



## T6: SHO Model logistiky - hromadná osobní přeprava

Matej Tomko

xtomko06

10. decembra 2023

### Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
1.1	Cieľ práce . . . . .	2
1.2	Postup práce . . . . .	2
1.3	Zdroje faktov . . . . .	2
1.4	Validita modelu . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Rozbor témy, použitých metód a technológií</b>	<b>3</b>
2.1	Používané metódy a technológie . . . . .	4
2.2	Zdroje metód a technológií . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Koncepcia</b>	<b>4</b>
3.1	Konceptuálny model . . . . .	4
3.1.1	Pohyb ľudí na stanici . . . . .	5
3.1.2	Pohyby vlakov . . . . .	5
3.1.3	Pohyb ľudí vo vlakoch . . . . .	5
3.2	Petriho siete . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Architektúra simulačného modelu/simulátoru</b>	<b>9</b>
4.1	Mapovanie abstraktného modelu . . . . .	9
<b>5</b>	<b>Podstata simulačných experimentov a ich priebeh</b>	<b>9</b>
5.1	Jednotlivé postupy experimentov . . . . .	9
5.2	Jednotlivé experimenty . . . . .	9
5.2.1	Priemerné meškania vlakov . . . . .	9
5.2.2	Využívanie staničných a vlakových služieb cestujúcimi . . . . .	10
5.2.3	Hľadanie sedadiel cestujúcimi . . . . .	11
5.3	Závery experimentov . . . . .	11
<b>6</b>	<b>Zhrnutie simulačných experimentov a záver</b>	<b>12</b>

# Úvod

Táto práca sa zaoberá modelovaním vlakovej hromadnej osobnej preprave v stanici Bratislava hlavná stanica. Kľúčovým prvkom tohto systému je pohyb ľudí na stanici a vo vlakoch. Do úvahy sme brali hlavne rozdelenie ľudí do skupín čo na stanici robia v rámci čakania, ako dlho im trvá nájsť si miesto vo vlaku a celkový priebeh cesty.

## Cieľ práce

Cieľom tejto práce je zamerať sa na meškania vlakov a ako sa zvýši efektivita ak by vlaky nemeškali, koľko času ľudia stravia na stanici pri čakaní na vlak a akou aktivitou a taktiež či je systém rozšíriteľný a akým spôsobom. Analýza, vyhodnotenie a riešenie sú realizované prostredníctvom systému hromadnej obsluhy (SHO).

## Postup práce

Aby bolo možné zistiť aké sú priemerné časy meškania vlakov a pohybu ľudí na vlakovej stanici, je potrebné získať potrebné dáta. Následne sme pokračovali týmto postupom:

- V prvej časti práce sa zaoberáme analýzou problému, ktorým je modelovanie vlakovej hromadnej osobnej prepravy v stanici Bratislava hlavná stanica.
- V druhej časti sa zaoberáme návrhom riešenia, ktoré je založené na systéme hromadnej obsluhy.
- V tretej časti sa zaoberáme implementáciou navrhnutého riešenia.
- V štvrtej časti sa zaoberáme experimentálnym vyhodnotením navrhnutého riešenia.
- V poslednej časti sa zaoberáme zhrnutím a zhodnotením výsledkov práce a navrhujeme možné rozšírenia.

## Zdroje faktov

Fakty a informácie o tomto systéme sme čerpali z niekoľkých zdrojov. Prvým je osobná skúsenosť a pozorovanie ľudí a vlakov v danej stanici, druhým je internetová stránka Železničnej spoločnosti Slovensko a posledným sú internetové stránky s informáciami o vlakoch a ich meškani.

## Validita modelu

Validitu modelu sme overili pomocou nasledujúcich metód:

- Získanie informácií pomocou vlastných pozorovaní a skúseností.
- Overenie výsledkov modelu pomocou porovnania s reálnymi dátami.
- Simulovanie rôznych scenárov a porovnanie výsledkov.

## Rozbor témy, použitých metód a technológií

1. Na stanicu prichádzajú ľudia, ktorí chcú cestovať vlakom a zamestnanci, ktorí pracujú na stanici.
  - Ľudia, ktorí chcú cestovať vlakom, sa delia na skupiny podľa toho, čo na stanici robia.
    - Čakajú na vlak.
    - Idú na nákup.
    - Idú na toalety.
  - O zamestnancoch stanice predpokladáme, že sa pohybujú po stanici a vykonávajú svoju prácu.
  - Ľudia, ktorí čakajú na vlak môžu taktiež ísť na toalety alebo na nákup.
  - Ľudia, ktorí idú na nákup alebo na toalety sa po vykonaní tejto činnosti vrátia na čakanie na vlak.
  - Taktiež predpokladáme, že ľudia môžu svoj vlak zmeškať.
  - Po čakaní na vlak sa ľudia presunú na nástupište a nastúpia do vlaku.
2. Vlaky prichádzajú na stanicu a odchádzajú zo stanice.
  - Vlaky sa delia na skupiny podľa toho, čo na stanici robia.
    - Prichádzajú na stanicu a pokračujú ďalej.
    - Prichádzajú na stanicu a zároveň je to pre nich konečná stanica.
    - Pripravujú sa na príchod, pretože je to ich začiatok trasy.
  - Vlaky, ktoré zastavujú na stanici následne čakajú na nástup a výstup cestujúcich a odchádzajú po určenom čase odjazdu.
  - Vlaky na ceste medzi stanicami môžu meškať.
  - Vlaky, ktoré zastavujú na stanici a zároveň je to ich konečná stanica, čakajú na nástup a výstup cestujúcich a následne prebieha údržba vlaku.
3. Do vlaku nastupujú ľudia, ktorí chcú cestovať vlakom.
  - Ľudia, ktorí nastupujú do vlaku sa delia na skupiny podľa toho, čo v rámci cesty robia.
    - Cestujúci, ktorí využívajú vlakové služby.
    - Zamestnanci železníc, ktorí pracujú vo vlaku.
  - Ľudia, ktorí využívajú vlakové služby, sa delia na skupiny podľa zakúpeného lístka a batožiny.
    - Cestujúci so psom, mačkou alebo iným zvieratom, či dopravným prostriedkom.
    - Cestujúci s bezplatnou prepravou (študenti a dôchodcovia).
    - Platiaci cestujúci.
  - Ľudia majú pridelené miesto vo vlaku alebo si ho vyberajú sami.

- Ľudia, ktorí pracujú vo vlaku sa delia na skupiny podľa toho, čo v rámci cesty robia.
  - Kontrolóri lístkov.
  - Obsluha vo vlaku.
- Ľudia majú vo vlaku dostupné služby občerstvenia, či toalety.

## Použité metódy a technológie

Prvým a taktiež hlavným použitým postupom je vytvorenie konceptuálneho modelu pomocou Petriho siete. Tento model nám pomôže získať prehľad o celom systéme a zároveň nám umožní vytváranie modelu systému hromadnej obsluhy ľahšie a zrozumiteľnejšie. Ďalším postupom je vytvorenie simulačného modelu. Simulačný model je naprogramovaný v jazyku C++ a využíva pomocnú knižnicu SIMLIB. Tento model nám pomôže získať výsledky a overiť správnosť návrhu riešenia.

## Zdroje metód a technológií

Zdrojom metód a technológií je predovšetkým kurz Modelování a simulace(IMS)[1] z Fakulty informačných technológií Vysokého učení technického v Brně[2]. Ďalším zdrojom a taktiež hlavným zdrojom je knižnica SIMLIB[3]. Posledným zdrojom, ktorý nám pomohol s dátami pre našu prácu je internetová stránka Železničnej spoločnosti Slovensko[4] a internetové stránky s informáciami o vlakoch[5] a ich meškanií[6].

## Koncepcia

Určité vlastnosti reálneho systému sme zjednodušili, aby sme mohli vytvoriť model systému hromadnej obsluhy. Medzi hlavné zjednodušenia patria napríklad:

- Zanedbáva sa práca zamestnancov stanice.
- Využitie toalety vo vlaku popri nákupe občerstvenia a kontrole lístkov je zanedbané.
- Zanedbáva sa čas potrebný na nástup a výstup cestujúcich a berie sa do úvahy len čas ktorý má vlak stanovený na zastávku.
- Ak sa jedná o vlak, ktorý dokáže prepraviť osobné vozidlá, tak sa zanedbáva čas potrebný na naloženie a vyloženie vozidiel.
- Zanedbávajú sa pohyby vlakov po údržbe.

## Konceptuálny model

Konceptuálny model je popísaný troma oddelenými Petriho sieťami, ktoré dohromady tvoria kompletný systém. Prvá Petriho sieť popisuje pohyb ľudí na stanici, druhá Petriho sieť popisuje pohyb vlakov na stanici a tretia Petriho sieť popisuje pohyb ľudí vo vlakoch. Tieto Petriho siete sú navzájom prepojené, tým že výstupný stav jednej Petriho siete je vstupný stav druhej Petriho siete.

Toto prepojenie si je možné predstaviť konkrétne keď vlak čaká na odjazd v stanici, je to zároveň vstupný stav pre ľudí, ktorí nastupujú do vlaku. Taktiež keď prebieha presun ľudí na nástupište, je to zároveň vstupný stav pre vlak, ktorý prichádza na stanicu.

## Pohyb ľudí na stanici

Prvá Petriho sieť popisuje pohyb ľudí na stanici. Zo stavu príchodu na stanicu (STAN) je 1% ľudí zamestnancov stanice a 99% ľudí cestujúcich. Cestujúci ľudia prejdú do stavu čakania na vlak, teda v našom prípade čakanania na oznam o príchode vlaku do určitého nástupišťa (CAK-OZN). Následne s pravdepodobnosťou 5% ľudia svoj vlak zmeškali a odišli zo stanice (ZMES) 20% ľudí sa rozhodlo niečo si na stanici kúpiť (NAK) a 10% ľudí šlo na toalety (WC). Ostatní ľudia čakajú na príchod vlaku (CAK) s exponenciálnym rozdelením 60 minút. Predpokladáme, že z ľudí, ktorí šli na toalety 20% šlo následne na nákup a taktiež z ľudí ktorí boli na nákupe 10% šlo na nákup. Ostatní šli naspäť na čakanie na vlak. Po oznámení stanice o plánovanom príchode vlaku na nástupišť (OZN) sa ľudia presunú na nástupišť (PRES) s exponenciálnym rozdelením 2 minúty, kde následne čakajú na príchod vlaku (CAK-VL) s exponenciálnym rozdelením 5 minút. Po príchode vlaku na nástupišť sa ľudia presunú do stavu nástup do vlaku (NAST). Pohyb ľudí na stanici je znázornený na obrázku číslo 1.

## Pohyby vlakov

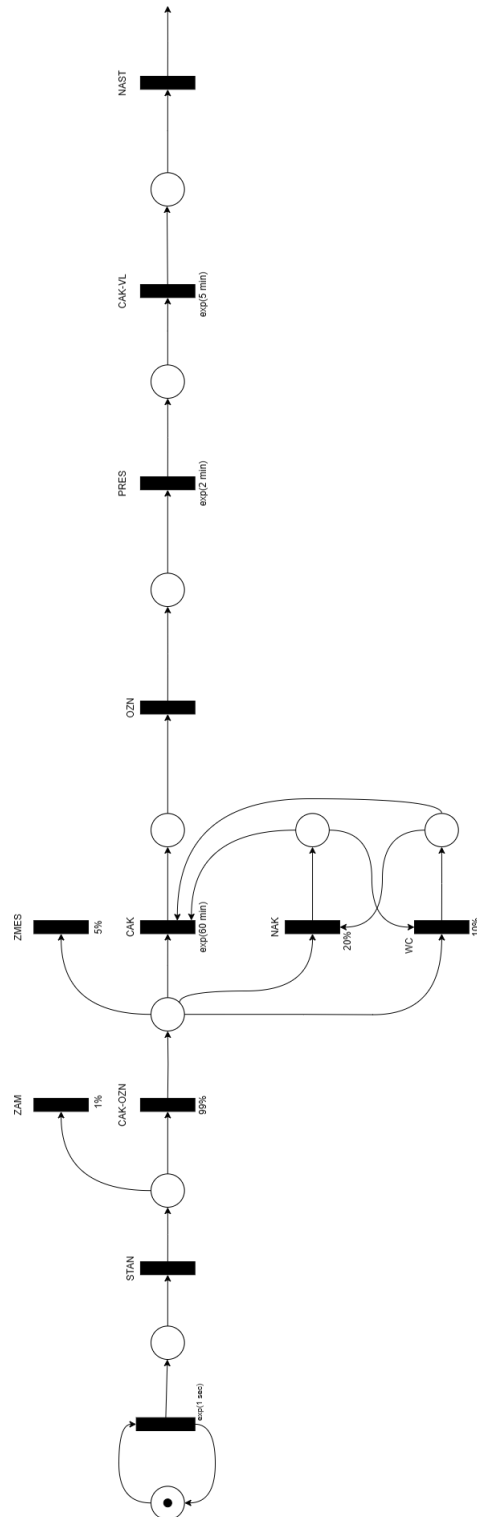
Druhá Petriho sieť popisuje pohyby vlakov medzi stanicami a v stanici. Nadviazaním na predošlú Petriho sieť je vstupný stav pre túto Petriho sieť čakanie vlaku na výstup a následne nástup ľudí s exponenciálnym rozdelením 2 minúty. Následne vlaku povolia odjazd a presunie sa do stavu odjazdu (ODJA). Počas cesty môže vlak meškať. S pravdepodobnosťou 40% vlak mešká s exponenciálnym rozdelením 40 minút (MESK). 60% vlakov sa presunie do stavu kedy idú na čas (NA-C) a následne sa všetky vlaky presunú do stavy cestovania ku ďalšej stanici (CEST) s exponenciálnym rozdelením 30 minút, keďže pracujeme so stanicou Bratislava hlavná stanica. Po príchode vlaku na stanicu je pre 5% vlakov táto stanica konečnou (KON) a presunú sa teda do stavu údržby (UDRZ) s exponenciálnym rozdelením 60 minút a následne opustia stanicu. Ostatné vlaky zastavia na stanici (ZAST) a znova čakajú na povolenie pre odchod zo stanice. Do stanice taktiež prichádzajú vlaky s exponenciálnym rozdelením 2 hodiny, ktoré tu svoju cestu začínajú, no najprv musia prejsť stavom prípravy na jazdu (PRIP), ktorá má exponenciálne rozdelenie 60 minút. Pohyby vlakov medzi stanicami a v stanici je znázornený na obrázku číslo 2.

## Pohyb ľudí vo vlakoch

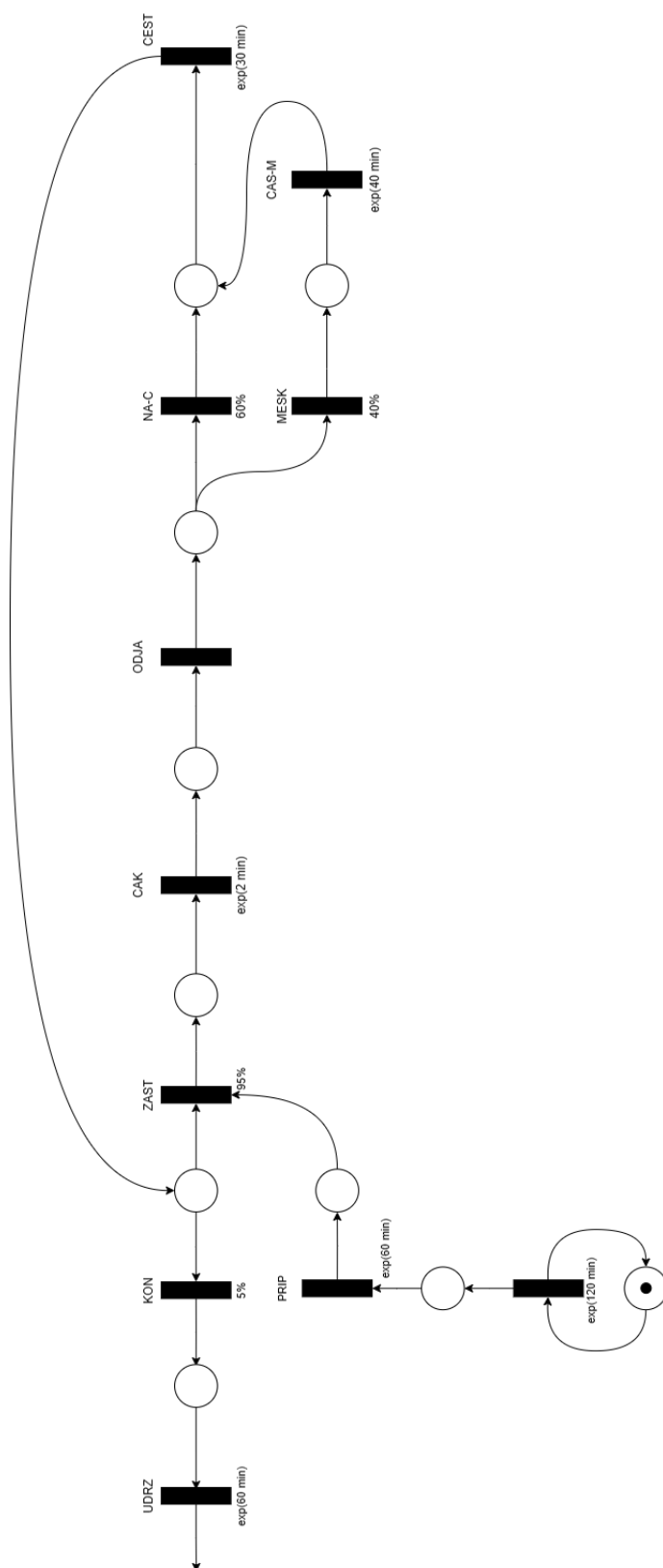
Poslednou Petriho sieťou je pohyb ľudí vo vlakoch. Ak nadviažeme na predošlú Petriho sieť, tak začíname v stave kedy ľudia nastupujú do vlaku a stávajú sa cestujúcimi (CEST). 1% cestujúcich sú zamestnanci pracujúci vo vlaku, ktorí sa presunú do stavu práce vo vlaku (ZAMEST), 64% ľudí si za svoj lístok platí, takže vojdú do stavu platiacich (PLAT), 32% ľudí cestuje zadarmo, či už sú to študenti alebo dôchodcovia a preto sa presunú do stavu neplatiacich cestujúcich (BEZP) a posledné 3% zahrňujú vozidlá a psy, ktoré sa presunú do stavu dopravných prostriedkov a zvierat (VOZ-PSY). Samotní zamestnanci následne vstúpia do stavu prípravy na prácu (PRIP) s exponenciálnym rozdelením 15 minút. Ostatní cestujúci si začnú hľadať, či vybrať sedadlá vo vlaku (SED) s exponenciálnym rozdelením 5 minút. S pravdepodobnosťou 5% nastane situácia, že si cestujúci vybral sedadlo, ktoré patrí inému cestujúcemu, ktorý ho následne z tohto miesta vyhodí a vyhodенý cestujúci prejde znova do stavu hľadania sedadla (SED). Cestujúci si vyberajú sedadlá v smere cesty (V-SM) s pravdepodobnosťou 48%, proti smeru jazdy (PROTI-SM) s pravdepodobnosťou 4% a posledným 48% je to jedno, teda si vyberú ľubovoľne (LUBOV), podľa toho, ktoré sedadlá sú voľné. Po pripravení na prácu sa zamestnanci delia na 2 skupiny a to: sprievodcovia (SPRIE) s pravdepodobnosťou 33% a zamestnanci zabezpečujúci občerstvenie na palube vlaku (OBC), ktorí následne pripravujú občerstvenie. Po vybratí sedadiel sprievodcovia kontrolujú lístky cestujúcich, ktoré trvá 10 sekúnd až 2 minúty. Počas cesty sa potom zamestnanci s občerstvením prechádzajú po vlaku a ponúkajú cestujúcim občerstvenie. Ak si cestujúci chce kúpiť nejaké občerstvenie, prejde aj so zamestnancom do stavu nákupu (NAKUP) s experimentálnym rozdelením 5 minút. Nakoniec v našom modeli predpokladáme, že cestujúci môžu

využívať služby toalety (WC) s exponenciálnym rozdelením 10 minút. Po príchode vlaku na stanicu sa cestujúci presunú do stavu výstupu z vlaku (VYSTUP) a následne opustia vlak. Tieto pohyby ľudí vo vlakoch sú znázornené na obrázku číslo 3.

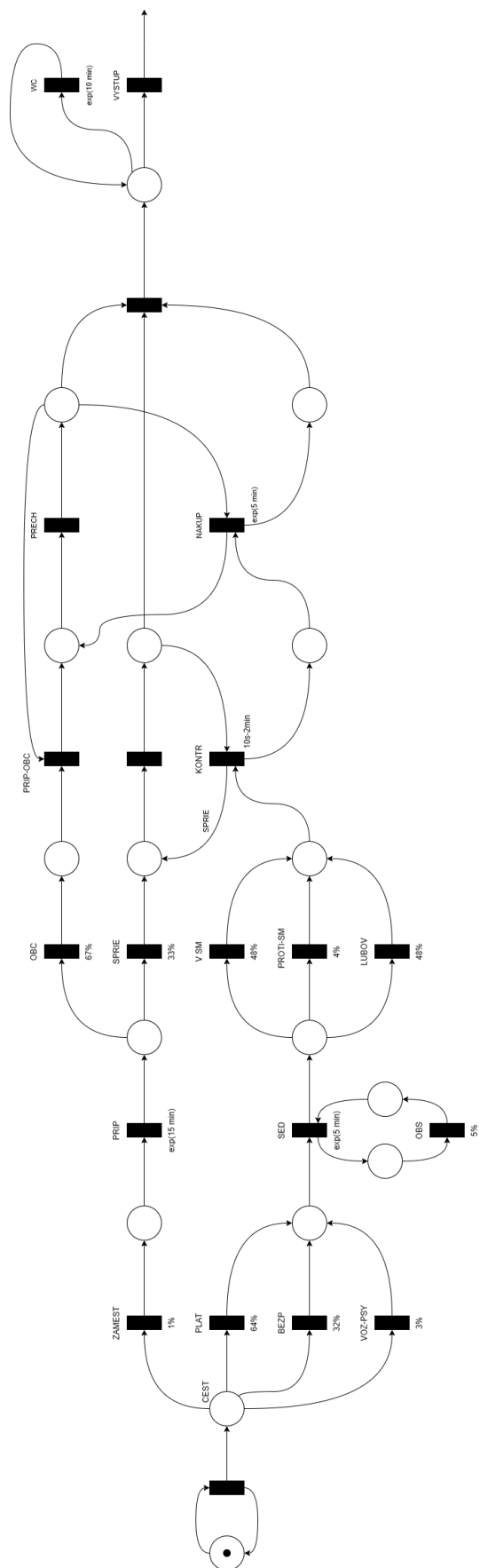
## Petriho siete



Obrázok č.1: Petriho sieť – Pohyb ľudí na stanici



Obrázok č.2: Petriho sieť – Pohyby vlakov



Obrázok č.3: Petriho sieť – Pohyb ľudí vo vlakoch



## Architektúra simulačného modelu/simulátoru

Simulačný model sa skladá a tvorí ho hlavne funkcionálna pre diskkrétne simulácie z knihovne SIMLIB. Podľa už zmienenej špecifikácie konceptuálneho modelu sa v tomto simulačnom modeli pohybujú procesy v rôznych stavoch a simulujú špecifickú činnosť. Popri tejto činnosti si objekty zbierajú a uchovávajú dôležité štatistické informácie a dáta, z ktorých dokážeme zistiť kľúčové vlastnosti v tomto modelovom systéme.

### Mapovanie abstraktného modelu

Tento daný simulačný model je založený na Petriho sieťach z Obrázkov číslo 1, 2 a 3 a obsahuje modely vlaku a ľudí, či už na stanici ale aj vo vnútri vlaku, ktorí reprezentujú cestujúcich danej vlakovej spoločnosti. V rámci týchto modelov simulujeme ich konkrétne správanie v systéme dané Petriho sieťami.

## Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

Cieľom tejto štúdie je pomocou experimentov zistiť aké sú priemerné meškania vlakov, ako sú vyťažené a využívané jednotlivé služby, či už stanice samotnej alebo aj služby v jednotlivých vlakoch, ako dlho trvá cestujúcim nájsť si miesta vo vlakoch a taktiež táto priemerná hodnota.

### Jednotlivé postupy experimentov

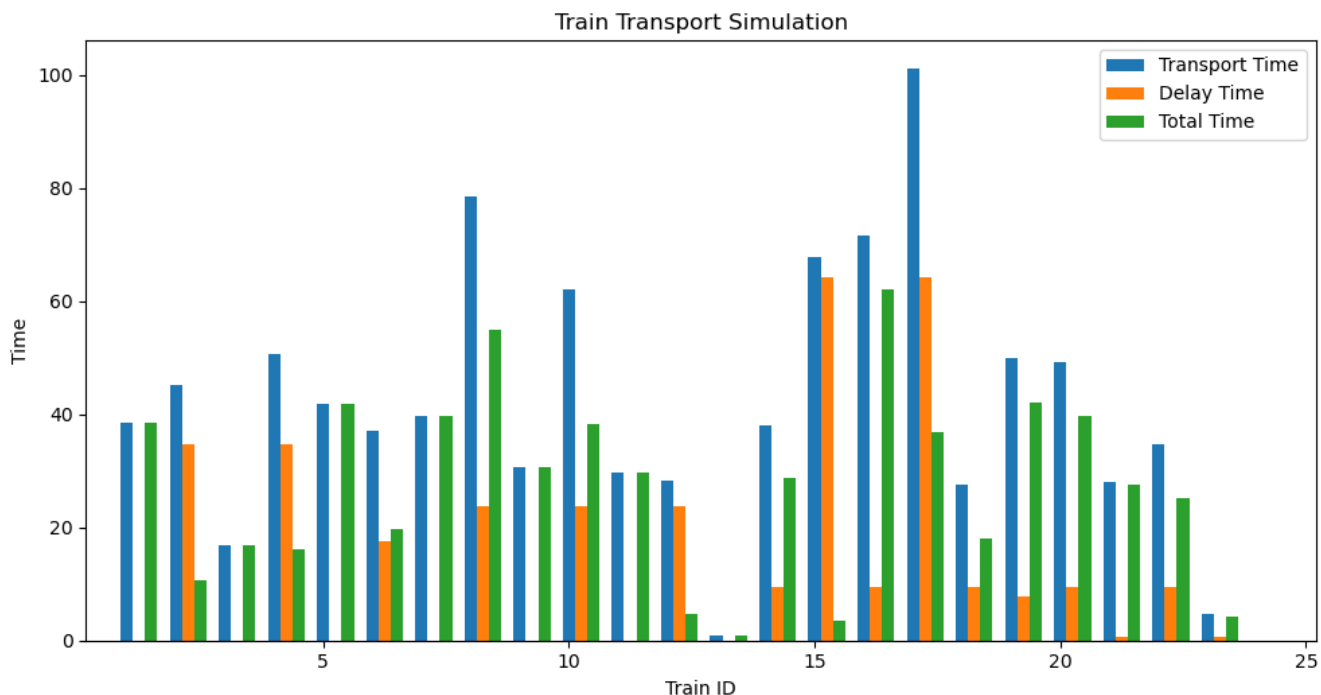
Prvotné experimenty so simulačným modelom boli zo začiatku cielené na overenie správnosti a správnej činnosti modelu, teda či cestujúci nastupujú a vystupujú z vlaku iba ak je vlak prítomný v stanici a nepracovanie s cestujúcimi, ktorí svoj vlak zmeškali. Na základe týchto prvotných alebo aj skúšobných experimentov a výsledkov experimentov boli tieto chyby opravené. Po týchto drobných, ale za to dôležitých opravách bolo skúmané chovanie modelu s určenými parametrami zo špecifikácie systému a následne sa skúmalo chovanie systému pri náraste či poklese týchto hodnôt. Nakoniec bolo zisťované chovanie tohto systému s extrémne veľkými hodnotami aby bola zaistená validita vytvorených modelov.

### Jednotlivé experimenty

Všetky tieto simulačné experimenty boli spúšťané s počtom návštevníkov stanice a vlakov daného zo špecifikácie. S týmto počtom bol následne simulovaný pohyb ľudí na stanici, cestujúcich vo vlaku a prichádzajúcich a odchádzajúcich vlakov zo stanice v rámci jedného dňa.

### Priemerné meškania vlakov

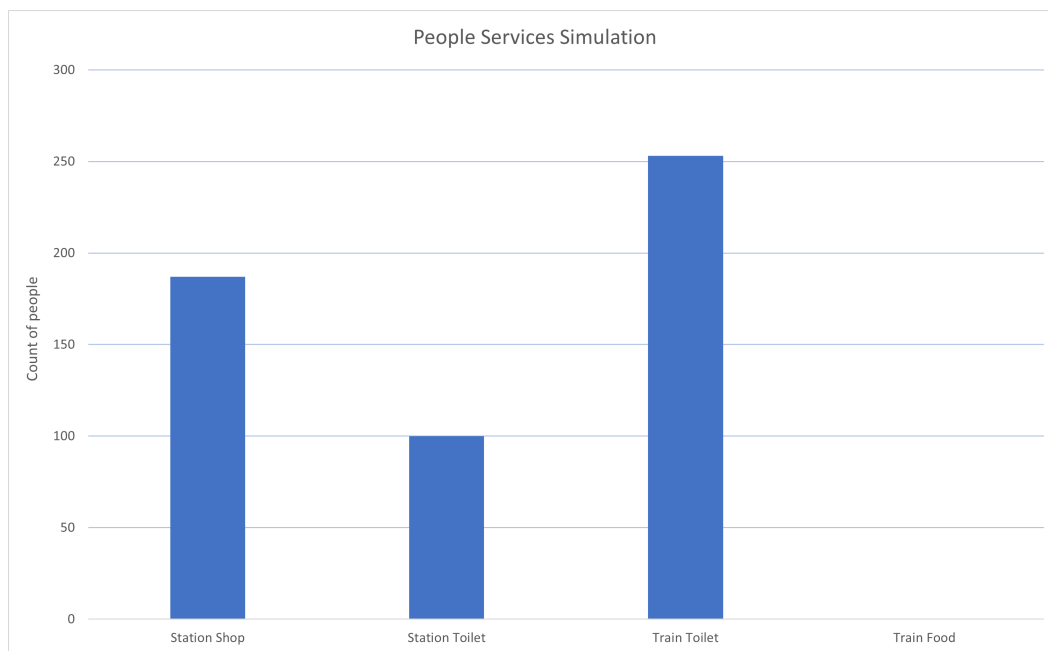
Na základe simulačných experimentov bolo zistené, že priemerné denné meškanie vlaku je necelých 37 minút a siaha až cez hodinu a pol vo vyťaženejších hodinách chodu stanice, kde nastupuje a vystupuje viac ľudí. Do tejto simulácie sme nepočítali rôzne meteorologické podmienky, ktoré by mohli taktiež narušiť jemný priebeh vlaku zo stanice do stanice. V extrémnych prípadoch siahalo toto meškanie až do neskutočných 279 minút. Tento proces zahŕňa čakanie vlakov v stanici a ich samotný presun do ďalšej stanice.



Graf č.1: Meškania vlakov v rámci chodu stanice

### Využívanie staničných a vlakových služieb cestujúcimi

V tomto experimente bol sledovaný pohyb ľudí a teda aj cestujúcich vo vlaku a ich využívanie služieb na stanici a vo vlaku. Pre zjednodušenie týchto experimentov sme rozdelili tieto služby na toalety a nákupy v obchodných domoch. Toalety sme následne rozdelili na toalety na stanici a v jednotlivých vlakoch a nákupy v obchodných domoch na stanici a nákupy občerstvenia vo vlakoch.

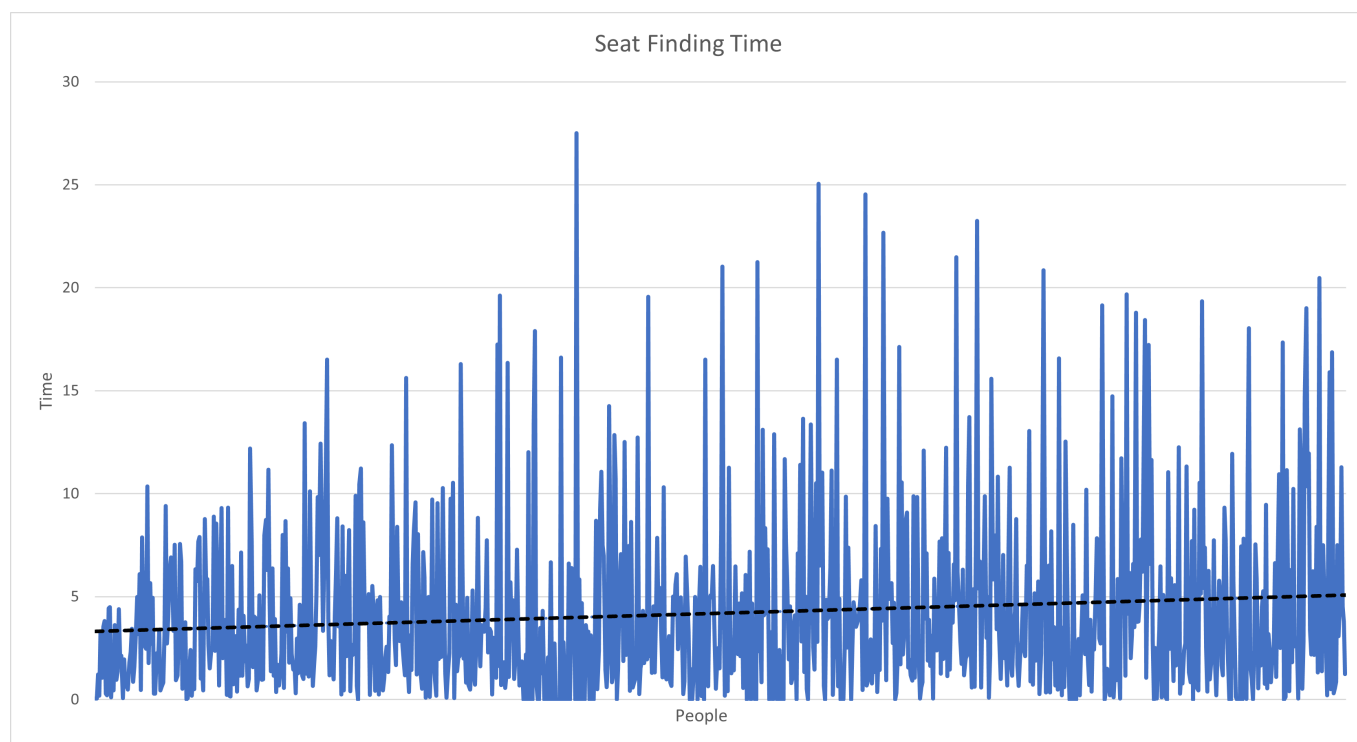


Graf č.2: Využívanie služieb cestujúcimi

Z týchto experimentov sme zistili zásadnú vec, a to, že extrémne málo cestujúcich využíva nákup občerstvenia vo vlakoch, kde pri určených parametroch sa nám objavilo veľa simulácií, kde túto službu nevyužil ani jeden cestujúci. Pri extrémne veľkých hodnotách však túto službu využilo maximálne do 200 cestujúcich, čo bolo na tieto podmienky menej ako 0,05% cestujúcich. Taktiež sme zistili, že cestujúci oveľa viac preferujú toalety v priestoroch vlaku ako na samotnej stanici a to v priemere až o 150%.

### Hľadanie sedadiel cestujúcimi

V tomto experimente bol sledovaný pohyb cestujúcich vo vlaku na začiatku cesty a to konkrétne čas, kedy si cestujúci hľadali svoje miesta vo vlakoch. Zo základných parametrov sme zistili, že tento čas je v priemere 4,19 minúty ale dokáže sa vyšplhať až na necelých 27 minút. Tento čas sa nám nezdal byť reálny a tak sme skúšali viackrát spustiť simuláciu, no v každej bol aspoň jeden záznam, kedy si cestujúci hľadal miesto dlhšie ako 25 minút. Je zaujímavé vidieť, že hľadanie si svojho miesta dokáže zabráť od necelej minúty po skoro pol hodinu. Vďaka tomuto experimentu sme prišli ku jednému z hlavných možných vylepšení systému, ktoré by mohli hlavne pomôcť v znížení času hľadania si svojho sedadla, ktoré opíšeme v zhrnutí.



Graf č.3: Vyhľadávanie miest na sedenie cestujúcich

### Závery experimentov

Každý z experimentov nám dal dôležité dáta a informácie o modelovanom systéme, vďaka ktorým bude možné presne zodpovedať otázky zo začiatku tejto práce a taktiež určiť možné vylepšenia pre tento systém.

## Zhrnutie simulačných experimentov a záver

Z experimentov bolo zistené, že priemerné meškanie vlakov na základe predurčených parametrov bolo 37 minút a môže dosiahnuť aj časov cez hodinu. V extrémnych prípadoch môže dosiahnuť až 4 hodín.

Taktiež sme zistili, že veľmi málo, ak vôbec niekto z cestujúcich využíva možnosť zakúpenia občerstvenia vo vlaku a cestujúci taktiež preferujú toalety vo vlakoch ako tie v priestoroch stanice.

V poslednom rade sme z tohto experimentu zistili, že hľadanie svojho sedadla je pre väčšinu cestujúcich ľahké, keďže priemerné hľadanie je niečo málo cez 4 minúty, ale dokáže pár cestujúcich aj potrápiť, čo môžeme vidieť v grafe číslo 3, kde čas nájdenia sedadla siahla aj cez 25 minút.

Ako možné vylepšenie tohto systému považujeme priradiť určitých zamestnancov staníc kontrolou lístkov pred nástupom a celkovým príchodom vlaku a následné presunutie týchto ľudí na určité miesta na nástupišti, aby keď sa vlak dostaví do stanice, stáli rovno pred vozňom, v ktorom majú svoje sedadlo aby sme znížili čas potrebný na nájdenie svojho miesta vo vlaku.

## Literatúra

- [1] M. H. Petr Peringer, “Modelování a simulace,” <http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>, September 2023.
- [2] V. učení technické v Brně, “Kurz Modelování a simulace,” <https://www.fit.vut.cz/study/course/268245/.cs>, 2023.
- [3] P. Peringer, “SIMLIB dokumentace,” <https://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/doc/html-cz/>, December 8 1997.
- [4] Železničná spoločnosť Slovensko, “Počet cestujúcich aj tržby sa vo vlakoch zssk pomaly vracajú ku predkoronovým časom,” <https://tinyurl.com/y8rsxyr2>, February 1 2023.
- [5] Z. Svoboda, “Poskytované služby ve vlacích dálkové přepravy, jejich kvalita a vliv na strukturu cestujících,” [https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/51677/SvobodaZ\\_Poskytovane%20sluzby\\_JM\\_2013.pdf?sequence=2](https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/51677/SvobodaZ_Poskytovane%20sluzby_JM_2013.pdf?sequence=2), 2013.
- [6] Železnice Slovenskej republiky, “Štatistika - meškanie ic vlakov,” <https://www.zsr.sk/showdoc.do?docid=6190&forceBrowserDetector=blind>, February 13 2015.