

Univerzita Pardubice  
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Možnosti využití simulačního nástroje Arena při plánování jízdního řádu  
dopravního podniku ve vybraném městě

Michal Bareš

Bakalářská práce

2009

Univerzita Pardubice  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra informačních technologií  
Akademický rok: 2008/2009

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal BAREŠ**

Studijní program: **B2646 Informační technologie**

Studijní obor: **Informační technologie**

Název tématu: **Možnosti využití simulačního nástroje Arena při plánování  
jízdního řádu dopravního podniku ve vybraném městě**

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

Cílem bakalářské práce je poukázat na silné a slabé stránky simulačního nástroje Arena při plánování linek dopravního podniku vybraného města. Vstupy: - informace o infrastruktuře, - vozový park provozovaný DP, - jízdní řád DP. Výstupy: - simulační model uvažovaného jízdního řádu, - poukázání na silné a slabé stránky simulačního nástroje Arena.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Křivý, Kindler: Simulace a modelování. Ostravská univerzita, 2001. 2.

Kelton, Sadowski, Sturrock: Simulation with Arena. McGraw-Hill, 2004.

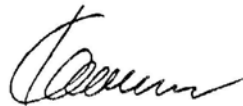
Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Michael Bažant**

Katedra softwarových technologií

Datum zadání bakalářské práce: 15. ledna 2009

Termín odevzdání bakalářské práce: 15. května 2009



doc. Ing. Simeon Karamazov, Dr.  
děkan



L.S.



Ing. Lukáš Čegan  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2009

Prohlašuji:

Tuto práci jsem 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 ..... dne .....

## Poděkování

Děkuji Ing. Michaelu Bažantovi za ochotu a pomoc při zpracování této bakalářské práce. Rovněž děkuji paní Ing. Juditě Souškové, Ph.D., vedoucí střediska přípravy a ekonomiky provozu MHD v Dopravním podniku města Pardubic, za poskytnutí potřebných dat pro vyhotovení této práce.

# **ANOTACE**

Práce popisuje možnosti využití simulačního nástroje Arena při tvorbě jízdního řádu. V práci je vytvořeno několik simulačních experimentů a popsány možnosti dalšího využití simulačního nástroje Arena v dopravních podnicích.

# **KLÍČOVÁ SLOVA**

Simulační nástroj Arena, simulace, dopravní podnik

# **TITLE**

Possibilities of simulation tool Arena for timetable planning within selected city's transport undertaking

# **ANNOTATION**

The work aims to the possibilities of simulation tool Arena for timetable planning. Two simulation experiments were created within this work and there are described possibilities of further using of simulation tool Arena at transport undertaking

# **KEYWORDS**

Simulation tool Arena, simulation, transport undertaking

# Obsah

Úvod.....	10
1 Dopravní podnik města Pardubic.....	11
1.1 Historie (DpmP) .....	11
1.2 Vozový park DpmP.....	12
1.3 Popis Linek v DpmP.....	13
1.4 Tvorba jízdních řádů .....	15
2 Simulační nástroj Arena .....	17
2.1 Základní pojmy simulace .....	17
2.2 Prostředí simulačního nástroje Arena .....	18
2.3 Moduly.....	19
2.3.1 Create .....	19
2.3.2 Dispose .....	20
2.3.3 Assign .....	20
2.3.4 Decide.....	21
2.3.5 Batch .....	21
2.3.6 Separate .....	22
2.3.7 Hold .....	22
2.3.8 Signal .....	23
2.3.9 Datový modul Entit (Entity).....	23
2.3.10 Datový modul proměnných (Variable).....	24
2.3.11 Datový modul rozvrhů (Schedule) .....	25
2.3.12 Station.....	26
2.3.13 Route.....	26
2.4 Submodely.....	27
3 Simulace jízdního řádu DpmP .....	28
3.1 Obsah simulačním modelu .....	28
3.1.1 Entity Autobus a Cestující .....	28
3.1.2 Označení stanic .....	29
3.2 Členění simulačního modelu .....	30
3.2.1 Stanice .....	30
3.2.2 Okolí Stanice.....	32
3.2.3 Točna .....	32
3.2.4 Vozovna.....	32
4 Výsledky Simulace.....	34
4.1 Vstupní data.....	34
4.2 Výstupní data.....	35
4.2.1 Replikace .....	35
4.2.2 Aktuální stav.....	36
4.2.3 Simulační experiment 1 – přidání jednoho spoje.....	36
4.2.4 Simulační experiment 2 – odebrání jednoho spoje .....	37
4.2.5 Porovnání aktuálního stavu se simulačními experimenty .....	39
5 Další možnosti využití simulačního nástroje Arena .....	41

5.1	Tvorba jízdních řádů .....	41
5.2	Optimalizace JŘ.....	41
5.3	Simulace výjimečné události .....	41
6	Problémy při tvorbě simulačního modelu .....	43
6.1	Data .....	43
6.2	Generování entit.....	43
7	Závěr .....	44
	Použitá literatura .....	45
	Příloha A.....	46
	Přílohy B.....	47



## Seznam obrázků, tabulek a grafů

Obr. 1 Prostředí simulačního nástroje Arena .....	18
Obr. 2 Modul Create v prostředí simulačního nástroje Arena.....	19
Obr. 3 Modul Dispose v prostředí simulačního nástroje Arena.....	20
Obr. 4 Modul Assign v prostředí simulačního nástroje Arena .....	20
Obr. 5 Modul Decide v prostředí simulačního nástroje Arena .....	21
Obr. 6 Modul Batch v prostředí simulačního nástroje Arena .....	21
Obr. 7 Modul Separate v prostředí simulačního nástroje Arena .....	22
Obr. 8 Modul Hold v prostředí simulačního nástroje Arena.....	22
Obr. 9 Modul Signal v prostředí simulačního nástroje Arena.....	23
Obr. 10 Modul Entity v prostředí simulačního nástroje Arena .....	23
Obr. 11 Modul Variable v prostředí simulačního nástroje Arena .....	24
Obr. 12 Modul Schedule v prostředí simulačního nástroje Arena.....	25
Obr. 13 Modul Station v prostředí simulačního nástroje Arena.....	26
Obr. 14 Modul Route v prostředí simulačního nástroje Arena.....	26
Obr. 15 Členění simulačního modelu.....	30
Obr. 16 Přestupní stanice.....	31
Obr. 17 Vozovna s točnou .....	33
Tab. 1 Trolejbusové linky .....	13
Tab. 2 Autobusové linky.....	14
Tab. 3 Označení jednotlivých autobusů.....	28
Tab. 4 Označení jednotlivých stanic linky č. 13.....	29
Tab. 5 Označení jednotlivých stanic linky č. 2.....	29
Tab. 6 Průzkum Obsazenosti linky č.2.....	34
Tab. 7 Část tabulky s dobou čekání na spoj .....	36
Tab. 8 Část tabulky s průměrným počtem cestujících na zastávce.....	36
Tab. 9 Část tabulky ze sim. exp. 1 - doba čekání na spoj .....	37
Tab. 10 Část tabulky ze sim. exp. 1 - průměrný počet cestujících na zastávce.....	37
Tab. 11 Část tabulky ze sim. exp. 2 - doba čekání na spoj .....	37
Tab. 12 Část tabulky ze sim. exp. 2 - průměrný počet cestujících na zastávce.....	38
Graf 1 Určení dostatečného počtu replikací .....	35
Graf 2 Porovnání průměrné doby čekání cestujícího na spoj Pol. - Pard.....	39
Graf 3 Porovnání průměrné doby čekání cestujícího na spoj Pard. - Pol.....	40

## **Seznam použitých zkratk**

DP – dopravní podnik

CIS – Complete Internet Services

ČSD – Československé státní dráhy

DP – dopravní podnik

DpmP – Dopravní podnik města Pardubic

DÚ – Drážní úřad

JŘ – jízdní řád

MHD – městská hromadná doprava

MmP – Magistrát města Pardubic

MO – městský obvod

OD – odbor dopravy

PEPHD – přípravy a ekonomiky provozu hromadné dopravy

## Úvod

Důvodů proč zavádět simulaci a modelování do dopravních podniků je celá řada. Mezi hlavní z nich patří možnost modelovat ještě neexistující dopravní trasy, nebo u stávajícího dopravního systému je možné hledat příčiny vyskytujících se problémů. V simulaci je možné se zaměřit jak na infrastrukturu DP, tak na alternativní jízdní řády, nebo nasazené dopravní prostředky. Takto lze celkem snadno získat přehled o úzkých místech v přepravním procesu vytižení jednotlivých vozů i personálu. Mimo to, modelování můžeme provést v relativně krátké době. Ta závisí především na zkušenostech uživatele a na komplexnosti modelovaného systému [4].

Cílem této bakalářské práce je ověřit možnosti využití simulačního nástroje Arena při tvorbě jízdního řádu dopravního podniku většího města v rámci ČR.. V práci budou navrženy různé scénáře návrhů jízdních řádů vybraných linek trolejbusů i s jejich vyhodnocením a porovnáním s aktuálním stavem.

# 1 Dopravní podnik města Pardubic

V práci jsou použity konkrétní jízdní řády linek Dopravního podniku města Pardubic. Tato kapitola by měla přiblížit historii dopravního podniku, informaci o vozech MHD, ale také informace o tvorbě jízdních řádů.

## 1.1 Historie (DpmP)

O historii dopravního podniku města Pardubic je několik publikací, text zde uvedený čerpá z [5]. Vzniku MHD v Pardubicích předchází stavba nádraží v roce 1845 a zahájení provozu parní dráhy z Olomouce do Prahy. Díky železnici se Pardubice začínají více rozvíjet a v r. 1903 vzniká první projekt elektrické dráhy Chlumec n. Cidlinou – Bohdaneč – Pardubice – Chrudim – Slatiňany, která se ale nakonec nerealizovala. O 5 let později byly zřízeny poštovní autobusy Pardubice – Holice a Pardubice – Bohdaneč. V roce 1931 byla po dobu Výstavy tělesné výchovy a sportu poprvé realizována městská hromadná doprava zapůjčenými autobusy. O rok později na území města postupně vzniklo několik autobusových linek provozovaných ČSD.

V roce 1950 došlo k založení Dopravního (komunálního) podniku města Pardubic. První linka jezdila z Jesničánek, kolem nádraží k nemocnici a byla pokryta dvěma autobusy typu Š 706 RO. Dva roky po vzniku Dopravního podniku byla zavedena první trolejbusová linka s trolejbusy typu Š 7Tr. V průběhu padesátých let se trolejbusy rozšířily i do dalších lokalit a byla zřízena taxislužba, autopůjčovna a zájezdová doprava. V šedesátých letech DpmP dále zlepšoval dopravní obslužnost jak autobusovou tak trolejbusovou. Proběhlo postupné zavádění vozových radiostanic, rušení průvodčích ve vozech MHD a ukončen provoz taxislužby. Sedmdesátá léta jdou v duchu modernizace. Objevuje se první předprodejní automat, DP zakoupí první počítač a koncem 70. let první trolejbusy s tyristorovou pulsní regulací. V dalším desetiletí se DpmP stává státním podnikem. V průběhu devadesátých let došlo k několika změnám ceny jízdného a dopravní podnik modernizuje svůj vozový park. Byly odstaveny nejstarší autobusy a přikoupeny dva nové, pro zájezdovou dopravu. Síť MHD byla zavedena i do okolních obcí (např. Srnojedy, Lány na Důlku, Opočíněk). V r. 1995 probíhá transformace DP na

akciovou společností. Probíhají jednání o zrušení trolejbusové dopravy, rada města nakonec rozhodla o jejím zachování. Po roce 2000 došlo k dalšímu zdražování jízdného a jeho rozdělení do pásem. Přes letní měsíce byla zavedena historická linka, provozována zrekonstruovanými vozy MHD. V roce 2006 bylo zavedeno elektronické odbavování cestujících, které má pomoci zrychlit a zjednodušit odbavování cestujících.

## **1.2 Vozový park DpmP**

K 1. 7. 2009 se vozový park DpmP skládal z následujících dopravních prostředků:

### **❖ Trolejbusy**

- Škoda 28 Tr Solaris – 4ks
- Škoda 24 Tr – 6ks
- Škoda 21 Tr – 15ks
- Škoda 14 Tr – 30ks

### **❖ Autobusy**

- Iveco Irisbus Citelis – 4ks
- Karosa / Renault / Irisbus – Citybus – 36ks
- Karosa B930–950 – 16 ks
- Karosa B730 – 19ks

### 1.3 Popis Linek v DpmP

V práci se zabývám tvorbou simulačního modelu pouze dvou linek. Dopravní podnik města Pardubic má však linek mnohem více. V Tab.1 je seznam trolejbusových linek a v Tab. 2 je seznam linek autobusových. Jsou zde uvedeny i počáteční a koncové stanice jednotlivých spojů. Veškeré informace jsou čerpány z [6].

Trolejbusové Linky		
č. linky	směr A	směr B
1	Jesničánky,točna Slovany,točna	Slovany,točna Jesničánky,točna
2	Polabiny,točna Pardubičky,točna	Pardubičky,točna Polabiny,točna
3	Hlavní nádraží Lázně Bohdaneč	Lázně Bohdaneč Hlavní nádraží
4	Polabiny, točna Třída Míru	POLOOKRUŽNÍ LINKA
5	Dukla,točna Dubina,sever	Dubina,sever Dukla,točna
7	Dukla,vozovna UMA,točna	UMA,točna Dukla,vozovna
11	UMA,točna Dubina,sever	Dubina,sever UMA,točna
13	Polabiny, Sluneční Dubina, Sever	Dubina, Sever Polabiny, Sluneční
21	Slovany Polabiny, Sluneční	Polabiny, Sluneční Slovany
27	Pardubičky Dukla,nám.	POLOOKRUŽNÍ LINKA
33	Hlavní nádraží UMA	UMA Hlavní nádraží

Tab. 1 Trolejbusové linky

Autobusové linky		
č. linky	směr A	směr B
<b>6</b>	Doubravice, náměstí Dukla, náměstí	Dukla, náměstí Doubravice, náměstí
<b>8 a 88</b>	Dubina, Dubinská Dubina, Dubinská	OKRUŽNÍ LINKA
<b>9</b>	Rosice, točna Spojil, točna	Spojil, točna Rosice, točna
<b>10</b>	Ostřešany, točna Univerzita	Univerzita Ostřešany, točna
<b>12</b>	Hlavní nádraží Tuněchody	Tuněchody Hlavní nádraží
<b>14</b>	Staré Čívce, Prům. zóna Polabiny, točna	Polabiny, točna Staré Čívce, Prům. zóna
<b>15</b>	Opočinek Hlavní nádraží	Hlavní nádraží Opočinek
<b>16</b>	Hlavní nádraží Němčice	Němčice Hlavní nádraží
<b>17</b>	Hlavní nádraží Srch, točna	Srch, točna Hlavní nádraží
<b>18</b>	Dražkovice Černá u Bohdanče	Černá u Bohdanče Dražkovice
<b>19</b>	Rosice, točna Sezemice, pošta	Sezemice, pošta Rosice, točna
<b>22</b>	Závodu Míru Nemošice	Nemošice Závodu Míru
<b>23</b>	Staré Čívce, průmyslová zóna Polabiny, točna	Polabiny, točna Staré Čívce, průmyslová zóna
<b>24</b>	Starý Máteřov, křižovatka Hlavní nádraží	Hlavní nádraží Starý Máteřov, křižovatka
<b>25</b>	Dubina, sever Staré Čívce, Průmyslová zóna	Staré Čívce, Průmyslová zóna Dubina, sever
<b>28</b>	Závodu Míru Úhřetická Lhota	Úhřetická Lhota Závodu Míru

**Tab. 2 Autobusové linky**

## 1.4 Tvorba jízdních řádů

Podle charakteru změny jízdního řádu, nebo tvorby nového, jsou připraveny podklady pro konkrétní změnu, kterou referent tvorby jízdních řádů zpracuje v systému FS Software (Konstrukce a plánování dopravy) v tomto pořadí[5]:

- 1) Trasa linky
- 2) Seznam stanic
- 3) Vzdálenosti mezi stanicemi
- 4) Jízdní doby (rozdílná chronometráž v dopravní špičce, v sedle, večer, v noci)
- 5) Seřazené stanice podle sloupků a vytvořená síť grafikonu
- 6) Vlastní konstrukce (dodržování intervalů, bezpečnostních přestávek, přestávek na jídlo a oddech, vyrovnávacích dob, přestupů; koordinace linek, ekonomika provozu, časová délka kurzů, střídání řidičů na kurzech, poznámkování kurzů a spojů)
- 7) Generování výstupů
  - vozové JŘ
  - staniční JŘ
  - kapesní JŘ
  - kontrolní JŘ

Zpracované změny slouží jako podklad:

- pro palubní počítače (odbavovací systém),
- pro Internet (CIS), JŘ mobil, informační tabule,
- pro předprodej JŘ,
- pro nástupy řidičů do služby,
- pro statistiky.

U změn méně zásadního charakteru mohou být body 1-5 vynechány.

Návrhy na změny JŘ vyplývají z připomínek občanů, MO, obcí, firem, řidičů MHD nebo z výsledků průzkumů obsazenosti vozidel. Požadavky na změny JŘ jsou shromažďovány u vedoucího střediska PEPHD, na základě rozhodnutí o provedení změny jsou k datu 1.2., 1.7. (1.9.) nebo 1.11. tyto změny realizovány. Při návrhu



podstatné změny JŘ (změny trasy linky, snížení/zvýšení počtu spojů na dané lince) je tato projednána s dotčenou institucí (obec, MO, firma) ještě před realizací změny. Drobné změny (posun odjezdů spojů pro zajištění přestupu apod.) se před realizací neprojednávají.

Týká-li se změna trasy stávající linky nebo názvu (zřízení) zastávky, je nutné požádat Odbor dopravy MmP (u trolejbusové linky Drážní úřad) o změnu (udělení v případě nové linky) příslušné licence. Lhůta pro změnu/udělení licence je 30 dní pro autobusové linky, 60 dní pro trolejbusové linky. O přejmenování/zřízení zastávky je též nutné požádat Odbor dopravy, a to nejpozději v den žádosti o změnu licence. Nejpozději v termínu 1 měsíc před nabytím platnosti změn jízdního řádu je dále nutné OD MmP (DÚ) požádat o schválení JŘ (k žádosti se přikládají staniční JŘ ze všech výchozích zastávek dotčených linek).

## 2 Simulační nástroj Arena

Tato kapitola bude zaměřena na přiblížení základních pojmů z oblasti simulace. Bude zde popsáno i prostředí simulačního nástroje Arena s důrazem na prvky použité v této práci.

### 2.1 Základní pojmy simulace

Nejdůležitější pojmy z oblasti simulací, které jsou použity v této práci, vycházejí z použité literatury [2].

**Simulace** se věnuje studiu zkoumaných objektů hmotného světa, které již v realitě existovat mohou, nebo by existovat mohly.

**Abstrakce** představuje zanedbání některých aspektů zkoumaných objektů, které nejsou z pohledu konkrétního typu zkoumání důležité. Abstrakce se v modelování nazývají **systemy**.

**Okolí** zkoumaného objektu zahrnuje ty objekty reálného světa, které nebyly vybrány pro účely zkoumání, ale přesto je nutné uvažovat jejich existenci a vlastnosti kvůli jejich vztahům se zkoumaným objektem.

**Statický systém** je takový systém v němž se abstrahuje od významu času, kdežto **dynamický systém** význam času nezanedbává, přičemž tento je v něm chápán ve smyslu klasické „newtonovské“ (nikoliv kvantové) fyziky.

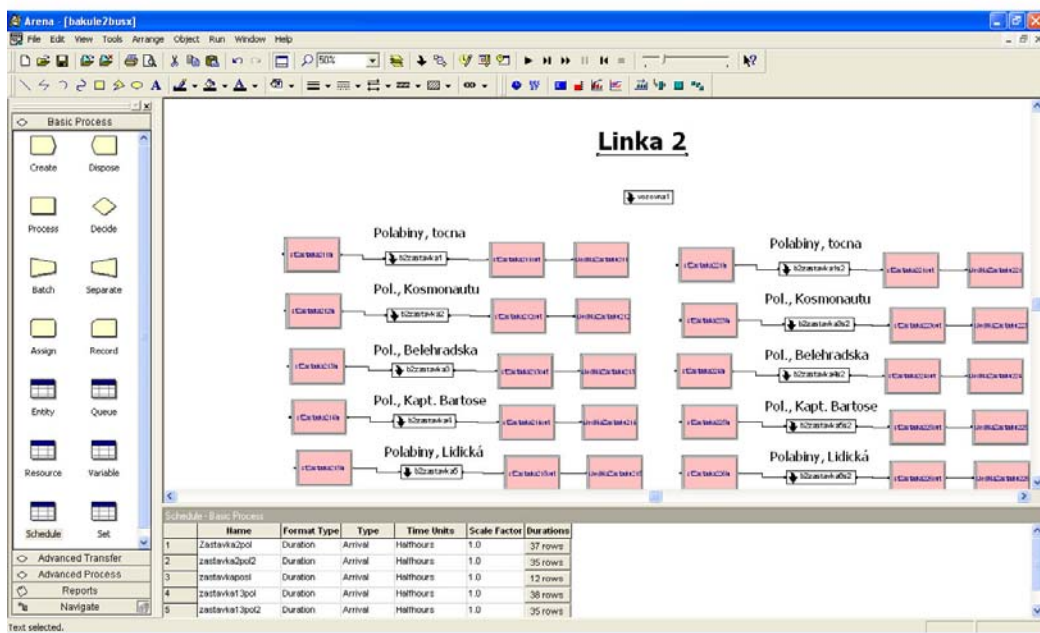
Systém je složen z prvků (**entit**), které představují určité fyzické nebo logické elementy objektu zkoumání. Rozlišujeme **permanentní** a **temporární** prvky, přičemž první z nich jsou v dynamickém systému během celé jeho existence, kdežto druhé nikoliv. Temporární entity mohou být **exogenní** nebo **endogenní**. Exogenní prvky vznikají vně systému, zatímco endogenní vznikají v samotném systému.

V systémech **hromadné obsluhy** (obslužných systémech), jež jsou velmi často předmětem simulace, jsou rozlišovány tzv. **obsluhující** prvky (obslužné **zdroje**) a

obsluhované prvky (**zákazníci** nebo **zakázky**). Prvky v systému mají své vlastnosti (**atributy**). Ty přiřazují prvkům nějaké hodnoty, jež se mohou u prvků dynamického systému v čase měnit.

## 2.2 Prostředí simulačního nástroje Arena

Na Obr. 1 je základní obrazovka Areny. V horní části je textové menu a toolbar s uživatelsky volitelnými tlačítky. Na levé straně se nachází okno (Projekt Bar), které obsahuje záložky, jež obsahují mimo jiné jednotlivé konstrukční prvky (moduly), navigační panel a reporty. Ve spodní části je okno modelu v tabulkové podobě a zbytek je v podstatě hlavní pracovní plochou v podobě vývojového diagramu. Jako poslední bych zmínil spodní lištu (status bar), kde je v průběhu simulace vidět čas, informace o aktuálním a celkovém počtu replikací simulačního modelu, poloha kurzoru a další důležité informace.



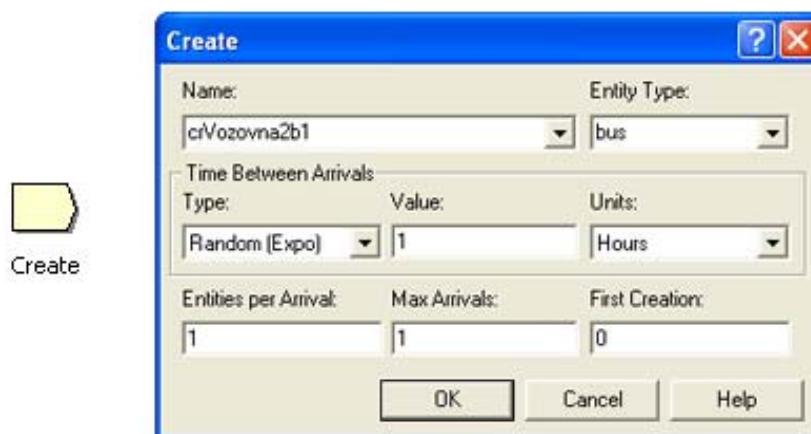
Obr. 1 Prostředí simulačního nástroje Arena

## 2.3 Moduly

Základní bloky v Areně se nazývají moduly. V této části bych přiblížil hlavně moduly použité v bakalářské práci. Jednotlivé moduly jsou uživatelem umisťovány na hlavní pracovní plochu. Každý musí být unikátní, názvy se nesmí opakovat. Jsou u něj měněny parametry podle zvoleného typu modulu a potřeby uživatele. Moduly zde popsané se nachází na záložkách Basic Process, Advanced Process a Advanced Transfer.

### 2.3.1 Create

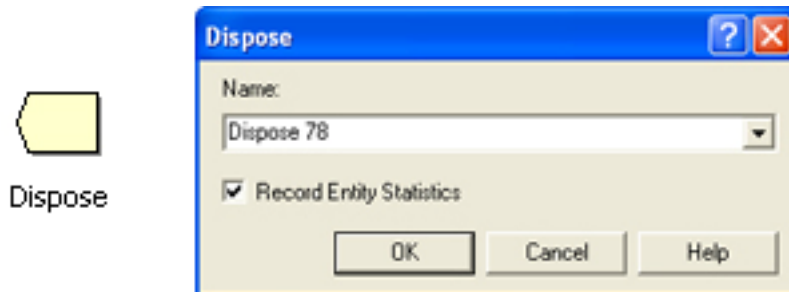
Je základní prvek pro tvorbu entit. Zde je možné nastavit jaká entita bude tímto modulem vytvářena. Na Obr. 2 je ikona zástupce modulu create a jeho možnosti nastavení. V tomto modulu rozhodujeme, kdy a v jakém množství budou entity vytvořeny, případně určena další podmínka tvorby, např. podle některého rozdělení pravděpodobnosti, kalendáře nebo konstantně podle zadaného intervalu.



Obr. 2 Modul Create v prostředí simulačního nástroje Arena

### 2.3.2 Dispose

Je prvek pro uvolnění entit z modelu. U tohoto modulu není v podstatě žádné další nastavení. Je zde možné pouze rozhodnout jestli se bude uvolnění entity zaznamenávat do statistik.



Obr. 3 Modul Dispose v prostředí simulačního nástroje Arena

### 2.3.3 Assign

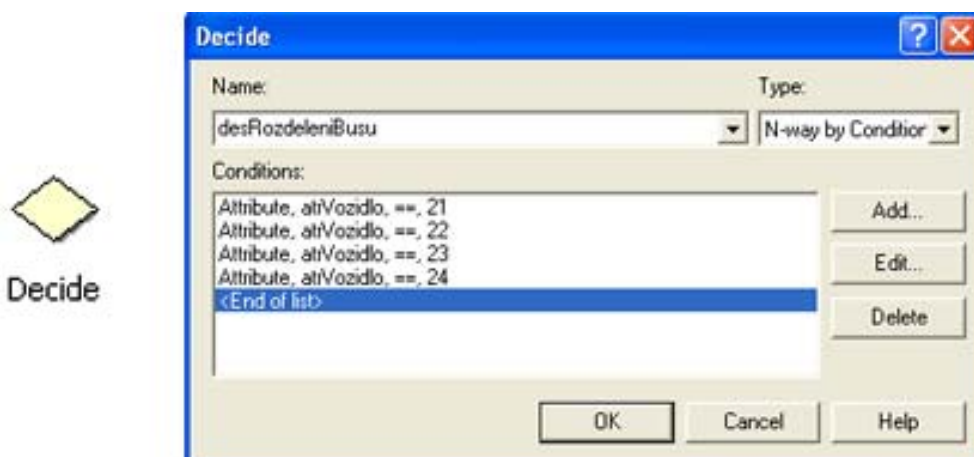
Prvek, ve kterém obvykle dochází k práci s hodnotami proměnných a atributů entit. (ukládání, změna, generování hodnot apod.). V poli Assignments (na Obr. 4) můžeme nastavovat jednotlivé úkony.



Obr. 4 Modul Assign v prostředí simulačního nástroje Arena

### 2.3.4 Decide

V tomto prvku dochází k rozdělování entit podle zadaných kritérií. Je zde možné rozhodovat se na základě procentuálního rozdělení, typu entity nebo podle hodnoty atributu nebo dalšího libovolného výrazu.



Obr. 5 Modul Decide v prostředí simulačního nástroje Arena

### 2.3.5 Batch

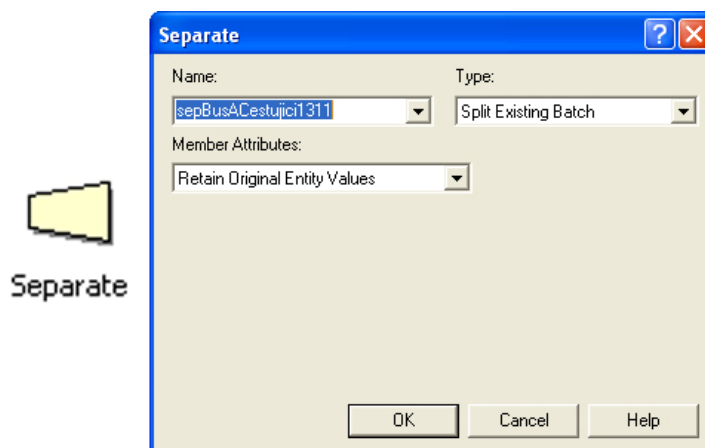
Zde dochází k seskupování různých entit. Jde to provést buď jen na určitou dobu nebo na stálo. V položce Batch Size (Obr. 6) lze nastavit maximální počet entit, které budou seskupeny. V roletce Rule se nastavuje podle jakého kritéria se mají entity seskupovat (různé entity, podle atributu). Lze nastavit jak se výsledná entita bude zobrazovat v simulačním modelu.



Obr. 6 Modul Batch v prostředí simulačního nástroje Arena

### 2.3.6 Separate

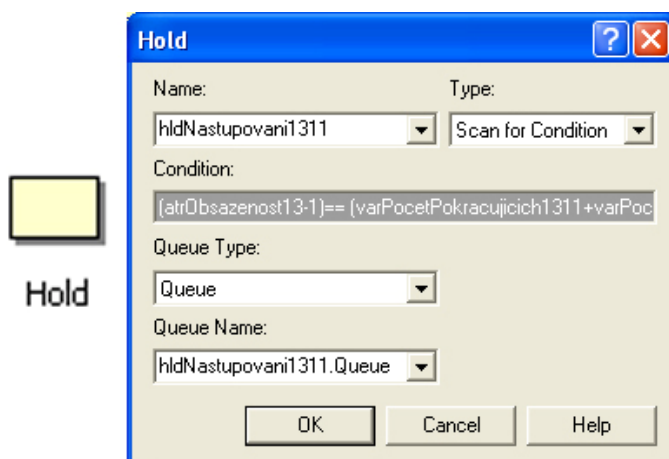
Je druhá část k modulu Batch. Zde dochází k rozdělení spojených entit podle zadaných kritérií (type), případně je možné rozdělit entitu na několik částí pro potřeby simulačního modelu.



Obr. 7 Modul Separate v prostředí simulačního nástroje Arena

### 2.3.7 Hold

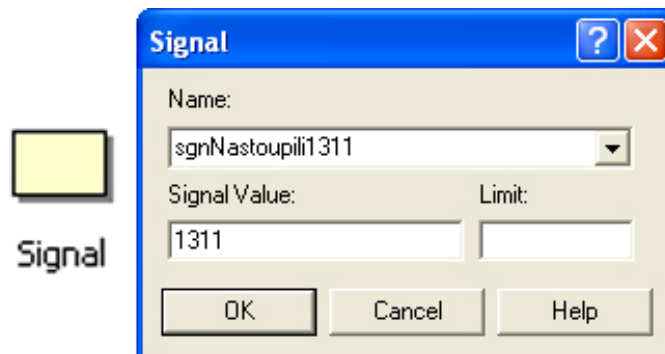
V modulu Hold dochází k pozastavení entit, dokud není splněna zadaná podmínka. Pomocí parametru Type (Obr. 8) je možné zvolit typ podmínky. Může být sledován stav proměnné. Je možné nastavit specifický signál. Dále je zde možné sledovat frontu čekajících entit, případně nastavit další vlastnosti sledování. Opět je možné nastavit počet entit, uvolněných z fronty v případě splnění podmínky.



Obr. 8 Modul Hold v prostředí simulačního nástroje Arena

### 2.3.8 Signal

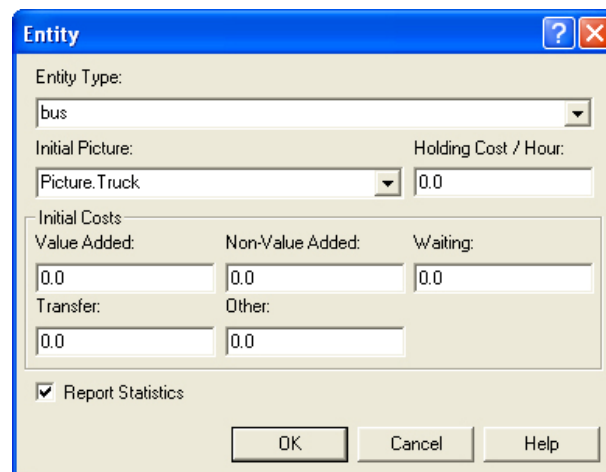
Jednoduchý modul, který při průchodu entity vyše zadaný signál, se kterým je možné pracovat v jiných modulech (např. v modulu Hold).



Obr. 9 Modul Signal v prostředí simulačního nástroje Arena

### 2.3.9 Datový modul Entit (Entity)

Tento modul existuje pouze v tabulkové verzi, nelze jej umístit na pracovní plochu. Jsou zde tvořeny jednotlivé typy entit. Je zde možné přiřadit zástupný symbol, pod kterým bude daná entita vystupovat v simulačním modelu. Je opět možné zvolit, zda se stavy entit mají zaznamenávat do statistik simulace.

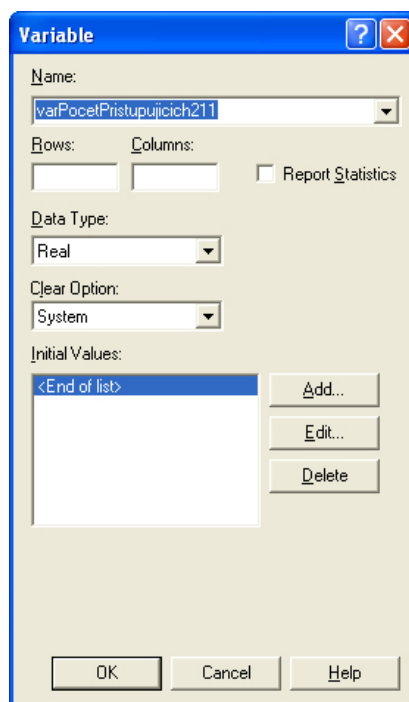


Obr. 10 Modul Entity v prostředí simulačního nástroje Arena



### 2.3.10 Datový modul proměnných (Variable)

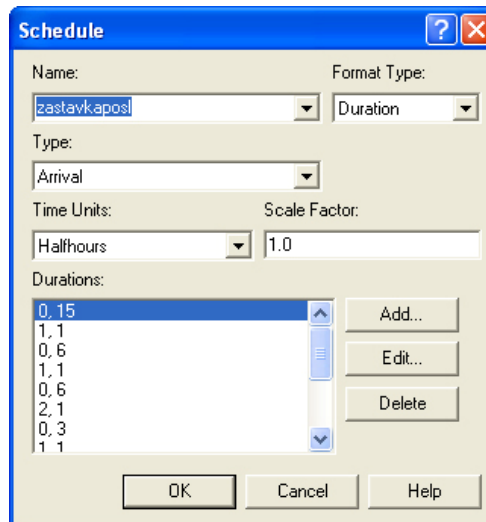
Tento modul také existuje pouze v tabulkové verzi. Jsou zde umístěny veškeré proměnné použité v simulačním modelu. Určuje se zde, jaký datový typ mohou mít hodnoty proměnných. Je možné určit, jestli se jedná o jednu proměnnou, nebo o tabulku s  $n$  sloupci a  $n$  řádky. Pomocí parametru Initial Value je možné jednoduchým způsobem nastavit proměnou daty. Opět je tu možnost zaznamenání do statistik simulace.



Obr. 11 Modul Variable v prostředí simulačního nástroje Arena

### 2.3.11 Datový modul rozvrhů (Schedule)

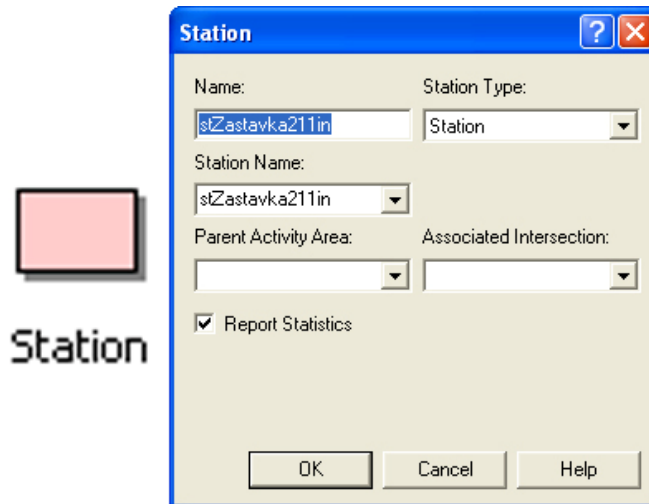
V tomto modulu lze vytvořit rozvrhy pro tvorbu entit, případně množství volných zdrojů. V Type nastavujeme zda-li se jedná o množství příchozích entit nebo počty zdrojů. Ve format Type vybíráme kalendář nebo denní rozvrh. Lze nastavit jednotky času, pro které jsou jednotlivé hodnoty definovány. V případě příchozích entit se jedná pouze o maximální množství. Je zde přímo aplikováno exponenciální rozdělení pravděpodobnosti.



Obr. 12 Modul Schedule v prostředí simulačního nástroje Arena

### 2.3.12 Station

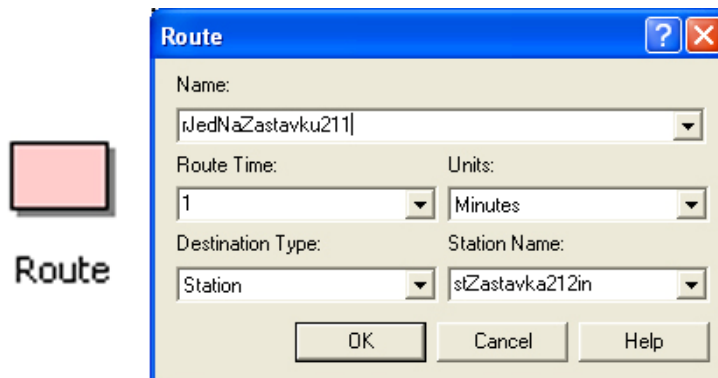
Station je modul definující stanici (nebo množinu stanic), která odpovídá fyzickému nebo logickému místu v modelu., kde dochází ke zpracování. Pokud je modul Station v Station Type nastaven na hodnotu Set, jedná se o určení zpracování na více místech zároveň [3]. V této práci, byl tento typ modulu použit pro zpřehlednění simulačního modelu. Moduly station jsou použity pro přesun entit z bodu A do bodu B bez potřeby propojení pomocí connect.



Obr. 13 Modul Station v prostředí simulačního nástroje Arena

### 2.3.13 Route

Modul Route patří k modulu Station. Nastavuje se zde doba cesty entity z bodu A do bodu B. Určuje se zde, kam má entita dorazit.



Obr. 14 Modul Route v prostředí simulačního nástroje Arena

## **2.4 Submodely**

Jedná se v podstatě o kosmetický prvek. Ve větších simulačních modelech by mohlo dojít ke značné nepřehlednosti jednotlivých modulů a tak lze moduly, které spolu bezprostředně spolupracují, umístit do submodelu. U submodelu určujeme, kolik má vstupních a kolik výstupních míst. Je možné vytvořit submodel jen se vstupními nebo jen s výstupními body.

### 3 Simulace jízdního řádu DpmP

V bakalářské práci se mám věnovat hlavně možnostem využití simulačního nástroje Arena při tvorbě jízdních řádů. V modelu jsou tedy použity pouze dvě linky, což pro ověření základních funkcí stačí. V příloze A1 je schematický plánec linek DpmP. Jsou na něm vyznačeny linky uvažované v této práci.

#### 3.1 Obsah simulačním modelu

V modelu jsou obsaženy dva typy entit, Autobus a Cestující. V modelu jsou dále proměnné Variable (např. *var13061pol*), kde jsou v tabulce obsažena data pro odjezdy autobusů. Je zde několik plánů (Schedule) příchodu cestujících na zastávku, rozdělené podle linky a vytíženosti zastávky.

##### 3.1.1 Entity Autobus a Cestující

V Tab. 3 je seznam použitých entit Autobusů, s jejich označením v simulačním modelu. Linka č. 13 obsahuje 7 vozů a linka č. 2 obsahuje 4 vozy. Entity Autobus se generují ihned po startu simulace a čekají na uvolnění v prvku Hold podle JŘ. Entita Cestující je generována podle předem nastaveného plánu (Schedule) popsáno v kapitole 4.

Entita Autobus	
Linka	atrVozidlo
13	131
	132
	133
	134
	135
	136
	137
2	21
	22
	23
	24

Tab. 3 Označení jednotlivých autobusů

### 3.1.2 Označení stanic

V simulačním modelu jsou obsaženy dvě linky. Linka č. 13 obsahuje ve směru na Dubinu 16 stanic a směrem do Polabin 14 stanic (Tab. 4). Linka č. 2 obsahuje ve směru do Pardubiček 17 stanic a směrem do Polabin 14 stanic (Tab. 5). Označení jednotlivých stanic je v podstatě užito i k číselnému označení jednotlivých modulů obsažených v simulačním modelu.

1311	Pol., Sluneční	1321	Pol., Sluneční
1312	Pol., Kapt. Bartoše	1323	Pol., Kapt. Bartoše
1313	Pol., Lidická	1324	Pol., Lidická
1314	Pol., Hypernova	1325	Hl. nádraží, Hypernova
1315	Hlavní nádraží	1326	Autobusové Nádraží
1316	Autobusové nádraží	1327	Palackého
1317	Palackého	1328	Třída Míru
1318	Třída Míru	1329	U Grandu
1319	U Grandu	13210	Krajský úřad
13110	Krajský úřad	13212	Na Okrouhlíku
13111	U Kostelíčka	13213	Na Drážce
13112	Na Okrouhlíku	13214	Dubina, garáže
13113	Na Drážce	13215	Dubina, centrum
13114	Dubina, garáže	13216	Dubina, sever
13115	Dubina, centrum		
13116	Dubina, sever		

Tab. 4 Označení jednotlivých stanic linky č. 13

211	Pol. točna	221	Pol. točna
212	Pol., Kosmonautů	223	Pol., Kosmonautu
213	Pol., Bělehradská	224	Pol. Belehradská
214	Pol., Kapt. Bartoše	225	Pol., Kapt. Bartoše
215	Pol., Lidická	226	Pol., Lidická
216	Pol., Hypernova	227	Hl. nádraží, Hypernova
217	Hlavní nádraží	228	Autobusové nádraží
218	Autobusové nádraží	229	Palackého
219	Palackého	2210	Třída Míru
2110	Třída Míru	2211	U Grandu
2111	U Grandu	2212	Krajský úřad
2112	Krajský úřad	2213	U Kostelíčka
2113	U Kostelíčka	2214	Štrossova
2114	Štrossova	2215	Nemocnice
2115	Nemocnice	2216	Kyjevská
2116	Kyjevská	2217	Pardubičky, točna
2117	Pardubičky, točna		

Tab. 5 Označení jednotlivých stanic linky č. 2

## 3.2 Členění simulačního modelu

Model je rozdělen na dva celky (Obr. 15). Každý celek se zabývá jednou z linek. Jednotlivé linky jsou dále členěny na jednotlivé stanice, jejíž funkční část je umístěna do submodelu. V submodelu je také umístěna logika konečných stanic linek jedná se o submodely Vozovna a Točna. Logika jednotlivých částí je popsána níže.

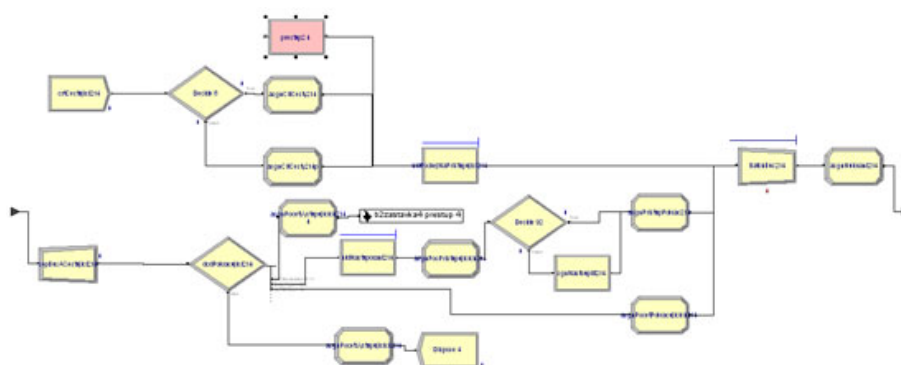


Obr. 15 Členění simulačního modelu

### 3.2.1 Stanice

V práci jsou použity dva typy submodelu stanice. Jeden je určen jako přestupní stanice (Obr. 16) a druhý jako běžná nástupní stanice. Popis bude zaměřen na přestupní stanici, která je o několik prvků bohatší oproti běžné stanici. Na vstupu do submodelu stanice dochází v prvku *Separate* (*sepBusACestujici*) k oddělení entit *Autobus* a *Cestujici*. V dalším rozhodovacím prvku *Decide* (*dcdPokracujici*), dochází k rozřazení na vystupující, pokračující a přestupující cestující, a autobus, který pokračuje k dalším funkčním prvkům submodelu stanice. Vystupující, pokračující a přestupující cestující jsou započítáni do proměnných pro další potřebu v rámci submodelu. Všichni vystupující cestující jsou uvolněni z modelu pomocí prvku *Dispose*. Autobus je prozatím zastaven v prvku *Hold* (*hldNastupovani*), kde je porovnávána hodnota *Variable* (*atrObsazenost*) a součet vystupujících, přestupujících a pokračujících (*varPocetPokracujicich*, *varPocetVystupujicich*). Po splnění podmínky pro uvolnění entita *Autobus* pokračuje do prvku *Assign* (*asgnPocPristupujicich*), kde dojde k nastavení počtu možných přistupujících s ohledem na počet obsazených míst a počet cestujících čekajících na zastávce

( $MN(NQ(hldPockejNaPristupujici.Queue), (50-varPocetPokracujicich))$ ). Dále entita Autobus pokračuje do prvku Decide, který rozliší je-li autobus plně obsazen a není tedy možné, aby přistoupili další cestující, nebo jsou volná místa. V takovém případě pokračuje entita Autobus do prvku Signal (*sgnNastoupili*) a umožní uvolnění dávky čekajících cestujících, poté ještě pokračuje k prvku Assign (*asgnPristupPokrac*), kde je atributu (*atrObsazenost*) přiřazena aktuální hodnota. V případě plného obsazení se prvek Signal vynechává. Přestupující cestující jsou v rámci submodelu stanice započítáni jako vystupující a poté jsou nasměrováni pomocí prvku Route (*smer*) na určenou frontu čekajících cestujících ve správném směru a lince. Pokračující cestující jsou nasměrováni rovnou na prvek Batch (*BatchBus*), který po skončení celého procesu spojí entity Autobus a Cestující. V každé stanici jsou samozřejmě generováni příchozí cestující pomocí prvku Create (*crtCestujici*). V přestupní stanici je uvažováno, že všichni cestující nastoupí na linku, kterou chtějí jet. Stejně je uvažováno u stanic, ze kterých jedou stejné linky. V případě nepřestupní stanice a stanice, na které nejedou obě linky, dochází v prvku Decide k rozdělení cestujících na cestující jedoucí pouze jednou linkou a přestupující cestující. Dále je do atributu (*atrCilovaLinka*) entity Cestující uložena linka, kterou cestující jede, nebo na kterou bude chtít přestoupit. Do atributu (*atrCilCesty*) je uložena cílová stanice. Entity Cestujících pokračují do prvku Hold (*hldPockejNaPristupujici*), kde se čeká na signál a množství cestujících, kteří mohou nastoupit do autobusu. Po uvolnění cestujících z fronty dojde v Batch (*BatchBus*) ke spojení entit autobusu, nastupujících cestujících a pokračujících cestujících. Po prvku Batch následuje ještě prvek Assign (*asgnNulovani*), kde dochází k vynulování proměnných používaných v submodelu stanice.



Obr. 16 Přestupní stanice



### 3.2.2 Okolí Stanice

Mimo submodel stanice jsou umístěny moduly Station (*stZastavkain*, *stZastavkaout*), a Route (*rJedNaZastavku*). Modul Station (*stZastavkain*) slouží pro jednoznačné určení dané stanice. V modulu Route (*stZastavkain*) je nastaven čas, který trvá entitě Autobus přejet ze stanice do stanice. Čas je určen normálním rozdělením pravděpodobnosti. V JŘ jsou již uvedeny časy s rezervou, obvykle je doba přejezdu mezi stanicemi jedna minuta. Vše je závislé na počtu světelných křižovatek a vzdálenosti mezi jednotlivými stanicemi. V normálním rozdělení pravděpodobnosti jsem stanovil odchylku 0,1 s ohledem na možnost získání zpoždění při výstupu nebo nástupu cestujících.

### 3.2.3 Točna

Submodel Vozovna obsahuje vstupní prvek Station (*stVozovnaTočna*). Za ním je modul Decide (*desRozdeleniBusu*). Zde dochází k roztřídění jednotlivých autobusů podle čísla vozu. U některých linek následuje další modul Decide (*desKonecSmeny*), ve kterém se porovnává atribut (*atrKurz*) se zadaným číslem. Číslo určuje kolikátou jízdu vůz provádí. V případě splnění podmínky, vozidlo vykonalo poslední jízdu a je uvolněno modulem Dispose. V modulu Assign (*asgCasOdjezdu*) dojde k načtení atributu (*atrCasOdjezdu*). Tento atribut je získán z proměnné, ve které je uložen seznam časů odjezdů daného spoje (např. *var13011pol(atrKurz,1)*). Po načtení atributu je entita zastavena v prvku Hold (*hopokrac*), kde se čeká na splnění podmínky ( $TNOW \geq atrCasOdjezdu13$ ). Pro zaručení, že v daném čase (*TNOW*) opravdu proběhne nějaká diskrétní událost, je vytvořen pomocný submodel Diskrétní událost. V tomto submodelu se pouze každou minutu simulačního času generuje entita, která je ihned uvolněna prvkem Dispose. Hodnota „je větší“ je určena z důvodu možnosti opoždění spoje. Po splnění podmínky entita Autobus pokračuje do Route (*roVozovna*), kde je odeslána na první stanici ve správném směru.

### 3.2.4 Vozovna

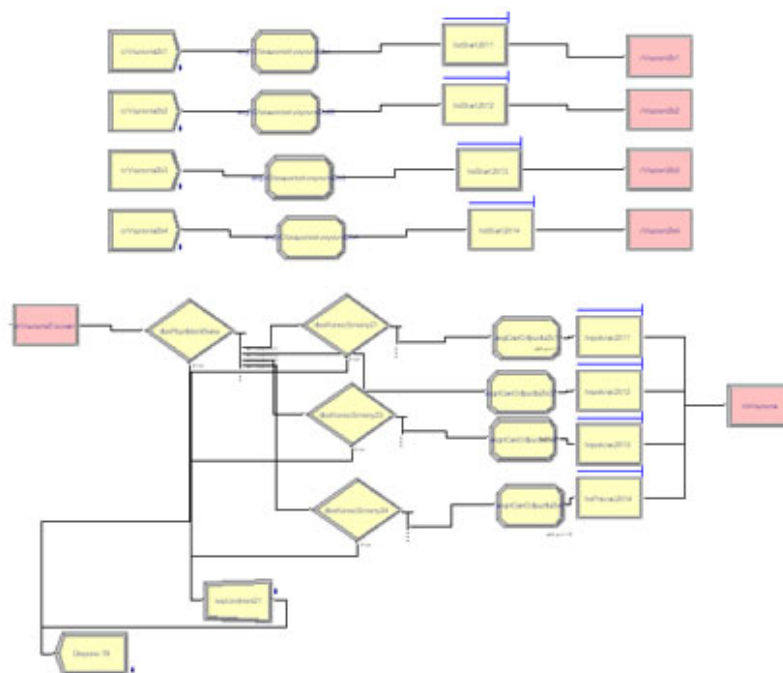
V submodelu Točny (Obr. 17) je umístěno několik prvků Create (*crVozovna*). Jejich počet závisí na počtu autobusů obsluhujících danou linku. Za modulem Create je

umístěn Assign (*asgnObsazenostvovovna*), ve kterém dochází k načítání do atributů.

Jednotlivé atributy:

- *atrMistProCest* – počet míst v autobuse,
- *atrVozidlo* – jednoznačně určuje vozidlo na lince,
- *atrKurz* – určuje kolik autobus provedl jízd,
- *atrCasOdjezdu* – zde je uložen aktuální odjezd z točny,
- *atrObsazenost* – počty obsazených míst.

Po načtení atributů pokračuje entita Autobus do modulu Hold (*hoStart*), kde opět čeká na splnění podmínky ( $TNOW \geq atrCasOdjezdu$ ). Po splnění podmínky přechází entita do modulu Route (*rVozovna*), kde je nasměrována do správné stanice a určen čas trvání tohoto přesunu. V submodulu Vozovna jsou také umístěny všechny moduly jako v submodulu Točna.



Obr. 17 Vozovna s točnou

## 4 Výsledky Simulace

V této části popíši výsledky ze simulací a další důležité informace, které jsem potřeboval k simulačním experimentům.

### 4.1 Vstupní data

Pro tvorbu simulačního modelu byla použita data z výzkumu obsazenosti vozů prováděného DpmP [7]. V Tab. 6 je uvedena část údajů prováděného průzkumu DpmP. Průzkum byl však proveden pouze v čase 5–17 hodin a byla sledována pouze obsazenost spojů na určených stanicích v obou směrech. Z poskytnutých dat jsem vytvořil několik plánů, podle kterých se tvoří entity cestujících. Data od 17h do konečného času byla stanovena odhadem. Entity Autobus jsou vygenerovány ihned při startu simulace a uvolněny do systému podle JŘ, uloženého pro každou konečnou stanici a kurz dané linky. JŘ jsem čerpal z poskytnutých dat dopravního podniku. Vzhledem jejich velikosti přikládám ukázkou na CD.

Autobusové nádraží listopad 2008 linka č. 2	směr Pardubičky		směr Polabiny	
	čas	obsazenost	čas	obsazenost
K 201/251	5:14	20	5:42	7
	6:13	15	6:42	55
	7:13	20	7:42	45
	8:13	25	8:42	30
	9:13	45	9:42	45
	10:43	35	11:12	45
	11:43	40	12:12	30
	12:43	20	13:12	60
	13:43	50	14:12	15
	14:43	20	15:12	40
	15:43	20	16:12	35
	16:43	20	17:12	45
	17:43	20		
	<b>celkem</b>	<b>350</b>		<b>452</b>
	<b>průměr</b>	<b>27</b>		<b>38</b>

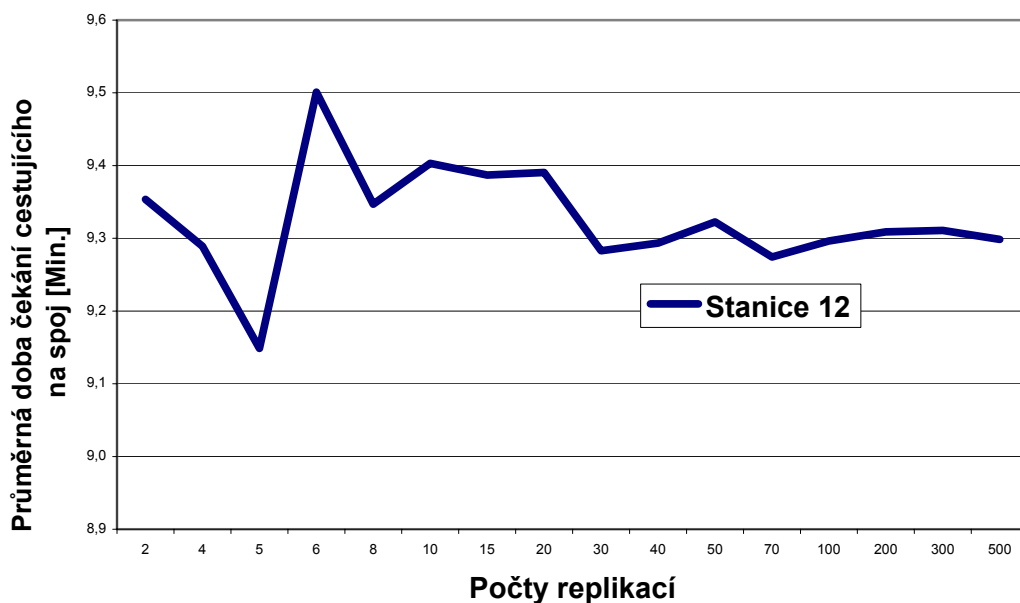
Tab. 6 Průzkum Obsazenosti linky č.2

## 4.2 Výstupní data

Hlavní simulace je věnována lince č. 2. V simulačním modelu je nejprve nasimulován aktuální stav, a poté je vytvořena simulace s přidáním jednoho kurzu a nebo odebráním jednoho kurzu. Jízdní řády byly pozměněny s ohledem na aktuální stav a počty cestujících v jednotlivých časech.

### 4.2.1 Replikace

V grafu 1 je křivka výsledků v jednotlivých počtech replikací. Již při 500 replikaci je patrné uklidnění křivky a na jejím konci se již stabilizuje na hodnotě 9,3 minuty.



Graf 1 Určení dostatečného počtu replikací

## 4.2.2 Aktuální stav

Tab. 7 a 8 zachycuje část výsledku simulace aktuálního stavu. Kompletní tabulky jsou v příloze B1. V Tab. 7 jsou doby čekání cestujícího na spoj, zde je pro nás důležitý spíše průměr. Vzhledem k tomu, že cestující jsou generováni náhodně, jsou maximální doby čekání poměrně dlouhé. V reálném světě samozřejmě cestující přichází na zastávku chvíli před odjezdem svého spoje.

č. modulu	Stanice	Průměr [min]	min. [min]	Max [min]
211	Pol. Točna	9,443	0,000	29,967
212	Pol., Kosmonautů	8,866	0,005	30,105
213	Pol., Bělehradská	9,064	0,021	29,748
214	Pol., Kapt. Bartoše	9,010	0,040	29,512
215	Pol., Lidická	9,409	0,007	30,200
216	Pol. , Hypernova	8,983	0,029	29,830
217	Hlavní nádraží	8,838	0,047	30,078
218	Autobusové nádraží	9,160	0,033	30,697

Tab. 7 Část tabulky s dobou čekání na spoj

č. modulu	Stanice	Průměr	Max.
211	Pol. točna	0,938	10
212	Pol., Kosmonautů	0,883	8
213	Pol., Bělehradská	0,874	10
214	Pol., Kapt. Bartoše	0,897	8
215	Pol., Lidická	0,899	10
216	Pol. , Hypernova	0,386	5
217	Hlavní nádraží	0,808	7
218	Autobusové nádraží	0,899	10

Tab. 8 Část tabulky s průměrným počtem cestujících na zastávce

## 4.2.3 Simulační experiment 1 – přidání jednoho spoje

V tomto simulačním experimentu jsem provedl posunutí spojů s atributem 21 a 22 o 5 minut v rozsahu celého jízdního řádu daného spoje. Přidal jsem spoj s atributem 25, který vyjíždí v prostoru vzniklém mezi linkami 21 22 a 23 24. Aby byl patrný rozdíl v simulacích jsou opět přiloženy části dvou tabulek 9 a 10, kde jsou znázorněny doby čekání na spoj a počty cestujících na zastávkách. Kompletní tabulky jsou v příloze B2. Ze simulace vyplývá, že se jak průměrné doby čekání tak

průměrné počty čekajících na zastávce snížily. Zajímavostí je, že ač je průměrná čekací doba menší, na některých zastávkách došlo v maximech k navýšení doby.

č. modulu	Stanice	Průměr [min]	Min. [min]	Max [min]
211	Pol. točna	8,193	0,000	34,904
212	Pol., Kosmonautů	8,248	0,013	32,886
213	Pol., Bělehradská	8,982	0,011	34,590
214	Pol., Kapt. Bartoše	8,006	0,010	34,796
215	Pol., Lidická	7,958	0,005	34,484
216	Pol. , Hypernova	8,723	0,145	33,165
217	Hlavní nádraží	8,185	0,021	34,663

Tab. 9 Část tabulky ze sim. exp. 1 - doba čekání na spoj

č. modulu	Stanice	Průměr	max.
211	Pol. točna	0,786	9
212	Pol., Kosmonautů	0,781	9
213	Pol., Bělehradská	0,841	10
214	Pol., Kapt. Bartoše	0,807	12
215	Pol., Lidická	0,789	10
216	Pol. , Hypernova	0,324	7
217	Hlavní nádraží	0,778	10

Tab. 10 Část tabulky ze sim. exp. 1 - průměrný počet cestujících na zastávce

#### 4.2.4 Simulační experiment 2 – odebrání jednoho spoje

Oproti původnímu JŘ byl odebrán jeden spoj. Vybral jsem spoj s atributem 23 a spoji s atributem 21 jsem upravil JŘ, aby byla obsluha zastávek co nejlepší. V tomto simulačním experimentu bylo patrné navýšení doby čekání na spoj a počty cestujících na zastávkách se rapidně zvýšily. V Tab. 11 a 12 je fragment výsledů. Celé tabulky s výsledky jsou uvedeny v příloze B3.

č. modulu	Stanice	Průměr [min]	Min. [min]	Max [min]
211	Pol. točna	13,572	0,000	44,499
212	Pol., Kosmonautů	14,240	0,050	44,770
213	Pol., Bělehradská	14,371	0,028	44,914
214	Pol., Kapt. Bartoše	14,349	0,022	44,909
215	Pol., Lidická	13,700	0,005	44,054
216	Pol. , Hypernova	13,352	0,096	44,525
217	Hlavní nádraží	14,338	0,050	44,440

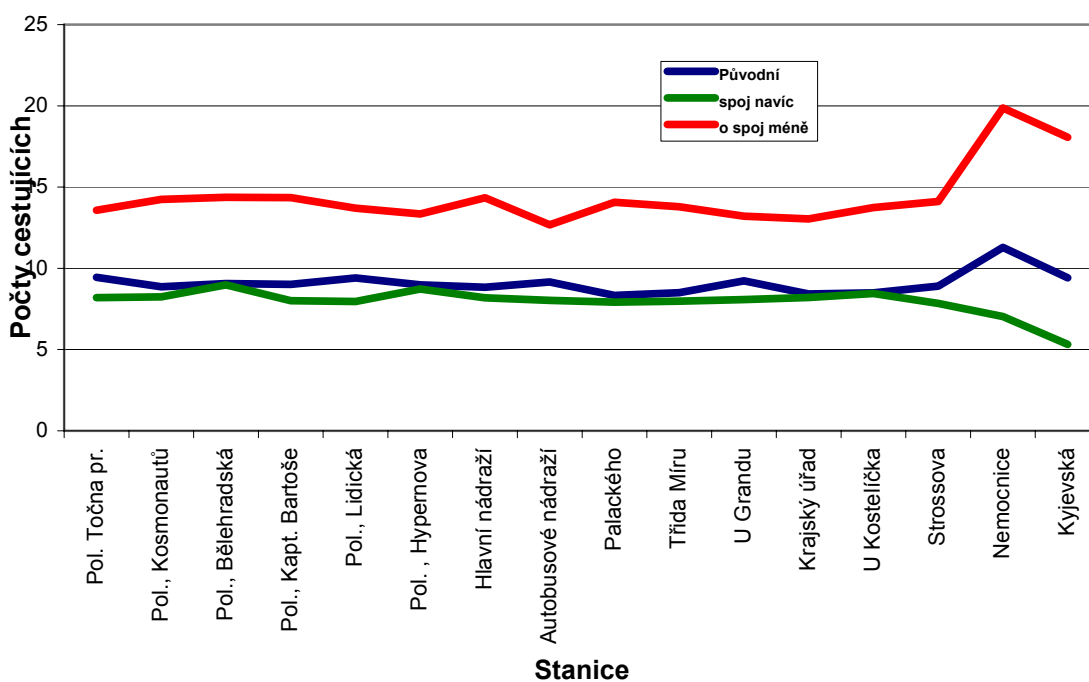
Tab. 11 Část tabulky ze sim. exp. 2 - doba čekání na spoj

č. modulu	Stanice	Průměr	Max.
211	Pol. točna	1,332	15
212	Pol., Kosmonautů	1,283	14
213	Pol., Bělehradská	1,438	19
214	Pol., Kapt. Bartoše	1,375	14
215	Pol., Lidická	1,316	16
216	Pol. , Hypernova	0,539	6
217	Hlavní nádraží	1,453	18

**Tab. 12 Část tabulky ze sim. exp. 2 - průměrný počet cestujících na zastávce**

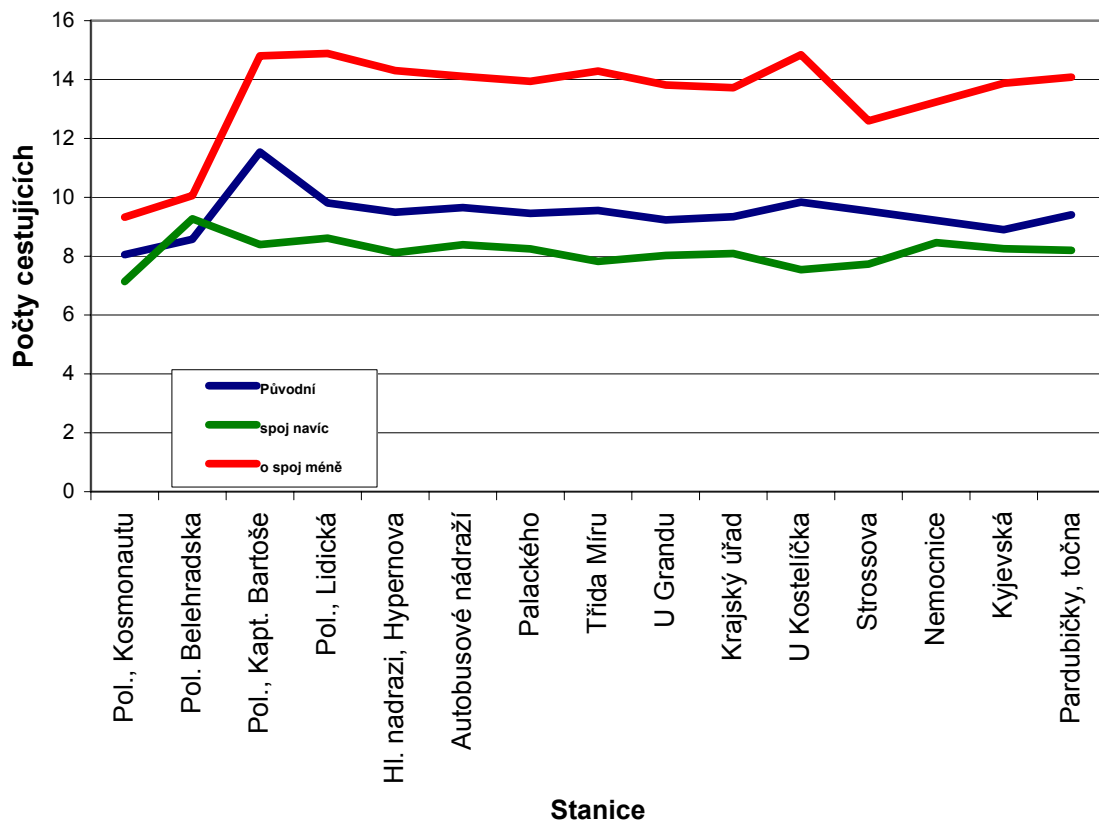
#### 4.2.5 Porovnání aktuálního stavu se simulačními experimenty

V grafech 2 a 3 jsou znázorněny rozdíly mezi dobou čekání cestujících na spoj v jednotlivých případech. Na některých stanicích jsou vidět určité výkyvy, které jsou pravděpodobně způsobeny nepřesným nastavením jízdních řádů. Nastavení jízdních řádů je míněno vytvoření nového, nebo úprava stávajícího (například posunutí JŘ o 10 minut v celém rozsahu). Při tvorbě jsem i při změně JŘ o minutu dosáhl podstatné změny výstupních dat. Při posílení dopravy bylo jasné snížení čekací doby, ale při odebrání jednoho spoje došlo k rapidnímu zvýšení doby čekání na spoj. Z grafu vyplývá, že aktuální nastavení jízdních řádů je z hlediska možností této simulace v pořádku. V případě přidání spoje není snížení času tak velké, aby se přidání spoje vyplatilo.



Graf 2 Porovnání průměrné doby čekání cestujících na spoj Pol. - Pard.





Graf 3 Porovnání průměrné doby čekání cestujícího na spoj Pard. - Pol.

## **5 Další možnosti využití simulačního nástroje Arena**

V této kapitole jsou uvedeny další možnosti využití simulačního nástroje Arena v dopravním podniku.

### **5.1 Tvorba jízdních řádů**

V bakalářské práci se věnuji zejména ověření, zda je možné simulovat již fungující linky trolejbusů. Simulační nástroj Arena však poskytuje i možnost tvorby jízdního řádu. V modelu by místo pevně daného jízdního řádu mohl být umístěn rozhodovací prvek (např. Hold), který vyšle obsluhující spoj až v okamžiku, kdy na trase čekají předem stanovená množství cestujících. V takovém případě by se však musel brát ohled i na dobu čekání cestujících. Dalším problémem může být i zajištění relevantních dat, týkajících se cestujících. Problém je popsán v závěru této práce jelikož se týká i v realitě fungujících spojů dopravního podniku. Předpokladem plánování nového jízdního řádu jsou i známé doby přesunu spoje mezi jednotlivými stanicemi. V každé stanici by byl prvek ukládající číslo spoje a dobu příjezdu. Po dostatečném počtu opakování simulace by tato data bylo možné vyhodnotit a stanovit optimální jízdní řád.

### **5.2 Optimalizace JŘ**

U již fungujícího jízdního řádu se nabízí možnost jeho ověření v simulačním prostředí. Z výstupních dat (popsáno v kapitole 5) je možné posoudit, v jakých místech dochází k přetížení nebo naopak nevytížení provozu. Jednoduchým přidáním nebo odebráním spoje můžeme simulovat, jakým způsobem se systém bude chovat. Opět zde nastává problém s relevantními daty příchozích cestujících.

### **5.3 Simulace výjimečné události**

Ať už u fungujícího jízdního řádu, nebo při návrhu nového je možnost ověření v simulačním prostředí, zda tento JŘ obstojí i při výjimečné situaci. Příkladem může být dopravní nehoda, kdy může dojít k navýšení přepravní doby. Dalším příkladem může být větší kulturní akce, kdy dojde v jednom okamžiku k rapidnímu navýšení

počtu cestujících na několika málo zastávkách. Z výstupních dat simulačního modelu může zodpovědný pracovník v případě, že některá ze situací nastane posílit dopravu, nebo provést potřebné kroky k tomu, aby nedošlo ke zpoždění nebo přetížení dopravy.

## 6 Problémy při tvorbě simulačního modelu

V této kapitole popíši postup tvorby simulačního modelu a problémy, na které jsem v průběhu práce narazil.

### 6.1 Data

Největším problémem při tvorbě simulačního modelu JŘ je získání dostatečného množství relevantních dat. Velký problém vidím, v případě MHD, v jednoznačném určení jaký cestující jede na jakou zastávku. V případě dálkové autobusové přepravy, železniční přepravy nebo letecké přepravy, jsou tato data ve většině případů lehce k dispozici. Jednotlivé údaje se dají zjistit ze zakoupeného jízdného, kde je místo nástupu a místo výstupu. U MHD je velký problém přesně určit v jakém místě daný cestující vystoupí. To může ovlivnit obsazenost spoje. Pro zjištění se dá využít odbavovací systém, nicméně nastává problém s časovým jízdným. Cestující s časovou jízdenkou se do odbavovacího systému nepřihlašuje, ale přesto se účastní přepravy. Výzkum zaměřující se na přibližném určení kam, a z jaké zastávky směřují cestující, by byl velmi náročný. Průzkumu by se muselo zúčastnit velké množství osob provádějících sledování. Další možností je požádat cestující, aby se v předem určeném časovém horizontu odbavili jak při výstupu, tak nástupu. Tento způsob by však mohl být značně nepřesný. Ne každý cestující by se odbavil, nemluvě o určitém znepríjemnění přepravy cestujícího a tím snížení jeho spokojenosti.

### 6.2 Generování entit

V původním návrhu jsem uvažoval o generování entit v závislosti na JŘ. Již při prvních testech jsem však zjistil, že entity jsou generovány v určitém rozložení pravděpodobnosti. Nebylo tedy možné vygenerovat v předem stanovený čas právě jednu entitu. I při použití modulu Schedule je stále generování entit podřízeno rozdělení pravděpodobnosti.

## 7 Závěr

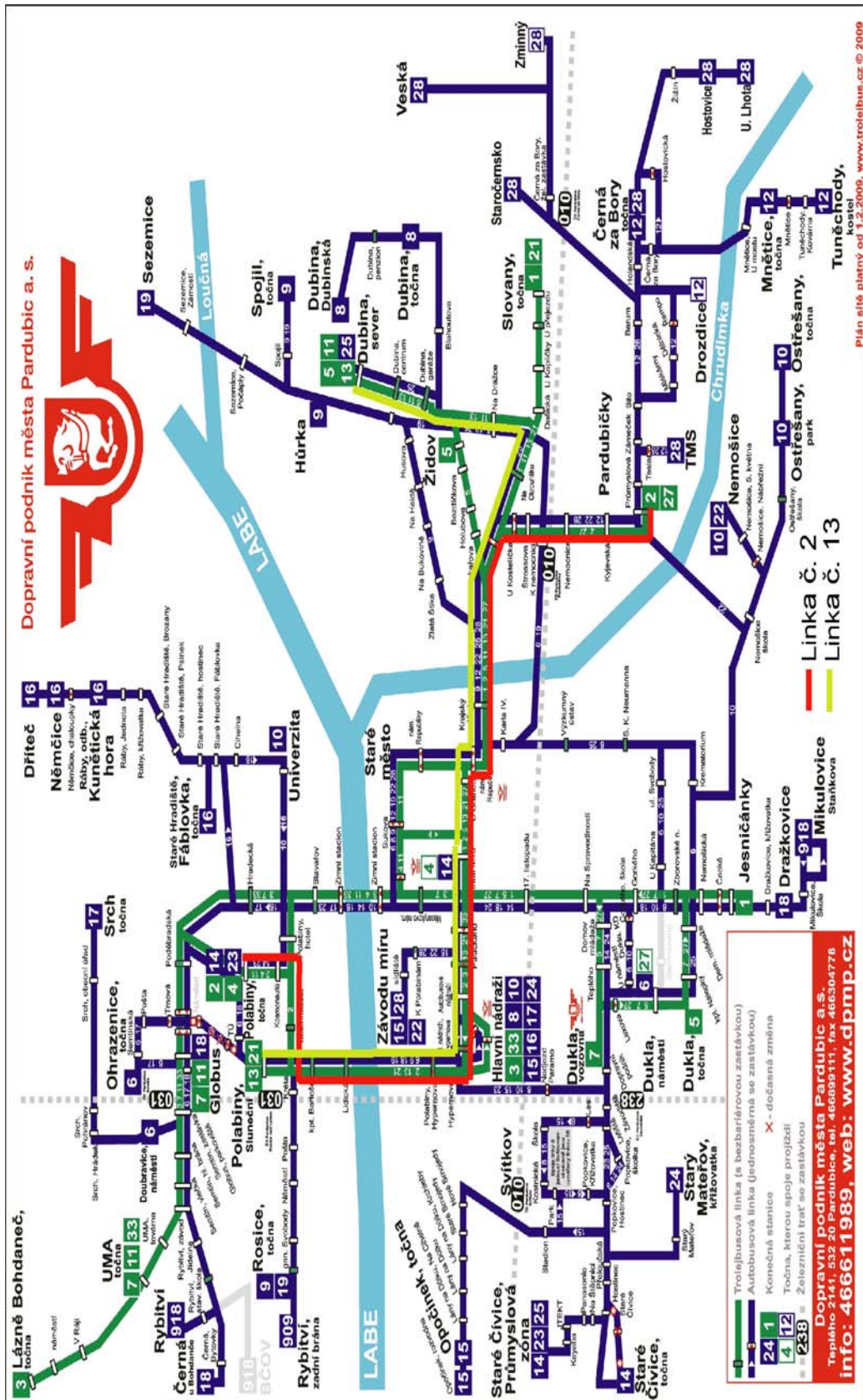
V práci jsem vytvořil simulaci jízdnicích řadů dvou linek, provedl jejich vyhodnocení a dále jsem uskutečnil dva simulační experimenty. Ze simulací je jasné, že tvorba jízdnicích řadů není nejjednodušší. Správné nastavení simulačního modelu a jeho opětovné vyhodnocení, může být podkladem pro změnu jízdnicího řadu a následné zlepšení přepravy cestujících. V simulačním modelu se mi podařilo ověřit možnost využití simulačního nástroje Arena při tvorbě jízdnicích řadů. Nastínil jsem i možnosti přímé tvorby jízdnicího řadu s ohledem na některé problémy. Příkladem může být množství dat potřebné pro správné fungování simulačního modelu. Model by se v budoucnu mohl rozšířit o další linky a mohl by sloužit pro simulování některých situací vzniklých v dopravě. Případnou úpravou simulačního modelu by mohl model sloužit k tvorbě jízdnicích řadů.

Na přiloženém CD jsou obsaženy přílohy, text práce a jednotlivé simulační modely.

## Použitá literatura

- [1] **Dopravní podnik města Pardubic, a.s.** *Historie společnosti*. [Online], 2006. [cit. 2009-8-5]. Dostupné na WWW <<http://dpmp.cz/index.php?str=22>>.
- [2] **KAVIČKA, Antonín.** Modelování a simulace, elektronické stylaby Univerzity Pardubice, 2007. [cit. 2009-8-5].
- [3] **KELTON, W. David.** *Simulation wiith Arena 3rd Edition*, New York : McGraw-Hill Higher Education, 2004. 668 s. ISBN 0-07-291981-7
- [4] **JIRSA, Jan.** *Nástroje pro modelování a simulace výrobních procesů., elektronické stylaby FEL ČVUT, 2004.* [cit. 2009-8-5] Dostupné na WWW <<http://formular-ekf.vsb.cz/formulare/F01/tsw/getfile.php?prispevekid=786>>
- [5] **Dopravní podnik města Pardubic, a.s.** *Postup pro změnu jízdních řádů v DpmP a.s., vnitřní předpisy v elektronické podobě 2008.* [cit. 2009-8-5]
- [6] **Dopravní podnik města Pardubic, a.s.** [Online], 2006. [cit. 2009-8-5]. Dostupné na WWW <<http://www.dpmp.cz/>>.
- [7] **Dopravní podnik města Pardubic, a.s.,** Výzkum prováděný DpmP, elektronický dokument poskytnutý DpmP 2008. [cit. 2009-8-5].

# Příloha A



Obr. Příloha A - Plánek linek s označením linek uvažovaných v simulačním modelu[5].

## Přílohy B

č. modulu	Stanice	Průměr [min]	Min. [min]	Max. [min]
211	Pol. točna	9,443	0,000	29,967
212	Pol., Kosmonautů	8,866	0,005	30,105
213	Pol., Bělehradská	9,064	0,021	29,748
214	Pol., Kapt. Bartoše	9,010	0,040	29,512
215	Pol., Lidická	9,409	0,007	30,200
216	Pol. , Hypernova	8,983	0,029	29,830
217	Hlavní nádraží	8,838	0,047	30,078
218	Autobusové nádraží	9,160	0,033	30,697
219	Palackého	8,336	0,021	29,820
2110	Třída Míru	8,504	0,004	30,817
2111	U Grandu	9,226	0,107	30,025
2112	Krajský úřad	8,425	0,183	28,786
2113	U Kostelíčka	8,494	0,024	30,081
2114	Štrossova	8,905	0,017	30,052
2115	Nemocnice	11,288	0,915	28,067
2116	Kyjevská	9,418	1,791	15,024
223	Pol., Kosmonautu	8,053	2,502	26,230
224	Pol. Belehradska	8,572	0,865	23,501
225	Pol., Kapt. Bartoše	11,535	0,239	30,495
226	Pol., Lidická	9,809	0,121	30,749
227	Hl. nadrazi, Hypernova	9,492	0,007	30,057
228	Autobusové nádraží	9,649	0,028	30,349
229	Palackého	9,454	0,038	30,523
2210	Třída Míru	9,551	0,025	30,039
2211	U Grandu	9,232	0,013	29,651
2212	Krajský úřad	9,339	0,050	30,262
2213	U Kostelíčka	9,836	0,061	29,758
2214	Štrossova	9,532	0,127	29,454
2215	Nemocnice	9,214	0,001	29,256
2216	Kyjevská	8,901	0,007	29,751
2217	Pardubičky, točna	9,406	0,000	30,050

**Tab. Příloha B1 – Průměrná doba čekání cestujícího na spoj**



č. modulu	Stanice	Průměr	Max.
211	Pol. točna	0,938	10
212	Pol., Kosmonautů	0,883	8
213	Pol., Bělehradská	0,874	10
214	Pol., Kapt. Bartoše	0,897	8
215	Pol., Lidická	0,899	10
216	Pol., Hypernova	0,386	5
217	Hlavní nádraží	0,808	7
218	Autobusové nádraží	0,899	10
219	Palackého	0,803	9
2110	Třída Míru	0,811	8
2111	U Grandu	0,862	10
2112	Krajský úřad	0,351	5
2113	U Kostelíčka	0,360	6
2114	Štrossova	0,366	6
2115	Nemocnice	0,025	2
2116	Kyjevská	0,018	3
2117	Pardubičky, točna	0,000	0
221	Pol. Točna pr.	0,000	0
223	Pol., Kosmonautu	0,014	2
224	Pol. Belehradska	0,021	2
225	Pol., Kapt. Bartoše	0,024	3
226	Pol., Lidická	0,368	10
227	Hl. nadrazi, Hypernova	0,969	13
228	Autobusové nádraží	0,952	10
229	Palackého	0,937	13
2210	Třída Míru	0,899	11
2211	U Grandu	0,892	16
2212	Krajský úřad	0,389	6
2213	U Kostelíčka	0,390	8
2214	Štrossova	0,384	5
2215	Nemocnice	0,923	10
2216	Kyjevská	0,859	13
2217	Pardubičky, točna	0,921	15

**Tab. Příloha B1 – Průměrný počet čekajících cestujících na zastávce**

č. modulu	Stanice	Průměr [min]	Min. [min]	Max. [min]
211	Pol. točna	8,193	0,000	34,904
212	Pol., Kosmonautů	8,248	0,013	32,886
213	Pol., Bělehradská	8,982	0,011	34,590
214	Pol., Kapt. Bartoše	8,006	0,010	34,796
215	Pol., Lidická	7,958	0,005	34,484
216	Pol., Hypernova	8,723	0,145	33,165
217	Hlavní nádraží	8,185	0,021	34,663
218	Autobusové nádraží	8,030	0,009	34,895
219	Palackého	7,923	0,021	34,053
2110	Třída Míru	7,981	0,015	33,613
2111	U Grandu	8,074	0,037	28,416
2112	Krajský úřad	8,205	0,021	31,894
2113	U Kostelíčka	8,454	0,057	29,380
2114	Štrossova	7,844	0,099	33,688
2115	Nemocnice	7,033	0,724	14,813
2116	Kyjevská	5,321	1,373	16,921
223	Pol., Kosmonautu	7,138	0,942	20,118
224	Pol. Belehradska	9,272	0,681	19,186
225	Pol., Kapt. Bartoše	8,393	0,239	20,547
226	Pol., Lidická	8,610	0,009	34,550
227	Hl. nadrazi, Hypernova	8,117	0,012	32,147
228	Autobusové nádraží	8,391	0,011	32,968
229	Palackého	8,246	0,005	32,913
2210	Třída Míru	7,824	0,007	33,524
2211	U Grandu	8,023	0,007	33,276
2212	Krajský úřad	8,089	0,002	32,549
2213	U Kostelíčka	7,540	0,014	30,644
2214	Štrossova	7,732	0,020	32,444
2215	Nemocnice	8,459	0,004	34,578
2216	Kyjevská	8,253	0,012	32,252
2217	Pardubičky, točna	8,199	0,000	33,421

**Tab. Příloha B2 – Průměrná doba čekání cestujícího na spoj**

č. modulu	Stanice	Průměr	Max.
211	Pol. točna	0,786	9
212	Pol., Kosmonautů	0,781	9
213	Pol., Bělehradská	0,841	10
214	Pol., Kapt. Bartoše	0,807	12
215	Pol., Lidická	0,789	10
216	Pol. , Hypernova	0,324	7
217	Hlavní nádraží	0,778	10
218	Autobusové nádraží	0,756	12
219	Palackého	0,742	11
2110	Třída Míru	0,752	9
2111	U Grandu	0,848	11
2112	Krajský úřad	0,340	6
2113	U Kostelíčka	0,350	6
2114	Štrossova	0,310	5
2115	Nemocnice	0,016	3
2116	Kyjevská	0,010	1
2117	Pardubičky, točna	0,000	0
221	Pol. Točna pr.	0,000	0
223	Pol., Kosmonautu	0,016	2
224	Pol. Belehradska	0,029	3
225	Pol., Kapt. Bartoše	0,016	3
226	Pol., Lidická	0,356	8
227	Hl. nadrazi, Hypernova	0,787	9
228	Autobusové nádraží	0,806	10
229	Palackého	0,781	14
2210	Třída Míru	0,722	10
2211	U Grandu	0,701	12
2212	Krajský úřad	0,319	7
2213	U Kostelíčka	0,302	6
2214	Štrossova	0,322	11
2215	Nemocnice	0,827	12
2216	Kyjevská	0,789	9
2217	Pardubičky, točna	0,773	10

**Tab. Příloha B2 – Průměrný počet čekajících cestujících na zastávce**

č. modulu	Stanice	Průměr [min]	Min. [min]	Max. [min]
211	Pol. točna	13,572	0,000	44,499
212	Pol., Kosmonautů	14,240	0,050	44,770
213	Pol., Bělehradská	14,371	0,028	44,914
214	Pol., Kapt. Bartoše	14,349	0,022	44,909
215	Pol., Lidická	13,700	0,005	44,054
216	Pol. , Hypernova	13,352	0,096	44,525
217	Hlavní nádraží	14,338	0,050	44,440
218	Autobusové nádraží	12,681	0,001	45,042
219	Palackého	14,071	0,039	44,851
2110	Třída Míru	13,794	0,078	45,417
2111	U Grandu	13,212	0,006	44,604
2112	Krajský úřad	13,045	0,000	44,199
2113	U Kostelíčka	13,744	0,041	45,237
2114	Štrossova	14,111	0,011	44,395
2115	Nemocnice	19,869	1,185	39,490
2116	Kyjevská	18,068	1,666	37,460
223	Pol., Kosmonautu	9,324	0,588	28,836
224	Pol. Belehradska	10,058	0,485	27,118
225	Pol., Kapt. Bartoše	14,803	0,587	29,305
226	Pol., Lidická	14,884	0,038	44,615
227	Hl. nadrazi, Hypernova	14,302	0,002	44,666
228	Autobusové nádraží	14,106	0,020	44,222
229	Palackého	13,937	0,046	44,617
2210	Třída Míru	14,289	0,006	45,078
2211	U Grandu	13,815	0,009	43,919
2212	Krajský úřad	13,720	0,009	44,518
2213	U Kostelíčka	14,844	0,047	44,483
2214	Štrossova	12,597	0,044	44,223
2215	Nemocnice	13,238	0,020	44,471
2216	Kyjevská	13,876	0,048	44,751
2217	Pardubičky, točna	14,081	0,000	44,540

**Tab. Příloha B3 – Průměrná doba čekání cestujícího na spoj**

č. modulu	Stanice	Průměr	Max.
211	Pol. Točna.	1,332	15
212	Pol., Kosmonautů	1,283	14
213	Pol., Bělehradská	1,438	19
214	Pol., Kapt. Bartoše	1,375	14
215	Pol., Lidická	1,316	16
216	Pol. , Hypernova	0,539	6
217	Hlavní nádraží	1,453	18
218	Autobusové nádraží	1,171	14
219	Palackého	1,379	16
2110	Třída Míru	1,376	23
2111	U Grandu	1,361	16
2112	Krajský úřad	0,522	10
2113	U Kostelíčka	0,540	7
2114	Štrossova	0,522	8
2115	Nemocnice	0,045	3
2116	Kyjevská	0,043	2
2117	Pardubičky, točna	0,000	0
221	Pol. Točna pr.	0,000	0
223	Pol., Kosmonautu	0,030	2
224	Pol. Belehradska	0,032	2
225	Pol., Kapt. Bartoše	0,032	2
226	Pol., Lidická	0,666	11
227	Hl. nadrazi, Hypernova	1,442	17
228	Autobusové nádraží	1,396	17
229	Palackého	1,321	17
2210	Třída Míru	1,372	22
2211	U Grandu	1,333	13
2212	Krajský úřad	0,512	9
2213	U Kostelíčka	0,577	9
2214	Štrossova	0,500	12
2215	Nemocnice	1,332	16
2216	Kyjevská	1,330	18
2217	Pardubičky, točna	1,390	17

**Tab. Příloha B3 – Průměrný počet čekajících cestujících na zastávce**