

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Přírodovědecká fakulta

Řízení modelů s využitím digitální ústředny

Bakalářská práce

Jan Schrenk

Školitel: Ing. Ladislav Ptáček

České Budějovice 2015

Bibliografické údaje:

Schrenk J., 2015: Řízení modelů s využitím digitální ústředny

[Controlling of models using environment of digital central. Bc. Thesis in Czech] – 38 pages, Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Anotace:

Práce se zabývá vytvořením modelového kolejiště, které bude sloužit jako demonstrační pomůcka při výuce předmětu automatizace. Kolejiště by mělo demonstrovat možnosti manuálního i plně automatického digitálního řízení pomocí ústředny Roco Z21. Práce se také věnuje porovnání tradičního analogového řízení s digitálním a dále pak kompletaci, kalibraci a nastavení jednotlivých digitálních prvků - dekodérů. Samostatnou část představuje *Step-By-Step* návod pro základní nastavení obslužného softwaru Rocrail.

Annotation:

The work deals with creating a model railway, which will serve as a demonstration tool for teaching the subject of automation. Model railway should demonstrate the possibilities of manual and fully automatic digital control with a control panel Roco Z21. It also describes the comparison of traditional analog control and digital. It also contains assembly, calibration and adjustment of the individual digital elements - decoders. A separate section is a *Step-By-Step* guide for basic setup utility software Rocrail.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum

Podpis

Poděkování

V první řadě bych chtěl poděkovat mému školiteli, Ing. Ladislavu Ptáčkovi, jehož pomoc nejen při zajišťování rozpočtu a obstarávání komponent byla velice důležitá. Naprosto klíčová a nesmírně inspirativní pro mě byla i obrovská míra jeho vlastního entusiasmu, kterou mě během práce neustále dobíjel. Dále chci poděkovat rodině (samozřejmě včetně náhradní babičky Táni Lichtenbergové) za celkovou podporu v době studií, neboť především pevné rodinné zázemí a pohoda mi umožnily dospět až k této práci. Velké poděkování patří také paní Vávrové z internetového obchodu elektrickevlacky.cz, která mi s ochotou vycházela vstříc při mých všetečných dotazech a vyměňovala mi jednu mnou zničenou komponentu za druhou. Nesmím opomenout ani Martina Pintu, jednoho z průkopníků digitalizace modelové železnice v ČR a autora stránek lokopin.wz.cz, který mi podal pomocnou ruku a nasměroval mě správným směrem v těžkých začátcích.

Práci bych ale chtěl věnovat a největší dík tak poslat mému kamarádovi a náhradnímu dědovi, Standovi Lichtenbergovi. Během třech let studia mi byl Standa velkým rádcem i oporou ve všech oblastech elektrotechniky a vlastně i života jako takového. Se Standou jsme zahájili i činnosti na této práci a měli radost z každého drobného pokroku, kterého jsme dosáhli. Těšil jsem se, že se po jeho boku konečně naučím aspoň trošičku pájet. Bohužel výsledku se Standa nedočkal – po krátkém boji před několika týdny podlehl nesmírně agresivní nemoci. Toto poděkování tedy posílám doporučeně přímo do nebe a věřím, že se výsledek Standovi zamlouvá :-).

Obsah

1	Úvod – volba tématu a cíle práce	1
2	Teoretická část.....	2
2.1	Předpokládané výsledky	2
2.2	Základní srovnání analog vs. digitál	2
2.2.1	Analogově řízená modelová železnice.....	2
2.2.2	Digitálně řízená modelová železnice	2
2.3	Digitální ústředna Roco Z21	4
2.3.1	Černá Roco Z21 vs. bílá Roco z21	5
2.3.2	Sběrnice a protokoly (+ konektory) podporované ústřednou Roco Z21 ...	6
2.3.3	Zpracování a tvarování signálu	6
2.3.4	Schéma komunikace mezi jednotlivými prvky	9
2.3.5	Výhybkový dekodér Roco 10775	10
2.3.6	Modul zpětného hlášení Roco 10787 + snímač GMB-8-G.....	11
2.3.7	Lokomotivní dekodér ZIMO MX622N	13
2.4	Návrh kolejiště	15
2.4.1	Vstupní informace a zařízení	15
2.4.2	Tvorba rozpočtu a volba dalších zařízení	16
2.4.3	Volba obslužného softwaru	16
2.4.4	Software pro obsluhu modelové železnice Rocrail.....	17

2.5	Základní koncepce modelového kolejiště.....	18
3	Praktická část.....	20
3.1	Stavba kolejiště.....	20
3.1.1	Základní deska.....	20
3.1.2	Elektroinstalace.....	21
3.2	Nastavení softwaru Rocrail.....	24
3.2.1	Připojení a inicializace ústředny Roco Z21 v rámci prostředí Rocrail ...	24
3.2.2	Přidání a základní kalibrace lokomotiv.....	26
3.2.3	Nastavení lokomotivního dekodéru.....	27
3.2.4	Stavba schématického modelu tratě.....	29
3.2.5	Adresace výhybek.....	30
3.2.6	Adresace senzorů a základní kalibrace bloků.....	31
3.3	Automatický provoz.....	33
3.3.1	Nastavení automatického provozu.....	33
3.3.2	Plány trasy.....	34
4	Zhodnocení výsledků a závěr.....	36
4.1.1	Splnění zadaných úkolů.....	36
4.1.2	Současnost ve znamení mnoha omezení.....	36
4.1.3	Budoucnost.....	37
5	Použité prameny a literatura.....	38

1 Úvod – volba tématu a cíle práce

Při výběru své bakalářské práce jsem uvažoval nad celou řadou témat. Především se jednalo o témata z oblasti programování, případně průmyslových logistických analýz, tedy oblastí, kterou se žívím. K zvolené oblasti mě vedla celoživotní náklonnost k železnici i vzpomínky na dětství, kdy jsem kolejiště měl doma a trávil u něj mnoho příjemných dní. Téma digitálního řízení pro mě bylo nesmírně atraktivní a zároveň znamenalo, že se budu muset ponořit do oblasti, ve které byly mé znalosti velice malé. Na rozdíl od témat spojených přímo s výkonem mého zaměstnání jsem v případě vláček věřil, že si doplním znalosti, které využiji při dokončování mých studií.

V době volby tématu jsem měl naivní představu o relativní jednoduchosti celého řešení, o rozumné dokumentaci od výrobců, o ideální funkčnosti všech prvků i třeba o relativně neomezených finančních zdrojích. Postupem času jsem zjišťoval, že něco jako komplexní návod zprovoznění digitálně řízené železnice v obecné rovině vlastně neexistuje (minimálně ne v češtině). I proto lze tuto práci zároveň pojmout jako ucelený návod k jejímu zprovoznění. Vedle samotné návodové části by mělo mnou navržené a vytvořené modelové kolejiště plnit roli učební pomůcky pro předměty spojené s automatizací a řízením a dále jako prvek sloužící k reprezentaci fakulty, například na dnech otevřených dveří. Všechny tyto tři základní aspekty pro mě znamenaly zcela rovnocenné oblasti, na které jsem musel brát zřetel.

V průběhu prací jsme spolu se školitelem dospěli k závěru, že původní zadání není optimální, a některé jeho body jsme byli nuceni omezit na minimum. To se týká především protokolů, přes které je zvolená ústředna schopna komunikovat, ale které v rámci digitálního řízení ani automatizace neměly žádný význam a v samotné ústředně slouží spíše pro komunikaci s konkurenčními výrobky. Ty však naše prostředí nevyužívá.

2 Teoretická část

2.1 Předpokládané výsledky

Základním předpokladem byla demonstrace možnosti plně automatizovaného řízení železnice pomocí digitální ústředny Roco Z21 [1], kterou jsem dostal k dispozici a okolo které mělo celé prostředí vzniknout. Představa byla taková, že se ve výsledku jednotlivé prvky (vlakové soupravy, návěstidla, blokové úseky, atd.) nastaví pro automatický provoz, proběhne jejich identifikace a kalibrace a následně zcela bez zásahu budou demonstrovat vzájemnou propojenost. Dalším cílem byl poloautomatický provoz, kdy část provozu bude ovládána přímo člověkem a digitální ústředna zajistí smysluplné ovládání zbytku kolejiště. Tato část se v průběhu stavby ukázala jako velice komplikovaná a v rámci možností pouze velice obtížně realizovatelná. Posledním cílem se stal manuální provoz, který by umožňoval demonstraci výhod oproti konvenčně analogově řešené modelové železnici.

2.2 Základní srovnání analog vs. digitál

2.2.1 Analogově řízená modelová železnice

Pod pojmem „analogově řízená modelová železnice“ rozumíme kolejiště řízené jednou nebo větším množstvím vzájemně galvanicky oddělených napěťových soustav. K řízení je použito výhradně ovládání transformátory a spínacími relé. Analogově řízená železnice vždy využívá stejnosměrné napájení o napětí zpravidla 6 – 24 V. Přestavení výhybek a návěstidel probíhá zpravidla pomocí elektromagnetických přestavníků, případně manuálně (fyzicky rukama), které bývají zpravidla napájeny střídavým napětím 18 V. Hlavní výhodou analogové železnice je relativně jednoduché zapojení, ke kterému stačí základní vzdělání a selský rozum. V případě jednodušších kolejišť navíc naprosto minimální časová náročnost a jen zlomkové finanční náklady. Náročnost ovšem roste geometrickou řadou v případě složitých celků pro více vlakových souprav. Omezením je problematický provoz dvou lokomotiv na jedné koleji. Protisměrně je již z principu provozovat nelze vůbec a souběžně zpravidla jen lokomotivy stejného výrobce a stejné výrobní řady (jinak první kvůli rozdílům ve velkosériové výrobě může fyzicky brzdit druhou – prokluzuje a obrušuje jak

kolejnice, tak i běhouny kol). Relativně největším omezením je ale faktická nemožnost plně automatizovaného provozu, resp. velmi vysoká náročnost a v dnešní době neexistence profesionálních řešení tohoto analogového automatizovaného řízení. Ačkoliv by se na první pohled mohlo zdát, že výhod analogově řízeného kolejiště je minimum a nevýhody jednoznačně převažují, tak právě jednoduchost stavby a relativní finanční nenáročnost jsou obrovské trumfy, díky kterým je i v dnešní době stále 95 – 99 % domácích kolejišť řízeno výhradně analogově. Ostatně není zase tak mnoho modelářů, kteří se touží na kolejiště jen dívat – touží otáčet knoflíkem a sledovat, jak se mašinka rozjíždí či naopak zpomaluje. Líbí se jim přestavení výhybky či návěstidla tlačítkem, v tom je digitální železnice poněkud omezena.

2.2.2 Digitálně řízená modelová železnice

Digitálně řízená železnice je v mnoha směrech naprostým protikladem železnice řízené analogově. Zatímco historii analogové železnice lze vysledovat hluboko do první poloviny 20. století (v České republice, resp. Československu přibližně k roku 1930), digitální řízení přišlo až s rozvojem polovodičových součástek a především rozšířením domácích počítačů. První pokusy v Československu lze datovat do 80. let 20. století s pozvolným rozvojem v letech 90. Veškeré snahy ale byly především výsledkem domácího elektrotechnického kutilství a programátorského umu každého modeláře (nebo častěji modelářských klubů), kteří se do podobné oblasti vrhnuli. S příchodem 21. století dochází k velkosériové výrobě profesionálních řešení pro domácnosti, které digitální řízení nabídlo širokým masám.

Na rozdíl od analogové železnice je digitální neustále napájena napětím o stálé velikosti. Vedle samotného elektrického proudu do kolejiště tečou i informace pro řízení jednotlivých prvků (lokomotivy, návěstidla, výhybky, osvětlení, závory, ale třeba i automobily...). Všichni výrobci, na které jsem při svém výzkumu narazil (Lenz, Märklin, Roco), dnes využívají střídavé napětí v rozmezí 12 – 24 V. Signál má při digitálním řízení zpravidla (dnes nejspíše již výhradně) obdélníkový tvar. Podrobnosti ohledně signálu jsou rozvedeny v kapitole 2.3.3 týkající se přímo ústředny Z21.

Pravděpodobně kvůli jednoznačnému rozložení trhu ve prospěch analogově řízené železnice jsou i v dnešní době prakticky veškeré základní prvky (lokomotivy, návěstidla, přestavníky) určeny primárně pro analogový provoz. Lokomotivy mají stejnosměrné

elektromotory, výhybky elektromagnetické přestavníky pro stejnosměrný proud. To ve výsledku znamená, že veškeré řízené prvky v digitálním prostředí je nutné doplnit o moduly s dekodéry, usměrňovači a regulátory. Investice do dekodérů si vyžaduje nejen nemalé finanční náklady, ale i minimálně mírně pokročilé znalosti počítačové techniky. Jednotlivé dekodéry přijímají instrukce z ústředny buď prostřednictvím kolejí, nebo samostatným kabelem.

Vedle hardwaru je zapotřebí i komplexní software. V začátcích digitalizace profesionální řešení neexistovala a každý modelář si musel naprogramovat svou po domácku vytvořenou ústřednu sám. V dnešní době jsou možnosti již mnohem širší a vývojem softwaru pro digitální řízení modelové železnice se zabývá několik společností. Možnosti řízení jsou v porovnání s jakýmkoliv analogem obrovské – od kalibrace lokomotivy, aby měla obdobné základní jízdní vlastnosti jako reálný protějšek, přes tvorbu jízdního řádu jednotlivým soupravám tak, aby vzájemně interagovaly podobně, jako ve skutečnosti, až například pro posunování lokomotiv na stejné koleji a následné spojení obou strojů do společného vlaku. Nastavení bývá velmi komplexní a jeho odladování zabírá obrovské množství času. Nutno dále zmínit, že vedle dekodérů i řídicí software znamená zpravidla značnou finanční investici, což opět vede u mnohých uživatelů k preferenci analogového kolejiště.

2.3 Digitální ústředna Roco Z21

Srdcem každého digitálně řízeného kolejiště je ústředna. Slouží k zpracování digitálního signálu z počítače a jeho transformaci na střídavé napětí, které následně posílá do kolejiště. Na druhé straně sbírá i tzv. zpětné hlášení, což nejčastěji bývají informace o obsazenosti jednotlivých kolejí, ať již jedoucimi vlaky nebo třeba i odstavenými vagony.

Společnost Roco patří mezi celosvětově největší výrobce železniční modelářské techniky. V jejím portfoliu je vedle modelů vláček a kolejiva i značné množství prvků digitálního řízení. Tato společnost se velkou měrou zasazuje o popularizaci a zjednodušení zavádění digitálně řízených modelů, přičemž k tomu využívá právě prostředí okolo ústředny Z21 resp. z21 [1]. Výrobce se snaží systém prezentovat jako nesmírně jednoduchý a efektivní, kdy si doslova každý může lehce postavit digitální kolejiště. To sebou přináší ve výsledku problémy při profesionálnějších použití. Dokumentace uživatele navede, jak zprovoznit vláček na obyčejném oválu. Jak jej rozjet a zastavit a jak toto vše provést pomocí zařízení

s operačním systémem Google Android [2] či Apple iOS [3]. Pokud uživatel nevlastní zařízení vybavené těmito systémy, žádné informace v manuálech od společnosti Roco nezíská – kromě seznamu podporovaných vývojářů. Toto vnímám jako jednu z největších nevýhod celého ekosystému Z21. Jednoduché a intuitivní základní zapojení, ale zcela nezdokumentované skutečně pokročilé digitální řízení pomocí jakéhokoliv zařízení s nejrozšířenějším operačním systémem vůbec - MS Windows. Na Z21 je ale přesto třeba nahlížet jako na nástroj s relativně neomezenými možnostmi splňující veškeré současné standardy a do krajnosti využívající možnosti digitalizace.

2.3.1 Černá Roco Z21 vs. bílá Roco z21

Výrobce nabízí dvojici ústředen poněkud nešťastně s téměř stejným označením – Z21 (černá barva) a z21 (bílá barva) [5]. Tato práce využívá „velkou černou“ Z21. Ústředna z21 nemá tyto konektory: sběrnice LocoNet (L-Bus), CAN-Bus a Sniffer-Bus. Dále neumožňuje připojení samostatné programovací koleje (podrobnosti v části 3.2.3 věnované nastavení lokomotivního dekodéru), pevné nastavování napětí (standardně nastavované dynamicky) a update dekodérů pro firmu Roco spřátelené společnosti Zimo. Velmi paradoxně veškeré tyto prvky nejsou pro komplexní počítačové digitální řízení velké železnice vůbec potřeba a z21 je tak zcela srovnatelná se Z21. Své využití najdou spíše u hybridního digitálního modelu s analogovým pojetím – jakási emulace relé a napěťových transformátorů. Bohužel tyto informace nebývají z dostupných propagačních materiálů začínajícím zájemcům o digitální železnici zřejmé, což lze chápat i jako určitou část obchodní strategie výrobce.



Obrázek 1- náhled na digitální ústřednu Roco Z21 z přední a zadní strany. Na zadní straně jsou vidět konektory veškerých podporovaných sběrnic [19].

2.3.2 Sběrnice a protokoly (+ konektory) podporované ústřednou Roco Z21

Jak již bylo uvedeno v úvodu této práce, část věnovaná ostatním protokolům bude velice zjednodušená, neboť naše kolejiště je nevyužívá a jejich obecné použití při automatizaci nemá velký význam. Jednotlivé protokoly, resp. konektory popisují zleva doprava (patrně dle Obrázku 1).

CAN – slouží k připojení jediného zařízení, ovladače Zimo MX32 přes sběrnici ZCAN20. Společnost Zimo se soustředí především na produkci lokomotivních digitálních dekodérů, kde patří mezi vůbec nejznámější hráče na trhu. Ovladač MX32 slouží k ručnímu ovládání jednotlivých prvků kolejiště.

LAN – standardní ethernetové propojení s PC, resp. s Wi-Fi routerem prostřednictvím konektoru RJ-45. V případě řízení počítačem se jedná o klíčovou sběrnici.

X-BUS – sběrnice pro připojení základních ovladačů jak od společnosti Roco (multiMAUS), tak i zařízení největšího konkurenta, společnosti Lenz. Sběrnice slouží k přijímání povelů z těchto zařízení, pro automatický provoz však nemá opět žádný význam.

R-BUS – tato sběrnice je dalším základním prvkem každé automatizované železnice. Sběrnice získává informace o obsazenosti jednotlivých kolejových úseků. V případě výhradně manuálního ovládání nemá význam. R-Bus slouží k připojení zařízení přímo od společnosti Roco, avšak jak bylo zmíněno, zpravidla je nutné je doplnit o speciální dekodéry GBM-8-G.

L-BUS – jediná plnohodnotná obousměrná sběrnice pracující dle tzv. standardu LocoNet [14]. Lze do ni zapojit velmi rozličné ovladače (například i panel představující zjednodušený model kabiny lokomotivy) a příslušenství. Protokol LocoNet je výborně zdokumentován a lze jej relativně lehce použít i v kombinaci s vlastními zařízeními. Jak bylo uvedeno, sběrnice je obousměrná, umožňuje tedy přijímat i informace zpětného hlášení, byť samotné Roco k tomuto využívá vlastní sběrnici R-BUS.

B-BUS – sběrnice pro připojení zesilovačů. Využívá se u rozsáhlých kolejišť, v našem případě využití nemá.

Sniff BUS – přes tuto dvojici vodičů je možné jednoduše připojit starší digitální ústředny od společnosti Roco. Tím lze usnadnit okamžitý přechod na Z21, avšak z hlediska dlouhodobého používání nevidím u tohoto konektoru využití. Konektor je vybaven

jednoduchými svorkami, které usnadňují připojení vodičů (podobně jako Main Track a Prog Track).

Prog Track – připojení programovací koleje. Ta tvoří samostatný okruh a slouží primárně k nastavení, resp. kalibraci dekodérů jednotlivých modelových vozidel (tedy většinou lokomotiv). Programovací kolej lze použít i pro běžný provoz – lokomotivy mohou bezproblémově přejíždět mezi hlavní tratí a touto programovací částí.

Main Track – připojení hlavního kolejiště, základní výstupní konektor. Teoreticky ji lze využít i k programování, avšak u větších kolejišť již nastavování probíhá problematicky (pravděpodobně z důvodu příliš vysokého packet lossu).

2.3.3 Zpracování a tvarování signálu

Řídící instrukce do ústředny směřují přes ethernetový kabel se standardním konektorem RJ-45. Ústřednu lze teoreticky napřímo spojit s počítačem, nebo připojit WiFi router, který je k ústředně standardně dodáván – toto zapojení je preferováno a výhradně zastoupeno v dokumentaci [4].

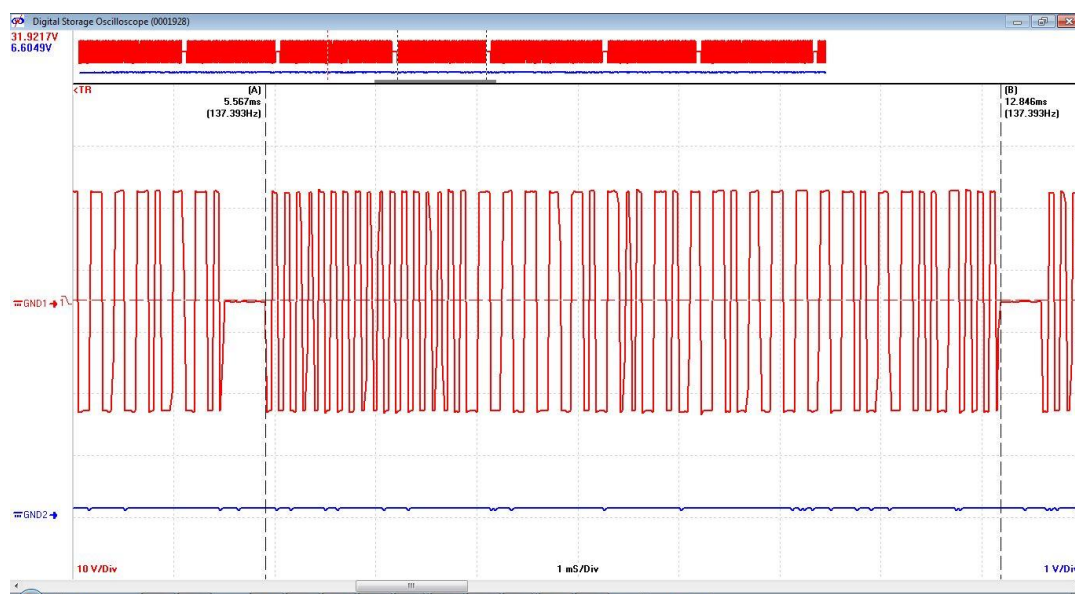
Ústředna je teoreticky schopna kolejiště napájet napětím ve výši 12 – 24 V. Standardně Z21 i z21 drží napětí na 17 V a to je velice stabilní. U černé Z21 je možné úroveň napětí ručně změnit právě v rozsahu 12 – 24 V, pravděpodobně kvůli napájení širokého spektra komponent. Individuální nastavení je však třeba provádět s rozmyslem. Pro řadu dalších komponent kolejiště je hraničních 20 V a při vyšším napětí by tak mohlo dojít ke zničení těchto prvků. Signál samotný má obdélníkový tvar. Jak bylo zmíněno výše – u digitálně řízeného kolejiště do kolejí nepřivádíme pouze elektrickou energii pro pohon vlaků, ale i informaci jak se mají vlaky a ostatní zařízení chovat. To je provedeno konvenčně pomocí binárních slov. Výrobce v dokumentaci samotný přenos blíže nespecifikuje, avšak po oslovení technické podpory společnosti Roco mi bylo vysvětleno, že se veškeré přenosy řídí dle tzv. NMRA (National Model Railroad Association) normy [17]. NMRA standardy slouží nejen k standardizaci digitálního řízení jako takového, ale i k modelové železnici jako celku, tedy aby například vagony byly schopny projet určitými kolejovými oblouky.

Po proměření signálu na osciloskopu (výsledek je na Obrázku 2) je patrné, že pro přenos informace je využita pulzně šířková modulace (PWM), stejně jako pro vlastní napájení, přičemž délka trvání jednoho stavu je přibližně 2x delší než druhého. Z výsledků měření na osciloskopu je patrné, že signál je posílán v pravidelné dvojici nestejně dlouhých

slov. Každé slovo je uvedeno 17 stejnými bity, následuje 5 opačných bitů a poté již přichází samotná informace. Hlubší analýza signálu v rámci této práce provedena nebyla. Frekvence je v případě prvního znaku přibližně 9 kHz, u druhého znaku 4,5 kHz. Výsledek měření na osciloskopu je patrný z obrázku 3. Identický signál je přiváděn jak do samotného kolejiště (tedy do kolejí), tak i do dalších digitálních prvků – dekodérů výhybek, návěstidel, atd. NMRA standard signál jednoznačně specifikuje [18].

Komunikace mezi ústřednou a zařízeními funguje na následujícím principu: Ústředna vysílá signál s adresou pro konkrétní prvek. Každý z nich musí mít unikátní adresu. Pokud jsou v soustavě dva prvky stejného typu (např. dvě lokomotivy) se stejnou adresou, obě reagují na pokyny podobně, avšak ne stejně. Nelze například využít dvou strojů pro souběžný provoz - každý ze strojů je trochu jiný. V praxi toto však není nutné, adres lze použít velké množství (jen pro lokomotivy je jich 1024). Za adresou následuje informace, co má daný prvek kolejiště udělat. V případě lokomotivy to může být vedle zrychlení či zpomalení především rozsvěcení světel, spouštění zvukových efektů, otevírání dveří, atd.

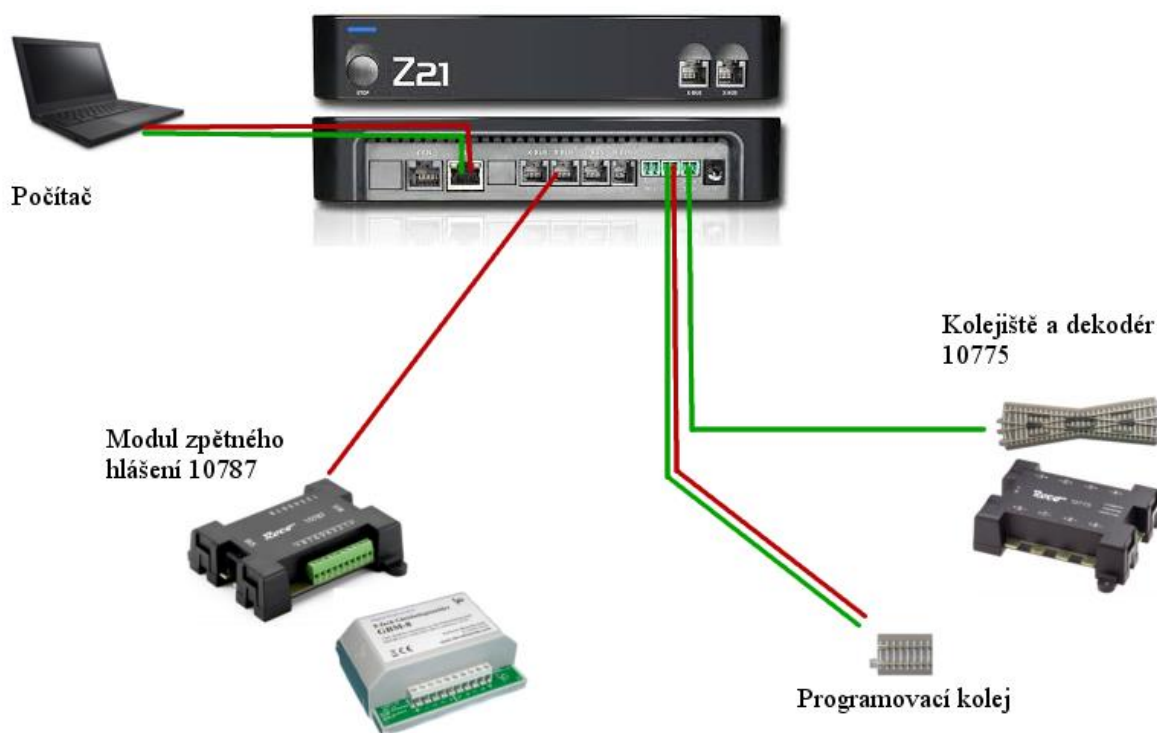
Ústředna sama o sobě z kolejiště nepřijímá žádnou zpětnou vazbu. Jednotlivé vlaky, výhybky či návěstidla toto neumožňují, pracují tedy pouze v pasivním režimu příjmu. Zpětná vazba je založena na měření velikosti proudu, který teče jednotlivými úseky, jež jsou vzájemně odizolovány. Toto je také jediná aktivní informace, kterou ústředna z kolejiště zpětně přijímá pomocí speciální sběrnice R-Bus, což ve výsledku znamená relativně velká omezení a zvyšuje nároky na kalibraci a inicializaci jednotlivých prvků při každém spuštění.



Obrázek 2- záznam z osciloskopu monitorující signál jdoucí do kolejiště. Výška šedého obdélníkového segmentu má hodnotu 10 V, jeho šířka pak 1 ms.

2.3.4 Schéma komunikace mezi jednotlivými prvky

Schéma na obrázku 3 ukazuje zjednodušené zapojení jednotlivých prvků našeho kolejiště do ústředny Z21. Zelené čáry označují výstupní a červené vstupní informace. Nutno poznamenat, že jediná skutečně obousměrná komunikace probíhá v reálném čase mezi počítačem, resp. řídicím SW a ústřednou. Ve schématu je obousměrná komunikace naznačena i u programovací koleje, avšak v tomto případě se jedná pouze o možnost zasílat informace do lokomotivních dekodérů a případně je i načítat, avšak ne ve stejný okamžik. Ústřednu je pro takový případ nutno přepnout do speciálního režimu. Ze schématu je jasně patrné základní omezení digitální železnice, spočívající ve zcela oddělené komunikaci mezi akčními (aktivními) prvky a zpětnou vazbou.



Obrázek 3 - zjednodušené schéma zapojení prvků v našem kolejišti

2.3.5 Výhybkový dekodér Roco 10775



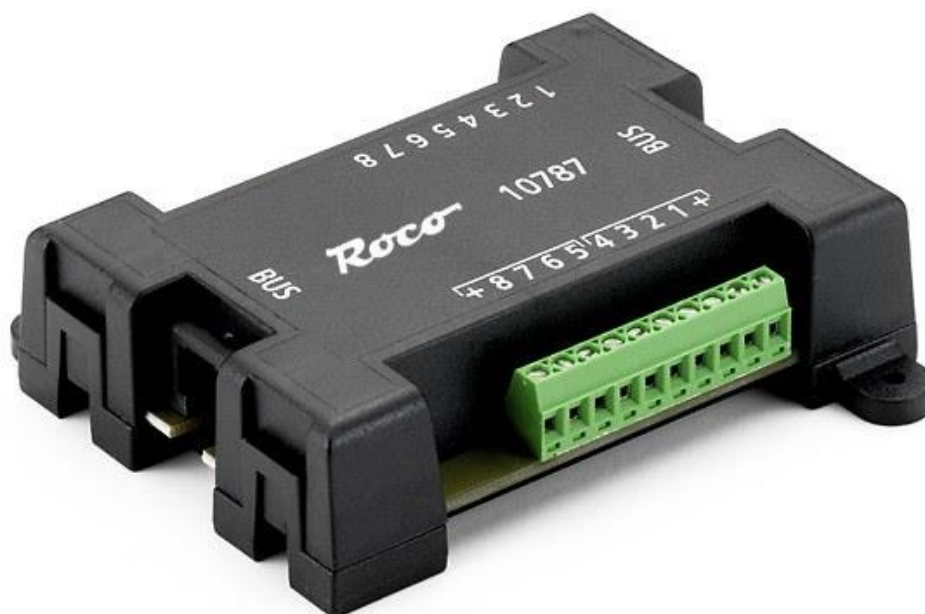
Obrázek 4 - výhybkový a návěstní dekodér Roco 10775 [20].

Každá výhybka se skládá z tzv. výměny, střední části a srdcovky [11]. Pravá a levá kolejnice je galvanicky oddělena, avšak veškeré součásti musejí být neustále pod napětím. Proto je pod výhybkou systém vodičů, který zajišťuje správné vedení elektrického proudu v jakékoliv poloze. V případě tohoto kolejiště je mechanický přestavník umístěný v části železničního svršku pod výhybkou. Slouží k přestavení výhybky z jedné polohy do druhé pomocí elektromagnetické síly. Do samotného přestavníku vedou tři vodiče: **plus**, **minus** a **zem**. K přestavení dochází pomocí stejnosměrného proudu buď v jednom, nebo ve druhém vodiči.

Dekodér Roco 10775 (Obrázek 4) plní vedle překladu a zpracování informací také funkci usměrnění proudu. Zařízení má celkem 9 konektorů, přičemž jeden slouží k přivedení napětí (a tedy i informací) z ústředny. Ten je dvojvodičový a teče jím pochopitelně střídavý proud (stejný jako do zbytku kolejiště). Výstupy jsou trojvodičové, stejné jako u výhybek.

Kalibrace jednotlivých výhybek je triviální, avšak výrobcem zcela nezdokumentovanou činností. Věnuje se jí příslušná část této práce v samostatné kapitole adresace výhybek. Identickým způsobem funguje i kalibrace návěstidel [12].

2.3.6 Modul zpětného hlášení Roco 10787 + snímač GMB-8-G



Obrázek 5 - modul zpětného hlášení Roco 10787 [20].

Vedle aktivních součástí, jakými jsou lokomotivní a výhybkové/návěstní dekodéry je k automatickému provozu nezbytné kolejiště vybavit moduly zpětného hlášení (Obrázek 5), resp. moduly obsazenosti jednotlivých kolejí. Jak již bylo uvedeno – z ústředny jsou do kolejiště informace jednosměrně. Ústředna sice vydá pokyn k tomu, aby se lokomotiva rozjela, výhybka se přestavěla nebo návěstidlo ukázalo stůj, avšak bez modulu zpětného hlášení nemá žádnou možnost kontroly, zda byl pokyn vykonán. Na manuální provoz naopak nemá modul zpětného hlášení žádný přímý vliv. Propojení s ústřednou je realizováno po samostatné sběrnici R-Bus pomocí konektoru RJ-45. Modul funguje na principu sběru informací ze speciálních kolejí zpětného hlášení, avšak standardně pouze k tomu určených kolejí společnosti Roco (ty jsou k dispozici navíc jen v měřítku H0). Vzhledem k prostředí postaveném na kolejích značky Tillig a měřítku TT bylo použití samostatně pracujícího modulu 10787 vyloučeno. Proto bylo nezbytné modul doplnit o zařízení GMB-8-G (Obrázek 6), které slouží jako snímač napětí a dekodér komunikující právě s Roco 10787.



Obrázek 6 - napěťový snímač obsazení GBM-8-G

GMB-8-G lze použít pro dvě napěťově zcela oddělená kolejiště (pro dvě ústředny), přičemž na každém je schopný sledovat čtveřici obsazených úseků. Alternativně lze využít osm úseků na jediném kolejišti (takto je to v našem případě). Konektory J a K slouží k připojení k ústředně. Následně je zapotřebí galvanicky oddělit vždy jednu kolejnici z každého úseku kolejiště, které chceme sledovat. K této oddělené kolejnici je poté přiveden vodič spojený s příslušným konektorem na GMB-8G (čísla 1 – 8). Zařízení zajišťuje dodávku elektrického proudu i do těchto zdánlivě izolovaných (přesněji řečeno oddělených) kolejnic a sleduje velikost tohoto proudu. Pokud je na kolejnici byt' jen minimální odběr (výrobce uvádí citlivost 0,001 mA – 3 mA), pak modul předá do Roco 10787 informaci, že je daná kolej obsazená a tento informaci předá ústředně, ze které případně putuje dále do řídicího softwaru. Na modulu zpětného hlášení je pro snazší vizualizaci umístěno 8 červených diod, které svým rozsvícením obsazenost ukazují [13].

Software Rocrail rozpoznává (a označuje) tato zařízení jako senzory obsazenosti úseků, z tohoto důvodu je v části 3 označují také termínem senzor.

2.3.7 Lokomotivní dekodér ZIMO MX622N

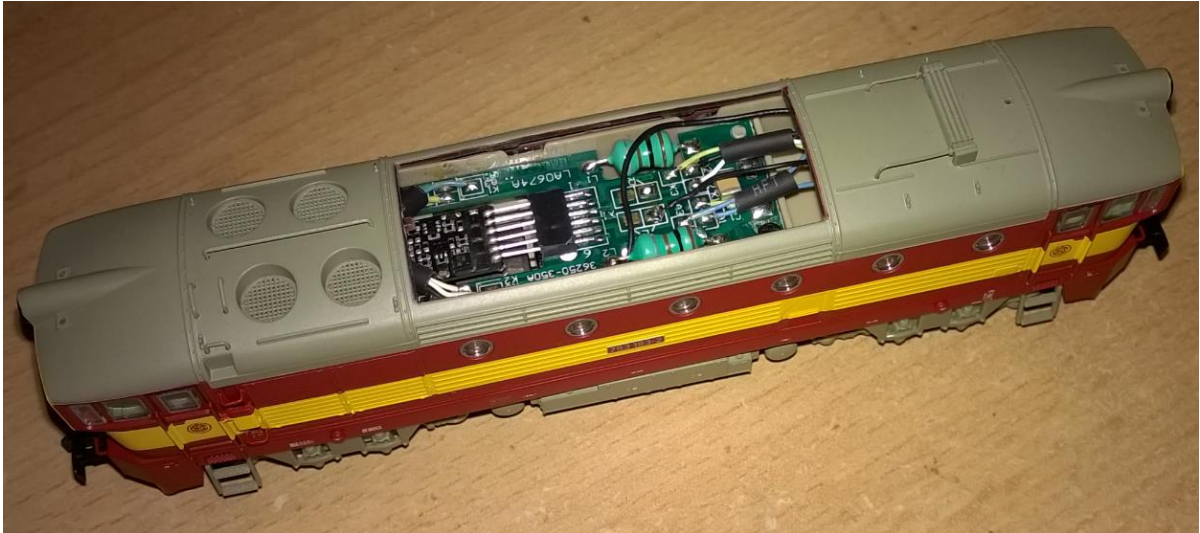


Obrázek 7 - lokomotivní dekodér ZIMO MX622N [21].

Téměř všechny modelové lokomotivy se na dnešním trhu dodávají v konfiguraci pro analogově pojaté kolejiště. Jsou vybavené stejnosměrnými motory, osvětlení je dnes realizováno již výhradně pomocí LED diod. Všichni výrobci si ale zjevně uvědomují budoucnost digitálu a u lokomotiv zanechávají tzv. „přípravu pro digitalizaci“. Jedná se o konektor, který je standardně obsazen jednoduchým obvodem sloužícím pouze pro stabilizaci stejnosměrného „analogového“ napájení. Konektory jsou osazovány v celé řadě standardů v závislosti na měřítku i zamýšlených možnostech lokomotivy.

Mezi nejrozšířenější standardy patří v měřítku TT standard NEM651, kterým jsou vybaveny všechny tři lokomotivy našeho kolejiště. Jedná se o šesti pinový jednořadý konektor (Obrázek 7). U všech třech lokomotiv je umístěn ve vrchní části skříně, u stroje 753 se k němu lze dostat pouhým sejmutím prostředního bloku střechy (Obrázek 8), u lokomotiv 750 a 372 je nutno skříň opatrně sejmut odklopením západek v jejich spodních částech. Dekodéry jsem zvolil od rakouské společnosti ZIMO jak z důvodu dostatečné dokumentace [15], tak i z důvodu její zjevně užší spolupráce s firmou Roco. Při instalaci dekodéru je problémem jeho symetrie. Ačkoliv dokumentace dekodéru popisuje jaký pin je jaký, a jak by se tedy měl dekodér do mašinky umístit, výrobci samotných lokomotiv (v našem případě) toto ve svých manuálech nikterak neřeší. Není nijak řešeno odlišení správného zapojení (barva, tvar). Uživatel tedy neví, zda dekodér zastrčil správně. Vypozoroval jsem, že pokud po osazení dekodérem lokomotiva reaguje na zvýšení rychlosti intenzivnějším zesílením osvětlení, je potřeba dekodér otočit, tedy zcela nevhodná metoda pokus/omyl.

Lokomotivní dekodér má tři základní funkce. Dekódování signálu, usměrňování střídavého proudu a regulaci výkonu. Výkonová regulace je řešena na základě pulzně šířkové modulace [16]. To oproti analogovému řízení proměnným napětím přináší velkou výhodu v mnohem větším točivém momentu i při nízkých rychlostech. Lokomotiva je tak schopna pohybu i velice malou rychlostí, případně vlečení těžších souprav do prudkých stoupání – analogové lokomotivy toto nízkou rychlostí realizovat nedokáží. Výsledkem je věrná reprodukce akcelerace, decelerace a právě i pomalé jízdy, zvláště ve stoupání.



Obrázek 8 - uložení dekodéru ZIMO 622 ve skříni lokomotivy 753

Dekodéry obsahují různé množství adres, kde mohou ukládat informace. Pro dekodér ZIMO 622 se jedná o 256 adresních míst (0 – 255), v našem kolejišti jich reálně využíváme okolo 40. Teoreticky každé adresní místo může ošetřovat některou funkci lokomotivy např.:

- vlastní adresa v rámci celého ekosystému
- hodnota pro kalibraci maximální rychlosti
- hodnoty pro tzv. střední a minimální rychlosti
- zmíněné koeficienty akcelerace a decelerace
- hodnoty pro jízdu na různé rychlostní stupně (pro reálné odladění možností rychlostní regulace)
- signály pro zapnutí zvuku, spuštění kouře, či ovládání každého světla zvlášť

Řada funkcí ovšem nachází uplatnění spíše u většího měřítko H0, v našem případě tedy dekodér krom samotných mechanických vlastností lokomotivy ovládá pouze rozsvícení a zhasínání světel. I v měřítku TT ale bývá časté využití např. zvukových modulů apod.

Kalibrace lokomotivy, resp. jejího dekodéru, probíhá na tzv. programovací koleji. U vyloženě malých kolejišť je možno lokomotivy programovat i na hlavní trati, v našem případě toto řešení již nebylo spolehlivé (ztráty signálu, timeout), a proto je i v našem kolejišti speciální programovací kolej přítomna. Detailní postup kalibrace lokomotivy je uveden v samostatné části věnované nastavení kolejiště.

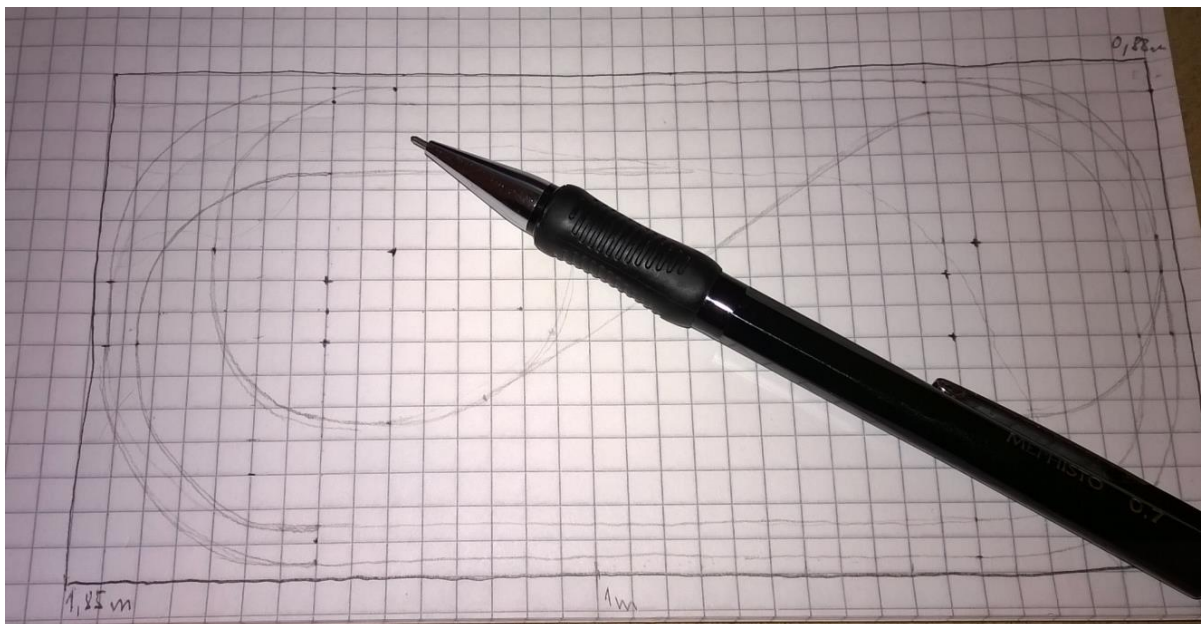
2.4 Návrh kolejiště

2.4.1 Vstupní informace a zařízení

Naše kolejiště má v první řadě sloužit jako demonstrátor při výuce předmětů spojených s automatizací. Je proto vhodné, aby zahrnovalo množství automaticky ovládatelných prvků. Na začátku práce již byla významná část prvků pořízena. Základ tvořily:

- ústředna Roco Z21
- koleje s podloží od společnosti Tillig
- několik výhybek s přestavníky
- dvojice lokomotiv

Koleje a lokomotivy jsou v měřítku TT, tedy 1:120. Měřítko, kolejivo a ústředna byly tedy pevně dány. V této chvíli přišly na řadu první konkrétní úvahy o budoucím vzhledu kolejiště (Obrázek 9).



Obrázek 9 - jeden z prvních ale již geometricky přesných návrhů finálního kolejiště. Návrh byl klíčový především z prostorových důvodů – tedy aby se veškeré zamýšlené prvky vešly do daného omezeného prostoru.

2.4.2 Tvorba rozpočtu a volba dalších zařízení

Na úvod musím zmínit fakt, že tvorba rozpočtu a zvolení správných zařízení byly u této práce prováděny pod velkým časovým tlakem. Detailní plánování si vyžadovalo minimálně měsíce, avšak k dispozici byl (kvůli vnějším okolnostem) pouze necelý týden. Některá tehdy učiněná rozhodnutí se ukázala jako mylná, výsledek vedl k několika dalším investicím (například původně neodhalená nezbytnost pořízení napěťového snímače GMB-8-G). Vše jen ukázalo, jak komplexní záležitostí modelová digitální železnice skutečně je.

Kvůli možnosti efektivněji (a koneckonců i efektněji) demonstrovat digitální provoz byla pořízena ještě třetí lokomotiva. Do všech lokomotiv digitální dekodéry, množství kolejiwa včetně výhybek, modul (dekodér) tzv. zpětného hlášení, dvojice dekodérů výhybek resp. návěstidel, návěstidla, osvětlení a další drobné již méně významné prvky. Kvůli minimalizaci možných potíží s kompatibilitou byly hlavní dekodéry výhybek a zpětného hlášení zvoleny od stejného výrobce, tedy od společnosti Roco. Další investice si vyžádaly vizuální prvky – především úprava povrchu (modelová tráva).

2.4.3 Volba obslužného softwaru

Ačkoliv si v minulosti kutilové software sami programovali, dnes je digitální řízení natolik komplexní záležitostí, že je tento přístup takřka vyloučen. Výrobce doporučuje [4] využít software od čtveřice vývojářů:

iTrain: holandský systém primárně vyvíjený pro MacOS, v současnosti plně kompatibilní s Microsoft Windows i OS Linux. Licenci je možné využívat 30 dnů zdarma, během nichž je software použitelný bez jakýchkoliv omezení. Dokumentace je na první pohled komplexní a vše je zpracováno úhledně v PDF. Dle informací od výrobce tento typ SW umožňuje řízení modelové železnice v rozsahu plánovaném v rámci této práce, avšak především kvůli vysokým cenovým nárokům na licenci zůstalo pouze u krátkého experimentu a **iTrain** [8] byl z volby vyloučen.

ModellStellwerk: software pracující pouze pod Microsoft Windows. Jedná se o produkt od německých vývojářů s bohatou technickou dokumentací shrnutou v PDF dokumentu. Ačkoliv je cena SW velice příznivá a možnosti velmi široké, dokumentace je pouze v německém jazyce, stejně jako prakticky veškerá komunita [9]. Software byl tedy zamítnut primárně z důvodu obtížného řešení potenciálních problémů jak současných, tak i případně

při budoucím provozu kolejí na půdě fakulty.

TrainController: Určený pouze pro Microsoft Windows. Celosvětově zřejmě nejvíce rozšířený software, jeho dokumentace je spíše slabší, avšak komunita naopak poměrně silná. V České republice se jedná o nejoblíbenější řešení ovládání digitální železnice [7]. Ačkoliv původní kalkulace počítaly s využitím právě free/shaerwarového systému **TrainController** [10], byl systém nakonec vyřazen kvůli současné zcela nové licenční a cenové politice, která z něj udělala z finančních důvodů nedostupnou záležitost.

Rocrail: Pro účely naší práce byl z dále uvedených důvodů zvolen právě tento software. Jde o freeware s velkou kompatibilitou.

2.4.4 Software pro obsluhu modelové železnice Rocrail



Obrázek 10 - logo společnosti Rocrail

Jediný software, který bylo reálně možné využít, je systém Rocrail (Obrázek 11). Ačkoliv by se mohlo jevit, že software má něco společného se společností Roco, není tomu tak a jedná se pouze o shodu jmen. Jde o produkt vyvíjený primárně pro systém Linux, plně kompatibilní s iOS a Microsoft Windows. Lze jej využít i na linuxových mutacích, pracujících například s mikropočítači Raspberry Pi. Veškerá dokumentace je k dispozici pouze online na webových stránkách využívajících engine Wikipedia [6]. Za největší výhodu i nevýhodu lze považovat obrovskou podporu všem větším i menším digitálním systémům, což ale vede k jisté rozdrobenosti komunity. Dalším důsledkem je přehlacení celého rozhraní množstvím možností a nabídek, které nejsou s řadou dalších prvků nikterak využitelné. Jinou nevýhodou je s přehledem nejslabší vizualizace modelové železnice s nemožností jednoduše zobrazit elementární věci, jako je mimoúrovňové křížení trati (most), nebo jednoduše zobrazit víceúrovňovou trať. Největším kladem, krom maximální kompatibility doslova se vším, je ale především freeware licenční model a časté aktualizace. Veškeré informace, které budou nadále v práci uvedené, souvisejí právě se systémem Rocrail, na kterém je celá tato práce postavena a jehož možností využívá.

2.5 Základní koncepce modelového kolejiště

Úvahy nad koncepcí a vzhledem budoucího kolejiště měly několik fází. Nejdříve se jednalo o skutečně malé vláčky s jedním hlavním okruhem, malým dvoj- až tříkolejným nádražím a vlečkou (samostatnou kolejí, na níž se měla pohybovat jedna souprava z jednoho konce na druhý).

Následně se úvahy přenesly na digitalizaci již existujícího analogového kolejiště, přičemž největší výhodou byla vizuální stránka věci a relativně obrovský rozsah s možným bohatým provozem. Nevýhoda tkvěla ve značném opotřebením, obtížném shánění náhradních dílů i v relativně obtížnějších možnostech digitalizace. O vyřazení této možnosti definitivně rozhodly rozměry, které byly v prvních fázích plánování omezeny cca na 90 x 180 cm. Pro potřeby vizualizace tohoto rozměru posloužila válenda s jednoduchým oválem (Obrázek 123). Ta se také stala základním „testovacím polygonem“.



Obrázek 13 - obyčejná válenda v počátcích posloužila nejen k testování základních funkcí ústředny a lokomotiv, ale především jako vizuální předloha plochy finálního kolejiště - ta je totiž téměř totožná. Naprostá většina odlaďovacích prací při kalibraci lokomotiv byla provedena právě již na tomto „testovacím okruhu“.

Další z úvah vedla k osazení existujícího podkladu na menší desce novými kolejemi a jejich digitalizací. Tuto možnost však vyloučily zcela jiné poloměry již zakoupených kolejových oblouků.

Úvahy se tedy vrátily na samotný začátek, takřkajíc ke stavbě na zelené louce. Inspirací zůstalo starší kolejiště uvažované k digitalizaci – cílem se stal stav, který by umožnil podobně komplexní nebo i komplexnější provoz s minimálními náklady. Ty měly

být sníženy racionálnějším přístupem ke stavbě a odebráním přebytečných částí, které u demonstrační pomůcky nebudou zapotřebí. První úvahy a výsledky jsou patrné z obrázků 14 a 15.

Výsledné kolejiště bylo navrženo jako víceúrovňové (dvoupatrové) s několika tunely a přemostěními. Základ tvoří kombinace hlavní a vedlejší tratě s větším „jižním“ nádražím, přičemž na hlavní trati bude probíhat provoz zcela bez ohledu na trať vedlejší. V případě potřeby mohou vlaky z hlavní trati přejet na vedlejší a naopak. Z finančních důvodů lze k přejezdu využít pouze jednoduché propojení a mezi hlavní a vedlejší tratí tak není možné přejíždět zcela libovolně. Na vedlejší trati se budou pohybovat dva vlaky zpravidla protisměrně a vzájemně se budou křížit na severním malém nádraží.



Obrázek 14 - první náčrt stavby kolejiště v jeho finální dvoupatrové koncepci. Veškeré na obrázku chybějící prvky jsem musel pečlivě napočítat – kvůli časové tísní spojené s rozpočtem nebylo možné rozložit tuto část do několika fází.



Obrázek 15 - téměř finální skladba kolejí, zatím však bez vymodelovaného terénu. Nicméně z obrázku je dobře patrné, odkud a kam vedou veškeré později skryté koleje.

3 Praktická část

V této části bude rozveden postup samotné stavby, zapojení elektrických prvků, kalibrace dekodérů, nastavení softwaru a odladění automatického provozu.

3.1 Stavba kolejiště

3.1.1 Základní deska

Deska má základní rozměry 90 x 180 cm. Tyto rozměry vychází z požadavku kompromisu mezi snadným transportem (kufr osobního auta), skladností a co největšími využitelnými rozměry. Na tuto plochu bylo potřeba vložit co možná nejkompaktnější kolejiště, které by umožnilo demonstrovat plně automatizovaný provoz. Z prostorových důvodů jsem zvolil dvouúrovňovou trať. Úvahy o materiálu vedly od celodřevěné (překližkové konstrukce), přes tvrzený polystyren (styrodur) se základním dřevěným rámem, až po finální rozhodnutí využívající běžný pěnový polystyren.



Obrázek 16 - spoj OSB desek, zatím bez příček avšak již nyní jsou spojené lepidlem Mamut a ocelovými pásnicemi

Jako podklad slouží dvojice asi 1 cm tlustých OSB desek (dle Obrázku 16). Ty samy o sobě poměrně dobře brání krutu. Spojené jsou univerzálním lepidlem Mamut – to je naneseno po celé délce jejich drážek (drážka - pero). Po stranách jsou umístěny ocelové pásky, které pomocí čtveřice vrtů slouží k dodatečnému zajištění lepeného spoje nejen během jeho vytvrzení, ale i při samotném provozu. Na spodní části jsou umístěny čtyři příčky (laťky z lehkého dřeva). K OSB deskám jsou připojeny vruty (2 + 4 ks na laťku). Na deskách je opět pomocí lepidla Mamut připevněn pěnový polystyren o tloušťce 5 cm. Polystyren je použit především z důvodu snazšího tvarování terénu, případně zapažení kolejí do jeho reliéfu. V počátcích stavby jsem uvažoval o vestavbě lokomotivní točny,

pro kterou byla taktéž hloubka polystyrenu důležitá, avšak tento prvek byl nakonec vypuštěn. Bez úvah o točně by bylo výhodnější použít polystyrenovou vrstvu o menší tloušťce.

Horní patro opět tvoří pěnový polystyren, avšak již o tloušťce 8 cm (dle Obrázku 16). Tato tloušťka byla zvolena z důvodu snadného projetí souprav tunely (výška modelu TT činí necelých 5 cm). Zatímco pro základní tvarování polystyrenu bylo vhodné využít běžný plátek z pilky na železo, „hloubení“ tunelů a složitější tvary povrchu jsem vytvářel pomocí páječky s dlouhou měděnou smyčkou. Metoda je patrná z přiložených fotografií. V tunelech jsou vlaky přístupné vždy z boku (pro případ vykolejení nebo jiné nemožnosti opustit tunel vlastní silou). Samotný pěnový polystyren byl zvolen především z důvodu nízké hmotnosti a velmi snadné jak mechanické, tak i tepelné opracovatelnosti. Problematická se naopak ukázala značná křehkost.



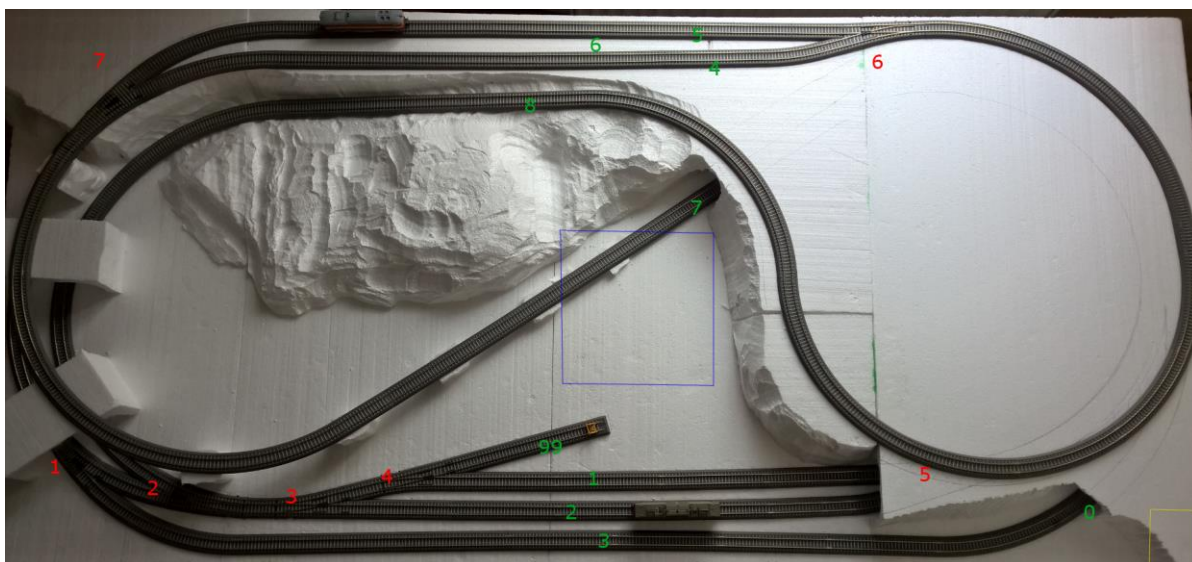
Obrázek 20 - finální rozložení kolejiště s oběma úrovněmi terénu

Zatímco vrchní deska polystyrenu je s tou spodní opět spojena lepidlem Mamut, travnatý povrch a modelové zdivo drží pomocí disperzního lepidla Herkules. Jednotlivé koleje, stromky a domy na podložce zajišťuje pouze oboustranná lepicí páska z důvodu možné snadnější demontáže a údržby.

3.1.2 Elektroinstalace

Zapojení digitálního kolejiště je z hlediska elektroinstalace jednodušší, než v případě

kolejiště analogového. Základní napětí (a tedy i signál) je přivedeno na jednu kolejnici. Tato je neustále propojená v rámci celého kolejiště. Druhá kolejnice je připojena na osmi vzájemně izolovaných úsecích prostřednictvím zařízení GMB-8-G. Právě pomocí sledování zátěže v těchto úsecích dokáže kolejiště vyhodnocovat, které úseky jsou nebo naopak nejsou obsazené. Umístění jednotlivých vodičů je patrné z příloženého schématu (Obrázek 17). Jednotlivé výhybky jsou na rozdíl od kolejí připojeny totožným způsobem, jako u analogového kolejiště. Jediným rozdílem je, že jejich vodiče vedou do dekodéru Roco 10775 (dekodéry jsou umístěny pod deskou v místě modrého čtverce. Ve schématu jsou jednotlivé výhybkové konektory označené červenými čísly 1 – 7. Veškeré vodiče jsou vyvedeny na spodní stranu kolejiště jak z estetických, tak i z praktických důvodů (snadnější údržba). Finální podoba kolejiště je patrná z obrázků 23, 24 a 25.



Obrázek 22 - schéma připojení jednotlivých aktivních prvků do kolejiště.

Propojení dekodéru obsazenosti úseků Roco 10787 se zařízením GMB-8-G je realizováno pomocí jednoduchých svorek dotahovaných šroubem. Kolejové konektory „K“ jsou označeny zelenými čísly 1 – 8, tyto úseky jsou vzájemně odizolovány. Zelená 0 ukazuje místo připojení kolejnice „J“. Zelená 99 je bodem připojení programovací koleje. Umístění hlavního konektoru kolejiště (připojení ústředny) je označeno žlutým čtvercem (na schématu v pravém spodním rohu). Tato kolejnice je v rámci celého kolejiště připojena právě tímto jediným konektorem. Výhybkové dekodéry Roco 10775 využívají speciální konektory Roco, které je možno jednoduše odpojit nebo přepojit. Toto je důležité především kvůli zmíněnému způsobu kalibrace jednotlivých výhybek, kdy je potřeba nastavovat každou zvlášť (a ostatní tak odpojit). Dvojice vodičů vede od výhybkového dekodéru k hlavnímu zdroji signálu do ústředny. Informace z dekodéru obsazenosti je do ústředny přivedena prostřednictvím

ethernetového kabelu do sběrnice R-BUS.



Obrázek 23 – dokončené kolejiště, pohled 1



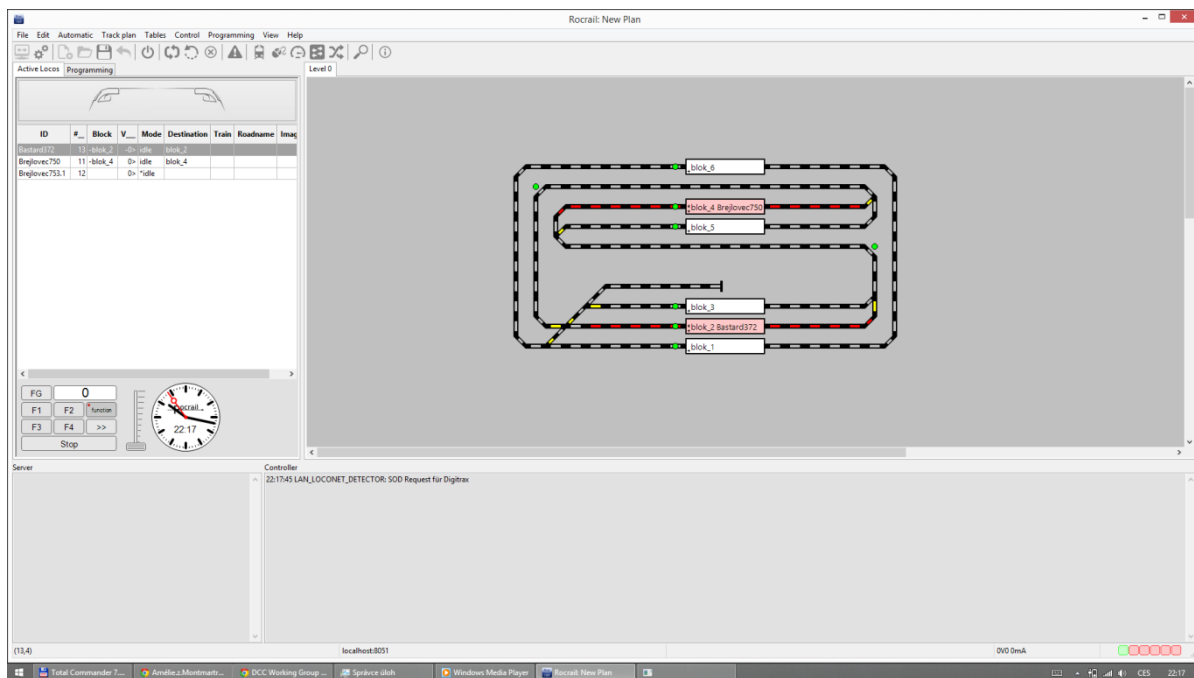
Obrázek 24 - dokončené kolejiště, pohled 2



Obrázek 25 - dokončené kolejiště, pohled 3

3.2 Nastavení softwaru Rocrail

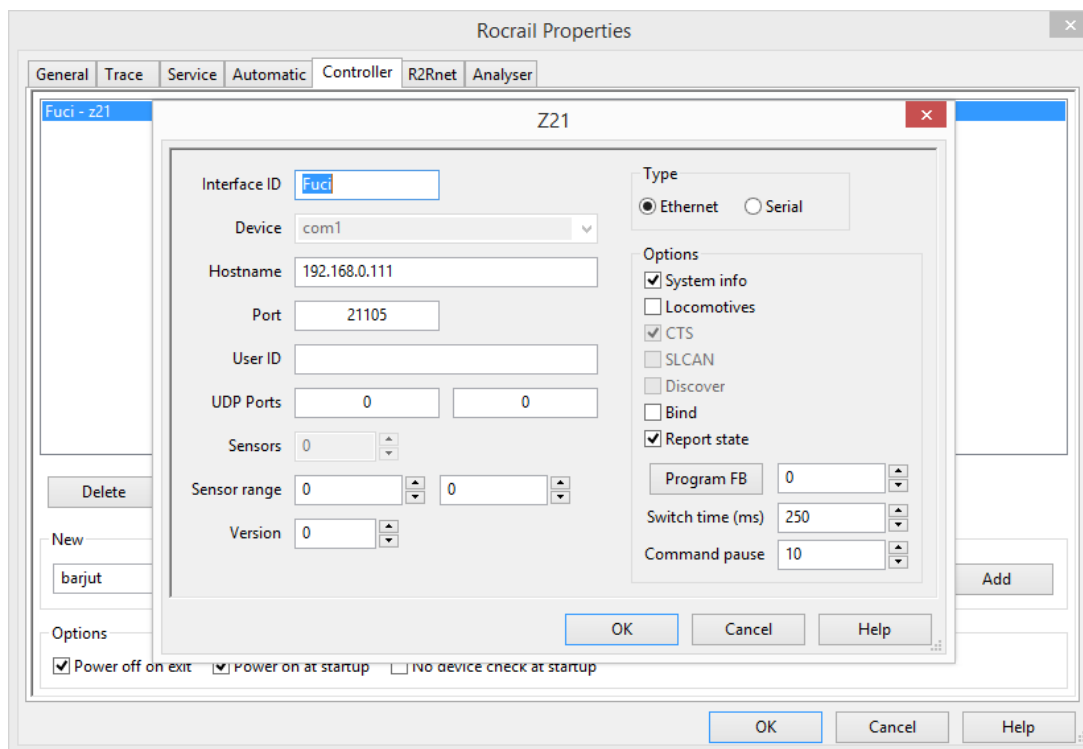
Manuál výrobce [6] má několik set normostran čistého textu a je s přidáváním dalších funkcí (a podporou dalších, především malých výrobců) neustále rozšiřován. Přesto jsem během práce zjistil, že spousta funkcí je zdokumentována neúplně či dokonce nesprávně. Pro velké množství činností jsem tak byl nucen nalézt správný postup metodou vyhledávání informací na webových stránkách, diskusních fórech a často i metodou pokus-omyl. Z tohoto důvodu považuji za vhodné pojmut následující část jako jednodušší „Step-by-Step“ manuál orientovaný čistě na ústřednu Z21 a komponenty využitě u našeho kolejiště. Pokud se nejedná o skutečně klíčový prvek automatizace, pak úmyslně není do detailu vysvětlen přesný princip a funkcionalita. Není účelem této práce uvádět zde přesný překlad součástí manuálu. Prostředí Rocrail (Obrázek 18) je z velké části v současnosti lokalizováno do češtiny, avšak právě kvůli prozatímní nedokončenosti překladů využívám nativní anglické prostředí.



Obrázek 27 - základní prostředí Rocrail

3.2.1 Připojení a inicializace ústředny Roco Z21 v rámci prostředí Rocrail

Vývojáři v současnosti podporují 47 různých ústřed, přičemž Roco Z21 patří mezi ty nejnovější, navíc podporující veškeré současné standardy. Je potřeba zdůraznit, že Z21 není vývojáři nijak preferována, v manuálu jsou místy určité chyby a veškerá nastavování tak nejsou nikterak jednoduchou záležitostí.



Obrázek 28 - nastavení připojení ústředny Roco Z21

V první řadě je potřeba spustit Rocrail a stiskem tlačítka OK potvrdit úvodní pop-up okno. Vyskakování okna při spuštění je možné na dobu určitou zabránit zasláním financí na účet vývojářů. Na samotnou funkčnost SW však toto nemá žádný vliv. Okno navíc příliš neobtěžuje, neboť vyskakuje skutečně jen při spuštění programu. Nyní otevřeme pracovní prostředí (Workspace), kde budou uložena veškerá data o našem kolejišti. Pokud neplánujeme více kolejišť, je výrobcem doporučeno ponechat implicitní nastavení ve složce s programem Rocrail. Po načtení pracovního prostředí dojde k automatickému spuštění serveru, což se projeví otevřením consolového okna na pozadí. Dále postupujeme dle těchto bodů:

- Přejdeme na menu *File* -> *Rocrail properties* -> *Controller*.
- Ve spodní části „New“ vybereme ústřednu „Z21“ a klikneme na *Add*.
- Nyní kliknutím zvolíme přidanou ústřednu a stiskem tlačítka *Properties* se dostaneme na její vlastnosti (Obrázek 28).
- Vyplníme libovolné Interface ID (v našem případě *Fuci*), zvolíme typ připojení *Ethernet* a nastavíme lokální IP adresu: 192.168.0.111 a port 21105.
- Zaškrtneme položky *System info* a *Report State*. Čas *Command pause* doporučuji nastavit na 10 ms a *Switch time* (čas, po který je do přestavníků

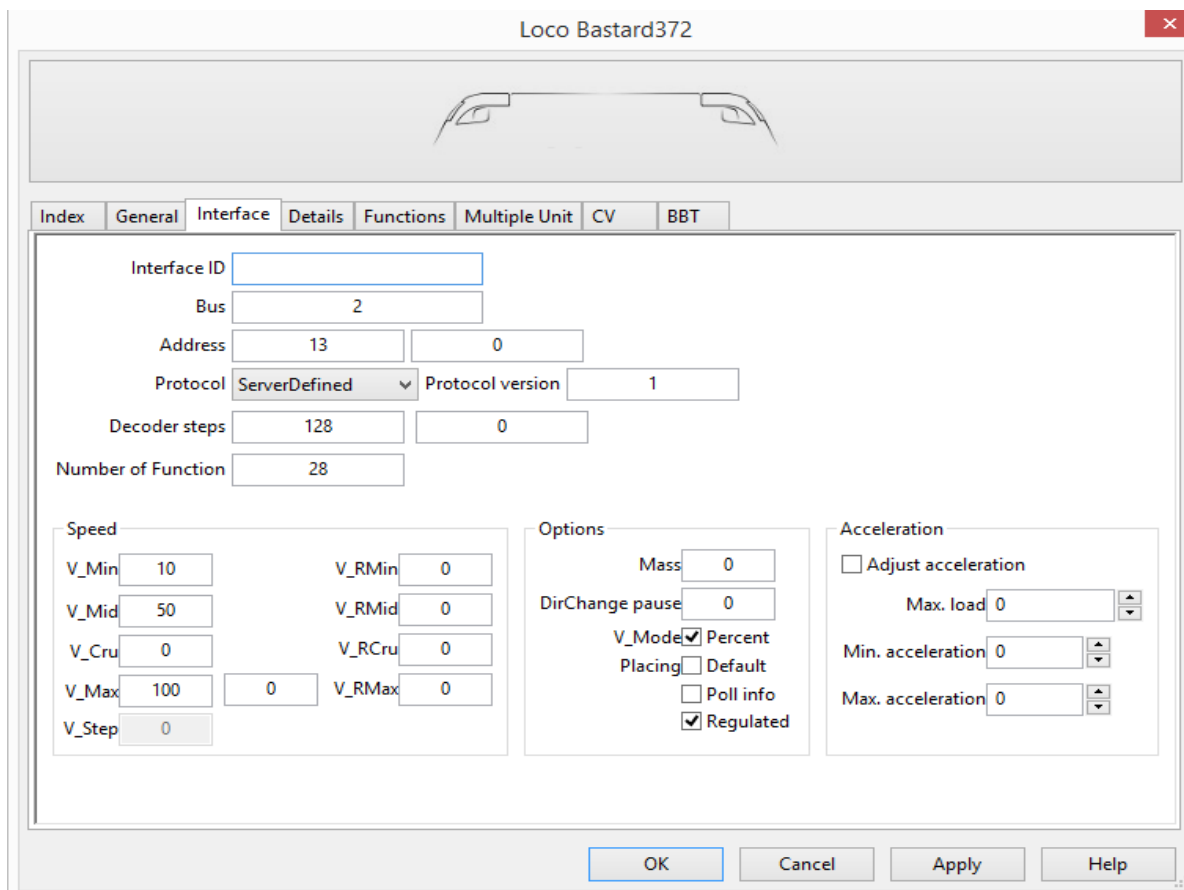
výhybek pouštěn proud) ponechat 250 ms.

3.2.2 Přidání a základní kalibrace lokomotiv

Lokomotivy přidáme přes menu *Tables* -> *Locomotives* (nebo klávesová zkratka Ctrl + 1). Ústředna dokáže pracovat s 1024 vozidly, v našem případě využíváme pouze 3. Dále postupujeme dle bodů:

- Stiskem tlačítka *NEW* můžeme přidat novou lokomotivu.
- Zvolíme ji a přejdeme na záložku *General*, kde jí přiřadíme jméno (v našem případě využívám přezdívky skutečných předloh – Brejlovec 750, Brejlovec 753.1 a Bastard 372).
- Na záložce *Interface* vyplníme sběrnici (BUS) – hodnota 0, 1 nebo 2, adresu lokomotivy (*Address*), adresaci dekodéru provedeme následně v kalibraci. V našem případě mají lokomotivy adresy 11, 12 a 13.
- Protokol ponecháme jako definovaný serverem (*ServerDefined*) a jeho verzi nastavíme na 1.
- Kroky dekodéru (*Decoder steps*) nastavujeme dle použitých lokomotivních dekodérů, v našem případě (ZIMO MX622N) 128 kroků. Dále vyplníme funkce, opět dle možností dekodéru, v našem případě nastavujeme (nicméně nevyužijeme) maximum podporované systémem Rocrail, tedy 28 funkcí.

Důležitá část se týká nastavení rychlostí (*Speeds*). Rychlosti jsou důležité především pro automatický provoz, kdy nám říkají, jak rychle se v které definované oblasti má lokomotiva pohybovat. Například můžeme říci, že při výjezdu z nádraží má lokomotiva akcelarovat na rychlost *V_Mid* a bude to právě rychlost definována v tomto okně. Hodnota je důležitá i při odladování automatického provozu – lze s ní velmi účinně zajišťovat, aby vlak stihl včas zastavit v nádražích atd. Při manuálním provozu nejsou zde uvedené hodnoty nijak důležité. Pro přehlednost doporučuji *V_Max* nastavit na hodnotu 100, načež ostatní rychlosti budeme odvozovat jako procenta z této hodnoty. V druhém sloupci uvedené hodnoty (např. *V_RMin*) jsou hodnoty určené pro couvání lokomotivy – vhodné především pro parní stroje, jejichž jízdní vlastnosti jsou při jízdě vpřed a vzad jiné. Ostatní položky doporučuji vždy ponechat dle nastavení dle Obrázku 29.



Obrázek 29 - záložka Interface v menu nastavení lokomotivy

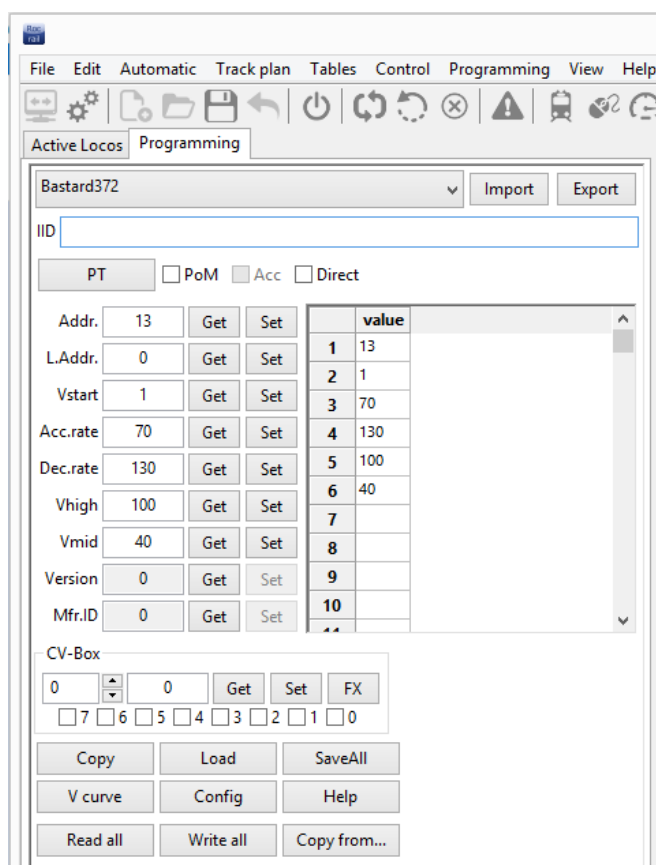
Zbylé záložky již nejsou klíčové. V Záložce *Details* můžeme nastavit podrobnosti ohledně vlastností vlaku jako celku – zda se jedná o rychlík, osobní či nákladní vlak, jak dlouho má čekat ve stanicích atd. Vše je více či méně důležité pouze pro automatický provoz, avšak u našeho relativně malého kolejiště s minimem lokomotiv na tomto příliš nezáleží, může se však jednat o silný nástroj u rozsáhlých kolejišť.

3.2.3 Nastavení lokomotivního dekodéru

Nastavení dekodéru provádíme na hlavní obrazovce Rocrail v záložce *Programming* (Obrázek 30). Umístíme lokomotivu na programovací kolej, z rolovacího menu zvolíme typ, který chceme nastavovat (v našem případě lokomotiva 372) a klikneme na tlačítko *PT*. Dále postupujeme následovně:

- Na ústředně začne svítit zelená dioda. Stiskneme *Read All*, čímž zajistíme přečtení informací ze všech adresních míst dekodéru. Načtení někdy nemusí proběhnout korektně na první pokus a dojde k timeoutu. V takovém případě vyvoláme načtení znovu.

- V našem případě nastavujeme 7 hodnot dekodéru: *Addr.* (hlavní adresa), *L.Addr.* (podadresa – není třeba nastavovat), *Vstart*, *Acc.rate*, *Dec.rate*, *Vhigh*, *Vmid*. Krom samotné adresy (nastavíme stejnou hodnotu, jako jsme nastavili vozidlu v předchozí kapitole) se všechny ostatní hodnoty týkají fyzikálně-kinematických vlastností vozidla. Právě pomocí těchto údajů můžeme zajistit, aby se vlak svými vlastnostmi blížil skutečnému nebo aby pracoval čistě modelově. V našem případě jsem se pokusil vlaky nastavit co nejbližě reálným předlohám, ovšem v modelovém prostředí je z prostorových důvodů častěji volen vhodný kompromis.
- Nastavení jednotlivé položky můžeme provést pomocí tlačítka *Set*, případně všech hodnot po stisknutí *Write All*.
- Položka *V curve* umožní reálnou interpretaci rychlosti vozidla na základě polohy ovladače, avšak detailní rozbor těchto možností je již daleko nad rámcem této práce.

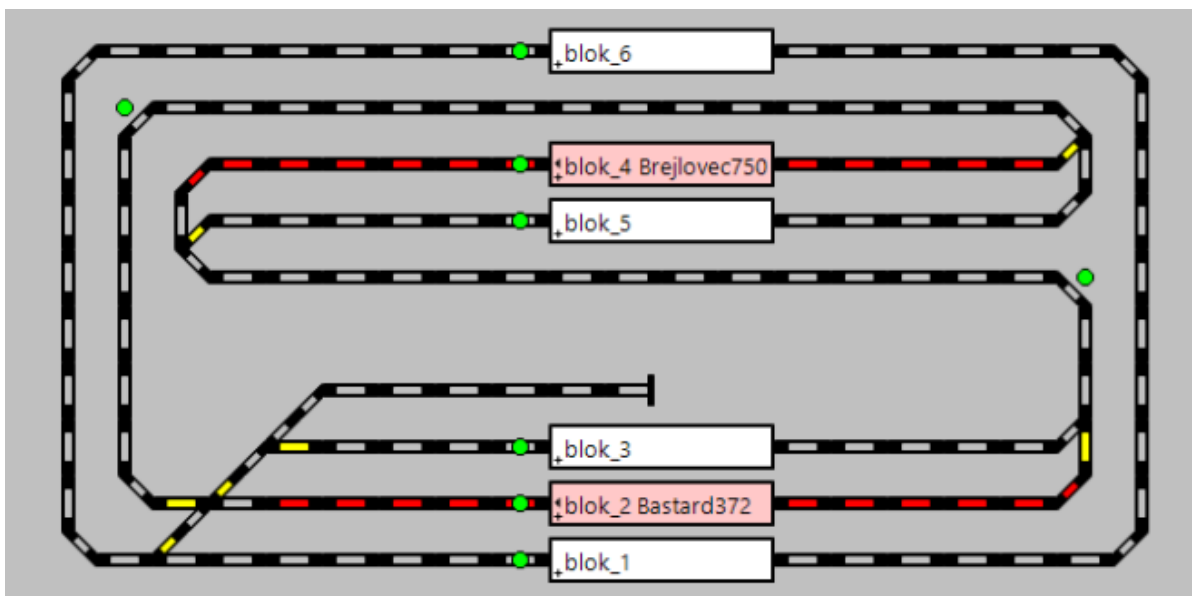


Obrázek 30 - nastavení lokomotivního dekodéru

Po opětovném stisknutí tlačítka *PT* (resp. *PT off*) se kolejiště přepne do jízdního režimu a na ústředně se rozsvítí modrá dioda. Na záložce *Active Locos* nyní můžeme dvojklikem zvolit nastavenou lokomotivu a pomocí jednoduchého menu jí projet po kolejišti. Zajímavou a praktickou vlastností je, že systém Rocrail kontroluje „motohodiny“. Uživatel tedy ví, kolik již má stroj najeto a že je potřeba provést údržbu (výměna sběračů, promazání).

3.2.4 Stavba schématického modelu tratě

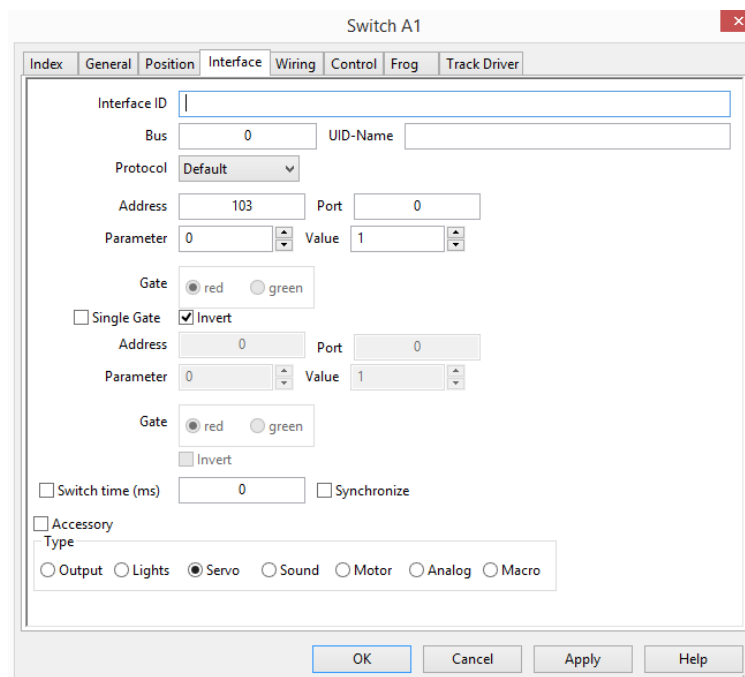
Schématický model tratě je dle mého názoru velkou bolestí celého systému Rocrail. Výsledek je skutečně až příliš abstraktní a ne příliš pohledný. Obrovská nevýhoda tkví v podprůměrných možnostech interpretace multiúrovňových tratí. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl u našeho kolejiště schéma koncipovat jako jednoúrovňové. Schéma stavíme v pravé části ovládacího panelu, menu pro přidání jednotlivých prvků vyvoláme v záložce *Track Plan -> Edit panel*. Samotná stavba je vyloženě neergonomická, zvláště otáčení jednotlivých prvků je nesmírně nešťastně uvedeno, a proto stavba (i úpravy) trvají delší dobu. Naše kolejiště využívá vedle samotných kolejových propojení a výhybek ještě tzv. bloky (obdélníky) a senzory obsazenosti kolejí (zelené/červené kruhové symboly). Každý blok musí být osazen minimálně jedním senzorem, avšak vývojáři doporučují použít senzory dva i více (až 4 na blok). V našem případě jsem z finančních důvodů volil pouze jeden senzor na blok. Výsledné schéma je patrné z příloženého Obrázku 31.



Obrázek 31 - schéma trati interpretované systémem Rocrail

3.2.5 Adresace výhybek

Tato část je společná jak pro automatizované, tak pro manuálně ovládané kolejiště. Systém Rocrail umožňuje přestavení výhybky pouhým kliknutím myši na její symbol. V automatickém režimu si software přehazuje výhybky sám.



Obrázek 32 - menu nastavení výhybkového dekodéru. V tomto případě výhybky s adresou 103

Zásadní nevýhoda tkví v neexistenci sledování aktuální polohy výhybky. Pokud například v offline režimu provedeme virtuální přestavení, ústředna po připojení neví, že je fyzická výhybka v jiném stavu, nežli ta schématická, a nastanou problémy. Bylo by vhodné, aby po připojení kolejiště samo 2x přehodilo všechny výhybky, čímž by došlo k synchronizaci, avšak systém Rocrail toto v aktuální verzi neumožňuje. V praxi dané omezení není tolik zásadní, neboť u odladěného kolejiště pracujeme již téměř výhradně online a nehrozí tak ztráta synchronizace mezi zobrazovaným a reálným stavem. Samotné nastavení adresy výhybky provedeme v případě dekodéru Roco 10775 takto:

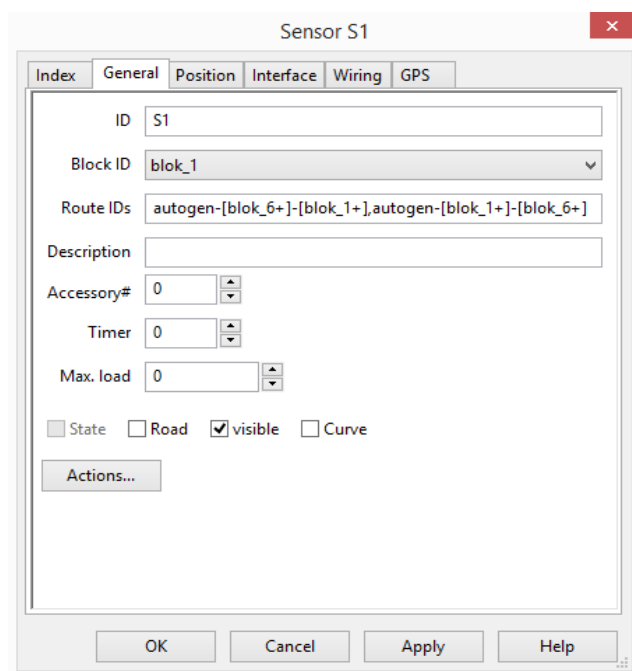
- Klikneme pravým tlačítkem myši na symbol výhybky, dále zvolíme *Properties*.
- V záložce *General* nastavíme *ID* a v záložce *Interface* adresu (*Address*).
- Všechny ostatní položky necháme v případě tohoto dekodéru nevyplněné, resp. s nulami, stejně jako na Obrázku 32. Adresy jsem použil v rozsahu 100 – 106. Uložíme pomocí tlačítka *OK*.

- Provedeme fyzické odpojení konektorů všech ostatních výhybek z dekodéru a ponecháme zapojenou jen tu nastavovanou.
- Stiskneme kalibrační tlačítko na dekodéru (rozblíká se zelená dioda) a poté klikneme myší na symbol nastavované výhybky na schématu.
- Mělo by dojít k opětovnému bliknutí diody, nastavení adresy do dekodéru a výhybka by se opětovným (případně dvojitým) kliknutím na symbol měla přestavět.

3.2.6 Adresace senzorů a základní kalibrace bloků

Adresace senzorů je v případě našeho modulu zpětného hlášení Roco 10787 triviální záležitostí:

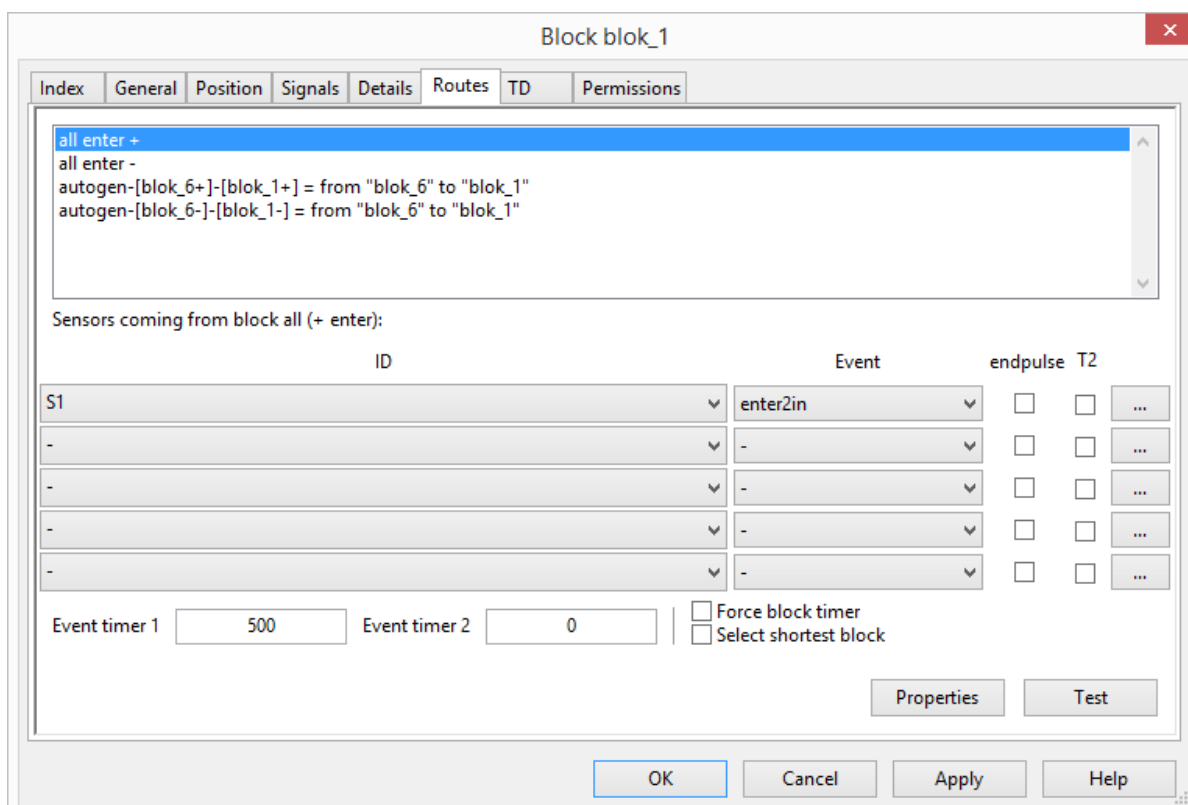
- V menu *Tables* -> *Sensors* (resp. Alt + 1) pomocí tlačítka New přidáme námi připojené senzory. V našem případě jsem je označil S1 až S8.
- Přiřazení adres proběhne automaticky po stisku tlačítka *Address*.
- V záložce General (Obrázek 33) přiřadíme „blokové“ senzory k jednotlivým blokům (v našem případě se jedná o senzory S1 – S6 k blokům 1 – 6). Sensory S7 a S8 mají v našem případě jen informativní charakter a na provoz nemají žádný vliv.



Obrázek 33 - přiřazení senzoru ke konkrétnímu bloku

Nastavení bloků představuje mnohem komplexnější záležitost – jedná se o alfu i omegu celého automatizovaného provozu. Bloky jsou místa, kde mají vlaky zastavovat, resp. provádět nějaké složitější akce (vykládka nákladu, čekání na speciální pokyn). V praxi se jedná o virtuální vlakové stanice. Nastavení probíhá takto:

- Vyvoláme menu *Tables* -> *Blocks* (Ctrl + 3).
- Nový blok přidáme stiskem tlačítka *NEW*.
- V záložce *General* nastavíme ID (ostatní položky nejsou povinné).
- Nejdůležitější je záložka *Details*, kde vidíme, jak se má vlak chovat při příjezdu, resp. odjezdu z bloku. Nastavujeme především čekací časy (a zda má vlak vůbec zastavovat a čekat – nastavení lokomotivy, resp. vlaku) a rychlosti při vjezdu a odjezdu z bloku. Toto je při automatizovaném provozu naprosto klíčové.
- V kartě *Routes* provedeme přiřazení senzoru k bloku a definici jeho použití. V případě jednosenzorového řešení (naš případ) nastavujeme u položky *all enter* + a *all enter* – vždy číslo příslušného senzoru (v našem případě S1 – S7) a událost (*Event*) *enter2in* (Obrázek 34).



Obrázek 34 - přiřazení senzoru k bloku kvůli sledování průjezdů vlaků

Jiné události se používají pouze při vícesenzorovém zapojení. V takovém případě například vlak bude do určitého místa zpomalovat na určitou rychlost a od jiného senzoru na jinou. Pro automatický provoz to není nezbytně nutné, ale z modelářského hlediska tím lze docílit efektivního a žádoucího chování. Prakticky vše lze simulovat i pomocí jednoho senzoru, avšak nastavení a odladování je složité.

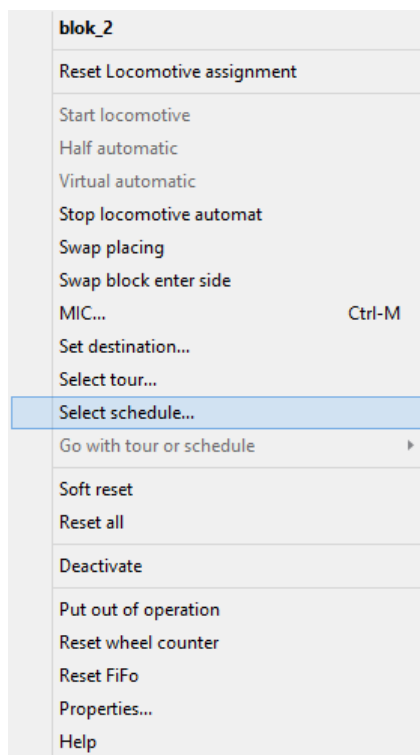
3.3 Automatický provoz

Za automatický provoz u digitálního kolejiště považujeme provoz, kdy vlaky nejsou řízeny přímo. Neovládáme je tedy manuálními změnami rychlosti a ručním přestavováním výhybek, ale o řízení se stará samotná ústředna. Automatické řízení je možné provádět těmito třemi způsoby:

- Náhodné řízení: vlaky jsou na trať vypouštěny náhodně. Přejíždějí mezi jednotlivými úseky dle kombinace nastavení vlaků i úseků a zároveň si „samy“ volí cestu. V našem případě vlak může začít v Bloku 3, následně Blok 4, pak třeba Blok 2 a tak dále až do zrušení automatického řízení.
- Poloautomatické řízení: operátor volí, kam které vlaky mají jet. Jakmile vlak dosáhne své cílové destinace, zastaví se a očekává další pokyny.
- Přednastavené řízení: v tomto případě operátor dopředu nastaví jednotlivé body trasy, kterými vlak projede. Jakmile dosáhne posledního bodu, dojde k zastavení vlaku.

3.3.1 Nastavení automatického provozu

Automatické řízení aktivujeme příslušnou ikonou (dvě šipky v kruhu). Následně přiřadíme lokomotivy přetažením ze seznamu na symbol bloku, kde se fyzicky nacházejí. Vzhledem k tomu, že ústředna nedokáže nikterak ověřit, zda je v bloku skutečně ta lokomotiva, kterou jsme označili, tak samozřejmě nedokáže určit ani to, zda stroj vysílá správným směrem (vpravo – vlevo). Bohužel podle aktuálně rozsvícených světel (vpředu bílá, vzadu červená) nelze spolehlivě určit, jakým směrem vlak pojede. Jako optimální postup se mi osvědčilo manuální rozpohybování lokomotivy (dvojklik na lokomotivu otevře jednoduché menu manuálního řízení), tím se ověří směr. Po ověření směru můžeme kliknutím pravým tlačítkem myši na nabídku lokomotivy (Obrázek 35) upravit směr jízdy, se kterým kalkuluje aktuální blok (swap placing, swap blok enter side).

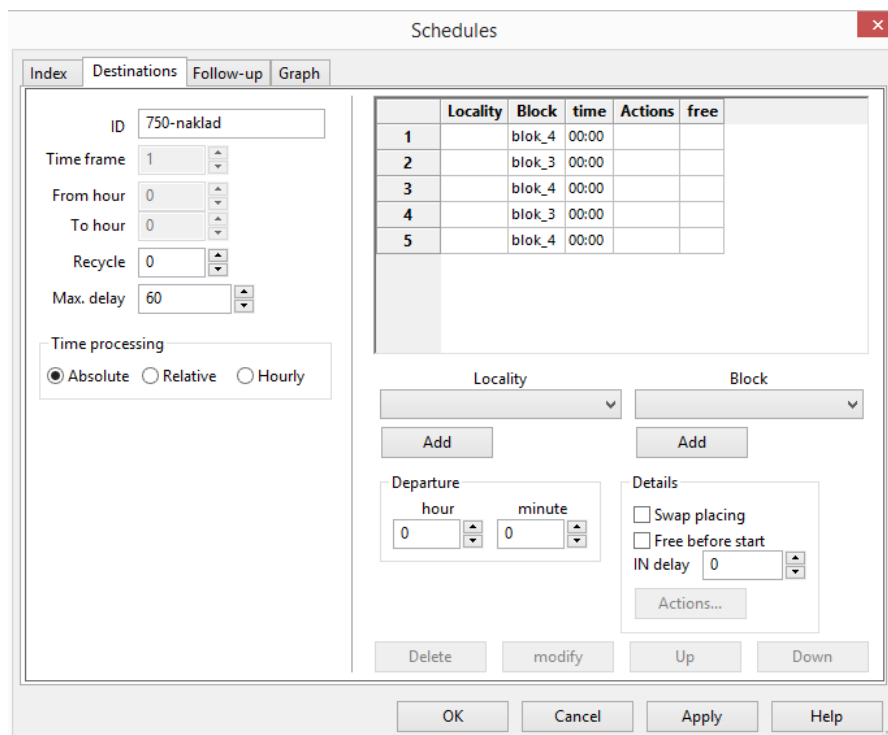


Obrázek 35 - toto menu se zobrazí po kliknutí pravým tlačítkem myši na blok. Slouží k přiřazení konkrétní trasy i například ke změně směru jízdy

Pokud směr jízdy odpovídá nastavení bloku, můžeme vlak vyslat na trať. Na schématu dojde k vyznačení plánované trasy, následuje automatické přestavení výhybek na celém úseku trati, kterým vlak musí projet, a pak vlak vyjede. Jakmile dojde k opuštění aktuálního bloku (úseku), změní se barva ikony. Podobně ve chvíli přijetí do cílového úseku uvidíme další změnu, tentokrát cílové ikony...atd.

3.3.2 Plány trasy

Delší trasy můžeme nastavit pomocí velmi jednoduchého plánovače tras (Tables -> Schedules, Ctrl + 4). Zde volíme blok za blokem, kterým má vlak projet (Obrázek 36). Je třeba stále mít na mysli, že vlak se řídí veškerými shora popsányi okolnostmi. Akceleruje tak, jak bylo nastaveno v lokomotivním dekodéru, udržuje takovou rychlost, jaká byla uvedena v nastavení bloku. Tamtéž jsou také informace o čekacích dobách v nádraží, ale třeba také informace, zda vlak do bloku vůbec může vjet (osobní vlak by neměl vjet na nákladní vlečku a naopak posunovací lokomotiva by neměla najíždět na koridor). V detailním nastavení lokomotivy (vlaku) nalezneme informace o vlaku jako takovém – zda je osobní a má tak přednost před nákladním, jak rychle se má pohybovat v úseku s maximální, minimální či střední rychlostí. Dle této velmi komplexní vnitřní logiky následně probíhá samotný automatický provoz.



Obrázek 36 - plánovač tras je jednoduchý, ale efektivní

Pomocí plánů trasy můžeme emulovat provoz podobný jízdnímu řádu, kdy řekneme, jak dlouho kde má který vlak čekat a co přesně dělat – posunovat, tahat vlečky, nebo rychlíky atd. Na druhou stranu ale nemůžeme například říci, aby vlak 1 čekal, až kolem něj projede vlak 2. Toto v současném Rocrailu není ani možné nijak přímo nasimulovat.

4 Zhodnocení výsledků a závěr

4.1.1 Splnění zadaných úkolů

Cíle byly splněny v souladu se zadáním mé bakalářské práce. Dle zkušeností modelářské komunity je však stavba digitálního kolejiště výzvou na několik let. Práci na tomto projektu jsem trávil s přestávkami asi tři čtvrtě roku od zjišťování elementárních znalostí až po detaily plánování tras a jejich vzájemné koexistence. Přesto se domnívám, že jsem nedokázal proniknout v plném rozsahu do této problematiky. Jen samotné studium standardů NMRA se ukazuje jako záležitost na měsíce. Naopak se mi podařilo postavit funkční celek dobře demonstrující možnosti digitálního řízení.

Domnívám se, že kolejiště lze použít nejen jako demonstrátor automatického řízení a tedy učební pomůcku, ale i jako zamýšlený prvek pro reprezentaci fakulty například na den otevřených dveří. Celou práci by mělo jít použít i jako relativně podrobný manuál k sestavení digitálního kolejiště z prvků společnosti Roco, avšak uvědomuji si, že případný následník může narazit na určité body, v nichž můj popis bude příliš zjednodušený, nebo bude chybět zcela. V určitých oblastech trvalo mnoho dní, než jsem překonal určitý malý problém („záhadu“) a takové případy jsou v práci vždy uvedeny, avšak jen pouhou změnou verze řídicího softwaru se může stavitel dostat do zcela nepopsané situace.

Kolejiště jsem postavil jako maximálně odolné tak, aby mohlo sloužit roky bez větší údržby. Stejně tak jsem ale myslel i na potenciální potřebu vyměňovat například zrezlé výhybky či koleje samotné. Proto je vše řešeno modulárně a rozpojitelně. Snažil jsem se, aby celá stavba nebyla příliš subtilní, to do určité míry omezilo detailnost (na kolejišti nejsou „hezké“, avšak zbytečné modelářské prvky). Při dlouhodobém používání by se mělo ukázat, zda byl tento můj přístup správný.

4.1.2 Současnost ve znamení mnoha omezení

V průběhu práce jsem se stále více ujišťoval, že celá digitální železnice je v současnosti stále ještě v mnoha směrech v plenkách. Jako naprosto nevhodné a nedostatečné se mi jeví především sledování umístění vlaku. Několik výrobců sice umožňuje mírně odlišný přístup, avšak ve výsledku se stále jedná o pouhou informaci, zda je nějaký

bod (či oblast) obsazen či ne. Způsobů sledování je sice více (odběry proudu, optická čidla), ale výsledek je vždy stejný: Ústředna předpokládá, že předmět, který způsobil sepnutí čidla, je daný vlak, avšak komplexnější zpětná vazba chybí. Při řízení pomocí softwaru Rocrail se neuplatní ani základní umělá inteligence. Vše je zcela pevně naskriptováno a ve chvíli, kdy dojde k jakékoliv anomálii, systém nemá žádnou šanci pro obnovu sebe sama. Rocrail zpravidla reaguje tak, že dojde k odpojení napájení. Krom dalšího je problematické, že při každé podobné události je potřeba vlaky manuálně přemísťovat do správných míst a z nich je znovu nastavovat a startovat. Systém řízení jednoduše nedokáže skutečně komplexně reagovat na události, se kterými je konfrontován. Uživatel neustále naráží na detaily, které by šly řešit mnohem lépe a elegantněji. Například neoznačení pravé a levé strany lokomotivního dekodéru ani u jednoho ze tří výrobců, jejichž vláčky jsem testoval. Nebo naprosto neergonomické a nepromyšlené osazování konektorů výhybek. U softwaru nemožnost recalibrace výhybek po připojení kolejiště nebo před prvním výjezdem vlaku (takže systém neví, v jaké poloze výhybka aktuálně je). Těchto detailů a nepříjemných komplikací jsou desítky a odhaduji, že bude trvat dlouhé roky, než se alespoň na profesionální úrovni vše usadí.

Na druhou stranu je nutno podotknout, že v případě očekávaného fungování je možné díky digitálnímu řízení předvádět skutečně komplexní provoz velice podobný provozu reálnému. Modelová železnice se tak posunuje na zcela jinou úroveň, než co umožňuje analogové řízení.

4.1.3 Budoucnost

Očekávám, že v budoucnu ubude výrobců digitálních prvků kolejišť a že amatérská řešení budou zcela vytlačena řešeními profesionálními a velkosériově vyráběnými. Současné prostředí je nesmírně roztržité, kdy se vývojáři softwaru snaží zůstat kompatibilní se všemi možnými zařízeními, čemuž sice do značné míry napomáhá částečná NMRA standardizace, avšak všespasitelné to není.

Lze se domnívat, že analogová železnice bude v následujících desetiletích zcela vytlačena. Bude to ale vyžadovat výrazné zjednodušení zapojení digitálu a hlavně úplně jiný přístup k jeho řízení. Společnost Roco udělala s ústřednou Z21 velký krok k otevření „krás digitálního řízení“ širokým masám. Především se jedná o jednoduché nastavování lokomotiv a provoz při ovládání mobilním telefonem. Přesto je před všemi velkými výrobci ještě velmi dlouhá cesta.

5 Použité prameny a literatura

- [1] – webové stránky ústředny Z21 od výrobce společnosti Roco (EN). [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.z21.eu/en>
- [2] - Operační systém Android (EN). [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <https://www.android.com/>
- [3] - Operační systém Apple iOS (CZ). [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <https://www.apple.com/cz/ios/>
- [4] – Manuál základního zapojení ústředny Z21 (EN). [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://www.z21.eu/content/download/1546/15908/file/Z21_black_EN.pdf
- [5] - Rozdíly ústředny Z21 a z21 (EN). [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.masinky.cz/data/U/d/M/Z21-vs-z21-EN-1.pdf>
- [6] - Stránky vývojáře softwaru Rocrail (EN). [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://wiki.rocrail.net/doku.php>
- [7] - Stránky věnující se digitální železnici pod systémem TrainController (CZ). [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://lokopin.wz.cz/body.htm>
- [8] - Stránky vývojáře SW iTrain (EN). [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.berros.eu/en/itrain/>
- [9] - Stránky vývojáře SW ModellStellwerk (DE). [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://home.kpn.nl/helde862/ModellStw/modellstw.htm>
- [10] - Stránky vývojáře SW TrainController (EN). [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.freiwald.com/pages/traincontroller.htm>
- [11] - Výhybky a zhlaví železniční stanice. FRIDRICH, Karel A. [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://kzs.fsv.cvut.cz/4/zst3/zst3_vyhybky.pdf
- [12] - Manuál k výhybkovému a návěstidlovému dekodéru Roco 10775 (CZ). [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://www.itvlakky.cz/fotky18461/fotov/_ps_2882vyhybkovy-dekoder-10775-CZ.pdf
- [13] - Manuál modulu zpětného hlášení (CZ). [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://www.itvlakky.cz/fotky18461/fotov/_ps_2567RO10787.pdf
- [14] - Standard LocoNet - obsluha příslušenství (EN). [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.dccwiki.com/LocoNet>
- [15] - Manuál lokomotivních dekodérů ZIMO především pro měřítko TT a N (EN). [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://www.zimo.at/web2010/documents/MX-KleineDecoder_E.pdf
- [16] – Základní vysvětlení principu pulsně šířkové modulace (CZ). [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.dhservis.cz/psm.htm>
- [17] - Stránky normovací autority NMRA (EN). [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.nmra.org/dcc-working-group>
- [18] - Norma tvarování signálu a přenosu dat dle NMRA (EN). [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://www.nmra.org/sites/default/files/standards/sandrp/pdf/s-9.1_electrical_standards_2006.pdf
- [19] – Obrázek převzat z holandské recenze Z21. [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.daveshobbyhoekje.nl/de-z21-van-fleischmann-roco-aan-de-tand-gevoeld/>
- [20] – Obrázek převzat přímo od výrobce Roco. [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.roco.cc/cz/home/index.html>
- [21] – Obrázek z webu. [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.modeltrainstuff.com/>