

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Simulační studie

Propustnost železniční dráhy

Varianta 5: Model logistiky - rozvoz/transport zboží a materiálu

Obsah

1	Úvod	2
1.1	Autoři a sběr dat	2
1.2	Validita modelu	2
2	Rozbor tématu a použitých metod/technologií	3
2.1	Zastávky	3
2.2	Tratě	3
2.3	Vlaky	3
2.3.1	Osobní doprava	4
2.3.2	Nákladní doprava	4
2.4	Postupy pro vytvoření modelu	4
3	Koncepce	5
3.1	Petriho síť modelu	5
3.2	Naše implementace Petriho sítě	5
3.3	Zanedbané fakta a odůvodnění s případnou kompenzací	5
3.4	Testovací spuštění	6
4	Experimenty	6
4.1	Validita modelu	6
4.2	Mobilizace evropy	6
4.3	Vítězství na východě	7
4.4	Titanové koleje	7
5	Zhodnocení výsledků	8

1 Úvod

Cílem naší práce bylo vymodelovat[1, snímek 8] železniční dopravu na trase Bohumín - Mosty u Jablunkova a zjistit propustnost na této trati a nejslabší části. Jelikož žijeme v době zelené, postupně produkujeme čistější energii, tak je logické, že chceme přesměrovat nákladní dopravu na ekologicky čisté vlaky, proto chceme zjistit jak moc je tento průmyslově důležitý koridor připraven na zvýšení železniční dopravy. Také chceme zjistit, kolik Ačkoliv si uvědomujeme, že SŽ samotné nepřeváží žádné materiály, tak jejich produkt to umožňuje a úzce souvisí s převozem materiálů a zboží. Proto doufáme, že jsme splnili zadání, ikdyž jemně vybočuje.

1.1 Autoři a sběr dat

Projekt vypracovali studenti Alexej Beňuš a Patrik Olszar z Fakulty informačních technologií Vysokého učení technického v Brně. Data byly posbírány z následujících zdrojů informací

- Jízdní řády
 - ČD
 - RegioJet
 - Leoexpres
- Přehled nákladních vlaků byl získán konzultací se strojvedoucím jezdícím na trati už přes 30 let.
- Tabulka traťových poměrů - Trať 301[3]
 - Nepovedlo se nám dohledat nejaktuálnější verzi této knihy online, proto je v citaci verze z roku 2010. Naše data pocházejí z fyzické verze z roku 2014. Nejnovější verze je z roku 2020, je v nich upravena pouze rychlost na trati, kterou máme aktuální díky konzultovaného strojvedoucího. Počty návěstidel a délka trati se v průběhu posledních let neměnila.

Naše výsledky byly zkonzultovány se strojvedoucím Miroslavem Beňušem (benusm@seznam.cz).

1.2 Validita modelu

Validita [1, snímek 37]našeho modelu byla ověřena průběžným testováním, naše výsledky jsme porovnali s jízdními řády a nákladní dopravu jsme poskytli konzultantovi ke kontrole, výsledky potvrdily validitu modelu 4.1. Stejně nám potvrdil validitu nákladních vlaků konzultovaný strojvůdce.

2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Simulovaný systém [1, snímek 7] představuje pohyb osobních i nákladních vlaků jezdících na trati 301(Bohumín - Mosty u Jablunkova).

2.1 Zastávky

V naší trati jsme popsali všechny zastávky ve kterých můžou nákladní vlaky skončit a vyjždět. Každá stanice má určitý počet kolejí, kde můžou vlaky stát. Všechny zastávky kde stojí osobní vlaky jsme nemodelovali, protože je to pro náš model zanedbatelné. Všechny osobní vlaky začínají v Mostech u Jablunkova a pokračují přes Bohumín až do Ostravy, takže je ukončujeme v Bohumíně. Stejnou filozofii jsme udělali pro rychlíky. Všechny směrem na Slovensko začínají v Bohumíně, rychlíky směrem na Ostravu se trochu liší, pravděpodobnosti jsou popsány v tabulce níže 4.

Stanice	Kapacita
Bohumín	50
Dětmarovice	9
Karviná	5
Louky nad Olší	7
Český Těšín	12
Třinec	11
Mosty u Jablunkova	4

Tabulka 1: Tabulka stanic

2.2 Tratě

Každá trať mezi zastávkami zastávky má jinou délku, jiný počet návěstidel a svou specifickou rychlost. Tratě jsou popsány jedním směrem, jelikož mají stejné parametry i směrem opačným. V průměrné rychlosti je započítána maximální rychlost na trati, rozjezd a zabrzdění vlaku. Návěstidla na trati značí kdy může vyjet další vlak. To znamená že na trati může být pouze tolik vlaků kolik tam je návěstidel. Mezi jednotlivými stanicemi jsou vždy 2 koleje. Vlaky jezdí po pravé straně.

Trať	Vzdálenost[m]	Počet návěstidel	Čas na ujetí trasy jednoho návěstidla[min]
Bohumín → Dětmarovice	8494	5	1,4561
Dětmarovice → Karviná	6729	6	0,9613
Karviná → Louky nad Olší	8108	5	2,4324
Louky nad Olší → Český Těšín	6351	3	1,5878
Český Těšín → Třinec	8561	6	1,0072
Třinec → Mosty u Jablunkova	20480	20	0,7680

Tabulka 2: Tabulka tratí

2.3 Vlaky

V modelu jsme modelovali jak osobní tak nákladní dopravu. Osobní doprava se skládá z osobních vlaků a všech typů rychlíků od společností - ČD, RegioJet, LeoExpress. Nákladní doprava se skládá z nákladních vlaků společností - ČD Cargo, Cargo PL, Cargo SK, Cargo Motion, ODOS, Slovakia Rail. Data o vlacích nákladní dopravy jsme získali od konzultanta. Data pro osobní dopravu jsme získali z jízdních řádů.(V době odevzdání jsou již neaktuální, protože se v prosinci mění jízdní řády...)

2.3.1 Osobní doprava

V tabulce osobních vlaků je napsaný počet vlaků celkově a % šance odkud vlak vyjede. U vlaků pokračující mimo naši vymodelovanou trať předpokládáme jejich zánik, existují na jiné námi nezpamované trati. Vlak ze Třince a Mostů pokračují na Bohumín. Vlak z Bohumína pokračují na Mosty u Jablunkova.

Stanice	Šance[%]
Bohumín	50
Mosty u Jablunkova	50
Celkový počet	38

Tabulka 3: Osobní vlaky

Stanice	Šance[%]
Bohumín	50
Třinec	11
Mosty u Jablunkova	39
Celkový počet	28

Tabulka 4: Rychlíky

2.3.2 Nákladní doprava

U nákladních vlaků tabulka vypadá jinak. U nákladního vlaku nás nezajímá co veze ani kam to veze, nicméně můžou končit i v jiných stanicích případně jet na jiné tratě než osobní vlaky - jmenovitě například u Karviné zajíždějí k uhelným dolům nebo v Třinci zajíždějí do Třineckých Železáren. Také předpokládáme, že vlak, který přijede do stanice, ze stanice musí vyjet. Trať je modelované jako přímka - výchozí bod vlevo je Bohumín, poté následují stanice po stanici až do nejpravější stanice Mosty u Jablunkova.

Stanice	Zánik vlaku[%]	Cesta doleva[%]	Cesta doprava[%]
Bohumín	50	0	50
Dětmarovice	5	45	50
Karviná	9	41	50
Louky nad Olší	12	42	46
Český Těšín	12	38	50
Třinec	23	39	36
Mosty u Jablunkova	50	50	0

Tabulka 5: Nákladní vlaky

2.4 Postupy pro vytvoření modelu

Podle dat co jsme nasbírali ze všech našich zdrojů jsme sestavili abstraktní model [1, snímek 43] a sestavili Petriho síť [1, s. 126] reprezentující systém. Poté jsme model implementovali v jazyce C++ za použití knihovny SIMLIB [2], která umožňuje jednoduché vytváření diskretních simulátorů. Následně jsme nad systémem prováděli validaci systému. Podle zjištěných hodnot jsme upřesňovali parametry aby náš model co nejvíce odpovídal realitě. Po dosažení realistických výsledků jsme začali nad modelem provádět námi vymyšlené simulační experimenty [1, snímek 276] na testování železniční sítě.

3 Koncepce

3.1 Petriho síť modelu

Naše Petriho síť není principiálně složitá, nicméně je velice rozsáhlá, proto jsme se rozhodli přiložit ukázkovou Petriho síť na vysvětlení a nepřikladat reálný rozsah naší Petriho sítě. Na obrázku 1 lze vidět koncept naší petriho sítě. Lze vidět 3 zastávky - A B C. Každá stanice generuje vlaky za určitý časový interval. V každé stanici je určitá šance jízdy vlaku doprava, doleva a na zánik. Mezi stanicemi jsou jednotlivé tratě. Na trati $A \Leftrightarrow B$ jde vidět, že každý směr má 2 návěstidla, pro trať $B \leftrightarrow C$ jsou návěstidla 3. Ve stanici A se generuje vlak každých $\exp(5)[1, \text{snímek 91}]$ (exponenciální rozdělení), ve stanici B $\exp(15)$ a ve stanici C $\exp(8)$. Vlaky ve stanici A mají šanci 50% na to, že tam skončí a 50% šanci, že pojedou do stanice B. Stejně šance jsou u stanice C. Ve stanici B končí méně vlaků, takže vlaky mají větší šanci na to projet do stanice A a C.

3.2 Naše implementace Petriho sítě

Výše zmíněnou Petriho síť máme implementovanou mezi všema našimi zastávkami s příslušnými daty pro každou stanici. Na obrázku 2 jde vidět jak přesně máme modelovanou železniční trasu. Data k železniční trati jsou viděny v tabulkách popsanych výše 5 3 4. Osobní vlaky a rychlíky mají fixní trasu. Nákladní vlaky nemají fixní trasu, jejich trasa se určuje procentuálně dle dat získaných z našeho výzkumu. V naší implementaci se jako nejlevější stanice bere Bohumín a nejpravější stanice Mosty u Jablunkova. Osobní a rychlíková doprava se objevuje v pravidelných intervalech od 4 do 23 co 57 minut. Nákladní doprava se generuje každý den exponenciálně v každé stanici jinak, podle pravděpodobností popsanych v tabulce 5.

3.3 Zanedbané fakta a odůvodnění s případnou kompenzací

- Zastavování a rozjíždění vlaků jsme připočítali do průměrné rychlosti. Zpomalování vlaků se totiž liší vlak od vlaku, náklad od nákladu i místo od místa, takže jsme vybrali nejprůměrnější čísla co nám vyšly a ty jsme dosadili.
- Také zanedbáváme vykládání a nakládání vlaků, ikdyž na první pohled to může vadit, tak to nevádí - náklad a výklad vlaků probíhá na kolejích tomu určených a ty nijak neovlivňují zbytek sítě, vlak ukončíme ve stanici a ve stejné stanici má šanci na to se znovu vygenerovat.
- Vybrali jsme pouze návěstidla, které zaručují bezpečnou dojezdovou vzdálenost pro nákladní vlaky (délka trati $> 1200\text{m}$), toto by nemělo nijak viditelně zkreslit výsledky naší simulace.
- Zanedbáváme vlaky projíždějící Bohumínem. Například trasa Vídeň - Katowice, vlak projíždí Bohumínem. Bohumín má dostatečnou kapacitu pro tyto vlaky, takže toto zanedbání není problém.
- Zanedbáváme také spoje z Českého Těšína na Frýdek Místek a Opavu (přes Havířov). Tyto spoje mají vlastní koleje vedoucí jiným směrem, jediné co jsme kvůli tohoto museli kompenzovat byla kapacita Českého Těšína kterou jsme snížili o 1. V nejhorším případě bychom museli snížit kapacitu o 2, ale to z našeho úsudku vyplynulo jako zbytečné, jelikož tato situace nastane jednou za hodinu na 1 minutu a proto počítáme s tím, že je to zanedbatelné.
- Jízda po obou kolejích stejným směrem. Na trati je možná jízda po obou kolejích stejným směrem. Nebereme to v potaz jelikož stejný počet vlaků jede oběma směry a také se jízda stejným směrem po obou kolejích využívá spíše výjimečně.

3.4 Testovací spuštění

Program umožňuje speciálně spustit a globálně ovlivnit počet nákladních vygenerovaných počet vlaků pomocí $-m$ [number] number je double a znázorňuje násobek generace vlaků. Čísla < 0 budou generaci zvětšovat. Čísla > 0 budou generaci zmenšovat. Funguje na principu dělení času exponenciálního rozložení generátoru vlaků. Také existuje přepínač $-d$ [number], ta určuje počet dní kolik se odsimuluje, v základu 7, typ int;

4 Experimenty

Zvolili jsme experimenty na testování propustnosti železniční sítě založené na vymyšlených událostech inspirovaných v reálném životě. Experimenty chceme zjistit jestli je SŽ připraveno na budoucnost, nebo si jejich zakázky rozeberou zahraniční firmy a budou materiál transportovat Koridorem v Polsku, případně koridorem jižním Slovenskem.

4.1 Validita modelu

Validita modelu byla potvrzena strojvedoucím podle dat, které nám vyšly při spuštění. Nákladní doprava splňuje časy příjezdů a odjezdů jako v realitě. Stejně správně nám vyšly osobní vlaky.

Experiment osobních vlaků probíhal na celé trase Mosty u Jablunkova \leftrightarrow Bohumín. Experiment probíhal týden. Hodnota v tabulce je průměrná hodnota za časové období. Pokud není specifikovaná trasa předpokládá se Bohumín \leftrightarrow Mosty u Jablunkova.

Naše výsledky [min]	Jízdní řády [min]
67.47	66

Tabulka 6: Experiment 1, validita modelu, osobní vlak

Trasa	Naše výsledky [min]	Jízdní řády [min]
Bohumín \leftrightarrow Mosty u Jablunkova	42.53	43
Bohumín \leftrightarrow Třinec	30.61	31

Tabulka 7: Experiment 1, validita modelu, rychlík

Naše výsledky [min]	Odhad strojvedoucího [min]
51.06	50

Tabulka 8: Experiment 1, validita modelu, nákladní vlak

Tento experiment potvrdil, že je náš model validní, vzhledem k jízdnímu řádu a datům poskytnutým strojvedoucím. Tímto pokusem jsme demonstrovali, že je model validní, až na data o rychlících.

4.2 Mobilizace evropy

Válka na Ukrajině se nevyvíjí podle představ, USA přestane kvůli politické vůli podporovat Ukrajinu. Rusko začne postupovat a státy západní Evropy začínají jednat.. Proto na Ukrajinu začnou posílat munici, zbraně a tanky. Provoz nákladní dopravy z Bohumína se bude postupně zvedat. Experiment zase probíhal v časovém intervalu týden.

Z experimentu vyšlo, že nákladní doprava může být až 20x násobná, než se začne ucpávat. To znamená, že začne se ucpávat v Karvině, jelikož jízda z Karvině do Louk nad Olší trvá déle než na zbytku trasy. Nicméně i

Zastávky	Ucpání *2	*10	*20	*21
Bohumín	0	0	0	0
Dětmarovice	0	0	0	0
Dolní Lutyně	0	0	0	0
Karviná	0	0	4	8
Louky nad Olší	0	0	0	0
Český těšín	0	0	0	0
Třinec	0	0	0	0
Mosty u Jablunkova	0	0	0	0

Tabulka 9: Experiment 2, Mobilizace Evropy, nákladní vlak

při dvacetinásobné dopravě je výsledek velice dobrý a vlaky v karvině čekaly jenom pětkrát.

4.3 Vítězství na východě

Po masivním vyzbrojení Ukrajiny a vítězství ve válce, musí Ukrajina začít zplácet své dluhy. Dluhy bude zplácet dovozem levného obilí, železa a uhlí. Zároveň díky investicím ze západu začla ve větším těžit titan (6. největší těžitel na světě¹) a galium (2. největší těžitel na světě) jako náhradu za křemík² pro nově vznikající trh s čipy – po dobytí Taiwanu Čínou nebude dostatek křemíku pro západní svět. Vlaky z Mostů se budou postupně zvyšovat.

Zastávky	Ucpání *2	*5	*6	*10
Bohumín	0	0	0	0
Dětmarovice	0	0	0	0
Dolní Lutyně	0	0	0	0
Karviná	0	0	0	0
Louky nad Olší	0	0	0	0
Český těšín	0	0	0	0
Třinec	0	0	0	0
Mosty u Jablunkova	0	0	1	3

Tabulka 10: Experiment 2, Mobilizace Evropy, nákladní vlak

Při šestinásobné dopravě ze slovenska jsme zaznamenali první seknutí vlaku. Vlak musel čekat v Mostech u Jablunkova. Ze Slovenska je mnohem větší doprava nákladních vlaků než z Bohumína, takže tento výsledek byl očekávaný.

4.4 Titanové koleje

Po dovozu titanu z Ukrajiny, je ho takový nadbytek, že je levnější než železo. SŽ se proto rozhodlo nahradit koleje kolem stanice Karviné. Ta do této doby trpěla velkým poddolováním, proto je maximální rychlost vlaků v tomto úseku jenom průměrně 38km/h a jak vyšlo z experimentů, je to nejslabší místo celé tratě. To se změní s titanovými koleji. Rychlost se srovná se zbytkem tratě. Pro zátěžový test nových kolejí, zkusíme znovu přepravovat vojenský materiál Ukrajině.

¹<https://ukraineinvest.gov.ua/en/industries/mining/>

²<https://www.allaboutcircuits.com/news/GaN-replace-silicon-applications-limitations-gallium-nitride/>

Zastávky	Ucpání *2	*10	*20	*27
Bohumín	0	0	0	0
Dětmarovice	0	0	0	0
Dolní Lutyně	0	0	0	0
Karviná	0	0	0	5
Louky nad Olší	0	0	0	0
Český těšín	0	0	0	0
Třinec	0	0	0	0
Mosty u Jablunkova	0	0	0	1

Tabulka 11: Experiment 3, Titanové koleje na Karvinsku, nákladní vlak

Z experimentu vyšlo, že při srovnání rychlosti na Karvinské trati, se vlaky nebudou sekat. Sekat se začnou až při dvacetisedminásobné zátěži z Bohumína.

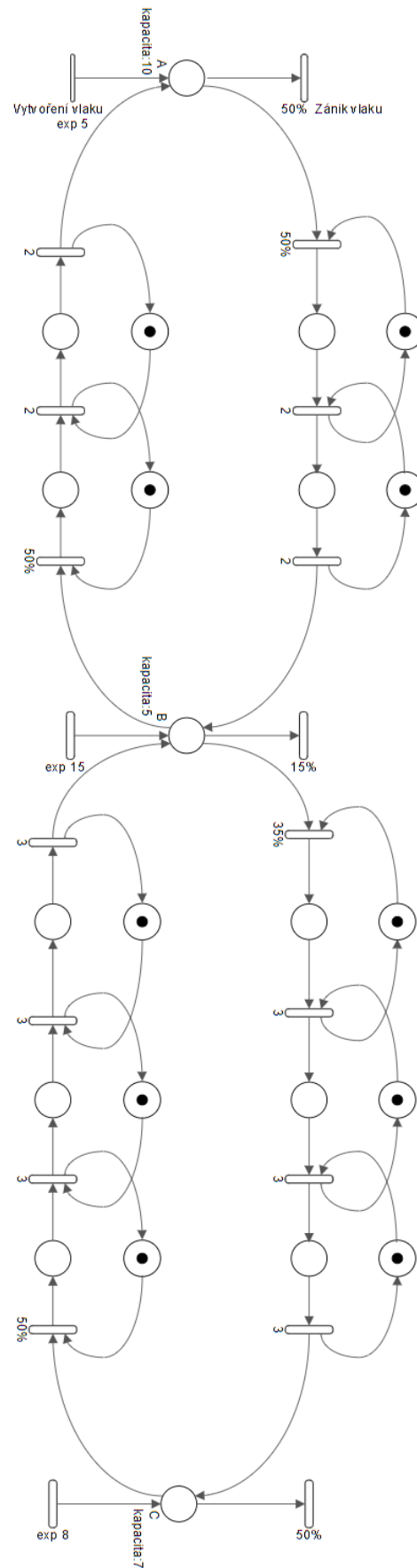
5 Zhodnocení výsledků

Původně jsme chtěli dokázat, kde by měla SŽ na této trati investovat aby v budoucnu ztratili co nejméně peněz. Z výsledků našich experimentů jsme zjistili, že trať má nadčasové kapacity. Největší problém bude tvořit Karvinský úsek, kde je omezená rychlost a při větší zátěži sítě, tam bude vznikat zpoždění na dopravě. Další rozumná investice do železnice je možná na úseku u Mostů u Jablunkova. Nicméně tam je problém v jednom z největších kopců na železniční trati³ a ten by se musel řešit nákup silnějších mašin a zvednutím rychlosti na úseku a ne železniční úpravou. Jak se ukázalo kapacita nebude pro tuto trať problém, problém bude rychlost trati.

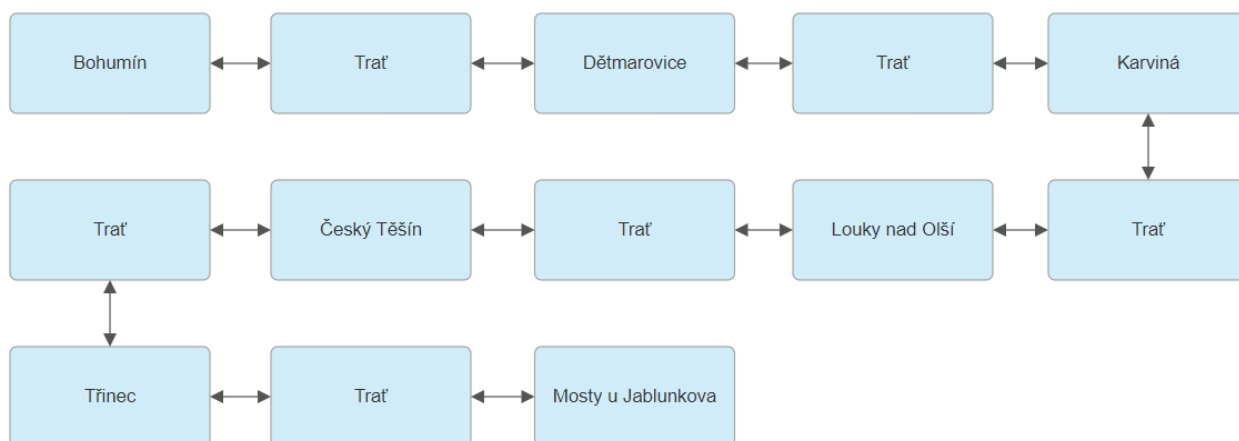
³<https://www.zelpage.cz/clanky/sotousuv-pruvodce-po-cesku-a-slovensku—kosicko-bohuminska-draha>

Odkazy

- [1] Petr Peringer a Martin Hrubý. *Modelování a simulace, Text k přednáškám kursu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně*. [online]. [vid. 2023-12-09]. 14. září 2023. URL: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>.
- [2] Petr Peringer, David Leska a David Martinek. *SIMLIB/C++ (SIMulation LIBrary for C++)*. [online]. [vid. 2023-12-09]. 8. listopadu 2022. URL: <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB>.
- [3] Správa železnic. *TTP: 301*. [online]. [vid. 2023-12-09]. URL: https://www.k-report.net/discus/archiv2010/28/301A_1-199479.pdf.



Obrázek 1: Demonstrace naší Petriho sítě



Obrázek 2: Naše železniční síť