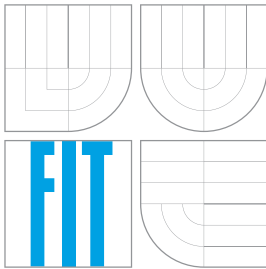


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

ŘÍDICÍ SYSTÉM PRO MODELOVOU ŽELEZNICI VYUŽÍVAJÍCÍ FITKIT

MODEL RAILROAD CONTROLLER BASED ON FITKIT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JÁN KANDRIK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MARTIN STRAKA

BRNO 2009

Abstrakt

Tato práce se zabývá řídicím systémem pro modelovou železnici, vycházejícím z nejmodernějšího zabezpečovacího zařízení, používaného na skutečné železnici, elektronického stavědla. V práci je popsána práce zabezpečovacího zařízení, reálie provozu zabezpečovacího zařízení na modelové železnici a v neposlední řadě návrh a implementace takovéhoho zařízení. Diskutována je též realizace částí systému s využitím výukové platformy FITkit.

Abstract

This work discusses a controller for model railroad derived from a state-of-art railway interlocking system, electronic signalbox. Work of interlocking and model railroad signalling issues are described among the design and implementation parts of such system. Also analyses creation of parts for the controller using FITkit, a microcontroller educational platform.

Klíčová slova

zabezpečení, řízení, stavědlo, model, železnice, FITkit, mikrokontrolér, vlak, JOP, návěstidla

Keywords

interlocking, signalling, model, railway, train, FITkit, microcontroller, JOP, turnout

Citace

Ján Kandrik: Řídicí systém pro modelovou železnici využívající FITkit, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2009

Řídicí systém pro modelovou železnici využívající FIT-kit

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Martina Straky a uvedl jsem všechny zdroje ze kterých jsem při práci čerpal.

.....
Ján Kandrik
20.05.2009

Poděkování

Na tomto mieste by som chcel poďakovať vedúcemu, Ing. Martinovi Strakovi za pripomienky, ktoré prispeli ku skvalitneniu práce a všetkým, ktorý mi poskytli informácie k tejto práci či ma pri nej podporovali. Martinovi Betákovi ďakujem za poskytnutie niektorých ilustračných fotografií.

© Ján Kandrik, 2009.

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 nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

1	Úvod	3
2	Zabezpečovacie zariadenie z pohľadu železnice, popis problému	5
2.1	Železničná prevádzka	5
2.2	Základné princípy práce zabezpečovacieho zariadenia	7
2.3	Práca zabezpečovacieho zariadenia	8
2.4	Riadenie a zabezpečenie dopravy na modelovej železnici	9
2.5	Zabezpečovacie zariadenie ako počítačový systém	9
3	Analýza práce elektronického stavadla	10
3.1	Architektúra elektronického stavadla	10
3.2	Vonkajšie prvky	10
3.3	Vykonávacia úroveň	13
3.4	Riadiaca úroveň	13
3.5	Zadávacía úroveň	16
4	Zabezpečovacie zariadenie na modelovej železnici	17
4.1	Zjednodušenia prijateľné pre modelové zariadenie	17
4.2	Architektúra modelového riadiaceho zariadenia	17
4.3	Prehľad produktov digitálnych ovládacích systémov na modelovú železnicu	18
4.4	Prehľad produktov obslužného software pre modelovú železnicu	19
4.5	Systém MES-1	21
5	Návrh systému MES-2	22
5.1	Základné požiadavky a ciele systému	22
5.2	Podrobnejšie požiadavky na systém	23
5.3	Výber použitých technológií	24
5.4	Architektúra systému	25
5.5	Požiadavky na komunikáciu	27
6	Implementácia obslužného SW MES-2	28
6.1	Objektový model koľajiska	28
6.2	Logická štruktúra koľajiska	30
6.3	Voľba vlakových a posunových ciest	30
6.4	Užívateľské rozhranie	31
6.5	Ovládač prepojujúci obslužný SW a riadiacu úroveň	32

7 Implementácia riadiacej a vykonávacej úrovne	33
7.1 Jadro riadiacej a vykonávacej úrovne	33
7.2 Prvky v koľajisku	35
7.3 Záverová tabuľka	36
7.4 Časové súbory	38
7.5 Indexy	38
7.6 Vstupná a výstupná zbernica do koľajiska	39
8 Testovanie a prevádzkové nasadenie systému	40
8.1 Vnútorne testovacie nástroje	40
8.2 Testovanie s pripojeným koľajiskom	40
8.3 Úpravy systému pre demonštráciu BP	41
9 Záver	42
9.1 Zhodnotenie práce	42
9.2 Možné rozšírenia systému	43
A Vysvetlenie používaných skratiek	46
B Popis návestnej sústavy SŽDC/ŽSR	47
C Popis zadávacej úrovne v zmysle ZTP-JOP	50
C.1 Užívateľské rozhranie	50
C.2 Koľajový reliéf	51
C.3 Komunikačné pole	52
C.4 Zásobník vlakových ciest	52
C.5 Ovládanie	52
C.6 Dokumentované úkony	52
D Objektový model koľajiska	54
E Komunikačný protokol PC-FITkit	55
F Popis behu systému konečným automatom	57
G Obsah priloženého CD	59

Kapitola 1

Úvod

Modelová železnica je jednu z modelárskych oblastí, kde je aj v zmenšenej podobe možné do detailu napodobniť skutočnú prevádzku. A to až do takej miery, že ju vidno aj v trénažeroch pre výuku zamestnancov v skutočnej železničnej prevádzke. Dokonca tieto často nebývajú založené na rýzdo počítačovej simulácii, ako napríklad letecké či cestné, ale práve na modelovej železnici.

Pri prevádzke modelovej (a ostatne aj skutočnej) železnice je nutné realizovať dva procesy. Prvým je samotná jazda vlaku, druhým je usmerňovanie tejto jazdy a zabezpečenie jej priebehu. Keďže jazda vlaku sa na skutočnej aj modelovej železnici riadi len fyzikálnymi zákonmi, je rovnaká vo všetkých krajinách sveta. To umožnilo vznik dostatočného dopytu a tiež vznik štandardu NMRA DCC. Vďaka tomuto sú k dispozícii rôzne kompatibilné proprietárne riešenia alebo založené na komunitnej báze.

Na druhej strane ostáva nemenej dôležitá problematika usmernenia a zabezpečenia jazdy. A práve toto je úlohou riadiacich systémov železníc – železničného zabezpečovacieho zariadenia. Ak sa teda má v tejto súvislosti hovoriť o zabezpečení a zabezpečovacom zariadení, nemyslí sa tým zariadenie na ochranu napr. proti krádeži či elektrickému poškodeniu, ale práve zariadenie riadiace dopravu a brániace nehodám. V skutočnosti pritom práve tento proces zaručuje maximálnu bezpečnosť všetkých zúčastnených. Na modelovej železnici samotná bezpečnosť ustupuje do pozadia, keďže sa neriskujú ľudské životy ani materiálne škody, každopádne požiadavka na precízne, a pokiaľ možno bezkolízne, riadenie dopravy zostáva. Na modelovej železnici je tak možné zabezpečovacie zariadenie vytvoriť na rôznej úrovni vernosti. Od obyčajného panelu, s niekoľkými tlačidlami či spínačmi bez akýchkoľvek závislostí, až po systémy takmer do detailu zodpovedajúce tým skutočným.

Sám sa aktívne venujem železničnému modelárstvu a pri stavbe modelového koľajiska u jedného známeho som bol požiadaný o vytvorenie čo najvernejšieho zabezpečovacieho a riadiaceho zariadenia pre jednu zo staníc.

V tej dobe bol k dispozícii vyradený počítač, a ja som v tej dobe robil pokusy s riadením vonkajších zariadení pomocou PC, rozhodol som sa pre zariadenie vychádzajúce z najmodernejšieho systému používaného na železnici - počítačového elektronického stavadla. Naštudoval som princípy práce takéhoto systému a skúmal existujúce softwarové riešenia. Napokon vznikla myšlienka vytvoriť vlastný systém. Vznikla tak prvá verzia modelového elektronického stavadla (*MES*). Táto využívala na ovládanie jednotlivých prvkov komerčne dostupný hardware. Systém bol pomerne nákladný a neumožňoval niektoré funkcie poskytované skutočnými systémami.

Následne som sa teda pokúsil systém prepracovať, aby až do detailov verne napodobňoval používané systémy na skutočnej železnici. Tiež som sa pokúsil znížiť náklady na systém

a celý systém zjednodušiť s využitím mikrokontrolérov, menovite potom kompletu FITkit. Výsledkom je nová verzia systému, MES-2, ktorá je predmetom tejto práce.

V prvých dvoch kapitolách sa budem venovať popisu problematiky a analýzou systému, ktorý je vzorom pre popisovaný systém, elektronického stavadla s Jednotným obslužným pracoviskom. Následne podrobnejšie rozoberiem rozdiely v zabezpečení skutočnej a modelovej železnice, existujúce systémy v oblasti modelovej železnice a pokúsim sa definovať požiadavky, ktoré má dané zariadenie spĺňať.

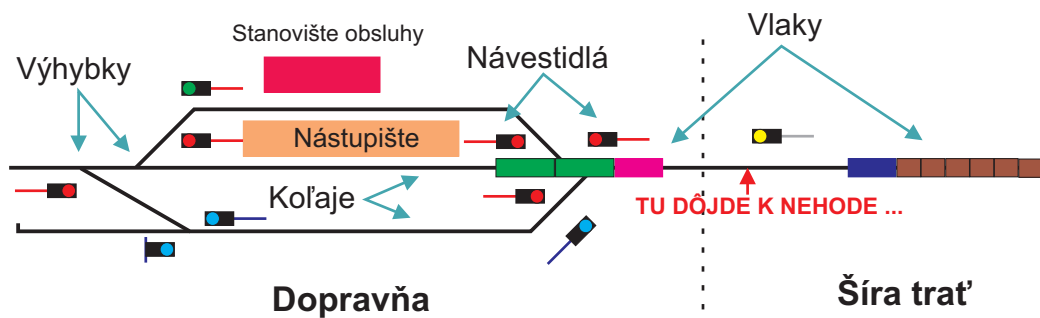
Ďalšie kapitoly budú potom už venované systému MES-2. Bude popísaný návrh jednotlivých častí systému, jeho implementácia a testovanie. Venovať sa budem aj overovaniu a praktickému nasadeniu tohto systému na modelovom koľajisku.

Kapitola 2

Zabezpečovacie zariadenie z pohľadu železnice, popis problému

2.1 Železničná prevádzka

2.1.1 Rozdelenie prevádzky



Obrázek 2.1: Prostredie železničnej dopravy

Sieť železníc je rozdelená na dve prostredia. Šíru trať a dopravne. Šíru trať predstavujú koľaje položené medzi jednotlivými dopravňami, na ktorej sa vlaky nemôžu predchádzať alebo križovať¹. Dopravne² sú potom podstatne zložitejšie prostredie, kde dochádza ku križovaniu a predchádzaniu vlakov, manipulácii s vlakmi a pohybu cestujúcich vlakov osobnej dopravy. Celé prostredie je dokumentované na obrázku 2.1.

Železničnú dopravu spočiatku riadili výhradne dopravní zamestnanci železníc – výpravcovia, signalisti a hradlári. Človek je však tvor omylný a so zvyšovaním intenzity a rýchlosti vlakov však čoraz častejšie dochádzalo k ich omylom a nehodám. Začali teda vznikať rôzne technické pomôcky, ktoré mali za úlohu kontrolovať ich činnosť a postupne ich činnosť aj nahrádzať a automatizovať.

¹pri tratiach s viac koľajami toto platí pre jednu koľaj

²železničná stanica je jeden z druhov dopravní



Obrázek 2.2: Následky čelnej zrážky vlakov.[7]

2.1.2 Nebezpečné situácie na železnici

Základnou vlastnosťou vlaku je, že je viazaný na pevnú koľajovú dráhu, železničnú trať. Z toho vyplýva, že vlaky sa nemôžu vyhnúť inak, než prejazdom cez výhybku na inú koľaj. Preto, ak sa na jednej koľaji vyskytnú proti sebe idúce vlaky, idúci vlak vojde na koľaj kde stojí iný vlak, alebo sa pri prejazde po výhybkách stretnú v jednom mieste, zrážka je nevyhnutná. Spôsob vzniku takejto udalosti je naznačený aj na obrázku 2.1 a jej následky sú ukázané na obrázku 2.1.2. Je preto nevyhnutné vlaky navigovať tak, aby k takejto situácii nedošlo.

Ďalšou vlastnosťou, tentokrát železničnej trate je, že oblúk o určitom polomere je možné bezpečne prejsť len určitou maximálnou rýchlosťou. V prípade, že ide vlak vyššou rýchlosťou, hrozí jeho vykoľajenie. Špecifickým prípadom sú potom výhybky, kde sa pri odbočovaní na inú koľaj vytvára oblúk o polomere umožňujúcom spravidla rýchlosť omnoho menšiu než je rýchlosť pre jazdu v smere rovno. Je preto nutné informovať rušňovodiča o bezpečnej rýchlosti.

Napokon, vlaky pre svoju jazdu s výhodou využívajú relatívne malé trenie koleso–koľajnica. To však znamená, že sa dlho rozbiehajú, ale hlavne, dlho brzdia. Teda, v prípade, že rušňovodič vedúci vlak zbadá bez varovania prekážku, zákaz jazdy, alebo inú mimoriadnu situáciu, nemôže už včas zastaviť. Je teda nutné zabezpečiť, aby rušňovodič mal dost informácií, aby mohol v prípade, že nemá voľnú trasu, včas zastaviť.

2.1.3 Režimy železničnej prevádzky

Na železnici sa doprava odohráva v dvoch, súčasne prebiehajúcich režimoch, ktoré sa samozrejme nesmú ohroziť v vo svojom rámci, ani vzájomne[2].

- *jazda vlaku* Vjazd vlaku z trate do dopravne, výjazd vlaku z dopravne na trať, resp. jazda vlaku po trati. Vlak musí mať v každom prípade voľnú cestu, takisto koľaj na ktorú vlak v stanici vchádza musí byť voľná. Rušňovodič musí mať informáciu o tom, akou rýchlosťou smie ísť resp. či má zastaviť.

- *posun* Manipulačný režim prebiehajúci v stanici³. Vyžaduje menšie zabezpečenie ako jazda vlaku. Rýchlosť je pri ňom obmedzená tak, aby nemusela byť predávaná informácia o rýchlosti. Smie posunovať na obsadenú koľaj. Takisto je pri posune prítomných viacero zamestnancov, čo znižuje riziko chyby.
- *núdzový režim* Pri poruchách alebo mimoriadnych situáciách musia byť jazda vlaku a posun umožnené, s určitými obmedzeniami, aj keď nie je možné splniť všetky podmienky pre bezpečnú jazdu.

2.2 Základné princípy práce zabezpečovacieho zariadenia

2.2.1 Pojem zabezpečovacieho zariadenia

Železničné zabezpečovacie zariadenie je zariadenie, ktoré v súvislosti s jazdou koľajových vozidiel vozidel prispieva k zaisteniu bezpečnosti železničnej dopravy kontrolovaním a náhradou podielu ľudského faktoru, umožňuje automatizáciu dopravného procesu a zvyšovanie výkonnosti železničných staníc a tratí. Takto chápe zabezpečovacie zariadenie u nás⁴ platná oborová norma TNŽ 34 2620[10]. Ďalej budeme pre označenie zabezpečovacieho zariadenia používať aj skratku ZZ.

Zabezpečovacie zariadenie tak funguje ako sprostredkovateľ medzi obsluhou a koľajiskom. Na jednej strane je zariadenie, ktorým obsluha zadáva povely, ďalej je tu vnútorná logika ZZ, ktorý na základe informácii o stave v koľajisku vyhodnotí bezpečnosť povelu a, ak daný povel uzná za bezpečný, tento povel vykoná pomocou rozhraní na koľajisko. Zabezpečovacie zariadenie pri tom nepretržite informuje obsluhu o stave v koľajisku a o plnení jednotlivých povelov.

Dôležitou vecou na zabezpečovacom zariadení skutočnej železnice je, že ak má kontrolovať činnosť ľudí riadiacich železničnú dopravu, za žiadnych okolností nemôže vytvoriť nebezpečnú situáciu vlastnou chybou. Jedná sa preto o nákladné systémy s vnútornou alebo zloženou bezpečnosťou (redundaciou).

2.2.2 Kategorizácia zabezpečovacích zariadení

Zabezpečovacie zariadenia sa ďalej rozdeľujú podľa určenia[10]

- **Staničné** Zabezpečujú jazdu vlakov v stanici. Riadia jazdu vlakov v stanici, zabezpečujú pozície všetkých výhybiek a správnu informáciu o dovolenej rýchlosti vlaku. Bránia kolíziám v stanici.
- **Traťové** Traťové zabezpečovacie zariadenia, zabraňujú kolíziám vlakov na trati a umožňujú jazdu viacero vlakov medzi dvomi stanicami.
- **Priecestné** Priecestné zab. zariadenie upozorňuje motoristov na blížiaci sa vlak k priecestiu.
- **Vlakové** Vlakové zabezpečovacie zariadenie, slúži na kontrolu rušňovodiča a zabezpečuje prenos návěstí na stanovište.
- **Spádoviskové** Staničné ZZ určené špeciálne na mechanizáciu a automatizáciu spádovísk (zoraďovacích staníc).

³prípadný posun medzi dopravňami má podobné podmienky ako jazda vlaku

⁴Termínom u nás budeme rozumieť železnice na území ČR a SR

Najdôležitejšie sú staničné (spádoviskové) a čiastočne aj vlakové zabezpečovacie zariadenia, ktoré v modernej dobe ako jediné prichádzajú do styku s ľudskou obsluhou. Ostatné zariadenia, okrem zastaralých typov už pracujú plne automaticky a prípadné zásahy obsluhy sú integrované do SZZ. Cieľom tejto práce je vytvoriť funkčný model elektronického staničného ZZ, integrujúceho aj časti TZZ.

2.3 Práca zabezpečovacieho zariadenia

2.3.1 Povelý dávané zariadeniu

Zariadeniu je možné vydať povel na zmenu stavu jednotlivých prvkov. Zariadenie si musí zistiť, či je možné zmeniť stav prvku, a ak áno, ho zmeniť. V opačnom prípade musí dať obsluhu na javo, že úkon nie je možné vykonať. S narastajúcim rozsahom železničnej dopravy však bolo od zadávania jednotlivých konkrétnych povelov upustené a pre zabezpečenie vlaku sa využíva tzv. je tzv. stavanie jazdných ciest. Prestavovanie jednotlivých prvkov sa využíva už len doplnkovo.

2.3.2 Vlakové a posunové cesty

Cestou sa v tomto ponímaní myslí požadovaný stav všetkých zariadení, ktoré majú vplyv na jazdu vlaku v danej oblasti tak, aby ňou mohol vlak bezpečne prejsť. Postavením cesty potom rozumieme prestavenie všetkých vonkajších prvkov ZZ do takéhoto stavu. V závislosti od režimu železničnej prevádzky sa označujú ako vlakové, resp. posunové cesty.

Každá cesta má definovaný svoj začiatok a koniec. V prípade, že je možné vlakom prejsť túto trasu prejsť viacerými spôsobmi, je možné definovať ešte variantné body, cez ktoré má cesta prechádzať. Ďalej je nutné definovať stavy všetkých zariadení na trati, akou rýchlosťou je možné cestu prejsť, na ktorých pricestiach je nutné dávať vodičom cestných vozidiel výstrahu, v ktorých miestach sa nesmie vyskytovať vlak a ktoré ďalšie vlakové cesty nesmú byť v tej chvíli postavené.

Záverová tabuľka návěstí									
Od	Do	Kolej	Rozhod. výhybky	Návěstní znaky					
z 1.tr.k.	Čápečky	-		●	1S	⊗	P1S		
		5,3,4		●	S5,S3,S4	⊗	1S	⊗	P1S
		1		●	S1	⊗		○	
		2		●	S2	⊗	⊗	⊗	
		6				⊗	⊗	⊗	
		5,3		○	S5,S3	⊗	1S	⊗	P1S
	Hradce Králové po 1.tr.k.	1	1/2 +	○	S1	○		○	
		1	1/2 -	○	S1	⊗		○	
		2		○	S2	⊗	⊗	⊗	
		4		○	S4	⊗	⊗	⊗	
	Hlavě tr.k.	5,3		○	S5,S3	⊗	1S	⊗	P1S
		1		○	S1	⊗		○	

Obrázek 2.3: Ukázka záverovej tabuľky. Autor: Ing. Jiří Hajzl

2.3.3 Záverová tabuľka

Predstavuje abstraktný model zabezpečovacieho zariadenia. Jedná sa o súhrn všetkých jazdných ciest so všetkými podmienkami, ktoré sú k jednotlivým cestám vzťahnuté. Obsahuje polohy potrebných výhybiek, vzájomne vylúčené vlakové a posunové cesty, informácie

o rýchlostiach a iné podmienky, na základe ktorých je možné cestu postaviť[2]. Konštrukcia základu zabezpečovacieho zariadenia potom spočíva v implementácii tejto tabuľky.

2.4 Riadenie a zabezpečenie dopravy na modelovej železnici

Zabezpečovacie zariadenie pre skutočnú železnicu je vďaka náročnému zaisteniu vnútornej bezpečnosti vysoko nákladné zariadenie. Každopádne v skutočných situáciách sa na bezpečnosti neoplatí šetriť, keďže v stávke sú ľudské životy a mnohomiliónové materiálne škody. Takisto železnicu prevádzkujú veľké organizácie, ktoré si podobné zariadenia môžu dovoliť.

Oproti tomu na modelovej železnici sa žiadne takéto hodnoty neriskujú. K stratám na ľudských životoch dôjsť principiálne nemôže a prípadné hmotné škody, ak vôbec nejaké vzniknú, sa pohybujú v rádoch desiatok až stoviek korún. Nemá teda zmysel používať tu náročné zariadenia s vnútornou bezpečnosťou. Takéto zariadenie teda plní skôr úlohu riadiaceho systému a v niektorých prípadoch (predvážacie koľajiská) aj úlohu automatizácie celej dopravy. Je preto vhodné skôr hovoriť o riadiacom či ovládacom systéme. Modelovú železnicu prevádzkujú tiež spravidla fyzické osoby s obmedzenými finančnými možnosťami.

Ľudia, prevádzkujúci modelovú železnicu, sú však spravidla nadšencami a sú znalí pomerov na skutočnej železnici. Takéto zariadenie by sa preto malo svojim vzhľadom, ovládaním a funkciami čo najviac podobáť na svoje skutočné vzory. Pritom ale nemusí pokrývať všetky dostupné poruchové či mimoriadne stavy.

2.5 Zabezpečovacie zariadenie ako počítačový systém

Z pohľadu počítačových systémov môžeme zabezpečovacie zariadenie chápať ako logický systém a jeho prácu je možné modelovať pomocou konečných automatov (viď príloha F). Logiku používanú v zabezpečovacom zariadení môžeme rozdeliť na kombinačnú a sekvenčnú. Prvé seriózne zabezpečovacie zariadenia, ktoré už dokázali obsluhu zabrániť vo vydaní chybného povelu, obsahovali len kombinačnú logiku (implementáciu záverovej tabuľky). Príslušné logické funkcie pritom boli často realizované mechanicky. Sekvenčná následnosť úkonov bola vykonávaná obsluhou, pričom zariadenie mohlo len dohliadať na správne poradie úkonov.

Takisto väčšina prvkov je dvojestavová. Výhybka buď je alebo nie je v správnej pozícii, úsek trate buď voľný je, alebo nie je. Samotná záverová tabuľka tak nie je nič iné ako tabuľka logických funkcií. Zabezpečovacie zariadenie tak funguje na princípe *if-else*.

Moderné zabezpečovacie zariadenia už obsahujú aj prvky sekvenčnej logiky a umožňujú aj vykonávanie logicky závislých sekvenčne nasledujúcich úkonov automaticky. Napríklad umožňujú postavenie celej cesty na základe jedného povelu alebo stavenie viacerých ciest súčasne.

Ďalej môžeme logicky rozdeliť jednotlivé časti zabezpečovacieho zariadenia. Ak za základ považujeme samotnú riadiacu logiku, môžeme hovoriť o ostatných častiach ako o jej perifériách. Základnými perifériami budú užívateľské rozhranie voči obsluhu a rozhranie na riadenú železničnú trať. Ďalej možno za periférie považovať integrované zabezpečovacie zariadenia, napr. priecestia alebo traťové zabezpečovacie zariadenia medzi stanicami. Tiež by ako perifériu šlo definovať aj pamäť, kde bude uložený aktuálny stav koľajiska a všetky vlakové cesty. Ak si pod týmito celkami predstavíme počítačové systémy, dostaneme elektronické stavadlo.

Kapitola 3

Analýza práce elektronického stavadla

Elektronické stavadlo je primárne staničným zabezpečovacím zariadením najvyššej (3.) kategórie. Môže však dovládať aj pricestné a traťové zabezpečovacie zariadenia.

3.1 Architektúra elektronického stavadla

Elektronické stavadlo sa skladá z viacerých úrovní[14]. Úrovně sú popísané v jednotlivých častiach celej tejto kapitoly.

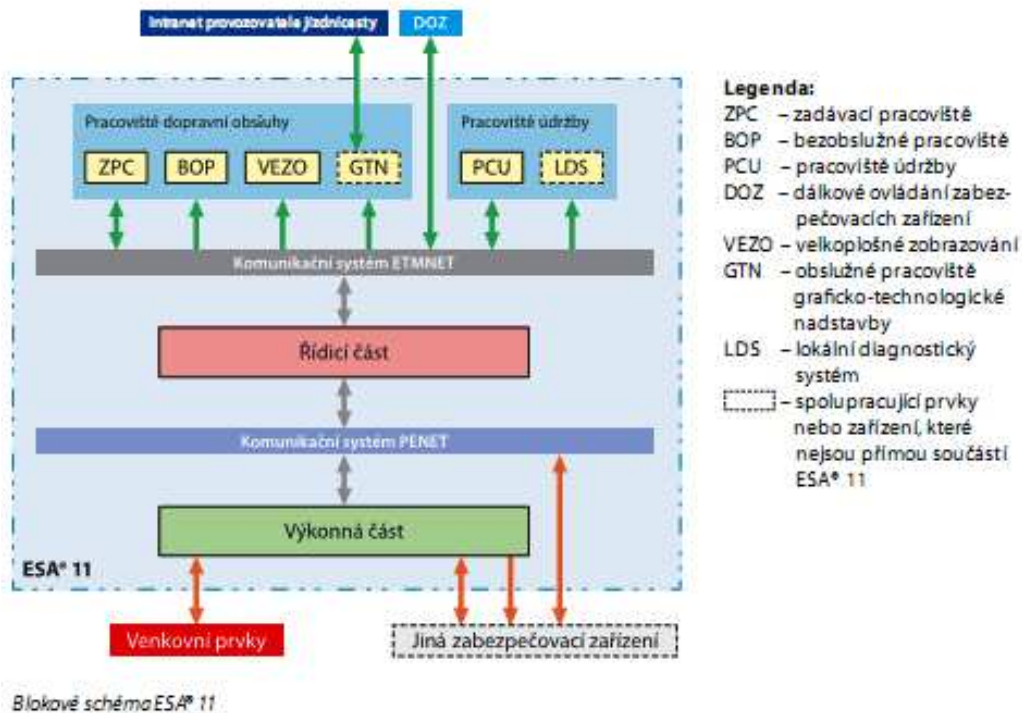
1. Zadávacia úroveň - vstup povelov od obsluhy a indikácia stavu
2. Riadiaca úroveň - bezpečná riadiaca logika stavadla
3. Vykonávacia úroveň - kontrola vonkajších prvkov a zaistenie niektorých pokročilejších funkcií (napr. zisťovanie stavu svetiel na návestidlách)
4. Vonkajšie prvky - návestidlá, výhybky, a iné prvky umiestnené priamo v koľajisku.

3.2 Vonkajšie prvky

Periférie elektronického stavadla. Kým ulohou ďalších úrovní elektronického stavadla je prijímať pokyny obsluhy a na ich základe vydávať (pokiaľ možno) bezpečné povely, vonkajšie prvky majú za úlohu ich vykonať. Ďalej slúžia aj na zber informácií, potrebných pre správne vyhodnotenie bezpečnosti povelov obsluhy. Nie sú priamou súčasťou elektronického stavadla, sú však od neho závislé.

3.2.1 Koľaje

Základ železnice. Dráha po ktorej jazdia vlaky. Nejedná sa priamo o vonkajší prvok ZZ, ale tvoria prostredie do ktorého sa tieto prvky umiestňujú, či už priamo do koľají alebo do ich blízkosti. Každý vonkajší prvok zabezpečovacieho zariadenia je v presne definovanom vzťahu ku konkrétnej koľaji/koľajám. V niektorých prípadoch sa sleduje ich neporušenosť.



Obrázek 3.1: Architektúra systému AŽD ESA11[1]

3.2.2 Výhybky

Výhybka je elektromechanické zariadenie, kde sa spájajú z každej strany 1–2 koľaje¹. Jej základom je prestavník, ktorý dokáže na základe povelu zo zabezpečovacieho zariadenia vytvoriť súvislú dráhu medzi vybranou koľajou z jednej aj z druhej strany. Niekedy je prestavníkov viacero. Z pohľadu geometrie má výhybka dve polohy, priamu a odbočnú². Dôležité je tiež, že pri jazde cez výhybku v odbočnej polohe vzniká oblúk, ktorý možno prejsť len obmedzenou rýchlosťou, spravidla 40–100, alebo najnovšie až 120 km/h.



Obrázek 3.2: Výhybka s elektromotorickým prestavníkom

Pri výhybke sa sledujú nasledovné podmienky[10]:

- *Správna poloha výhybky*: Nesmie dôjsť k jazde vlaku na inú koľaj, než bolo určené. Takisto, ak ide vlak na stranu, na ktorej je len jedna koľaj, keďže jazda po výhybke postavenej na inú koľaj, než na tú z ktorej prichádza vlak, znamená deštrukciu (tzv.

¹Existujú aj iné konfigurácie, u nás sa však nepoužívajú

²Existujú aj výhybky len s odbočnými polohami

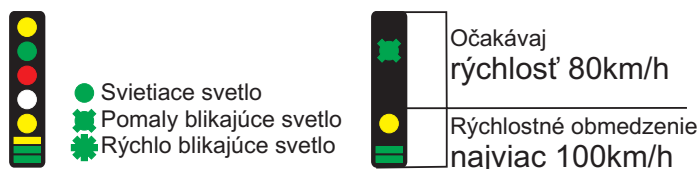
rozrez) prestavníka³výhybky, poprípade až vykoľajenie vlaku.

- *Úplné dosadnutie jazykov výhybky*: Jazda vlaku cez výhybku, ktorej jazyky nedoliehajú ku koľajám, je nebezpečná a môže dôjsť k vykoľajeniu.
- *Nemennosť polohy výhybky počas prejazdu vlaku*: Ak by sa výhybka začala prestavovať pod vlakom idúcim, alebo stojacim na výhybke, došlo by k vykoľajeniu vlaku.

Špeciálnym prípadom výhybky je koľajový kríž. To je miesto, na ktorom prechádzajú cez seba dve koľaje bez možnosti prejsť z jednej koľaje na druhú. Nemá jazyky, nemôže sa prestavovať a spravidla sa nemusí ovládať. Je však nutné zabezpečiť, aby na koľajovom kríži nedošlo ku kolíznemu stretu dvoch vlakov.

3.2.3 Návestidlá

Pojem návestidlo sa na železnici používa ako súhrnné označenie pre všetky zariadenia a prostriedky, ktoré slúžia na informovanie rušňovodiča o situácii na trati pred ním. Patria sem všetky značky, návesti davané gestami rúk, zvukom a v neposlednom rade rádiostanice. Z pohľadu zabezpečovacieho zariadenia sú dôležité svetelné návestidlá⁴, ktoré priamo ovláda.



Obrázek 3.3: Svetelné návestidlo a význam návesti

Svetelné návestidlá slúžia na vyjadrenie premennej informácie, ktorú tak nie je možné vyjadriť návestidlami nepremennými, a to súhlas k jazde vlaku a maximálnu dovolenú rýchlosť pri prejazde cez výhybky. Vyjadrenie týchto informácií je komplexná záležitosť a hovorí sa o tzv. návestnej sústave. Návestná sústava používaná u nás je podrobnejšie popísaná v prílohe B. Návestná sústava sa skladá z informácie o rýchlosti, ktorou môže ísť vlak okolo návestidla a rýchlosti očakávanej na ďalšom návestidle. Spojením týchto dvoch častí vzniká konkrétna sekvencia rozsvietených svetiel, takzvaná výsledná návesť. Pre zníženie počtu svetiel, sa využíva okrem svietenia svetiel aj ich blikanie, a to na dvoch frekvenciách.

3.2.4 Prostriedky spolupôsobenia vlaku

Zľahka krkolomný názov pre zariadenia, ktorých cieľom je detekcia prítomnosti vlaku na určitom mieste[2]. Pre skrátenie budeme v tejto práci ďalej hovoriť o *detekcii vlaku*, poprípade o *koľajových úsekoch* či *obvodoch*. Koľajisko je rozdelené na množstvo fyzických úsekov, na ktorých sa prítomnosť vlaku týmito zariadeniami overuje. Rozmiestnenie týchto úsekov súvisí so stavaním jazdných ciest.

Zisťovanou podmienkou je voľnosť daného úseku. Úsek je voľný v prípade, že na ňom bezpečne nestojí žiadne vozidlo. Inak sa úsek musí považovať za obsadený.

³Okrem tzv. samovratných výhybiek, kde je sa s rozrezom počíta, viď električky

⁴Termín „semafor“ sa na železnici používa výhradne pre návestidlá mechanické, ktoré sa dnes už nezriaďujú

Na detekciu vlaku sa kladú obzvlášť prísne kritériá na bezpečnosť a spoľahlivosť, keďže pri ich prípadnom zlyhaní a označení obsadeného úseku za voľný by mohlo dôjsť ku zrážke vlakov a naopak pri označení voľného úseku za obsadený dochádza k výraznému narušeniu plynulosti železničnej dopravy. Obzvlášť medializovaným prípadom bola nehoda v železničnej stanici Moravany z leta 2008, kde došlo k odizolovaniu vlaku vplyvom vysypania nadmerného množstva piesku, jeho následnému „zmiznutiu“ a následnému nárazu nasledujúceho vlaku do jeho zadnej časti. Ako jedna z príčin bolo vo vyšetrovacej správe uvedené aj zlyhanie riadiacej časti ZZ, ktorá na tento stav nesprávne zareagovala[5].

3.2.5 Komunikácia a dohľad vonkajších prvkov

Všetky vonkajšie prvky majú jednu základnú vlastnosť a to je komunikácia. Tá hovorí, či je možné sa s daným vonkajším prvkom spojiť. To je rozhodujúce pre to, aby bolo možné nad daným prvkom vykonávať povely. Nad nekomunikujúcim prvkom nemá vykonávanie žiadneho povelu zmysel.

Návestidlá a výhybky majú potom ešte druhú vlastnosť – dohľad. V skutočnosti a ostatne aj na modelovom koľajisku trvá ich prestavenie, od vydania povelu na prestavenie až po zmenu stavu, nejakú dobu. Počas tejto doby nie je ich stav presne známy. Vtedy hovoríme, že na takýto prvok nie je dohľad. Na vykonanie ďalších krokov v súvislosti s jazdnou cestou je nutné počkať až kým dohľad nie je obnovený.

3.3 Vykonávacia úroveň

Vykonávacia úroveň je na skutočnom stavadle bezpečný hardware (bezpečnostné relé, bezpečné PLC automaty), ktorý slúži ako radič periférii (vonkajších prvkov). Na základe povelov z vyšších úrovní ovláda jednotlivé vonkajšie prvky (rozsvetuje svetlá na návestidlách, otáča motormi v prestavníkoch výhybiak a pod.) a do vyšších úrovní naopak posiela informácie zo systémov detekcie vlaku (fázovo citlivých relé v koľajových obvodoch či výstupy z počítačov osí).

3.4 Riadiaca úroveň

Najdôležitejšia časť celého zabezpečovacieho zariadenia. Preberá povely od obsluhy, vyhodnocuje ich bezpečnosť a v prípade, že je povel vyhlásený za bezpečný, odovzáva ho do vykonávacej úrovne. Jedná sa spravidla o redundantný počítačový systém fungujúci na princípe 2of2, tzn. bežia vždy dva rozdielne počítače (iný HW, iný OS, rozdielny SW, spravidla dokonca od dvoch rôznych firiem) a vykonávacia úroveň povel vykoná iba vtedy, ak sa na ňom obe vetvy zhodnú, teda vydajú povel rovnaký. Do riadiacej úrovne je potom implementovaná aj záverová tabuľka.

3.4.1 Stavanie ciest

Po zadaní povelu na postavenie vlakovej alebo posunovej cesty dôjde k zložitej sekvencii úkonov. Najprv musí zabezpečovacie zariadenie skontrolovať či zamýšľaná cesta vôbec existuje. Ak existuje, musí overiť jej voľnosť, teda z informácii detekcie vlaku zistiť, či sa na koľajách nenachádzajú vozidlá. Ak sa toto podarí, musí systém cestu zablokovať, aby nebolo možné postaviť inú vlakovú cestu, ktorá by ju krížila. Ďalej musí ZZ zabezpečiť prestavenie výhybiak tak, aby bola vytvorená súvislá koľajová dráha medzi začiatkom a koncom

cesty. Akonáhle sú všetky výhybky v správnych polohách, musí zariadenie vybrať vhodnú návesť na návestidlo. Najprv podľa informácie zo záverovej tabuľky zistí rýchlosť cesty. Následne zistí návesť návestidla na konci cesty (ak je) a podľa tohto vytvorí znak, ktorý nechá rozsvietiť na návestidle. Po rozsvietení znaku je cesta postavená.

Akonáhle prejde vlak okolo počiatočného návestidla, prechádza cesta do tzv. rozpadu. Rozpad je kontrolované uvoľňovanie jednotlivých prejdených úsekov vlakovkej cesty za idúcim vlakom. Akonáhle vlak prejde všetky úseky okrem cieľového, je cesta rozpadnutá a môže byť zo systému vymazaná

Počas celého procesu stavania cesty aj po jej postavení musí zariadenie kontrolovať či nedošlo k narušeniu cesty, teda či je cesta stále voľná. Takisto musí dohliadať na správny priebeh rozpadu postupným uvoľňovaním a obsadzovaním ciest.

3.4.2 Zásobník vlakových ciest

V riadiacej úrovni elektronického stavadla sa používa takzvaný zásobník vlakových ciest. Tento umožňuje vykonať obsluhu predvoľbu jednej alebo viacerých vlakových ciest. Z pohľadu informatiky je názov zásobník chybný⁵, keďže implementačne sa v skutočnosti jedná o *frontu*. Avšak, keďže v literatúre sa uvádza pojem zásobník, budeme ďalej hovoriť o zásobníku⁶. Obsluha vtedy spočíva v tom, že navolená vlaková cesta sa radí do fronty a prvá cesta vo fronte je odoslaná na postavenie. Možno tak prednastaviť sled vlakov a následne ho len kontrolovať. Obsluha sa vtedy môže venovať ostatným úkonom (administratíva, komunikácia s dispečermi, predaj cestovných lístkov, . . .). Obsluha môže využiť okrem voľby ciest do zásobníka aj režim tzv. prednostnej voľby. V tomto režime sa vlakové cesty vykonávajú priamo a vlakové cesty v zásobníku sa nestavajú. V prípade, že cestu v zásobníku nie je možné postaviť, ostáva v zásobníku a čaká sa na to až podmienky znemožňujúce jej postavenie pominú. Nesplniteľný povel v režime priamej voľby sa zahodí a výstupom je potom informácia pre obsluhu.

3.4.3 Blokové podmienky

Aj keď je záverová tabuľka základom funkcie ZZ, pri rozboroch nehôd a mimoriadnych udalostí, ku ktorým v histórii železníc došlo sa však preukázalo, že len použitie záverovej tabuľky nepostačuje. V prípade elektronického stavadla tak vznikli rôzne doplnkové funkcie, okrem iného kontrola postupného obsadzovania jednotlivých koľajových úsekov idúcim vlakom (tzv. úplná bloková podmienka), ktorá bráni narušeniu vlakovkej cesty pri prejdení návesti „stoj“ iným vlakom a tiež čiastočne detekuje zlyhanie detekcie vlaku.

Úplnú blokovú podmienku môžeme vyjadriť takto: „Koľajový úsek môže byť uvoľnený v prípade, že prostriedky spolupôsobenia vlaku prestanú detekovať úsek ako obsadený a zároveň došlo k obsadeniu nasledujúceho koľajového úseku v smere jazdy vlaku.“[10]

Úplná bloková podmienka sa realizuje na trati a tiež v postavenej vlakovkej/posunovej ceste, kde sa sleduje správnosť poradia obsadzovania aj uvoľňovania úsekov. V postavenej ceste je úplná bloková podmienka rozšírená o detekciu či sú úseky obsadzované od začiatku cesty. [2]

⁵Čo ostatne konštatuje sama norma

⁶A implementačne, ako si ukážeme, to bude napokon lineárny zoznam

3.4.4 Časové súbory

Ďalšou doplnkovou funkciou je zabránenie odvolaniu povelu a následnému okamžitému nariadeniu iného, s pôvodným povelom nevykonateľného, v situácii kedy už rušňovodič vlaku, ktorého sa odvolávaný povel týkal, nemôže už bezpečne zastaviť. Ako ochrana proti takémuto konaniu boli vytvorené tzv. časové súbory⁷.

Pri rušení vlakovej cesty sa aktivuje prvý časový súbor (5s), po ktoré sa čaká či sa neobjaví pred návestidlom vlak. Ak ostane úsek pred návestidlom voľný, cesta sa zruší. V opačnom prípade ostane cesta zadržaná 60 sekúnd v prípade posunovej, a až 180 sekúnd v prípade vlakovej cesty [10]. Tento čas slúži na to, aby bolo možné bezpečne zastaviť vlak alebo posun. Ďalšia činnosť po uplynutí tejto doby závisí od toho kde vlak zastavil.

3.4.5 Núdzové zabezpečenie

Štandardnou reakciou riadicich a zabezpečovacích systémov je, že po zistení nezrovnalosti alebo poruchy uvedú systém do bezpečného stavu a ponechať ho v ňom až do jej odstránenia. Železničné ZZ sa chová podobne, avšak s jednou výnimkou. Železničné zabezpečovacie zariadenie musí v prípade svojej poruchy umožňovať, za určitých obmedzujúcich podmienok, premosť časť svojich podmienok a na zodpovednosť personálu umožniť vykonanie aj potencionálne nebezpečných úkonov. Pritom musí stále poskytovať čo najväčšiu podporu obsluhujúcemu personálu pri rozhodovaní a nesmie ho uviesť do omylu. Práve tento fakt odlišuje železničné zabezpečovacie zariadenia od väčšiny ostatných riadiacich a automatizačných systémov, ktoré bez zabezpečenia bezporuchového stavu neumožňujú riadený systém prevádzkovať.

Každé zariadenie tak musí umožniť núdzové prestavenie výhybiiek bez ohľadu na to či je cez ne postavená vlaková cesta alebo sú obsadené vozidlami (môže sa jednať o poruchu detekcie vlaku). Aj mimo poruchový stav, ak to situácia vyžaduje, musí byť možné zvláštnym spôsobom vydať povel, ktoré aj priamo odporujú podmienkam (napr. jazda vlaku na koľaj obsadenú vozidlami), ale vďaka iným opatreniam (vyrozumenie rušňovodiča, zníženie rýchlosti) ich vykonanie nehorozí bezpečnosť. K tomu slúži zvláštna návesť (tzv. privolávacia návesť, skratk PN) na svetelnom návestidle, ktorá pre rušňovodiča znamená príkaz pre opatrnú jazdu v nasledujúcom úseku. Zariadenie môže umožniť postavenie vlakovej cesty na privolávaciu návesť, kedy nevynucuje podmienky, ale obsluhu upozorní na prípadné riziká. Tiež však musí umožniť aj rozsvietenie takejto návěsti nezávislé na kontrolovaní akýchkoľvek podmienok, rýdzo na zodpovednosť obsluhy[10].

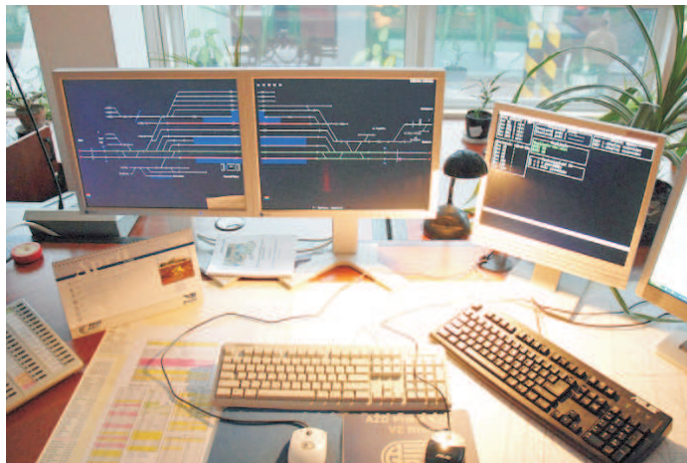
Keďže sú tieto povel vydané na zodpovednosť obsluhy, nesmú byť takéto núdzové povel vydané bez vedomia obsluhy a musí byť maximálnou mierou bránené ich vydaniu omylom. Obsluha teda musí to, že si uvedomuje aké povel vydáva, spravidla potvrdiť nejakým zvláštnym úkonom. Zvláštnym úkonom v prípade elektronického stavadla je vyžiadanie zadania potvrdzovacieho reťazca „asdf“ do počítača[14].

Určitou výnimkou sú stavy, ktoré umožňujú pri poruche niektorého z vonkajších prvkov dovoliť jazdu za určitých viac reštriktívnych podmienok[10]. Napríklad pri poruche zeleného svetla môže zabezpečovacie zariadenie samo nariadiť rozsvietenie návěsti „Očakávaj rýchlosť 60km/h“ (rýchlo blikajúce horné žlté svetlo) namiesto návěsti „Voľno“, čo v tomto prípade zjavne nijak nemôže ohroziť bezpečnosť. Podobne možno postupovať ďalej a v prípade potreby je možné aj automaticky rozsvietiť privolávaciu návěst.

⁷Názov vznikol podľa zariadenia na báze bimetalických prúžkov, ktoré pôvodne realizovalo časové odpočty

3.5 Zadávacia úroveň

Kým staršie druhy zabezpečovacích zariadení majú špeciálne ovládacie pulty, kde sú umiestnené všetky ovládacie prvky, elektronické stavadlo využíva na komunikáciu s obsluhou štandardné počítačové periférie. Výstup sa zobrazuje na monitore, na vstup údajov sa používa klávesnica a myš.



Obrázek 3.4: Pracovisko JOP. Autor: Martin Beták

Tento stav umožňuje veľkú variabilitu usporiadania prvkov na monitore či spôsobov ovládania systému. Aby však nemusela obsluha elektronického stavadla ovládať obsluhu rôznych systémov od rôznych výrobcov, bol na SŽDC prijatý štandard ZTP-JOP[14], ktorý upravuje spôsob, akým sa má stavadlo ovládať, a ako majú byť zobrazené jednotlivé prvky. To umožňuje unifikáciu jednotlivých systémov z pohľadu obsluhy a uľahčuje obsluhu orientáciu a prácu so zariadením. Aj systém MES-2, ktorý je predmetom tejto práce je vytvorený tak, aby spĺňal štandard ZTP-JOP. Na ŽSR žiadny podobný štandard neexistuje. Ak na Slovensku systém realizuje niektorý z českých výrobcov, jedná sa spravidla o zariadenie podľa ZTP-JOP, v prípade použitia zariadení zo západnej Európy sa potom spravidla využíva štandardu ESTWP⁸ platného v Nemecku[3].

Podrobnejšie informácie o rozhraní zadávacej úrovne sú k dispozícii v prílohe C.

⁸Elektronischer Stellwerksplan

Kapitola 4

Zabezpečovacie zariadenie na modelovej železnici

4.1 Zjednodušenia prijateľné pre modelové zariadenie

Základné rozdiely medzi prevádzkou na skutočnej a modelovej železnici boli spomenuté v časti 2.4. Vďaka tomu je možné realizovať nasledovné zjednodušenia:

- **Spätná väzba:** Zo systému môžeme s kludom odstrániť takmer všetku spätnú väzbu. Nebudeme teda kontrolovať polohu výhybiek, to či správne svietia svetlá na návestidlá, a podobne. Vonkajšie prvky na modelovej železnici (výhybky, návestidlá) majú viac než dostatočnú spoľahlivosť. Preto stačí, keď si budeme polohu výhybky pamätať v zariadení a pri požiadavku na jej zmenu sa ju „pokúsime“ prehodiť, teda vyšleme prúdový impulz do prestavníka. Ak po tomto impulze raz za čas nebude nasledovať prestavenie výmeny, v zásade sa nič nedeje. Jediným vstupom do zabezpečovacieho zariadenia tak ostane detekcia vlaku, ktorá je dôležitá pre správne riadenie dopravy.
- **Redundancia a vnútorná bezpečnosť:** Súvisí s predošlým bodom. Tak ako pri zlyhaní vonkajšieho prvku spravidla nedôjde k žiadnym škodám, takisto k nim nedôjde ani v prípade zlyhania systému ako takého. Prípadné poruchy sa tak môžu ladiť aj za prevádzky.

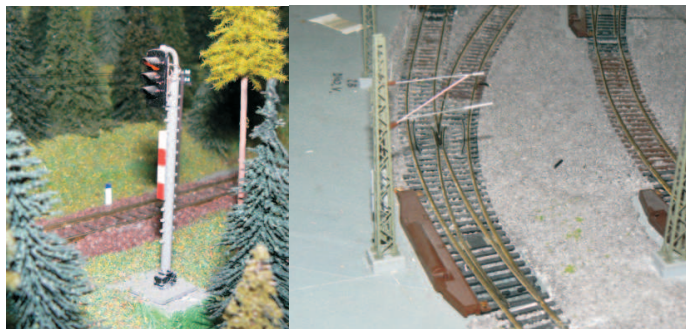
4.2 Architektúra modelového riadiaceho zariadenia

Vo všeobecnosti sa zariadenie rozdeľuje na dve časti. Pri porovnaní so skutočnou architektúrou v kapitole 3.1 je hardwarovo spravidla realizovaná len vykonávacia úroveň a vonkajšie prvky. Spravidla s jednoduchou možnosťou ovládania stavu prvkov bez zabezpečovacích závislostí. Všetko ostatné je nutné realizovať v PC. To so sebou prináša niekoľko nevýhod v podobe oneskorenia reakcií systému a nutnosti použiť komplikovanejšie zariadenia vo vykonávacej úrovni.

4.2.1 Realizácia vonkajších prvkov a integrovaných zariadení

Vonkajšie prvky ZZ na modelovej železnici sú s ohľadom na náklady realizované čo najjednoduchším spôsobom, s využitím všeobecne dostupných súčiastok. Takisto sú zjednodušené niektoré integrované zabezpečovacie zariadenia, teda traťové a priecestné ZZ. Jednotlivé prvky môžu byť realizované napríklad takto:

- *Výhybky*: Bistabilné relé s mechanickým kontaktom pripojeným k jazyku.
- *Návestidlá*: Svetelné diódy, spravidla so spoločnou katódou.
- *Detekcia vlaku*: Diódový mostík s optočlenom, TTL výstup.
- *Trafový súhlas*: Dva prepínače (ak nie je súčasťou ES) a výstupné relé.
- *Priecestie*: Jednoduchá pevná logika riadená jedným vstupom (otvoriť/zavrieť).



Obrázek 4.1: Návestidlo a výhybka pre modelovú železnicu

4.3 Prehľad produktov digitálnych ovládacích systémov na modelovú železnicu

Digitálne ovládacie systémy pre modelovú železnicu sú vstavané systémy, primárne určené pre ovládanie samotnej jazdy vlaku (pripojenie ovládačov, tvorba povelov pre vlaky podľa štandardu DCC). Väčšina z nich však obsahuje aj prídavnú zbernicu na riadenie vonkajších prvkov zabezpečovacieho zariadenia, skladajúcu sa z riadiacej jednotky (centrály) a množstva periférií, pripojených k jednotlivým vonkajším prvkom (výhybky, návestidlá, detekcia vlaku). Centrála komunikuje s perifériami spravidla pomocou sériového prenosu, pomocou výrobcom definovaného protokolu.

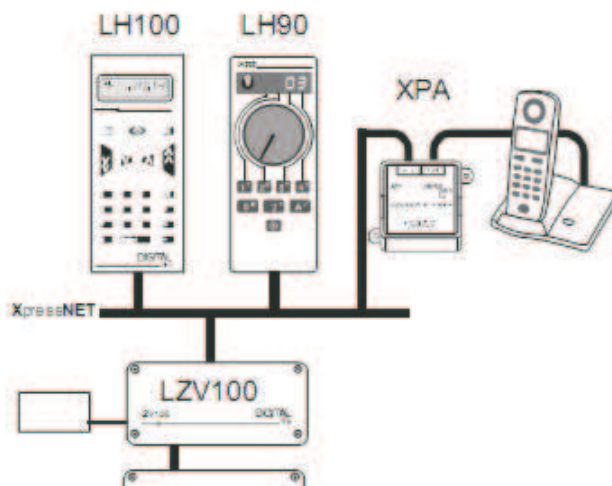
4.3.1 Intellibox

Systém intellibox je výrobkom firmy Uhlenbrock[12]. Využíva jednoduchú open-collector sériovú zbernicu a komunikačný protokol LocoNet@firmy DigiTrax. Nevýhodou tejto zbernice je, že je spoločná s ovládačmi a tak sa pomerne rýchlo zahltí. Nie je preto vhodná na prenos časovo kritických informácií ako sú informácie o obsadenosti úsekov. Jedná sa zrejme o najrozšírenejší systém, ktorého rozšírenosť je podmienená najmä otvorenosťou špecifikácie.

Tento systém bol pôvodne zvažovaný pre použitie v MES-1. V dobe rozhodovania sa pre tvorbu vlastného vstupno/výstupného systému však nebolo možné pracovať s návestnou sústavou platnou u nás a existovali aj určité problémy s pripojením systému k PC pomocou USB (príslušné zariadenie používalo konektor RS-232 a vyžadovalo väčšinu jeho signálov).

4.3.2 Lenz Digital Plus

Digitálny systém firmy LENZ[8] patrí medzi najrozšírenejšie systémy svojho druhu. Na rozdiel od predošlého systému, ktorý je založený na ústrednej centrále a relatívne jednoduchých perifériách (miestami), tento systém je založený na pomerne jednoduchej centrále a zložitejších, viac autonómne pracujúcich perifériách. Založený je na sériovom protokole XpressNET vychádzajúcom z RS-485, ktorý však umožňuje odovzdávanie len dvojtavových povelov.



Obrázek 4.2: Štruktúra systému so zbernicou XpressNET

Toto je aj základnou nevýhodou celého systému. Je nutné použiť množstvo adries na jeden prvok, čo zvyšuje cenu dekodérov návěstidiel (s ohľadom na množstvá potrebných návěstidiel) a systém značne predražuje. Jedným z cieľov spracovávaného systému by tak malo byť umožnenie ovládania návěstidiel čo najjednoduchším a najlacnejším spôsobom.

4.3.3 Zimo digital

Výrobok Nemeckej firmy ZIMO[16]. Jedná sa o najprepracovanejší, každopádne aj najdrahší dostupný digitálny riadiaci systém. Ako jediný má k dispozícii ovládacie moduly pre traťové súhlasov, priecestia a dokonca aj pre prenos čísiel vlakov. Jeho základnou nevýhodou je cena.

4.4 Prehľad produktov obslužného software pre modelovú železniciu

V prípade riadenia modelového koľajiska z PC je nutné nad digitálnym riadiacim systémom zvoliť ešte nastavbu - obslužný SW. Často sú k dispozícii balíky obslužného SW, dodávané priamo výrobcom digitálneho systému, existujú však aj softwarové produkty vyvíjané nezávisle na digitálnych systémoch.

4.4.1 Railroad&CO Train Controller

Tento systém vytvorila nemecká firma Freiwald Software[4]. Podporuje použitie na mnohých digitálnych systémoch. Obsahuje editor koľajiska, katalóg vozidiel a rôzne ďalšie doplnky.

Má tiež rozsiahlu podporu automatizácie. Najnižšia verzia, s minimom automatizačných funkcií je k dispozícii v cene 99 EUR.

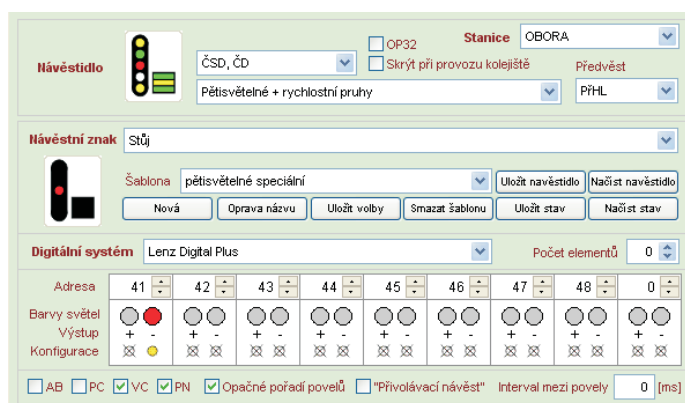


Obrázek 4.3: Obrazovka Train Controller

Základným obmedzením tohto systému je, že umožňuje na jednom návěstidle maximálne 4 návěsti, čo je aj pri prípadnom použití nadstavbovej logiky (ďalej zvyšujúcej náklady na celý systém) značne obmedzujúce (museli by sme oželiť privolávacie návěsti a tiež návěstenie jazdy inou rýchlosťou než je 40 km/h a plná traťová rýchlosť). Takisto neumožňuje realizovať časové súbory ani iné funkcie popísané v časti 3.4 a vzhľad nezodpovedá ZTP-JOP.

4.4.2 ModelJOP

ModelJOP[9] je zrejme jediný, v súčasnej dobe dostupný obslužný software, ktorý dokáže ovládať modelovú železnici v súlade s princípmi uvedenými v kapitole 3. Vyvíja ho spoločnosť Marathon Model s.r.o. Brno, pričom systém je v tejto chvíli v konečnej fáze vývoja. Na základe informácií zo stránky výrobcu by mal systém ponúkať rovnakú paletu funkcií, aká je uvažovaná v MES-2. Odvodenina tohto systému sa zrejme používa aj v školiacom stredisku AŽD v Brne.



Obrázek 4.4: Obrazovka editoru v ModelJOP

Systém je predávaný ako komerčný produkt a v súčasnej dobe je naviazaný výhradne na digitálny ovládací systém Lenz Digital Plus. Systém by mal obsahovať aj vlastný edi-

tor koľajiska, avšak značne zjednodušený, keďže sa primárne predpokladá, že celý projekt vrátane HW dodá a nainštaluje firma Marathon Model. To robí tento systém pre inštaláciu na, hoc väčšom domácom či klubovom, koľajisku len obtiažne nedostupným.

4.4.3 Zhodnotenie

V súčasnej dobe sa v oblasti riadenia modelovej železnice používajú takmer vždy zahraničné softwarové riešenia. Tieto riešenia majú výhodu v dlhoročnom vývoji a tiež v rozsiahlej funkčnosti v oblasti automatizácie riadenia dopravy. To prispieva k jednoduchšiemu ovládaniu a väčšiemu komfortu obsluhy.

Na druhej strane tieto systémy spravidla nerešpektujú normatívne prostredie našich železníc. Návestná sústava ČD/ŽSR je na nich takmer nerealizovateľná, alebo realizovateľná len s výraznými obmedzeniami. Takisto tieto systémy svojim výzorom nezodpovedajú systémom používaným na skutočnej železnici.

4.5 Systém MES-1

Systém MES-1 možno považovať za priameho predchodcu systému MES-2, ktorý je predmetom tejto práce. Vznikol ako ovládací systém pre koľajisko jedného môjho známeho. Všetka riadiaca a čiastočne aj vykonávací logika stavadla je v tomto prípade sústredená v PC, ako periférie sa potom, kvôli zníženiu nákladov, nepoužíva digitálny ovládací systém, ale obyčajné elektronické stavebnice Velleman K8000 a K8055. Pre jazdu vlakov sa na koľajisku používa jednoduchší digitálny riadiaci systém, ktorého možnosti v oblasti riadenia príslušenstva sú značne obmedzené.

Základnou nevýhodou tohto prístupu je, že periférie pripojené k PC vyžadujú konštrukciu netriviálneho radiča, čo spolu s požiadavkami na určitú robustnosť vedie na stále pomerne zložité a nákladné zariadenia. To sa prejavuje aj na cenách ovládacích kariet K8000 a K8055. S kartami K8000 sú pritom na koľajisku značné problémy (často nie je možné sa na kartu pripojiť). Takisto majú tieto zariadenia obmedzený počet vstupov a výstupov, čo už pri systéme MES-1 viedlo k vytvoreniu jednoduchšej vlastnej zbernice používanej na ovládanie návestidiel. Na obsluhu výhybiek zatiaľ postačuje jedna karta K8000. Tieto karty by tiež umožňovali aj zber informácií z detekcie vlaku, avšak softwarovo sa nepodarilo vytvoriť dostatočne rýchly prenos informácií a musel byť použitý komerčný systém od firmy LDT, čo napokon systém značne predražilo.

Kapitola 5

Návrh systému MES-2

5.1 Základné požiadavky a ciele systému

5.1.1 Vlastnosti systému

Cieľom práce je vytvoriť systém, umožňujúci riadenie modelovej železnice spôsobom podobným, ako umožňuje na skutočnej železnici elektronické stavadlo, pričom dôraz je kladený na realističnosť obsluhy. Zariadenie ako také by malo byť pritom prispôsobené reáliám modelovej prevádzky.

S tým súvisí ovládanie v zmysle ZTP-JOP a minimálne náklady na realizáciu. Elektronické stavadlo musí vedieť ovládať základné vonkajšie prvky, teda výhybky a návestidlá, taktiež by malo vedieť získavať informácie o voľnosti koľajových obvodov a na ich základe umožňovať riadenie dopravy.

Pri riadení dopravy by zariadenie malo umožňovať prácu s návestnou sústavou používanou na SŽDC/ŽSR, vrátane návestenia posunu, privolávacej návesti, rýchlostnej návestnej sústavy, predzvestenia a návestenia znížených rýchlostí väčších než 40km/h v rámci možností. Malo by byť skonštruované tak, aby periférne zariadenia nemuseli implementovať nič viac, než jednoduchý sériový protokol a ovládanie výstupov.

Dalej z prevádzky systému MES-1 vyvstala požiadavka na to, aby systém umožňoval ovládanie aj bez použitia PC. Bolo by ďalej vhodné, aby sa celý systém k PC pripájal pomocou jediného rozhrania, najlepšie USB. S ohľadom na rýchlosť je tiež vhodné, aby celá riadiaca elektronika mimo PC.

V práci bude vhodné sa sústrediť na samotné jadro systému. Fyzická realizácia pripojenia k perifériám sa bude líšiť a je možné ju dodatočne realizovať podľa potreby.

5.1.2 Prínosy systému

Realistické ovládanie modelovej železnice dovoľí obsluhu vyskúšať si prakticky prácu riadiaceho personálu skutočnej železnice bez toho, že by svojí počínaním mohla spôsobiť vážnejšie škody. Môže sa tak oboznámiť s návestnou sústavou, základmi riadenia dopravy a priblížiť si procesy prebiehajúce mimo samotný vlak. Oproti rýdzo počítačovým simuláciám má modelová železnica výhodu v tom, že obsluhujúci priamo vidí dosah vydaných povelov na situáciu na koľajisku.

Užívateľovi znalému riadenia dopravy poskytuje systém možnosť vyskúšať si niektoré extrémne prevádzkové situácie. Takýto systém by tiež mohol byť použitý na rekonštrukciu nehodových udalostí.

Prvok	Dolná hranica	Horná hranica
Návestidlá	80	120
Výhybky	60	100
Koľajové obvody	100	150
Traťové súhlasy	10	20
Priecestia	5	10
Súčasne postavené cesty	20	30

Tabulka 5.1: Teoretické limity ovládaných vonkajších prvkov

Oproti systému MES-1 by mal systém priniesť úsporu realizačných nákladov vypustením proprietárneho systému na prenos informácií od detekcie vlaku. Ďalej by mal priniesť rýchlejšie reakčné časy, ktoré sú v prípade MES-1 často v rádoch sekúnd. V neposlednom rade by sa mala zvýšiť celková spoľahlivosť vynechaním problematických I/O kariet, používaných v MES-1.

5.2 Podrobnejšie požiadavky na systém

5.2.1 Konfigurovateľnosť

S ohľadom na univerzálnosť použitia a možnosť ladenia chýb v dátach by systém nemal obsahovať napevno uloženú informáciu o stanici.

K uloženiu týchto dát v MES-1 bol použitý textový súbor vo formáte CSV. Pri použití tohoto formátu sa ukázalo ako veľmi obtiažna editácia a súbor bol neprehľadný. Napriek výhľadovej možnosti tvorby editora, ktorý by užívateľa systému od priamej práce s týmito súbormi odľahčil, je vhodné, aj s ohľadom na zmeny formátu počas vvoja, použiť formát, ktorý by umožňoval jednoduché zásahy do štruktúry aj obsahu. Z tohto dôvodu bude v MES-2 ako preferovaný dátový formát použitý jazyk na báze XML.

Konfiguračné dáta sú dvoch druhov. Prvým sú informácie o rozmiestnení vonkajších prvkov v koľajisku a tiež o schéme zobrazovaného koľajiska. Ďalším typom dát je potom samotná záverová tabuľka obsahujúca jednotlivé vlakové a posunové cesty.

5.2.2 Limity ovládaných prvkov

Komerčný systém od firmy LENZ, popísaný v časti 4.3.2 podporuje 1024 adries pre príslušenstvo, pričom na každú z adries dokáže poslať jednobitový povel vyp/zap. Na jednu výhybku tak potrebuje 2 adresy a na jedno návestidlo 2-5 adries. Ak by sme chceli používať vymoženosti ako posun či privolávacia návesť a k tomu rýchlostnú návestnú sústavu, budeme takmer na všetky návestidlá potrebovať minimálne 5 adries. To znamená, že takýto systém by vedel zvládnuť približne 200 výhybiiek a 100-150 návestidiel. Zvyšok by potom pripadol na spätný ohlas od detekcie vlaku.

Ako etalón najzložitejšieho ovládaného koľajiska tiež môžeme použiť koľajisko s 3. stanicami a približne 10 koľajami na stanicu, spojenými dvojkoľajnou traťou. V prípade koľajisk s väčším počtom staníc spravidla nezostáva dosť priestoru na realizáciu dvojkoľajnej trate. Keď uvážime ku každej koľaji v priemere 2 výhybky, 2 návestidlá a realizáciu troch oddielov traťového ZZ s návestidlami, po pridaní rezervy sa s ohľadom na vyššie uvedené dostaneme na približne nasledovné čísla:

Tieto čísla sú čisto subjektívny odhad najväčšej náročnosti koľajiska a sú uvedené v zásade na orientáciu. Na samotné presné stanovovanie počtu čísel možno skôr použiť fyzické danosti počítačového systému. V každej položke je vhodné ponechať jednu hodnotu vyjadrujúcu neprítomnosť daného prvku. Ďalej napríklad pre súhrnný počet návěstidiel a výhybiek je vhodným limitom 255, aby bolo možné ich vo výstupnej zbernici adresovať 8 bit adresou. Koľajových obvodov je potrebný vyšší počet, s ohľadom na použitie zbernice by opäť ako vhodná horná hranica mohlo byť vzaté číslo 255. Pri výhybkách je spravidla nutné spolu s adresou uložiť aj polohu výhybky, reprezentovanú jedným bitom. Z tohto dôvodu je vhodným počtom pre výhybky číslo do 127. Limity ostatných prvkov je možné voliť v zásade ľubovoľne, s ohľadom na možnosti HW.

5.3 Výber použitých technológií

5.3.1 Obslužný software

Technológie a programové prostriedky na vývoj programu v ovládacom PC vychádzajú v zásade z prvej verzie MES, z ktorej sú prebraté niektoré časti. Jadro obslužného systému MES-1 aj MES-2 je však napísané v čistom C++, vrátane použitia STL. Špecifiká Borlandovského prekladača ako refazcová trieda `AnsiString` sa využívajú len okrajovo, pri napojení na komponenty GUI. Z tohto dôvodu je možné systém portovať aj do iného prostredia a na iný prekladač, a to len s výmenou tried týkajúcich sa GUI a práce s niektorými systémovými prostriedkami. V rámci tejto práce bolo pôvodne plánované aj prenesenie obslužného SW na open-source platformu *MinGW + wxWidgets*, avšak z časových dôvodov a problémov s obsluhou časovačov (známa chyba vo *wxWidgets*, opravená len prednedávnom) sa toto zatiaľ realizovať nepodarilo.

5.3.2 Výber technológie pre realizáciu riadiacej úrovne

Samotnú riadiacu a vykonávaciu úroveň je možné realizovať v každom z dvoch základných zariadení umiestnených na FITkite. Je možno ju riešiť ako software pre MCU a tiež ako návrh blokov v FPGA. Implementáciou zabezpečovacieho zariadenia v FPGA, hoc pre použitie na skutočnej železnici sa zaoberá okrem iného diplomová práca Ing. Martina Zatřepálka z FEL ČVUT[15]. Nejedná sa tiež konkrétne o realizáciu elektronického stavadla, ale o implementáciu reléového ZZ do FPGA. Vo svojej práci rozoberá aj náročnosť takéhoto zariadenia na využitie logických blokov v FPGA. Konštatuje, že jednoduchá doprava s dvoma staničnými koľajami na jednokoľajnej trati zaberá približne štvrtinu prostriedkov FPGA Spartan 3E (rovnaký model je použitý vo FITkite[13]), využívajúc pritom 22% LUT. Ďalší zábor predstavovuje rozhranie na obslužný PC. V implementácii Ing. Zatřepálka to bolo cca. 25% z popisovanej jednoduchej dopravy. Aj keď zariadenie obsahuje funkcie, ktoré možno v modelovej železnici vynechať, implementácia realizovaná v rámci jeho práce pre zmenu neriešila niektoré funkcie, napr. zabezpečenie posunu.

Ak má byť systém použitý na celé koľajisko s viacerými nádražiami, zrejme by sa do FPGA nezmestil. Keďže zariadenie má byť zhotoviteľné aj v relatívne domáckych podmienkach, môžeme zariadenie, vyžadujúce komunikáciu viacerými FPGA, zavrhnúť.

Riešenie s MCU oproti tomu poskytuje aj určitú škálovateľnosť, keďže umožňuje použiť niekoľko prídavných periférií, napr. FLASH pamäte pre uloženie záverovej tabuľky či prídavnej RAM pamäte na ukladanie informácií o stave. Systém zložený z týchto troch prvkov je pritom na fyzickú realizáciu jednoduchší než FPGA so svojim množstvom vývodov. Do-

stupné prostriedky (2Mbit FLASH a použitie SDRAM či BRAM z FPGA) by však mali postačovať na pokrytie aj rozsiahlych modelových koľajísk, a bohato postačujú limitom prvkov uvedeným v časti 5.2.2.

5.3.3 Vývojové prostriedky pre riadiacu vrstvu

Keďže je zariadenie realizované za pomoci FITkitu, na vývoj systému sú použité prostriedky z jeho programovej podpory[13]:

- Prekladač MSPGCC pre preklad jazyka C do inštrukcii MCU
- ISE webpack na syntézu designu FPGA
- terminálové prostredie QDevKit na programovanie a komunikáciu so systémom.

V priebehu vývoja systému vznikla požiadavka na drobné vylepšenie funkcionality QDevKit, ktorá bola jeho autormi aj realizovaná.

5.4 Architektúra systému

Architektúra systému vychádza z architektúry skutočného elektronického stavadla. Táto architektúra sa ukazuje byť na takéto účely vhodná a vhodne rozdeľuje funkcionality medzi jednotlivé úrovne.

Zadávaciu úroveň tvorí obslužný program v PC, riadiaca úroveň je umiestnená v MCU FITkit-u a vykonávacia úroveň, ktorá môže byť buď v samostatných obvodoch alebo dodatočne v FPGA FITkitu.

5.4.1 Obslužný program v PC

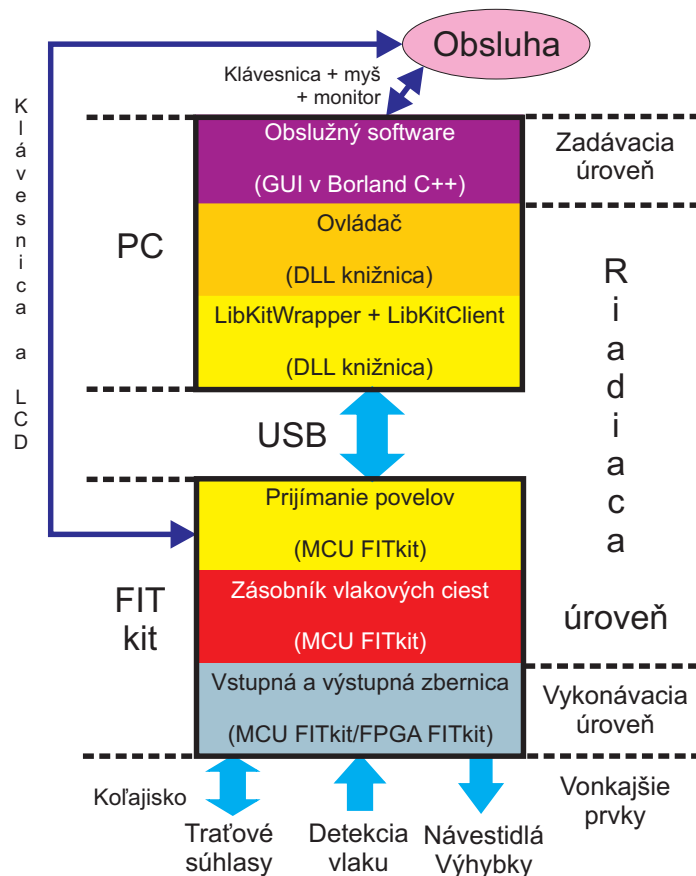
Tento program bude tvoriť rozhranie medzi užívateľom a systémom. Skúsenosti s tvorbou systému MES-1 hovoria, že len samotné obslužné rozhranie PC bude tvoriť pomerne rozsiahly program. Ďalej by bolo vhodné, aby bolo možné novú verziu rozhrania, vytvorenú pre MES-2, spätne použiť s HW pre MES-1. Výhľadovo by potom tento obslužný software mohol byť použitý aj s inými riadiacimi systémami.

Z tohto dôvodu je obslužný program rozdelený na dve časti. Prvou časťou je samotné obslužné rozhranie a druhou časťou je tzv. „ovládač“. Obslužné rozhranie sa má primárne starať o vstup/výstup smerom k užívateľovi a tiež by malo vedieť zabezpečovať načítanie konfiguračných dát. Tieto dáta sú platformovo nezávislé. Ich preklad do formátu a protokolu zrozumiteľného konkrétnej platforme je potom vecou ovládača, riešeného ako dynamicky linkovaná knižnica. K obslužnému SW by malo byť možné vytvárať rôzne ovládače pre rôzne systémy. V práci bude diskutovaný ovládač pre systém založený na FITkit-e.

5.4.2 Riadiaca úroveň v MCU

Riadiaca úroveň v MCU FITkitu bude tvoriť základ celého systému. Bude realizovať samotné zabezpečenie jazdy vlaku, spracovanie voľby vlakovej cesty, povelov obsluhy a záverovú tabuľku. Ďalej bude riadiaca úroveň komunikovať s vonkajšími prvkami, musí teda obsahovať rozhrania na vstup a výstup dát.

Takisto tu pre použitie bez PC musí byť prítomné ovládacie rozhranie. Na komplete FITkit sa pre toto rozhranie ponúka LCD displej a maticová klávesnica 4x4. Riadiaca úroveň ich využije pri spracovávaní povelov



Obrázek 5.1: Architektúra systému MES-2

5.4.3 Komunikácia počítač - mikrokontrolér

Počítač je s mikrokontrolérom spojený pomocou USB spojenia. V mikrokontroléri je s ohľadom na použitie jazyka C a rýchlosť dekódovania použit fixnú dĺžku príkazu. Väčšina príkazov, ktoré môže zadávací úroveň vydať, má 1-2 parametre. Aj z dôvodu lepšej laditeľnosti je tak vhodné použiť textovú komunikáciu obsahujúcu kód povelu a ďalšie dva bajty s jeho parametrami.

5.4.4 Komunikácia mikrokontrolér - vonkajšie prvky

Fyzické zabezpečenie komunikácie s vonkajšími prvkami môže byť zabezpečené rôznymi spôsobmi a nie je priamou súčasťou tejto práce. Môže byť riešené viacerými spôsobmi, napr. zbernicou I2C, bežnou sériovou komunikáciou či zbernicou so špeciálnym protokolom. Na koľajisku na ktorom bude systém testovaný je k dispozícii pre vstupnú aj výstupnú zbernicu radič umožňujúci komunikovať na báze jednoduchého jednostranne riadeného sériového prenosu. Pri prezentácii práce sa naopak predpokladá komunikácia s FPGA, v ktorej bude realizované rozhranie na demonštračnú dosku.

5.5 Požiadavky na komunikáciu

V systéme je nutné realizovať dva procesy. Prvým procesom je jeho inicializácia. Konfiguračné dáta sú uložené v XML súboroch na disku počítača a je nutné tieto dopraviť do mikrokontroléru a uložiť ich v jeho FLASH pamäti. Ďalej je nutné na základe týchto dát inicializovať operačnú pamäť, menovite tú časť, kde budú uložené stavové informácie.

5.5.1 Inicializácia a programovanie častí

Ukladanie informácii do kitu môže prebiehať dvomi spôsobmi. Prvým spôsobom je vytvorenie obrazu pamäti FLASH v PC, do ktorého budú následne vložené všetky údaje a tento bude naraz nahraný do FITkitu s využitím funkcií bootloderu. Tento spôsob by si vyžadoval rozšírenie komu protokolu o funkcie na riadenie takéhoto prenosu. Ďalšia nevýhoda tohto spôsobu spočíva v tom, že bude zakaždým prepísaná celá pamäť FLASH. Vzhľadom k tomu, že väčšina zabraného priestoru padne na vlakové cesty a ich indexáciu bude pritom v skutočnosti nutné prepisovať spravidla iba malú časť dát. Tento prístup teda môžeme považovať za nevhodný.

V systéme bude teda využitý programovací protokol, ktorý na základe povelov ukladá informácie v špeciálnom režime do pamäte. Tento prístup tiež zlepší možnosti ladenia, keďže je možné takéto dáta nahrávať aj cez terminál.

5.5.2 Beh systému

Systém pracuje na základe povelov z riadiacej úrovne. Tieto povely možno rozdeliť na dve časti. Prvou časťou sú povely týkajúce sa jednotlivých prvkov. Medzi takéto povely patrí prestavenie výhybky, individuálne rozsvietenie privolávacej návěsti či zmena súhlasu. Takéto povely nie je možné nijako zlučovať či

Druhou, dôležitejšou skupinou sú povely týkajúce sa voľby ciest. Ako bolo uvedené v časti 2.5, práca zabezpečovacieho zariadenia je popísateľná konečným automatom. Tento je definovaný v prílohe F. Keďže zmena stavov prebieha priamo v riadiacej úrovni, je nutné komunikovať okrem samotnej voľby vlakovej cesty len také povely, ktoré riadia zmenu týchto stavov. To prispeje k výraznému zjednodušeniu protokolu. S ohľadom na dostupnú funkcionálnosť a podmienky uvedené v kapitole 3, tak možno definovať nasledovné povely:

- *Potvrdenie voľby.* V prípade, že riadiaca úroveň zistí, že môže dôjsť, či mohlo dôjsť došlo k nedodržaniu niektorých podmienok, presunie cestu do bezpečného stavu. Táto zmena vyžaduje potvrdenie od obsluhy. Po potvrdení povelu potom riadiaca úroveň podľa stavu koľajiska a podľa zareaguje buď zrušením voľby alebo jej pokračovaním.
- *Odvolaie voľby.* Nepotvrdenie voľby vyžadujúcej potvrdenie, či bezprecedentné zrušenie voľby na základe rozhodnutia obsluhy.
- *Blokovanie voľby.* Pozdržanie vykonávania voľby bez jeho odvolania, sprevádzané zmenou návěstného znaku na stoj. Odblokovanie je možné potvrdením voľby.

Kapitola 6

Implementácia obslužného SW MES-2

Obslužný software pre MES-2 sa skladá v zásade z dvoch častí. Prvou je objektový model, predstavujúci samotné koľajisko. Tento model potom komunikuje s obslužnými objektami. Obslužné objekty odovzdávajú povely od obsluhy, sprostredkujú komunikáciu s riadiacou úrovňou a prístup k prvkom užívateľského rozhrania. Objekty uložené v objektovom modeli potom definujú akcie, ktoré majú obslužné objekty vykonávať. Obslužné objekty sú spravidla riešené formou návrhového vzoru *singleton*.

6.1 Objektový model koľajiska

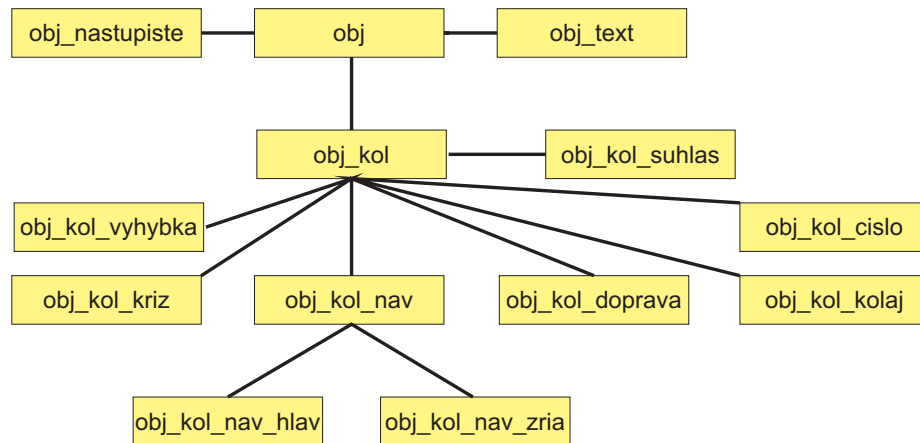
Koľajisko je rozdelené na objekty, ktoré Základom prácnou jednotkou v koľajisku je trieda **abstrakt**. Táto trieda neimplementuje žiadnu funkcionálnosť, slúži len na to, aby mohli byť v prípade potreby všetky druhy objektov ukladané do dátových štruktúr. Z tejto sa potom ďalej odvodzujú tri druhy dátových objektov v programe. Prvým je trieda **obj**, slúžiaca ako základ pre zobrazenie fyzickej štruktúry koľajiska. Ďalšou triedou je trieda **zav_obvod**, ktorá predstavuje jeden koľajový obvod a slúži tak ako základ pre logickú štruktúru koľajiska. Poslednou základnou triedou je trieda **zav_cesta**, ktorá predstavuje jednu cestu. Diagram objektového modelu je k dispozícii v prílohe **D**.

6.1.1 Fyzická štruktúra koľajiska

Fyzická štruktúra koľajiska definuje jednotlivé vonkajšie prvky. Zdrojové súbory týchto tried sú uložené v rovnomennom podadresári. Základná trieda **obj** definuje pozíciu objektu v koľajisku a ďalej funkcie pre vykresľovanie prvku. Tiež je definovaná virtuálna metóda **daj_typ**, ktorá následne za behu umožňuje identifikovať skutočný druh objektu, aj v prípade, že je tento polymorfne odkazovaný iba ako objekt triedy **obj**, alebo prípadne **obj_kol**. Výsek z objektového modelu koľajiska popisujúci fyzickú štruktúru koľajiska je na obrázku **6.1**.

Od triedy **obj** sú potom odvodzované statické objekty. Statické objekty nemajú nič spoločné s jazdou vlaku, ovládaním a slúžia skôr na orientáciu a grafický efekt. Medzi tieto objekty patria texty (**obj_text**) a označenia nástupišť (**obj_nastupiste**). Tieto obsahujú len funkcie na vykresľovanie seba sama.

Ďalej je od triedy **obj** odvodená trieda **obj_kol**. Táto trieda slúži ako základ pre objekty súvisiace s jazdou vlakov. Trieda definuje rozhranie pre obsadzovanie, ovládanie, vyvolanie kontextového menu a prácu s komunikačným poľom.



Obrázek 6.1: Objektový model pre fyzickú štruktúru koľajiska.

Ostatné triedy z nej odvodené toto rozhranie ďalej podľa svojich potrieb predefinujú. Jednotlivé prvky zodpovedajú jednotlivým prvkom v koľajisku a ďalej pridávajú do svojich rozhraní metódy potrebné pre komunikáciu s ovládačom a riadiacou vrstvou, vykreslenie seba sama, výber položiek pre kontextové menu a reakcie na jednotlivé povely myši. Každý prvok potom definuje niektoré ďalšie funkcie na svoje ovládanie.

Výhybka, ktorá je v koľajovej spojke definuje odkaz na závislú výhybku. Vnútorne je tak reprezentovaná ako dvojica spriahnutých výhybiek. Akcia vyvolaná nad jednou z nich vyvolá rovnakú reakciu aj na druhej. Pri adresnom prístupe v koľajovom pláne a ďalej v riadiacej vrstve sa koľajová spojka chová ako jediná výhybka.

6.1.2 Koľajový plán

S objektovým modelom súvisí aj obslužný objekt `sys_plan`. Tento v sebe ukladá odkazy na všetky prvky objektového modelu koľajiska a umožňuje k nim prístup. Prístup k nim je umožnený dvomi spôsobmi:

- Ako k dvojrozmiernej matici prvkov, v ktorej je každý prvok definovaný svojou súradnicou. Tento prístup sa využíva pri reakcii na žiadosti z ovládania, kde sa prvok vyberá na základe pozície myši. Matice je ďalej využité pri vykresľovaní celého plánu.
- Adresne, pomocou číselnej adresy každého prvku. Tento prístup je použitý pri komunikácii s ovládačom a následne riadiacou úrovňou, ktorá už skutočné polohy objektov nevyužíva, a kde číselná reprezentácia adresou je na prenos informácií a spracovanie najvhodnejšia.

Ďalej pomocou metódy `vykresli` dochádza k prekresleniu koľajového reliéfu a pomocou metódy `zrus_komunikaci` je možné nárazovo uviesť celý plán do stavu bez komunikácie, čo je využité pri zistení výpadku komunikácie s riadiacou úrovňou.

6.1.3 Načítanie z XML

Keďže Borland C++ Builder 6, v ktorom je systém vytváraný, ešte neobsahuje žiadnu podporu XML na úrovni štandardných knižníc ani VCL, bola na načítanie XML parseru využitá jednoduchá komponenta `LibXMLParser` od Stefana Haymanna[6].

Táto komponenta je jednoduchý udalosťami riadený textový parser XML. Keďže sú však štruktúry XML súboru pomerne komplikované, bola nad týmto parserom vytvorený ešte parser jednoduchého DOM. Tento DOM má k dispozícii triedu `xml_node` pre značky a `xml_attribute` pre atribúty XML. Umožňuje jednosmerné prechádzanie s možnosťou návratu, nastavovanie a získavanie hodnôt. Pri načítaní je XML súbor pomocou `LibXMLParser` prevedený do DOM a až z tohto DOM sú potom načítané jednotlivé objekty.

Samotné načítanie objektov potom rieši trieda `load_plan`, ktorá prechádza štruktúru DOM a postupne načítava objekty logickej štruktúry koľajiska (viď ďalej) a následne objekty z fyzickej štruktúry v týchto objektoch. Všetky objekty sú potom ukladané do dátových štruktúr objektu `sys_plan`.

6.2 Logická štruktúra koľajiska

Pri voľbe vlakových ciest a práci s vlakovými cestami je použitie rýdzo koľajového plánu veľmi nepružné. Bolo by nutné hľadať cestu v pláne niektorou z neinformovaných prehľadovacích metód a všetky dátové štruktúry by pracovali s množstvom objektov. Takisto pre riadiacu úroveň je zbytočné pracovať s celým fyzickým plánom.

Z tohto dôvodu bola implementovaná aj logická štruktúra koľajiska. Logická štruktúra koľajiska kopíruje rozmiestnenie koľajových obvodov a jej vzťah k fyzickej štruktúre je homomorfný, jeden koľajový obvod predstavuje množinu prvkov fyzickej štruktúry. Výhybky a návěstidlá pre svoju bodovú povahu zostávajú nedotknuté.

Logickú štruktúru koľajiska predstavuje trieda `zav_obvod`. Táto trieda potom odkazuje na objekty, ktoré sú súčasťou koľajového obvodu. Tie na objekty tejto triedy odovzdávajú všetky operácie týkajúce sa ovládania, obsadzovania a práce so závermi. Všetky tieto operácie sa s riadiacou úrovňou komunikujú len na báze koľajových obvodov. Funkcie triedy `zav_obvod` potom zabezpečujú

Ďalšou, triedou v rámci logickej štruktúry je trieda `zav_obvod_kolaj`. Táto trieda predstavuje staničnú koľaj, ktorá môže byť zložená aj z viacerých koľajových obvodov. Funguje vo vzťahu ku objektom triedy `zav_obvod` podobne ako fungujú tieto vo vzťahu k fyzickým objektom. To znamená, že zmena v stave jedného z obvodov v koľaji sa prostredníctvom objektu prenesie aj na stav ostatných obvodov.

6.3 Voľba vlakových a posunových ciest

Základným vykonávanou činnosťou na systéme je riadenie dopravy voľbou ciest. Toto zabezpečuje objekt `sys_volba`. Do tohto modulu je tiež vložená záverová tabuľka a zásobník postavených ciest. Voľba cesty prebieha klikaním na prvky v koľajovom reliéfe spôsobom uvedeným v prílohe C. Pri voľbe sa tiež kontroluje správne poradie volených prvkov a časový limit, uvedený v ZTP-JOP. V prípade, že je v objekte uložená voľba celá, odosiela objekt voľbu do riadiacej úrovne. Následne objekt zabezpečuje reakciu na zmenu stavov ciest aktiváciou vysvietenia objektov, zobrazovaním informačných hlásení či vyžadovaním povinne dokumentovaných úkonov.

6.3.1 Načítanie z XML

Načítanie záverovej tabuľky je riešené rovnako ako načítanie objektov koľajového plánu uvedené v časti 6.1.3. Načítanie DOM realizuje trieda `load_zavtab` a načítajú sa len ob-

jekty triedy `zav_cesta`. Tieto objekty sú potom vkladané do záverovej tabuľky v objekte `sys_volba`.

6.4 Užívateľské rozhranie

Užívateľské rozhranie je implementované v zmysle ZTP-JOP, tak ako je popísané v prílohe C

6.4.1 Napojenie na VCL

Jadro systému je napísané v čistom C++. Z tohto dôvodu je nutné ho napojiť na komponenty GUI, využívajúce borlandovskú GUI komponentnú knižnicu VCL. Toto zabezpečujú dve triedy pre formuláre, pomenované `TForm1` a `TForm2`. Názvy boli zámerne ponechané takto, aby boli jasne odlišené od jadra. S jednotlivými komponentami týchto dvoch tried potom pracujú obslužné objekty.

Trieda `TForm1` obsluhuje hlavné okno aplikácie. Obsahuje takmer všetky VCL prostriedky, ktoré ESM potrebuje ku svojmu chodu. Najdôležitejšie je samotné okno s komponentou `PaintBox` v ktorej sa vykresľuje reliéf koľajiska. Ďalej je na nej komponenta `MenuBar`, do ktorej sa vykresľuje kontextové menu a samozrejme ostatné komponenty, do ktorých sa zobrazujú dáta pre komunikačné pole a zásobník ciest. Ďalej obsahuje časovače (systémové `Timery`), použité na približný odpočet času a spúšťanie niektorých udalostí (sťahovanie stavu z riadiacej úrovne, blikanie, prekresľovanie, limitovanie voľby, ...).

Trieda `TForm2` potom obsahuje už len dialóg na potvrdzovanie povinne dokumentovaných úkonov potvrdzovacou sekvenciou ASDF.

6.4.2 Zobrazovanie koľajového reliéfu

Zobrazovanie koľajového reliéfu zabezpečuje obslužný objekt `sys_plan`, spomínaný v časti 6.1.2. Vykresľovanie koľajového plánu potom prebieha tak, že sa po riadkoch prejde matica koľajového plánu a na každom objekte sa volá jeho metóda `vykresli`.

6.4.3 Ovládanie systému

Ovládanie systému rieši obslužný objekt `gui_ovládanie`. Tento objekt preberá od formulára `TForm1` udalosti súvisiace s obsluhou myši a klávesnice. Následne na ich základe vyvoláva jednotlivé obslužné úkony. Stará sa tiež o vykresľovanie reliéfného kurzoru v časti pre koľajový reliéf.

6.4.4 Kontextové menu

Kontextové menu sa zobrazuje na vyhradenom mieste obrazovky. O jeho plnenie sa stará obslužný objekt `gui_dropmenu`. Objekt pracuje s `ListBox` komponentou `MenuBar` vo formulári `Form1`. Ďalej je tu pole štruktúr `gui_dropmenu_item`, ktoré tvorí kód položky a zobrazovaný názov. Kódy položiek sú uložené vo výčte `kod_dropmenu` v súbore `enum.h`. Kontextové menu sa zobrazuje na žiadosť objektov v koľajisku

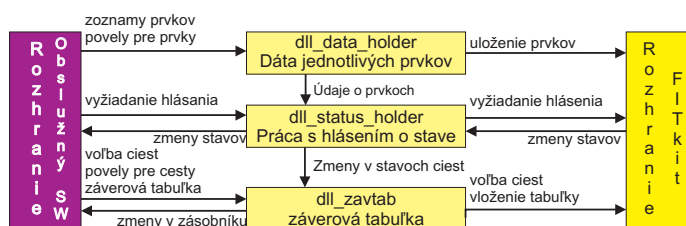
6.4.5 Zobrazovanie a zadávanie informácií

O zobrazovanie informácií sa skladá obslužný objekt `gui_displayman`. Tento objekt pracuje so zobrazením zásobníku vlakových ciest a komunikačným poľom. Tiež zabezpečuje obsluhu

pomocného textového hlásenia *MERIA ČAS*, spúšťaného pri aktivácii časového súboru v riadiacej úrovni a tiež vyobrazenia aktívnych privolávacích návěstí.

6.5 Ovládač prepojujúci obslužný SW a riadiacu úroveň

Ovládač je pomerne jednoduchá dll knižnica, ktorá transformuje povely z obslužného SW do komunikácie s FITkitom. Pre transformáciu týchto povelov využíva niekoľko tried, ktoré v sebe ukladajú zjednodušenú podobu dát prichádzajúcich zo zadávacej úrovne. Komunikácia so zadávacou úrovňou prebieha pomocou definovaného rozhrania volaním funkcií. Ovládač tak funguje ako plugin. Do ovládača sú odovzdávané informácie zjednodušenou podobou a adresované už len číselnými adresami. V ovládači sa tieto transformujú do povelov komunikačného protokolu s FITkit-om a odovzdávajú na kit. Pri vyžiadaní informácie o stave sa zasa stavové informácie transformujú do volaní funkcií obslužného SW.



Obrázek 6.2: Bloková schéma ovládača

6.5.1 Komunikácia s riadiacou úrovňou

Ku kompletu FITkit je k dispozícii knižnica *libkitclient*. Táto knižnica obsahuje prostriedky pre autodetekciu pripojeného FITkit-u, nadväzovanie spojenia a následne terminálovú komunikáciu. K tejto knižnici je potom pripojený ovládači pomocou knižnice *libkitwrapper*, popísanej v nasledujúcom texte a rozhrania *fitkit_adapter*. Toto rozhranie umožňuje robustné nadväzovanie spojenia s FITkitom, detekciu výpadku spojenia s následným odoslaním informácie do obslužného SW a tiež štart aplikácie bez spojenia s kitom či reštartovanie spojenia za behu.

6.5.2 Knižnica *libkitwrapper*

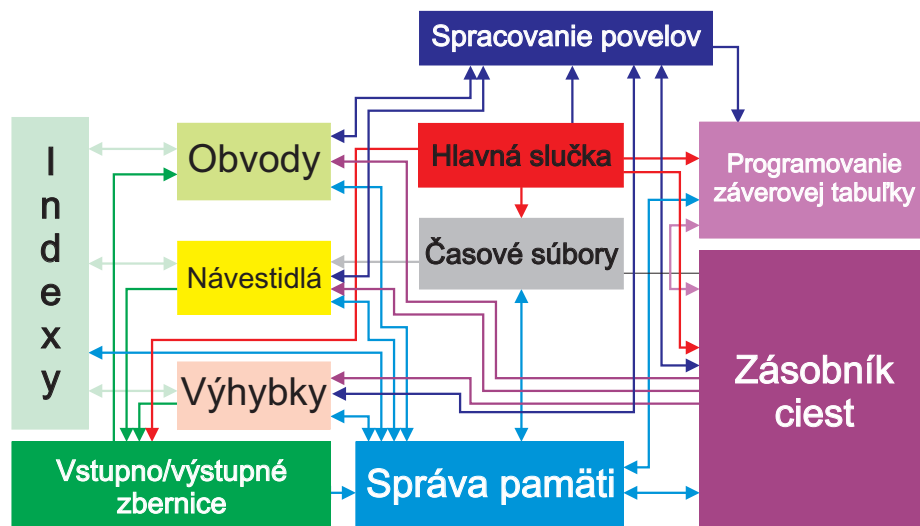
Pri implementácii komunikácie s knižnicou *libkitclient* sa ukázalo, že knižnicu vytvorenú gcc s volaniami vo volacom štandarde C++ nie je možné prilinkovať k ovládaču vytvorenému v prostredí *Borland C++*. Pokus o preloženie *libkitclient* prekladačom *Borland C++* nedopadol úspešne a ako riešenie tohto problému bola napokon vytvorená v C++ s použitím prekladača GCC ešte ďalšia knižnica, ktorá má rozhranie vo volacej konvencii jazyka C. Táto knižnica bola pomenovaná ako *libkitwrapper* a je vložená medzi ovládač a knižnicu *libkitclient*. Takto vytvorenú knižnicu už nebol problém k ovládaču prilinkovať.

Knižnica neslúži iba ako 1:1 wrapper na knižnicu *libkitclient*. Pri jej tvorbe som sa rozhodol ju naimplementovať tak, aby poskytovala jednoduché rozhranie pre aplikáciu, ktorá chce len komunikovať s kitom pripojeným k PC pomocou terminálu.

Kapitola 7

Implementácia riadiacej a vykonávacej úrovne

Riadiaca a vykonávacia úroveň je naimplementovaná . Väčšina informácií týkajúcich sa FITkitu je čerpaná z jeho internetových stránok[13]



Obrázek 7.1: Blokové schéma riadiacej úrovne so znázornenými volaniami

7.1 Jadro riadiacej a vykonávacej úrovne

7.1.1 Obsluha periférii

Obsluha LCD využíva vstavaný radič LCD FITkitu. Samotná obsluha je riešená dvoma spôsobmi. Prvým je funkcia `send_reply_lcd`, ktorá dokáže zapísať informáciu o výsledkoch príkazu na LCD. Ďalšie príkazy pre obsluhu LCD sú potom vložené do obsluhy klávesnice.

Obsluha klávesnice prebieha programovo, bez využitia prerušenia. Obsluhu rieši modul `klavesnica.c`. Základom je funkcia `keyboard_idle`, ktorá sa stará o odchytávanie impulzov z klávesnice. Táto je doplnená funkciou na dekodovanie špeciálnych znakov (A,B,C,D) a

tiež funkciou, ktorá po zadaní celého príkazu tento preloží do formátu povelu a zaradí na vykonanie.

Obsluha terminálu prebieha pomocou funkcií *libfitkit*. K nim je ďalej k dispozícii funkcia `send_reply_term`, ktorá umožňuje odosielanie informácií z programu na terminál.

7.1.2 Práca s pamäťami

Program využíva pre svoju prácu dva druhy pamätí. Prvou je BRAM umiestnená v FPGA, ktorú používa na uloženie dát potrebných za behu. Druhou pamäťou je pamäť FLASH, kde sa uchováva záverová tabuľka, niektoré perzistentné konfiguračné údaje o koľajisku a rôzne indexy. Pamäti BRAM bola daná prednosť pred pamäťou SDRAM, keďže bola potrebná len malá časť pamäti a radič pre BRAM je rádovo jednoduchší.

Samotná práca s pamäťou je potom zapuzdrená do modulu `ram.c`. Tento modul obsahuje rozhranie na prístup k obom druhom pamätí, tvorené inline funkciami. Ostatné časti systému potom k pamätiam pristupujú výhradne pomocou tohto rozhrania. Modul ďalej obsahuje funkcie na inicializáciu pamätí pri programovaní, alebo štarte systému. Takéto riešenie pomohlo minimalizovať chyby a umožnilo ladenie prístupov k pamäti s možnosťou výpisu skutočných zapisovaných alebo čítaných adries.

7.1.3 Reálny čas

Pre potreby rôznych funkcií program využíva jednoduchý obvod na prácu s reálnym časom. Tento obvod využíva časovač v MCU, s periódou čítania 1s. Tento v prerušení následne inkrementuje premennú `cas`, ktorá je typu *unsigned char*, a používa sa na niektoré doplnkové výpočty. Hlavne však pri inkrementácii nastavuje premennú `cas_tik`, ktorá v ďalšom behu hlavnej slučky vyvolá obsluhu časových súborov. Vďaka tomu je možné presne odmeriavať časové intervaly.

7.1.4 Hlavná programová slučka

Hlavná slučka programu je sústredená do funkcie `main`. Pri spustení slučka vykoná inicializáciu všetkých periférií a spustí hlavnú slučku. V hlavnej slučke potom prebehne vždy najprv obsluha zásobníku, ďalej sa zisťuje, či dorazil povel a ak áno, vykoná sa. Ďalej sa v každej slučke obsluži vstupná zbernica, terminál a klávesnica. Výstupná zbernica sa obsluhuje po 500 prechodoch hlavnej slučky a časové súbory sa obsluhujú po tiku časovača.

Indikácia behu programu je riešená pomocou diód D5 a D6. Stav diódy D5 (zelená) sa preklápa s každým tikom obvodu reálneho času a stav diódy D6 sa preklápa vždy po 500 prebehnutiach hlavnej slučky programu. Porovnaním rýchlostí zmien týchto dvoch diód je tiež možné subjektívne vyhodnotiť aktuálnu rýchlosť behu programu.

7.1.5 Spracovanie povelov

Povely sa do systému dostávajú dvoma kanálmi. Prvým je terminálové pripojenie do PC. Ďalej sa povely môžu zadávať na klávesnici. Prednosť pri spracovaní majú vždy povely z PC. V prípade, že je zadaný úplný povel z klávesnice, čaká tento až na slučku, v ktorej nie je zadaný povel z PC.

Povely z terminálu sa dekodujú v dvoch úrovniach. Najprv sú povely dekodované do číselnej podoby s oddelením argumentov. Povely z klávesnice prichádzajú už v tomto formáte

Prvok	Limit
Návestidlá	157
Výhybky	99
Koľajové obvody	255
Traťové súhlasy	31
Priecestia	31
Súčasne postavené jazdné cesty	30

Tabuľka 7.1: Konkrétne limity aplikované v systéme MES-2

a táto úroveň sa ich netýka. Poveľy sú následne dekódované funkciou `decode_buscommand`, ktorá na základe kódu povelu volá príslušnú funkciu.

Tabuľka povelov aj s popisom komunikačného protokolu je umiestnená v prílohe.

7.2 Prvky v koľajisku

7.2.1 Limity prvkov riadiacej úrovne

S ohľadom na teoretické limity uvedené v časti 5.2.2, a na základe priestoru pre uloženie odkazov na jednotlivé adresy boli napokon v systéme implementované nasledovné technické limity:

7.2.2 Návestidlá

Návestidlá spravuje modul `navestidla.c`. Základom tohto modulu je funkcia `get_signal`, ktorá sa stará o prepočítavanie návestnej sústavy.



Obrázek 7.2: Pamäťová mapa návestidla

Návestené môžu byť rýchlosti 40, 60, 80 a $100\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Ostatné rýchlosti nie je nutné uvažovať, keďže na ich návestenie sú nutné návestidlá s číslicovými indikátormi, ktoré sú nateraz modelových mierkach nerealizovateľné.

7.2.3 Výhybky

Modul pre prácu s výhybkami je uložený v zdrojovom súbore `vyhybky.c`. Výhybku je možné považovať za najzložitejší prvok, keďže je pri jej prestavovaní nutné uvažovať najviac podmienok.



Obrázek 7.3: Pamäťová mapa výhybky

Na funkciách `switch_set` a `switch_close` je možno demonštrovať prácu logiky zabezpečovacieho zariadenia pri overovaní podmienok.

7.2.4 Koľajové obvody

Pri koľajových obvodoch sa sleduje či je na obvode záver alebo nie, ďalej sa tu sleduje obsadenosť obvodu a dohľad s komunikáciou.

	Cesta	Por UBP	Hold	Zme na	Kom	Záver	Zav2	Uvol neny	Obsa deny
--	--------------	------------	-------------	-----------	-----	--------------	------	--------------	--------------

Obrázek 7.4: Pamäťová mapa koľajového obvodu

Špecifickým problémom spracovania informácií z koľajových obvodov sú zákmity vstupnej zbernice, ku ktorým dochádza pri medzných stavoch tranzistorov detekcie vlaku pri obsadzovaní a uvoľňovaní úseku. V prípade, že by bolo nutné ošetrovať tieto zákmity až softwarovo na úrovni MCU¹, je k dispozícii v pamäti položka `Hold`, ktorá umožňuje vkladať rezervu na tri iterácie overenia stálosti uvoľnenia obvodu. Ideálnym riešením je však vždy ošetriť tieto zákmity ešte v zbernici.

7.3 Záverová tabuľka

7.3.1 Ukladanie záverovej tabuľky

Záverová tabuľka je uložená v posledných max. 128 kB pamäti FLASH. Cesty sa do tabuľky ukladajú odzadu, keďže adresový priestor pre uloženie tabuľky sa prekrýva s priestorom pre uloženie indexu. Tento postup vyplýva zo zistenia, že s ohľadom na čo najúspornejšie rozmiestnenie koľajových obvodov bude mať väčšina ciest ďaleko menšiu veľkosť, než je počítaných 45 B. Takýto postup umožní uloženie o niečo väčšieho množstva ciest. Samotná

Vlak	Pos un	Nudz	Počet KO		Rýchlosť	Preklz výhybky	Preklz obvody
Počet výh.		Dĺžka		Blok KO	Smer	Súhlas	

Obrázek 7.5: Pamäťová mapa stavových informácií o vlakovej ceste

cesta sa skladá zo všeobecnej informácie, ktorá je uložená v prvých 5 bajtoch. Zdrojové a cieľové návěstidlo sa neukladá, takisto ako variantné body. Tieto informácie sú súčasťou indexu vlakových ciest, popísaného nižšie. Na prvých štyroch bajtoch sú uložené všetky dáta, týkajúce sa druhu cesty. Uložená je tu rýchlosť, navoliteľné druhy cesty a tiež informácia o počtoch obvodov a výhybiiek vo vlakovej ceste. Tieto sú potom uložené za týmito dátami. Dáta o obvode obsahujú len adresu, dáta o výhybke aj vyžadovanú polohu výhybky.

7.3.2 Index vlakových ciest

Pre jednoduchosť a rýchlosť bol index vlakových ciest implementovaný ako jednoduchý troj-úrovňový asociatívny. Skladá sa zo statickej časti a z dynamickej časti. Statickú časť tvorí

¹Čo je nutné robiť aj napr. na pomerne drahej implementácii zbernice S-88 v MES-1

pole odkazov na indexy zdrojových návěstídel. Toto pole je adresované pomocou adresy návěstidla. Hodnotou je potom odkaz do dynamickej časti, na ktorej je uložený počet cieľov. Za počtom cieľov podom nasledujú odkazy na jednotlivé ciele. Odkaz obsahuje adresu cieľa, počet variánt a odkaz na začiatok popisu variánt. Tento odkaz vedie na počet variánt spojenia bodov, za ktorým sú ďalej uložené variantné body. Pri každej sade variantných bodov je uložený odkaz na samotnú cestu, na ktorú odkazuje.

7.3.3 Zásobník vlakových ciest

S ohľadom na určitú úsporu dát je systém navrhnutý tak, že si v prípade výhybkových obvodoch na zhlaviach neukladá informáciu o susedných obvodoch. Takisto systém nedokáže v prípade výhybkových obvodov určiť aktuálne susediace obvody vo vlakovej ceste. Z tohto dôvodu som sa rozhodol realizovať zásobník ciest iným spôsobom, než je tomu na skutočnom elektronickom stavadle. Kým na elektronickom stavadle sa cesta po postavení a rozsvietení dovoľujúceho znaku zo zásobníku maže, v MES-2 zostáva cesta v zásobníku uložená po celú dobu svojej existencie, až do jej zrušenia. To umožňuje neustále kontrolovať polohu výhybiek aj poradie obsadzovaných a uvoľňovaných obvodov a ochranu pred narušením jazdnej cesty.

	Poradie	Pred	VCO	Zme na	Vlak	Pos un	Nudz	0	Stav	
	Adresa cesty					Adresa cesty				
	Počiatkové náv.					Veľkosť vo FLASH				

Obrázek 7.6: Pamäťová mapa položky zásobníka vlakových ciest

Z tohto dôvodu však nie je možné zásobník implementovať ani ako FIFO frontu. Keďže čas od postavenia cesty po jej zrušenie či rozpad je všeobecne náhodný, nerušia sa cesty zo zásobníka v takom istom poradí ako sú doň vkladané, ale v náhodnom poradí. Z tohto dôvodu bol ako dátová štruktúra reprezentujúca zásobník zvolený jednosmerný linerárny zoznam. Každá položka obsahuje odkaz na číslo ďalšej položky. V hlavnej slučke zásobníka, v ktorej dochádza aj k mazaniu rozpadnutých vlakových ciest si ešte systém pamätá číslo predošlej položky, ktoré potom použije.

Po vložení navolenej cesty (zadaním typu cesty, počiatku, cieľa a variantných bodov) prebieha pridanie cesty do zásobníka tak, že sa prejde pole, v ktorom je zásobník uložený. Pri nájdení neobsadenej položky program vloží novú cestu na túto položku a následne ju vloží na koniec. V režime voľby do zásobníka je cesta uložená na koniec, v režim prednostnej voľby je uložená na začiatok zásobníka. Odoberanie zo zásobníka potom prebieha ako v lineárnom zozname. Využíva sa pri tom pomocná premenná v ktorej sa uchováva odkaz na predošlú položku.

7.3.4 Povelý

Z dôvodu umožnenia zadania povelov z klávesnice boli povelý popísané v časti 5.5 mierne pozmenené. Povel na zrušenie voľby bol doplnený o možnosť zrušenia povelu podľa adresy návěstidla a tiež bol dopracovaný povel na zrušenie blokovania, ktorý na rozdiel od potvrdenia voľby tiež používa adresu návěstidla. Doplnený bol tiež špeciálny povel na rušenie núdzového záveru cesty.

Ďalšími povelmi implementovanými v zásobníku ciest sú povelvy vydávané interne. Takýmito povelmi sú ukončenie časového súboru a priame zablokovanie cesty z dôvodu jej narušenia. Implementácia povelov je pomocou funkcií realizujúcich niektoré prechody v konečnom automate modelujúcom systém.

7.4 Časové súbory

Časové súbory implementuje v riadiacej úrovni modul `cassubor.h`. Dáta pre časové súbory pozostávajú z dvoch častí. Prvou je adresa prvku, ktorého sa daná udalosť týka, a druhou je informácia o čase zostávajúcim do vypršania časového súboru. Pri každom nastavení premennej `cas_tik` (viď časť 7.1.3), sú všetky časové súbory prejdené a zostávajúci čas je dekrementovaný o 1. Toto riešenie umožňuje odmeriavať časy od 1 do 255 sekúnd. Vzhľadom na to, že najväčším časovým intervalom je zrušenie vlakovej cesty pred blížiacim sa vlakom, so 180 sekundami, toto riešenie s rezervou postačuje. Po odmeraní celého času a jeho poklese na nulu je volaná funkcia príslušného objektu, ktorá zabezpečí buď prechod cesty do iného stavu, alebo v prípade PN návěstidla jeho prechod do návěstí stoj.

Časový súbor pre danú adresu je ďalej možné predĺžiť, poprípade zrušiť. Na jeden prvok môže byť naraz naviazaný len jeden časový súbor. V systéme môže súčasne bežať maximálne 32 časových súborov.

7.5 Indexy

7.5.1 Všeobecné indexy

Okrem indexu vlakových ciest sa v systéme používajú aj iné indexy. Tieto indexy slúžia na uchovanie informácií o vzťahoch prvkov v koľajisku. Primárne slúžia k určeniu toho, v ktorom koľajovom obvode sa nachádzajú ostatné prvky. Na toto slúžia indexy `csindex` a `stindex`. Prvý obsahuje 1-2 obvody, ku ktorým je naviazaná výhybka/koľajová spojka, a druhý obsahuje informáciu o tom v ktorom obvode sa nachádza návěstidlo. Táto informácia je využívaná pri voľbe vlakových ciest.

7.5.2 Index pre blokové podmienky

Posledným indexom pre úplnú blokovú podmienku sa skladá z dvoch stránok pamäte FLASH. V prvej sú uložené adresy ľavých susedov príslušných obvodov, v druhej stránke zasa súradnice ľavé. Pri kontrole blokovej podmienky sa uvažuje buď požadovaný smer kontroly, poprípade sa za splnenie ÚBP požaduje pri uvoľnení obsadenie susedného obvodu v ľubovoľnom smere.

Tento index počíta s tým, že každý obvod susedí na každej strane najviac s jedným obvodom. Táto podmienka platí na trati a na staničných koľajách. V prípade zhlaví je počet susediacich obvodov všeobecne neobmedzený a konkrétnu dvojicu susediacich obvodov je nutné určiť na základe postavenia výhybiek. Vtedy sa podmienka pomocou tohto indexu nerealizuje a namiesto toho je na tento účel, ako aj na kontrolu rozpadu vlakových ciest, použitá upravená implementácia zásobníka vlakových ciest, spomenutá v kapitole 7.3.3.

7.6 Vstupná a výstupná zbernica do koľajiska

Vstupná zbernica je realizovaná jedinou funkciou `inbus_work`. Táto je volaná z hlavnej slučky a prijme postupne informácie o stave všetkých obvodov v koľajisku. Na adrese 0 (ktorá nesmie byť adresou žiadneho obvodu) funkcia očakáva informáciu o stave napájania. Informácia o stave napájania je stav zvláštného detekčného prostriedku, ktorý je napevno prepojený odporom. Táto informácia je potrebná, keďže na modelovej železnici pracuje detekcia vlaku sériovo s vlakom a je závislá na tom či daným obvodom prechádza prúd. V prípade výpadku napájania tak všetky koľajové obvody začínajú hlásiť voľno.

Takýto stav je s ohľadom na postavené vlakové cesty nežiadúci, aj keď sám o sebe nie je nebezpečný (vlak bez napájania sa nepohnú). Uvoľnenie koľajových obvodov však vyvolá reakcie v zásobníku vlakových ciest s možnosťou rozpadu ciest a následným prehodením výhybky pod stojacim vlakom. Z tohto dôvodu sa po negatívnej informácii o stave napájania všetka informácia o obsadenosti úsekov zahadzuje až do doby jeho obnovenia.

Výstupná zbernica je uložená v súbore `outbus.c`. Výstupné povely sú uložené vo fronte. Pridanie povelu do zbernice prebieha pomocou funkcie `outbus_add`. V tejto funkcii sa povel pridá na koniec fronty. Fronta je nateraz obmedzená na 31 povelov. V prípade, že je fronta plná, vracia funkcia hodnotu `false`. V prípade, že by sa takáto veľkosť niekedy ukázala ako nedostačujúca, sú k dispozícii rezervy na jej zväčšenie v závislosti od dostupnej pamäti.

Povely z výstupnej zbernice sa odosielajú vo funkcii `outbus_work`. Táto funkcia je volaná raz za 500 prebehov hlavnej slučky programu. Toto oneskorenie je použité z dôvodu zmenšenia prúdovej záťaže na obvody výhybiek, ktorá je pri použití indukčných prestavničkov značná. Pri každom zavolaní funkcie sa vykonáva len jeden povel.

V prípade potreby je možné vykonať povel prednostne. V takom prípade sa z ktoréhokoľvek miesta použije funkcia `outbus_preferance`, ktorá okamžite vyšle povel a odstráni všetky povely v zbernici týkajúce sa danej adresy.



Obrázek 7.7: Testovanie systému na koľajisku

Kapitola 8

Testovanie a prevádzkové nasadenie systému

8.1 Vnútorne testovacie nástroje

Keďže počas vývoja nemohlo byť na testovanie využívané priamo pripojenie k modelovému koľajisku, boli do riadiacej úrovne implementované testovacie funkcie. Testovacie funkcie obsluhujú špeciálne povely, zadávané na klávesnici. Pomocou týchto funkcií je možné simulovať vstupy z koľajiska, konkrétne z detekcie vlaku a z externých traťových súhlasov. V priebehu prác boli tiež využívané funkcie na prestavenie výhybky bez použitia výstupnej zbernice, ktorá už po jej implementácii s ohľadom na jej funkciu nemajú uplatnenie.

Tieto testovacie nástroje umožnili priebežné skúšanie niektorých vlastností systému a s ich pomocou sa podarilo odhaliť niekoľko, hoc menej významných, návrhových chýb.

8.2 Testovanie s pripojeným koľajiskom

Koľajisko bolo tiež pripojené na koľajisko u známeho, na ktorom bol realizovaný systém MES-1. Systém MES-2 bol zapojený do vykonávacej elektroniky MES-1. Na tomto koľajisku bolo vykonaných niekoľko testov s rozsiahlejšou stanicou a bola ním tiež riadená bežná prevádzka na koľajisku.

8.2.1 Testovanie blokových podmienok

V súvislosti s popisovanou nehodovou udalosťou v železničnej stanici Moravany (kap. 3.2.4) bola na koľajisku vykonaná drobná séria testov blokových podmienok. Systém MES-2 obsahuje implementáciu základnej ÚBP pre staničné koľaje, tak ako bola definovaná v správe o nehode [5]. Pri rekonštrukcii udalosti na modelovej železnici máme výhodu, že v prípade ťahaných vozidiel môžeme určiť, ktoré vozidlo bude detekované a ktoré nie, keďže dvojkoľesia vozňov na detekciu vyžadujú úpravy dvojkoľesí.

Pri prvom teste bola ÚBP vyradená nevložením príslušných údajov o závislostiach ÚBP. Na zmiznutom osobnom vlaku boli použité vozne bez upravených dvojkoľí. Odizolovanie rušňa bolo vyriešené jeho nabehnutím na papier. Následne bol vlak pustený na koľaj. Po nabehnutí rušňa na papier došlo po stanovenej dobe k uvoľneniu koľaje a systém umožnil na takúto koľaj postaviť vlakovú cestu. Prípadnej nehode by tak nebolo možné zabrániť.

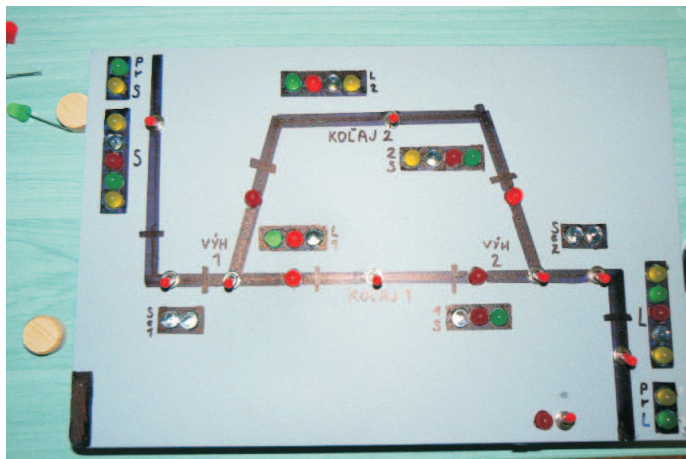
Pri druhom teste bola ÚBP zapnutá. Po nabehtutí rušňa na papier systém vyhlásil systém pri uvoľňovaní poruchu úplnej blokovej podmienky na staničnom koľajovom obvode a podržal tento obsadený. Na prvý pohľad sa tak zdá, že implementácia tejto funkcie by mohla pomôcť takýmto nehodám zabrániť. V prestávke sa ukázala aj jedna z nevýhod tohto systému. V stanici sa nachádza jeden problematický koľajový obvod, kde vďaka zatiaľ nezistenému skratu dochádza k náhodnému obsadeniu koľajového obvodu. Kým bez použitia ÚBP dôjde len k chvíľkovým obsadeniam obvodu, pri použití ÚBP dochádzalo k falošným poplachom ÚBP. To by mohlo časom spôsobiť zníženie ostražitosti obsluhy.

Napokon bol otestovaný aj jednoduchý protipríklad prezentovaný pri vyšetovaní, ktorý v správe zohľadnený nebol. Pri manipuláciách v železničnej stanici často dochádza k odpojovaniu vozňov. V prípade, že sa bude jednať o súpravu vozňov s kotúčovými brzdami, ktoré boli bez problémov odizolované v Moravanoch, dôjde pri prípadnom odpojení vozňov k vybaveniu ÚBP odstupujúcim rušňom, a koľaj bude opäť falošne vydávaná za voľnú. Aj tento protipríklad bol jednoduchým testom potvrdený.

Na základe vykonaných testov môžeme skonštatovať, že hoci by toto doplnenie riadiacej úrovne zabezpečovacieho zariadenia pomohlo určitým spôsobom zvýšiť bezpečnosť, ale celkové zvládnutie takejto situácie len úpravou ZZ, tak ako je v správe uvedené, by bolo značne problematické.

8.3 Úpravy systému pre demonštráciu BP

Aby bolo možné systém prezentovať bez nutnosti prenášať vonkajšiu elektroniku MES-1 či dokonca celého koľajiska, bolo vytvorené jednoduché rozhranie na prvky v koľajisku, využívajúce FPGA vo FITkite. Taktiež bola vytvorená demonštračná doska, na ktorej sú znázornené všetky dôležité prvky malej stanice.



Obrázek 8.1: demonštračná doska

Pripojenie týchto prvkov je realizované pomocou sady registrov v FPGA. Tieto registre sú potom pomocou SPI adresovateľné z MCU. Výstupná zbernica v MCU tak miesto vydávania povelov na vonkajšiu zbernicu odošle príslušnú informáciu do FPGA, kde sa táto nastaví do registru. Následne sa na základe informácie v tomto registre nastavia príslušné vonkajšie výstupy, ktorý je potom pripojený k demonštračnej doske.

Kapitola 9

Záver

9.1 Zhodnotenie práce

V rámci práce sa podarilo navrhnuť a implementovať jadro a obslužný software riadiaceho systému pre modelovú železnicu. Tento systém po stránke vzhľadu a funkcionality zodpovedá najmodernejšiemu zabezpečovaciemu zariadeniu používanému na skutočnej železnici. Dôležitým výsledkom tiež je, že celú riadiacu a vykonávaciu úroveň systému, sa podarilo implementovať do jediného jednočipového mikrokontroléru, s využitím základných externých periférii (FLASH pamäť, externá RAM, externé vstupno – výstupné zariadenia). A to vrátane zásobníka jazdných ciest a celého zabezpečenia jazdy vlakov. To umožní realizovať takýto systém s minimálnymi nákladmi na obstaranie. Systém bol testovaný v praxi na modelovom koľajisku, s využitím častí pôvodného systému MES-1, ktorý na danom koľajisku časom nahradí. Plánuje sa tiež využitie MES-2 na koľajisku Klubu železničných modelárov v Považskej Bystrici.



Obrázek 9.1: Pohľady na modelové koľajisko

Samostatným prínosom je obslužný software, poskytujúci realistické ovládacie rozhranie pre systém, vrátane funkcií ako povinne dokumentované úkony či poruchové hlásenia, ktoré iné riadiace systémy, ani rýdzo počítačové simulácie neobsahujú. Systém tak spája jednoduché riadenie modelovej dopravy s vysoko realistickým zážitkom pre obsluhu. Môžeme tak skonštatovať, že ciele vytýčené v tejto práci boli splnené.

9.2 Možné rozšírenia systému

Možnosti rozšírenia sú takmer neobmedzené. V dohľadnej dobe plánujem dopracovať niektoré, doposiaľ nezahrnuté či nedopracované funkcie, napríklad rozhrania pre traťové súhlasy a ovládanie priecestí. Nakoľko sa celý systém podarilo vložiť do staršej verzie FITkit-u, využitie FITkit 2.0, ponúkajúceho podstatne výkonnejšiu MCU, umožní aj významné rozšírenie funkcionality. Napríklad implementáciu rozhrania na protokol DCC, ktoré by systému umožnilo priamo riadiť jazdu vlakov.

Samostatnou kapitolou sú možnosti rozšírenia obslužného SW. Je možné riadiacu úroveň vynechať a do ovládača riadiacej úrovne vytvoriť napr. rozhranie na komerčné digitálne systémy. Taktiež by bolo možné ovládač zameniť za simulačný systém, ktorý by umožňoval rýdzo počítačovú simuláciu práce dispečera. Medzi ďalšie plány patrí tiež editor koľajiska a automatická tvorba záverovej tabuľky.

O prípadnom možnom nasadení systému na skutočnej železnici si nie je možné robiť ilúzie. Podmienky kladené na takéto zariadenia patria k najprísnejším a systém by ani po doplnení vypustenej funkcionality a redundancie tieto požiadavky zďaleka nespĺňal. Možno ho však, vrátane riadiacej úrovne, použiť ako základ, na ktorom je možné vyvíjať a testovať nové, pokročilé. technológie v oblasti riadenia a automatizácie železničnej dopravy. Tieto následne môžu byť prenesené do skutočných systémov. Vytvorenie systému pre inteligentné automatické zostavanie sledu vlakov na základe predpripraveného grafikonu, s demonštráciou práve na tomto zariadení, by mohlo byť vhodným námetom pre diplomovú prácu.

Literatura

- [1] ESA-11, elektronické staniční zabezpečovací zařízení [online].
<http://www.azd.cz/produkty/systemy-pro-kolejovou-dopravu/produkty/stanicni-zabezpecovaci-zarizeni/esa-11-elektronicke-stanicni-zabezpecovaci-zarizeni/>, 2009 [cit. 2009-05-02].
- [2] CHUDÁČEK, V.; et al: *Železniční zabezpečovací technika*. Praha: ČVUT, 2005.
- [3] DUDÁK, J.; KOLEJ, J.: Koridorové trate ŽSR, centrum riadenia dopravy Trnava. Seminár SVTS dopravy, 10 2008.
- [4] Traincontroller auf einen Blick [online].
<http://www.freiwald.com/pages/traincontroller.htm>, Revised: 04/15/2009 [cit. 2009-05-09].
- [5] HANDL, S.; MIKLEND, M.: Srážka vlaku Lv 72641 s vlakem Os 5011 v žst. Moravany. Zpráva o výsledcích a šetření MU [online].
http://www.dicr.cz/uploads/Zpravy/MU/MU_Moravany.pdf, 2008-09-26 [cit. 2008-09-30].
- [6] HAYMANN, S.: destructor.de - The .Free Delphi Site [online].
<http://www.destructor.de>, 2007-11 [cit. 2008-10-20].
- [7] KONVALINKA, M.; MALÝ, Z.: Srážka vlaku R 663 se stojící soupravou v žst. Čerčany u Prahy. Zpráva o výsledcích a šetření MU [online].
http://www.dicr.cz/uploads/Zpravy/MU/MU_Cercany.pdf, 2008-06-25 [cit. 2009-05-13].
- [8] Digital Plus by LENZ [online]. <http://lenz.com/techinfo/index.htm>, 2008 [cit. 2009-05-08].
- [9] webové stránky ModelJOP [online]. <http://modeljop.cz>, [cit. 2009-05-09].
- [10] *Železniční zabezpečovací zařízení. Staniční a traťové zabezpečovací zařízení. Norma TNŽ 34-2620*. Olomouc: Správa Železniční Dopravní Cesty, s.o., 2008.
- [11] SEDLÁŘ, J.; BALEK, J.: *Železniční návěsti. Učebnice předpisu ČD D1*. Olomouc: JERID, 1998, ISBN 80-86206-02-5.
- [12] The Multi-protocol All-In-One box [online].
<http://www.rjftrains.com/intellibox/intellibox.htm>, [cit. 2009-05-09].
- [13] VAŠÍČEK, Z.; et al.: Webové stránky FITkit [online].
<http://fit.vutbr.cz/fitkit/>, 2008-04-28 [cit. 2009-05-13].

- [14] ŠVESTKA, J.: *Jednotné obslužné pracoviště ČD. Základní technické požadavky*. České Dráhy, s.o., Čtvrté vydání, 2002.
- [15] ZATŘEPÁLEK, M.: *Zabezpečovací zařízení pro železniční stanici založené na FPGA*. diplomová práce, FEL ČVUT, Praha, 2008.
- [16] ZIMO, die Modellbahnsteuerung der Zukunft [online]. <http://modeljop.cz>, 2008-01 [cit. 2009-05-09].

Příloha A

Vysvetlenie používaných skratiek

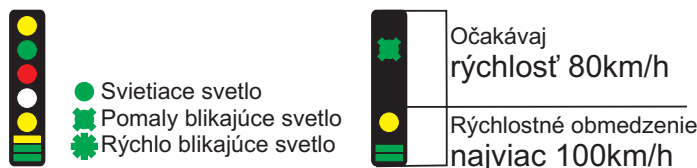
- **AŽD**: Automatizace Železniční Dopravy, s.r.o.
- **DI ČR**: Drážní inspekce České republiky
- **DOM**: Document Object Model
- **ESA**: Elektronické stavadlo AŽD
- **FPGA**: File Programmable Gate Array
- **KO**: Kolařový obvod
- **MCU**: Micro controller unit
- **MES-1**: Modelové Elektronické Stavadlo prvej generácie
- **MES-2**: Modelové Elektronické Stavadlo druhej generácie
- **PN**: Privolávací návest'
- **SZZ**: Staničné zabezpečovacie zariadenie
- **SŽDC**: Správa Železniční Dopravní Cesty, s.o.
- **TZZ**: Traťové zabezpečovacie zariadenie
- **UBP**: Úplná bloková podmienka
- **VCL**: Visual Component Library
- **XML**: eXtensible Markup Language
- **ZTP-JOP**: Základní technické požadavky jednotného obslužného pracoviště
- **ZZ**: Zabezpečovacie zariadenie
- **ŽSR**: Železnice Slovenskej Republiky, š.p.

Příloha B

Popis návěstnej sústavy SŽDC/ŽSR

Obsah tejto prílohy je spracovaný s využitím predpisu *D1 SŽDC*[11].

Na tratiach v Českej a Slovenskej republike sa používa rýchlostná návěstná sústava. To značí, že návěst dávaná na svetelnom návěstidle vyjadruje informáciu o rýchlosti, ktorou môže vlak ísť. Iným typom návěstnej sústavy je smerová návěstná sústava, používaná napr. vo Veľkej Británii. V smerovej sústave hovoria návести o tom, ktorým smerom pôjde vlak na zhlaví krytom týmto návěstidlom a informáciu o rýchlosti si rušňovodič implicitne odvodí zo svojich znalostí o trati.



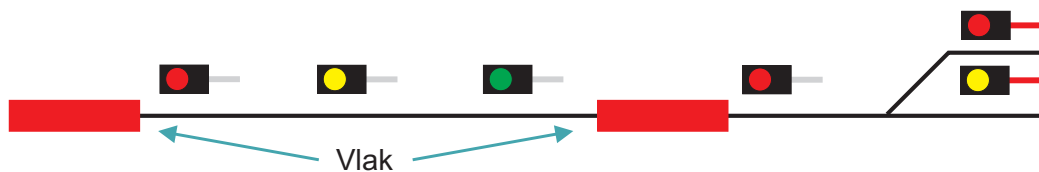
Obrázek B.1: Návěstidlo a význam návести

Návěstná sústava sa skladá z dvoch častí. Prvou časťou je informácia o dovolenej rýchlosti vlaku pri prejazde okolo návěstidla. Táto informácia je závislá na type a polohe výhybiiek a iných okolnostiach. Základné používané rýchlosti 40 km/h, 60 km/h, 80 km/h a 100 km/h sa vyjadrujú kombináciou svetiel a pruhov. Ostatné rýchlosti sa návestia číselným indikátorom na ktorom svieti desatina rýchlosti.

Z dôvodu dlhej brzdnéj dráhy vlaku je nevyhnutnou súčasťou návěstnej sústavy aj tzv. predzvestenie. Predzvestenie je informácia o návesti na nasledujúcom návěstidle, ktorá umožňuje rušňovodičovi včas zareagovať. Na návěstidle sa predzvestný znak zobrazuje hore a obmedzenie rýchlosti, ak je, sa zobrazuje dole.

V časti vyhradenej rýchlostným znakom je tiež umiestnené červené svetlo (pri návěstidlách určených len pre posun modré - takéto návěstidlá potom pre jazdu vlaku neplatia), vyjadrujúce súhlas s jazdou. Ak červené svetlo svieti je rušňovodič povinný pred návěstidlom zastaviť. V opačnom prípade, ak na návěstidle svieti iná zmysluplná kombinácia svetiel, môže okolo návěstidla prejsť pričom sa musí riadiť návěstou. Ak návěst nedáva zmysel, alebo nesvieti nič, musí to rušňovodič považovať za návěst stoj.

Návěstidlá môžu mať rôznu funkciu. Vchodové návěstidlá sa umiestňujú na začiatok dopravne a informujú vlak o tom či môže bezpečne vojsť do stanice. Vchodové návěstidlá môžu mať samostatné predzvesti, čo je návěstidlo ktoré informuje rušňovodiča o návesti na vchodovom návěstidle. Odchodové návěstidlá naopak riadia odjazdy vlakov zo stanice. Ďalej



Obrázek B.2: Autoblok

sa používajú cestové návěstidlá pre riadenie jazdy vlakov v stanici a oddielové návěstidlá rozdeľujú trať na viacero častí a umožňujú tak jazdu viacerých vlakov medzi stanicami naraz. Zriaďovacie návěstidlá slúžia na riadenie posunu a pre jazdu vlaku neplatia. Z tohto dôvodu je na nich návěst stoj nahradená návěstou posun zakázaný, tvorenou modrým svetlom.

Špecifickým prípadom je tzv. autoblok, znázornený na obrázku B.2. Jedná sa o kombináciu traťových a staničných zabezpečovacích zariadení, ktorá umožňuje postavenie oddielových návěstidiel na zábrzdnu vzdialenosť tesne za seba, kde každé oddielové návěstidlo predzvestí ďalšie oddielové návěstidlo, posledné oddielové návěstidlo predzvestí vchodové návěstidlo a odchodové návěstidlá predzvestia prvé oddielové návěstidlo. Takýto systém umožňuje jazdu veľmi vysokého počtu vlakov medzi stanicami naraz.

	Hlavné návěstidlo						Zriaďovacie návěstidlo						
Základné návesti													
	Stoj	Posun dovolený	Privolávacia návесьť				Posun zakázaný	Posun dovolený					
	Očakávaj výstraha	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h	voľno	výstr.	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h		
Dovolená rýchlosť 40km/h													
	Dostatočná zábrzdňá vzdialenosť						Nedostatočná						
	Očakávaj výstraha	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h	voľno	výstr.	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h		
Dovolená rýchlosť 60km/h													
	Dostatočná zábrzdňá vzdialenosť						Nedostatočná						
	Očakávaj výstraha	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h	voľno	výstr.	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h		
Dovolená rýchlosť 80km/h													
	Dostatočná zábrzdňá vzdialenosť						Nedostatočná						
	Očakávaj výstraha	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h	voľno	výstr.	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h		
Dovolená rýchlosť 100km/h													
	Dostatočná zábrzdňá vzdialenosť						Nedostatočná						
	Očakávaj výstraha	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h	voľno	výstr.	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h		
Dovolená max. rýchlosť													
	Dostatočná zábrzdňá vzdialenosť						Nedostatočná						

Obrázek B.3: Prípustné kombinácie návěstí

Příloha C

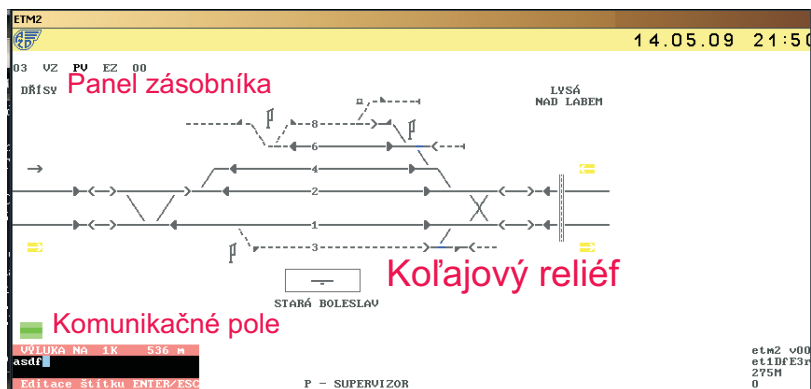
Popis zadávacej úrovně v zmysle ZTP-JOP

Ďalej uvedené informace vycházejú hlavne z obsahu samotného predpisu ZTP-JOP[14].

C.1 Uživatelské rozhranie

Základným uživatelským rozhraním je monitor JOP. Tento monitor sa skladá z niekoľko oblastí. V prípade rozsiahlejších koľajisk sa používa monitorov JOP viacero. Pred žiadnym z dispečerov by však nesmeli byť

1. Koľajový reliéf obsahuje maticu prvkov predstavujúcich jednotlivé vonkajšie prvky koľajiska. Sú usporiadané tak aby schematicky (t.j. nie presne v mierke) znázorňovali jeho tvar.
2. Komunikačné pole. Tento priestor slúži na textovú komunikáciu stavadla s obsluhou. Zobrazujú sa v ňom informačné hlásenia a slúži aj na zadávanie textových informácií (napr. k výluke koľajiska a podobne). Taktiež sa do tejto oblasti umiestňujú pomocné polia, zobrazované pri niektorých úkonoch, ako indikácia činnosti časových súborov či postavených privolávacích návěstí.



Obrázek C.1: Obrazovka systému kompatibilného s JOP. Obraz bol farebne invertovaný.

3. Obslužné menu. Jedná sa o kontextové menu k vybranému prvku koľajového reliéfu, obsahujúce jednotlivé povely.
4. Zásobník vlakových ciest. Slúži na zobrazenie aktuálneho povelu vykonávaného ostatnými úrovňami systému a na riadenie ich behu (spôsob voľby vlakovej cesty, editácia zásobníka ciest).

Ďalej je spravidla súčasťou užívateľského rozhrania ešte zvláštny displej ETM¹. Tento displej slúži na zobrazovanie stavu systému, funkčnosti jednotlivých komponent, porúch vonkajších prvkov, a pod. Jeho chovanie nie je definované v ZTP-JOP, iba je na možnosť existencie tohto monitora miestami odkazované ako na tzv. vyhradenú oblasť.

C.2 Koľajový reliéf

Môže mať k dispozícii aj funkciu tzv. lupy, ktorá zväčší vybranú časť koľajiska, každopádne všetky akcie musia byť vykonateľné aj zo základného zobrazenia².

Tvar a najmä farba grafických prvkov potom indikuje stav daného vonkajšieho prvku, pričom sa používa niekoľko zásad:

- Koľajový úsek alebo výhybka obsadená vlakom je znázornený červenou
- Akýkoľvek prvok, s ktorým nie je možné komunikovať je znázornený fialovou
- Akýkoľvek prvok v zabezpečenej vlakovej ceste je znázornený zelenou
- Akýkoľvek prvok v zabezpečenej posunovej ceste je znázornený bielou
- Prvok v núdzovej ceste alebo s núdzovým záverom je znázornený svetlomodrou
- Akýkoľvek prvok, ktorého stav nemožno v danej chvíli overiť je zobrazený inverzne čiernou na šedom poli
- Akýkoľvek blokováný prvok je zobrazený červnou
- Prvok odovzdaný na obsluhu z iného miesta je zobrazený modrou
- Vylúčené koľajové úseky sú zobrazené v hnedom poli
- Koľajové úseky s výlukou napájania z troleja sú zobrazené v tmavomodrom poli
- Úseky, na ktoré sa vzťahuje upozorňovací štítok alebo iná pomôcka sú znázornené na svetlomodrom poli

Tvar jednotlivých špeciálnych prvkov a prípadné špeciálne tvary sú definované v prílohách k ZTP-JOP.

¹Elektronický technologický monitoring

²Na rozdiel od napr. ESTWP, ktoré požaduje len vlakové cesty a posun možno obsluhovať len z lupy

C.3 Komunikačné pole

Komunikačné pole má dva režimy. Hlavným režimom je zobrazovanie informácií. Tento režim slúži na zobrazovanie informácií o poruchách, chybách obsluhy a tiež o skutočnostiach majúcich vplyv na stavanie navolenej jazdnej cesty. Obsluha je v tomto režime žiadaná potvrdiť oboznámenie sa s týmito informáciami či súhlas s pokračovaním vo voľbe. Do potvrdenia nesmie obsluha vykonávať inú činnosť a tiež nesmie pokračovať voľba vlakovej cesty.

Ďalej je možnosť údaje zadávať. V tomto režime je zobrazené zadávacie textové pole, do ktorého obsluha zadáva textový komentár či povel. Počas zadávania tiež nie je možné vykonávať iné úkony.

C.4 Zásobník vlakových ciest

Je umiestnený v ľavom hornom rohu obrazovky. Má dva riadky, v prvom je číslo zásobníka a tlačidlá VZ, PV a EZ. V spodom je potom zľava druh vykonávanej cesty, označenie cesty a počet ciest.

Tlačidlá VZ a PV prepínajú režim práce riadiacej úrovne. V režime VZ (voľba do zásobníku) sa cesta odosiela do zásobníku, odkiaľ sa potom v potrebnom čase vykoná. Režim PV (priama voľba) sa potom cesta okamžite odosiela do riadiacej úrovne, ktorá sa ju okamžite pokúsi zabezpečiť a v prípade, že sa to nepodarí, oznamuje chybu a cestu zahadzuje.

Voľba EZ potom zobrazí všetky cesty v zásobníku a je tieto možné podľa potreby rušiť.

C.5 Ovládanie

Ovládanie elektronického stavadla je taktiež definované v ZTP-JOP. Je postavené na použití klávesnice a trojtlačítkovej myši, pričom najmä ovládanie myšou v dnešnej dobe už nepôsobí príliš ergonomicky. Najmä použitie pravého tlačidla na iný účel, než je zobrazenie kontextovej ponuky pôsobí pre užívateľa, zvyknutého na klasické ovládanie PC, ťažkosť. Na kurzor myši je tiež kladená požiadavka aby sa nepohyboval voľne ale pri pohybe zodpovedal

ľavé	klik	Začiatok a koniec voľby vlakovej a posunovej cesty
	dvojklik	Začiatok voľby posunovej cesty a voľba variantných bodov
stredné	klik	Začiatok voľby posunovej cesty
	dvojklik	Zobrazenie menu k prvku koľajiska
pravé	klik	Zrušenie posledného úkonu
	dvojklik	Zrušenie celej voľby

Tzn. napríklad pri voľbe vlakovej cesty s variantným bodom výpravca zadá ľavým tlačidlom začiatok vlakovej cesty, následne stredným tlačidlom zadá variantný bod a opäť ľavým tlačidlom zadá koniec cesty.

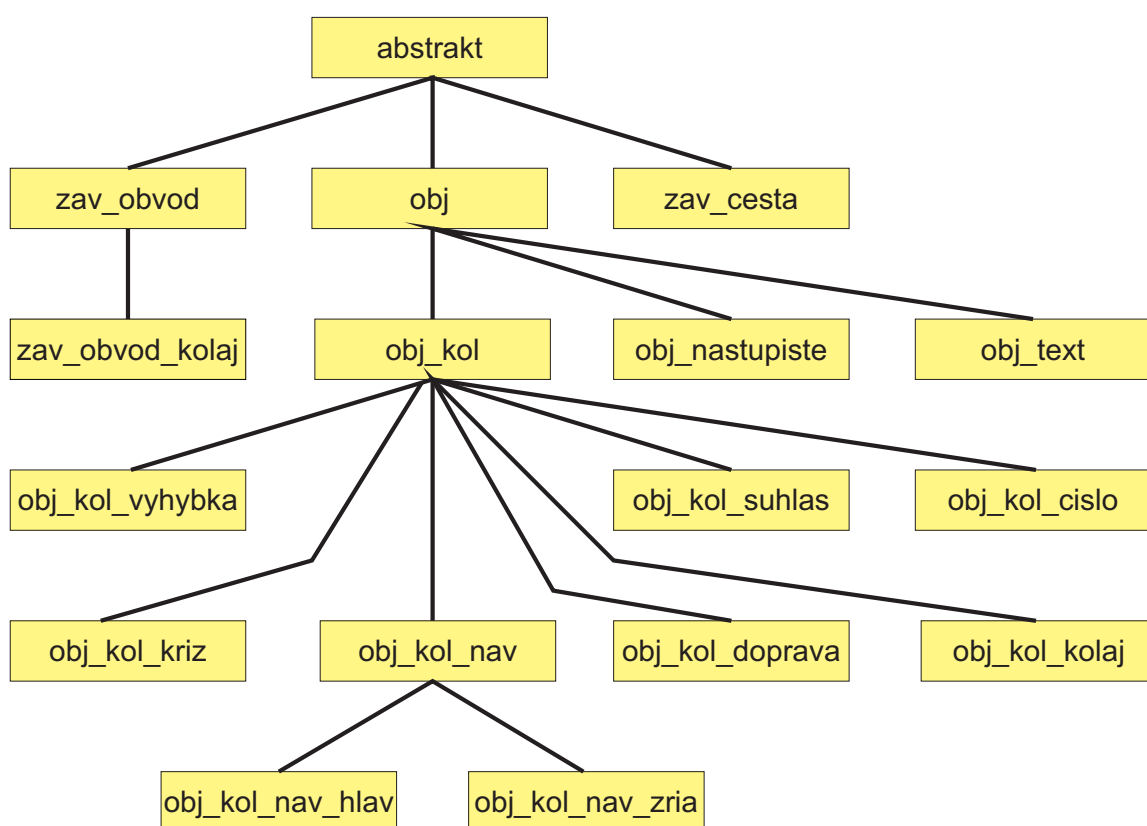
C.6 Dokumentované úkony

V prípade využitia úkonov núdzového zabezpečenia z časti 3.4.5, poprípade ďalších úkonov s potenciálnym rizikom (rušenie výluk, reštart technológií zabezpečovacieho zariadenia) je požadované zadanie potvrdzovacej sekvencie „asdf“. Za týmto účelom dôjde k zobrazeniu

dialógového okna, kde je popis úkonu, miesto, kde sa vykonáva a ďalej všetky potenciálne riziká a skontrolované podmienky súvisiace s úkonom. Tiež je tu pole, do ktorého sa ona potvrdzovacia sekvencia zadáva.

Příloha D

Objektový model koľajiska



Obrázek D.1: Objektový model koľajiska. Úplná verzia

Příloha E

Komunikačný protokol PC–FITkit

Komunikačný protokol má dva režimy. Prvý je programovací, druhý predstavuje samotný beh systému. Z programovacieho režimu sa dá prejsť povelom **START** do režimu behu, prechod naopak nie je možný. Každý režim má vlastnú sadu príkazov. Každý príkaz je po ukončení spracovania zakončený odpoveďou **DONE**. To umožňuje čítanie v PC bez použitia vlákien.

Protokol je v zásade bezstavový, okrem dvoch prípadov. Prvým prípadom je voľba vlakovkej cesty. V tom prípade musí byť najprv odoslaný povel **ROTYP**, nasledovaný nepovinne príkazmi **RTVB1** a **RTVB2** a zadanie sa ukončuje povelom **ROTRA** alebo **ROSIG** v závislosti od druhu ukončenia volenej cesty.

Zložitejšie je potom programovanie vlakových ciest. Programovanie sa zaháji príkazom **SRADD** so zdrojovým návěstidlom a počtom cieľov. Ďalej je zadaný príkaz **DSADD** s definíciou prvého cieľa a počtu variánt. Následne sa už zadávajú údaje o ceste sekvenciou **RTAB1**, **RTAB2**, **RTAS1**, **RTAS2**, **RTAS3**. Ďalej sa podľa informácií o počte prvkov zadávajú obvody a výhybky povelom **RTADS** a **RTADC**. Ak je prvkov nepárny počet, miesto posledného parametra sa použije 0. Zadanie cesty sa ukončuje príklzom **SRADL**. Toto sa opakuje pre každú z variánt. Zadanie variánt sa opakuje potom pre všetky ciele. Pomedzi tieto príkazy je možné zadávať príkazy na vkladanie prvkov, ale sekvencia musí byť vždy dodržaná.

-	000	DONE	-	-	Vykonávanie povelu dokončené
-	002	EADDR	-	-	Chybná adresa
-	003	EPARM	-	-	Chybný parameter
-	004	ESTAT	-	-	Nesprávny režim
-	005	EOCNT	-	-	Prekročenie počtu objektov
-	006	EMEMI	-	-	Nedostatok pamäte
beh	021	SWBLK	adresa	-	Výhybka blokováná
beh	023	SWOCC	adresa	-	Výhybka obsadená
beh	020	SWSTT	adresa	stav	Stav výhybky
beh	030	CRSTT	adresa	stav	Stav obvodu
beh	050	SGSTT	adresa	stav	Stav návěstidla
beh	080	RTIDX	adresa	adresa	Adresa cesty vo FLASH
beh	081	RSIDX	pozícia	-	Pozícia cesty v zásobníku

Tabulka E.1: Odpovede komunikačného protokolu

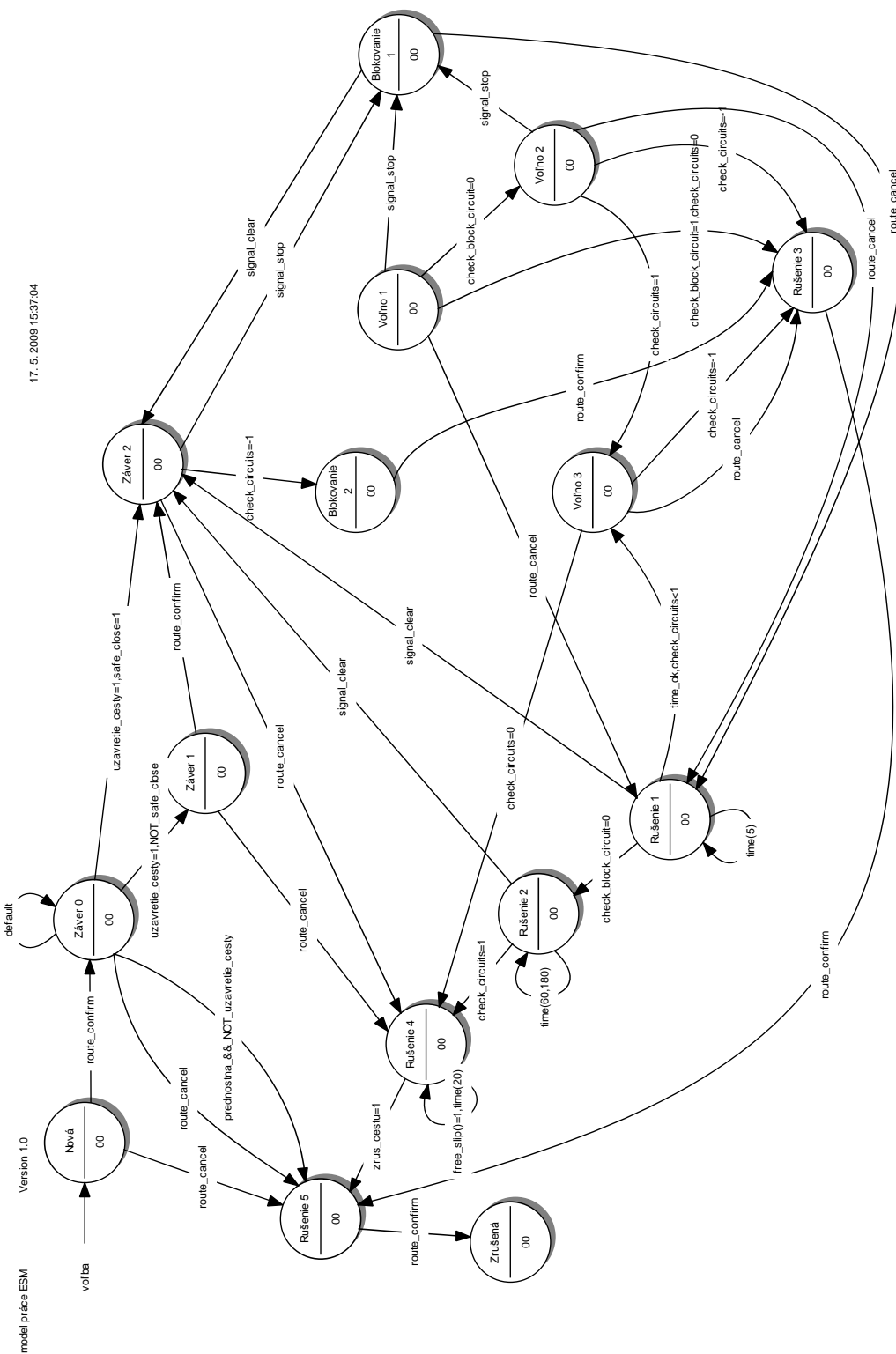
Režim	kód	Textový	Parameter 1	Parameter 2	Popis
-	000	XXX	-	-	prázdne
beh	001	ROTYP	druh cesty	-	Druh volenej cesty
beh	002	ROSIG	počiatok	cieľ	cesta návestidlo → návestidlo
beh	003	ROTRA	počiatok	cieľ	Cesta návestidlo → koľaj
beh	004	RTVB1	bod 1	bod 2	Variantné body
beh	005	RTVB2	bod 3	bod 4	Variantné body
beh	006	RTCNF	pozícia	-	Potvrdenie zmeny / voľby
beh	007	CLROU	adresa	-	Zrušenie cesty od návestidla
beh	008	CLRST	pozícia	-	Zrušenie povelu zo zásobníka
beh	009	SWSET	adresa	poloha	Prestavenie výhybky
beh	010	RTCLR	adresa	-	Rozsvietenie voľnoznaku
prog	020	SWADD	adresa	-	Pridanie výhybky
beh	021	SWRST	adresa	-	Obnovenie základnej polohy
prog	022	SWAC1	adresa	obvod	Vloženie 1. výh. obvodu
prog	023	SWAC2	adresa	obvod	Vloženie 2. výh. obvodu
beh	029	SWDST	adresa	poloha	Ladiace prestavenie výhybky
prog	030	CRADD	adresa	-	Pridanie koľajového obvodu
prog	031	CRADL	adresa	obvod	Pridanie suseda vľavo
prog	032	CRADR	adresa	obvod	Pridanie suseda vpravo
beh	039	CRDST	adresa	poloha	Ladiace prestavenie obvodu
prog	050	SGADD	adresa	-	Pridanie návestidla
beh	051	SGCOS	adresa	-	Privolávacia návesť
beh	052	SGCOP	adresa	-	Predĺženie priv. návsti
beh	053	SGSTP	adresa	-	Rozsvietenie návsti stoj
prog	054	SGADC	adresa	obvod	Pridanie obvodu k návestidlu
prog	140	SRADD	adresa	počet cieľov	Pridanie počiat. návestidla
prog	141	SRADL	-	-	Ukončenie pridávania cesty
prog	142	DSADD	adresa	počet variánt	Pridanie cieľovej koľaje
prog	143	RTAB1	bod 1	bod 2	Variantné body
prog	144	RTAB2	bod 3	bod 4	Variantné body
prog	145	RTAS1	status 1	status 2	Stavové slabiky 1 a 2
prog	146	RTAS2	status 3	status 4	Stavové slabiky 3 a 4
prog	147	RTAS3	adresa	-	Pridanie cieľového návestidla
prog	148	RTADC	obvod 1	obvod 2	Pridanie obvodov
prog	149	RTADS	výhybka 1	výhybka 2	Pridanie výhybiek
-	252	PROG	-	-	Programovací režim
beh	253	GSTAT	-	-	Žiadosť o stav prvkov
-	254	START	-	-	Zahájenie behu systému
-	255	END	-	-	Ukončenie behu systému

Tabulka E.2: Povely komunikačného protokolu

Příloha F

Popis behu systému konečným automatom

Popis je uvedený na obrázku [F.1](#).



Obrázek F.1: Model práce systému

Příloha G

Obsah priloženého CD

Obsah priloženého CD je rozdělený do následovných adresářů:

- Adresář *bin* obsahuje preložené binárky jednotlivých částí SW.
- Adresář *src* obsahuje zdrojové kódy všech částí.
- Adresář *doc* obsahuje programovou dokumentáciu generovanú doxygen.
- Adresář *text* obsahuje tento text správy.
- Adresář *latex* obsahuje latexové zdrojové kódy tejto správy + obrázky.