UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Experimentování s čekacími dobami vlaků v osobních železničních stanicích v rámci simulačního modelu

Bc. Roman Honzák

Diplomová práce
2010

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: **2009/2010**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Roman HONZÁK**
Studijní program:	**N2646 Informační technologie**
Studijní obor:	**Informační technologie**
Název tématu:	**Experimentování s čekacími dobami vlaků v osobních železničních stanicích v rámci simulačního modelu.**
Zadávající katedra:	**Katedra softwarových technologií**

Zásady pro vypracování:

Při zpoždění vlaků vzniká problém s přenášením zpoždění na následné přípojné vlaky. V současné době je na železnici uplatňována metodika čekacích dob pomůcky k GVD „Čekací doby a opatření při zpoždění vlaků osobní dopravy“. Cílem diplomové práce je implementovat pravidla uplatňovaná na železnici do vlastního simulačního nástroje, aktuální metodiku vyhodnotit a na základě experimentů navrhnout možné úpravy současné metodiky.

Vstupy:

- vlaky osobní dopravy (vstupní kolej do stanice, čas příjezdu, čas odjezdu, výstupní kolej ze stanice, délka vlaku, datumová omezení jízdy vlaků apod.),
- uspořádání kolejiště v osobní stanici (možnosti využití jednotlivých nástupištních kolejí pro vstupní, resp. výstupní koleje do/ze stanice, délky nástupištních kolejí apod.),
- staniční intervaly,
- „Čekací doby při zpoždění vlaků osobní dopravy“.

Výstupy:

- simulační model vybraného fragmentu železniční sítě respektující aktuální pravidla při zpoždění,
- výsledky experimentů při modifikaci čekacích dob.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

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

Seznam odborné literatury:

BANKS, J. Handbook of Simulation. Wiley-Interscience, 1998. ISBN 978-0471134039.

BAŽANT, M., ŽARNAY M. Modelování situací vznikajících při zpoždění vlaků v osobních železničních stanicích. In Dopravní systémy 2005 (sborník příspěvků). Pardubice : Univerzita Pardubice, 2005, s. 248–256. ISBN 80-7194-805-5.

VONKA, J., MOLKOVÁ, T., ŠIROKÝ J. Technologie a řízení dopravy II – GVD. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2000. ISBN 80-7194-286-3.

VONKA, Jaroslav, et al. Osobní doprava. 1. vyd. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2001. 170 s. ISBN 80-7194-320-7.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michael Bažant, Ph.D.**
Katedra softwarových technologií

Datum zadání diplomové práce: **31. října 2009**

Termín odevzdání diplomové práce: **21. května 2010**

L.S.

prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan

doc. Ing. Antonín Kavička, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 16. listopadu 2009

Prohlášení autora

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

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 26. srpna 2010

Bc. Roman Honzák

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Michaelu Bažantovi Ph.D., který mi umožnil toto zajímavé téma zpracovat a také za jeho odbornou pomoc a rady při psaní této diplomové práce.

Další mé díky směřuje panu Ing. Liboru Lipowskému z ředitelství regionálního centra provozu v Ostravě za poskytnutí tabulkových přehledů obsazení dopravních kolejí ve stanicích a v neposlední řadě si na tomto místě zasluhuje mé díky také celá má rodina, zejména však má matka Libuše Honzáková, za velkou a vytrvalou podporu v průběhu celého mého studia a za nezbytnou korekturu výsledného textu.

Anotace

Práce se zaměřuje na problematiku zpoždění vlaků a jejich následné přenášení na vlaky přípojné. Výstupy a vizualizace experimentů ze simulačního nástroje, modelující vybraný fragment železniční sítě a respektující aktuální pravidla řízení zpožděných vlaků s možností jejich modifikace, se vyhodnocují a snaží se navrhnout možné úpravy současné metodiky.

Klíčová slova

čekací doby; zpoždění vlaků; železnice, osobní doprava; simulace

Title

Experimenting with waiting times of trains at railway stations within the simulation model.

Annotation

The work focuses on the issue of train delays and subsequent transfer to connecting trains. Outputs and visualization of experiments from simulation tool, modeling selected fragment of the railway network and respecting the current rules of the management of delayed trains with chance of their modifications, are evaluated and tries to suggest possible modifications of the current methodologies.

Keywords

waiting times; train delays; railway; passenger transport; simulation

Obsah

1 Úvod ... 10
2 Grafikon vlakové dopravy (GVD) ... 11
2.1 Druhy vlaků ... 11
2.2 Číslování vlaků ... 12
2.3 Číslování osobních vlaků ... 12
3 Základní pojmy modelování a simulace ... 13
3.1 Systém ... 13
3.2 Model ... 14
3.3 Modelování ... 15
3.4 Simulace ... 15
3.5 Aktivity a procesy ... 15
3.6 Simulační experimenty ... 17
4 Modelování čekání na přípojný vlak ... 18
4.1 Přestupní doba pro cestující ... 19
4.2 Čekací doba přípojného vlaku ... 19
4.3 Pravidla pro přípojné vlaky ... 20
5 Modelování simulačního nástroje ... 22
5.1 Hlavní třída *MainForm* ... 23
5.2 Simulační jádro ... 24
5.3 Železniční stanice ... 24
5.4 Mezistaniční úsek ... 24
5.5 Vlaková souprava ... 25
6 Simulační nástroj ... 27
6.1 Vstupy do simulátoru ... 28
6.1.1 Úpravy vstupních dat ... 29
6.1.2 Generování vlakových souprav ... 29
6.2 Simulační jádro ... 30
6.2.1 Metoda plánování událostí ... 30
6.2.2 Metoda snímání aktivit ... 31
6.2.3 Synchronizace metod ... 33
6.3 Chování vlakových souprav ... 35
6.3.1 Zpožděný odjezd ze stanice vlivem čekání na zpožděný přípojný vlak ... 35
6.4 Základní ovládání simulačního nástroje ... 38
6.4.1 Vymezení množiny vlakových souprav ... 39
6.4.2 Vytváření odchylek od jízdního řádu ... 39
6.5 Výstupy ze simulátoru ... 40
6.5.1 Vizualizace ... 40
6.5.2 Tabulkový výpis ... 42
7 Experimenty se zpožděním vlaků ... 43
7.1 Zpožděný osobní vlak 3360 na výjezdu z žst. Bohumín ... 43
7.1.1 Analýza výsledků ... 43
7.1.2 Analýza metodiky a možné návrhy ... 44
7.2 Zpožděný rychlík R 841 na výjezdu z žst. Věžky ... 44
7.2.1 Analýza výsledků ... 44
7.2.2 Analýza metodiky a možné návrhy ... 45
8 Závěr ... 46

Seznam zkratek

GVD	Grafikon vlakové dopravy
UML	Unified Modeling Language. Grafický jazyk pro vizualizaci, specifikaci, navrhování a dokumentaci programových systémů.
LOG	Soubor záznamů pro ukládání informací o výjimečných situacích, ke kterým dochází, při běhu simulačního času.
ŽST	Železniční stanice.
XML	Extensible Markup Language. Značkovací jazyk.

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Aktivita simulátoru 15
Obrázek 2 – Spojitá aktivita 16
Obrázek 3 – Diskrétní aktivita 16
Obrázek 4 – Proces 16
Obrázek 5 – Vztah mezi prvním a druhým vlakem bez zpoždění 18
Obrázek 6 – Vztah mezi zpožděným prvním vlakem a přípojným vlakem 19
Obrázek 7 – UML diagram znázorňující vazby mezi simulačním jádrem a nosnými třídami aplikace. 23
Obrázek 8 – Grafické uživatelské rozhraní simulačního nástroje. 28
Obrázek 9 – Diagram aktivit simulačního jádra 34
Obrázek 10 – Menu ovládání simulačního času 38
Obrázek 11 – Ukázka grafického znázornění výběru 38
Obrázek 12 – Filtrování množiny vlaků 39
Obrázek 13 – Popis elementů hlavního okna aplikace 40
Obrázek 14 – Jízdní řád vybrané vlakové soupravy 41
Obrázek 15 – Obsazení kolejí železniční stanice 42
Obrázek 16 – UML diagram simulačního jádra 50
Obrázek 17 – UML diagram železniční stanice 51
Obrázek 18 – UML diagram mezistaničního úseku 52
Obrázek 19 – UML diagram vlakové soupravy 53

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Výpočetní složitost metod generických kolekcí 22
Tabulka 2 – Význam hodnot datových složek třídy *PolohaVlaku* pro určení polohy vlaku. 25
Tabulka 3 – Obsazení kolejiště železniční stanice Ostrava hl. n. 48
Tabulka 4 – Upravená vstupní data obsazení kolejiště žst Ostrava hl. n. 49
Tabulka 5 – Tabulka výsledků experimentu 7.1 54
Tabulka 6 – Tabulka výsledků experimentu 7.2 58

1 Úvod

Problematika zpoždění v železničním systému osobní dopravy České republiky je velmi ožehavým, velkou měrou sledovaným a kritizovaným tématem, pravidelně vzbuzujícím u obyvatelstva, využívajících služeb drážní přepravy, vlny nevole. Často vznikají situace, které každý uživatel železniční dopravy dobře zná. Vlak má zpoždění a přijíždí do stanice později než je jeho pravidelný čas příjezdu. Tím se vytvoří odchylka od plánu železniční dopravy, která si může vynutit další odchylky v provozu stanice. Ve větších stanicích obvykle čekají na zpožděný přijíždějící vlak přípojné vlaky. V souvislosti s těmito situacemi vzniká otázka, jestli a jak dlouho mají tyto přípojné vlaky čekat na zpožděný vlak.

Významnými činiteli způsobující zpoždění vlaků a výluky na trati jsou stavební práce, nepřízeň počasí a poruchy drážních vozidel či technologie využívané na železnici. Tyto faktory nelze jednoduše eliminovat a uspokojení skupin zákazníků v tomto ohledu nikdy nemůže být úplné. Pro účely modelu se bude předpokládat ideálních podmínek a výše zmíněné vlivy způsobující zpoždění vlaků nebudou zohledňovány.

Mechanizmy pro koordinování provozu vlakových souprav, při vzniku anomálních událostí nejsou triviálním problémem a stále je zde velmi silným faktorem lidské rozhodnutí dispečerů, organizujících provoz na železnici. Ti při svém rozhodování uplatňují pomůcky vypracované železniční společností a to primárně grafikon vlakové dopravy (GVD), kterým se podrobněji zabývá kapitola 2.

Motivací této práce je modelovat problém, při kterém se zpoždění vlaků přenáší na jejich přípojné vlaky a přitom dodržovat pravidla v současné době na železnici uplatňovaná, daná pomůckou ke GVD „Čekací doby a opatření při zpoždění vlaků osobní dopravy“ [1]. Tato pravidla implementovat do vlastního simulačního nástroje, aktuální metodiku vyhodnotit a na základě experimentů navrhnout možné úpravy současné metodiky. Uvedené předpisy se vztahují k reálnému provozu na železnici, tudíž experimenty odrážejí skutečný provoz na železnici, omezený výhradně na osobní dopravu. Lze ale do simulačního pokusu experimentálně zapojit i dopravu nákladní.

2 Grafikon vlakové dopravy (GVD)

Text v této kapitole obsažený je výtažkem z [4], zahrnuje základní popis pro potřeby této diplomové práce. Podrobnější informace o tomto dokumentu jsou k dispozici v uvedeném zdroji.

Aby železnice mohla plnit přepravní úlohy, požadované jednotlivými subjekty tržního hospodářství, musí mít prostředky pro plánování a řízení své činnosti. Jedním z takových prostředků je grafikon vlakové dopravy. GVD je prvotním dokumentem pro základní i operativní řízení provozní činnosti železnice v oblasti organizace vlakové dopravy. Na kvalitě konstrukce GVD bude záviset i jeho realizace, neboť zejména náhodné vlivy za provozu vytvářejí podmínky k tomu, aby se realizace příliš nelišila od plánu.

GVD není však jen základem organizace vlakové dopravy, nýbrž i plánem provozní činnosti všech železničních služebních odvětví účastnících se na vlakové dopravě. Znamená to, že z grafikonu vlakové dopravy vyplývá plán činnosti všech železničních složek, zabezpečujících vlakovou dopravu. Míra a kvalita plnění GVD je ukazatelem kvality železniční dopravy. Kromě toho GVD musí sladit požadavky cestujících a přepravců na nejrychlejší a nejvýhodnější přepravu se zájmy železničních složek účastnících se vlakové dopravy k dosažení bezpečného a hospodárného provozu.

2.1 Druhy vlaků

Vlaky můžeme třídit podle různých kritérií. Pro potřeby GVD jsou nejvýznamnější hlediska členění podle určení a podle důležitosti. Výčet byl omezen na kategorie v této práci použité.

Podle určení rozdělujeme vlaky:

- osobní dopravy – zajišťující přepravu cestujících, zavazadel, spěšnin a pošty,
- nákladní – sestavené převážně z nákladních vozů

Důležitost vlaků je dána pořadím v řízení jejich sledu:

- mezistátní expresní vlaky a rychlíky (EC,IC, Ex a R),
- vnitrostátní SC, IC, Ex, R a Sp (spěšné vlaky),
- expresní nákladní vlaky (Nex, TEEM),
- osobní a příměstské,
- nákladní (přednostně s přepravou osob)

2.2 Číslování vlaků

Vlaky zapracované do GVD jsou číslovány jedno až pětimístnými čísly. Z důvodu strojního zpracování se může vyskytnout číslo vlaku na celé síti ČD jen jednou za 24 hodin. V příhraniční dopravě se může vyskytovat číslo již použité, musí však být v sešitovém jízdním řádu (SJŘ) doplněno o zkratku sousední železniční správy. Čísla vlaků musí být shodná v pomůckách služebních a pro cestující veřejnost.

Mezi čísly vlaků osobní a nákladní dopravy je přesná hranice, bez dovoleného překrývání. Rozdělení čísel do základních skupin s vymezením na možný výskyt v této práci:

- 1 až 29999 vlaky osobní dopravy zapracované do jízdního řádu,
- 30000 až 39999 zvláštní vlaky nákladní i osobní dopravy,
- 40000 až 49999 mezistátní nákladní vlaky,
- 50000 až 59999 vnitrostátní nákladní vlaky dálkového charakteru,
- 60000 až 69999 vnitrostátní nákladní vlaky

Kromě tohoto základního členění má v tomto systému číslování význam i jednotlivá pozice tisícová, stovková a jednotková. Lze tak vyjádřit např. kategorii vlaku atd. Vlaky jednoho směru mají zpravidla čísla lichá, opačného směru čísla sudá. U všech vlaků je zpravidla uplatněna zásada, že vlaky se sudým číslem (na jednotkové pozici) jedou od začátku ke konci trati a jsou kresleny v listu grafikonu shora dolů. Vlaky lichých čísel zdola nahoru. Dvojici vlaků se pak přiřazují na jednotkové pozici dvojice čísel 0/1, 2/3, 4/5, 6/7, 8/9.

2.3 Číslování osobních vlaků

Jednotlivým kategoriím expresních vlaků (vč. EC, IC, EN, Ex – dále jen Ex), R a Sp vlaků se přidělují čísla podle těchto zásad:

- 1 až 199 Ex mezinárodní dopravy,
- 200 až 499 R mezinárodní dopravy kromě vlaků sezónních,
- 500 až 599 Ex vnitrostátní dopravy,
- 600 až 999 R vnitrostátní dopravy,
- 1000 až 1299 sezónní vlaky mezinárodní dopravy,
- 1300 až 1399 vlaky se speciálním určením bez přepravy cestujících (např. poštovní, pro přepravu vozů do/z opraven kolejových vozidel),
- 1600 až 1999 Spěšné vlaky (Sp).

Osobní (Os) a spěšné vlaky (Sv) se číslují čtyřmístnými nebo pětimístnými čísly v intervalu 2000 až 29999.

3 Základní pojmy modelování a simulace

Tato kapitola se zabývá objasněním vybraných základních pojmů z oblasti modelování a simulace. Všechny texty v této kapitole uvedené jsou převzaty z [5],[6] a zejména však z publikace [7].

3.1 Systém

V simulaci a modelování se studuje nějaká věc, resp. možné varianty nějaké věci, při čemž slovo věc chápeme tak, jak jej chápou filozofové: je to nějaký objekt hmotného světa, a to buď objekt, který vskutku existuje (např. organismus konkrétní osoby, konkrétní továrna, atd.), nebo o kterém uvažujeme, že by existovat mohl (např. stroj, budova či výrobní provoz, který by měl být realizován). Na zkoumaných věcech se zavádí *abstrakce*, které zanedbávají některé aspekty těchto věcí. Zanedbané aspekty jsou vybrány tak, že aspekty, které zbývají, jsou daným vědeckým, technickým či společenským oborem zvládnutelné: mimo jiné, mohou o nich racionálně komunikovat.

Takovou abstrakci budeme v modelování a simulaci nazývat *systémem* a podle charakteru profese, která systém na věci „vidí“, „zavádí“ či „definuje“, dostává systém i přívlastek: např. železniční sít se běžně chápe jako dopravní systém, i když ekolog v ní muže vidět systém jiný.

Abstrakce může nebo nemusí zanedbat význam času. Např. význam času v systémech železniční dopravy nelze běžně zanedbat, avšak konstruktér mapy železniční sítě České republiky k jízdnímu řádu určitého roku zanedbává jak to, že se po jednotlivých tratích pohybují v čase vlaky, tak to, že se železniční síť může měnit před rokem vzniku i po něm. Systém, v němž se od významu času abstrahuje, se nazývá *statickým systémem*.

Systém, jehož čas se nezanedbává a je přitom chápán „newtonovsky[1]“, se v modelování a simulaci nazývá *dynamickým systémem*. Dynamický systém je v každém okamžiku své existence v jistém stavu. Změna stavu dynamického systému se nazývá *událost*. Simulace se jinými než dynamickými systémy nezabývá.

V modelování a simulaci se chápe systém tak, že je složen z prvků. V dynamickém systému se může počet jeho prvků během jeho existence měnit: systém (např. biologický) muže růst a smršťovat se, avšak v technických a ekonomických aplikacích jde nejčastěji o to, že prvky mohou do systému „vstupovat“ a systém „opouštět“. Prvky, které jsou v dynamickém systému během celé jeho existence, se nazývají *permanentní prvky*, naopak prvky s dočasnou existencí v systému nazýváme *temporární*. Prvky systému mají své vlastnosti, které se nazývají *atributy*. Ty přiřazují prvkům nějaké hodnoty, jež se mohou u prvků dynamického systému v čase měnit. Atributy bývají v drtivě většině tzv. hodnotové,

[1] Newtonovsky je jako v klasické fyzice, čili tak, že je smysluplné mluvit o tom, že dvě události nastaly v systému současně nebo jedna z nich nastala dříve než druhá.

např. booleovský atribut „stojí vlak ve stanici“ nabývá hodnot „ano“ a „ne“. Atributy mohou být ale také referenční, které přiřazují prvkům systému jiné prvky.

3.2 Model

Slovo *model* se používalo v běžné řeči nejprve pro předlohu. V odborném jazyku doby před simulací a virtuální realitou zůstal z této praxe termín *funkční modely*, a to pro první exemplář navrženého výrobku, který pracuje tak, jak by výrobek pracovat měl, přestože jiné vlastnosti výrobku (např. estetické) tento exemplář ještě nemá.

Termín model je v oblasti modelování a simulace používán pro analogii mezi dvěma systémy: modelovaným (neboli originálem) a modelujícím. Jednoduché příklady nabízí mapa (model části země na papíře) nebo socha (model osoby, zvířete atd. v neživém materiálu). Model je tedy složitá struktura, která váže dva systémy, jejich prvky a jejich atributy, a v případě simulačních modelů i existence obou systému. V běžné mluvě se však ustálila praxe, že pod slovem model se rozumí modelující systém. Tato praxe není úplně výstižná a přesná, protože nevystihuje, že model není jen systém, nýbrž že je jen obrazem *něčeho* a že to něco zobrazuje *nějakým způsobem*. Místo termínu *modelovaný systém* se používá slova *originál*.

Vztah obou systémů, modelovaného a modelujícího, je dán tím, že každému prvku P modelovaného systému je přiřazen prvek Q modelujícího systému, každému atributu ${}^{p}g$ prvku P je přiřazen atribut ${}^{q}h$ prvku Q a pro hodnoty atributu ${}^{p}g$ a ${}^{q}h$ je dána nějaká relace. Její charakter není nějak obecně omezen, ale v případě, že ${}^{p}g$ i ${}^{q}h$ jsou aritmetické atributy, bývá taková relace úměrnost nebo tolerance.

V případě, že jde o simulační model, mluví se raději o systému simulovaném a simulujícím než o modelovaném a modelujícím. Existuje praxe, že se na místě termínu simulující systém používá termín *simulační model* nebo také *simulátor*. Aby se jednalo o simulační model (simulátor), musí model splňovat následující požadavky:

- Jejich modelující i modelované systémy jsou dynamické systémy.
- Existuje zobrazení τ existence modelovaného systému do existence modelujícího systému; je-li tedy t_1 okamžik, v němž existuje modelovaný systém M_1, je mu přiřazen okamžik $\tau(\mathrm{t}_1) = \mathrm{t}_2$, v němž existuje modelující systém M_2, a tak je zobrazením τ přiřazen i stavu $S_1(t_1) = \sigma_1$ systému M_1 stav $S_2(t_2) = \sigma_2$ systému M_2.
- Mezi stavy σ_1 a σ_2 jsou splněny požadavky na vztahy mezi prvky a jejich atributy jak již bylo uvedeno při definici modelu.
- Zobrazení τ je neklesající; pokud nastane stav σ originálu před stavem $\bar{\sigma}$ téhož systému, pak stav, který odpovídá v modelujícím systému stavu σ, nastane před stavem, který odpovídá stavu $\bar{\sigma}$ nebo mohou oba stavy nastat současně. Tento

požadavek vyjadřuje nutnost dodržovat vztahy kauzality z originálu i v modelujícím systému.

3.3 Modelování

Podstatou modelování ve smyslu výzkumné techniky je náhrada zkoumaného systému jeho modelem (přesněji: systémem, který jej modeluje), jejímž cílem je získat pomocí pokusu s modelem informaci o původním zkoumaném systému. V tomto smyslu tedy platí, že bude vytvořen model, v němž modelovaným systémem je zkoumaný systém a experimentovat se bude s modelujícím systémem, při čemž cílem bude dozvědět se něco o modelovaném systému.

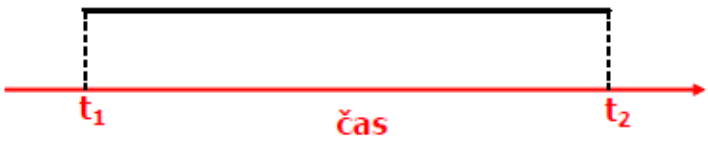
3.4 Simulace

Simulace je výzkumná technika (metoda), jejíž podstatou je náhrada zkoumaného *dynamického* systému (originálu) jeho *simulátorem*, s nímž se experimentuje s cílem získat informace o původním zkoumaném dynamickém systému. Nutno zdůraznit, že aby došlo k simulaci, musí být cílem experimentů se simulátorem získání informací o simulovaném systému (originálu).

3.5 Aktivity a procesy

Aktivity a procesy odrážejí dynamické vlastnosti systému, tj. plynutí času a změny stavu systému v čase. *Aktivita* představuje základní akční jednotku simulace, která je obrazem jisté činnosti v simulovaném systému (např. pohyb vlaku po koleji), přičemž pro ni platí:

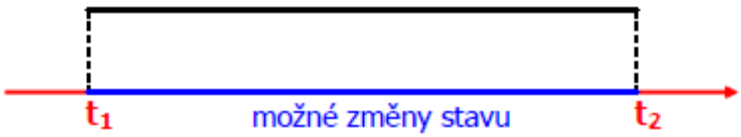
- Má jisté časové trvání a
- (potenciálně) mění stav systému.



Obrázek 1 – Aktivita simulátoru. Zdroj: [5].

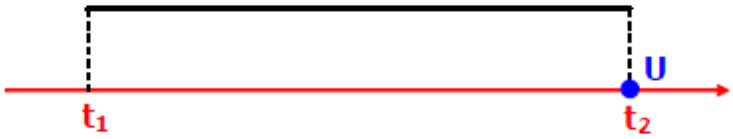
Běh simulačního času je představován vykonáváním jednotlivých aktivit a to ve stejném pořadí, v němž se vykonávají jim odpovídající činnosti v simulovaném systému (tedy originále). Časová existence aktivity je charakterizovaná množinou reálných čísel (časových okamžiků), v nichž aktivita existuje, tedy může měnit stav systému. Z tohoto hlediska rozeznáváme dva druhy aktivit.

- Spojitá aktivita, může měnit stav systému během celé doby jejího trvání. Časová existence aktivity je tedy charakterizována intervalem časových okamžiků $< t_1, t_2 >$.



Obrázek 2 – Spojitá aktivita. Zdroj: [5].

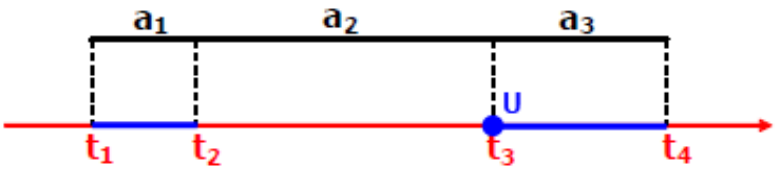
- Diskrétní aktivita, může měnit stav systému jen v okamžiku ukončení aktivity t_2; v průběhu trvání aktivity se stav systému měnit nemůže. Aktivita existuje jen v okamžiku jejího ukončení t_2. Ukončení diskrétní aktivity a následná změna stavu systému se nazývá *událost* (U).



Obrázek 3 – Diskrétní aktivita. Zdroj: [5].

V případě, že simulovaný systém obsahuje pouze spojité aktivity, potom mluvíme o *spojité simulaci*. Jestliže simulovaný systém obsahuje pouze diskrétní aktivity, pak mluvíme o *diskrétní simulaci*. Obsahuje-li systém jak spojité, tak i diskrétní aktivity, potom příslušnou simulaci označujeme jako *kombinovanou (diskrétně-spojitou) simulaci*.

Proces je posloupnost přirozeně na sebe navazujících aktivit, které spolu tvoří jistý logický celek (např. průjezd vlaku vybraným fragmentem železniční sítě).



Obrázek 4 – Proces. Zdroj: [5].

3.6 Simulační experimenty

Program řídící výpočet při simulaci se nazývá *simulačním programem*, přičemž tento program je spouštěn pro různé konfigurace simulátoru za účelem provádění simulačních experimentů.

Běh simulačního programu se nazývá *simulační pokus (experiment)* se simulátorem. V rámci simulačního pokusu zkoumáme chování originálu (vymezeného systému) při použití předem určených pravidel dynamického chování simulátoru. V literatuře se populárně uvádí, že pokus dává odpověď na otázku ***„co se stane když …“.***

V průběhu simulačního pokusu se eviduje čas, který v dané fázi simulačního výpočtu odráží čas v simulovaném systému. Měnící se čas v simulačním pokusu se označuje jako *simulační čas*. Simulační čas typicky ubíhá rychleji (výjimečně i pomaleji) než reálný čas, avšak doba provádění jednotlivých simulačních aktivit v simulátoru musí být proporcionální vůči době provádění aktivit v originálu. Simulační čas stejně jako ten reálný nemůže klesat.

4 Modelování čekání na přípojný vlak

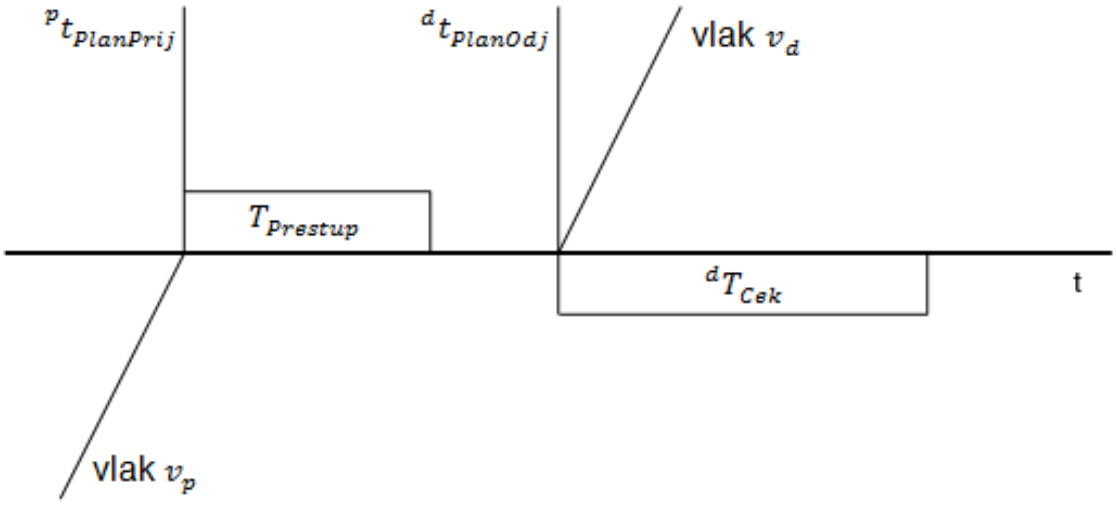
Tato kapitola popisuje problematiku čekání přípojných vlaků na přijíždějící potenciálně zpožděné vlaky, mající na čekající vlak přípoj. Tato problematika je podrobně popsána v publikaci [8], zabývající se velmi podobným tématem a pro potřeby této diplomové práce jsou převzaty informace obsažené v této kapitole.

Pro účely čekacích dob je považován za *první vlak* ten vlak, od něhož je zajištěn přípoj. Vlak, na který je zajištěn přípoj, je považován za *druhý vlak* někdy označovaný také jako *přípojný vlak.*

Použité značení ve vztazích a diagramech:

- první vlak – v_p,
- plánovaný příjezd prvního vlaku v_p – ${}^{p}t_{PlanPrij}$,
- skutečný příjezd zpožděného prvního vlaku v_p – ${}^{p}t_{SkutPrij}$,
- druhý (přípojný) vlak – v_d,
- plánovaný čas odjezdu přípojného (druhého) vlaku v_d – ${}^{d}t_{PlanOdj}$,
- skutečný čas odjezdu přípojného (druhého) vlaku v_d – ${}^{d}t_{SkutOdj}$,
- zpoždění prvního vlaku v_p – ${}^{p}T_{Zp} = {}^{p}t_{SkutPrij} - {}^{p}t_{PlanPrij}$,
- zpoždění přípojného (druhého) vlaku v_d – ${}^{d}T_{Zp} = {}^{d}t_{SkutOdj} - {}^{d}t_{PlanOdj}$,
- přestupní doba mezi vlaky v_p a v_d – $T_{Prestup}$,
- čekací doba vlaku v_d na zpožděný vlak v_p – ${}^{d}T_{Cek}$

Obrázek 5 ilustruje situaci v případě, kdy nevznikají žádné odchylky od jízdního řádu. Doba mezi příjezdem prvního a odjezdem druhého vlaku musí být dostatečně dlouhá pro přestup cestujících mezi vlaky.



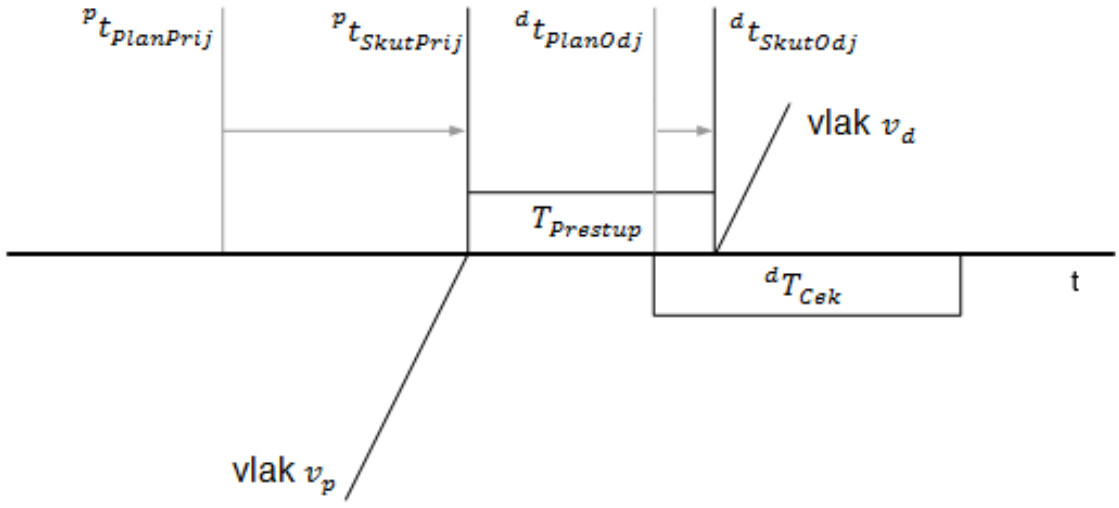
Obrázek 5 – Vztah mezi prvním a druhým vlakem bez zpoždění. Zdroj [8].

Obrázek 6 znázorňuje situaci, mezi zpožděným prvním a přípojným druhým vlakem. Plánované časy jsou vyznačeny šedou čárou, které přechází, znázorněno šipkou, ve skutečné časy.

Pokud zpožděný první vlak přijede před koncem čekací doby ${}^{d}T_{Cek}$, skutečný čas odjezdu přípojného vlaku lze vyjádřit vztahem:

$$ {}^{d}t_{SkutOdj} = {}^{p}t_{SkutPrij} + {}^{d}T_{Cek} $$

V případě, kdy zpožděný první vlak přijede později, přípojný vlak odjede v čas svého pravidelného odjezdu a na zpožděný vlak nečeká. Jsou ale určité situace, kdy přípojný vlak musí čekat i za rámec stanovené čekací doby viz kapitola 4.2 .



Obrázek 6 – Vztah mezi zpožděným prvním vlakem a přípojným vlakem. Zdroj [8].

4.1 Přestupní doba pro cestující

Přestupní doba $T_{Prestup}$ je odvozena od uspořádání a velikosti železniční stanice. V menších stanicích je uvedena pouze jedna hodnota přestupní doby. Ve větších stanicích s nástupišti a podchody se obvykle jedná o více než jednu hodnotu podle toho, zda musí přestupující použít při přesunu mezi přípoji podchod nebo nikoli a jak daleko se musí přemístit.

4.2 Čekací doba přípojného vlaku

Čekací doba přípojného vlaku ${}^{d}T_{Cek}$ vyjadřuje, jak dlouho má vlak v_d čekat na zpožděný vlak v_p. Tato doba, která je specifická pro danou stanici, neobsahuje již dříve uvedenou dobu pro přestup cestujících $T_{Prestup}$, což znamená, že přípojný vlak může být ve skutečnosti zpožděný více než je jeho čekací doba.

Pro každý odjíždějící vlak v dané stanici je stanovena buď základní, nebo odlišná čekací doba. Základní čekací doba je určena pro každý vlak podle kategorie (viz kapitola 4.3). Pokud má vlak určenou odlišnou čekací dobu, postupuje se podle ní.

Případy, kdy přípojný vlak musí čekat na zpožděný vlak:

- Vlak v_ppřijel před plánovaným odjezdem vlaku v_d,
  vyjádřeno vztahem ${}^{p}t_{SkutPrij} \leq {}^{d}t_{PlanOdj}$,
- Vlak v_p přijel před koncem čekací doby vlaku v_d,
  vyjádřeno vztahem ${}^{p}t_{SkutPrij} \leq {}^{d}t_{PlanOdj} + {}^{d}T_{Cek}$,
- Vlak v_p se nachází v okamžiku ukončení čekací doby vlaku v_d mezi vjezdovým nebo posledním cestovým návěstidlem a nástupištěm.
- Je-li v pomůcce ke GVD „Čekací doby a opatření při zpoždění vlaků osobní dopravy“ [1] u vlaku uvedeno „určitě“, vlak má čekací dobu neomezenou.

4.3 Pravidla pro přípojné vlaky

Podle vzoru bodů 1–13 dokumentu „Čekací doby a opatření při zpoždění vlaků osobní dopravy“ [1] byla vymezena pravidla pro identifikaci a chování přípojného vlaku v simulačním modelu tak, aby byla v algoritmech použitelná a v součtu co nejvěrněji modelovala množinu všech pravidel.

Přípojnými vlaky jsou zpravidla ty vlaky, u nichž interval mezi pravidelným příjezdem prvního vlaku a pravidelným odjezdem druhého vlaku je shodný nebo větší než doba potřebná na přestup mezi těmito vlaky ve stanici.

Přípojnými vlaky nejsou:

- vlaky opačného a stejného směru téže trati, i v případě pokud cesta prvního vlaku s kratším jízdním řádem je celá obsažena v jízdním řádu druhého vlaku,
- vlaky, mezi jejichž pravidelným příjezdem a odjezdem je interval větší než 60 minut,
- vlaky, u nichž není dodržena *doba potřebná na přestup.*

Doba potřebná na přestup je doba, která mezi příjezdem prvního a odjezdem druhého vlaku postačí pro bezpečný přestup cestujících za podmínek v místě obvyklých. Uvádí se v Tabulce A pomůcky „Čekací doby a opatření při zpoždění vlaků osobní dopravy“ [1]. Stanovuje se pro každou v úvahu přicházející stanici ve dvou hodnotách:

- normální doba potřebná na přestup cestujících bez překládky mezi dvěma vlaky při jejich nejnepříznivějším rozmístění ve stanici,
- speciálně stanovená kratší doba potřebná na přestup cestujících mezi dvěma konkrétními vlaky při jejich pravidelném rozmístění ve stanici.

Základní čekací doba pro vlaky kategorie EC, IC, SC, EN a Ex je stanovena shodně pro všechny stanice a činí 0 minut. Pro vlaky kategorie R, Sp a Os je stanovena shodně pro všechny stanice a činí 5 minut.

Základní čekací doba platí pro všechny přípojné vlaky, není-li pomůckou „Čekací doby a opatření při zpoždění vlaků osobní dopravy“ [1] v tabulce A stanovena odchylná čekací doba. V této tabulce jsou uvedeny jen vlaky, jimž je stanovena jiná, než základní čekací doba.

Pokud má vlak stanovenou čekací dobu 0 minut, musí podle stanovených pravidel umožnit přestup cestujících, pokud se přípojný vlak nachází mezi vjezdovým nebo posledním cestovým návěstidlem přestupní stanice a nástupištěm.

5 Modelování simulačního nástroje

Pro návrh a dokumentaci simulačního nástroje byl použit grafický modelovací jazyk UML standardu 2.0. Nad modelovanými prvky reálného světa byly vytvořeny systémy zohledňující důležité aspekty pro tento simulátor, a z těchto systémů vznikly modelující třídy, které jsou navrhovány pomocí diagramů tříd uvedeného modelovacího jazyka. Snahou bylo co nejstriktněji dodržovat koncepce objektově orientovaného programování a vytvořit tak návrh odpovídající normám této metodiky vývoje softwaru. Cílovým programovacím jazykem je C# 3.0, který je moderním, objektově orientovaným programovacím jazykem a umožňuje také vývoj formulářové aplikace, což zabezpečí vizualizaci simulačních experimentů odpovídající nynějším technologiím. Nevýhodou budiž fakt, že tento jazyk byl vyvinut firmou Microsoft pro platformu .NET Framework výhradně určenou pod operační systém Windows. Existují však i platformy .NET i pod jiné opračních systémy např. Project Mono[2].

Jazyk disponuje systémem dokumentace zdrojového kódu a výsledná dokumentace zdrojového kódu bude tedy k dispozici, vygenerovaná překladačem Microsoft Visual C# 2008 i ve formátu XML.

Pro uchovávání souborů simulačních dat v paměti byly použity generické kolekce jmenného prostoru *System.Collections.Generic* dostupné od verze .NET 2.0, které umožňují větší typovou bezpečnost a výkonnost než negenerické kolekce. Jejich použitím se dosáhne silné typové kontroly již v době překladu zdrojového kódu a omezení explicitních typových konverzí, které jsou nutné v době překladu, kdy je typ objektu uloženého v negenerické kolekci neznámý. Jsou také odstraněny zbytečné operace boxing a unboxing, které převádějí hodnotové typy v kolekcích na a z objektové reprezentace a při každé takové operaci provádějí typovou kontrolu za běhu aplikace [12]. Je více než patrné, že kód využívající generické kolekce bude výkonnostně značně rychlejší než kód s negenerickými kolekcemi. Za obecnou výhodu kolekcí .NET Frameworku je označována dynamická inkrementace velikosti použitého pole podle potřeby.

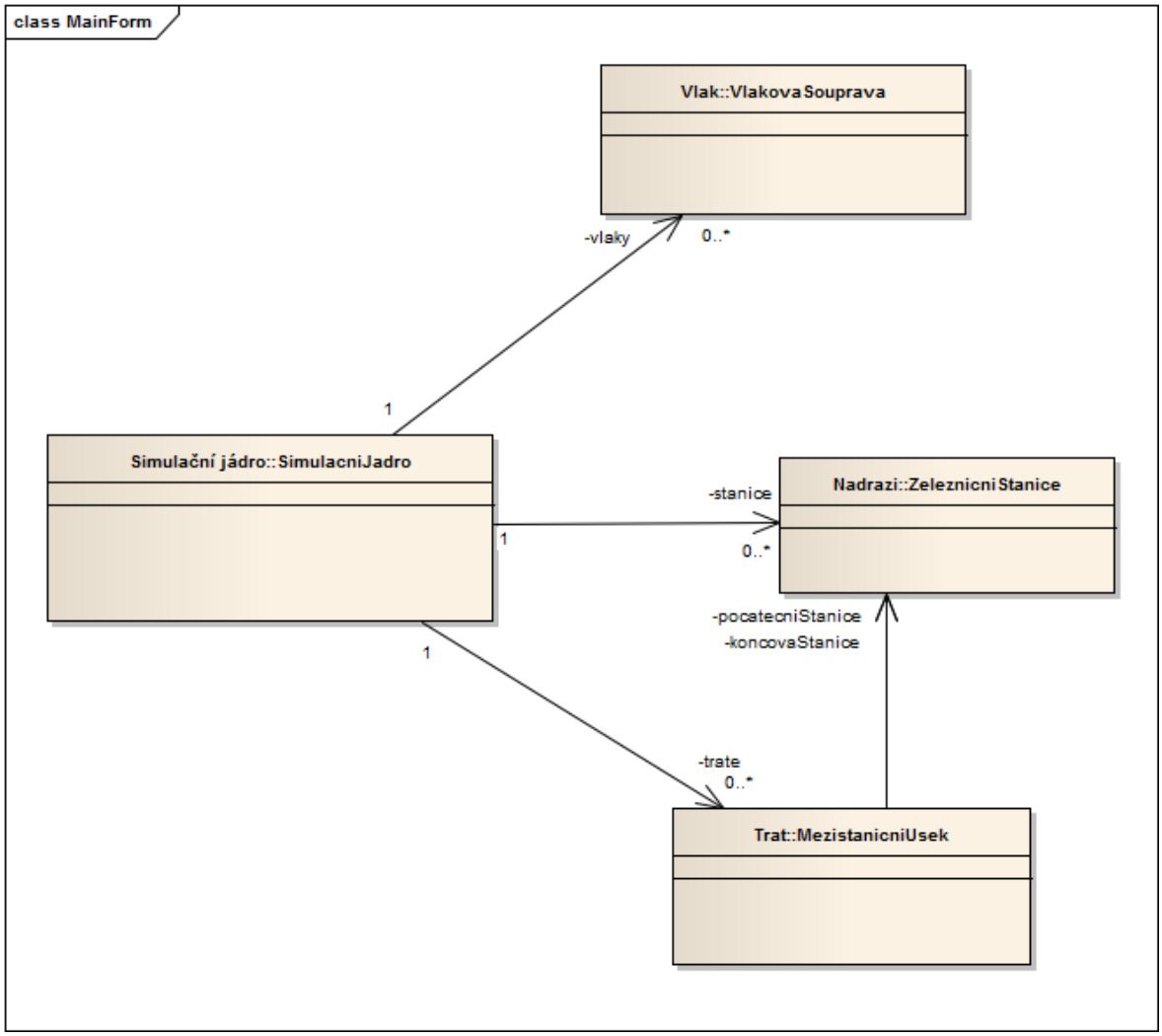
Tabulka 1 – Výpočetní složitost metod generických kolekcí

	List<T>	**SortedList<T>**
Find()	O(n)	O(1)
Add()	O(1)[3]	O(n)
Remove()	O(n)	O(n)[4]
RemoveAt()	O(n - index)	O(n)[4]
IndexOf()	O(n)	O(log n)

[2] http://www.mono-project.com
[3] Pokud je velikost kolekce při vkládání inkrementována, výpočetní složitost metody je O(n).
[4] Metoda využívá binárního vyhledávání, které má výpočetní složitost O(log n). Jelikož jsou ale prvky přesunuty, aby vyplnily prázdné místo, složitost dosahuje až O(n).

5.1 Hlavní třída *MainForm*

Primárně zajišťuje uživatelské rozhraní programu, pomocí něhož lze vytvářet a modifikovat permanentní entity obsažené ve výsledném simulačním modelu. Temporární entity se poté generují z dat obsažených v permanentních prvcích. Třída také zajišťuje vizualizaci experimentů se simulátorem a lze tedy označit tuto třídu za vstupně-výstupní komponentu programu, jejíž pomocí se přistupuje k aplikační komponentě simulátoru *SimulacniJadro* a je tedy určité rozhraní (anglicky interface) této třídy. Zjednodušený diagram hlavních tříd programu, jak s nimi pracuje třída *MainForm*, viz Obrázek 7. Výsledné implementované uživatelské rozhraní viz Obrázek 8.



Obrázek 7 – UML diagram znázorňující vazby mezi simulačním jádrem a nosnými třídami aplikace.

5.2 Simulační jádro

Třída *SimulacniJadro* je hlavní aplikační komponentou celého programu, obstarává veškerou simulační logiku a uchovává data, potřebná pro běh simulace (diagram viz příloha C Obrázek 16). Popisem tohoto modulu se podrobněji zabývá kapitola 6.2 .

5.3 Železniční stanice

Třída interpretující v systému železniční stanici (diagram viz příloha D Obrázek 17) se nazývá *ZeleznicniStanice*. Zapouzdřuje informace o době, potřebné pro přestup cestujících a odchylných čekacích dobách pro vlaky, na něž je v této stanici zajištěn přípoj. Doba potřebná pro přestup cestujících je určována ve dvou hodnotách:

- přestupní doba A, Normální doba potřebná na přestup cestujících bez překládky mezi dvěma vlaky při jejich nejnepříznivějším rozmístění ve stanici.
- přestupní doba B, Speciálně stanovená kratší doba potřebná na přestup cestujících mezi dvěma konkrétními vlaky při jejich pravidelném rozmístění ve stanici.

Železniční stanice také uchovává informace o velikosti kolejiště a jeho pravidelném obsazení projíždějícími či zastavujícími vlaky. Tato data slouží také pro výpis příjezdů a odjezdů vlaků ze stanice s dodatečnou informací o času odjezdu vlaku z předchozí stanice jízdy vlaku. Abstrahuje informace o aktuální poloze vlaků ve stanici, personální obsazení a další nedůležité informace pro tento simulační model. Je permanentním prvkem simulátoru, nelze tudíž v průběhu simulačního experimentu odebírat či přidávat entity železniční stanice.

5.4 Mezistaniční úsek

Třída *MezistanicniUsek* (diagram viz příloha E Obrázek 18) představuje úsek železnice mezi dvěma železničními stanicemi včetně. Uchovává informace o kilometráži v počátku a konci úseku a traťové koleje, po kterých se pohybují vlakové soupravy. Počet kolejí může být pro každý úsek jiný a je podporována v rozmezí $< 0,3 >$. Případ s počtem kolejí nula může nastat v případě odebrání všech kolejí nebo při vložení nového úseku. Tato situace není pro simulační experiment přípustná. Počet kolejí lze také experimentálně navýšit na tři, ale takový případ na vybraném segmentu železnice neexistuje a simulátor není optimalizovaný pro tuto situaci. Každá kolej je rozdělena v kilometrovém rozmezí na prostorové oddíly, které odrážejí reálný úsek tratě mezi návěstidly, a tedy úsek, ve kterém se může pohybovat pouze jedna vlaková souprava. Tento prostorový oddíl nese opět informaci o kilometráži počátku a konci oddílu a referenci na vlakovou soupravu, pokud se nějaká v tomto oddíle momentálně nachází. Železniční stanice, mezi kterými se úsek nachází, je zapouzdřována jako reference na jejich instanci. Stejně jako železniční stanice, je mezistaniční úsek permanentním prvkem simulátoru a nelze jej jakkoliv modifikovat při průběhu simulačního experimentu.

5.5 Vlaková souprava

Vlakovou soupravu, která se pohybuje v systému a je tak jediným temporárním prvkem simulátoru, reprezentuje třída *VlakovaSouprava* (diagram viz příloha F Obrázek 19). Systém nad vlakovou soupravou zahrnuje všechny základní informace o vlaku, vyjma řazení a typu použitých vozů. Výběrem jízdní řád, označení vlaku a jeho aktuální polohu. Aktuální poloha vlaku je vnořená třída třídy *VlakovaSouprava* a informace, které zapouzdřuje, jednoznačně určují jeho polohu na trati a odchylku od jízdního řádu. Základní poloha vlaku může nabývat tři základních hodnot.

- v okolí systému, vlak ještě nepřijel (všechny datové složky třídy *PolohaVlaku* mají hodnotu *null*) nebo již odjel ze systému. V tomto případě datové složky ponechávají poslední známou polohu vlaku před odjezdem ze systému pro případnou možnost výpočtu doby přestupu cestujících.
- na trati,
- ve stanici.

Tabulka 2 – Význam hodnot datových složek třídy *PolohaVlaku* pro určení polohy vlaku.

	Na trati	**Ve Stanici**
indexTrate	Index tratě v seznamu tratí.	null
kmTrate	Přesná poloha vlaku vůči počáteční a konečné kilometráži úseku.	null
kolej	Kolej, po které vlak jede	Číslo koleje, na které vlak ve stanici stojí. Pokud je číslo záporné, stojí na jiné než obvyklé koleji.
indexKoncoveStanice	Index stanice v jízdním řádku vlaku, do které vlak míří. Nemusí v ní zastavovat.	Index stanice v jízdním řádu vlaku, ve které vlak stojí.
zpozdeni	Doba, o kterou je vlak vůči jízdnímu řádu opožděn.	Doba, o kterou je vlak vůči jízdnímu řádu opožděn.
stoji	Doba, po kterou bude vlak stát na místě.	Doba, jakou vlak čeká na přípojné vlaky.

Zapouzdřuje také seznam referencí na vlaky, pro které je tento vlak přípojem a přestupnou stanici, v které je přestup realizován.

Důležitou vlastností pro tuto třídu je vlastnost *JizdniRad*, jejíž implementace zahrnuje do návratové hodnoty jízdního řádu také zpoždění vlaku. V praxi to znamená, že vlastnost vrací skutečný jízdní řád vlaku, pro který platí: každý čas v jízdním řádu, kromě příjezdu do první stanice, je větší o hodnotu zpoždění. Díky této vlastnosti je možné určovat přesnou pozici vlaku i v případě je-li vlak opožděn od jízdního řádu. Na následujícím zdrojovém kódu je vidět, jak vlastnost *JizdniRad* pracuje.

```
/// <summary>
/// Jízdní řád zahrnující zpoždění.
/// </summary>
public List<PolozkaJizdnihoRadu> JizdniRad
{
      set { jizdniRad = value; }
      get
      {
            if (poloha.zpozdeni == TimeSpan.Zero)
                  return jizdniRad;
            List<PolozkaJizdnihoRadu> jizdniRadZpozdeny =
                  new List<PolozkaJizdnihoRadu>(jizdniRad.Count);
            for (int i = 0; i < jizdniRad.Count; i++)
            {
                  TimeSpan? casPrijezdu =
                        jizdniRad[i].CasPrijezdu + poloha.zpozdeni;
                  if (i == 0)
                        casPrijezdu -= poloha.zpozdeni;
                  jizdniRadZpozdeny.Add(
                        new PolozkaJizdnihoRadu(VynulujDny(casPrijezdu),
                        VynulujDny(jizdniRad[i].CasOdjezdu +
                        poloha.zpozdeni), jizdniRad[i].Stanice));
            }
            return jizdniRadZpozdeny;
      }
}
```

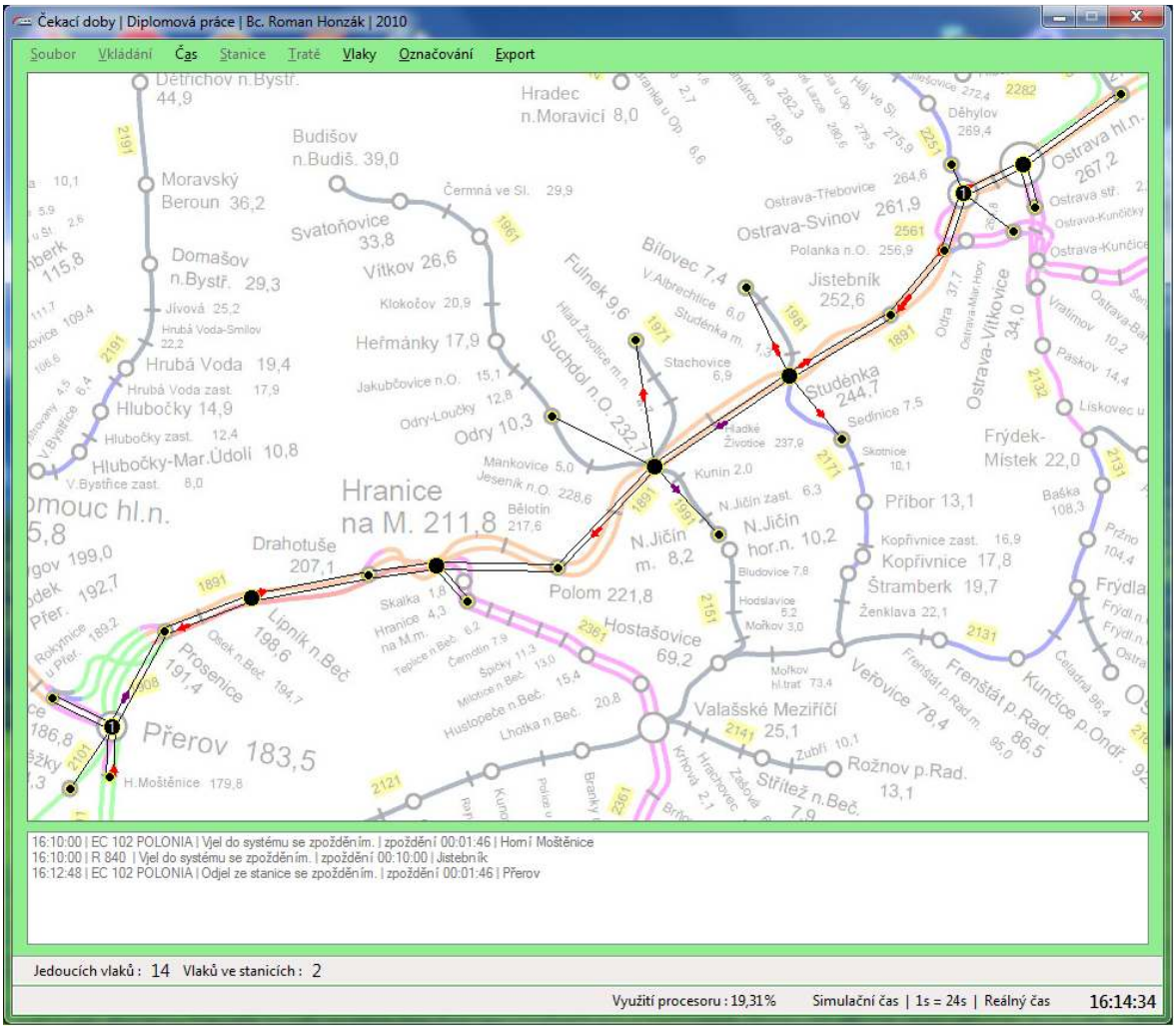
6 Simulační nástroj

Stěžejním bodem této práce je formulářová aplikace (uživatelské rozhraní viz Obrázek 8), implementující pravidla daná pomůckou ke GVD „Čekací doby a opatření při zpoždění vlaků osobní dopravy“ [1], který lze označit jako „realtimový spojitě-diskrétní simulátor“. Program je napsán v jazyce C# 3.0 na platformě .NET Framework 3.5., vyvinut a testován pod operačním systémem Microsoft Windows 7 v programové multiplatformní 32–bitové verzi a také ve verzi 64–bitové s plnou podporou této technologie. Za účelem exportu dat a programového vytváření souboru formátu Excel 97–2003 kompatibilní pomocí jazyka C#, spolupracuje program s knihovnou „Microsoft Excel 12.0 Object Library“[5], která je dostupná po instalaci produktu Microsoft Excel 2007 a vyšší. Instalace Excelu není nutná ale pro výpis z programu nezbytná. Nutné pro chod aplikace je jsou nainstalované knihovny .NET Framework 3.5. a vyšší.

Vizuální pojetí aplikace a uživatelské rozhraní je přívětivé, ovládání jednoduché a snadno pochopitelné. Všechny permanentní prvky modelu lze editovat a upravovat a tvořit tak různá počáteční nastavení pro potřeby experimentu, stejně tak i temporární prvky *vlaková souprava*, jejichž stav lze měnit za běhu simulačního času. Vybraný fragment železniční sítě (simulační model) je zobrazen na podkladu mapy trakční proudové soustavy České republiky [2].

Pro vizualizaci průběhu simulace je použit panel s dvojitou vyrovnávací pamětí. Běžný prvek, na který se ve formulářové aplikaci jazyka C# kreslí, vykresluje elementy hned, jak přijdou od ovládacího prvku. To může způsobit při větším počtu kreslených prvků nepříjemné blikání obrazu. Takto vylepšený panel vykresluje všechny kreslené prvky do bitmapy uložené v paměti a po ukončení celého cyklu kreslení se tato bitmapa překopíruje na panel a zobrazí. Změny tedy neprobíhají po jednom elementu cyklu, ale až jako obraz všech elementů celého cyklu.

[5] http://msdn.microsoft.com/en-us/library/15s06t57(VS.80).aspx



Obrázek 8 – Grafické uživatelské rozhraní simulačního nástroje.

6.1 Vstupy do simulátoru

Základními daty pro simulátor jsou dokumenty typu Excel 97–2003 (ukázka viz příloha A Tabulka 3). Tyto dokumenty mapují obsazení kolejiště železničních stanic všech vlaků, které danou stanicí projíždějí spolu s dalšími důležitými informacemi o vlakových soupravách, např. dny, které se vlak zavádí či následující a předchozí stanici jízdy vlaku.

Norma těchto dokumentů patrně neexistuje, odlišnosti zpracování dokumentů u jednotlivých obvodů jsou různá, tudíž pro získání hodnotných vstupních dat do simulátoru je nutno data vyseparovat a ručně upravit (viz příloha B Tabulka 4). Taková data se poté importují do simulátoru. Z importovaných dat lze poté vytvořit seznam železničních stanic vybraného fragmentu sítě, jejich kolejiště spolu s kalendářem obsazení a seznam všech vlaků a jejich jízdních řádů.

Za účelem cíleného experimentu byla vstupní data o obsazení kolejiště redukována pouze na pracovní dny.

Důležitým externím vstupem do simulátoru je také Tabulka A, „Čekací doby odchylné od základní čekací doby“ dokumentu „Čekací doby a opatření při zpoždění vlaků osobní dopravy“ [1]. Tato data jsou velmi důležitá pro modelování základního požadavku simulátoru a odrážejí aktuální pravidla pro zpožděné a jejich přípojné vlaky.

Pro co nejvěrnější vymodelování železniční sítě v simulátoru a částečné verifikaci dat z jiných zdrojů bylo použito výše zmíněné mapy trakční proudové soustavy České republiky [2] jako podkladu pro model a elektronického magazínu o drahách ŽelPage [3], který disponuje velmi obsáhlými a aktuálními informacemi a železnici.

6.1.1 Úpravy vstupních dat

Pro zjednodušení práce s daty obsazení kolejiště a ušetření paměti zbytečným vytvářením referenčního typu *string*[6], byly s ohledem na zachování unikátnosti upravených dat provedeny tyto změny:

- Pokud se v čísle vlaku vyskytuje lomítko „/“, je odstraněno i s následujícím číslem a je ponecháno číslo pouze před lomítkem.
- Pokud se vyskytuje např. kolej „1a“, je přejmenována na kolej „11“. Pokud již existuje kolej 11 je 1a přejmenována na „111“. Analogický se pak přejmenovává např. kolej „4c“ na „44“ pokud kolej 44 neexistuje.

6.1.2 Generování vlakových souprav

Po importování obsazení kolejiště všech železničních stanic, pro které jsou tato data definována, jsou spolu s odchylnými čekacími dobami jediná data v tento moment v systému obsažena. Jelikož jsou data o obsazení kolejiště jediným a zároveň plnohodnotným externím zdrojem informací, lze pomocí nich vygenerovat seznam vlaků a jejich jízdních řádů, účastnících se daného simulačního modelu s danou konfigurací železničních stanic. Odchylné čekací doby se nevyužívají ke generování vlakových souprav, pouze obsazení kolejišť. Kombinací seznamu vlakových souprav a obsazení kolejišť lze také vygenerovat přípojné vlaky pro každý vlak v seznamu takto vygenerovaných vlaků.

[6] Typ *string* zabírá v paměti 20+(n/2)*4 bajtů, na rozdíl od typu *int32*, který zabírá 4 bajty.

6.2 Simulační jádro

Tento hlavní modul (diagram viz příloha C Obrázek 16) implementuje simulační schopnosti programu a tedy plynutí simulačního času a zajištění synchronizace stavových změn v simulátoru. Jelikož vymodelovaný systém obsahuje jak spojité, tak i diskrétní aktivity, můžeme výslednou simulaci označit za kombinovanou (diskrétně-spojitou). Spojitá simulace se využívá pro jízdu vlaku a diskrétní simulace pro ostatní aktivity (např. čekání vlaku na zpožděný přípojný vlak, odjezd vlaku ze stanice, apod.).

Pro synchronizaci simulačního výpočtu využívá jádro v závislosti na výskytu obou druhů aktivit kombinaci dvou základních metod simulace.

6.2.1 Metoda plánování událostí

V případech, kdy je v systému jasně a nezvratně vymezený čas konce aktivity a jedná se tedy o aktivitu diskrétní, využívá se tato metodika. Simulační jádro disponuje kalendářem událostí (prioritní frontou) s časovým razítkem, setříděných vzestupně, do kterého ukládá naplánované události. V simulačním kroku se provedou a z kalendáře odeberou ty události, které mají odpovídající (tj. stejné nebo menší) časové razítko.

```
/// <summary>
/// Prioritní fronta pro plánování událostí.
/// </summary>
public class PrioritniFronta : Queue<Udalost>
{
      /// <summary>
      /// Přidá událost a setřídí frontu sestupně podle času vykonání.
      /// </summary>
      /// <param name="udalost">Vkládana událost typu <c>Udalost</c>.
      /// </param>
      public new void Enqueue(Udalost udalost)
      {
            base.Enqueue(udalost);
            Setrid();
      }
```

Následující metoda utřídí, respektive přesune na správné místo položku, která se nachází na konci fronty.

```
      /// <summary>
      /// Umístí vloženou událost na správné místo podle času.
      /// </summary>
      private void Setrid()
      {
            Udalost[] pole = new Udalost[Count];
            CopyTo(pole, 0);
            ushort index = (ushort)(Count - 1);
            bool vymena = true;
            bool prepsat = false;
            if (Count > 1)
            while (vymena)
            {
```

```
                    vymena = false;
                    if (index > 0 && pole[index].CasVykonani <
                          pole[index - 1].CasVykonani)
                    {
                          Udalost udalost = pole[index - 1];
                          pole[index - 1] = pole[index];
                          pole[index] = udalost;
                          vymena = true;
                          prepsat = true;
                          index--;
                    }
              }
              if (prepsat)
              {
                    Clear();
                    foreach (Udalost udalost in pole)
                          base.Enqueue(udalost);
              }
        }
}
```

Výčet reálných událostí, které lze v simulátoru naplánovat:

- Vjezd vlaku do systému.
- Čekání na přípojný vlak.
- Čekání na přestup cestujících.
- Odjezd vlaku ze stanice.
- Čekání na volnou kolej při odjezdu ze stanice.

K tomu poslouží následující výčtový typ.

```
/// <summary>
/// Výčet možných událostí, které lze naplánovat.
/// </summary>
public enum Udalosti : byte { VjezdDoSystemu = 0,
                              OdjezdZeStanice,
                              CekaNaPripojnyVlak } ;
```

6.2.2 Metoda snímání aktivit

Pomocí této metody simulátor synchronizuje pohyb vlakových souprav, které jsou označené jako jedoucí. Jinak také vlakové soupravy v systému, které nestojí ve stanici. Označíme-li jízdu vlaku v modelovaném systému za aktivitu *jízda vlaku* v simulátoru, lze tuto aktivitu označit za spojitou s přesností závislou na přírůstku k simulačnímu času a délce aktivity. Pro věrné vymodelování dynamiky jízdy vlaku (zastavení na trati, čekání na uvolnění tratě, apod.) lze průběžně měnit stav prvku reprezentujícího vlakovou soupravu (respektive stav systému) v době trvání výše zmíněné aktivity. Jelikož metoda obsluhuje pouze spojité aktivity, lze ji označit za metodu spojitou.

V následující části je prezentována část zdrojového kódu metody *AktualizujPolohuNaTrati()*, která je programovou reprezentací simulační metody snímání

aktivit. Návratovou hodnotou metody je počitatelná generická kolekce typů *PolozkaLogu,* což jsou zprávy o výjimečných situacích na trati, v rozmezí jednoho simulačního kroku, které se ukládají do logu a vypisují. V části kódu je ošetřována situace, kdy vlak staví v následující stanici a je tedy ukončena jeho spojitá aktivita *jízda vlaku* a započata diskrétní aktivita *odjezd ze stanice*. Jsou zde patrné dvě generické kolekce typu *List<ushort>*, které uchovávají indexy vlaků. Z první kolekce *vlakyJedouci,* jak název napovídá, kolekce obsahuje indexy jedoucích vlaků, byl vlak odebrán prostřednictvím pomocné kolekce *vymazat*. Do druhé kolekce *vlakyVeStanicich* byl index vlaku naopak přidán. Také je z kódu patrné uvolňování traťového oddílu, ze kterého vlak vjíždí do stanice a obsazení koleje (nástupiště) na kterou vlak ve stanici najíždí.

```
/// <summary>
/// Aktualizuje polohu jedoucích vlaků.
/// </summary>
public IEnumerable<PolozkaLogu> AktualizujPolohuNaTrati()
{
…
foreach (ushort i in vlakyJedouci)
{
VlakovaSouprava vlak = vlaky.Values[i];
…
List<PolozkaJizdnihoRadu> jizdniRad =
      vlak.UpravJizdniRadKolemPulnoci(cas);
int? usekPred = null;
if (vlak.Poloha.kmTrate != null)
      usekPred = (int)Math.Floor((double)vlak.Poloha.kmTrate);
```

Následující podmínka zabezpečí odjezd vlaku ze systému, pokud se podle času nachází za poslední položkou svého jízdního řádu.

```
if (jizdniRad == null)
{
      if (vlak.Poloha.zpozdeni != TimeSpan.Zero)
            zpravy.Add(new PolozkaLogu(cas, vlak,
                  vlak.JizdniRad[vlak.JizdniRad.Count - 1].Stanice,
                  vlak.Poloha.zpozdeni, "Odjel ze systému se
                  zpožděním."));
      //Uvolnit předešlý úsek
      if (usekPred != null)
            trate[(int)vlak.Poloha.indexTrate].
                  Koleje[(int)vlak.Poloha.kolej].
                  ProstoroveOddily[(int)usekPred].Obsazeno = null;
      vymazat.Add(i);
      continue;
}
…
ushort indexOdjezdoveStanice = DejIndexOdjezdoveStanice(jizdniRad);
```

Podmínka v následujícím kódu rozlišuje, zda vlak pokračuje v jízdě na stávající trati nebo bude pokračovat na trati následující či bude zastavovat ve stanici.

```
if (indexOdjezdoveStanice < vlak.Poloha.indexKoncoveStanice)
{
…
}
```

```
else
{
//Uvolnit předešlý úsek
if (usekPred != null)
      trate[(int)vlak.Poloha.indexTrate].
            Koleje[(int)vlak.Poloha.kolej].
            ProstoroveOddily[(int)usekPred].Obsazeno = null;
ushort indexPrijezdoveStanice = DejIndexPrijezdoveStanice(jizdniRad);
```

Pokud se následující podmínka vyhodnotí jako *true*, vlak zastavuje ve stanici.

```
if (indexPrijezdoveStanice == vlak.Poloha.indexKoncoveStanice)
{
      ZeleznicniStanice zst = stanice[(int)DejIndexStanice(
            jizdniRad[indexPrijezdoveStanice].Stanice)];
      PolozkaLogu zprava;
      short kolej = DejPrijezdovouKolej(zst, vlak, out zprava);
      if (zprava != null)
            zpravy.Add(zprava);
      zst.Koleje.Values[zst.Koleje.IndexOfKey((ushort)Math.Abs(kolej))].
      Obsazeno = vlak.CisloVlaku;
      vlak.Poloha = new VlakovaSouprava.PolohaVlaku(null, null,
            kolej, indexOdjezdoveStanice, vlak.Poloha.zpozdeni);
      vlakyVeStanicich.Add(i);
      kalendarUdalosti.Enqueue(new Udalost((TimeSpan)jizdniRad[
            indexOdjezdoveStanice].CasOdjezdu, vlak.CisloVlaku,
            Udalosti.OdjezdZeStanice));
      vymazat.Add(i);
}
…
```

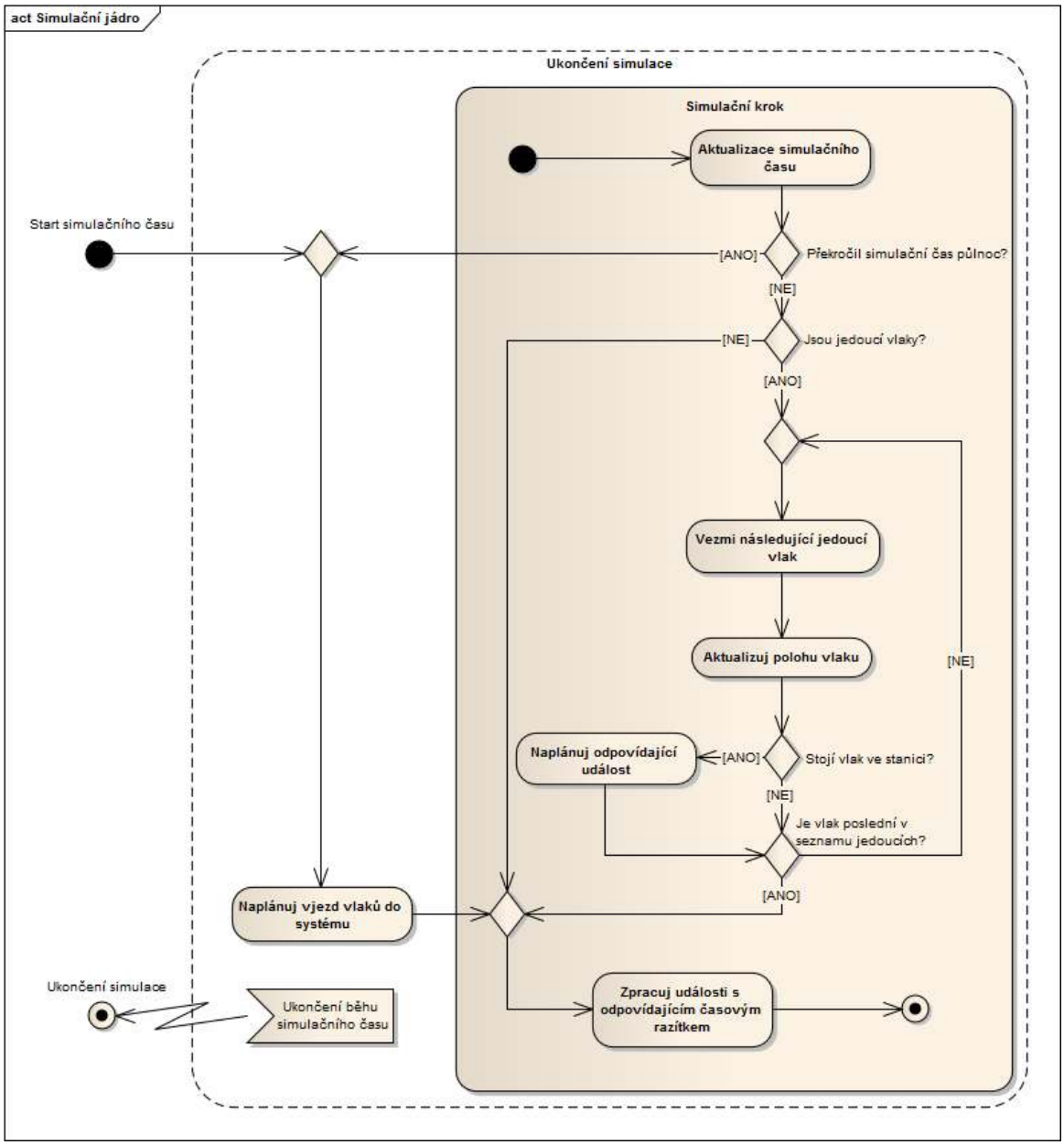
Důležitou metodou pro funkci celého simulátoru a práci s jízdními řády vlaků je metoda *UpravJizdniRadKolemPulnoci(TimeSpan)* třídy *VlakovaSouprava.* Vstupní hodnotou do této metody je aktuální simulační čas. Pro strojové zpracování je potřeba případně rozdělit jízdní řád na dobu před a po půlnoci. Tato metoda vrací požadovanou část jízdního řádu dle aktuálního simulačního času. Problém není takto triviální, ale pro účely vysvětlení tato definice postačí. Pokud však metoda vrátí *null*, znamená to, že vlak ukončil svoji jízdu a ze systému odjíždí. Ve zdrojovém kódu metody *AktualizujPolohuNaTrati()* výše zobrazeném je tato situace dobře patrná, spolu s nezbytným uvolněním traťového úseku, odebrání indexu vlaku z kolekce jedoucích vlaků a při zpožděném vlaku také přidání zprávy do logu.

6.2.3 Synchronizace metod

Vzájemná synchronizace obou metod je zajišťována poměrně triviálním, ale funkčním způsobem. V simulačním kroku se jako první provede metoda snímání aktivit a tedy změna stavu aktivních entit vlakových souprav, a poté se zpracovávají události, jejichž časové razítko je menší nebo odpovídá simulačnímu času. Teoreticky může při snímání aktivit dojít k naplánování aktivity stejné entity vlakové soupravy a potenciálně tak k obsloužení entity oběma metodami. Tato situace ale nemůže nikdy nastat. Prostým důvodem je časové razítko naplánované události, které je vždy větší než simulační čas

zpracovávaný v aktuálním simulačním kroku a tedy nemůže dojít ke dvojímu zpracování ve stejném simulačním kroku.

Lze vypozorovat, že si metody navzájem předávají entity v závislosti na jejich aktivitě. Např. jedoucí vlak vykonává spojitou aktivitu *jízda vlaku*, v momentě kdy zastaví ve stanici, ukončuje aktivitu *jízda vlaku* a začíná diskrétní aktivitu *odjezd ze stanice*. Dále pak ukončí-li diskrétní aktivitu *odjezd ze stanice*, začíná ihned spojitou aktivitu *jízda vlaku*. Obrázek 9 znázorňuje diagram aktivit simulačního jádra zabezpečující synchronizaci obou použitých metod.



Obrázek 9 – Diagram aktivit simulačního jádra

Při startu simulačního času, jak je z diagramu zjevné, se inicializuje kalendář událostmi vjezdu vlaků do systému. Cyklus se opakuje vždy po dosažení půlnoci[7], protože nejvyšší naplánovaný čas vjezdu vlaku minulého dne je sekunda před půlnocí. V tomto jediném simulačním kroku je povoleno události plánovat a odpovídající poté zpracovávat, protože tento proces zjevně nemá negativní vliv na průběh experimentu.

6.3 Chování vlakových souprav

V reálném provozu může nastat nespočet událostí, které negativně ovlivňují jízdu vlaku a způsobují tak jeho zpoždění. Pro tento model byl vymezen systém událostí, odlišujících se od normálních situací na trati, který bude simulátor zohledňovat.

Vlak stojí ve stanici:

- čeká na příjezd zpožděného přípojného vlaku,
- čeká na přestup cestujících,
- čeká na uvolnění koleje při odjezdu.

Vlak je na trati:

- Čeká na uvolnění oddílu, na který vlak dále pokračuje v jízdě. V případě jednokolejné tratě a vlaku v protisměru, čeká na dojezd vlaku do stanice.
- Pokud je při vjezdu do stanice obsazena běžná kolej, na kterou vlak vjíždí, vjede na jinou kolej a zohlední se přestupní doba pro cestující.

Situace, které simulátor nezohledňuje a chybí tedy ve vymezeném systému:

- Předjíždění vlaků. Vlak nemůže předjet pomalejší soupravu bránící v cestě ani ve stanici, pokud v ní pomalejší vlak nestaví.
- Dobu přistavění soupravy ve stanici. Pokud je výchozí stanicí vlaku v systému stanice, ve které vlaky zastavují[8], je tento vlak přistavěn 2 minuty před odjezdem.

Také je nutno zdůraznit, že na úseku trati 270 (Praha –) Česká Třebová – Přerov – Bohumín je mezi stanicemi Přerov – Bohumín levostranný provoz. Tento řád je striktně dodržován a vlakové soupravy v simulačním modelu nemohou využívat jiné koleje, než jaké jsou pro daný směr jízdy vymezené.

6.3.1 Zpožděný odjezd ze stanice vlivem čekání na zpožděný přípojný vlak

Jak již bylo výše zmíněno ve výčtu situací způsobujících zpoždění přípojného vlaku stojícího ve stanici, zpravidla je vlak ovlivňován ve stejném pořadí, jak je ve výčtu uvedeno. Čekání na příjezd vlaku implementuje metoda simulačního jádra

[7] Půlnoc v tomto případě nastane pokud v datové složce *Days* typu *TimeSpan* je hodnota 1.
[8] V modelu jsou takové stanice označeny větším bodem.

CekaNaPripoje(VlakovaSouprava, List<PolozkaJizdnihoRadu>) a plánuje jako diskrétní aktivitu. Pro demonstraci funkce této metody byla vybrána část kódu, která zajišťuje čekání na zpožděný vlak dle základních čekacích dob daných podle kategorie vlaků. Čekání podle odchylných čekacích dob je analogické, pouze s dalším členěním podle parametru délky času čekání odchylné čekací doby. Následující část obsahuje výtažky zdrojového kódu metody *CekaNaPripoje.*

```
/// <summary>
/// Zjistí, zda má vlak čekat na přípojný vlak.
/// </summary>
/// <param name="vlak">Vlak který má potenciálně čekat.</param>
/// <param name="jizdniRad">Jízdní řád vlaku.</param>
/// <returns>Zprávu, pokud čeká. Jinak null.</returns>
private PolozkaLogu CekaNaPripoje(VlakovaSouprava vlak,
      List<PolozkaJizdnihoRadu> jizdniRad)
{
byte zakladniCekaciDoba = DejZakladniCekaciDobuVlaku(vlak.DruhVlaku);
TimeSpan cekaciDoba = TimeSpan.Zero;
VlakovaSouprava pripojnyVlak = null;
TimeSpan casOdjezdu2 = (TimeSpan)vlak.JizdniRad[
      (int)vlak.Poloha.indexKoncoveStanice].CasOdjezdu;
int i; //index přípojných vlaků pro aktuální stanici
```

Následující část zdrojového kódu zabezpečuje čekání podle základní čekací doby větší než 0 minut.

```
if (zakladniCekaciDoba != 0)
{
      foreach (VlakovaSouprava pripoj in vlak.PripojneVlaky[i].Vlaky)
      if (vlak je před stanicí && pripoj.Poloha.zpozdeni > TimeSpan.Zero)
      {
            TimeSpan casPrijezdu1 = pripoj.CasPrijezduDoStanice(
                  vlak.JizdniRad[(int)vlak.Poloha.indexKoncoveStanice].
                  Stanice) + pripoj.Poloha.stoji;
            TimeSpan rozdil = casPrijezdu1 - casOdjezdu2;
            if (rozdil + vlak.Poloha.stoji > TimeSpan.Zero &&
                  rozdil.TotalMinutes < zakladniCekaciDoba &&
                  rozdil > cekaciDoba)
            {
                  cekaciDoba = TimeSpan.FromTicks(Math.Max(
                        cekaciDoba.Ticks, rozdil.Ticks));
                  pripojnyVlak = pripoj;
            }
      }
}
```

Cyklus dále v textu obstarává čekání na přestup cestujících z vlaků, které jsou již ve stanici a čekání vlaků podle základní doby 0 minut

```
foreach (VlakovaSouprava pripoj in vlak.PripojneVlaky[i].Vlaky)
{
if (pripoj.Poloha.zpozdeni > TimeSpan.Zero &&
      (pripoj.Poloha.indexTrate == null ||
      pripoj.JizdniRad[pripoj.JizdniRad.Count - 1].CasPrijezdu <= cas) &&
      vlak.JizdniRad[(int)vlak.Poloha.indexKoncoveStanice].Stanice ==
      pripoj.JizdniRad[(int)pripoj.Poloha.indexKoncoveStanice].Stanice)
      {
```

```
            TimeSpan rozdil = casOdjezdu2 - (TimeSpan)pripoj.JizdniRad[
                  (int)pripoj.Poloha.indexKoncoveStanice].CasPrijezdu;
            CekaNaPrestupZPripoje(vlak, pripoj, rozdil, ref cekaciDoba,
                  ref pripojnyVlak);
      }
}
```

V následující části metody se zpracovávají odchylné čekací doby přípojných vlaků. Zpracování je analogické jako metodika čekání podle základní čekací doby, pouze je kód dále členěn podle údajů v položce délky čekací doby.Na konci metody se identifikuje, zda má vlak čekat na přestup cestujících nebo čekat na příjezd zpožděného vlaku. Nastalou situaci naplánuje, aktualizuje velikost zpoždění vlaku v důsledku čekání a vrátí zprávu, která se následně uloží do logu a vypíše. Pokud nenašel zpožděný přípojný vlak, vrací *null*.

```
      …
      if (pripojnyVlak == null)
            return null;
      if (cekaciDoba < TimeSpan.Zero)
      {
            vlak.Poloha.zpozdeni -= cekaciDoba;
            kalendarUdalosti.Enqueue(new Udalost(cas - cekaciDoba,
                  vlak.CisloVlaku, Udalosti.OdjezdZeStanice,
                  pripojnyVlak.CisloVlaku));
            return new PolozkaLogu(cas, vlak, pripojnyVlak,
                  vlak.JizdniRad[(int)vlak.Poloha.indexKoncoveStanice]
                  .Stanice, vlak.Poloha.zpozdeni,
                  "Čeká na přestup cestujících");
      }
      vlak.Poloha.zpozdeni += cekaciDoba;
      kalendarUdalosti.Enqueue(new Udalost(cas + cekaciDoba,
            vlak.CisloVlaku, Udalosti.CekaNaPripojnyVlak,
            pripojnyVlak.CisloVlaku));
      return new PolozkaLogu(cas, vlak, pripojnyVlak,
            vlak.JizdniRad[(int)vlak.Poloha.indexKoncoveStanice]
            .Stanice, vlak.Poloha.zpozdeni,
            "Bude čekat na přípojný vlak");
}
```

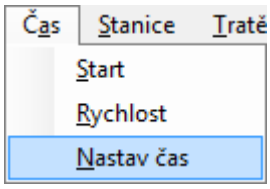
Algoritmus jako první krok provede hledání indexu stanice, pro kterou má načítat přípojné vlaky. Dále pak postupně zjišťuje velikost největší doby čekání a zpožděný přípojný vlak, na který tuto dobu bude čekat. Výsledná doba se poté přičte k době zpoždění a naplánuje se událost *čeká na přípojný vlak*.

Vlak tedy čeká na příjezd zpožděného vlaku do stanice a poté nastává procedura, následně ve výčtu uvedená, čekání na přestup cestujících, implementovaná metodou simulačního jádra *CekaNaPrestupZPripoje(VlakovaSouprava, VlakovaSouprava, TimeSpan, ref TimeSpan, ref VlakovaSouprava)*. Logický předpoklad je přítomnost obou vlaků ve stanici. Vrací čas čekání v záporné hodnotě a lze tedy rozpoznat čekání na zpožděný vlak a čekání na přestup cestujících. Pokud vlak čeká na přestup cestujících, lze naplánovat jeho odjezd ze stanice. Tato metoda je volaná i v případě, pokud má vlak na zpožděný vlak čekat 0 minut (podrobnější výklad problematiky čekací doby viz kapitola 4.3). Touto metodou se naplánuje odjezd vlaku tak, aby byl umožněn přestup

cestujícím mezi jednotlivými vlaky v maximálním časovém intervalu určeném pro danou stanici a dané rozestavění vlaků ve stanici.

6.4 Základní ovládání simulačního nástroje

Pro ovládání simulačního času je v programu zavedeno menu *Čas*, které obsahuje vše potřebné pro snadné ovládání běhu simulačního času:

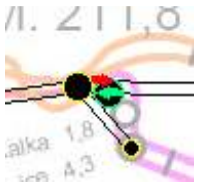


Obrázek 10 – Menu ovládání simulačního času

- start/stop, zastavení a spuštění simulačního času,
- rychlost, definuje poměr mezi skutečným a simulačním časem,
- nastav čas, umožňuje měnit počáteční čas simulačního pokusu. Při každé změně času se vymažou všechny hodnoty zpoždění vlaků.

Pro první dvě zmíněné položky byly vytvořeny povely pro snadné ovládání myší (chcete-li klávesové zkratky). Funkci start/stop zajišťuje prostřední tlačítko myši a změnu rychlosti (přírůstku času) lze jednotkově měnit otáčením kolečka myši.

Simulátor také disponuje výběrem nejbližší entity jak v režimu editace (simulační čas stojí a k dispozici jsou pouze stanice a mezistaniční úseky), tak v režimu informace (simulační čas běží a k dispozici jsou pouze stanice a vlakové soupravy) kdy je editace prvků zakázána. Vybraná entita se po najetí myší dostatečně blízko opticky zvýrazní a je možné vyvolávat informační formuláře pro vybranou entitu. V režimu editace je možné zaškrtnou v menu *Vkládání* entity, které chce uživatel do modelu vkládat. Režim informace naopak nabízí pouze informace o stavu systému, prostřednictvím vybrané entity v aktuálně probíhajícím simulačním experimentu.



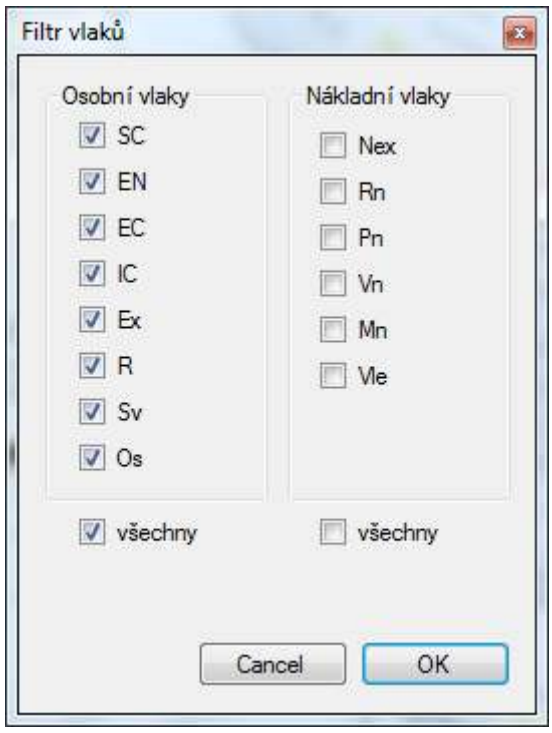
Obrázek 11 – Ukázka grafického znázornění výběru

6.4.1 Vymezení množiny vlakových souprav

Za účelem omezení působení některých souprav v systému byl implementován kategorický filtr, kterým je možno zahrnout, či z experimentu vynechat vlakové soupravy podle kategorie osobní nebo nákladní dopravy (viz Obrázek 12).

Pro relevantní experimenty se doporučuje využít vlakové soupravy osobní dopravy. Tato data, spolu s kategorií Nex, byla validovaná a optimalizovaná pro využití v simulátoru a použití jiných kategorií nákladní dopravy není se zárukou hodnotných výstupů ze simulátoru.

Filtr lze také uplatnit pro filtrování výpisu vlaků. Takto použitý filtr nemá vliv na působení vlaků v systému.

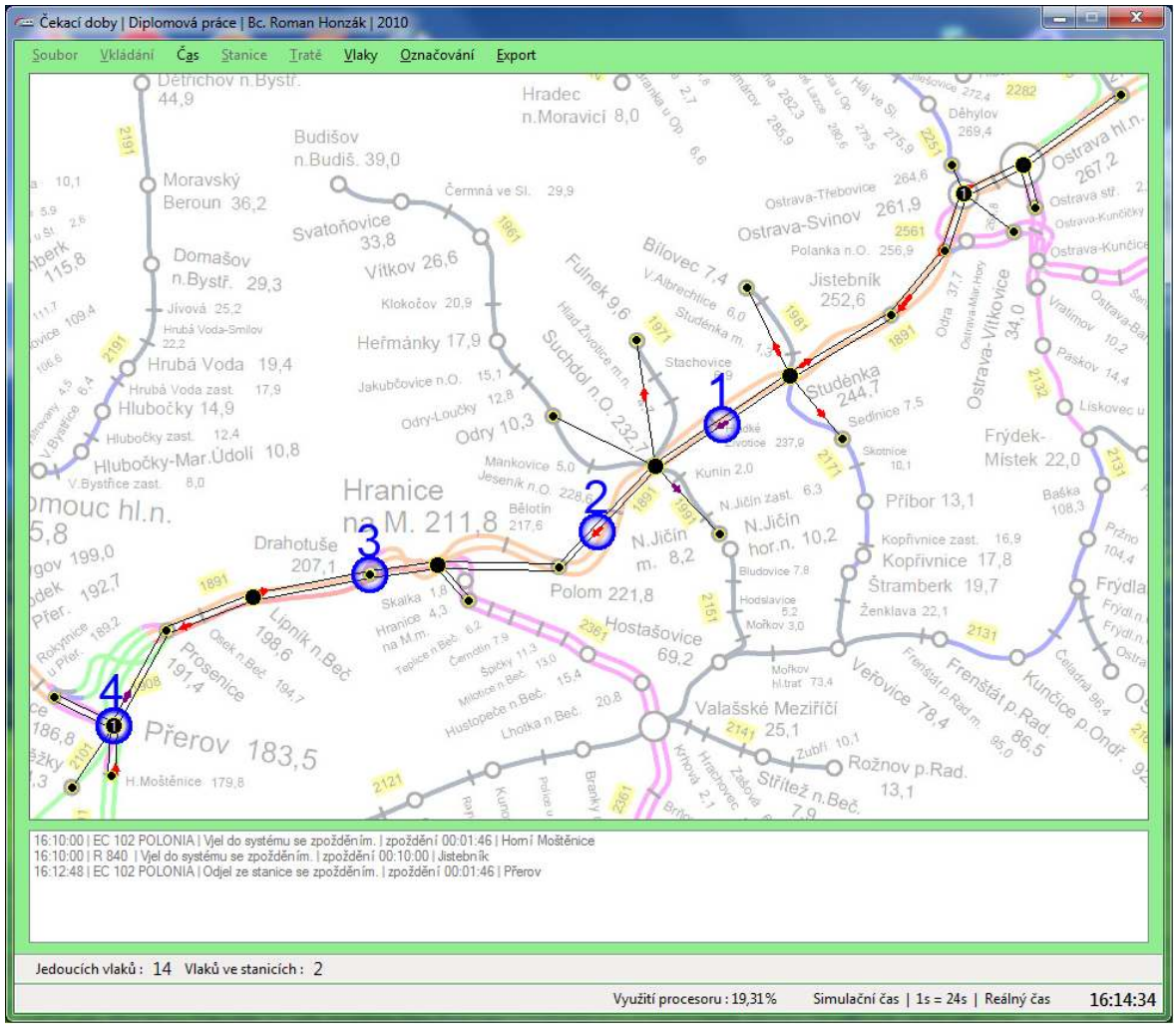


Obrázek 12 – Filtrování množiny vlaků

6.4.2 Vytváření odchylek od jízdního řádu

Pro vytváření modelových situací je nutno nějakým způsobem stanovit zpoždění vlaků. V tomto simulátoru je možné vytvářet zpoždění pouze při běhu simulačního času a to tak, že se vlak při jízdě zastaví na určenou dobu výsledné odchylky od běžného jízdního řádu. Tuto situaci lze popsat také poruchou zabezpečovacího zařízení železniční tratě. Při kliknutí na vybranou vlakovou soupravu se zobrazí informační formulář, na kterém jsou vyobrazeny všechny dostupné informace o vlaku a číselník popsaný *Vygenerovat zpoždění,* pomocí kterého je možné zpoždění vybraného vlaku vygenerovat či navýšit.

6.5 Výstupy ze simulátoru



Obrázek 13 – Popis elementů hlavního okna aplikace

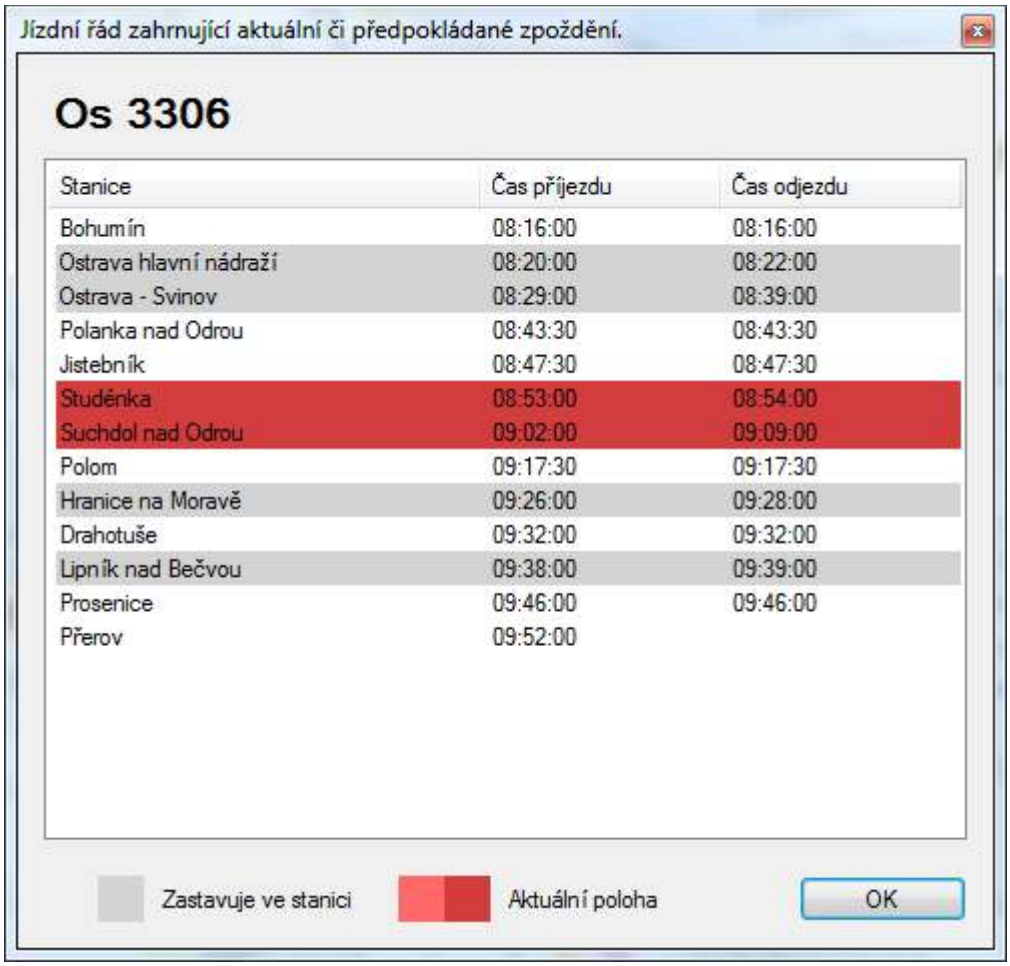
6.5.1 Vizualizace

Prioritním výstupem simulátoru je realtimová vizualizace probíhajícího simulačního pokusu, znázorňující pohyb entit experimentu v aktuálním simulačním čase. Ve spodní části hlavního aplikačního okna (viz Obrázek 13) se nachází výpis zpráv z logu, které se jako tabulková data následně ukládají do souboru (viz kapitola 6.5.2). Většina vizualizačních fragmentů disponuje výmluvným popiskem a lze tedy jejich význam snadno pochopit. K vysvětlení zbývá pouze několik prvků, vymezených do modré kružnice (viz Obrázek 13) a popsaných následujícími čísly:

1) fialová šipka, zpožděný vlak,
2) červená šipka, vlak bez časové odchylky v jízdním řádu,
3) menší kruh, železniční stanice, ve které vlaky nestaví,
4) větší kruh, železniční stanice, která je zastávkou pro vlaky. V kruhu se zobrazuje počet vlaků, stojících ve stanici.

V systému se můžou objevit také modré šipky, znázorňující nákladní dopravu.

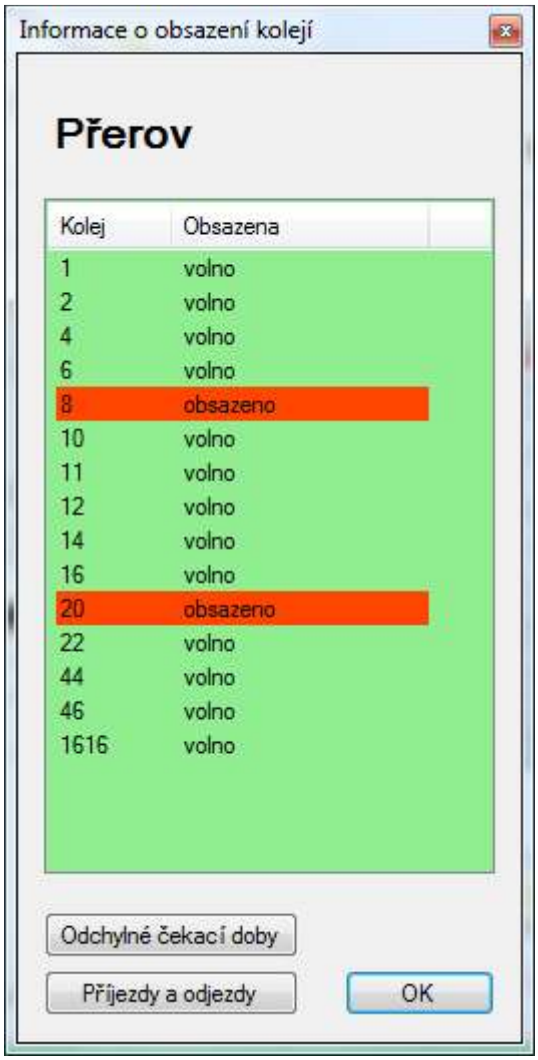
Doplňkem vizualizace železničních stanic je pod položkou menu *Stanice* vygenerován seznam všech stanic v simulátoru setříděných sestupně podle názvu. Položky stanic disponující identickou nabídkou voleb v podmenu jako při výběru z vizualizace. Pro mezistaniční úseky se tento seznam nachází pod menu *Tratě*.



Obrázek 14 – Jízdní řád vybrané vlakové soupravy

Mimo vizualizace všech entit účastnících se právě probíhajícího experimentu, systém disponuje také propracovaným informačním systémem vybrané entity. Pro vlaky např. zobrazení jízdního řádu (viz. Obrázek 14) spolu s dodatečnými informacemi o zastávkách v rámci řádu a aktuální poloze vlaku.

Pro železniční stanice je k dispozici formulář (viz Obrázek 15), zobrazující obsazení kolejiště dané stanice. Pokud je kolej obsazena, kliknutím na daný řádek je zobrazen informační formulář o vlaku, momentálně stojícím na vybrané koleji. V dolní části formuláře je také vidět možnost zobrazení odchylných čekacích dob a časů příjezdů a odjezdů vlaků vybrané stanice.



Obrázek 15 – Obsazení kolejí železniční stanice

6.5.2 Tabulkový výpis

Pro následující práci s výsledky simulačního experimentu, které se při průběhu experimentu zobrazují v hlavním okně aplikace ve výpisu logu, slouží jejich automatický export do souboru formátu Excel 97–2003 kompatibilní při ukončení běhu simulačního času, pokud není tato funkce uživatelsky vypnuta. Zprávy, které se ukládají, monitorují události odlišující se od normálního stavu na železnici a ve většině případů jsou spojené se zpožděním. Příklad exportovaných dat z programu viz příloha E Tabulka 5.

7 Experimenty se zpožděním vlaků

Pomocí simulačního nástroje byly prováděny experimenty tak, že se vybranému vlaku uživatelsky vygenerovala odchylka od jízdního řádu ve formě zastávky na trati a bylo sledováno a zdokumentováno chování ostatních vlaků, zejména těch přípojných. Jak bylo již výše zmíněno, vymezený čas pro experimenty jsou pracovní dny, a tedy data vlakových souprav obsažená v simulátoru se týkají pouze pracovních dní.

7.1 Zpožděný osobní vlak 3360 na výjezdu z žst. Bohumín

Tento experiment simuluje situaci, kdy Os 3360 zastaví na trati mezi stanicemi Bohumín a Ostrava hl. n. na 20 minut a blokuje tak kolej směrem do stanice Ostrava hl. n. Výpis vzniklých situací způsobených touto odchylkou od jízdního řádu viz příloha G Tabulka 5.

7.1.1 Analýza výsledků

Z výsledků je jasně patrný velký vliv tohoto zpožděného vlaku na jeho vlaky přípojné, zejména však ve stanicích Studénka a Suchdol nad Odrou. Vlak by pravděpodobně přijel do cílové stanice s větším zpožděním než 20 minut. Odhadem 3 minuty navíc by musel vlak čekat ve stanici Lipník nad Bečvou, aby mohl před sebe pustit SC 506 Pendolino.

Také ale blokuje vlak R 734 na jeho cestě směrem do stanice Ostrava hl. n. a způsobí mu tak zpoždění. Vlak R 734 nemůže použít druhou kolej, protože je tato kolej obsazena protijedoucím vlakem Os 2927. Pokud uvážíme, že R 734 má větší prioritu než Os 3360 a nemusel by tak přenechávat své obvyklé nástupiště ve stanici Ostrava hl. n. dříve přijíždějícímu Os 3360 a také skutečnost, že vyjede ze stanice Ostrava hl. n. dříve než vlak Os 3360, tak i přes tyto okolnosti vznikne vlaku R 734 zpoždění okolo pěti minut. Takto zpožděný vlak R 734 má za následek další vznik odchylek od jízdního řádu až o 15 minut.

Ve stanici Ostrava Svinov je toto zpoždění přenášeno vlakem Os 3406 směr Opava přijíždějícím do stanice se zpožděním 5 minut, kterému vznikne celkové zpoždění 8 minut a vlakem Os 2863 směrem Ostrava Kunčice, který je z důvodu čekání na přípojné vlaky Os 3360 a R 734 opožděn o 6 minut. Další vývoj situace a potencionální další přenášení zpoždění není známo, protože vlaky vyjíždějí mimo vybraný fragment železniční sítě.

Zajímavým faktem je také zpoždění vlaku Os 4045 způsobené jízdou zpožděného vlaku R 734 po jednokolejné trati směrem Nezamyslice, kdy musí osobní vlak počkat dojezdu rychlíku do stanice Věžky, aby mohl pokračovat v jízdě do stanice Přerov. Zpoždění vlaku Os 4045 se dále přenáší na vlak Os 3311, který odjíždí ze stanice Přerov se zpožděním 5 minut. Toto zpoždění se může nadále zvětšovat ve stanici Prosenice až o 4

minuty, kde musí pustit před sebe vlak EC 127 Fatra. Výsledné zpoždění činí 9 minut. Tuto dobu je možné regulovat ve stanici Hranice na Moravě, kde má vlak zastávku s délkou 10 minut, ale i přes to se zpoždění přenáší dále na trať směrem Bohumín.

7.1.2 Analýza metodiky a možné návrhy

Ve stanici Ostrava Svinov není pro vlak Os 3406 určena odchylná čekací doba a vlak tedy čeká maximálně 5 minut, jak je podle základní čekací doby určeno pro kategorii osobních vlaků. Kdyby vlak nepřijel do stanice Ostrava Svinov již zpožděn, na vlak Os 3360 by nečekal. Možným lepším řešením by byla odchylná čekací doba 0 minut pro tento přípojný vlak. Důvodem tohoto návrhu je následující spoj Sp 1612 stejným směrem s pravidelným odjezdem za 27 minut od pravidelného odjezdu Os 3406 a ze stejného směru jako Os 3360 a to ze stanice Ostrava hl. n.

Ve stanici Studénka by podle vzoru stanice Suchdol nad Odrou mohlo být pro vlak Os 23312 ve směru Bílovec prodlouženo čekání na zpožděné přípojné vlaky alespoň o 10 minut. Důvodem je následující spojení směrem na Bílovec, které má pravidelný odjezd až za 2 hodiny po odjezdu vlaku Os 23312.

7.2 Zpožděný rychlík R 841 na výjezdu z žst. Věžky

Tento experiment simuluje situaci, kdy R 841 zastaví na trati mezi stanicemi Věžky a Přerov na 10 minut a blokuje tak jednokolejnou trať v obou směrech. Výpis vzniklých situací způsobených touto odchylkou od jízdního řádu viz příloha H Tabulka 6.

7.2.1 Analýza výsledků

Výsledky tohoto experimentu také ukazují, že zpoždění vlaku R 841 má nemalý vliv na další provoz na železnici. Nejvíce však až ve stanicích Ostrava–Svinov a Ostrava hlavní nádraží. Zpoždění vlaku SC Pendolino 509 lze zanedbat, protože vlak R 841 by mu dal zcela jistě ve stanici Ostrava–Svinov přednost. Tímto faktem by ale R 841 nabral až o jednu až dvě minuty větší zpoždění. Vlaku Os 2915, který čeká na příjezd zpožděného přípojného vlaku R 841 a následný přestup cestujících, způsobí zpoždění 4 minuty. Ve stanici Ostrava hl.n. čeká na příjezd zpožděného rychlíku R 841 vlak Os 3318 dobu 4,5 minuty. Také se však opět umožňuje přestup cestujících z R 841 na vlak Os 2915 a zpoždění osobního vlaku Os 2915 se tak zvětšuje na 7,5 minuty. V tomto momentě stojí ve stanici Ostrava hl.n. tři vlaky: SC 509 Pendolino, R 841, Os 2915 a všechny tyto vlaky odjíždějí stejným směrem a to Bohumín. V simulátoru odjíždí SC jako poslední, což ve skutečnosti není přijatelné. Ve skutečnosti by vlaky Os 2915 a R 841 parně dávaly vlaku SC 509 Pendolino přednost a dále tak zvětšovaly velikost svých odchylek od jízdního řádu. Ve výsledku může R 841 přijet do stanice Bohumín a tedy opustit systém až se zpožděním 13 minut, Os 2915 odhadem až 10 minut. Tento fakt je nepříjemný zejména pro

vlak Os 2915, který dále pokračuje až do stanice Český Těšín a je možné, že zpoždění dále přenáší. Ve skutečnosti ale nemusí docházet k přestupům mezi vlaky R 841 a Os 2915 v obou zastávkách Ostravy a tudíž zpoždění nemusí být tak velké. Na druhou stranu vlak Os 2915 má nejnižší prioritu z vlaků pohybujících se momentálně v jeho okolí a potencionálně jim dává v přednost, je tedy možné, že jeho zpoždění v tomto důsledku opět naroste.

Klíčovým důsledkem zpoždění rychlíku R 841 je zpožděný odjezd Os 3318 ze stanice Ostrava hl.n., který tuto odchylku přenáší zpátky na trať směrem Přerov a dále směrem na Prahu. Zanedbatelné zpoždění způsobí Os 3318 ve stanici Suchdol nad Odrou na odjezdech směry: Fulnek, Odry a Nový Jičín. Největší zpoždění směrem Nový Jičín činí 3,5 minuty. Dále však ve stanici Hranice na Moravě čeká na příjezd zpožděného osobního vlaku Os 3318 rychlík R 628 Portáš, jehož konečná stanice je Praha–Smíchov. Konečné zpoždění R 628 Portáš při odjezdu ze systému směrem Praha činí 5,5 minuty. Dalším vlakem, který přenáší zpoždění dále na trať směrem na Prahu je Os 3726, kterému v důsledku čekání na zpožděný přípojný vlak Os 3318 vznikne zpoždění 6,5 minuty.

Zpoždění vlaku IC 532 Rastislav a jeho následky budou zanedbány, protože mu zpoždění způsobil Os 3318, který ho blokuje v jízdě a ve skutečnosti by mu ve stanici Suchdol nad Odrou dal přednost.

7.2.2 Analýza metodiky a možné návrhy

Pro vlak Os 2915, jak je pomůckou ke GVD „Čekací doby a opatření při zpoždění vlaků osobní dopravy“ [1] odstavce 3. dáno, platí, že je přípojným vlakem vlaku R 841 v obou stanicích Ostava–Svinov i Ostrava hlavní nádraží. Podle dosažených výsledků není toto pravidlo vhodné a nedoporučuje se umožňovat přestup cestujících v obou stanicích.

Pro vlak R 828 Portáš by mohla být ve stanici Hranice na Moravě zavedena odchylná čekací doba 10 minut, vzhledem k následujícím spojům ve stejném směru jako R 828 Portáš. Následující takový spoj Ex 140 Beskyd odjíždí hodinu po pravidelném odjezdu R 828 Portáš a cestující, kteří přestupují z Os 3318 na vlak R 828 Portáš ve stanici Hranice na Moravě, by čekali až 55 minut na další spoj.

8 Závěr

V rámci diplomové práce se podařilo vytvořit simulační nástroj umožňující modelování vybraného fragmentu železniční sítě, simulování situací se zpožděním vlaků a sledování potenciálního přenášení zpoždění na přípojné vlaky. Také se úspěšně podařilo, jak znázorňuje Obrázek 8, namodelovat vybraný fragment železniční sítě pomocí simulačního nástroje.

Simulační model páteřní tratě číslo 270 mezi stanicemi Přerov a Ostrava hlavní nádraží s přilehlými tratěmi čítá 7 železničních stanic, ve kterých mohou vlaky zastavovat a umožnit tak cestujícím přestup na přípojný vlak, 18 průjezdných železničních stanic, tj. vlaky mohou stanicí pouze projíždět a 24 mezistaničních úseků. Pro účely cíleného experimentu pouze v pracovních dnech je uvažováno 568 vlaků osobní dopravy. Simulátor spolu s vypracovaným modelem odráží skutečné dění na železnici a může tak být pomůckou pro zkoumání nejenom problematiky zpoždění. Dle analýzy výsledků lze konstatovat, že vizualizace simulačního experimentu a tabulková výstupní data ze simulátoru jsou hodnotná a přináší verifikované simulační údaje o vzniklé situaci na železnici, podle kterých je možné navrhnout možná zlepšení stávající metodiky řízení zpožděných vlaků.

Vzhledem k požadavkům a časovému prostoru pro vypracování této práce se otevírá možnost pro zdokonalení tohoto simulátoru např. zahrnutí většího fragmentu železnice by zcela jistě přineslo mnohem lepší výsledky a bylo by možné zkoumat větší rozsah situací a následků odchylek od běžného časového plánu. Zdokonalení chování vlakových souprav a ošetření výjimečných situací např. předjíždění vlaků a s tím spojené využívání jiné dostupné koleje by také přineslo znatelné vylepšení simulačních algoritmů.

S přihlédnutím k velké proměnlivosti systému osobní dopravy na železnici je velmi obtížné určit ideální metodiku uplatňovanou pro řízení zpožděných a jejich přípojných vlaků, na které se potenciálně zpoždění přenáší. Je také nutno zmínit, že lidské rozhodnutí při výjimečných situacích a schopnost řídit provoz železničních stanic tak, aby odchylky jízdních řádů byly co nejmenší a naproti tomu spokojenost cestujících co nejvyšší, je prvek velmi obtížně nahraditelný simulačním modelem.

Bibliografie

1. **České dráhy a.s.** *Čekací doby a opatření při zpoždění vlaků.* 13. Prosinec 2009.

2. **Správa železniční dopravní cesty.** O nás, Železniční mapy ČR: SŽDC. *SŽDC.* [Online] 2009. http://www.szdc.cz/o-nas/zeleznicni-mapy-cr/trakcni-proud.soustavy.pdf.

3. **ŽelPage, o. s.** Seznam tratí: ŽelPage. *ŽelPage - elektronický magazín o drahách.* [Online] ŽelPage, o. s., 2010. http://www.zelpage.cz/trate/ceska-republika. ISSN 1801-5425.

4. **Vonka, Jaroslav, Molková, Tatiana a Široký, Jaromír.** *Technologie a řízení dopravy II. - GVD.* Pardubice : Univerzita Pardubice, 2000. ISBN 80-7194-286-3.

5. **Kavička, Antonín.** *Pokročilé techniky modelování a simulace.* [elektronické sylaby k předmětu] Pardubice : Univerzita Pardubice, 2008.

6. **Kavička, Antonín.** *Modelování a simulace.* [elektronické sylaby k předmětu] Pardubice : Univerzita Pardubice, 2006.

7. **Křívý, Ivan a Evžen, Kindler.** *Simulace a modelování.* [Učební texty Ostravské univerzity] Ostrava : Ostravská univerzita, 2001.

8. **Bažant, Michael a Žarnay, Michal.** Modelování situací vznikajících při zpoždění vlaků v osobních železničních stanicích. *Dopravní systémy 2005.* 1. konference s mezinárodní účastí. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2005, stránky 248-256. sborník příspěvků.

9. **Microsoft.** MSDN Library. *MSDN.* [Online] Microsoft Corporation, 2010. http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms123401.aspx.

10. **Banks, Jerry.** *Handbook of simulation.* Atlanta : Georgia Institute of Technology, 1998. 0-471-13403-1.

11. **Skeet, Jon.** Strings in .NET and C#. *Jon Skeet's C# and .NET articles and links.* [Online] http://www.yoda.arachsys.com/csharp/strings.html.

12. **Běhálek, Marek.** Generické datové typy. *Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava.* [Online] VŠB-TU Ostrava, 2007. http://www.cs.vsb.cz/behalek/vyuka/pcsharp/text/ch04s12.html.

Příloha A – Tabulka obsazení kolejiště železniční stanice Ostrava hl. n z originálních dat od železniční společnosti.

Tabulka 3 – Obsazení kolejiště železniční stanice Ostrava hl. n.

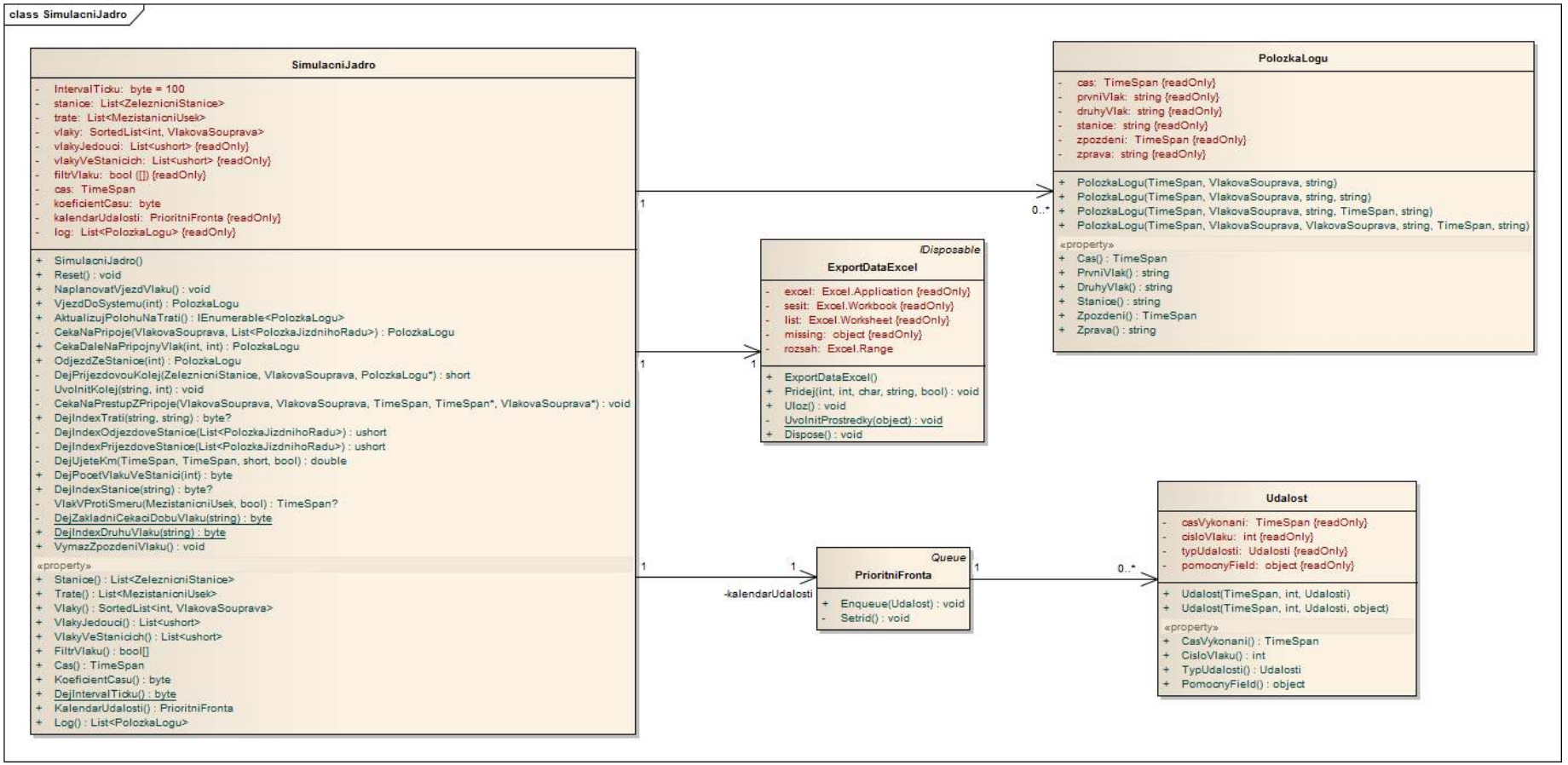
Druh vlaku	Číslo vlaku	Odjezd ze sousední stanice	Jízdní doba	Vjezd /odjezd. kolej	Příjezd	Pobyt	Odjezd	Poznámka (z / do, omezení)	ze směru výchozí stanice	směrem cílová stanice
ŽST OSTRAVA HL. N.										
R	**447**	**2:18:0**	**7:0**	**2**	**2:25:0**	**2:0**	**2:27:0**	**jede 22./23.XII., 2./3.IV., 30.VI./1.VII., 30./31.VIII., 27./28.X.**	**VIHORLAT**	**Praha hl.n.**	**Košice**
Lv	76122		5:0					PP			
Lv	74800										
RusPn	60398						2:31:0	PP	OL		
RusNex	46751	2:29:0	6:0	2			2:35:0	zavádějte v @		(FS) - Břeclav	Petrovice-(PKP)
Nex	46747	2:29:0	6:0	2			2:35:0	nejede v @/A, D/E, F/@ a 26./27.XII., 6./7.I., 1./2.V., 8./9.XII.		(FS) - Břeclav	Petrovice-(PKP)
Vn	59210	2:33:0	3:0	803			2:36:0	OB	OKD-D, a.s.	Bohumín	Paskov
Vn	49039	2:34:0	6:0	2			2:40:0	nejede v C/D a D/E	OKD-D, a.s.	(OBB) - Břeclav	Chalupki
Pn	60010	2:34:0	7:0	10	2:41:0			nejede 25.XII., 1.I.		Třinec	
Pn	60120			407			2:45:0	nejede v @, F a 25., 26.XII., 1., 2.I., 6.IV., 6., 7.VII., 29.IX., 29.X., 18.XI.		Ostrava levé	Hranice n. Mor.
Nex	55053	2:39:0	8:0	7	2:47:0			nejede v E/F, F/@ a 24./25., 25./26.XII., 31.XII./1.I., 1./2.I., 5./6.IV., 5./6., 6./7.VII., 28./29.IX., 28./29.X., 17./18.XI.	POŠTMISTR	Praha Malešice	
Lv	76119		6:0					PP			
Pn	69061	2:44:0	6:0				2:50:0	PP PosPr:7400			
Pn	60270	2:46:0	5:0				2:51:0	PP			
Nex	43207	2:48:0	6:0	2			2:54:0	nejede v E/F a F/@	KALUGA II	Ml. Boleslav m.	Petrovice-(PKP)

Příloha B – Tabulka vstupních dat (obsazení kolejiště žst Ostrava hl. n.) do simulátoru.

Tabulka 4 – Upravená vstupní data obsazení kolejiště žst Ostrava hl. n.

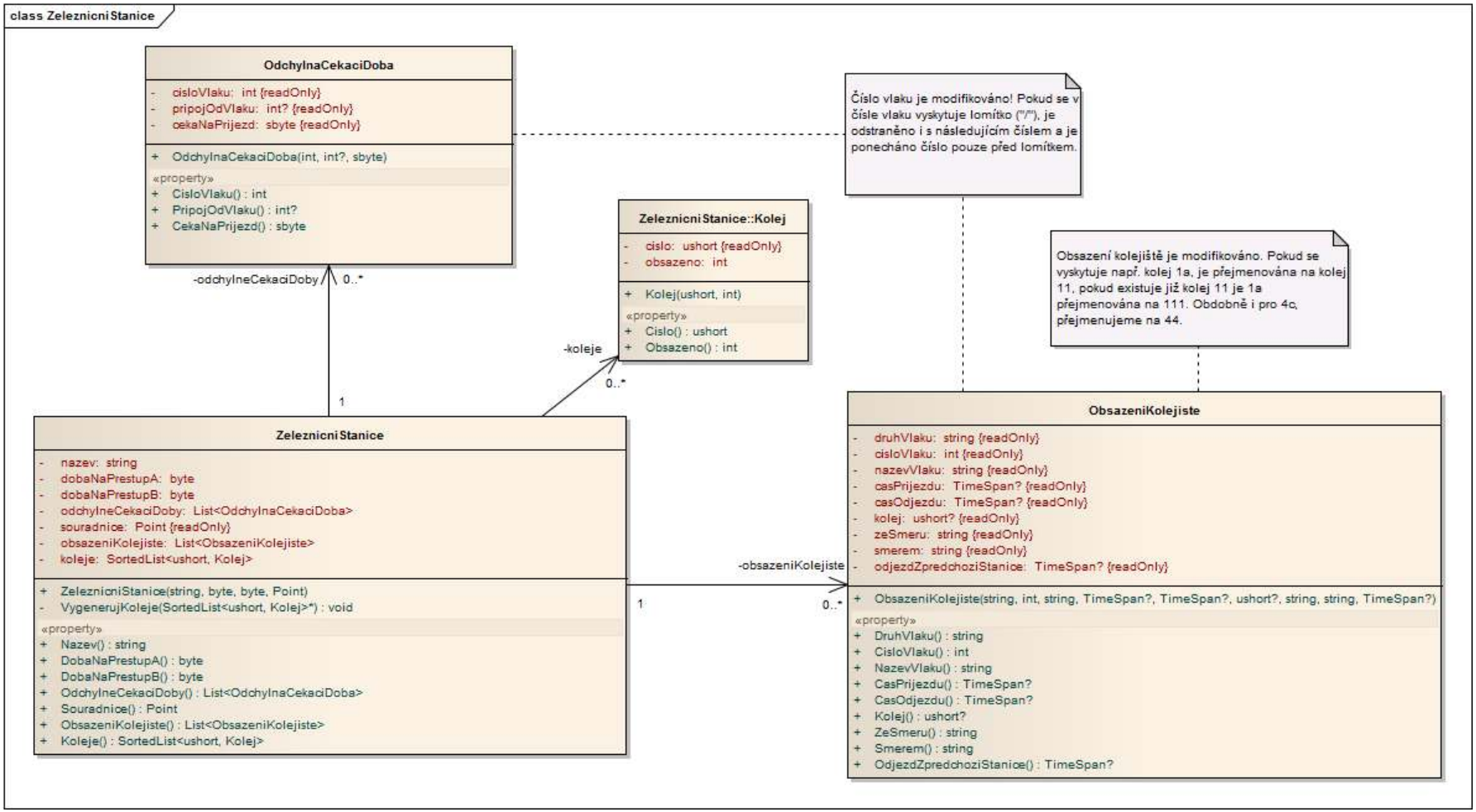
R	447	2:18:00	7:00	2	2:25:00	2:00	2:27:00		VIHORLAT	Ostrava - Svinov	Bohumín
Pn	60398						2:31:00		OL		
Nex	46751	2:29:00	6:00	2			2:35:00			Ostrava - Svinov	Bohumín
Nex	46747	2:29:00	6:00	2			2:35:00			Ostrava - Svinov	Bohumín
Vn	59210	2:33:00	3:00	803			2:36:00		OKD-D, a.s.	Bohumín	Ostrava střed
Vn	49039	2:34:00	6:00	2			2:40:00		OKD-D, a.s.	Ostrava - Svinov	Bohumín
Pn	60010	2:34:00	7:00	10	2:41:00					Bohumín	
Pn	60120			407			2:45:00				Ostrava - Svinov
Nex	55053	2:39:00	8:00	7	2:47:00				POŠTMISTR	Ostrava - Svinov	
Pn	69061	2:44:00	6:00				2:50:00				
Pn	60270	2:46:00	5:00				2:51:00				
Nex	43207	2:48:00	6:00	2			2:54:00		KALUGA II	Ostrava - Svinov	Bohumín
Pn	69900	2:51:00	5:00				2:56:00				
R	409	2:53:00	7:00	2	3:00:00	2:00	3:02:00		VLTAVA	Ostrava - Svinov	Bohumín
Vn	59359	2:57:00	9:00		3:06:00	3:00	3:09:00				
Pn	48000	3:00:00	6:00	1			3:06:00			Bohumín	Ostrava - Svinov
R	11059	3:01:00	6:00				3:07:00				
Vn	59052	3:05:30	5:05				3:11:00				
Pn	60920	3:11:30	4:05				3:16:00				

Příloha C – UML diagram simulačního jádra.



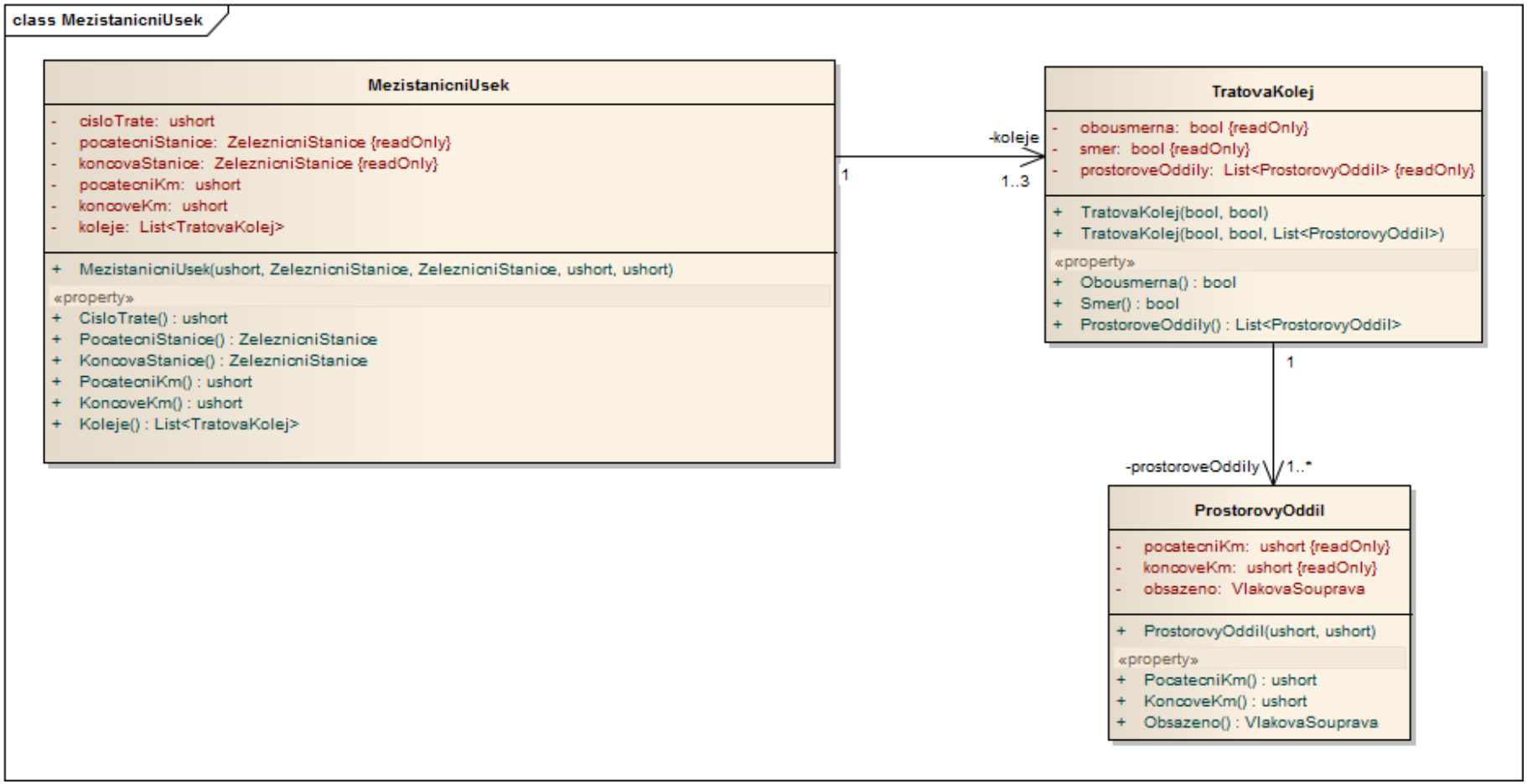
Obrázek 16 – UML diagram simulačního jádra.

Příloha D – UML diagram železniční stanice.



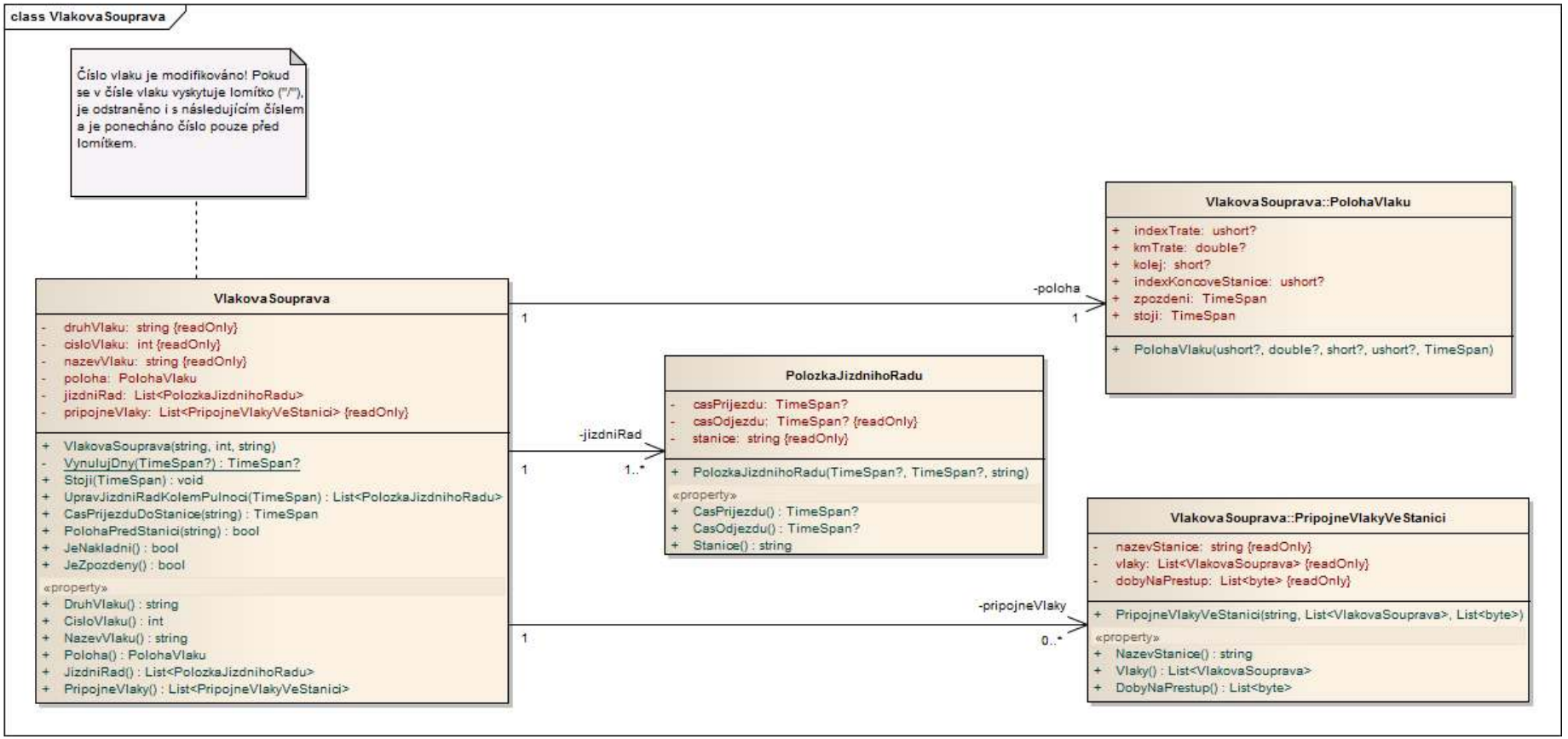
Obrázek 17 – UML diagram železniční stanice.

Příloha E – UML diagram mezistaničního úseku.



Obrázek 18 – UML diagram mezistaničního úseku.

Příloha F – UML diagram vlakové soupravy.



Obrázek 19 – UML diagram vlakové soupravy.

Příloha G – Tabulka výsledků experimentu 7.1

Tabulka 5 – Tabulka výsledků experimentu 7.1

Čas	Vlak	Zpráva	Zpoždění	Ve stanici	Přípojný vlak
8:27:06	Os 3406	Bude mít na vjezdu do systému zpoždění. Vlak na trati v protisměru.	0:05:00	Ostrava - Vítkovice	
8:32:03	Os 3406	Vjel do systému se zpožděním.	0:05:00	Ostrava - Vítkovice	
8:40:27	R 734	Přijel na jinou než běžnou kolej		Ostrava hlavní nádraží	
8:42:06	Os 3306	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:20:00	Ostrava hlavní nádraží	
8:42:24	R 734	Bude mít zpoždění na odjezdu ze stanice. Vlak na trati.	0:04:28	Ostrava hlavní nádraží	
8:43:27	R 734	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:04:28	Ostrava hlavní nádraží	
8:46:00	Os 2863	Bude čekat na přípojný vlak	0:03:40	Ostrava - Svinov	R 734
8:48:06	Os 3406	Bude čekat na přípojný vlak	0:06:00	Ostrava - Svinov	Os 3306
8:49:09	Os 3406	Čeká na přestup cestujících	0:08:00	Ostrava - Svinov	Os 3306
8:49:45	Os 2863	Čeká na přestup cestujících	0:05:00	Ostrava - Svinov	Os 3306
8:51:06	Os 2863	Čeká na přestup cestujících	0:06:07	Ostrava - Svinov	R 734
8:51:15	Os 3406	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:08:00	Ostrava - Svinov	
8:52:18	Os 2863	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:06:07	Ostrava - Svinov	
8:53:12	R 734	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:06:07	Ostrava - Svinov	
8:54:06	Os 3406	Odjel ze systému se zpožděním.	0:08:00	Ostrava - Třebovice	
8:54:06	Os 2862	Bude mít na vjezdu do systému zpoždění. Vlak na trati v protisměru.	0:04:07	Ostrava - Vítkovice	
8:58:09	Os 2863	Odjel ze systému se zpožděním.	0:06:07	Ostrava - Vítkovice	
8:58:09	Os 2862	Vjel do systému se zpožděním.	0:04:07	Ostrava - Vítkovice	
8:59:03	Os 3306	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:20:00	Ostrava - Svinov	
9:04:09	Os 2862	Odjel ze systému se zpožděním.	0:04:07	Ostrava - Svinov	
9:04:09	R 734	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:06:07	Studénka	
9:10:00	Os 13360	Bude čekat na přípojný vlak	0:12:00	Suchdol nad Odrou	Os 3306
9:10:00	Os 23132	Bude čekat na přípojný vlak	0:03:00	Studénka	Os 3306
9:10:00	Os 23312	Bude čekat na přípojný vlak	0:03:00	Studénka	Os 3306

9:11:03	Os 23360	Bude čekat na přípojný vlak	0:11:00	Suchdol nad Odrou	Os 3306
9:12:06	Os 13304	Bude čekat na přípojný vlak	0:10:00	Suchdol nad Odrou	Os 3306
9:12:15	R 734	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:06:07	Suchdol nad Odrou	
9:13:00	Os 23132	Čeká na přestup cestujících	0:06:00	Studénka	Os 3306
9:13:00	Os 23312	Čeká na přestup cestujících	0:06:00	Studénka	Os 3306
9:14:03	Os 3306	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:20:00	Studénka	
9:16:00	Os 23132	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:06:00	Studénka	
9:16:00	Os 23312	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:06:00	Studénka	
9:22:00	Os 13360	Čeká na přestup cestujících	0:15:00	Suchdol nad Odrou	Os 3306
9:22:09	Os 23360	Čeká na přestup cestujících	0:14:00	Suchdol nad Odrou	Os 3306
9:22:09	Os 13304	Čeká na přestup cestujících	0:13:00	Suchdol nad Odrou	Os 3306
9:23:30	Os 23132	Odjel ze systému se zpožděním.	0:06:00	Sedlnice	
9:25:00	Os 13360	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:15:00	Suchdol nad Odrou	
9:25:09	R 734	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:06:07	Hranice na Moravě	
9:25:09	Os 23360	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:14:00	Suchdol nad Odrou	
9:25:09	Os 13304	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:13:00	Suchdol nad Odrou	
9:29:03	Os 3306	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:20:00	Suchdol nad Odrou	
9:30:33	Os 23312	Odjel ze systému se zpožděním.	0:06:00	Bílovec	
9:38:03	Os 23360	Odjel ze systému se zpožděním.	0:14:00	Fulnek	
9:38:30	Os 13304	Odjel ze systému se zpožděním.	0:13:00	Odry	
9:39:33	Os 13360	Odjel ze systému se zpožděním.	0:15:00	Nový Jičín město	
9:42:06	Os 4214	Bude čekat na přípojný vlak	0:01:07	Přerov	R 734
9:43:18	Os 4214	Čeká na přestup cestujících	0:05:07	Přerov	R 734
9:45:15	R 734	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:06:07	Přerov	
9:46:36	Os 4045	Bude mít na vjezdu do systému zpoždění. Vlak na trati v protisměru.	0:04:37	Věžky	
9:47:21	Os 4214	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:05:07	Přerov	
9:48:06	Os 3306	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:20:00	Hranice na Moravě	
9:51:15	R 734	Odjel ze systému se zpožděním.	0:06:07	Věžky	

9:51:15	Os 4214	Odjel ze systému se zpožděním.	0:05:07	Horní Moštěnice	
9:51:15	Os 4045	Vjel do systému se zpožděním.	0:04:37	Věžky	
9:56:03	Os 3311	Bude čekat na přípojný vlak	0:00:37	Přerov	Os 4045
9:56:39	Os 4045	Odjel ze systému se zpožděním.	0:04:37	Přerov	
9:56:48	Os 3311	Čeká na přestup cestujících	0:04:37	Přerov	Os 4045
9:59:03	Os 3306	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:20:00	Lipník nad Bečvou	
10:00:51	Os 3311	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:04:37	Přerov	
10:06:42	SC 506 SC PENDOLINO	Odjel ze systému se zpožděním.	0:01:39	Prosenice	
10:12:06	Os 3306	Odjel ze systému se zpožděním.	0:20:00	Přerov	
10:14:39	Os 3311	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:04:37	Lipník nad Bečvou	
10:15:06	R 705 GALÁN	Čeká na přestup cestujících	0:01:00	Přerov	Os 3306
10:16:09	R 705 GALÁN	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:01:00	Přerov	
10:19:36	R 705 GALÁN	Odjel ze systému se zpožděním.	0:01:00	Horní Moštěnice	
10:24:06	Os 3410	Bude mít na vjezdu do systému zpoždění. Vlak na trati v protisměru.	0:04:00	Ostrava - Vítkovice	
10:27:42	EC 127 FATRA	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:02:42	Hranice na Moravě	
10:28:00	Os 3410	Vjel do systému se zpožděním.	0:04:00	Ostrava - Vítkovice	
10:33:15	EC 127 FATRA	Odjel ze systému se zpožděním.	0:02:42	Hranice n.M. město	
10:35:39	Os 3311	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:04:37	Hranice na Moravě	
10:47:03	Os 3410	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:04:00	Ostrava - Svinov	
10:50:03	Os 3410	Odjel ze systému se zpožděním.	0:04:00	Ostrava - Třebovice	
10:53:39	Os 3311	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:04:37	Suchdol nad Odrou	
11:03:42	Os 3311	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:04:37	Studénka	
11:16:00	Os 3413	Bude čekat na přípojný vlak	0:00:37	Ostrava - Svinov	Os 3311
11:16:45	Os 3413	Čeká na přestup cestujících	0:02:37	Ostrava - Svinov	Os 3311
11:18:51	Os 3413	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:02:37	Ostrava - Svinov	
11:19:45	Os 3311	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:04:37	Ostrava - Svinov	
11:20:30	R 735	Bude mít zpoždění na odjezdu ze stanice. Vlak na trati.	0:00:36	Ostrava - Svinov	
11:21:33	R 735	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:00:36	Ostrava - Svinov	

11:24:06	Os 3412	Bude mít na vjezdu do systému zpoždění. Vlak na trati v protisměru.	0:00:37	Ostrava - Vítkovice	
11:24:42	Os 3413	Odjel ze systému se zpožděním.	0:02:37	Ostrava - Vítkovice	
11:24:42	Os 3412	Vjel do systému se zpožděním.	0:00:37	Ostrava - Vítkovice	
11:28:00	Os 3362	Čeká na přestup cestujících	0:02:37	Ostrava hlavní nádraží	Os 3311
11:28:45	Os 3311	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:04:37	Ostrava hlavní nádraží	
11:30:06	R 735	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:01:03	Ostrava hlavní nádraží	
11:30:42	Os 3362	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:02:37	Ostrava hlavní nádraží	
11:32:12	Os 3311	Odjel ze systému se zpožděním.	0:04:37	Bohumín	
11:33:06	R 735	Odjel ze systému se zpožděním.	0:01:03	Bohumín	

Příloha H – Tabulka výsledků experimentu 7.2

Tabulka 6 – Tabulka výsledků experimentu 7.2

Čas	Vlak	Zpráva	Zpoždění	Ve stanici	Přípojný vlak
17:35:08	Os 4228	Čeká na přestup cestujících	0:02:00	Přerov	R 841
17:36:02	R 841	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:10:00	Přerov	
17:37:14	Os 4228	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:02:00	Přerov	
17:41:08	Os 4228	Odjel ze systému se zpožděním.	0:02:00	Horní Moštěnice	
17:54:02	R 841	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:10:00	Hranice na Moravě	
18:19:05	Os 2915	Bude čekat na přípojný vlak	0:02:00	Ostrava - Svinov	R 841
18:21:11	Os 2915	Čeká na přestup cestujících	0:04:00	Ostrava - Svinov	R 841
18:22:05	SC 509 SC PENDOLINO	Přijel na jinou než běžnou kolej		Ostrava - Svinov	
18:23:17	Os 2915	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:04:00	Ostrava - Svinov	
18:24:02	R 841	Bude mít zpoždění na odjezdu ze stanice. Vlak na trati.	0:10:09	Ostrava - Svinov	
18:24:02	SC 509 SC PENDOLINO	Čeká na přestup cestujících	0:01:09	Ostrava - Svinov	R 841
18:25:05	R 841	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:10:09	Ostrava - Svinov	
18:25:14	SC 509 SC PENDOLINO	Bude mít zpoždění na odjezdu ze stanice. Vlak na trati.	0:01:18	Ostrava - Svinov	
18:26:17	SC 509 SC PENDOLINO	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:01:18	Ostrava - Svinov	
18:27:02	Os 3318	Bude čekat na přípojný vlak	0:04:18	Ostrava hlavní nádraží	R 841
18:31:23	Os 3318	Bude čekat na přípojný vlak	0:04:27	Ostrava hlavní nádraží	R 841
18:31:32	Os 3318	Čeká na přestup cestujících	0:08:27	Ostrava hlavní nádraží	R 841
18:32:08	Os 2915	Čeká na přestup cestujících	0:07:27	Ostrava hlavní nádraží	R 841
18:32:44	SC 509 SC PENDOLINO	Přijel na jinou než běžnou kolej		Ostrava hlavní nádraží	
18:33:29	R 841	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:10:27	Ostrava hlavní nádraží	
18:35:35	Os 3318	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:08:27	Ostrava hlavní nádraží	
18:35:35	Os 2915	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:07:27	Ostrava hlavní nádraží	
18:35:44	SC 509 SC PENDOLINO	Bude mít zpoždění na odjezdu ze stanice. Vlak na trati.	0:02:48	Ostrava hlavní nádraží	
18:36:29	R 841	Odjel ze systému se zpožděním.	0:10:27	Bohumín	

18:36:47	SC 509 SC PENDOLINO	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:02:48	Ostrava hlavní nádraží	
18:38:57	Os 2915	Odjel ze systému se zpožděním.	0:07:27	Bohumín	
18:39:25	SC 509 SC PENDOLINO	Odjel ze systému se zpožděním.	0:03:21	Bohumín	
18:43:00	Os 3426	Čeká na přestup cestujících	0:01:27	Ostrava - Svinov	Os 3318
18:44:32	Os 3426	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:01:27	Ostrava - Svinov	
18:47:28	Os 3426	Odjel ze systému se zpožděním.	0:01:27	Ostrava - Třebovice	
18:47:28	Os 3318	Bude mít zpoždění na odjezdu ze stanice. Vlak na trati.	0:08:30	Ostrava - Svinov	
18:48:30	Os 3318	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:08:30	Ostrava - Svinov	
19:02:33	Os 3318	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:08:30	Studénka	
19:10:01	Os 13374	Bude čekat na přípojný vlak	0:00:30	Suchdol nad Odrou	Os 3318
19:10:33	Os 13374	Čeká na přestup cestujících	0:03:30	Suchdol nad Odrou	Os 3318
19:11:02	Os 23374	Čeká na přestup cestujících	0:02:30	Suchdol nad Odrou	Os 3318
19:12:00	Os 13314	Čeká na přestup cestujících	0:01:30	Suchdol nad Odrou	Os 3318
19:13:33	Os 13314	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:01:30	Suchdol nad Odrou	
19:13:36	Os 23374	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:02:30	Suchdol nad Odrou	
19:13:36	Os 13374	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:03:30	Suchdol nad Odrou	
19:17:31	Os 3318	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:08:30	Suchdol nad Odrou	
19:26:31	Os 23374	Odjel ze systému se zpožděním.	0:02:30	Fulnek	
19:27:02	Os 13314	Odjel ze systému se zpožděním.	0:01:30	Odry	
19:28:02	Os 13374	Odjel ze systému se zpožděním.	0:03:30	Nový Jičín město	
19:31:01	R 628 PORTÁŠ	Bude čekat na přípojný vlak	0:03:30	Hranice na Moravě	Os 3318
19:34:32	R 628 PORTÁŠ	Čeká na přestup cestujících	0:05:30	Hranice na Moravě	Os 3318
19:35:01	Os 3215	Čeká na přestup cestujících	0:01:30	Hranice na Moravě	Os 3318
19:36:32	Os 3215	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:01:30	Hranice na Moravě	
19:36:32	R 628 PORTÁŠ	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:05:30	Hranice na Moravě	
19:42:31	Os 3215	Odjel ze systému se zpožděním.	0:01:30	Hranice n.M. město	
19:43:30	Os 3318	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:08:30	Hranice na Moravě	
19:45:32	R 628 PORTÁŠ	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:05:30	Lipník nad Bečvou	

19:49:01	R 708	Bude čekat na přípojný vlak	0:01:31	Přerov	IC 532 RASTISLAV
19:50:33	R 708	Čeká na přestup cestujících	0:05:31	Přerov	IC 532 RASTISLAV
19:51:02	R 628 PORTÁŠ	Odjel ze systému se zpožděním.	0:05:30	Prosenice	
19:53:31	IC 532 RASTISLAV	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:06:31	Přerov	
19:54:33	Os 3318	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:08:30	Lipník nad Bečvou	
19:54:33	R 708	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:05:31	Přerov	
19:57:03	IC 532 RASTISLAV	Odjel ze systému se zpožděním.	0:06:31	Horní Moštěnice	
19:59:01	R 708	Odjel ze systému se zpožděním.	0:05:31	Dluhonice	
20:05:03	Os 3726	Bude čekat na přípojný vlak	0:02:30	Přerov	Os 3318
20:07:34	Os 3318	Odjel ze systému se zpožděním.	0:08:30	Přerov	
20:07:34	Os 3726	Čeká na přestup cestujících	0:06:30	Přerov	Os 3318
20:11:01	IC 531 HUKVALDY	Čeká na přestup cestujících	0:00:30	Přerov	Os 3318
20:11:33	IC 531 HUKVALDY	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:00:30	Přerov	
20:11:36	Os 3726	Odjel ze stanice se zpožděním.	0:06:30	Přerov	
20:15:33	Os 3726	Odjel ze systému se zpožděním.	0:06:30	Dluhonice	