

**Vysoké učení technické v Brně**  
**Fakulta informačních technologií**

**Technická zpráva k projektu z předmětu**  
**IMS**

**Zadání: SHO v logistice**

**Autoři: Vanessa Jóriová, xjorio00**  
**Ondřej Zelinka, xzelin25**

**Datum: 12. 12. 2021**

# 1. Úvod

Tato práce implementuje model menší firmy, která využívá logistických služeb jiných firem pro dopravu produktů. Celá práce má za úkol zmapovat, zda a za jakých podmínek by se mohlo firmě vyplatit zaměstnání vlastního řidiče, který by měl logistiku produktů na starosti.

Firma sídlí ve městě Holešov. Toto město leží nedaleko města Zlína ve Zlínském kraji. Zákazníci jsou však z různých míst po celé České republice.

Smyslem experimentů je tedy ukázat firmě, zda se především s ohledem na její umístění dá za dopravu ušetřit skrze zaměstnání řidiče a také definovat podmínky, které by byly potřeba splnit, aby k této úspoře mohlo dojít.

## 1.1. Autoři

Na projektu pracovali studenti Vysokého učení technické a to Vanessa Jóriová a Ondřej Zelinka, oba z Fakulty informačních technologií.

Informace byly získány od majitele firmy, pana Košáka, při jednom sezení, při kterém nám dal pár podnětů k provádění experimentů s vlastním dopravcem zboží.

## 1.2. Validita modelu

Keďže sa jedná o hypotetickú úpravu existujúceho systému [1, snímok 7] , nemožno validitu [1, snímok 37] modelu [1, snímok 7] dokázať porovnaním reálnych dát a získaných výstupov. Systém je však postavený na reálnych dátach získaných od pána Košáka a výsledky konzultované. Špeciálna pozornosť bola venovaná výpočtu vzdialenosti a trvaniu jednotlivých donášok - vodič si vyskladá pseudo-optimálnu trasu podľa destinácií. Výpočet dĺžky trasy a jej trvania je založený na [3], konzultovaný a na základe týchto konzultácií kalibrovaný, aby výstupy čo najviac odpovedali realite (viac v sekcii 4). Na základe týchto konzultácií a sledovaní výstupných hodnôt prehlasujeme, že model je v rámci nám poskytnutých dát validný.

## 2. Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Firma se specializuje na prodej pneumatik, a to pro širokou škálu vozidel, od zahradních traktorů přes osobní auta a přívěsy až případně po traktory. Dostává množství objednávek každý den, které je třeba dopravit na adresu zákazníků rozmístěných po celé republice.

Sídlo firmy, stejně tak jako její sklady, jsou ve městě Holešov ve Zlínském kraji. Pro dopravu firma využívá služeb společnosti TOPTRANS EU, a.s. [2]. Cenník služeb této společnosti byl využitý na aproximáciu nákladov na rozvezenie zásielok externým dopravcom. [4].

Na základě informací podaných majitelem model počítá s následujícími hodnotami. Každý den proběhne 2 až 8 objednávek. Dále nakládání trvá 2 až 5 minut. Vykládání nákladu u zákazníka trvá také v rámci 2 až 5 minut.

Samotná trasa vedoucí po České republice zabírá ve většině případů čas v řádech hodin. Vycházíme z odborné knihy: Atlas dopravní dostupnosti v České republice [3].

Většina objednávek produktů, které firma vyřizuje je o hmotnosti do 50 kg, jak nás ubezpečil majitel podniku. Firma tedy využívá především logistiku produktů o této hmotnosti. Proto také počítáme s touto hmotností v modelu.

Pro rozvoz pneumatik byl zvolen Ford Transit Van MCA [4] a to pro jeho prostory a spotřebu. Vozidlo má spotřebu 10,5 l / 100 km a kapacitu 50 zásilek. Svou maximální kapacitu při 2 až 8 objednávkách denně nepřevyšuje.

Medzi priame náklady roznášky uvažujeme cenu paliva v závislosti od spotřeby auta a náklady na vodiča v podobe hodinovej mzdy. Priemerná hodinová mzda vodiča bola zistená z [7], aktuálna cena nafty bola stanovená na 35.65 podľa [8] v dni 7.12.

### 2.1. Použitý postup vytváření modelu

Prvně jsme nasbírali data od majitele firmy. Po získání dat následovalo vytvoření Petriho sítě [1, snímek 123]. Síť jsme implementovali v jazyce C++ pomocí knihovny SIMLIB [1, snímek 163].

## **2.2. Původ použitých technologií**

Pre implementáciu programu boli použité štandardné funkcie jazyka C++ [5] a knižnica SIMLIB získaná z [6].

### 3. Koncepce - modelářská témata

Navrhnutý model je vo svojej podstate systém hromadnej obsluhy [1, snímok 136]. Zameriava sa na exportovanie zásielok bez ohľadu na proces predchádzajúci ich vychystaniu - do systému pribúdajú zásielky už vychystané na export. Tie sú následne naložené a rozvezené koncovým zákazníkom.

Model pracuje se vzájemnou vzdáleností krajů, která byla odvozena z Atlasu dopravní dostupnosti v České republice [3], který se této problematice věnuje a graficky znázorňuje dopravní dostupnost míst v České republice od krajských měst. Vzdálenosti jsou zapsány jako vzdálenost každého kraje od každého kraje na základě podaných informací.

kraj / čas v minutách	Zlínský kraj	Moravskoslezský kraj	Jihomoravský kraj	Olomoucký kraj	Kraj Vysočina	Jihočeský kraj	Plzeňský kraj
Zlínský kraj	N(30,400)	N(90,400)	N(90,900)	N(80, 400)	N(150, 900)	N(240, 900)	N(240, 900)
Moravskoslezský kraj	N(90,400)	N(90,900)	N(120,900)	N(90,900)	N(150, 400)	N(270, 900)	N(270, 900)
Jihomoravský kraj	N(90,900)	N(120,900)	N(30,400)	N(80, 900)	N(120, 900)	N(180,900)	N(180,900)
Olomoucký kraj	N(80, 400)	N(90,900)	N(80, 900)	N(40, 900)	N(100,900)	N(210,900)	N(210,900)
Kraj Vysočina	N(150, 900)	N(150, 400)	N(120, 900)	N(100,900)	N(40, 200)	N(120,900)	N(150,900)
Jihočeský kraj	N(240, 900)	N(270, 900)	N(180,900)	N(210,900)	N(120,900)	N(40,900)	N(100,900)
Plzeňský kraj	N(240, 900)	N(270, 900)	N(180,900)	N(210,900)	N(150,900)	N(100,900)	N(40,900)
Karlovarský kraj	N(270,900)	N(300,900)	N(210,900)	N(240,900)	N(150,900)	N(150,900)	N(60,900)
Středočeský kraj	N(180,900)	N(210,900)	N(120,900)	N(150,900)	N(120,900)	N(90,900)	N(60,900)
Praha	N(180,100)	N(210,100)	N(120,100)	N(150,100)	N(120,100)	N(90,100)	N(60,100)
Královéhradecký kraj	N(150,900)	N(150,900)	N(120,900)	N(90,900)	N(120,900)	N(150,900)	N(150,900)
Pardubický kraj	N(120,400)	N(150,900)	N(90,900)	N(90,900)	N(90,900)	N(150,900)	N(150,900)
Liberecký kraj	N(210, 900)	N(210, 900)	N(180,900)	N(150,900)	N(150,900)	N(150,900)	N(150,900)
Ústecký kraj	N(240,100)	N(270,900)	N(180,900)	N(210,900)	N(150,900)	N(150,900)	N(120,900)

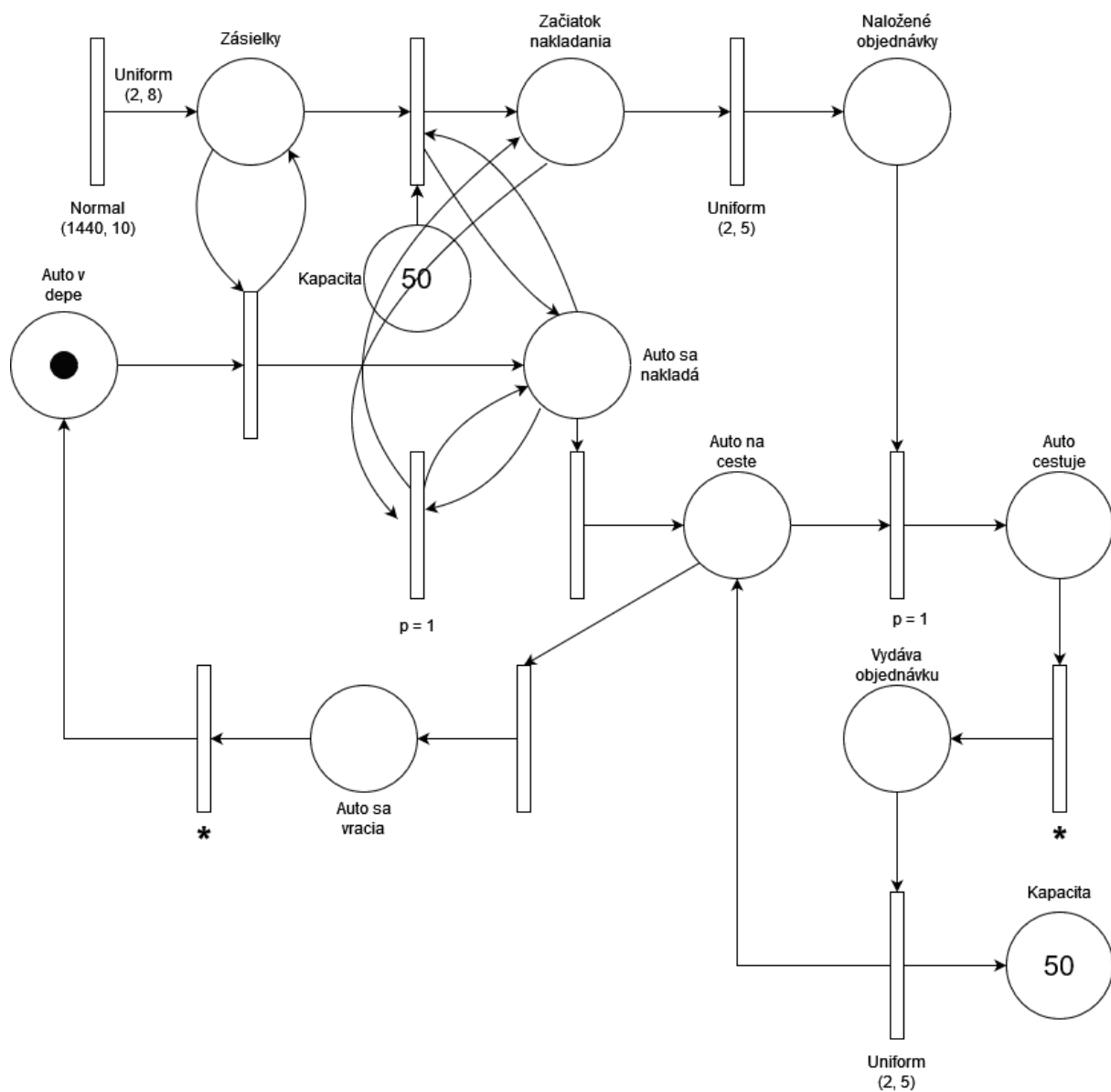
kraj / čas v minutách	Karlovarský kraj	Středočeský kraj	Praha	Královéhradecký kraj	Pardubický kraj	Liberecký kraj	Ústecký kraj
Zlínský kraj	N(270,900)	N(180,900)	N(180,100)	N(150,900)	N(120,400)	N(210, 900)	N(240,100)
Moravskoslezský kraj	N(300,900)	N(210,900)	N(210,100)	N(150,900)	N(150,900)	N(210, 900)	N(270,900)
Jihomoravský kraj	N(210,900)	N(120,900)	N(120,100)	N(120,900)	N(90,900)	N(180,900)	N(180,900)
Olomoucký kraj	N(240,900)	N(150,900)	N(150,100)	N(90,900)	N(90,900)	N(150,900)	N(210,900)
Kraj Vysočina	N(150,900)	N(120,900)	N(120,100)	N(120,900)	N(90,900)	N(150,900)	N(150,900)
Jihočeský kraj	N(150,900)	N(90,900)	N(90,100)	N(150,900)	N(150,900)	N(150,900)	N(150,900)
Plzeňský kraj	N(60,900)	N(60,900)	N(60,100)	N(150,900)	N(150,900)	N(150,900)	N(120,900)
Karlovarský kraj	N(30,400)	N(90,900)	N(90,100)	N(150,900)	N(150,900)	N(150,900)	N(120,900)
Středočeský kraj	N(90,900)	N(40,900)	N(20, 400)	N(90,900)	N(90,900)	N(90,900)	N(60,900)
Praha	N(90,100)	N(20, 400)	N(15,100)	N(90,900)	N(90,900)	N(90,900)	N(60,900)
Královéhradecký kraj	N(150,900)	N(90,900)	N(90,900)	N(40,400)	N(50,400)	N(60,900)	N(120,900)
Pardubický kraj	N(150,900)	N(90,900)	N(90,900)	N(50,400)	N(40,400)	N(90,900)	N(120,900)
Liberecký kraj	N(150,900)	N(90,900)	N(90,900)	N(60,900)	N(90,900)	N(40,400)	N(90,900)
Ústecký kraj	N(120,900)	N(60,900)	N(60,900)	N(120,900)	N(120,900)	N(90,900)	N(40,400)

Model pracuje se vzájemnou vzdáleností krajů, která byla odvozena z Atlasu dopravní dostupnosti.

### 3.1. Způsob vyjádření modelu

Navržený model je znázorněním skutečného systému fungování pracovníků a zdrojů v dané firmě. Model implementuje situaci s využitím jednoho auta pro dopravu produktů k zákazníkům. Model je vizualizovaný pomocí Petriho sítě.

### 3.2. Forma modelu



Obrázek 1: Petriho sít' systému

Na obrázku 1 je vyobrazena Petriho sít' fungování systému. Tato sít' znázorňuje provoz ve firmě od generování objednávek produktů, přes nakládání automobilu po jeho předpokládanou cestu.

V časovom intervale normálneho rozdelenia so stredom 24 hodín do systému pribudne 2-8 zásielok. Tie sú následne po dobu 2-5 minút nakladané. Po skončení nakladania vyrazí auto na cestu. Po docestovaní k zákazníkovi vydáva objednávku (doba 2-5 minút). Po roznesení všetkých donášok sa vracia do depa.

Přechody s dobou označenou \* značí čas rozvozu na trase, kdy trasa závisí na počtu produktů a kraji, do kterého má být doručen. Výpočet této doby je popsán v sekci níže.



## 4. Architektura simulačného modelu/simulátoru

Jadrom celej simulácie je podtrieda SIMLIB triedy *Process*, *Car*, ktorá zastupuje proces auta. Auto je ústredným prvkom celej simulácie – po pripravení objednávok na expedíciu je naložené a vypravené na cestu. V rámci tejto roznesie všetky objednávky koncovým zákazníkom a vracia sa do bodu, z ktorého vyrazilo.

Po spustení simulácie sa aktivuje podtrieda SIMLIB triedy *Event PackagePrep*, ktorá vygeneruje udalosť reprezentujúcu vychystanie objednávok na vývoz. Následne sa aktivuje proces auta, ktorý za určitú dobu naloží všetky zásielky (implementuje metóda *LoadPackage()*). Následne vyberie nasledujúcu zastávku (metóda *TravelToClosest()*) a doručí zásielku (metóda *DeliverPackage()*). Metóda *ReturnToDepo()* implementuje návrat auta do konečného bodu.

Pre potreby simulácie sme v rámci tejto triedy implementovali pokročilejší spôsob výpočtu vzdialeností (metóda *TravelToClosest()* a pridružené) medzi jednotlivými zastávkami auta. Firma, ktorej chod sme simulovali, roznáša objednávky po celej republike. Spriemerovanie možných vzdialeností v rámci celej republiky sa ukázalo ako nedostatočné pre potreby našej simulácie, museli sme teda implementovať spôsob, ktorý lepšie reflektuje variabilitu trasy.

Rozdelili sme teda republiku na zóny v podobe krajov. Každá objednávka (implementovaná triedou *Package*) obsahuje informáciu o kraji, v ktorom sa nachádza. Trasa rozvozu vypočíta metódou najbližšieho suseda [9] poradie krajov, v akom bude objednávky vybavovať. Vzdialenosť medzi kraji určuje normálne rozdelenie zistené z [3], popísané v sekcii vyššie.

Tak sme získali model, ktorý realite odpovedal viac. Najväčším problémom bol fakt, že s počtom rastúcich zásielok v kraji takmer úmerne rástla aj doba trvania roznášky a prejdená vzdialenosť. V realite však dochádza k optimalizácii roznášky aj v rámci kraja – pokiaľ má vodič roznieť v rámci kraja väčšie množstvo zásielok, trasu si určitým spôsobom optimalizuje a to, že by dĺžka roznášky niekoľkonásobne presiahla dĺžku kraja, je nepravdepodobné – v rámci našej simulácie sa však stávalo, že vodič pri roznáške viacerých zásielok v rámci kraja niekoľkonásobne prekonal najväčší okruh, aký by v rámci kraja mohol opísať (overované pomocou [10]).

Vyššie popísané skutočnosti sme konzultovali s p. Mračkom, ktorý má pracovné skúsenosti s rozvozom tovaru (iného typu). V rámci modelu rátame po sebe idúce zastávky v rámci jedného kraja. S rastúcim počtom po sebe idúcich zastávok sa znižuje doba presunu a vzdialenosť medzi týmito zastávkami - vypriemerovanie takýchto vzdialeností aproximuje jav optimalizácie donášok v rámci kraja, o ktorom bolo písané vyššie.

Táto úprava viedla k realistickejším výstupným hodnotám modelu, ktoré reflektovali rozloženie zastávok v rámci krajov a počet zastávok v nich.

## 5. Podstata simulačných experimentů a jejich průběh

### 5.1. Postup experimentovania

Počiatočným experimentovaním bolo sledovanie behu modelového systému s vlastným dopravcom a toho, či je schopný plnohodnotne nahradiť činnosť externého dopravcu. Pokračovali sme testovaním zmeny vstupných parametrov a miere ich vplyvu na výstupné hodnoty. Experimenty zisťujúce výstupné hodnoty prebiehali vo vysokom počte (100 000) iterácií pre dostatočné pokrytie variability hodnôt modelového systému. Sledovali sme konkrétne dôležité výstupné hodnoty každej iterácie a ich štatistiky - minimum, maximum, priemer a štandardné odchýlky. Experimenty 1-4 popisujú tematické celky s jednotným cieľom, do ktorých sme vykonané experimenty zaradili.

### 5.2. Experimenty

#### 5.2.1. Experiment 1

Cieľom prvého experimentu bolo sledovanie modelového systému s vlastným vodičom miesto externého dopravcu. Externý dopravca je v rámci modelovaného systému po vychystaní zásielok vždy k dispozícii. To je kľúčová skutočnosť, ktorú nesmel vlastný vodič narušiť.

Na generovanie zásielok sme použili reálne hodnoty. Pre lepšiu predstavu o modelovom systéme sme najprv nasimulovali 7 po sebe idúcich dní.

Deň	Počet zásielok	Kraje	Trvanie roznášky	Najazdené kilometre	Pauza po jazde
1.	7	ULK, PAK Praha, ZLK, STC, ZLK, MSK	9:04 hod	703,2 km	14:17 hodín
2.	6	LBK, JHC OLK, HKK	14:31 hod	1144.7 km	9:09 hod

		KVK, LBK			
3.	4	ZLK, Praha, ZLK, ULK,	6:55 hod	495.4 km	17:07 hod
4.	4	JHM, VYS Praha, ULK	10:40 hod	971.8 km	13:12 hod
5.	7	KVK, LBK, ZLK, Praha, VYS, JHC, VYS	18:58 hod	1474.6 km	4:38 hod
6.	6	ULK, JHM ULK, PLK KVK, VYS	8:44 hod	719 km	14:53 hod
7.	4	JHC, HKK LBK, KVK	14:23 hod	1055 km	9:08 hod

Vlastný vodič nenarušil bežný chod systému a pri vychystaní zásielok bol okamžite k dispozícii. Avšak pri využití vlastného vodiča je nutné brať do úvahy aj ďalšie faktory – zatiaľ čo externý dopravca má k dispozícii viacero vodičov a vozidiel, vlastný dopravca sa o všetky roznášky stará sám. Mimo nutnosti byť k dispozícii okamžite pri vychystaní zásielok tak pribúda aj požiadavka na určitú dĺžku zmien a páuz medzi danými zmenami.

Hodnoty získané zo simulovania siedmich dní načrtávajú príliš dlhé trvanie niektorých roznášok a príliš krátke pauzy medzi nimi. Na základe tohto experimentu sme teda stanovili ďalšiu podmienku pre náš modelový systém: **priemerná doba zmeny nemôže presiahnuť 8 hodín.**

Modelový systém (predovšetkým spôsob generovania zastávok a výpočet trasy) obsahuje vysokú náhodnosť, čoho dôkazom sú napr. dni 3 a 7 – rovnaký počet zásielok viedol na diametrálne rozličné výsledky. Následne sme teda vykonali 100 000 iterácií v rámci jedného dňa pre získanie adekvátnejších sledovaných hodnôt.

<b>Minimálna dĺžka donášky v km</b>	<b>Maximálna dĺžka donášky v km</b>	<b>Priemerná dĺžka donášky v km</b>	<b>Štandardná odchýlka</b>
7.82535 km	1872.73 km	838.337 km	220.837 km

<b>Minimálne trvanie donášky</b>	<b>Maximálne trvanie donášky</b>	<b>Priemerné trvanie donášky</b>	<b>Štandardná odchýlka</b>
14.58 min	21:40 hod	10:51 hod	2:46 hod

Priemerná hodnota donášky presahuje 8 hodín. S ohľadom na biologické potreby vodiča teda nie je výmena externého dopravcu za vlastného vodiča vhodná.

### **5.2.2. Experiment 2**

Záverom predošlého experimentu bolo, že výmena externého dopravcu za vlastného vodiča bez modifikácie vstupných parametrov nie je vhodná. V tomto experimente sme zisťovali, aké parametre modifikovať, aby sme dosiahli požadované vlastnosti, a to nenarušenie pôvodného chodu systému a dĺžku roznášky trvajúcej priemerne maximálne 8 hodín.

V rámci 100 000 iterácií experimentu vykonania jedného dňa donášky po celej republike s pevným počtom položiek (5) sme zistili nasledujúce údaje:

<b>Minimálna dĺžka donášky</b>	<b>Maximálna dĺžka donášky</b>	<b>Priemerná hodnota</b>	<b>Štandardná odchýlka</b>
150.45 km	1638.07 km	890.45 km	161.16 km

<b>Minimálne trvanie donášky</b>	<b>Maximálne trvanie donášky</b>	<b>Priemerná hodnota</b>	<b>Štandardná odchýlka</b>
2:25 hod	19:28 hod	11:34 hod	1:51 hod

Pokiaľ sme donášku obmedzili len na lokálny (Zlínsky) kraj, dostali sme po 100 000 opakovaní nasledujúce výsledky:

<b>Minimálna dĺžka donášky</b>	<b>Maximálna dĺžka donášky</b>	<b>Priemerná hodnota</b>	<b>Štandardná odchýlka</b>
1.86 km	167.88 km	39.76 km	16.16 km

<b>Minimálne trvanie donášky</b>	<b>Maximálne trvanie donášky</b>	<b>Priemerná hodnota</b>	<b>Štandardná odchýlka</b>
18 min	4:15 hod	1:17 hod	0:23 hod

Týmto experimentom sme sa utvrdili v skutočnosti, ktorá je známa už len z povahy vecí - kľúčový faktor, ktorý vplýva na dĺžku roznášky (trvania aj počet najazdených kilometrov) nie je samotný počet zásielok, ale aj kraje ich doručenia. Preto sme sa v ďalšom postupe nespoliehali na modifikáciu počtu zásielok v očakávaní, že takéto kroky budú mať najvýraznejší dopad na dĺžku cesty či trvanie celkového procesu - pozornosť sme venovali skorej zóne rozvozu - efektívne zmenšenie zóny rozvozu výraznejšie ovplyvní dĺžku trvania rozvozu samotného.

Modifikácia počtu objednávok v rámci rovnakej zóny rozvozu však nie je bez efektu. V rámci ďalšieho experimentu sme ponechali ako zónu rozvozu celú republiku a postupne zvyšovali počet zásielok, ktoré bolo treba doručiť. Narazili sme aj na neschopnosť vodiča doručiť všetky experimenty vo vyhradenom časovom okne jednej roznášky (24 hod). Zaznamenávali sme teda aj percentuálnu úspešnosť roznášok, pri úspešne vykonaných roznáškach sme sledovali priemernú vzdialenosť, ktorú vodič prešiel.

<b>Počet zásielok</b>	<b>Úspešnosť doručenia</b>
5	100%
10	99,5%

15	92,3
20	51,2%

Počet zásielok 20 viedol na ledva nadpolovičnú úspešnosť vykonania roznášky v danom časovom okne a výsledky pre tento počet zásielok (alebo väčší) sme ďalej neuvažovali. Priemerná vzdialenosť prekonaná vodičom pri 5, 10 a 15 balíkov načrtla nasledujúci trend:



Priemerná vzdialenosť nerástla úmerne zvyšujúcemu sa množstvu zásielok (napr. keď počet zásielok vzrástol dvojnásobne, priemerná vzdialenosť vzrástla sotva o polovicu). Pokiaľ by sme prepočítali priemerný počet kilometrov na jednu zásielku, toto číslo by bolo o to priaznivejšie, o čo viac zásielok by bolo rozvezených.

### 5.2.3. Experiment 3

V rámci tohto experimentu sme sa rozhodli preskúmať vplyv zmeny sídla firmy (alebo teda bodu, z ktorého auto pri každej rozvážke vyráža a do ktorého sa vracia) na celkovú dobu roznášky. Zlín sa nachádza na kraji republiky – pokrytie celej republiky by bolo vhodnejšie z bodu bližšieho stredu republiky a bodu s dobrou dopravnou dostupnosťou do okolitých miest.

Za nádejných kandidátov na novú centrálu sme podľa Atlasu dopravnej dostupnosti [3] zvolili: Juhomoravský kraj, Praha, Stredočeský a Vysočina. Za zónu rozvozu opäť považujeme celú republiku a rátame so zisteným štandardným počtom zásielok (2-8).

Hodnoty pre sídlo v Zlínskom kraji pri 100 000 iteráciách experimentu (Experiment 1):

<b>Minimálne trvanie donášky</b>	<b>Maximálne trvanie donášky</b>	<b>Priemerné trvanie donášky</b>	<b>Štandardná odchýlka</b>
14.58 min	21:40 hod	10:51 hod	2:46 hod

Hodnoty pre sídlo v Juhomoravskom kraji pri 100 000 iteráciách experimentu:

<b>Minimálne trvanie donášky</b>	<b>Maximálne trvanie donášky</b>	<b>Priemerné trvanie donášky</b>	<b>Štandardná odchýlka</b>
16 min	19:56 hod	10 hod	2:54 hod

Hodnoty pre sídlo v Stredočeskom kraji pri 100 000 iteráciách experimentu:

<b>Minimálne trvanie donášky</b>	<b>Maximálne trvanie donášky</b>	<b>Priemerné trvanie donášky</b>	<b>Štandardná odchýlka</b>
18 min	20:45 hod	9:18 hod	3:9 hod

Hodnoty pre sídlo v kraji Praha pri 100 000 iteráciách experimentu:

<b>Minimálne trvanie donášky</b>	<b>Maximálne trvanie donášky</b>	<b>Priemerné trvanie donášky</b>	<b>Štandardná odchýlka</b>
9 min	20:54 hod	9:14 hod	3:07 hod

Hodnoty pre sídlo v kraji Vysočina pri 100 000 iteráciách experimentu:



<b>Minimálne trvanie donášky</b>	<b>Maximálne trvanie donášky</b>	<b>Priemerné trvanie donášky</b>	<b>Štandardná odchýlka</b>
27 min	2:10 hod	9:57 hod	2:59 hod

Ako najvýhodnejšia lokalita pre sídlo výjazdov sa ukázal Kraj Praha, ktorý predstavuje voči Zlínskému kraju o 97 minút nižší priemerný čas roznášky, tá však v rámci celej republiky aj napriek tomu nezodpovedá požiadavke na 8-hodinovú priemernú dobu roznášky a časová úspora nie je dostatočne kľúčová, aby ju malo cenu navrhovať.

Tento experiment dokázal, že ani zvolenie vhodnejšieho výjazdového bodu (a bodu návratu) neumožňuje pokrytie celej republiky za dobu 8 hodín a bude nutné pristúpiť k redukcii krajov, ktoré roznáška pokrýva (čo preukázal experiment 2 ako najvhodnejší spôsob modifikácie doby trvania roznášky).

#### **5.2.4. Experiment 4**

V tomto experimente sme skúsili zredukovať oblasť dovážania zásielok na polovicu krajov, ktoré sú najbližšie centrále (Zlínskému kraju) – Královohradecký Kraj, Pardubický Kraj, Vysočina, Jihomoravský Kraj, Olomoucký Kraj, Zlínsky Kraj, Moravskoslezský kraj. Do týchto krajov denne pribudne 1-4 zásielok (rovnomerné rozdelenie).

Pri takomto vstupe sme dostali výsledky:

<b>Minimálna dĺžka donášky</b>	<b>Maximálna dĺžka donášky</b>	<b>Priemerná hodnota</b>	<b>Štandardná odchýlka</b>
1.18 km	940.56 km	379.28 km	156.64 km

<b>Minimálne trvanie donášky</b>	<b>Maximálne trvanie donášky</b>	<b>Priemerná hodnota</b>	<b>Štandardná odchýlka</b>
4 min	11:30 hod	4:55 hod	1:56 hod

Pri obmedzení roznášky na vyššie spomínané kraje sme dosiahli priemernú dĺžku roznášky nižšiu ako 8 hodín.

Vzhľadom k výsledku podčasti experimentu 2, kde sme zistili, že dĺžka trasy a trvanie výjazdu úmerne nezodpovedá počtu zásielok, sme vyskúšali variantu, kedy vlastný vodič prichádza každý druhý deň. Za tú dobu sa naakumuluje 2-8 zásielok, ktoré sú vyvezené naraz. O zvyšné zásielky by sa pri takomto postupe staral externý vývozca, ktorý by ich rozniesol po krajoch, ktoré vlastný vodič nepokrýva.

<b>Minimálna dĺžka donášky</b>	<b>Maximálna dĺžka donášky</b>	<b>Priemerná hodnota</b>	<b>Štandardná odchýlka</b>
6.47 km	1327.07 km	583.35km	180.08km

<b>Minimálne trvanie donášky</b>	<b>Maximálne trvanie donášky</b>	<b>Priemerná hodnota</b>	<b>Štandardná odchýlka</b>
14 min	16:28 hod	7:47 hod	2:20 hod

Aj tento spôsob roznášky sa dá stihnúť za priemernú dobu pod 8 hodín.

Pokiaľ by sme nechali zásielky akumulovať ešte jeden deň, získali by sme pri roznáške 3-12 zásielok nasledujúce hodnoty:

<b>Minimálna dĺžka donášky</b>	<b>Maximálna dĺžka donášky</b>	<b>Priemerná hodnota</b>	<b>Štandardná odchýlka</b>
28.9 km	1308.5 km	708.14 km	171.7 km

<b>Minimálne trvanie donášky</b>	<b>Maximálne trvanie donášky</b>	<b>Priemerná hodnota</b>	<b>Štandardná odchýlka</b>
42 min	18:37 hod	9:41 hod	2:22 hod

Priemerná doba roznášky je však pri akumulácii objednávok počas 3 dní prídlhá. Keďže hodnoty nerastú úmerne (Experiment 2), je výhodnejšie rozviešť čo najviac zásielok (v rámci dodržania podmienky, že priemerná dĺžka roznášky musí byť kratšia ako 8 hodín). Preto budeme vo výpočte ceny rátať s odvozom 2-8 zásielok po vyššie vymenovaných krajoch každý druhý deň.

Zostávalo iba vyriešiť otázku, či sa vôbec takýto postup vyplatí. Externý dopravca si účtuje ceny za každú zásielku samostatne, nie podľa prejdených km. Náklady na vývoz externým dopravcom sme teda spočítali podľa najazdených km auta v dobe doručenia zásielky. Konkrétne hodnoty sme vyčítali z [4]. Medzi náklady vlastného vodiča sme zarátali iba priame náklady, a to cenu paliva v závislosti od spotreby a ceny nafty [8] a platu vodiča v závislosti od najazdených hodín [7]. Zo 100 000 iterácií experimentu sme získali nasledujúce hodnoty:

Priemerná spotreba auta	Priemerná náklady na pohonné hmoty	Priemerné náklady na vodiča [hodinový plat]
61.46 l	2191 CZK	1355 CZK

Náklady (pohonné hmoty + vodič) na rozvoz	Priemerná cena za rozvoz zásielok u externého dodávateľa
3546 CZK	3261 CZK

Výsledkom tohto experimentu je, že ani pri navonok nepriaznivom účtovaní ceny externého dodávateľa (účtovanie si ceny za každú zásielku bez ohľadu na prípadné podobné destinácie zásielok) nedokáže vlastné vozidlo cenám externého dodávateľa konkurovať. Nami vypočítané náklady pritom nie sú konečné – nezarátavajú náklady na kúpu vozidla samotného a jeho údržbu.

### 5.3. Závěry experimentov

Viacero experimentov bolo z dôvodu prehľadnosti rozdelených do 4 tematických celkov. Experiment 1 sledoval modelový systém s vlastným vodičom a to, či dokáže plnohodnotne nahradiť externého vodiča pri požiadavke byť pri každom vychystaní zásielok k dispozícii. Túto požiadavku splnil, avšak vzhľadom na biologické nároky človeka a obmedzenia dĺžky pracovnej doby sme na základe prvého experimentu doplnili ešte jednu požiadavku - priemerná doba roznášky nesmie presiahnuť 8 hodín. To model pri aktuálnych vstupných parametroch nezaručoval.

V druhom experimente sa skúmal vplyv vstupných premenných na výstupné hodnoty. Zistilo sa, že na dĺžku roznášky vplýva predovšetkým zóna rozvozu a jej modifikáciou môžeme dosiahnuť najefektívnejšie skrátenie doby potrebnej na dokončenie roznášky. Ďalším dôležitým zistením bol fakt, že so zvýšením počtu roznášok nerastie časová náročnosť úmerne.

V treťom experimente sa skúmal vplyv počiatočného bodu (z ktorého auto každý deň vyráža a do ktorého sa vracia) na dĺžku roznášky. Zistili sme, že existujú optimálnejšie kraje, ale ani presun do takého kraja by nezaručil schopnosť roznieť všetky roznášky do 8 hodín.

V poslednom experimente sme zistili, že pokiaľ sa vlastný vodič dedikuje len na rozvoz po polovici krajov najbližších sídlu firmy a zvyšok prenechá externému dopravcovi, priemerná doba roznášky nepresahuje 8 hodín a tým spĺňa podmienku nastolenú v prvom experimente. Ďalej sa skúmala finančná výhodnosť roznášky vlastným vodičom oproti cenám externého dopravcu - zistilo sa, že vlastný dopravca cene externého dopravcu pri aktuálnych parametroch vstupu a zóne roznášky nemôže konkurovať.

## 6. Shrnutí simulačních experimentů a závěr

V rámci simulační studie jsme zisťovali, či je pre reálnu firmu možné a finančne zaujímavé nahraďiť externého dopravcu, ktorý sa stará o vývoz produktov k zákazníkom, za vlastného vodiča, ktorý by mal celú logistiku na starosti.

Pre zachytenie všetkých aspektov sme boli nútenější vyvinúť komplexnejší systém tvorby trasy auta a výpočtu vzdialeností a času trvania donášok (viac v sekcii 4), ten nám však umožnil získavať výstupné hodnoty v závislosti od pokrytia krajov Českej Republiky v rámci rozvozu.

Experimentovaním sa zistilo, že s ohľadom na biologické nároky človeka je nevhodné, aby jeden človek každý deň pokrýval všetky kraje Českej Republiky. Pri znížení roznášky na polovicu krajov Českej Republiky sa priemerné doby roznášok dostali pod dobu trvania, ktorú sme určili za maximálnu - 8 hodín. Zistilo sa, že roznášky každý druhý deň sú výhodnejšie. Osekanie donášky na určité kraje republiky by však znamenalo, že zákazníkov zo zvyšných krajov by musel obslúžiť externý dopravca - pôvodná koncepcia vlastného vodiča, ktorý by mal na starosti všetku logistiku, sa teda neukázala ako možná.

Tiež sme zistili, že vlastný vodič nedokáže ani len pri zahrnutí priamych nákladov na roznášku (plat vodiča a pohonné hmoty) konkurovať cenám externého dopravcu.

Na základe týchto výsledkov neodporúčame pri aktuálnych vstupných hodnotách 2-8 objednávok denne a potrebe pokryť celú republiku logistiku riešiť pomocou vlastného vodiča.

## 7. Reference

- [1] Peringer, P.; Hruby, M.: Modelování a simulace, Text k přednáškám kursu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně. [online], 29. září 2021, [vid. 2021-12-02]. Dostupné z: <https://wis.fit.vutbr.cz/FIT/st/cfs.php.cs?file=%2Fcourse%2FIMS-IT%2Flectures%2FIMS-2021-09-20.pdf&cid=14664>
- [2] TOPTRANS [online], [vid. 2021-12-04]. Dostupné z: <https://www.toptrans.cz/preprava/cs/>
- [3] HUDEČEK, Tomáš Hudeček. Atlas dopravní dostupnosti v České republice. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2017. ISBN 9788024449821.
- [4] TOPTRANS: Vnitrostátní přeprava CZ [online], [vid. 2021-12-04]. Dostupné z: [https://www.toptrans.cz/preprava/cs/vypocitejte-si-cenu-prepravy-vasi-zasilky/?fbclid=IwAR3A\\_GCh98I6rlIviFZauSaBjqRiV01k9xzHXYhhsbca-UWRici7bCN7LzM](https://www.toptrans.cz/preprava/cs/vypocitejte-si-cenu-prepravy-vasi-zasilky/?fbclid=IwAR3A_GCh98I6rlIviFZauSaBjqRiV01k9xzHXYhhsbca-UWRici7bCN7LzM)
- [5] Standard C++ [online]. [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: <https://isocpp.org/>
- [6] SIMLIB C++ [online]. [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: <https://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>
- [7] Průměrný plat řidiče [online]. [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: <https://prumerneplaty.cz/pozice/ridic?fbclid=IwAR1soyDdPmryYT-nI6Ha5kDzmstR7dHkbUCRiIaqP3rVpInkBdKhhKT99I>
- [8] Cena nafty [online]. [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/benzin-nafta-cena>
- [9] The Traveling Salesman Problem 3: Nearest Neighbor Heuristic [online]. [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: <https://demonstrations.wolfram.com/TheTravelingSalesmanProblem3NearestNeighborHeuristic/>
- [10] Mapy Google [online]. [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps>

## **8. Obsah**

<b>Úvod</b>	<b>2</b>
Autoři	2
Validita modelu	2
<b>Rozbor tématu a použitých metod/technologií</b>	<b>3</b>
Použitý postup vytváření modelu	3
Původ použitých technologií	4
<b>Koncepce - modelářská témata</b>	<b>5</b>
Způsob vyjádření modelu	6
Forma modelu	6
<b>Architektura simulačního modelu/simulátoru</b>	<b>9</b>
<b>Podstata simulačních experimentů a jejich průběh</b>	<b>11</b>
Postup experimentovania	11
Experimenty	11
Experiment 1	11
Experiment 2	13
Experiment 3	15
Experiment 4	17
Závěry experimentov	20
<b>Shrnutí simulačních experimentů a závěr</b>	<b>21</b>
<b>Reference</b>	<b>22</b>
<b>Obsah</b>	<b>23</b>