



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií ■

Řízení modelové železnice pomocí PLC Siemens

Bakalářská práce

Studijní program: N2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 1802T007 – Informační technologie

Autor práce: **Lukáš Kania**

Vedoucí práce: Ing. Jan Koprnický, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechatronics, Informatics
and Interdisciplinary Studies ■

Manage model railroad via PLC Siemens

Bachelor thesis

Study programme: N2612 – Electrotechnology and informatics

Study branch: 1802T007 – Information technology

Author: **Lukáš Kania**

Supervisor: Ing. Jan Koprnický, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš Kania**
Osobní číslo: **M14000038**
Studijní program: **B2646 Informační technologie**
Studijní obor: **Informační technologie**
Název tématu: **Řízení modelové železnice pomocí PLC Siemens**
Zadávající katedra: **Ústav mechatroniky a technické informatiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Proveďte rešerši typů řízení modelových železnic.
2. Analyzujte stav modelové železnice v laboratoři logického řízení TK3 a seznamte se s řídicím systémem a komunikačním protokolem řídicích jednotek.
3. Pomocí PLC Siemens navrhnete a realizujete automatizované řízení fyzikálního modelu.
4. Realizujte vzdálené řízení úlohy.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby dokumentace**

Rozsah pracovní zprávy: **30–40 stran**

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

Seznam odborné literatury:

- [1] **FICHTNER, Jiří. Řízení modelové železnice pomocí PLC. Liberec, 2013. Ročníkový projekt. Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií Technické univerzity v Liberci. Vedoucí ročníkového pro**
- [2] **ŠMEJKAL, Ladislav. Esperanto programátorů PLC: programování podle normy IEC/EN 61131-3. Automa: Časopis pro automatizační techniku. 2011–2014.**
- [3] **BENEŠ, Pavel. Automatizace a automatizační technika: prostředky automatizační techniky. 5., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2014, 304 s. ISBN 978-80-251-3747-5.**

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Koprnický, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Konzultant bakalářské práce:

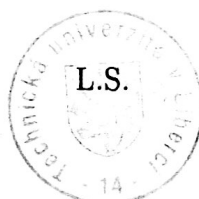
Ing. Vladimír Michna

Katedra textilních a jednoúčelových strojů

Datum zadání bakalářské práce: **10. října 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **14. května 2018**

prof. Ing. Zdeněk Pliva, Ph.D.
děkan



Kolář
doc. Ing. Milan Kolář, CSc.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 10. října 2017

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 7.5 2018

Podpis:



Abstrakt

Práce popisuje analýzování stavu modelové železnice v laboratoři logického řízení TK3. Dále je zde uvedeno, jak jednotlivé ovládací moduly železnice naprogramovat a na jaké úskalí je možné narazit. V této práci jsou dále sepsány různé protokoly a řídicí systémy modelových železnic mimo protokol XPressNet, který je použit v případě modelové železnice v laboratoři TK3. Také je zde popsána realizace automatizovaného řízení fyzikálního modelu a zprovoznění vzdáleného řízení pomocí dotykového ovládacího panelu.

Klíčová slova:

Modelová železnice; Ovládací moduly železnice; Řídicí systémy modelových železnic; Automatické řízení kolejiště; Propojení PLC s kolejištěm; Komunikace RS232; RealTerm; STL; Step 7; PLC Siemens S7-300; Programové bloky; XPressNet; Ovládací dotykový panel;

Abstract

The project describes analysis state of railway in the logic control laboratory TK3. Next there is written how to program control module of railway and what to beware. In this documentation different protocols and control systems are written outside protocol XPressNet, which it is used of model railway in laboratory TK3. There is described realization of automatic control of fyzical model and how to create remote control using the touchtable control panel.

Key words:

Model of Railway; Control moduls of railway; Control systems of model railways; Automatic control of railway; Connection of PLC with railway; Communication RS232; RealTerm; STL; Step 7; PLC Siemens S7-300; Programming blocks; XPressNet; Touchtable control panel

Poděkování

Rád bych poděkoval panu doktoru Koprnickému za skvělé vedení bakalářské práce, panu inženýru Michnovi za pomoc s revizí hardwarové části kolejiště, panu inženýru Hernychovi za rady vedoucí k vyřešení problémů, panu doktoru Diblíkovi za půjčení PLC a dále všem ostatním, kteří mi pomohli dokončit tuto práci.

Obsah

Seznam zkratek	9
1 Úvod	10
2 Seznámení s kolejištěm	11
2.1 Schéma kolejiště	11
2.2 Popis kolejiště	11
2.3 Elektrická trakce	12
2.3.1 Jednoduchá trakce	13
2.3.2 Dvojnásobná trakce	13
2.3.3 Vícenásobná trakce	14
2.4 Lokomotivy	14
2.5 Dokumentace – datasheets	15
2.6 Moduly / Akční členy	15
2.6.1 LH100	15
2.6.2 LZV100	17
2.6.3 LS100	17
2.6.4 LS150	22
2.6.5 LR101	22
2.6.6 LI100	23
2.7 XPressNet protokol	24
3 Možnosti typů řízení	26
3.1 LocoNet protokol	26
3.2 Řídicí centrály	27
3.2.1 Roco Z21	27
3.2.2 Railduino	28
3.3 RailCo – řídicí software	28
4 Programování řízení provozu	29
4.1 Komunikace PLC s kolejištěm	29
4.1.1 Odesílání paketů pro ovládání semaforů a výhybek	30
4.1.2 Odesílání paketů pro základní ovládání lokomotivy	31
4.1.3 Další důležité pakety pro základní řízení kolejiště	32
4.2 Debugovací systémy	32
4.3 Propojení jednotky LI100 a PLC	33

4.4	Seznámení s ovládacím PLC S7-300	33
4.5	Připojení k PLC	34
4.5.1	MPI Adaptér	34
4.5.2	Výběr MPI adaptéru	35
4.6	STEP7	35
4.7	Nastavení hardwarové části programu	35
5	Realizace automatického řízení	37
5.1	Programovací jazyk STL	37
5.2	Programové bloky	37
5.2.1	Organizační blok	37
5.2.2	Datový blok	38
5.2.3	Funkční blok	38
5.2.4	Blok datových typů	38
5.3	Algoritmus	39
5.4	Grafikon	40
5.5	Vzdálené ovládání	41
6	Závěr	42
	Literatura	43
A	Přílohy	47
A.1	Tabulky parametrů modulů	47
A.2	Obsah příloženého CD	48

Seznam zkratek

ABS	Anti-lock Brake System – protiblokovací systém
CPU	Central Processing Unit – Centrální procesorová jednotka – procesor
CTS	RTS/CTS – request to send / clear to send
CV	Configuration Variable – proměnné pro nastavení systému
DC	Direct Current – stejnosměrný proud
DCC	Digital Command Control – řízení digitálními příkazy
DT	Dvojnásobná Trakce
EIA	Electronic Industries Association, asociace elektronického průmyslu
IP	Internet Protocol
MMC	MultiMedia Card
MPI	Multi Point Interface – sběrnice – oblast komunikace a automatizace
OPC	Ole for Process Control – komunikační technologie – klient
PC	Personal Computer – Osobní počítač
PLC	Programmable Logic Controller – Programovatelný logický automat
PMP	Paralel Master Port
PPI	Point to Point Interface – typ sběrnice
RJ45	Registered Jack – 45
STL	Statement List – programovací jazyk
STX	Start of TeXt
TCP	Transmission Control Protocol
TK3	Laboratoř logického řízení
UDP	User Defined Protocol
USB	Universal Serial Bus

1 Úvod

Téma programování modelové železnice pomocí PLC jsem si vybral, neboť mě programování programovatelných automatů nesmírně baví a vzhledem k tomu, že bych se této problematice chtěl do budoucna věnovat, tak výběr tohoto tématu mi přijde jako nejtrefnější. Díky němu si prohloubím znalosti v tomto druhu programování a zároveň se naučím novému způsobu komunikace hardwaru (modelové železnice) a PLC přes protokol XPressNet.

Cílem této práce je zprovoznit modelové kolejiště v učebně TK3 a naprogramovat automatizované řízení tohoto fyzikálního modelu pomocí PLC Siemens. Dále navrhnout vzdálené automatizované řízení kolejiště. Pro úspěšné naprogramování automatizovaného řízení je také nutné seznámení se s řídicími a komunikačními systémy od společnosti Lenz, jejíž moduly jsou nainstalovány na kolejišti.

Způsob komunikace a programování řídicí jednotky železnice je velmi podobný tomu, jak je vše řízeno v automobilu. Je zde řídicí jednotka, která komunikuje a řídí mnoho modulů, které ovládají jednotlivé periferie (v automobilu například jednotka ABS, na naší modelové železnici jednotka ovládající semaforey).

Na modelové železnici je nejprve nutné zprovoznit její elektrickou část tj. zkontrolovat elektrické obvody a zapojení všech modulů tak, aby vše komunikovalo s řídicí jednotkou. Dále je nutné do řídicí jednotky naprogramovat adresy jednotlivých modulů. Tyto adresy se použijí při programování řídicího programu železnice v samotném PLC.

2 Seznámení s kolejištěm

Vizuálně modelové kolejiště v učebně TK3 vypadalo zachovale, ale elektrickou část bylo potřeba zrekonstruovat, zkontrolovat její funkčnost a správnost (i bezpečnost) zapojení. Je nutné zjistit, jestli jsou všechny součásti v pořádku. Každý modul je jednotlivě vyzkoušen a otestován, jestli přes něj lze ovládat periferie k němu připojené a jsou-li periferie funkční. K tomu je potřeba znát jednotlivé adresy výstupů (v defaultním nastavení to jsou většinou adresy 1–4, protože výstupy jsou čtyři), které jsou uvedeny v ročníkovém projektu pana Fichtnera [2]. Jelikož bylo kolejiště nefunkční, tak bylo nutné znovu naadresovat všechny moduly. Jednotlivý řídicí modul má tzv. datasheet¹, ve kterém je možné dohledat veškeré informace, jak k němu přistupovat, testovat jeho výstupy, popřípadě, jak nastavit jeho nové adresy a vlastnosti.

2.1 Schéma kolejiště

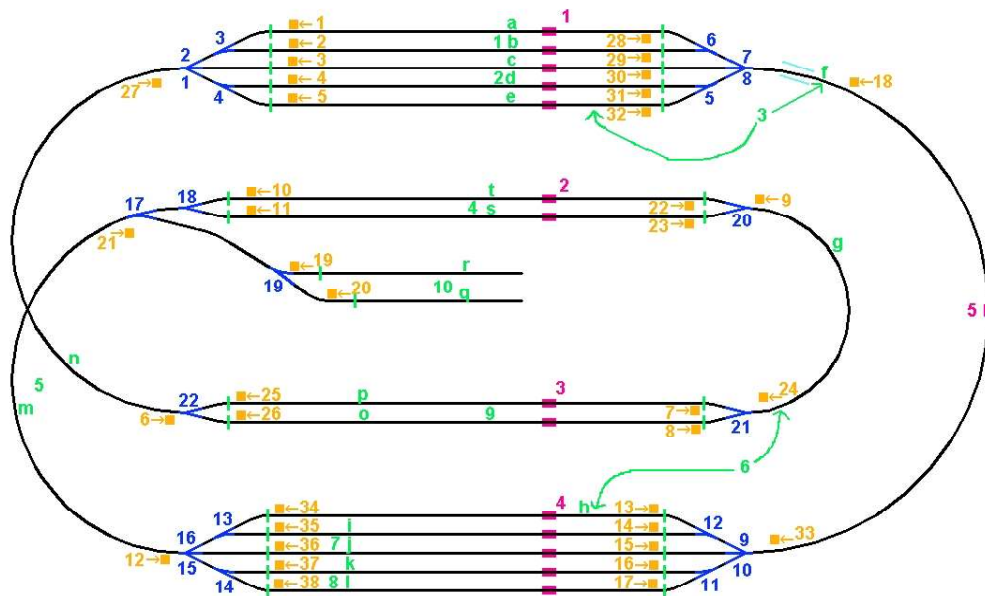
Schéma 2.1 zobrazuje, jak vypadá dráha kolejiště, kde jsou umístěné semaforey, pře-stavníky a rozpřažovače. Každý výstup má svou jedinečnou adresu na železnici, a proto se nemůže stát, že při zavolání libovolné adresy programovatelným automatem se zaktivuje více než jeden výstup (např. semafor).

Modrá čísla 1–22 zobrazují na schématu jednotlivé výhybky, oranžová čísla se čtverečky zvýrazňují semaforey, fialové obdélníky jsou rozpřažovače (ty slouží pro rozdělení vlakové soupravy) a zelená písmena zobrazují úseky napájené jednotlivými výstupy z jednotky LR101 (viz kapitola 2.6.5).

2.2 Popis kolejiště

Ovládání probíhá pomocí soustavy modulů LS od firmy Lenz (pro automatizované ovládání je později přidáno PLC Siemens Simatic řady 300). Předávání informací pro jednotlivé moduly LS probíhá digitálně protokolem XPressNet (více v kapitole 2.7). Pro komunikaci PLC Siemens a protokolu XPressNet (celé kolejiště komunikuje přes protokol XPressNet) zde slouží rozhraní LI100. LI100 a XPressNet komunikuje přes komunikační rozhraní RS232. V schématu 2.2 je popsána struktura zapojení kolejiště. Na kolejišti je osazeno 47 semaforů, 24 přestavníků a 13 rozpřažovačů. Celková velikost kolejiště je asi 2 × 5 m. Kolejiště

¹datasheet: česky katalogový list



Obrázek 2.1: Schéma kolejiště [2]

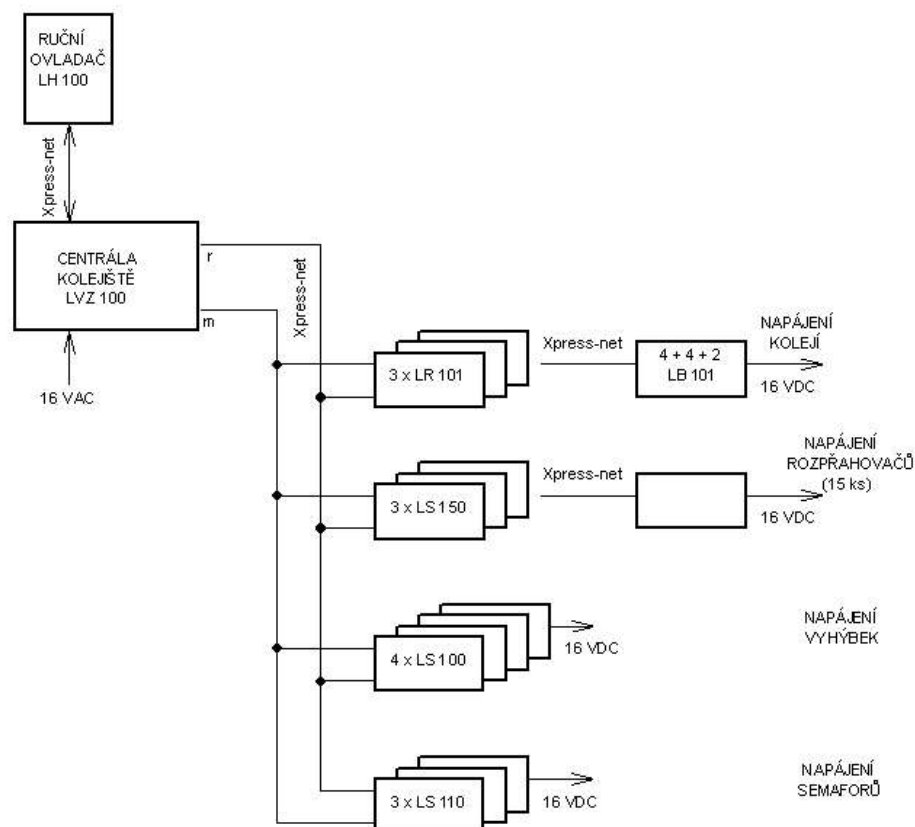
je postaveno v měřítku H0 neboli v měřítku 1 : 87 a je napájeno stálým napětím 16 V.

Po velmi důkladném a dlouhém seznamování s kolejištěm byly nalezeny tyto nedostatky:

- výstup LS100.8 A1 je nefunkční,
- semafor S36 nesvítí, LS150.3 A2 je zničen,
- semafor S24 chybí,

2.3 Elektrická trakce

Elektrická trakce je elektrický pohon zejména vlaků, tramvají, podzemní nebo trolejbusové dráhy, které se využívá i u této modelové železnice. V modelářství je ale další řada způsobů pohonu jako například pohon benzínem či naftou (RC auta). Mezi hlavní výhody elektrické trakce jsou menší znečištění a hluk, vyšší energetická účinnost a nižší provozní náklady. Rozlišujeme trakci nezávislou, kde si vozidlo veze zdroj energie, a závislou s vnějším vedením proudu (naše železnice). Hlavní nevýhodou nezávislé trakce je omezená kapacita a velký objem akumulátorů, u závislé trakce náklady na elektrické vedení.



Obrázek 2.2: Schéma zapojení modulů v kolejišti

2.3.1 Jednoduchá trakce

Jednoduchá trakce znamená ovládání rychlosti a ostatních vlastností jediné lokomotivy. Nejdříve se musí nastavit adresa lokomotivy, kterou chceme ovládat. Na ovladači LH100 se stiskne tlačítko „CL“, zadá se adresa lokomotivy a potvrdí entrem.

Pro pohyb lokomotivy jsou na ovladači šipky nahoru a dolů (tím se určí rychlost pohybu lokomotivy). Pro změnu směru lokomotivy je nutné ji zastavit a tlačítky „<>“ určit její nový směr. Tlačítkem nula se vypíná a zapíná osvětlení vlaku.

2.3.2 Dvojnásobná trakce

Tento termín zní složitěji než doopravdy je. Dvojnásobná trakce (dále jen DT) totiž znamená možnost synchronizovat dvě lokomotivy a ovládat je najednou jako jednu.

Předpoklady pro dvojnásobnou trakci

- DT je dostupná pouze při použití centrály LZ100,
- je nutné každou z lokomotiv, zvolit na stejném ovladači,
- každé lokomotivě je potřeba odeslat jeden jízdní povel,
- rychlost obou lokomotiv musí být při sestavování nulová,
- do DT nelze použít lokomotivu s adresou nula (konvekční lokomotiva). Pokud tak nastane, zobrazí se na ovladači chybové hlášení.

Sestavení a ovládání dvojnásobné trakce

Nejdříve zvolíme první lokomotivu a poodjedeme tam, kde chceme obě lokomotivy spřáhnout. Potom s druhou lokomotivou odjedeme k první (těmito dvěma kroky jsme splnili jednu z podmínek vytvoření DT). Obě lokomotivy musí jet stejným směrem!

Vytvoření DT: Na ovladači LH100 zvolíme volbu F2. Zde se nám zobrazí adresa naposled použité lokomotivy. Po stisku „+“ se zobrazí výzva k zadání adresy druhé lokomotivy do DT. Potvrzením této adresy se vytvoří DT. Obě lokomotivy nyní ovládáme pomocí jedné adresy, která je vždy ta první při tvorbě DT. Pro zrušení DT je nutné vybrat jednu lokomotivu zapojenou v DT a poté zvolit možnost F2 stíknout „-“ a potvrdit enterem.

2.3.3 Vícenásobná trakce

Vícenásobná trakce znamená pouze ovládání více lokomotiv pomocí jedné adresy. Postup, jak vytvořit vícenásobnou trakci není potřeba, neboť toto umí jen centrála s verzí 3 a vyšší a centrála zapojená v kolejišti má verzi 2.2.

2.4 Lokomotivy

Existuje mnoho velikostí modelových železnic a lokomotiv od nejmenších s měřítkem 1:160 až po největší s měřítkem 1:45. Existují také velké modely, do kterých si může sednout i člověk, ale i tak jsou stále považované za železniční modely. Lokomotivy, s kterými pracuji v rámci této práce mají velikost 1:87 a nazývají se H0. Tato velikost je asi nejpoužívanější. Jejich výhodou je, že jsou robustní, ale pro jejich velikost je také nutné daleko více prostoru. Pohyb lokomotivy zajišťuje malé napětí, které je připojeno ke kolejišti. Lokomotiva prostřednictvím kol odebírá proud z kolejí. Ten potom slouží k napájení vestavěného motoru zajišťující její pohyb. Pokud se lokomotiva řídí analogově, tak může najednou jet jen jedna lokomotiva. Do kolejí se pouští stejnosměrné napětí. Čím větší je napětí, tím lokomotiva jede rychleji.

Pokud je lokomotiva řízená digitálně, tak do kolejí je přiváděno stálé napětí doplněné řídicími povely. Každá lokomotiva má přijímač (digitální dekodér), díky němuž lokomotiva ví, jestli pokyn k pohybu je definován pro ni. Díky tomu lze ovládat více lokomotiv najednou a také umožňuje další funkce jako například rozsvěcení světel atd.

2.5 Dokumentace – datasheets

Každá elektronika, většinou určená pro průmyslové použití, má svůj tzv. datasheet, který obsahuje mnoho důležitých informací o tom, jak s danou součástkou pracovat (např. jak se k ní připojit). Dále se v ní dozvíme, jaké jsou její limitní stavy, napájecí napětí, jaké jsou vstupní a výstupní piny a hlavně schéma součástky.

2.6 Moduly / Akční členy

Kolejiště obsahuje moduly, které mají specifickou funkčnost pro XPressNet. Všechny jednotky jsou ovládané centrálou LZV100, která zasílá požadavky na jednotlivé adresy periférií a ty jí jako odezvu posílají informace o změně. Více informací o komunikaci v kapitole 4.1.

Výčet použitých modulů a jejich použití:

- LS100/110 – modul k ovládání periférií,
- LR101 – modul ke kontrole obsazenosti kolejiště,
- LI100 – interface mezi PLC a XPressNetem,
- LS150 – modul k ovládání periférií,
- LZV100 – centrála LZV100.

Každý modul vyžaduje odlišný způsob přístupu. Přístupy prezentované v dokumentaci výrobce bohužel nefungovaly, a tudíž jsou zde k jednotlivým modulům napsány informace a postupy, díky kterým bylo kolejiště správně a úspěšně naadresováno.

2.6.1 LH100

Pomocí ovladače LH100 lze ovládat 9 999 lokomotiv a veškeré příslušenství včetně jejich programování adres a vlastností. Pomocí tohoto ovladače lze programovat adresy a vlastnosti všech modulů kolejiště. Je možné nouzové zastavení všech lokomotiv na kolejišti a vypnutí napájení pro celý systém (nastavené hodnoty a stavy příslušenství se zachovají). LCD displej ovladače při řízení lokomotivy indikuje následující údaje:

- druh trakce (jednoduchá/přípřež, postrk),
- směr jízdy lokomotivy,
- indikace světlometů (zap./vyp.),
- indikace zapnutí doplňkových funkcí (podle typu dekodéru),
- adresa řízení lokomotivy.

Jednotlivé výstupy modulů se pomocí ovladače ovládají adresou, která musí být jedinečná na celé železnici. V programovacím modu je zobrazována hodnota zadávané funkce a její identifikace. Lze také zobrazit informace o softwarové verzi připojené centrály LZ100 nebo LZV100 a vlastního ovladače LH100. Ovladač je vybaven kabelem s konektorem DIN 5 pro připojení přímo do centrály, nebo ke sběrnici ovladačů, která může mít konektory rozmístěny v potřebných místech kolejiště. Připojování může probíhat za běhu železnice nebo-li v režimu „plug&play“. Komunikace probíhá na sběrnici XPressNet. Ovladač dále obsahuje paměť na poslední zvolenou adresu lokomotivního dekodéru, proto je možné jedním tlačítkem přepínat mezi dvěma naposledy ovládanými lokomotivami.

Další možnosti ovladače:

- ovládání jízdy lokomotiv, sestavování do vícenásobné trakce a vyjímání z ní,
- spínání výhybek, návěstidel nebo možnost aktivace rozpojovacích kolejí,
- možnost nastavit a načíst systémové vlastnosti,
- načtení informací z kodérů i dekodérů zpětného hlášení,
- programování lokomotivních dekodérů, dekodéry příslušenství a kodéry zpětného hlášení.



Obrázek 2.3: Ruční ovladač LH100 [16]

2.6.2 LZV100

Modul LZV100 je řídicí, centrální jednotka (srdce) celého modelového kolejiště. Tento modul také slouží jako zesilovač do 5 A a tudíž napájí všechna zařízení na kolejišti jako jsou závory, semaforey, lokomotivy atd. Pokud chceme zjistit, jestli maximální proud dodaný z jednotky LZV100 vystačí pro napájení kolejiště, je potřeba sečíst spotřebu jednotlivých periférií, které jsou napájeny z výstupu J a K modulu LZV100. Pro rezervu do budoucna je lepší počítat s větším proudem. Jedoucí lokomotivy mají hodnoty protékajícího proudu rozdílné dle velikosti měřítka. Stojící neosvětlené lokomotivy 2,5 mA, osvětlé 50 mA na každou žárovku (to platí i pro vagóny). Pokud napájení nestačí, je nutné do obvodu přidat další zesilovač LV101. Pro komunikaci mezi centrálou a přídatným zesilovačem je nutné obě jednotky propojit pomocí svorek C, D.

Pro náš účel stačí pouze základní LZV100, protože jeho parametry stačí pro:

- až 9999 digitálních vozidel a jedna analogová lokomotiva,
- možnost čtyřmístných adres,
- 14, 27, 28 a 128 jízdnicích stupňů,
- možnost ovládání až 13 funkcí v každém vozidle,
- dvojnásobná a vícenásobná trakce,
- možnost rozšíření pro automatický provoz,
- prakticky neomezené možnosti připojení dalších zesilovačů,
- až 31 libovolných zařízení na sběrnici XPressNet (ovladače, rozhraní),
- programování během provozu (PoM),
- ovládání až 1024 návěstidel, výhybek a dalšího příslušenství (počet závisí na ovladači).

2.6.3 LS100

Spojovacím článkem mezi systémem DIGITAL plus a spínanými zařízeními (výhybky, odpojovače, návěstidla) jsou dekodéry příslušenství. Takovéto dekodéry přijímají povely, které vysílá centrála přes zesilovač a ovládají pohony výhybek a ostatní zařízení. Vykonávají se povely z ručního ovladače LH100 (viz kapitola níže) nebo podle instrukcí naprogramovaných v PLC (PLC přímo neovládá jednotlivé moduly, ale řídicí jednotka LZV100).

Dekodér LS100 je spínací se čtyřmi výstupy pro příslušenství a zpětným hlášením. K dekodéru LS100 je možno připojit čtyři výhybky, návěstidla atd. Pokud mají být všechny prvky spínány současně, nesmí celkový proud překročit 1,7 A. Na výstupech je stejnosměrné napětí, na což je nutné dbát při použití svítivých diod. Dekodér LS100 je vybaven vstupy pro zpětné hlášení poloh výhybek.



Obrázek 2.4: Dekodér LS100 [12]

Tovární nastavení

Programování vlastností a adres se liší podle toho, jestli daný modul má tlačítko s indikační diodou nebo ne. LS 100 i LS 110 může být v obou variantách. Základní nastavení modulu je adresa 1–4 a výstupní vlastnosti jsou nastavené na impulzní provoz s nejkratší dobou trvání impulsu.

S tlačítkem: Tlačítko zmáčkneme a po pěti vteřinách se dioda rozsvítí. Po dalších pěti vteřinách se LED dioda pravidelně rozbliká (při blikání se nastavuje tovární nastavení). Až dioda zhasne, tak je modul v továrním nastavení.

Bez tlačítka: Před programováním modulu, který nemá programovací tlačítko, je vhodné uvést modul LS100/110 do továrního nastavení. Tovární nastavení tohoto modulu má impulzní spínání s časem 0,2 s, které nám zajistí, že se ovládací cívky přestavníku nepřepálí. Pro defaultní nastavení je potřeba odpojit napájení modulu (svorky J, K viz dokumentace [12]). Potom spojíme svorky společné kostry a svorku plus na výstupu 1. Poté zpět připojíme napájení a reset je dokončen.

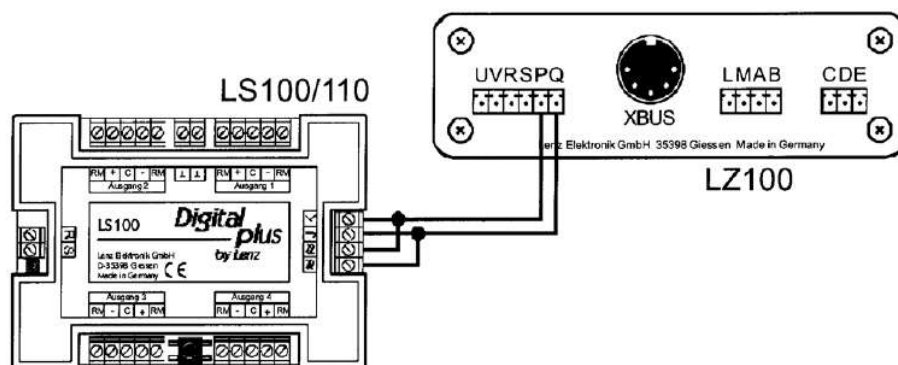
Programování registrů modulů

Adresy a další vlastnosti dekodéru LS100/110 jsou ukládány do „registrů“ zkráceně „R“. Lze si je představit jako poznámkové bloky, které po uložení zůstávají v registrech i po vypnutí napájení kolejistiště. Při programování těchto modulů je potřeba dbát na to, aby maximální adresa prvního výstupu byla 253, protože počet možných adres je pouze 256. Nejdříve je nutné mít naprogramované adresy výstupů a potom až je možné naprogramovat jejich vlastnosti.

Postup při programování adres modulu s programovacím tlačítkem:

Stiskněte tlačítko na modulu a držte ho dokud se nerozsvítí. Poté na ovladači LH100 zadejte kombinaci „F“ a „5“ a zadejte první ze čtveřice adres pro daný

modul. Potvrďte enterem a odešlete povel tlačítka „+“ a „-“. Pokud se vše podařilo a adresy se uložily do modulu, LED dioda zhasne. Pokud nastane problém, je možné připojit modul do programovacího výstupu jednotky LZ100 (viz obrázek 2.5) a celý postup zopakovat. Ideální je hned po naprogramování si vyzkoušet, jestli je modul naprogramovaný správně. Když máte modul vypojený z kolejiště, je možnost na jakýkoliv výstup modulu připojit žárovku a zavolat pomocí kombinace „F“ a „5“ danou adresu výstupu. Takto si vyzkoušíte i její vlastnosti. Když už je modul zapojený v kolejišti, tak správné naprogramování poznáte tak, že při komunikaci s jednou z adres modulu svítí (nebo problikává) LED dioda.



Obrázek 2.5: Schéma zapojení pro naprogramování adres a vlastností modulu LS100 do jednotky LZ100 [12]

Postup při programování adres modulu bez programovacího tlačítka:

Hned, co byl uveden modul do továrního nastavení a připojen k napájení, modul čeká na zadání nových adres. Postup zadání nových adres je naprosto stejný jako u programování s programovacím tlačítkem.

Programování vlastností výstupů

Hardwarové řešení vlastností výstupů. Třeba blikání semaforů se už nemusí programovat do PLC, ale modul už to umí, takže je nutné ho pouze dobře nastavit. Je potřeba dbát na to, aby se používaly takové vlastnosti, které nebudou danou komponentu ničit. Např. při použití trvalého provozu pro výhybky je velká pravděpodobnost, že se komponenta spálí. Možnosti nastavení vlastností:

impulzní provoz: např. výhybka změní polohu při stisknutí tlačítka „+“ nebo „-“ a zůstane aktivní, dokud je tlačítko stisknuté (pokud tlačítko pustíme, tak výhybka může zůstat aktivní po dobu určenou naprogramovanou hodnotou),

trvalý provoz: v tomto režimu může být aktivní pouze jedna svorka tzn., že při stisku „+“ je aktivní výstup do té doby dokud není zvolena svorka „-“ nebo naopak,

blikání: automatické střídání svorek „+“ a „-“.

Tabulka vlastností výstupů 2.1 zobrazuje jednotlivé režimy a jejich hodnoty. Čím vyšší hodnota, tím je délka impulsu nebo proměnná frekvence delší/větší. Tabulky s těmito hodnotami lze nalézt v příloze A.1 nebo v datasheetu LS100/LS110 [12].

Tabulka 2.1: Tabulka vlastností výstupů

hodnota (DEC)	vlastnost
0–15	impulzní provoz, proměnná délka impulsu
32	trvalý provoz
33–47	blikání, proměnná frekvence

Z R7 můžete načíst číslo verze, v R8 je identifikace výrobce (Lenz Elektronik je 99). Oba registry mohou být pouze načteny, ale nikoli programovány. Pokud chcete programovat vlastnosti výstupů, musíte brát na zřetel jakou verzi daný modul disponuje, neboť jednotlivé verze se odlišují způsobem programování (datasheet LS110/100 [12]).

Tabulka 2.2: Tabulka obsazenosti výstupů

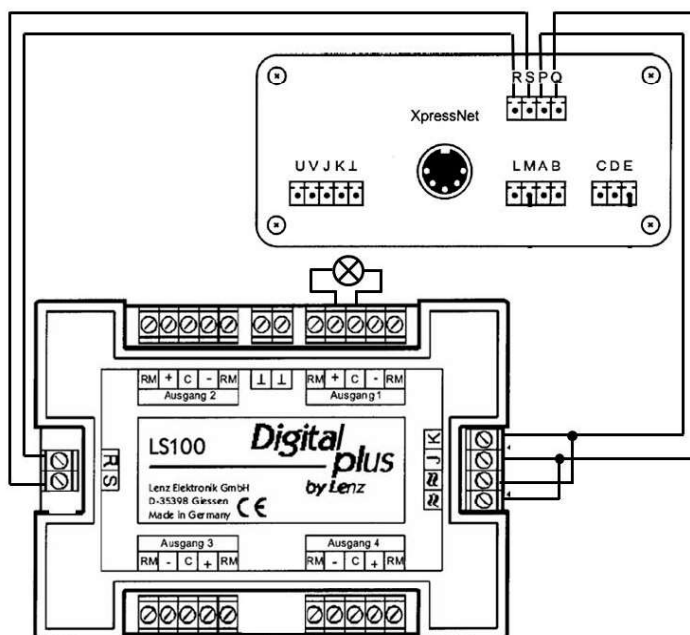
Registr	obsazeno	povolený rozsah hodnot
1	adresa modulu	1–256
2	vlastnosti výstupu 1	0–15; 32; 33–47
3	vlastnosti výstupu 2	0–15; 32; 33–47
4	vlastnosti výstupu 3	0–15; 32; 33–47
5	vlastnosti výstupu 4	0–15; 32; 33–47
7	verze	2.2
8	Identifikace výrobce	99

Postup při programování vlastností: (verze softwaru ovladače ≥ 2.0)

Zadejte kombinaci „F“ a „8“ a potvrďte enterem. Pomocí tlačítek „+“ a „-“ nalistujte v nabídce možnost REG. Zadejte registr, který chcete naprogramovat potvrďte enterem a zadejte potřebnou hodnotu. Pokud chcete vědět jaká hodnota se na registru již nachází, stačí místo zadávání nové hodnoty stisknout znovu enter. V hlavičce displeje ovladače LH100 se zobrazí písmeno „L“ alias „loading“ a po několika vteřinách se zobrazí i hodnota registru. Obsazení registrů můžete nalézt v tabulce 2.2. Počet registrů a jejich obsazení se může lišit podle verze.

Chyby při seznamování s modulem:

Hodnoty registrů nejsou adresy, ale vlastnosti: Několik hodin jsme strávili na tom, že jsme programovali do registrů adresy místo hodnot vlastností



Obrázek 2.6: Schéma zapojení pro naprogramování vlastností výstupů modulu [12]

a divili se, že nefunguje komunikace s modulem (když už komunikace s modulem fungovala, tak to bylo jen díky tomu, že hodnota registru byla čírou náhodou stejná jako adresa výstupu.). Proto si myslím, že je dobré uvést fakt, že při programování adres neslouží možnost $PROG \Rightarrow REG$ pro tento účel, jak jsme si dlouhé hodiny mysleli.

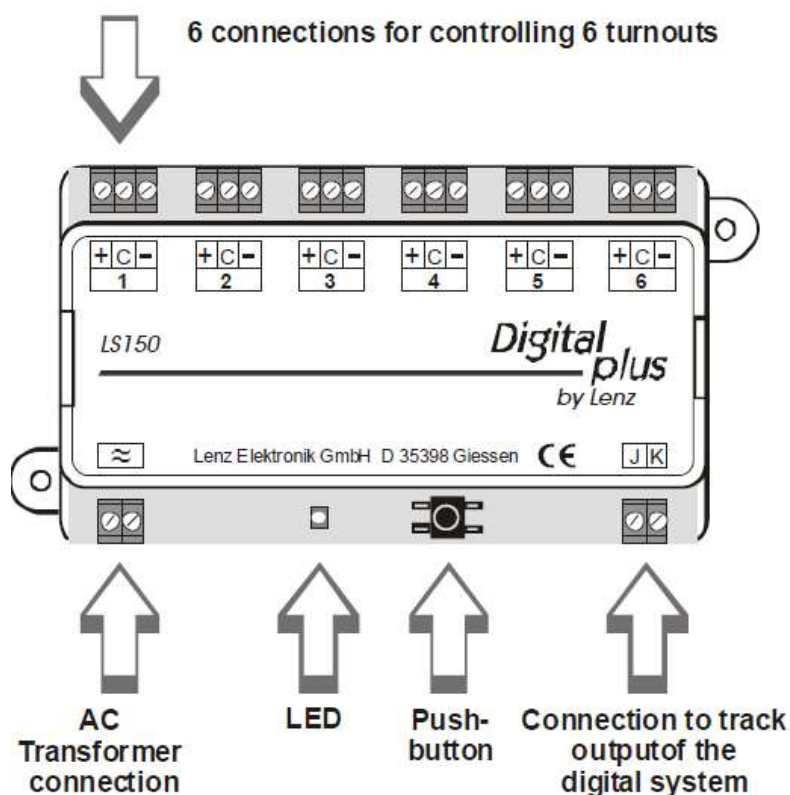
Aus: Tato chyba se zobrazovala tehdy, když jsme připojili modul do kolejiště. Chyba byla způsobena počátečním přetížením. Nad touto chybou jsme strávili mnoho času, neboť jsme nevěděli, jak ji odstranit a pokračovat dále. Řešení bylo primitivní. Stačilo na ovladači LH100 stisknout tlačítko „St“ a celý problém byl vyřešen. Problém byl v tom, že se z bezpečnostního důvodu kolejiště odpojilo z napájení a tlačítkem „St“ se kolejiště opět zotavilo („St“ znamená emergency stop).

Žárovka na první výstup: V případě programování adresy pomocí programovacího výstupu centrály LZ100 je nutné na některý z výstupů připojit žárovku (podle manuálu ne svítivou diodu), jinak se bude při programování zobrazovat chyba ERR02 (dekodér nenalezen) a tudíž se naadresování nepovede.

Verze modulů: Hlavní problém může spočívat v tom, že každá verze modulu má jiný počet registrů a také jiný význam hodnot v jednotlivých registrech.

2.6.4 LS150

Modul LS150 disponuje šesti výstupy, což znamená, že může být najednou připojeno šest zařízení a každé z nich ovládáno individuálně.



Obrázek 2.7: Modul LS150 a rozložení vstupu a výstupů [10]

2.6.5 LR101

Modul, který slouží jako zpětná vazba obsazenosti kolejíšť. K určení, jestli se nachází lokomotiva na kolejišti využívá obvod LR101 snímače LB101 a LB050.

LB101

Obvod LB101 hlásí stavy obsazení do kodéru zpětného hlášení LR101. Pracuje na tzv. „principu snímání proudu“, tedy hlášení nastane vždy tehdy, když se v hlídaném (hlásicím) úseku nachází spotřebič (v tomto případě lokomotiva). Tento obvod může hlídat pouze dva kolejové úseky.

LB050

Obvod LB050 je druhý z dvojice snímačů, který dopomáhá k lepšímu určení stavu obsazenosti. Tento snímač ale funguje na principu „snímání napětí“.

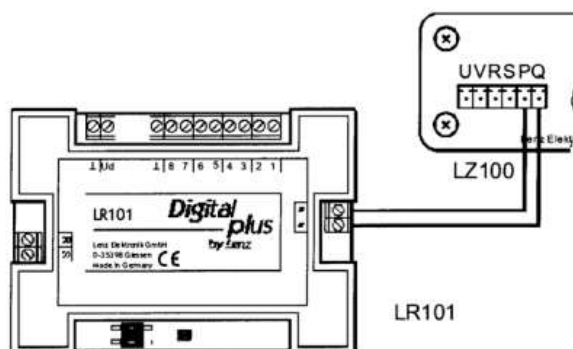
Jestliže se v hledaném úseku nachází lokomotiva, LB100 hlásí do LR101, že je obsazeno. Může se ale stát, že se z nějakého důvodu odpojí napětí a tudíž by si kodér LR101 myslel, že je na kolejišti volno i když to tak není. Abychom tomu předešli, je tu připojen snímač, který pozná, že není ke koleji připojeno napětí a tudíž centrále (LZV100) odpoví, že je obsazeno.

Tovární nastavení

K tomu slouží tlačítko a dioda na modulu LR101. Stisknutím tlačítka začne dioda svítit, potom začne blikat a až dioda zhasne, tak je modul v továrním nastavení. V továrním nastavení jsou všechny časy zpoždění nastavené na 50 a adresa začíná hodnotou 65.

Nastavení nové adresy

Pro nastavení nové adresy je nutné modul zapojit podle obrázku 2.8. Poté si vybereme možnost programování pomocí CV. Nyní do CV1 nastavíme počáteční adresu (první adresu z osmi určených pro modul). Nastavovaná adresa může být nanejvýš 127, neboť 127 je nejvyšší možná hodnota.

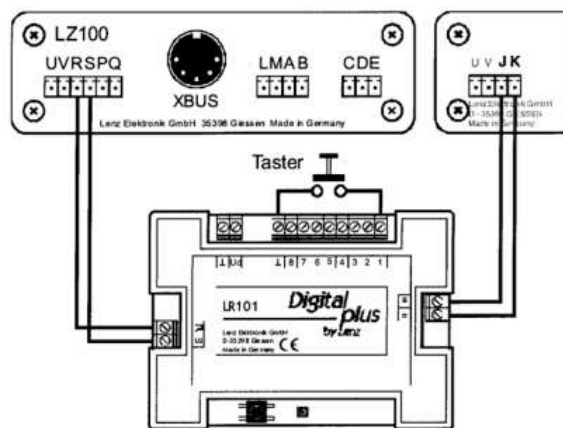


Obrázek 2.8: Programovací zapojení jednotky LR101 [13]

Pokud chceme ověřit správnost naadresování, je nutné modul zapojit podle obrázku 2.9 a na ovladači LH100 nastavit kombinaci F6 a adresu, kterou jsme zadali do daného modulu. Při správném naadresování by se mělo na ovladači zobrazovat číslo vstupu, na kterém je spínač připojen.

2.6.6 L100

Tato jednotka slouží jako rozhraní mezi moduly kolejiště a samotným PLC. Samotná komunikace probíhá na bázi XPressNet protokolu. Rozhraní používá signál CTS, aby oznámilo PLC, že je připraven přijímat.



Obrázek 2.9: Zapojení pro kontrolu správnosti naadresování modulu [13]

2.7 XPressNet protokol

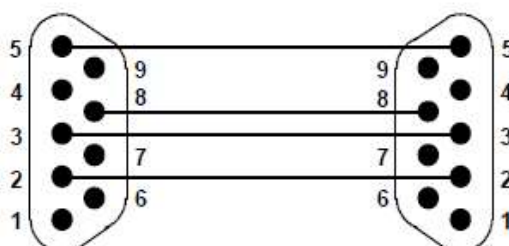
XPressNet je protokol, pomocí kterému komunikují jednotlivé periferie zařízení od firmy Lenz nebo Roco. Ve službě XPressNet je logika rozdělena mezi všechna zařízení připojených k síti. Řídící stanice je zodpovědná za generování DCC traťových paketů pro udržení priority fronty DCC paketů odeslaných do stopy a pro udržení celkového stavu celého systému. Zařízení pro připojení k síti jsou zodpovědná za prezentaci a údržbu uživatelského rozhraní. Pouze žádost o změnu nebo žádost o informace by měla být zaslána přes XPressNet. Zařízení XPressNet by nemělo zasílat žádosti o obnovení, protože to není potřeba a spotřebuje pouze šířku pásma.

XPressNet je založen na standardu EIA RS-485. Přenosovou rychlost Lenz stanovil na 62500 baud (bitů za vteřinu). Celková architektura je pak postavená jako *single master, multi slave* (PMP). Komunikace byla zvolená jak 9-bitová (této vlastnosti se bude využívat v programování). Devátý bit neslouží k přenosu informace, ale k označení „volacího znaku“ (STX). Další možností komunikace je založena na standardu RS-232, který byl nakonec i použit pro komunikaci PLC s kolejištěm. Atributy obsažené na obrázku 2.10 jsou nutné pro správné nastavení komunikace s kolejištěm. Pro správnou komunikaci s kolejištěm je také nutné nastavit hardwarový handshake *CTS*. Signál *CTS* slouží pro informování nadřazeného zařízení (v našem případě PLC), že je centrální jednotka připravena k příjmu dotazů. Jelikož výsledné řízení kolejiště má být realizováno pomocí PLC Siemens, bylo nutné vymyslet možnost připojení komunikace *RS232* do tohoto PLC. Hlavním problémem bylo, zastaralost komunikace *RS232*, vývojáři s ní skoro nepracují a tudíž by byl problém kartu pro tuto komunikaci do PLC sehnat (naštěstí jsem ji sehnal). PLC Siemens v praxi používá komunikaci přes *PROFIBUS*. V případě použití tohoto řešení by bylo nutné sehnat konvertor *PROFIBUSU* na *RS232*. Pro propojení rozhraní *LI100* a PLC bylo nutné vyrobit vlastní kabel. Schéma 2.11 bylo jednoduché na napájení.

Ovladačů je v síti jen omezený a přesně definovaný počet (31). Vzhledem k tomu, že centrála přiděluje komunikační časy a periodicky volá všechna zařízení, je na

Speed:	9600 baud
Data bits:	8 data bits
Stop bits:	1 stop bit
Parity:	no parity bit

Obrázek 2.10: Datový přenos mezi interfacem a PLC používá toto nastavení [15]



Obrázek 2.11: Schéma zapojení pro komunikaci RS232 mezi PLC a XPressNetem [15]

sběrnici prakticky nepřetržitý provoz. To jde v zásadě považovat za přednost, protože každé zařízení má šanci poznat, že došlo k problémům v komunikaci.



Obrázek 2.12: Možnosti připojení ovladače do sítě XPressNet

3 Možnosti typů řízení

Podle dohledaných informací existuje velmi málo možností digitálního ovládání modelových železnic, které nejsou založeny na protokolu XPressNet. Mimo digitální řízení existuje analogové. Analogové řízení kolejiště oproti digitálnímu není neustále pod napětím a žádný z akčních členů neobsahuje digitální dekodér (dekodéry, které reagují na data podle svojí adresy). Digitální ovládání má obrovskou výhodu v použití menšího počtu vodičů, jednoduchosti a umožňuje ovládat vlaky i když zrovna nejednou, jako například rozsvěcení světel atd., což u analogového řízení nelze.

3.1 LocoNet protokol

Jako jediný řídicí systém modelových železnic, který jsem vypátral, díky kterému komunikují jednotlivé periferie kolejiště a nekomunikuje na základě protokolu XPressNet se nazývá LocoNet (firma Digitrax). Loconet má oproti XPressNetu přenosovou vrstvu více kreativní. Komunikuje na sdíleném médiu s detekcí chyby CSMA/CD což je síťová vrstva, která je používána například Ethernetem. Oproti Ethernetu, ale LocoNet nepoužil oddělovací transformátory a nekomunikuje v přeneseném pásmu. LocoNet používá asynchronní sériové kódování 8N1, což je stejné jako u sériového portu počítače. Výhodou přenosového média je v symetričnosti a je tedy jedno, jestli uživatel použije kroucený nebo přímý kabel, tudíž není definován žádný centrální bod. Komunikační rychlost je stanovena na 16666 baudů. Komunikace je osmibitová, osmý bit se používá pouze k označení příkazu sběrnice. LocoNet má decentralizovanou strukturu což klade větší nároky na každou komponentu v síti, neboť není úplně jednoznačné, od kterého prvku informace přijdou (mohou existovat i instalace bez DCC centrály). Vzhledem k otevřenosti komunikace u LocoNetu mnohdy vystačí jedna sběrnice jak pro ovladače, tak pro sběr informací o obsazení kolejí. Bohužel Digitrax není příliš inovativní, takže spoustu věcí, které se v DCC začaly používat později, tak norma neobsahuje a doplnila je lidová tvořivost a to ne vždy jednoznačným způsobem. LocoNet povoluje, aby ovladač požádal centrálu o vytvoření vlastního datagramu. To přináší do komunikace dávku kreativity pro uživatele, kteří o to mnohdy nestojí. LocoNet se soustředí na velká klubová kolejiště, kde je větší množství uživatelů, kteří zastávají jednoduché úlohy.

3.2 Řídicí centrály

Každý řídicí systém má svou specifickou řídicí centrálu. Některé však nemusí ovládat pouze jediný systém, ale více různých. Každé centrály mají také rozdílné možnosti uživatelského rozhraní např. Z21 má mobilní aplikaci pro ovládání kolejiště.

3.2.1 Roco Z21

Centrála Roco Z21 je digitální systém, který umí prostřednictvím chytrého telefonu ovládat lokomotivy, výhybky, semaforey a další digitální komponenty modelového kolejiště. Na telefonu musí být nainstalována aplikace Z21MobileApp nebo aplikace stanoviště strojvedoucího Z21, pomocí které lze detailně ovládat mnoho vlastností lokomotivy z pohledu strojvedoucího. Kolejiště lze pomocí této centrály ovládat přes sběrnici XPressNet nebo LocoNet. Centrála má možnost nastavit výstupní napětí do kolejí. Při průjezdu lokomotiv přes rozhraní mezi úseky napájenými z centrály dochází přes kola a vnitřní obvody lokomotiv k jejich propojení. Potenciálové a napětové vyrovnání je zanedbatelné, jen zpoždění DCC signálu což způsobuje drobné zkratky, které však nemohou spustit proudovou pojistku. K centrále Roco lze připojit spínací dekodér Lenz a produkty jiných firem. Jen je nutné, aby zařízení měla uvedeno, že pracují se systémem DCC. Zařízení mohou být tzv. multiprotokolová a jsou schopna zpracovat signály více systémů. S tou kompatibilitou to není zas až tak horké, protože třeba použít k centrále jednoho výrobce, ruční ovladač od firmy jiné, tak to jít může, ale nemusí. Kompatibilita, ale není 100%, protože použít centrálu od jednoho výrobce a ovladač od jiného může fungovat či nikoliv.



Obrázek 3.1: Ukázka aplikace ovládání lokomotivy očima strojvedoucího [26]

3.2.2 Railduino

Modul, který pracuje ve spojení s řídicím systémem jako vzdálené vstupy a výstupy řídicího systému. Nadřazený systém (PC, PLC) je schopný řídit pomocí těchto výstupů externí zařízení jako jsou světla, stykače apod., také je možnost snímat hodnoty na vstupech modulu. Jednotka je vybavena analogovými i digitálními vstupy. Obsahuje i reléové, digitální a analogové výstupy. Veškeré vstupy a výstupy jednotky lze ovládat přes komunikační sběrnici RS485. K dispozici je možnost připojení pomocí LAN kabelu. Obě možnosti komunikace využívají na naprogramovaný protokol UDP. Na jedné sběrnici je možné mít najednou připojeno až patnáct Railduino modulů.

Existuje ještě celá řada centrál, které jsou už buď zastaralé nebo se skoro nepoužívají. Pro zajímavost jsou například centrály: H-centrála, NanoX, Maerklin Central Station.

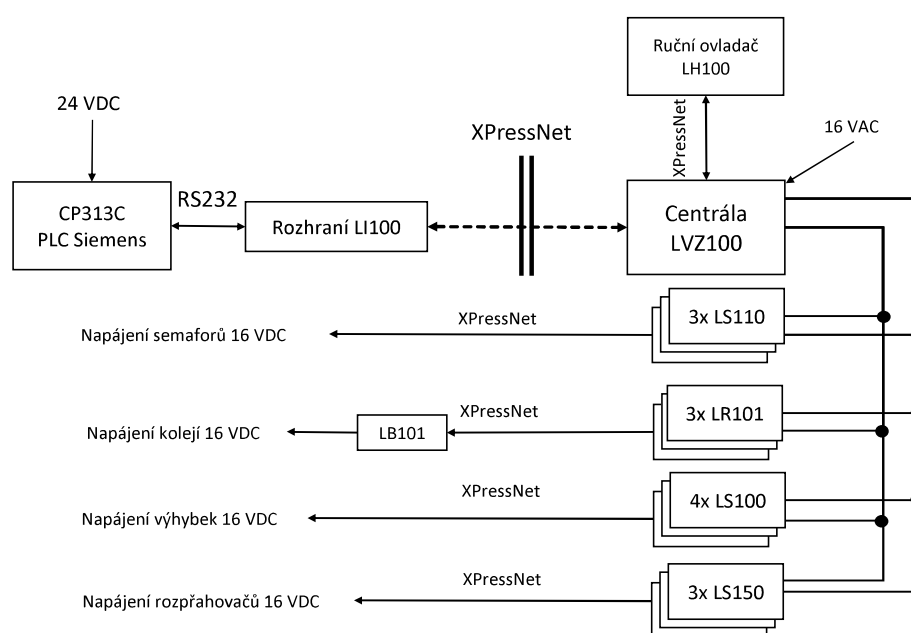
3.3 RailCo – řídicí software

Je to software [27], pomocí kterého lze vytvořit kolejiště a naprogramovat mu jeho řízení. Přes tento software lze naprogramovat makra řízení železnice a je zde možnost samotné simulace před ovládním reálného kolejiště. Software umí pracovat s mnoha digitálními systémy, umí pracovat se všemi současně. Může být připojena centrála od firmy Lenz či Digitrax, záleží pouze na tom, kolik je k dispozici v počítači portů. Až 12 digitálních a řídicích systémů může být napojeno současně. Dva systémy připojené najednou není nic neobvyklého ale i tak je doporučováno používat jen jeden systém, neboť mohou nastat neočekávané chyby.

Komunikace mezi periferiemi kolejiště a programem je oboustranná, duplicitní, informace jdou z PC do kolejiště i naopak. Celá komunikace probíhá stejně jako u klasického řízení pomocí PLC tj.: PC, jeho výstupní port (USB nebo RS232, RS485), jednotka LI100, centrála LZV100, spínací dekodér, přestavník či výhybka. Zařízení, která umožňují přenos informací mezi centrálou a prvky kolejiště, jsou lokodekodéry, spínací dekodéry a kodéry zpětného hlášení.

4 Programování řízení provozu

V manuálním režimu se ovladačem LH100 ovládá kolejiště přes centrální jednotku LZV100. V této fázi, ale přijímá odpovědnost za automatizované řízení program v PLC Siemens S7-300. Důležitými aspekty programu je posílání a přijímání paketů jednotce LZV100.



Obrázek 4.1: Schéma připojení PLC ke kolejišti pomocí modulu LI100

4.1 Komunikace PLC s kolejištěm

Pro komunikaci kolejiště s PLC je v obvodu modul LI100, na který program v PLC posílá pakety pro řídicí jednotku (LZV100). Topologie sítě může mít tvar hvězdy nebo stromu, ale kruhové smyčky se nedoporučují. Proti kolizím v síti, řídicí jednotka vysílá signály v určitých intervalech tzv. oknech jednotlivým periferiím, že s ní

mohou komunikovat – komunikace je tedy poloduplexní (může komunikovat v jednu chvíli jen řídicí jednotka nebo daná periferie). Řídicí jednotka přijímá příkazy, na které zpětně odpovídá pokud není daný příkaz podporován nebo mu jednotka nerozumí. V opačném případě je příkaz vykonán a řídicí jednotka obdrží informaci o stavu ovládaného prvku. Pokud vyprší timeout (časové okno pro periférii), pošle jednotka informaci o tom, že příkazu porozuměla, ale daná instrukce se nestačila provést. Tuto zprávu obdržíme pouze v případě, když ovládané zařízení nedisponuje zpětným hlášením. Každé zařízení v síti XPressNet musí do 110 μ s po přijetí okna začít vysílat a musí být schopno přijmout další okno do 400 μ s od přijetí předchozího okna. Mezi okny musí být periferie schopna přijímat informace z řídicí jednotky.

4.1.1 Odesílání paketů pro ovládání semaforů a výhybek

Paket je sled bytů. Maximální délka paketu v síti XPressNet je 18 bytů. Pro komunikaci se semaforů a výhybkami je potřeba odeslat 4bytovou zprávu, která má strukturu podle tabulky 4.1. Důležité je pochopit, co jednotlivé byty znamenají, což z dokumentace od samotné firmy Lenz nebylo zřejmé. Tato problematika byla velmi špatně popsána v dokumentaci, ale naštěstí nám pomohl ročníkový projekt od pana Fichtnera. Největší problém byl, že informace udané v dokumentaci byly nejednoznačné a tak byla potíž vytvořit správnou strukturu paketu, který je odeslán centrální jednotce. V tabulce 4.1 je vytvořen příklad vypočteného paketu pro adresu semaforu 61 s označením ve schématu s14.

Tabulka 4.1: Struktura paketu pro ovládání výhybky, semaforu a rozpřahovače

Identificator [HEX]	Byte 1 [HEX]	Data byte [HEX]	XOR – check byte [HEX]
0x52	0xF	0x88	0xD5

Identificator byte: Tento byte udává informaci o tom o jaké zařízení se na kolejišti jedná (lokomotiva, výhybka). V hexadecimální soustavě mají výhybky, semaforů a rozpřahovače hodnotu 0x52.

Byte 1: Byte 1 obsahuje adresu periferie celočíselně vydělenou 4. V našem případě to je $61/4 = 15$ decimálně. Adresa se dělí čtyřmi kvůli omezenému počtu adres v XPressNetu.

Data byte: Nejdůležitější byte. D1 B1 B0 D0 je binární klíč, který se v decimální podobě přičte k hodnotě 128. B1 a B0 má tvar podle tabulky 4.2. D1 obsahuje binární hodnotu 1 a D0 obsahuje hodnotu podle toho, jaká událost se má stát (u semaforů binár. nula znamená červenou barvu a hodnota jedna zelenou). Pokud je hodnota zbytku po dělení rovna nule, je nutné od bytu 1 odečíst jedničku. Výpočet data bytu: $128 \text{ DEC} + 1 \text{ 0 0 0 BIN} = 136 \text{ DEC}$ tj. 88 HEX.

XOR byte: kontrolní součet, který se vypočítá jako XOR všech předchozích bytů.

Tabulka 4.2: Odvození bitů B1 a B0

Zbytek po celočíselném dělení adresy	B1 B0
0	1 1
1	0 0
2	0 1
3	1 0

4.1.2 Odesílání paketů pro základní ovládání lokomotivy

Pro pohyb lokomotivy je zapotřebí poslat 6bytový dotaz na centrální jednotku, jehož struktura je popsána níže. Jelikož ke kolejišti je jen jedna funkční lokomotiva, tak je v tabulce 4.3 vypočítán paket pro pohyb lokomotivy s adresou 3, vypnutými světly, jízdním módem 0, pohybem dozadu (záleží na položení lokomotivy) a rychlostí 8.

Tabulka 4.3: Tabulka struktury paketu pro ovládání lokomotivy (hodnoty v decimální, binární a hexadecimální soustavě)

Id	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	XOR
180	3	8	0×8	0×8	191
1011 0100	0000 0011	0000 1000	0000 0000 $\times 8$	0000 0000 $\times 8$	1011 1111
0xB4	0x03	0x08	0x00 $\times 8$	0x00 $\times 8$	0xBF

Id byte: Tento byte udává informaci o tom o jaké zařízení se na kolejišti jedná (lokomotiva, výhybka). V hexadecimální soustavě má lokomotiva hodnotu 0xB4.

Byte 1: Byte 1 obsahuje adresu periferie.

Byte 2: Data byte 1 obsahuje opět bitový klíč ve formátu 0DLSSSSS. Bit D určuje směr lokomotivy, který může být ovlivněn nasazením lokomotivy na koleje (skvělá pomůcka je napsat si na lokomotivu značky směru). Bit L znamená zda mají světla lokomotivy svítit. Bity S slouží pro binárně zakódovanou rychlost lokomotivy.

Byte 3: Slouží k ovládání dalších vlastností lokomotiv. Tento byte se využívá převážně při spojené trakci více lokomotiv. Při ovládání pouze jedné, má byte hodnotu 0. Hodnota bytu je vynásobena osmi.

Byte 4: Data byte 3 nastavuje rychlostní model, kterým se lokomotiva ovládá. Hodnota rychlostního modelu musí být vynásobena osmi.

XOR byte: Kontrolní byte, který se vypočítá jako XOR všech předchozích bytů.

4.1.3 Další důležité pakety pro základní řízení kolejiště

Další důležité pakety pro řízení kolejiště jsou v tabulce 4.4. Ostatní méně důležité pakety pro zaslání požadavků obsahuje dokumentace o specifikaci protokolu XPressNet [17].

Tabulka 4.4: Pakety pro ovládání kolejiště

Funkce	Paket
Paket zajistí odpojení železnice od elektrické energie.	0x80 0x80
Tato zpráva přeruší všechny vykonávané požadavky.	0x21 0x80 0xA1
Paket povolí modulům pokračovat ve vykonávání požadavků.	0x21 0x81 0xA0

4.2 Debugovací systémy

Jsou to systémy neboli aplikace v PC, které slouží pro zaslání datových rámců z počítače do jednotky LI100 a slouží k simulaci funkčnosti a ověření korektnosti jednotlivých vypočtených paketů. Nejdříve je nutné nainstalovat ovladače pro adaptér z COM na USB a poté nastavit samotný program na jaký konektor COM se má připojit. Dále je potřeba nastavit důležité parametry připojení, které jsou uvedené na obrázku 2.10. Nyní po odeslání paketů jednotka LZV100 posílá odpovědi ohledně provedení dotazu. V případě, že při příjmu zprávy dojde k chybě, odešle jednotka LZV100 informaci o výsledku dotazu popsanou v tabulce 4.5. Při debugování kolejiště byla nejčastější chyba 01 04 05 (v programu RealTerm [28]). Tato chyba sice nastala, ale dotaz se provedl tzn., že se například výhybka úspěšně překloupila.

Pro debugování a simulaci komunikace RS232 existuje mnoho programů, ale ne v každé situaci funguje ten stejný. Pro případ XPressNetu úspěšně komunikoval program RealTerm, který má výhodu v přepínání formátů přijímaných paketů (HEX, DEC, ASCII). Další možnosti jsou například Hercules, Portmon, Terminal nebo MTTY. Tyto programy, ale s XPressNetem fungovaly velmi špatně. Buď posílali, i se správným nastavením, špatné informace o stavu odeslaného paketu nebo se paket neposlal vůbec.



Obrázek 4.2: Pro testování korektnosti paketů byl použit tento převodník. [29]

Tabulka 4.5: Chybové hlášení jednotky LZV100.

Přijmutá zpráva [HEX]	Význam
01 01 00	zpráva obsahuje nesprávná data, neboli špatně vypočtený paket
01 02 03	překročení doby komunikace mezi LZV100 a LI100
01 03 02	neznámá chyba v komunikaci, poškozené kabelové spojení nebo nesouhlasí hodnota XOR
01 04 05	zpráva byla přijata, ale nepřišlo potvrzení o provedené akci
01 05 04	chyba komunikace s podřízenými moduly v síti XPressNet
01 06 07	příliš velká zpráva, přetečení

4.3 Propojení jednotky LI100 a PLC

Pro komunikaci jednotky LI100 s PLC bylo nutné vytvořit kabel s konektory COM na obou stranách podle schématu 2.11. Jelikož PLC Siemens disponuje přídatným slotem pro komunikaci pomocí RS232, byla tato možnost propojení nejjednodušší. Dalšími možnostmi jsou například redukce na sběrnici RS485 nebo na PROFIBUS.



Obrázek 4.3: Redukce pro propojení PLC s LI100. Redukce z RS232 na RS485 vlevo [19] a redukce na PROFIBUS [18] vpravo.

4.4 Seznámení s ovládacím PLC S7-300

PLC SIMATIC S7 řady 300 je modulární řídicí systém, který je vhodný pro ovládání velkého množství periférií. Nejčastější použití má v průmyslové automatizaci. Každé PLC disponuje řadami samostatných CPU, lišící se výkonem, osazením, počtem a druhem portů pro připojení dalších zařízení. Toto PLC disponuje s CPU 313C, rozšiřujícími sloty pro analogové vstupy, výstupy a digitální I/O (pro účel automatizovaného řízení kolejí nejsou potřeba). RAIL¹ je dále osazen rozšiřující kartou pro komunikaci RS232. Důležitou součástí tohoto CPU je paměťová MMC karta,

¹RAILs – konzole nebo koleje které tvoří základ celého harwarového katalogu

zasunutá v horní části PLC. Bez MMC karty je PLC nefunkční, protože všechna programová data se ukládají zde. Tato data jsou i po vypnutí PLC stále dostupná. PLC má dále i systémovou paměť, do které se ukládají data PLC, jako například systémové bloky, které uživatel může používat, ale nemůže je měnit.



Obrázek 4.4: PLC Simatic S7-300 se dvěma moduly pro vstupy nebo výstupy [20]



Obrázek 4.5: MMC Karta [21]

4.5 Připojení k PLC

4.5.1 MPI Adaptér

Každé PLC SIMATIC S7-300 disponuje základním komunikačním portem označený jako MPI pro spojení s programovacím zařízením, který není kompatibilní s žádnou komunikací typu RS 232/422/485. Většina profesionálních PLC zaměřená na průmyslovou automatizaci používá sběrnici PROFIBUS a stolní počítače ani notebooky většinou touto sběrnici nedisponují. Klasické PC mají pouze rozhraní Ethernet s konektorem RJ45 nebo USB portem. Pro propojení počítače s PLC je tedy nutné použít MPI Adaptér, který se připojí k PLC na MPI port pomocí konektoru CANNON 9 pin. Do MPI adaptéru se dále připojí jeden konec konektoru RJ45 či USB portu a druhý do počítače a tím nám vzniká korektní propojení PC s PLC. Pro absolutní korektnost připojení je nutné nainstalovat ovladače daného adaptéru a nastavit ho v programu Simatic Manager jako „access point“.



Obrázek 4.6: Výběr druhů MPI adaptérů [23] [24]

4.5.2 Výběr MPI adaptéru

Po zkušenostech z minulých projektů byl výběr adaptéru jednoznačný. Na obrázku 4.6 vpravo je MPI adaptér s názvem PC adapter USB A2. Pro správné propojení PC a PLC je nutné pouze nainstalovat ovladače, nastavit Access Point a komunikace je korektně připojená. Například u adaptérů s RJ45 je nutné ještě konfigurovat některé parametry, ve kterých se často chybuje a zdržuje tím postup v práci.

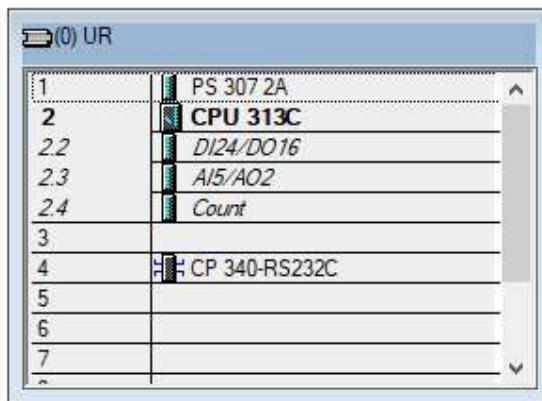
4.6 STEP7

Programovací prostředí Simatic Manager STEP7 a prostředí WINCC pro vytváření a programování vzhledu HMI panelů SIEMENS (více o wincc v kapitole 5) mi poskytla firma AKTIVIT s.r.o. po dobu práce na této práci zdarma. Naštěstí verze byly kompatibilní pro nainstalování na systém WIN 10, tudíž problém se zprovozněním prostředí a připojení PLC k PC nebyl žádný.

4.7 Nastavení hardwarové části programu

Aby program věděl s jakým „železem“ má program pracovat a hlavně jak s ním pracovat, je třeba vytvořit tzv. hardwarovku. Každé PLC, vstupní i výstupní moduly a ostatní karty mají své označení a verzi. Tato označení jsou většinou napsána někde na PLC či rozšiřujících modulech, díky kterým jsou dohledatelné v rejstříku v STEP7. Poté každou kartu přidáváme do RAILS – kolejí, konzole, která tvoří základ celého hardwarového katalogu.

Po rozkliknutí karty CP340 v editačním prostředí (obrázek 5.1) je nutné nastavit všechny požadované parametry komunikace s kolejištěm. Tyto parametry jsou sepsány na obrázku 2.10. Takto nastavenou „hardwarovku“ je nutné nahrát do PLC připojeného do PC přes MPI adaptér.



The screenshot shows a window titled "(0) UR" containing a list of modules in a RAILs rack. The modules are listed in a table with their slot numbers and descriptions.

Slot	Module
1	PS 307 2A
2	CPU 313C
2.2	DI24/DO16
2.3	AI5/AO2
2.4	Count
3	
4	CP 340-RS232C
5	
6	
7	

Obrázek 4.7: Přehled osázení RAILs

5 Realizace automatického řízení

Po úspěšném připojení PC k PLC a PLC ke kolejišti a nastavení všech důležitých a potřebných parametrů je možné sestavit program k automatickému řízení kolejiště. Algoritmus, který je popsán v kapitole 5.3, je napsán v programovacím jazyce STL, což je speciální jazyk založen na instrukcích. Realizace programů v jazyce STL je dostupná pouze pro PLC Siemens.

5.1 Programovací jazyk STL

Seznam instrukcí je textový zápis programu (STL – Statement List) a zobrazení programu pro PLC, program je tvořen instrukcemi, které jsou velmi blízké instrukční sadě mikroprocesoru. Tento programovací jazyk je vytvořen čistě pro PLC Siemens a nesplňuje normu ISO 61131-3.¹ Seznam instrukcí je základním způsobem pro realizaci programu v STL. Jedná se o nejnižší úroveň způsobu programování PLC Siemens a většinou mimo výjimky je dostupný u všech PLC Siemens. Pomocí seznamu instrukcí je možno použít veškeré instrukce, které jsou v CPU dostupné. Do PLC se nahrává plně kompilovaný kód podle daného typu použitého CPU.

5.2 Programové bloky

Jsou to bloky pro volání uživatelských podprogramů nebo uživatelských funkcí.

5.2.1 Organizační blok

Organizační bloky nelze v systémech volat programátorem, systém si je volá sám (např. hlášení o chybách – OB122, OB121). Existuje mnoho druhů OB a každý z nich má na starost hlásit a kontrolovat stav PLC (programová chyba, chyba napájení atd.). Tyto vlastnosti jsou potřeba při debugování programu.

Použité OB:

OB1 – Zde se volají všechny potřebné bloky. Hlavní blok programu.

OB121 – Programové chyby

OB122 – Systémové chyby

¹V žádném zdroji nebyla ani zmínka o tom, že by STL splňovalo normu ISO 61131-3 [25].

5.2.2 Datový blok

Datová struktura, kde se hodnoty proměnných uchovávají i po vypnutí PLC. Hodnoty datových bloků jsou dostupné z ostatních programových bloků. Datové bloky neobsahují programový kód.

Použité DB:

- DB1 – Blok s definovanými chybami, které mohou nastat (dle XPressNetu)
- DB51 – Datový blok pro příjem dat přes komunikaci RS232
- DB52 – Datový blok pro odeslání dat přes komunikaci RS232
- DB338 – Všechny vypočítané pakety v hexadecimálním zápisu
- DB339 – Datový blok pro veškerá komunikační data

5.2.3 Funkční blok

Je takový logický blok, který pro zpracování a uchování hodnot proměnných používá přiřazený datový blok, který staticky uchovává data. Definuje se mu neměnná velikost neboli vlastní paměťová oblast. Funkce je vhodné použít pro programování částí algoritmů, které jsou opakovaně volané, například procesní algoritmy.

Použité FB:

- FB1 – Sekvence celého programu
- FB2 – Časovače pro sekvenci programu
- FB50 – Komunikace RS232 s kartou PLC
- FB51 – Funkční blok pro příjem dat přes komunikaci RS232 (Blok je zamknutý. Implementace je řešená přímo Siemensem)
- FB52 – Funkční blok pro odeslání dat přes komunikaci RS232 (Blok je zamknutý. Implementace je řešená přímo Siemensem)

5.2.4 Blok datových typů

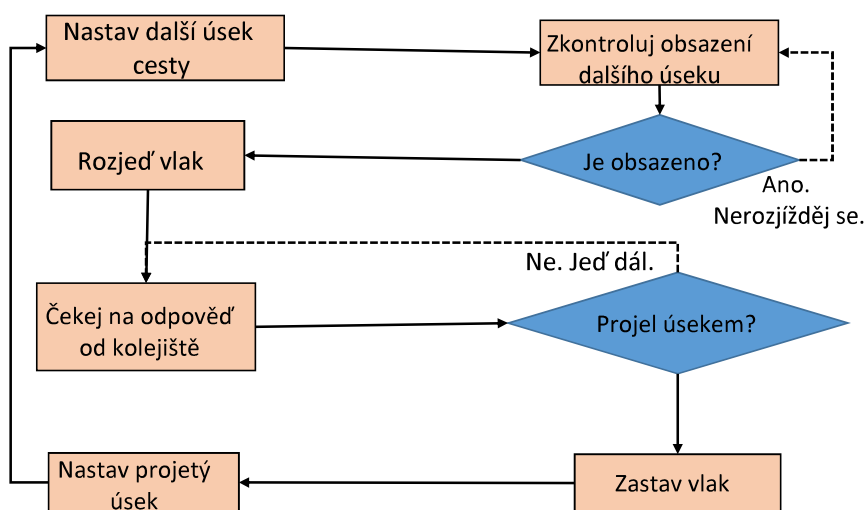
Díky tomuto bloku je možné si vytvořit vlastní datový typ.

Použité UDT:

- UDT1 – datový typ pro Lokomotivu
- UDT2 – datový typ pro Semafor
- UDT3 – datový typ pro Výhybky
- UDT4 – datový typ pro Rozpřahovače

5.3 Algoritmus

Algoritmus spočívá v tom, že jsou předvypočítané zprávy (pakety), které se posílají centrální jednotce přes jednotku LI100 (interface mezi PLC a XPressNetem) pomocí komunikace RS232. Prvním problémem je naprogramovat samotnou komunikaci přes kartu PLC s kolejištěm. Naštěstí PLC Siemens S7-300 obsahuje bloky, které umí komunikovat pomocí RS232 (jsou to bloky FB51 a FB52 plus mnoho dalších, které jsou potřebné pro plnou funkcionalitu) a tak už stačí pouze v jiném funkčním bloku naplnit nutné proměnné jako je počáteční adresa, čísla databloku a počáteční byte pro příjem a odesílání dat. Po funkční komunikaci kolejiště s PLC lze vytvořit automatizované řízení kolejiště. Algoritmus se skládá z posílání requestů na kolejiště v určitém intervalu a zpracovávání odpovědí z něj. Odesílání paketů probíhá pomocí funkce **Block Move** (což je jedna z funkcí STL). Díky ní se zkopíruje část datového bloku DB338 do bloku DB339, který slouží právě pro funkční bloky komunikující přes kartu PLC. Po zkopírování je ještě nutné funkci říci, jak dlouhý paket (nebo kolik bytů) se má z databloku poslat. Poté stačí daný paket poslat a čekat na odezvu, která se následně zpracuje podobně jako při odesílání. Program při zaslání dotazu čeká na odpověď a pokud mu jednotka LZV100 do určitého intervalu neodpoví, považuje to algoritmus za chybný stav a celý cyklus se pozastaví dokud se manuálně dané periférii, kde vznikla chyba, nezmění na stav požadovaný programem. K dispozici byla pouze jen jedna funkční lokomotiva, tudíž automatické řízení je založeno pouze na jedné lokomotivě.



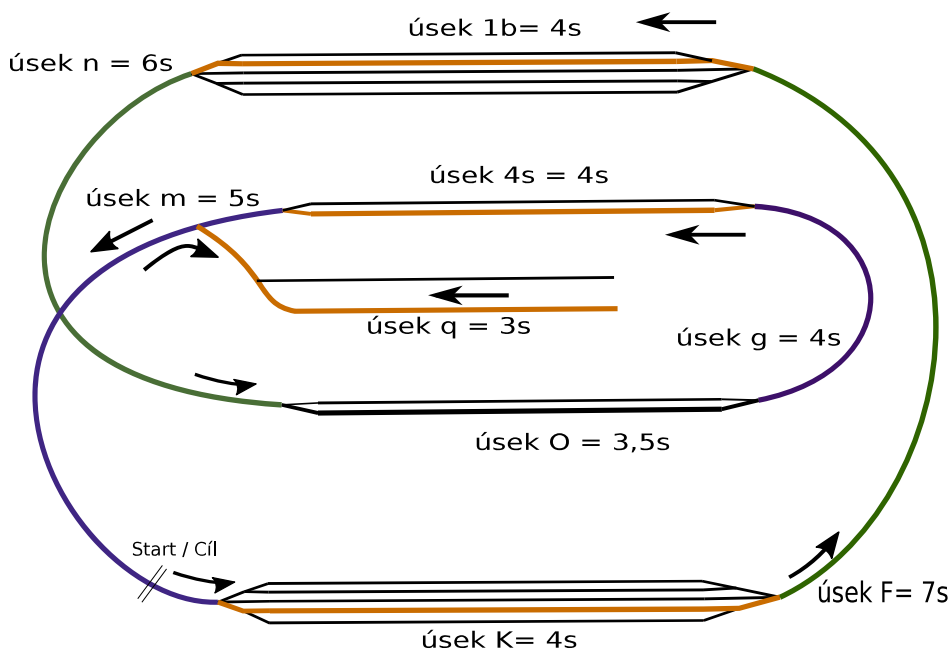
Obrázek 5.1: Velmi zjednodušené schéma průběhu algoritmu zasílání paketů.

5.4 Grafikon

Je to časový diagram jedné lokomotivy, která je řízena jediným funkčním blokem FB. Jelikož je k dispozici pouze jedna lokomotiva, tak projekt obsahuje pouze jediný řídicí funkční blok, ale v případě nutnosti automatizovat více lokomotiv je možné stejným způsobem (kapitola 5.3) naprogramovat řízení dalších vláčků. Omezení počtu lokomotiv je definováno množstvím povolených funkčních bloků v PLC nebo velikostí samotného kolejiště (odhadem by se mohlo na kolejišti řídit 20 lokomotiv, protože železnice je rozdělena do 20ti úseků). Tabulka 5.1 obsahuje časy jednotlivých časů projetých úseků podle daného algoritmu. Pro každou lokomotivu musí být vytvořen nový časový diagram, podle kterého se algoritmus řídí. Nezáleží pouze na čase, ale také na obsazenosti dané koleje.

Tabulka 5.1: Časy projetí jednotlivých úseků lokomotivou

Cesta přes úseky	Rychlost lokomotivy	Doba jízdy [sec]
k	8	4
f, 2d	8	11
n, p, g, 4s	8	17,5
do půlky m, q	8	4,5
q, m	8	6



Obrázek 5.2: Grafický přehled jednoho cyklu lokomotivy a časový diagram projetých úseků

5.5 Vzdálené ovládání

Pro vzdálené ovládání kolejiště byl zvolen dotykový HMI panel, který je ve strojní automatizaci nejpoužívanější prvek k ovládání strojů. Panel je vytvořen v programovém prostředí WinCC, což je nainstalovaný plugin přímo do Step 7. Pro novější PLC např. řada S7-1200 se už používá programové prostředí TIA Portal, kde designér a simulátor panelů je již obsažen. Ovládací dotykový panel 5.3 obsahuje tlačítko pro odstartování sekvence příkazů, pozastavení průběhu, bezpečnostní stop (odpojení energie z kolejiště) a notifikační výstup pro kontrolu v jakém stavu se kolejiště nabízí. Jsou zde i takové notifikace, aby programátor věděl, kde se popřípadě program zastavil. Po vytvoření designu se jednotlivým tlačítkům přiřadí bity, které se mají měnit při jejich stlačení a výstupům, které mají vypisovat notifikace, se zvolí **Text List**, který obsahuje chybové hlášky. Každá chybová hláška má své identifikační číslo a podle hodnoty určité proměnné se vypíše daná notifikace. V této fázi je nutné panel programově propojit s PLC a poté vyzkoušet jeho funkčnost přes simulaci reálného dotykového panelu. Po úspěšné kontrole funkčnosti panelu lze nahrát celý program z WinCC do panelu, propojit panel s PLC a vzdálené ovládání kolejiště je funkční.



Obrázek 5.3: Vytvořený panel v programu WinCC

6 Závěr

Dle mého názoru se úspěšně (i přes mnohé překážky) podařilo splnit všechny body v zadání. Kromě dvou semaforů je celé kolejiště funkční. Pár modulů kolejiště muselo být vyměněno a víc než půlka kabeláže musela být vyměněna za novou. Zjistil jsem, že neexistuje mnoho způsobů řízení kolejiště, které by nebylo založené na sběrnici XPressNet, což mě velmi překvapilo. Podařilo se mi při zprovoznování komunikace spálit logický obvod jedné ze dvou lokomotiv, a tudíž celé řízení komunikace bylo založeno jen na jedné lokomotivě. Rozšíření programu pro více lokomotiv by ale nebyl žádný problém. Jako vzdálené řízení kolejiště jsem zvolil ovládní přes HMI dotykový panel, který byl pro testovací účely pouze virtualizovaný.

Nejdéle jsem se věnoval zprovoznování kolejiště po hardwarové stránce. S panem inženýrem Michnou jsme opravovali elektrickou část železnice a mnohdy se stalo, že i po několikahodinové práci jsme domů odcházeli bez progresu, což bylo demotivující. Byli jsme v takové situaci, že jsme museli náš problém konzultovat s prodejci daného hardwaru, kteří měli zkušenost s modelovými železnicemi od společnosti Lenz. I přes mnohé rady se nedařilo naadresovat všechny jednotky kolejiště. Hlavním důvodem bylo, že mnoho zařízení kolejiště mělo odlišné verze a tudíž se ke každé jednotce muselo přistupovat jinak, což byl problém, neboť dokumentace k jednotkám jsou špatně a nejednoznačně napsané a tak byl každý krok chápán více způsoby. Proto jsem se snažil do této práce co nejlépe sepsat všechny poznatky a postupy ke správnému naadresování a nastavení vlastností všech jednotek. Dalším problémem bylo vymyslet, jak propojit jednotku LI100 a PLC, protože PLC Siemens v moderní průmyslové automatizaci pracují s Profinetem. Naštěstí pan doktor Diblík měl přídatný slot pro PLC Siemens S7-300, který umí komunikaci RS232.

Dalším krokem bylo zjistit, jaké zprávy se mají posílat řídicí jednotce kolejiště pro ovládání periférií. Strukturu paketů jsem zjistil v dokumentaci a vypočtené pakety jsem ihned testoval (posílal) na kolejišti. Největším úskalím bylo nastavení samotného programu, přes který jsem posílal zprávy do řídicí jednotky. Musel jsem také myslet na to, že ne všechny dostupné programy pro komunikování pomocí RS232 jsou s daným protokolem XPressNet kompatibilní a tudíž bylo nutné vyzkoušet více aplikací, abych měl jistotu, že odpovědi z kolejiště jsou správné.

Celková realizace automatického řízení tj. naprogramování řídicího algoritmu (viz kapitola 5) byla nejjednodušší část celé bakalářské práce. Po zjištění správného tvaru posílaných paketů byl jediný problém zjistit, jak se pomocí jazyku STL posílají tyto pakety přes komunikaci RS232 a naprogramování pak už bylo jednoduché.

I přes mnoho překážek jsem se toho hodně naučil a dozvěděl, což byl můj cíl této práce. Zdokonalit se v tom, čemu bych se chtěl věnovat a co mě naplňuje. Přínosem

pro mě bylo například zdokonalení se v orientování v el. schématech, které byly potřeba pro opravu kabeláže železnice, pájení vlastních konektorů atd. Stalo se, že celé kolejiště bylo podle všeho z elektrické stránky v pořádku, ale lokomotiva na některých místech kolejiště nechtěla jet nebo jela výrazně nižší rychlostí než na jiných částech. Díky radě pana inženýra Hernycha jsem zjistil, že problém byl ve špatném kontaktu kolejí s lokomotivou. Roky nepoužívané koleje byly pokryty nečistotami, a tudíž pro vyřešení problému bylo nutné celé kolejiště vyčistit. Tato zkušenost mě naučila přemýšlet nad problémem z více úhlů. Hlavním přínosem je pro mě praktická zkušenost s komunikací RS232, i když je skoro v průmyslové automatizaci nepoužívaná, neboť doteď jsem se učil o této komunikaci pouze teoreticky.

Dost času jsem strávil s výpočtem paketů (asi 140 různých zpráv) pro samotný program. Do budoucna by bylo skvělé samotný výpočet paketů realizovat funkcemi v STL. Program by bylo vhodné rozšířit o více možností ovládání přes simulovaný panel nebo poloautomatické ovládání, kde by se program řídil dle algoritmu, ale uživatel by měl větší prioritu a mohl by samotný program pomocí panelu ovlivňovat. Dalším zdokonalením by bylo také řízení lokomotiv pomocí kamer.

Literatura

- [1] Marathonmodel.cz. MARATHON MODEL svět digitální železnice [online]. Copyright © 2018 [vid. 2018-01-15]. Dostupné z: <http://www.marathonmodel.cz/>
- [2] FICHTNER, Jiří. Řízení modelové železnice pomocí PLC: Control model railway by PLC. Liberec, 2013. Ročníkový projekt. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Ing. Jan Koprnický, Ph.D.
- [3] KANIA, Lukáš. Řízení pneumatického manipulátoru pomocí PLC Siemens. Liberec, 2016. Ročníkový projekt. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Ing. Jan Koprnický, Ph.D.
- [4] Houmrový vlaky velikosti H0 [online]. Praha 5, 2006 [vid. 2018-03-05]. Dostupné z: <http://houmrovylvlaky.bluehost.cz/>
- [5] Smrk | Železniční modelářství - modely železnic, mašinky, modelová železnice. [online]. Copyright © 2006 [vid. 20.03.2018]. Dostupné z: <https://www.zeleznicni-modelarstvi.cz/p/cs/smrk-17770>
- [6] Horský hotel | Železniční modelářství - modely železnic, mašinky, modelová železnice. [online]. Copyright © 2006 [vid. 20.03.2018]. Dostupné z: <https://www.zeleznicni-modelarstvi.cz/p/cs/horsky-hotel-13390>
- [7] Parní lokomotiva 556. 0508 depo Brno ČSD | Železniční modelářství - modely železnic, mašinky, modelová železnice. [online]. Copyright © 2006 [cit. 20.03.2018]. Dostupné z: <https://www.zeleznicni-modelarstvi.cz/p/parni-lokomotiva-556-0508-depo-brno-csd-20281>
- [8] Lenz Elektronik [online]. LH100 Keypad based Dispatcher's Throttle. 2008. [vid. 2018-03-06]. Dostupné z: <http://www.lenzusa.com/1newsite1/Manuals/lh100-v36.pdf>
- [9] Lenz Elektronik [online]. Command Station LZ100. 2001. [vid. 2018-03-20]. Dostupné z: <http://www.lenzusa.com/1newsite1/Manuals/lz100.pdf>
- [10] Lenz Elektronik [online]. Accessory decoder LS150. 2003. [vid. 2018-03-20]. Dostupné z: <http://www.lenzusa.com/1newsite1/Manuals/LS150.pdf>

- [11] Lenz Elektronik [online]. Accessory Decoder LS 100/110. 2003. [vid. 2018-03-20]. Dostupné z: <http://www.lenzusa.com/1newsite1/Manuals/ls100110.pdf>
- [12] Digital Plus by Lenz [online]. Informace LS100/110. 2003. [vid. 2018-03-20]. Dostupné z: https://www.itvlaky.cz/fotky18461/fotov/_ps_6326LS100110_cz.pdf
- [13] Digital Plus by Lenz [online]. Informace LR101. 2003. [vid. 2018-03-20]. Dostupné z: http://www.zababov.cz/vs/Reference/Lenz/LR101_cz.pdf
- [14] Zababov [online]. datum neznámé: Lenz, 2017 [vid. 2018-03-20]. Dostupné z: <http://www.zababov.cz>
- [15] Lenz Elektronik [online]. LI100 Computer Interface. 1998. [vid. 2018-03-20]. Dostupné z: <http://www.lenzusa.com/1newsite1/Manuals/li100.pdf>
- [16] Marathonmodel.cz – LH100 Ruční ovladač. Marathonmodel.cz – Úvod [online]. Copyright © 2018 [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <http://www.marathonmodel.cz/lenz-digital/ovladace-a-jejich-prislusenstvi/lh100-rucni-ovladac.html>
- [17] Lenz Elektronik [online]. XpressNet Specification. 2003. [vid. 2018-03-22]. Dostupné z: <http://www.lenzusa.com/1newsite1/Manuals/xpressnet.pdf>
- [18] PROFIBUS / Serial - Converter | ADF Web [online]. Copyright © 2017 [vid. 2018-03-26]. Dostupné z: <https://bit.ly/2rlcjLX>
- [19] Převodník RS232 na RS485 | arduino-shop.cz. Arduino-shop.cz: VELKOOBCHOD, MALOOBCHOD S ARDUINEM [online]. Copyright © Copyright EC-LIPSERA s.r.o. [vid. 2018-03-26]. Dostupné z: <https://bit.ly/2Idp1WJ>
- [20] Siemens – Rahul Electrical. Home – Rahul Electrical [online]. Copyright © 2018 Rahul Electrical [vid. 2018-03-26]. Dostupné z: <http://www.rahulelectrical.com/usesurplus/surplus-plc/siemens/>
- [21] BLAŽEK, Jaroslav. KURZ PROGRAMOVÁNÍ PLC SIEMENS SIMATIC S7-300, DÍL 1. In: Foxon.cz [online]. Liberec: Foxon.cz, 2012 [vid. 2018-04-28]. Dostupné z: <https://www.foxon.cz/cs/blogs/65-kurz-programovani-plc-siemens-simatic-s7-300-dil-1.html>
- [22] FUČÍK, Jindra. LoCoNet vs. XpressNet. DCC Jindra Fučík [online]. Praha: Jindra Fučík, 2010 [vid. 2018-03-31]. Dostupné z: <http://www.fucik.name/Arduino/XNvsLN.php>
- [23] PC Adapter USB/MPI for Siemens S7-200/300/400 PLC DP/PPI/MPI/Profibus Support WIN7 WIN8 32/64bit [online]. Canada: amazon.ca, 2016 [vid. 2018-04-28]. Dostupné z: <https://www.amazon.ca/Adapter-Siemens-S7-200-Profibus-Support/dp/B00ZRNM97W>

- [24] USB/MPI Programming Cable for Siemens S7 PC Adapter Profibus/MPI/P-PI Win7 64bit [online]. China: arcozhang, 2018 [vid. 2018-04-28]. Dostupné z: <https://bit.ly/2wakXBS>
- [25] URBAN, Luboš. Programování PLC podle normy IEC EN 61131-3 – víc než jednotné jazyky. In: Automa.cz [online]. Děčín: Automa, 2016 [vid. 2018-04-28]. Dostupné z: <https://bit.ly/2JT6hsR>
- [26] happymodel.cz [online]. Digitální systém Z21. 2013. [vid. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.happymodel.cz/clanek/digitalni-system-z21?locale=cs>
- [27] PINTA, Martin. RailCo - software pro ovládání modelové železnice. In: lokopin.wz.cz [online]. Písek: lokopin, 2018 [vid. 2018-05-04]. Dostupné z: http://lokopin.wz.cz/digital/digital_railco_1.htm
- [28] RealTerm: Serial/TCP Terminal [online]. San Diego: sourceforge.net, 2017 [vid. 2018-05-04]. Dostupné z: <https://sourceforge.net/projects/realterm/>
- [29] Adaptér USB na RS232 sériový port 9 Pin DB9 | arduino-shop.cz. Arduino-shop.cz: VELKOOBCHOD, MALOOBCHOD S ARDUINEM [online]. Copyright © Copyright ECLIPSEERA s.r.o. [vid. 2018-05-04]. Dostupné z: <https://bit.ly/2JTRGNw>

A Přílohy

A.1 Tabulky parametrů modulů

Tabulka A.1: Nastavení délky impulsu jednotky LS100/110 pro impulsní provoz [2]

hodnota	délka impulsu [sekund]
0	0,1
1	0,2
2	0,3
3	0,5
4	0,6
5	0,8
6	1,0
7	1,5
8	2,0
9	3,0
10	4,0
11	6,0
12	8,0
13	10,0
14	12,0
15	15,0

Tabulka A.2: Nastavení délky impulsu jednotky LS100/110 pro impulsní provoz [2]

hodnota	frekvence blikání [Hz]
33	4,0
34	3,75
35	3,50
36	3,25
37	3,00
38	2,75
39	2,50
40	2,25
41	2,00
42	1,75
43	1,50
44	1,25
45	1,00
46	0,75
47	0,50

A.2 Obsah přiloženého CD

Program – řídicí program modelové železnice + projekt pro ovládací panel

Zpráva \LaTeX – zpráva ve formátu \LaTeX

Bakalářská práce – elektronická verze bakalářské práce ve formátu PDF