komunikačního protokolu Modbus. Je podporován ASCII a RTU mód pro sériové rozhraní RS232 a protokoly transportní síťové vrstvy. Knihovna umožňuje přes jednotlivé metody sestavit libovolnou zprávu komunikačního protokolu a vyčkat na odpověď. V případě selhání komunikace knihovna provede třikrát pokus o opakované vyslání zprávy, a pokud ani tyto opakované pokusy nebudou úspěšné, je vyvolána výjimka. Výjimka je rovněž vyvolána v případě uzavření přenosového kanálu či při jiné interní chybě. Rozhraní knihovny nabízí metody pro komunikaci jak v synchronní, tak i v asynchronní formě. Knihovna je distribuována jako NuGet balíček<sup>8</sup>.

### 3.1.3 Převodník USB na RS485

Rozhraní RS485 není běžně hardwarově podporováno současnou výpočetní technikou a je tedy potřeba použít vhodný převodník. Na straně počítače je zvoleno komunikační rozhraní USB, které lze jednoduše prostřednictvím převodníku převést na sériové rozhraní (RS485 nebo RS232).

Pro převod je použit zakoupený převodník mezi USB a RS485 typu FT232BM/BL [17]. Převodník je osazen integrovaným obvodem typu FT232, který zajišťuje komunikaci s celou řadou operačních systémů. Jedná se o obvod umožňující tvorbu virtuálního sériového portu prostřednictvím USB portu počítače. Pro převod na cílové rozhraní RS485 je poté použit obvod typu MAX485. Dle [17] zapojení již převodník obsahuje rezistory definující klidový stav komunikační sběrnice a není tedy nutné tyto rezistory řešit v jednotlivých modulech zabezpečovacího zařízení.

<sup>7</sup> Kontrola podélnou paritou.

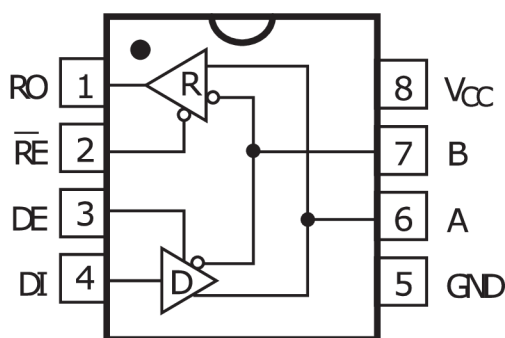
<sup>8</sup> <https://www.nuget.org/>

## 3.2 Přehled součástek

Tato kapitola představuje vybrané elektronické součástky, jejich vnitřní architekturu, vlastnosti a další důležité parametry charakterizující danou součástku.

### 3.2.1 Integrovaný obvod MAX485

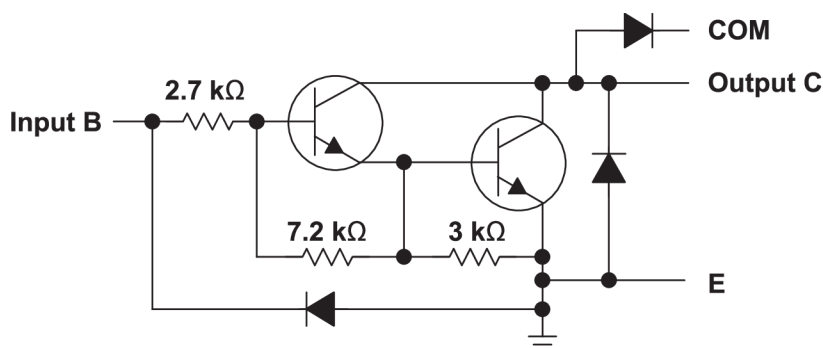
MAX485 [18] od firmy Maxim je integrovaný obvod v pouzdře DIL8. Integrovaný obvod slouží jako jednonábový převodník mezi logickými úrovněmi a napěťovými úrovněmi na rozhraní RS485 nebo RS422. Integrovaný obvod obsahuje vysílací a přijímací část vybavenou třístavovými zesilovači (obr. 19). Napájecí napětí integrovaného obvodu je 5 V, provozní teplota do 70°C.



Obr. 19: Vnitřní zapojení obvodu MAX485.[18]

### 3.2.2 Integrovaný obvod ULN2803A

ULN2803A [20] od firmy Texas Instruments je integrovaný obvod v pouzdře DIL18 sloužící jako posilovač výstupů. Integrovaný obvod v sobě obsahuje pole NPN tranzistorů v zapojení Darlingtonovy dvojice (část vnitřního zapojení na obr. 20). Obvod umožňuje proudové zatížení až 500 mA na jeden výstup. Výstupní napětí obvodu může být do 50 V, vstup obvodu je kompatibilní s mnoha typy logických úrovní, a to až do 30 V.



Obr. 20: Vnitřní zapojení posilovače.[20]





Tento typ mikroprocesoru ve své výbavě nabízí interní 4 MHz oscilátor s možností připojení vnějšího krystalového oscilátoru s frekvencí do 20 MHz. Ve výbavě periférií mikroprocesoru je dále pak možné nalézt dvojici analogových komparátorů, interní zdroj referenčního napětí, dvojici osmibitových vstupně výstupních portů, kde port B nabízí programovatelnou podporou pull-up rezistorů (port je v provedení s otevřeným kolektorem). Dále mikroprocesor obsahuje dvojici osmibitových časovačů a jednoho šestnáctibitového časovače, hardwarovou podporu „watchdog“ časovače a synchronní a asynchronní sériové rozhraní UART<sup>13</sup> pro komunikaci. Architektura mikroprocesoru a jeho periférií je patrna na obr. 21. Obvod lze napájet napětím v rozmezí od 3 V do 5,5 V.

Mikroprocesor podporuje programování v systému. Dále je podporováno programování nízkým napětím. Programování v systému vyžaduje osazení tří pinů mikroprocesoru (dva piny pro komunikaci a jeden pin pro programovací napětí). V režimu programování nízkým napětím je poté vyžadován pro programování další pin. Pro tvorbu programů výrobce nabízí volně stažitelné vývojové prostředí MPLAB<sup>14</sup>. Jedná se o ucelený balík nástrojů obsahujících kompilátor symbolického jazyka assembler, linker, softwarový emulátor a debugger. Lze doinstalovat kompilátory CX<sup>15</sup> pro překlad programů napsaných v jazyce C. Pro výše zmíněný mikroprocesor je k dispozici překladač C8.

Mikroprocesor lze programovat programátory typu PicKit2 (obr. 22), PicKit3, ICD3 a dalšími podporovanými programátory. Přehled podporovaných programátorů pro daný typ mikroprocesoru zobrazuje vývojové prostředí MPLAB ve vlastnostech a při zakládání projektu.



Obr. 22: Programátor PicKit2.

---

<sup>13</sup> Univerzální asynchronní přijímač a vysílač.

<sup>14</sup> <http://www.microchip.com/mplab/mplab-x-ide>

<sup>15</sup> <http://www.microchip.com/mplab/compilers>

## 4 Realizace zabezpečovacího zařízení

Návrh technologie zabezpečovacího zařízení v sobě zahrnuje návrh vhodného hardware pro sběr dat ze senzorů na trati a obsluhu jednotlivých prvků infrastruktury, dále pak návrh firmware zajišťující funkci hardware a software řešícího logickou část zabezpečovacího zařízení, komunikaci s hardwarem a zadávací úroveň pro styk s obsluhou.

Myšlenkově zde dochází ke kombinaci systému elektronického stavědla a radiobloku. K činnosti zabezpečovacího zařízení je navržen speciální hardware, avšak montovaný na stranu železniční infrastruktury, který komunikuje přes datovou sběrnici s logickou částí zabezpečovacího zařízení, která je řešena počítačovým systémem. Použitím jednotného hardwaru společně se zjednodušením technických prostředků na straně infrastruktury lze vybudovat cenově dostupný systém, který nevyžaduje terminály na straně drážních vozidel, čímž je umožněna zabezpečená jízda jakéhokoliv vlaku v dané oblasti.

### 4.1 Komunikace

Komunikace s moduly zabezpečovacího zařízení je řešena sériovým rozhraním RS485 prostřednictvím komunikačního protokolu Modbus. Pro komunikaci je zvolen ASCII mód. Tento mód je sice pomalejší v rychlosti komunikace, ale vzhledem k použití není rychlost natolik klíčová. ASCII mód je zvolen převážně z důvodu čitelnosti zasílaných zpráv a tedy snadnějšího ladění a testování funkce zabezpečovacího zařízení.

Nad komunikačním protokolem Modbus je dále vytvořen vlastní komunikační protokol pro přenos stavů jednotlivých prvků železniční infrastruktury. V případě čtení stavů kolejových obvodů jsou využívány číselné hodnoty od jedničky po dvojku, kde nula značí uvolnění koleje, jednička obsazení koleje a dvojka je zasílána jako chybový stav, kdy nelze zjistit stav, ve kterém se daná kolej nachází. V případě zápisu stavu na moduly jsou zvoleny pro reprezentaci jednotlivých stavů dvojice šestnáctkových čísel, kde nejvýznamnější čtveřice bitů značí typ infrastruktury a nejméně významná čtveřice bitů pak reprezentuje její stav. Souhrn je uveden v tab. 2.

Hodnota	Reprezentovaný stav
0x01	Návěst stůj.
0x02	Návěst volno.
0x03	Návěst volno s rychlostním omezením 40 km/h.
0x04	Návěst volno s rychlostním omezením 40 km/h a následujícím omezením 40 km/h.
0x05	Návěst volno a očekávej 40 km/h.
0x06	Návěst výstraha.
0x07	Návěst výstraha s rychlostním omezením 40 km/h.
0x08 – 0x0F	Interní použití pro komunikaci s následujícím modulem.
0x10	Nastavení výhybky pro jízdu do odbočky, uzavření výkolejky.
0x11	Nastavení výhybky pro jízdu přímo, otevření výkolejky.
0x20 – 0xEF	Vyhrazeno pro pozdější využití.
0xFF	Chybový stav.

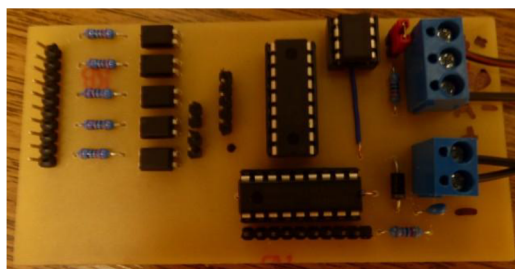
Tab. 2: Definice stavů protokolu.

## 4.2 Hardware

Následující část pojednává o návrhu a realizaci modulu zabezpečovacího zařízení pro obsluhu prvků železniční infrastruktury. Dále je v této kapitole rovněž zmíněna možná konstrukce napájecí části pro napájení jednotlivých modulů. Pro vytvoření schémat zapojení a podkladů pro výrobu plošných spojů je použit návrhový systém Eagle<sup>16</sup>.

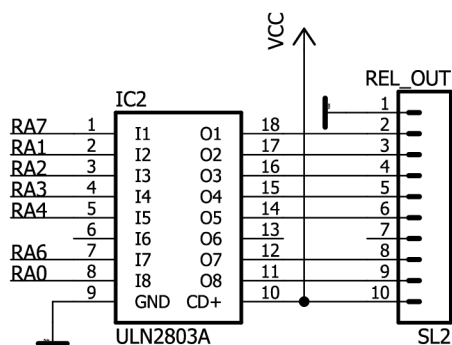
### 4.2.1 Modul zabezpečovacího zařízení

Modul zabezpečovacího zařízení je hardwarově řešen jako univerzální modul pro použití společně s libovolným prvkem infrastruktury, s kterým může komunikovat prostřednictvím sedmibitového rozhraní výstupů a pětibitového rozhraní vstupů. Rozhraní je digitální a lze jím řídit reléové spínací obvody, další moduly nebo jiné typy zabezpečovacích zařízení. Konkrétní funkce je určena firmwarem modulu. Modul je tvořen mikroprocesorem typu PIC16F628P s nezbytnými okolními součástkami. Mikroprocesor obstarává komunikaci a samotnou logiku modulu. Tento mikroprocesor je vybrán z důvodu hardwarové podpory UART, která je v návrhu zařízení použita pro komunikaci. Dále je mikroprocesor vybrán kvůli integrované podpoře pull-up rezistorů na portu B a internímu oscilátoru, což umožňuje eliminovat okolní součástky na nezbytné minimum. Důležitá je i možnost podpory programování v systému. Osazený a oživený modul je na obr. 23.



Obr. 23: Hotový modul zabezpečovacího zařízení.

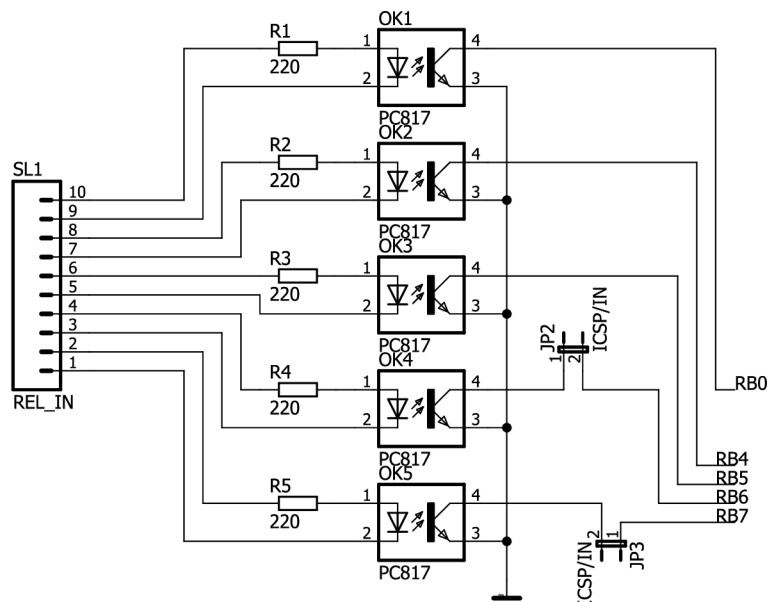
Port A je konfigurován jako výstupní. Na portu je připojen tranzistorový posilovač výstupů realizovaný integrovaným obvodem typu ULN2803A. Tento integrovaný obvod je zvolen z důvodu velké kompatibility s vstupními a výstupními napěťovými úrovněmi a hlavně kvůli možnosti velkého proudového zatížení výstupních pinů obvodu až do proudu 500 mA, což je dostatečné proudové zatížení pro spínání výstupních reléových obvodů. Obr. 24 znázorňuje zapojení výstupní části.



Obr. 24: Zapojení výstupní části.

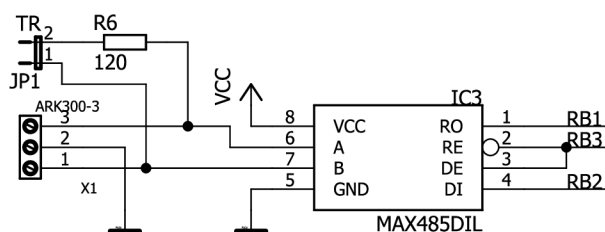
<sup>16</sup> <http://www.eagle.cz/>

Část portu B, která neslouží ke komunikaci s počítačovým systémem, je využita pro digitální vstupy, které jsou galvanicky odděleny od dalšího systému za pomoci optočlenů. Vstupní piny lze použít k připojení reléových obvodů, případně dalších zabezpečovacích zařízení. Port má v rámci firmware nakonfigurován digitální vstupní pin s pull-up rezistorem, není tedy nutné jednotlivé rezistory realizovat za pomoci externího rezistorového síta. Dvojice pinů je od optočlenů oddělena propojkami JP2 a JP3, které slouží k odpojení optočlenů od mikroprocesoru v průběhu programování. Zapojení vstupní části je na obr. 25.

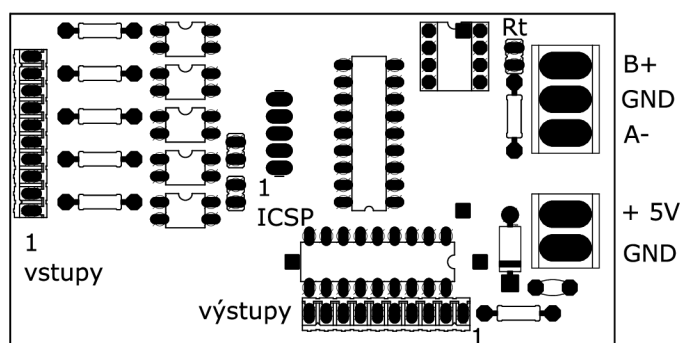


Obr. 25: Zapojení vstupní části.

Komunikaci s rozhraním RS485 zajišťuje integrovaný obvod MAX485. Směr komunikace a s ním související ovládání třístavových zesilovačů vně obvodu je řízeno z mikroprocesoru prostřednictvím pinu RB3. Přes propojku JP1 lze na RS485 rozhraní aktivovat terminální odpor, který použitý typ komunikace vyžaduje na koncových zařízeních. Zapojení části zajišťující komunikaci je na obr. 26. Úplné zapojení modulu zabezpečovacího zařízení je poté uvedeno v příloze (obr. 44).



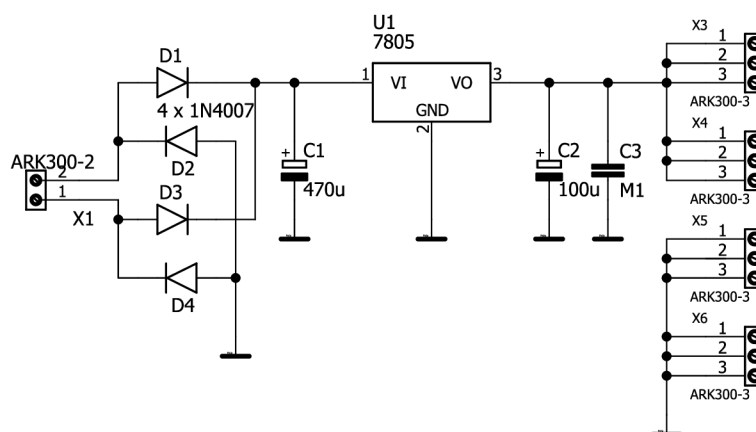
Napájecí napětí modulu je dáno použitými součástkami, jelikož samotný modul kromě ochranné diody neobsahuje napájecí část. Použité integrované obvody a mikroprocesor vyžadují napájecí napětí od 3,3 V do 5 V. Modul lze tedy napájet stabilizovaným napětím 5 V. Popis vstupů a výstupů a jednotlivých konektorů je na obr. 27.



Obr. 27: Popis vstupů, výstupů, propojek a konektorů.

## 4.2.2 Modul napájení

Moduly zabezpečovacího zařízení vyžadují pro svůj chod napájení stabilizovaným stejnosměrným napětím 5 V. O napájení se stará napájecí modul. Vstupní střídavé napětí z transformátoru je přivedeno přes svorkovnici na čtveřici diod zapojených v můstkovém zapojení, které zajistí jeho usměrnění. Stabilizaci napájecího napětí na 5 V obstarává stabilizátor typu 7805. Okolní kondenzátory zajišťující filtraci a vyhlazení napájecího napětí. Napájecí napětí je k dispozici na jednotlivých svorkovnicích. Zapojení napájecí části je na obr. 28.



Obr. 28: Zapojení napájecí části.

Napájecí modul je realizován na jednostranné desce plošného spoje. Podklady pro výrobu a osazení plošného spoje jsou uvedeny v příloze (obr. 47, obr. 48). Pro osazení desky plošného spoje jsou zvoleny klasické součástky. Svorkovnice pro přívod napájecího napětí je typu ARK300-2, svorkovnice pro odběr usměrněného stabilizovaného napájecího napětí jsou typu ARK300-3. Stabilizátor je vhodné opatřit chladičem. Pro vyvrtání otvorů pro svorkovnice je použit vrtáček průměru 1,6 mm, pro diody a stabilizátor 1,2 mm a zbylé otvory pro součástky jsou vrtány vrtáčkem o průměru 1 mm.

## 4.3 Firmware

Pro návrh firmware je zvolena monolitická architektura, která je vhodná pro vytváření programů pro mikroprocesory. Firmware je tvořen ze tří hlavních částí. Jedná se o inicializaci modulu, která zajišťuje konfiguraci periférií mikroprocesoru. Další část zajišťuje obsluhu a zpracování dat přijatých přes sériové rozhraní a vyslání dat na toto rozhraní. Rovněž zajišťuje zpracování zpráv komunikačního protokolu. Poslední část je samostatná logika modulu.

V rámci návrhu architektury je oddělena část zajišťující komunikaci a zpracování dat od části zajišťující samotnou logiku modulu. Toto rozdělení je vhodné pro jednotlivé modifikace dle určení modulu, při kterých poté není nutné zasahovat do společných částí zajišťujících komunikaci s logikou zabezpečovacího zařízení. Hlavní myšlenkou tohoto řešení je poskytnout šablonu pro jednoduché programování funkce modulu. V této šabloně programátor zajistí pouze implementaci několika funkcí. Samotná šablona se základní funkcionalitou zabírá v mikroprocesoru 71 % paměti pro program a 39 % paměti RAM pro data.

Programátor v rámci programování modulu za pomoci šablony musí zajistit implementaci následujících funkcí a dodržet tyto zásady:

- Implementovat tělo funkce `readState` sloužící ke čtení vstupních pinů a odesílání jejich hodnoty do počítače jako odpověď na zprávu pro čtení registru. V rámci této funkce může být provedena libovolná transformace dat, která je vrácena jako návratová hodnota funkce. Parametr funkce značí hodnotu registru v případě modulu, který zajišťuje více funkcí.
- Implementovat tělo funkce `initModulLogic` zajišťující inicializaci logiky modulu po přijetí zprávy provádějící zápis do registru. Instrukce jsou uloženy v globálním poli instrukcí. Index v poli je dán adresou registru. Návratovou hodnotou funkce je úspěch či neúspěch prováděné operace. Tato funkce je volána pouze po přijetí zprávy.
- Implementovat tělo funkce `modulLogic` zajišťující chod logiky po inicializaci. Tato funkce je volána v každém průchodu programem hlavní smyčkou. K dispozici je opět globální pole instrukcí.
- Počet registrů pro zápis lze upravit v hlavičkovém souboru `core.h`. Defaultní hodnota je dva.
- V hlavní smyčce programu je nutné zajistit volání funkce `decodeInstructionAndSetRegisters` s parametrem adresy daného modulu.
- Při začátku vykonávání programu je potřeba zavolat funkci `init` konfiguruující periférie mikroprocesoru.
- V obsluze přerušení je nutné zajistit volání funkce `__interrupt__`.

Pro konkrétní příklad oblasti z obr. 33 je v rámci firmwaru pro mikroprocesor nutné implementovat obsluhu dvojice samostatných vjezdových návěstidel a dvojice skupinových odjezdových návěstidel, kde do každého z nich jsou mapovány dvě samostatná odjezdová návěstidla na úrovni logiky zabezpečovacího zařízení. Dále je potřeba naprogramovat obsluhu dvojice výhybek a obsluhu vyhodnocování stavu kolejových obvodů. Pro tuto aplikaci je navržen jednotný firmware pro modul obsluhující zhlaví dopravní a dále firmware pracující nad kolejemi v obvodu stanice. Po jeho naprogramování je zabráno 80 % programové paměti a 42 % paměti RAM. Samotná implementace již spočívá pouze v realizaci kombinačních logických obvodů mapujících stav modelu infrastruktury na hodnoty výstupního portu mikroprocesoru, případně řešících drobnou logiku (mapování dvojice návěstidel na skupinové návěstidlo). Veškeré tři moduly jsou implementovány současně v jedné obslužné funkci a odpovídající část je vybírána dle adresy modulu.

### 4.3.1 Konfigurace mikroprocesoru

Konfigurace mikroprocesoru vychází z [19]. Mikroprocesor je nakonfigurován pro použití interního oscilátoru, což umožňuje použití pinů RA6 a RA7 jako vstupně výstupních. Jelikož je vyžadována funkce pinu RB4 jako vstupně výstupního, je nutné v konfiguraci zakázat programování malým napětím (LVP), což sebou nese nutnost povolení pinu RA5 pro programovací účely. Z tohoto důvodu nelze pin využít k úplnému osmibitovému výstupnímu rozhraní. Dále dochází ke konfiguraci zbylých periférií mikroprocesoru. Jsou nulovány registry portů a nastavení jejich funkce a směru komunikace. Dále je nutné na portech s komparátorem vypnout funkci komparátoru a v rámci portu RB globálně povolit interní pull-up rezistory a nastavit piny sériového rozhraní do režimu UART. Pro piny v rámci portu RB jsou pull-up rezistory automaticky vypnuty pro výstupní piny a rovněž pro piny, na kterých je nakonfigurováno jiné využití než je vstupní pin. Dále je provedeno nastavení povolení přerušení.

Samotná konfigurace komunikace přes sériové rozhraní sestává z nastavení trojice registrů. Výsledná konfigurace prvních dvou registrů nastavuje osmibitový asynchronní mód přenosu s povolením souvislého přijímání dat a povolením vysílání. Poslední registr slouží k nastavení rychlosti komunikace, která vychází z frekvence oscilátoru. Dle frekvence oscilátoru a konfigurace přenosu lze vhodnou konstantu nalézt v [19]. Frekvence interního oscilátoru je 4 MHz.

### 4.3.2 Implementace komunikačního protokolu

Jelikož pro procesor této řady neexistuje dostupná knihovna řešící komunikaci prostřednictvím protokolu Modbus a ani není možné s přihlédnutím na paměťové možnosti mikroprocesoru a implementační řešení knihoven stávající knihovny pro použitý mikroprocesor upravit, je implementované vlastní řešení umožňující komunikaci prostřednictvím tohoto protokolu, respektive podmnožiny jeho zpráv.

Příjem povelů ze sériového rozhraní je řešen pomocí přerušení. V obsluze přerušení se postupně sestavuje přijatá informace a v případě, kdy je přijatá informace kompletní, dojde k nastavení příznakové proměnné. Kompletní informaci se rozumí celá zpráva protokolu. Tato příznaková proměnná je dále testována a v případě jejího nastavení dochází ke zpracování přijatých dat a k vyčištění této příznakové proměnné. Zpracování dat využívá několik pomocných funkcí pro zpracování a interpretaci jednotlivých částí zprávy. Jedná se o funkce pro převod mezi ASCII reprezentací šestnáctkového čísla do číselné proměnné a opačně, funkce pro výpočet kontrolních součtů LRC a funkce pro zápis a čtení znaků a řetězců znaků ze sériového rozhraní.

Po přijetí validní zprávy je provedena kontrola adresy a v případě, kdy se nejedná o adresu modulu, případně o všesměrovou adresu, není zpráva dále zpracovávána. Pokud je zpráva určena tomuto zařízení, proběhne dekódování funkčního kódu a dat. Dekódovaná instrukce je uložena do datové struktury a do globálních polí instrukcí a je dále předána ke zpracování logikou modulu. Dle typu přijaté zprávy, způsobu adresace a úspěchu prováděné operace je zpět odeslána odpovídající zpráva značící úspěch, neúspěch či stav požadované operace.



## 4.4 Software

Software je implementován v programovacím jazyce C#. Součástí jazyka je dále integrovaný jazyk LINQ poskytující jednotnou syntax pro dotazování nad různými zdroji dat. Pro vývoj je k dispozici vývojové prostředí Visual Studio<sup>17</sup> od Microsoftu, nabízející ucelený balík nástrojů pro vývoj, ladění, profilování a navrhování aplikací.

Pro vývoj software je zvolena modulární architektura, která zajišťuje nezávislost samotné logiky jádra na řízené oblasti či na způsobu interakce s uživatelem prostřednictvím uživatelského rozhraní zadávací úrovně. Výhodou této architektury je možnost jednoduše do software zavést novou řízenou oblast, aniž by muselo docházet k zásahům do samotného jádra. Jádro aplikace tvoří definice veřejných rozhraní, které musí být následujícími moduly implementovány, dále pak modelové entity, samotné třídy logiky a komunikace a rovněž šablonová třída fronty použita pro frontu vlakových cest a frontu akcí. Detailnější diagram architektury je poté uveden v příloze (obr. 49).

Konfigurace software je řešena konfiguračním souborem ve formátu XML<sup>18</sup>. Jedná se o standardní konfiguraci aplikace, kterou nabízí použitý implementační jazyk a která je podporována i vývojovým prostředím. Tento XML soubor nese konfiguraci komunikace prostřednictvím sériového rozhraní s moduly zabezpečovacího zařízení. Konkrétně se jedná o název sériového portu, přes který se komunikuje, rychlost komunikace v bodech za sekundu a čas v milisekundách, po jehož uplynutí je komunikace vyhodnocena jako neúspěšná v případě, kdy nedojde k obdržení odpovědi.

Pro řešení závislostí mezi jednotlivými třídami je použita knihovna SimpleInjector<sup>19</sup> umožňující snadnou implementaci návrhového vzoru „dependency injection“. Knihovna je distribuována jako NuGet balíček.

### 4.4.1 Popis řízené oblasti

Pro popis řízené oblasti byl v první fázi návrhu uvažován orientovaný graf, kde uzel grafu znázorňoval prvek infrastruktury v řízené oblasti a hrana grafu možnou vlakovou cestu. Hrana grafu dále obsahovala případné omezení vlakové cesty. Tento způsob reprezentace řízené oblasti se však ukázal neefektivní, jelikož by opakovaně docházelo k procházení grafu a vyhledávání neoptimálnější cesty mezi jednotlivými jeho uzly (ve statickém grafu). Řešením by bylo využití vyrovnávací paměti pro již jednou nalezené cesty, které nakonec směřovalo k finálnímu řešení popisu oblasti pomocí závěrové tabulky. Rovněž zápis řízené oblasti formou grafu nebyl příliš přehledný a v případě rozsáhlejší řízené oblasti či rozvětvenějších stanic byl téměř nemožný.

K popisu oblasti slouží dvě tabulky. První tabulka obsahuje seznam prvků infrastruktury v řízené oblasti včetně mapování pomocí adres mezi modelovou entitou a hardwarem (adresou modulu a adresou registru v modulu). Dále obsahuje informace potřebné k zobrazení v reliéfu řízené oblasti. Druhá tabulka je závěrová a popisuje možné vlakové cesty v dané oblasti a jejich případná omezení. Údaj v této tabulce pro každou cestu obsahuje informaci o návštěvnické koleji, kterými daná vlaková cesta začíná, dále pak o cílové koleji a návštěvnické koleji, kterým daná vlaková cesta končí a o kolejích, výhybkách a jejich polohách, které se v dané vlakové cestě vyskytují, případně jsou ve vztahu s vlakovou cestou.

<sup>17</sup> <https://www.visualstudio.com/cs/>

<sup>18</sup> Obecný značkovací jazyk.

<sup>19</sup> <https://simpleinjector.org/index.html>

Pro uložení popisu oblasti byl původně uvažován popis prostřednictvím dokumentu XML. Tento formát umožňuje zapsat data vhodná pro strojové zpracování způsobem, který je zároveň čitelný člověkem a lze jej jednoduše vytvořit či modifikovat i manuálně bez potřeby speciálních nástrojů. Nakonec je však zvoleno uložení oblasti v binární podobě, a to ve formě knihovny rozšiřující logiku zabezpečovacího zařízení. Binární podoba je zde zvolena záměrně z důvodu zvýšení bezpečnosti a brání před neoprávněným zásahem do popisu řízené oblasti. Pro popis řízené oblasti je nutno dodržet rozhraní, které je definováno jádrem aplikace a které je nutno implementovat (detailněji o tomto pojednává následující kapitola). Dodržení rozhraní umožňuje poté práci nad libovolnou řízenou oblastí.

Závěrová tabulka (tab. 3) znázorňuje řízenou oblast z obr. 33. Dle závěrové tabulky je dovoleno stavět cestu na každou kolej v dopravně. V případě jízdy vlaku do odbočky je nejvyšší dovolenou rychlostí rychlost traťová. Tato závěrová tabulka je poté implementována jako kolekce modelových tříd nesoucích danou vlakovou cestu.

Výchozí kolej	Výchozí návěstidlo	Cílová kolej	Cílové návěstidlo	Omezení rychlosti	Průjezdné koleje	Výhybky a poloha
LT	L	1K	L1	-	1aK	1P
LT	L	2K	L2	-	1aK	1O
ST	S	1K	S1	-	1bK	2P
ST	S	2K	S2	-	1bK	2O
1K	L1	ST	TS <sup>20</sup>	-	1bK	2P
1K	S1	LT	TS	-	1aK	1P
2K	L2	ST	TS	-	1bK	2O
2K	S2	LT	TS	-	1aK	2P

Tab. 3: Závěrová tabulka.

#### 4.4.2 Rozhraní a modelové entity jádra

Jádro poskytuje jednotlivá rozhraní a modelové entity pro popis jednotlivých prvků infrastruktury, které zde budou detailněji rozebrány. Pro napojení na zadávací úroveň slouží rozhraní `ICore` (obr. 29). Toto rozhraní definuje veřejné rozhraní logiky zabezpečovacího zařízení. Rozhraní definuje metody pro získání tabulky infrastruktury a pro získání konkrétní infrastruktury dle výběru v reliéfu stanice. Dále definuje možné operace nad frontou operací a frontou vlakových cest.

<pre>&lt;&lt;Rozhraní&gt;&gt; ICore  IEnumerable&lt;Infrastructure&gt; GetInfrastructureList() Infrastructure GetSelectedInfrastructure(int x, int y) IList&lt;Route&gt; GetRoutesInScheduler() void ClearRoutesInScheduler() void AddRouteToScheduler(Infrastructure start, Infrastructure end, RouteTypes type) void AddActionToScheduler(Action action)</pre>
--

Obr. 29: Rozhraní jádra zabezpečovacího zařízení.

<sup>20</sup> TS v tomto kontextu značí udělení traťového souhlasu pro daný směr.

Rozhraní `IStation` (obr. 30) definuje rozhraní, které musí implementovat popis řízené oblasti. Rozhraní definuje trojici metod pro získání závěrové tabulky dané oblasti, pro získání tabulky obsahující jednotlivé prvky infrastruktury řízené oblasti společně s daty pro zobrazení a s adresami hardwaru a pro získání názvu řízené oblasti.

```
<<Rozhraní>>
IStation

StationTable GetStationTable()
IList<Infrastructure> GetInfrastructureList()
string GetStationName()
```

Obr. 30: Rozhraní, které musí implementovat řízená oblast.

Poslední rozhraní `ICommunication` (obr. 31) zajišťuje rozhraní nad komunikačním protokolem s moduly zabezpečovacího zařízení. Je tedy umožněno změnit komunikační protokol, aniž by bylo nutné zasahovat do jádra logiky zabezpečovacího zařízení. Rozhraní definuje metody pro zápis a čtení dat.

```
<<Rozhraní>>
ICommunication

void WriteData(Infrastructure infrastructure)
void ReadData(Infrastructure infrastructure)
```

Obr. 31: Rozhraní, které musí implementovat třída pro komunikaci.

Třída `StationTable` reprezentuje závěrovou tabulku a zapouzdřuje kolekci objektů třídy `StationTableItem` popisujících jednotlivé vlakové cesty. `StationTableItem` obsahuje názvy jednotlivých prvků infrastruktury a podmínky, které umožňují postavit danou vlakovou cestu. Jedná se o informaci o výchozí koleji a návěstidle, cílové koleji a návěstidle, o jednotlivých výhybkách a jejich polohách, které jsou v relaci s danou vlakovou cestou, o případných rychlostních omezeních a o všech průjezdných kolejkách ve vlakové cestě.

Třída `Action` reprezentuje akci obsluhy, kterou má zabezpečovací zařízení vykonat. Třída je navržena tak, že umožňuje popsat libovolnou akci, kromě zadání vlakové cesty. Typ akce je dán výčtovým typem `ActionTypes`, jehož hodnota určuje prováděnou akci a rovněž definuje způsob interpretace obecného atributu `Param1`, který je datového typu `object` a umožňuje uložení libovolné datové struktury. Třída dále nese atribut datového typu `Infrastructure`, který uchovává informaci o prvku infrastruktury, ke kterému se prováděná akce váže. Zadání vlakové cesty popisuje třída `Route`, která ve svých attributech nese informaci o začátku, konci a typu vlakové cesty.

Pro reprezentaci infrastruktury slouží třída `Infrastructure`. Třída je navržena obecně tak, že lze v rámci jedné třídy uložit libovolný prvek infrastruktury. Tento přístup je zvolen z toho důvodu, protože je v rámci logiky vyžadován jednotný přístup ke všem prvkům infrastruktury, který však nelze pokrýt rozhraním, konkrétněji rozhraní pro jednotlivé typy by muselo být navrženo stejným způsobem bez možnosti definice přesných datových typů, které se napříč všemi typy infrastruktury liší. Přístup ke stavům třídy je v jednotlivých vláknech řízen prostřednictvím semaforů. Každá modelová entita třídy `Infrastructure` má vytvořen semafor, který je použit přímo v `get` a `set` metodách modelové entity. Tímto odpadá nutnost řešit kritickou sekci dále v logice programu.

### 4.4.3 Logika

Funkcí logiky je vyhodnocení stavů jednotlivých prvků infrastruktury a aktualizace modelových entit. Dále logika obstarává kontrolu stavu již postavených vlakových cest, umožňuje postavení zabezpečené vlakové cesty s vyloučením konfliktních stavů, zrušení již postavené vlakové cesty, vyloučení staniční či traťové koleje, kontrolu traťového souhlasu, práci s číslem vlaků a další operace nad řízenou oblastí. Činnost logiky je vykonávána v hlavní smyčce, která je spuštěna v samostatném vlákně. Vlákno je startováno při spuštění aplikace a zůstává v běhu až do jejího ukončení. V případě vzniku výjimky, která neumožňuje následující běh jádra, dochází k ukončení hlavní smyčky a k vyvolání chyby vedoucí k ukončení aplikace jako celku. Ve vlastním vlákně dále běží smyčka komunikace provádějící komunikaci s hardwarem. Jednotlivá vlákna při komunikaci s modelovými entitami používají výlučný přístup řízený prostřednictvím semaforu. V hlavní smyčce dochází ke zpracování množiny funkcí zajišťujících činnost logiky zabezpečovacího zařízení. Jedná se o kontrolu postavených vlakových cest, stavění naplánovaných vlakových cest, práci s čísly vlaků a k vykonávání dílčích úkolů zadaných obsluhou. Logika je realizována primárně za pomoci LINQ dotazů nad závěrovou tabulkou a tabulkou infrastruktury.

Kontrola postavených vlakových cest má za úkol zajistit bezpečnost postavených vlakových cest. Provádí se kontrola stavů všech prvků infrastruktury v dané vlakové cestě dle typu vlakové cesty a je-li zjištěna obsazenost nebo neznámý stav koleje v dané vlakové cestě nebo nesprávná poloha výhybky, je ihned vydán povel ke zrušení této vlakové cesty a k nastavení počátečního návěstidla, kterým vlaková cesta začíná, na návěst zakazující jízdu. Tato část rovněž řeší vazbu návěstí mezi jednotlivými návěstidly. Návěstidlo, kterým cesta začíná je na návěst povolující jízdu nastaveno až v okamžiku, kdy jsou všechny podmínky splněny a kdy dojde ke změně poloh výhybek. Návěst návěstidla začátku vlakové cesty je závislá na návěsti návěstidla, kterým vlaková cesta končí a logika provádí kontrolu této závislosti a nastavení odpovídající návěsti.

Dalším krokem je stavění nových vlakových cest z fronty vlakových cest. Daná cesta je zkontrolována v závěrové tabulce a je-li daná cesta možná, logika zajistí kroky potřebné k postavení dané cesty. Vlakovou cestu lze postavit pouze za předpokladu, že návěst počátečního návěstidla je návěst zakazující jízdu, dále pak že daná vlaková cesta nezasahuje do jiné postavené vlakové cesty a že v rámci cesty není kolej obsazena, vyloučena nebo s neznámým stavem. Pokud jsou tyto podmínky splněny, dochází k postavení vlakové cesty. V opačném případě cesta zůstává ve frontě vlakových cest, kde vyčkává na splnění těchto podmínek. Pokud zadaná cesta neexistuje v závěrové tabulce, je zahozena. Rovněž je umožněno rušit již postavenou vlakovou cestu. Vlakovou cestu lze zrušit jen v tom případě, kdy ještě nedošlo k jejímu obsazení vlakem. Obdobně je řešeno stavění a kontrola posunových cest, kdy však není kontrolováno obsazení cílové koleje.

Zabezpečovací zařízení podporuje práci s číslem vlaku v dané oblasti. Nad obsazenou kolejí lze zadat číslo vlaku, který se na dané koleji nachází. Pokud je z dané obsazené koleje postavená vlaková cesta, provede se zjištění všech kolejí v dané vlakové cestě dle závěrové tabulky a pro ty koleje, které jsou ve stavu postavené vlakové cesty, případně jsou obsazené, je nastaveno dané číslo vlaku. Stejný děj probíhá i v případě, kdy dojde k postavení cesty z koleje až po zadání čísla vlaku. Logika dále v hlavní smyčce prohledává veškeré koleje, na kterých není nastavena vlaková cesta a ani nejsou zároveň obsazeny vlakem a provádí na nich odebrání vlaků z dřívějších, již neaktivních, vlakových cest. Logika rovněž umožňuje změnit, případně odebrat číslo vlaku.

Posledním krokem je zpracovávání akcí od obsluhy. Akce jsou po zadání vkládány do fronty akcí a z této fronty jsou postupně vykonávány. Při výběru akce z fronty je určen její typ a je zavolána zodpovědná obslužná funkce. V tomto okamžiku probíhá zpracovávání výluk kolejí a jejich rušení, rušení postavených vlakových cest, správa traťového souhlasu a čísla vlaku. Logika umožňuje vyloučení a zrušení vyloučení staniční a traťové koleje. Tato volba je možná pouze nad neobsazenou kolejí.

U vyloučené koleje pak dále neprobíhá zjišťování jejího obsazení (do vyloučené koleje však nelze zadat vlakovou ani posunovou cestu). Zjištění obsazení koleje proběhne až v tom okamžiku, kdy je nad vyloučenou kolejí zrušena výluka. Dále je zde rovněž zpracovávána změna traťového souhlasu. Traťový souhlas lze změnit pouze v případě, kdy jeho změna neovlivní již existující vlakovou cestu, případně kdy neohrozí již jedoucí vlak. Dle závěrové tabulky se provede zjištění, kterých vlakových cest se změna traťového souhlasu týká a proběhne ověření těch kolejí, které přímo náleží pod daný souhlas. V případě, kdy je některá z těchto kolejí obsazena nebo je na ní postavená vlaková cesta či případně je kolej v neznámém stavu, není změna traťového souhlasu povolena.

Rovněž je umožněno přejít do manuálního režimu bez kontroly zabezpečení vlakových cest. Lze manuálně nastavit polohy jednotlivých výhybek, přičemž proběhne kontrola a případné vyrušení již postavených zabezpečených cest, které jsou v konfliktu s touto manuálně provedenou změnou. Nad jednotlivými návěstidly je umožněno zvolit přivolávací návěst, případně provést její zrušení. Přivolávací návěst je nadřazena jiným návěstím a její zrušení vede na návěst stůj. V případě zabezpečené cesty, nad kterou je vybrána přivolávací návěst přechází návěstidlo zpět do stavu, který předcházel zvolení přivolávací návěsti, a to za podmínky, že jsou stále splněny požadavky pro postavení zabezpečené cesty.

Prostřednictvím logiky jsou rovněž poskytovány možnosti pro práci s frontou vlakových a posunových cest. Fronta vlakových cest je implementována jako fronta typu FIFO<sup>21</sup> s omezenou velikostí fronty. Nad frontou jsou realizovány operace, jako je vkládání do fronty, získání prvku z fronty, získání prvku z fronty s jeho vymazáním a vymazání celého obsahu fronty. Většina těchto funkcí je zastřešena logikou. Dále pak logika poskytuje možnost vkládání akce do fronty akcí. Fronta akcí je opět implementována jako fronta typu FIFO. Obě dvě fronty jsou odvozeny od stejné šablonové třídy. Mimo jádro aplikace není umožněno nad frontou akcí provádět jiné operace než je vkládání akce. Stejným způsobem je zapouzdřena i fronta vlakových cest.

#### 4.4.4 Zadávací úroveň

Předpokladem pro uživatelské rozhraní je zachování způsobu ovládání a zobrazení stavu jednotlivých prvků infrastruktury jako u zabezpečovacího zařízení ESA 11. Výsledná podoba zadávací úrovně je vyobrazena na obr. 32.

Staniční a traťové koleje jsou v reliéfu stanice vyznačeny přímkou a číslem dané koleje. V případě obsazení koleje vlakem se známým číslem vlaku je vedle čísla koleje rovněž zobrazeno číslo vlaku. Barva koleje znázorňuje stav. Stejnou barvou je vybarveno i číslo koleje, případně číslo vlaku. Fialově podbarvená kolej značí, že doposud není znám stav, ve kterém se daná kolej nachází. Tento stav může nastat v případě, kdy doposud nebyl obdržen a zpracován stav dané koleje, případně během poruchového stavu, kdy dochází ke ztrátě komunikace s hardwarem. Šedá barva značí neobsazenou kolej, na které není postavena vlaková cesta. Dojde-li k postavení vlakové cesty, kolej se obarví zeleně, případně bíle pro posunovou cestu. Červeně obarvená kolej značí obsazení dané koleje vlakem či posunovým dílem. Vyloučena kolej je obarvena žlutou barvou. Volbu výluky nad kolejí a její rušení provádí obsluha zabezpečovacího zařízení. Výhybky a jejich poloha je značena přímkou mezi jednotlivými kolejemi. Dané propojení mezi jednotlivými kolejemi znázorňuje aktuální polohu výhybky.

Návěstidla pro jízdu vlaku jsou vyobrazeny plným trojúhelníkem, případně šipkou pro seřadovací návěstidla, kde orientace značí směr, pro který návěstidlo platí. V případě, kdy je od návěstidla postavená vlaková cesta a současně je na návěstidle návěst dovolující jízdu, je návěstidlo zvýrazněno barvou dle typu postavené cesty (zeleně pro zabezpečenou vlakovou cestu, bíle pak pro posunovou

<sup>21</sup> Jedná se o frontu, kdy se prvky ve frontě zpracovávají v tom pořadí, ve kterém byly do fronty vloženy.

cestu). Pokud návěstidlo signalizuje přivolávací návěst, je obarveno modrou barvou. V dalších případech je návěstidlo vždy obarveno šedou barvou.

Každý prvek infrastruktury reaguje na levé, střední a pravé tlačítko myši. Levé tlačítko myši slouží pro výběr, střední tlačítko pro speciální výběr a pravé tlačítko pro zobrazení doplňujících informací jako je aktuální stav a pro provedení dalších rozšířených operací, případně pro manuální obsluhu. Pravé tlačítko myši poté mimo vybraný prvek slouží k všeobecným operacím nad celou řízenou oblastí. V případě potřeby zadání textového vstupu od uživatele je tato žádost vyznačena žlutě podbarvenými znaky dvojice ostrých závorek v dolní levé části okna. Zadání textového vstupu od obsluhy umožňuje zadání libovolné sekvence znaků a postupné mazání jednotlivých zadaných znaků. Obsluhou zadaný text je zobrazován a podbarven žlutým pozadím. Potvrzení zadaného textu je vykonáno stisknutím klávesy `enter`. Klávesa `enter` rovněž provede dokončení akce, která si vstup vyžádala.

Zadávací úroveň je implementována jako formulářová aplikace a vykreslování reliéfu stanice je řešeno prostřednictvím metod knihovny Drawing2D. Tato knihovna poskytuje sadu 2D vektorových grafických funkcí pro vykreslování jednotlivých základních grafických objektů. Pro zjednodušení vykreslování je vytvořena vlastní třída rozšiřující tuto knihovnu o metody, které umožňují přímo vykreslovat části železniční infrastruktury (koleje, výhybky, návěstidla, ...). Z hlediska interakce s uživatelem se jedná o klasické řešení v podobě událostmi řízeného programování.



Obr. 32: Podoba uživatelského rozhraní.

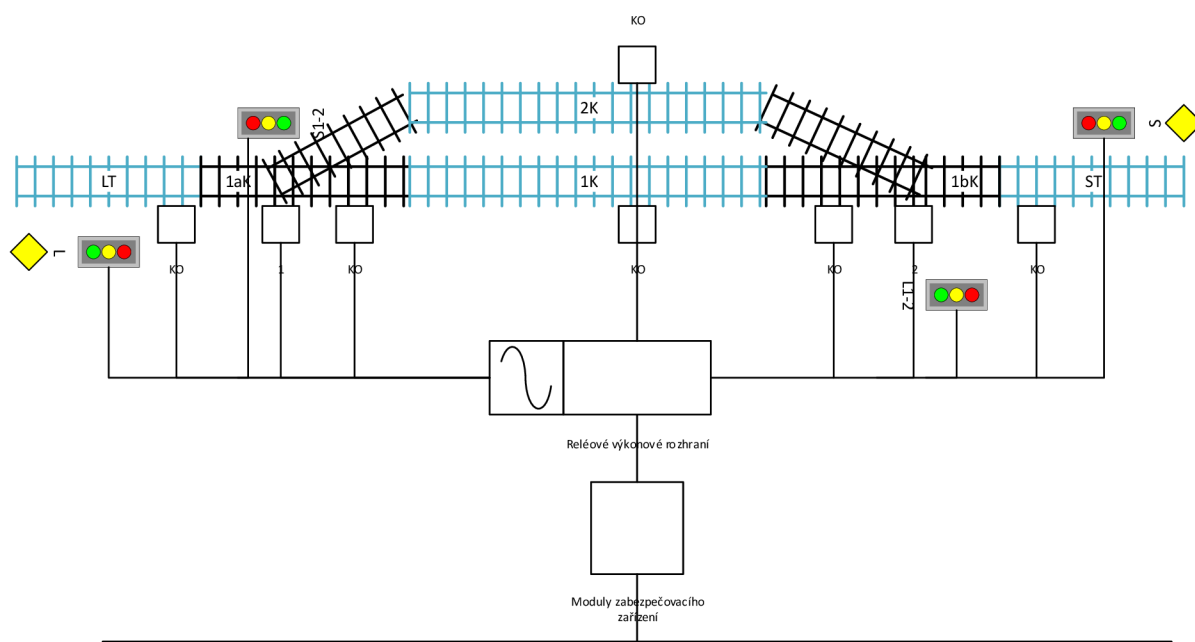


## 4.5 Instalace zabezpečovacího zařízení

Instalace zabezpečovacího zařízení vyžaduje osazení dopravní:

- Vjezdovými návěstidly, kterým předchází neproměnlivá návěst výstraha.
- Odjezdovými návěstidly, případně skupinovými odjezdovými návěstidly.
- Výhybkami s elektromotorickými přestavníky, kdy výhybky ovládané manuálně jsou vybaveny senzorem polohy výhybky.
- Kolejovými obvody pro vyhodnocení obsazenosti kolejí. Kolejové obvody se montují na dopravní koleje, případně i na koleje manipulační v rámci dopravní. Dále je kolejový obvod montován před a za vjezdové návěstidlo dopravní.

Mezi dopravními může být trať rozdělena do několika samostatných úseků, ale převážně se počítá s jedním úsekem. Ke každému prvku infrastruktury je přes reléové rozhraní přiřazen modul zajišťující komunikaci s počítačovým systémem.



Obr. 33: Možná instalace navrženého zabezpečovacího zařízení.

Ilustrace na obr. 33 znázorňuje možné řešení instalace zabezpečovacího zařízení v železniční dopravně se dvěma dopravními kolejemi. Modrá a černá barva kolejí odlišuje sousedící navzájem izolované kolejové obvody. Snímací část kolejového obvodu je znázorněna čtvercem s popiskem KO. Dále je zde znázorněna očíslovaným čtvercem dvojice výhybek s elektromotorickými přestavníky. Symbolem semaforu jsou znázorněny vjezdové a odjezdové návěstidla. Odjezdová návěstidla jsou zřízena jako skupinová návěstidla. Jak již bylo zmíněno dříve, předpokládáme, že rychlost při jízdě vlaku do odbočky v této dopravně je rovna traťové rychlosti. V tomto případě lze vjezdová návěstidla osadit čtyřznakem s návěstními světly bílá, červená, zelená a žlutá. Čtyřznaké návěstidlo může dávat návěstí stůj, výstraha, volno a přivolávací návěst. Návěstí omezující rychlost vlaku v tomto případě nejsou nutné. Odjezdová návěstidla jsou poté trojznak s návěstními světly zelená, červená a bílá. Trojznaká návěstidla mohou dávat návěst stůj, volno a přivolávací návěst. Návěstí pro omezení rychlosti nejsou nutné ani v tomto případě. Žlutý obdélník před vjezdovými návěstidly značí neproměnné návěstidlo s výstrahou.

Jednotlivé prvky infrastruktury jsou vedeny na reléové výkonové rozhraní, které posléze komunikuje s jednotlivými vstupními a výstupními porty modulů. Komunikace s logikou zabezpečovacího zařízení je znázorněna sběrnici. Propojení návěstidel, přestavníků výhybek a kolejových obvodů s jednotlivými moduly zabezpečovacího zařízení je v tab. 4.

ID modulu	Registr	Vstupy, výstupy modulu	Připojené zařízení
<b>1</b>	1	Výstupy 2, 3, 4, 5	Návěstidlo L (2 červená, 3 zelená, 4 žlutá, 5 bílá).
	2	Výstupy 8, 9	Přestavníku výhybky 1 (8 přímo, 9 do odbočky).
	1	Vstupy 9, 10	Kolejový obvod koleje LT.
	2	Vstupy 7, 8	Kolejový obvod koleje 1aK.
<b>2</b>	1, 2	Výstupy 2, 3, 4	Skupinové návěstidlo S1-2 (2 červená, 3 zelená, 4 bílá).
	3, 4	Výstupy 5, 8, 9:	Skupinové návěstidlo L1-2 (5 červená, 8 zelená, 9 bílá).
	1	Vstupy 9, 10:	Kolejový obvod koleje 1K.
	2	Vstupy 7, 8:	Kolejový obvod koleje 2K.
<b>3</b>	1	Výstupy 2, 3, 4, 5	Návěstidlo S L (2 červená, 3 zelená, 4 žlutá, 5 bílá).
	2	Výstupy 8, 9	Přestavník výhybky 2 (8 přímo, 9 do odbočky).
	1	Vstupy 9, 10	Kolejový obvod koleje ST.
	2	Vstupy 7, 8	Kolejový obvod koleje 1bK.
<b>4 / X</b>	-	-	Komunikace s okolními systémy <sup>22</sup> .

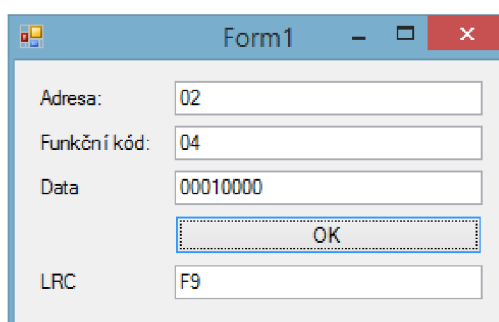
Tab. 4: Popis připojení jednotlivých prvků infrastruktury k modulům.

<sup>22</sup> V aktuální verzi tento modul není implementován, jelikož prozatím neexistují žádné sousední dopravní. Roli tohoto modulu simulují moduly 1 a 3, které automaticky dávají souhlas při změně traťového souhlasu.



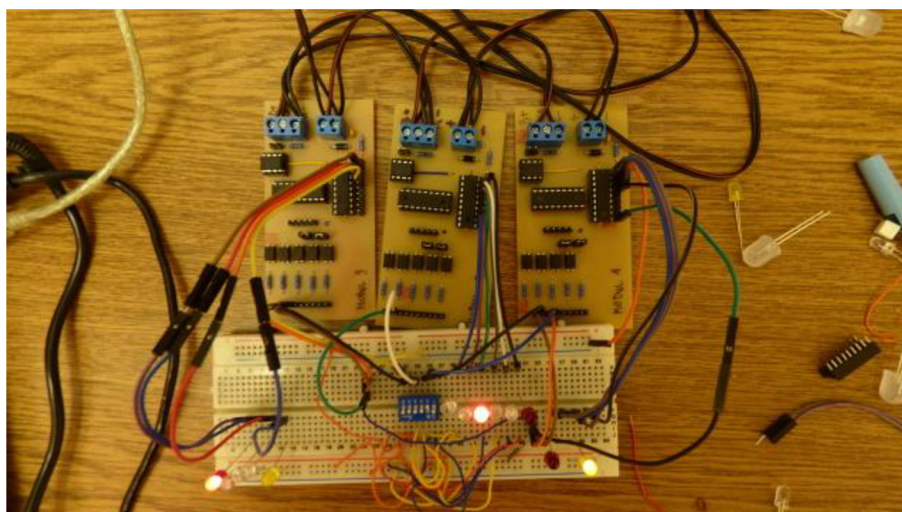
## 5 Testování

Software je testován ohledně správné funkce logiky jádra a správné komunikace s hardwarem. K simulaci hardware slouží terminál umožňující s logikou komunikovat prostřednictvím zpráv komunikačního protokolu. Test zahrnuje vytvoření dvojice virtuálních sériových portů, které jsou navzájem přemostěny. K jednomu z portů je připojena logika, k druhému terminál. Obdobný test je proveden i s hardwarovým modulem, který je prostřednictvím převodníku připojen k počítači, kde je pomocí terminálu simulována komunikace ze strany logiky. Pro vytvoření virtuálních sériových portů je použit program Virtual Null Modem<sup>23</sup>, pro terminál pak program Hercules<sup>24</sup>. Za účelem kontroly a generování zpráv protokolu při testování je vytvořen jednoduchý program v jazyce C# zajišťující výpočet LRC dle dané zprávy (obr. 34).



Obr. 34: Nástroj pro generování LRC.

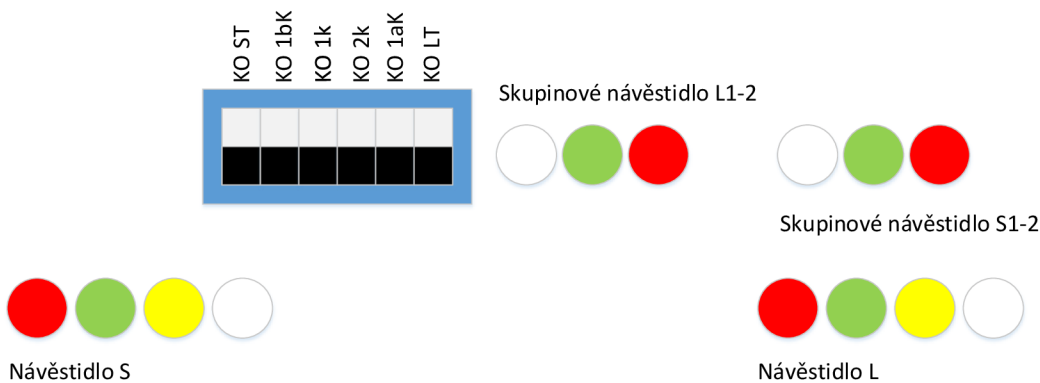
Dále je za účelem testování systému jako celku sestaven jednoduchý hardwarový simulátor. Úkolem tohoto nástroje je možnost simulace obsazení a uvolnění koleje a indikaci návěstí na návěstidlech. Indikace je řešena za pomoci LED diod, simulace obsazení a uvolnění koleje je řešena pomocí spínačů. Na obr. 35 je fotografie testovacího zapojení pro oblast z obr. 33 realizována na kontaktním nepřívěšném poli. Rozmístění prvků na nepřívěšném poli znázorňuje ilustrace na obr. 36.



Obr. 35: Testovací zapojení.

<sup>23</sup> <http://www.virtual-null-modem.com/>

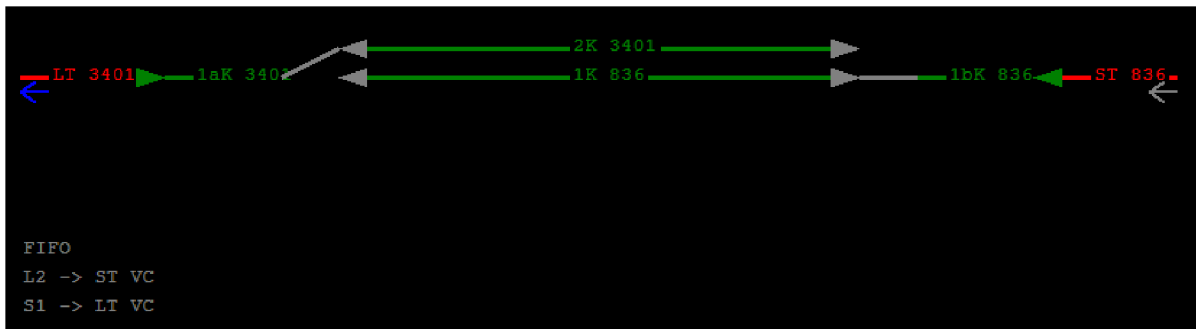
<sup>24</sup> [http://www.hw-group.com/products/hercules/index\\_cz.html](http://www.hw-group.com/products/hercules/index_cz.html)



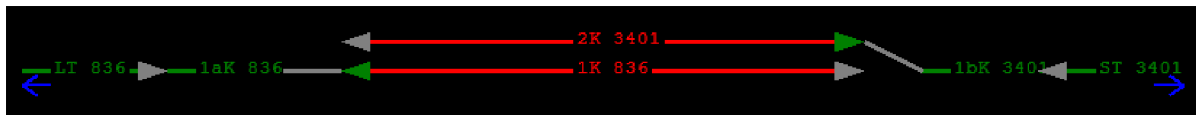
Obr. 36: Rozmístění prvků na nepájivém poli.

## 5.1 Testovací scénáře

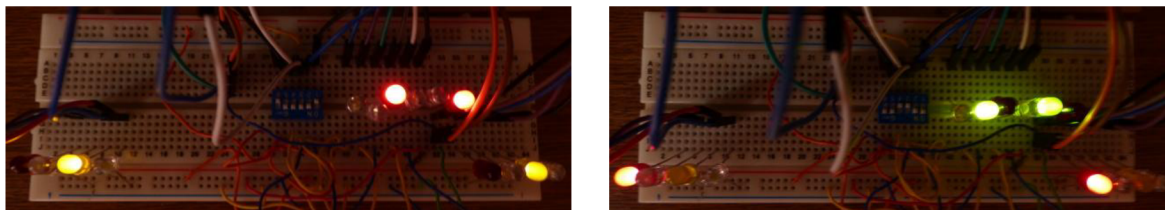
První testovací scénář popisuje současný protisměrný vjezd dvojice vlaků (vlak 3401 a vlak 836) do železniční dopravní, jejich vzájemné následné křížení a po udělení změny traťového souhlasu odjezd vlaků z dopravní. Zabezpečovací zařízení postaví dané vlakové cesty pro vjezd vlaků na staniční koleje, nastaví vjezdové návěstidla dopravní na návěst dovolující jízdu (návěst výstraha) a odjezdové vlakové cesty ponechá ve frontě vlakových cest, kde vyčkávají na splnění podmínek (uvolnění obsazení kolejí na zhlaví a správná orientace traťového souhlasu pro odjezd) nutných k jejich postavení (obr. 37, obr. 39 vlevo). Po splnění těchto podmínek dochází k postavení odjezdových vlakových cest z dopravní a nastavení návěsti dovolující jízdu na odjezdových návěstidlech (návěst volno) a vlaky mohou opustit dopravní (obr. 38, obr. 39 vpravo). Po vjezdu vlaku za vjezdové nebo odjezdové návěstidlo dochází ke změně návěsti návěstidla na návěst zakazující jízdu (stůj).



Obr. 37: Křížení vlaků.

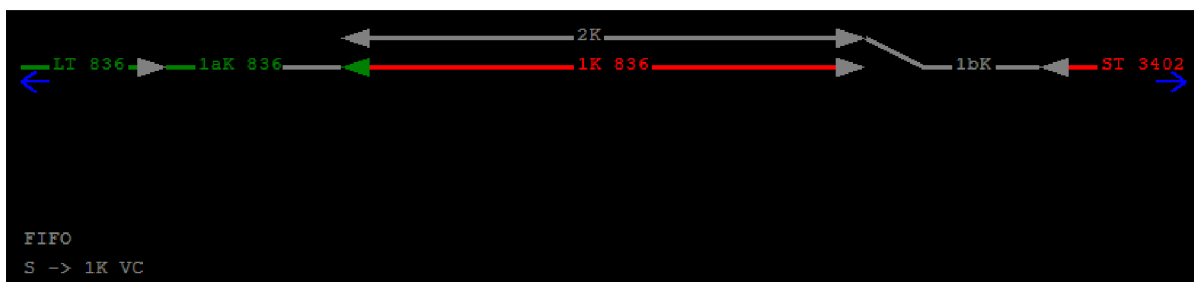


Obr. 38: Dokončení křížení vlaků.

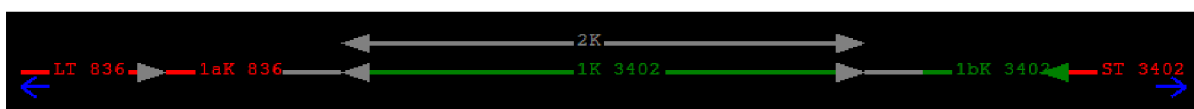


Obr. 39: Návěsti návěstidel.

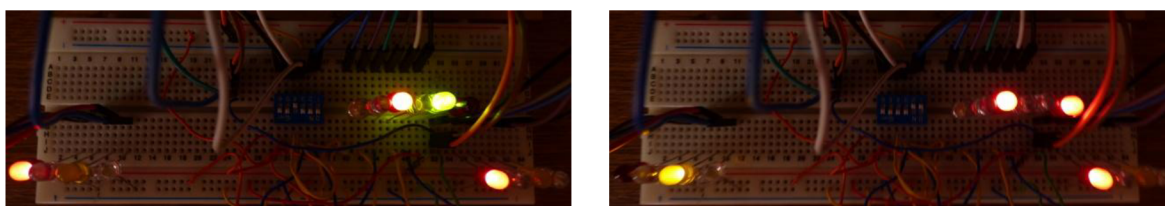
Druhý testovací scénář popisuje snahu o postavení vlakové cesty pro vlak 3402 na obsazenou kolej vlakem 836. Zabezpečovací zařízení správně vyhodnotí situaci a neumožní postavení dané vlakové cesty, vlaková cesta je ponechána ve frontě vlakových cest a vyčkává na splnění podmínek pro její postavení. Vjezdové návěstidlo nemění návěst na návěst dovolující jízdu (obr. 40, obr. 42 vlevo). V okamžiku, kdy jsou tyto podmínky splněny (uvolnění obsazené koleje vlakem 836) dochází k postavení vlakové cesty a k jejímu odebrání z fronty. Rovněž dochází ke změně návěsti vjezdového návěstidla na návěst dovolující jízdu (výstraha) pro vlak 3402. Průjezdem vlaku 836 za odjezdové návěstidlo dochází ke zrušení návěsti dovolující jízdu na tomto návěstidle (obr. 41, obr. 42 vpravo).



Obr. 40: Plánování postavení cesty na obsazenou kolej.

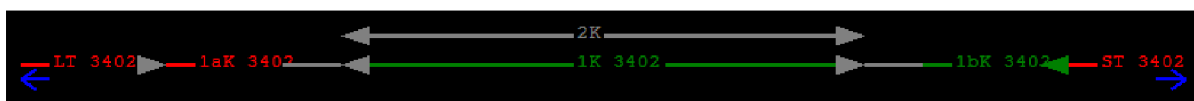


Obr. 41: Postavení vlakové cesty po uvolnění obsazené koleje.



Obr. 42: Návěsti návěstidel.

Třetí testovací scénář popisuje stav, kdy do postavené vlakové cesty zasáhne druhý vlak a provede její vyrušení. Vlak 3402 má postavenou vlakovou cestu přes železniční dopravnu. Vjezdové i odjezdové návěstidlo dávají návěst povolující jízdu vlaku (návěst volno na obou návěstidlech). Na zhlaví LT však dochází k obsazení koleje (ať vlakem, či technickou závadou), návěst pro vjezdové návěstidlo se mění na návěst výstraha a odjezdové návěstidlo přechází do návěsti nepovolující další jízdu vlaku. Obsazený úsek přebírá číslo vlaku, pro který byla postavena vyrušená vlaková cesta, jelikož nad náhle obsazeným úsekem není zadáno číslo vlaku (obr. 43).



Obr. 43: Vyrušení postavené vlakové cesty vlakem (případně technickou závadou).

Dále jsou testovány i chybové stavy, jako je ztráta komunikace s modulem, případně příjem neočekávaných dat od modulu. V případě příchodu neočekávaných dat nedochází k postavení vlakové cesty, v případě čtení stavu kolejových obvodů je nastaven neznámý stav koleje. Po nápravě se provoz zabezpečovacího zařízení vrací k normálu. V případě, kdy dojde k rozpadnutí komunikace v takové míře, že na každou zprávu modul vrací chybový stav, je nutné provést restart celého systému. Testování však prokazuje, že k tomuto stavu dochází jen výjimečně a ve většině případů je chybu komunikace firmware modulu zabezpečovacího zařízení schopen vyřešit.

## 6 Závěr

Zadáním práce je navrhnout mikroprocesorový systém vyhodnocující obsazenost trati a ovládající železniční infrastrukturu. K tomuto systému dále navrhnout řídicí aplikaci pro zobrazení a vyhodnocení dat ze senzorů obsazenosti trati a zajistit bezpečné řízení oblasti. Závěrem pak provést propojení mikroprocesorového systému s řídicí aplikací a otestovat funkčnost systému jako celku. Mnou navržené řešení splňuje body zadání, kdy eliminuje chyby způsobené lidským faktorem, které jsou častou příčinou železničních nehod. Rovněž umožňuje zefektivnit provoz v dané oblasti vzdáleným stavěním vlakových cest, čímž odpadá nutnost této povinnosti u posádky vlaku. Dálkové řízení celé oblasti také může přispět k optimalizaci dopravy v případě mimořádné situace, jako jsou výluky a zpoždění vlaků.

Po studiu současných typů zabezpečovacích zařízení na železnici a technických prvků k zajištění bezpečnosti provozu na železnici byl proveden návrh hardwaru, firmwaru a softwaru zabezpečovacího zařízení vhodného na regionální železniční tratě. Výsledný systém byl dále otestován a bylo provedeno odzkoušení funkčnosti pomocí hardwarového simulátoru. Dále byla provedena možná instalace navrženého zabezpečovacího zařízení do stávající železniční infrastruktury a shrnuty potřebné požadavky pro jeho instalaci.

Dalším možným pokračováním práce je její konzultace ohledně technického a programového řešení s některým výrobcem zabezpečovacích zařízení, která by mohla vést ke změnám v návrhu, které by vycházely ze zkušeností lidí v oboru a které při mých současných znalostech problematiky při návrhu mohly být opomenuty.

Uvažovaným rozšířením do budoucna je podpora dalších prvků železniční infrastruktury, například zabezpečovacích zařízení železničních přejezdů a vyřešení jejich vazby na návěstidla. Dalším vhodným rozšířením je napojení na graficko-technologickou nástavbu, čímž dojde k umožnění vedení automatické dokumentace o jízdě vlaku v řízené oblasti. Jelikož se jedná o systém provozovaný vlastníkem infrastruktury, lze se domnívat, že tento systém nabízí API pro napojení řešení třetích stran. Možnosti tohoto řešení však nebyly dostatečně prozkoumány, jelikož se jedná o systém pro veřejnost nedostupný a nedokumentovaný.

Věřím, že navržené řešení by mohlo vhodně doplnit současné technologie zabezpečovacích zařízení a vyhovovat podmínkám kladeným na regionální tratě.

# Použitá literatura

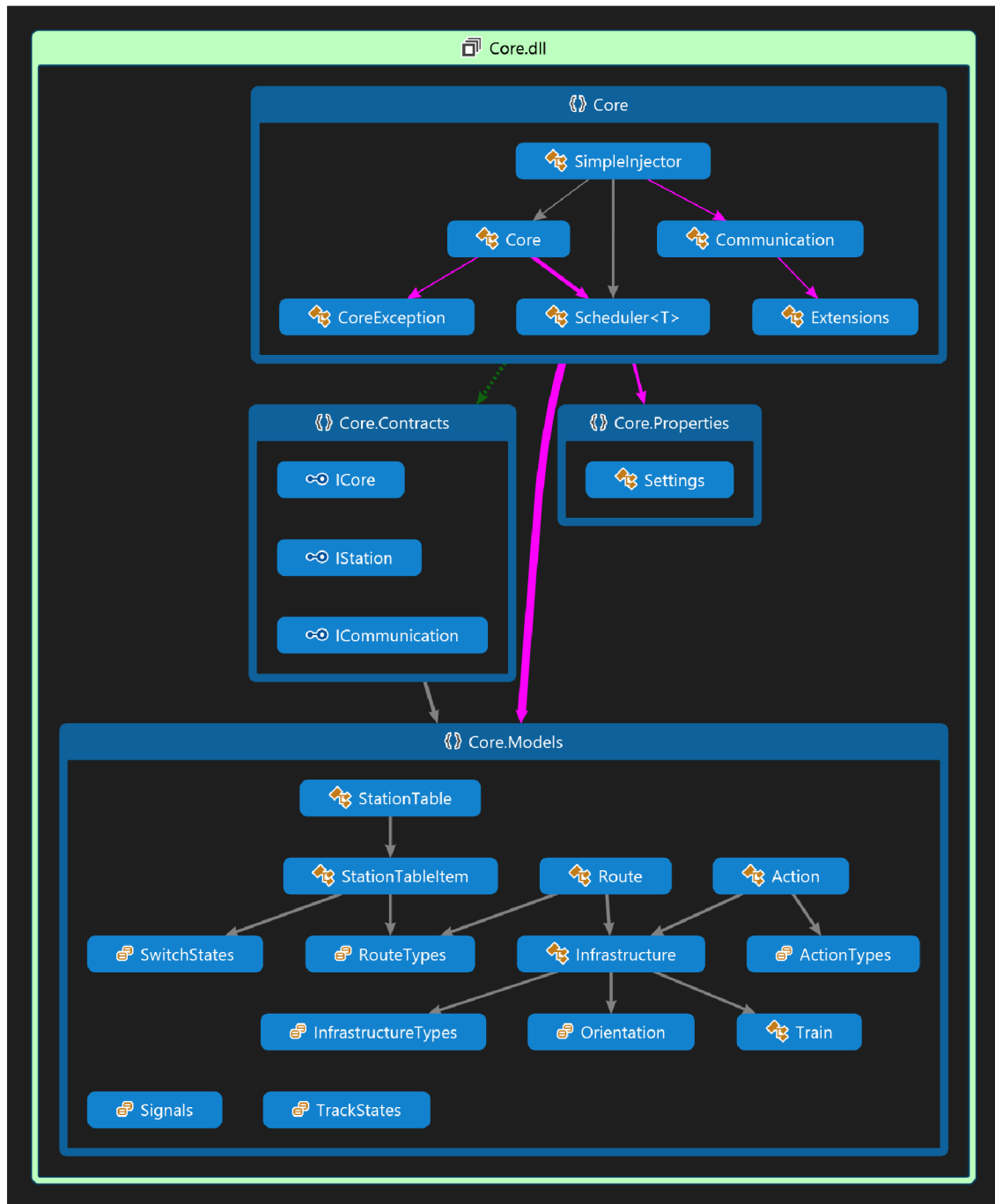
- [1] CHUDÁČEK, V. Detekce kolejových vozidel v železniční zabezpečovací technice. 2. Praha, 2005.
- [2] *Počítač náprav PZN-1*. Dostupné také z: <https://www.azd.cz/admin/files/Dokumenty/pdf/Produkty/Kolejove/33-PZN-1.pdf>
- [3] *Návěstní předpisy*. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1987.
- [4] *Mechanismus samovratné výhybky MSV*. Dostupné také z: <https://www.azd.cz/admin/files/Dokumenty/pdf/Produkty/Kolejove/44-MSV.pdf>
- [5] *Elektromotorický přestavník AŽD TYP EP 600*. Dostupné také z: <https://www.azd.cz/admin/files/Dokumenty/pdf/Produkty/Kolejove/38-EP600.pdf>
- [6] CHUDÁČEK, V. Železniční zabezpečovací technika. Praha, 2005
- [7] ZAHRADNÍK, Jiří a Karol RÁSTOČNÝ. *Aplikácie zabezpečovacích systémov*. Žilina: Žilinská univerzita, 2006. ISBN 80-807-0546-1.
- [8] *Elektronické stavědlo typ ESA 11*. Dostupné také z: <https://www.azd.cz/admin/files/Dokumenty/pdf/Produkty/Kolejove/02-ESA-11.pdf>
- [9] *Radioblok pro vedlejší tratě RBA-10*. Dostupné také z: <https://www.azd.cz/admin/files/Dokumenty/pdf/Produkty/Kolejove/11-RBA-100.pdf>
- [10] Radioblok od AŽD Praha zabezpečí trať z Čičenic do Volar. *Želpage* [online]. [cit. 2017-02-06]. Dostupné z: <http://www.zelpage.cz/zpravy/8137?lang=cs>
- [11] *Předpis pro zjednodušené řízení drážní dopravy*. 3. Praha: Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, 2013.
- [12] Komunikace po průmyslových linkách RS485 a RS422. *Pavel Poucha* [online]. [cit. 2017-02-06]. Dostupné z: <https://www.papouch.com/cz/website/mainmenu/clanky/jak-na-to/prumyslove-linky-rs485-a-rs422/>
- [13] *Master-slave communication via USART, using RS 485* [online]. [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <http://www.microchip.com/forums/m709186.aspx>
- [14] *Modbus over Serial Line Specification and Implementation Guide* [online]. Modbus.org, 2006 [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: [http://cars9.uchicago.edu/software/epics/Modbus\\_over\\_serial\\_line\\_V1\\_02.pdf](http://cars9.uchicago.edu/software/epics/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf)
- [15] *Modbus application protocol specification* [online]. Modbus, 2012 [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: [http://www.modbus.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1b3.pdf](http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf)
- [16] Modbus ASCII vs Modbus RTU. *Simply Modbus* [online]. [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: <http://www.simplymodbus.ca/ASCII.htm>
- [17] *USB to RS232/UART TTL/RS485 Converter module (FT232BM/BL) DataSheet* [online]. [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: <http://www.nbglin.com/485.htm>
- [18] *MAX481/MAX483/MAX485/MAX487-MAX491/MAX1487 Data Sheet* [online]. Maxim Integrated, 2014 [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX1487-MAX491.pdf>
- [19] *PIC16F62X Data Sheet* [online]. Microchip Technology, 2003 [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40300C.pdf>
- [20] *ULN2803A Data Sheet* [online]. Texas Instruments, 2017 [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/uln2803a.pdf>
- [21] NModbus4. *GitHub* [online]. [cit. 2017-02-21]. Dostupné z: <https://github.com/NModbus4/NModbus4>







# Architektura jádra



Obr. 49: Architektura jádra.



# Příloha B

## Obsah CD

Obsahuje zdrojové kódy firmwaru pro mikroprocesor, softwaru a nástroje pro generování LRC. Dále obsahuje podklady pro výrobu hardwaru a elektronickou podobu této práce.

<i>/Eagle/</i>	schémata zapojení a podklady pro výrobu plošných spojů
<i>/LRCTool/</i>	zdrojové kódy programu pro generování LRC pro komunikační protokol Modbus
<i>/LZAB/</i>	zdrojové kódy logiky a zadávací úrovně, ukázková dopravná
<i>/LZAB.X/</i>	zdrojové kódy pro mikroprocesor modulu
<i>/doc/</i>	bakalářská práce v elektronické podobě