

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Modelování a simulace 2023/2024

Zadaní 5: SHO Model logistiky - rozvoz/transport zboží a materiálu

| | |
|--|-----------|
| 1 Úvod..... | 3 |
| 1.1 Získávání informací..... | 3 |
| 1.2 Ověření validity..... | 3 |
| 2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií..... | 4 |
| 2.1 Vytváření modelu..... | 4 |
| 2.2 Simulace..... | 4 |
| 3 Koncepce - modelářská témata..... | 5 |
| 3.1 Model..... | 5 |
| 3.2 Detailní popis modelu..... | 6 |
| 3 Koncepce - implementační témata..... | 7 |
| 4 Architektura simulačního modelu/simulátoru..... | 8 |
| 4.1 Popis architektury..... | 8 |
| 5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh..... | 9 |
| 5.1 Popis experimentů..... | 9 |
| 5.2 Experimentování..... | 9 |
| 5.2.1 Kapacita dodávky..... | 9 |
| 5.2.1 Doby jednotlivých rozvážek..... | 9 |
| 5.2.2 Celkové doby rozvážek..... | 10 |
| 5.3 Statistiky modelu..... | 10 |
| 6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr..... | 12 |
| 6.1 Informace o spalovacích dodávkách..... | 12 |
| 6.2 Dodávky na spalovací pohon..... | 12 |
| 6.2.1 Výpočet vytvořených emisí u spalovacích dodávek..... | 12 |
| 6.2.2 Výpočet pohonných hmot u spalovacích dodávek..... | 13 |
| 6.3 Dodávky na alternativní pohon..... | 13 |
| 6.4 Závěr..... | 14 |
| Zdroje..... | 15 |

1 Úvod

Tento projekt ukazuje jaký vliv na životní prostředí, nepočítáme-li náklady a zdroje na výrobu, měl přechod přepravních služeb z běžných dodávek se spalovacím motorem, na dodávky na elektrický pohon.

V této práci nám námi vytvořený model [1, slajd 7] pracovního dne kurýra poskytne data, ze kterých bude možné vypočítat množství ušetřených emisí, za předpokladu nabíjení zelenou elektřinou, například z vodních, větrných či solárních elektráren.

1.1 Získávání informací

Bohužel informace, které jsme potřebovali k návrhu modelu jsou interními informacemi, takže ani po kontaktování přepravních společností jsme nebyli schopni získat přesné informace.

Kontaktovali jsme společnosti Zásilkovna (bez odpovědi), WE|DO (také bez odpovědi) a Plasma Place (odpověděli nám s omluvou takovou, že v jejich firmě je to velmi složitý proces).

Z tohoto důvodu jsme museli shromáždit a poskládat informace z veřejných zdrojů na internetu (všechny zdroje odkazovány), a vymyslet si fiktivní firmu, která se řídí podle těchto nalezených informací.

1.2 Ověření validity

Validitu modelu [1, slajd 36] jsme ověřovali z dostupných internetových článků a fór (podrobnější info v kapitole 2). Jeden z řešitelů má zkušenosti s rozvážkou jídla, a nastavované časy přejezdů a dobu předání jsme odvodili právě z nich.

2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Nyní k parametrům které jsme nastavovali, a kde jsme na ně přišli.

Nejprve jsme potřebovali nastavit kurýrovu pracovní dobu, tu jsme dohledali na portálu pro nabídky prací¹. V popisu pracovní nabídky byla uvedena délka pracovní doby na 9,5 hodiny. Budeme tedy pracovat s touto hodnotou.

Počet balíků které kurýr rozveze jsme získali z oficiálního webu Zásilkovny². Tam je napsáno, že jejich kurýr denně rozveze cca 65 zásilek, proto budeme tuto hodnotu brát jako průměr našeho kurýra.

Zásilky si do auta vždy nakládá kurýr sám. Informace pochází z rozhovoru s kurýrem DPD³, kde citujeme: “Ondruš si musí sám všechny balíky naložit do přistavené dodávky.”, jelikož je v článku psáno že je to špička ve svém oboru, a na vrcholu statistik (v počtu doručovaných adres), nebereme v úvahu počet jeho rozvážených zásilek.

Nevyzvednuté zásilky se běžně vozí na výdejní pobočky dané firmy, či zpět na depo/sklad⁴. V modelu je vozíme zpět na sklad.

Nastavené časy doby přejetí, a předání jsme odůvodnili v kapitole 1.2.

2.1 Vytváření modelu

Den kurýra v přepravní firmě jsme se rozhodli modelovat jako systém hromadné obsluhy [1, slajd 139] pomocí Petriho sítě [1, slajd 126], za využití linek a front. Linky [1, slajd 185] jsou pro tento případ vhodné pro synchronizaci procesu s kurýrem. Fronty [1, slajd 141] jsou vhodné pro nastavení limitů kapacity dodávky, a postupné zpracování zásilek.

2.2 Simulace

Návrh modelu jsme následně implementovali v jazyce C++ za využití simulační knihovny SIMLIB [2]. Implementace, a experimentování probíhalo na fakulním serveru Merlin. Při vytváření programové části jsme se inspirovali a čerpali z poskytnutých materiálů předmětu IMS, konkrétně z řešených příkladů, které jsme využili za účelem seznámení se, a pochopení zacházení s prostředky pro modelování pomocí knihovny SIMLIB.

¹URL <https://www.jenprace.cz/nabidka/mdusyd/ridic-skupiny-b-kuryr-pro-zasilky-ups> - sekce Náplň práce

²URL <https://www.zasilkovna.cz/blog/v-sezone-rozvezeme-na-adresu-az-70-000-zasilek-za-jediny-den-rika-r-editel-logistiky-radek-simersky> - sekce Kolik zásilek řidič na jedné trase zhruba předá?

³URL <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/vstavam-ve-ctyri-do-vecera-jidlo-nestiham-popisuje-kuryr-vanocni-napor-132751>

⁴URL <https://www.ceskaposta.cz/rady-a-navody/co-delat-kdyz-vas-dorucovatel-nezastihne-doma>

3 Koncepce - modelářská témata

V modelu jsme zajistili zabránění kapacity nákladního prostoru zásilkou náhodným výběrem větve s pravděpodobnostmi [1, slajd 73] 0.6 a 0.3 a 0.1 podle velikostí, většina doručovaných zásilek je malé velikosti.

Celkový počet zásilek, které kurýr rozveze jsme se rozhodli modelovat pomocí kapacity auta (nákladního prostoru), ze které následně odečítáme podle velikosti balíčků. Všichni kurýři používají auto stejných specifikací, z tohoto důvodu jsme kapacitu odvodili z průměrného počtu rozvážek (vizte kapitolu 2).

Nestává se velmi často že by se vezl balíček o velikosti poloviny nákladního prostoru, tudíž jsme nastavili kapacitní velikost 1 pro menší zásilky, velikost 2 pro zásilky střední a velikost 3 pro zásilky velké.

Předpokládáme že 90% zákazníků očekávajících zásilku, bude přítomna pro převzetí zásilky.

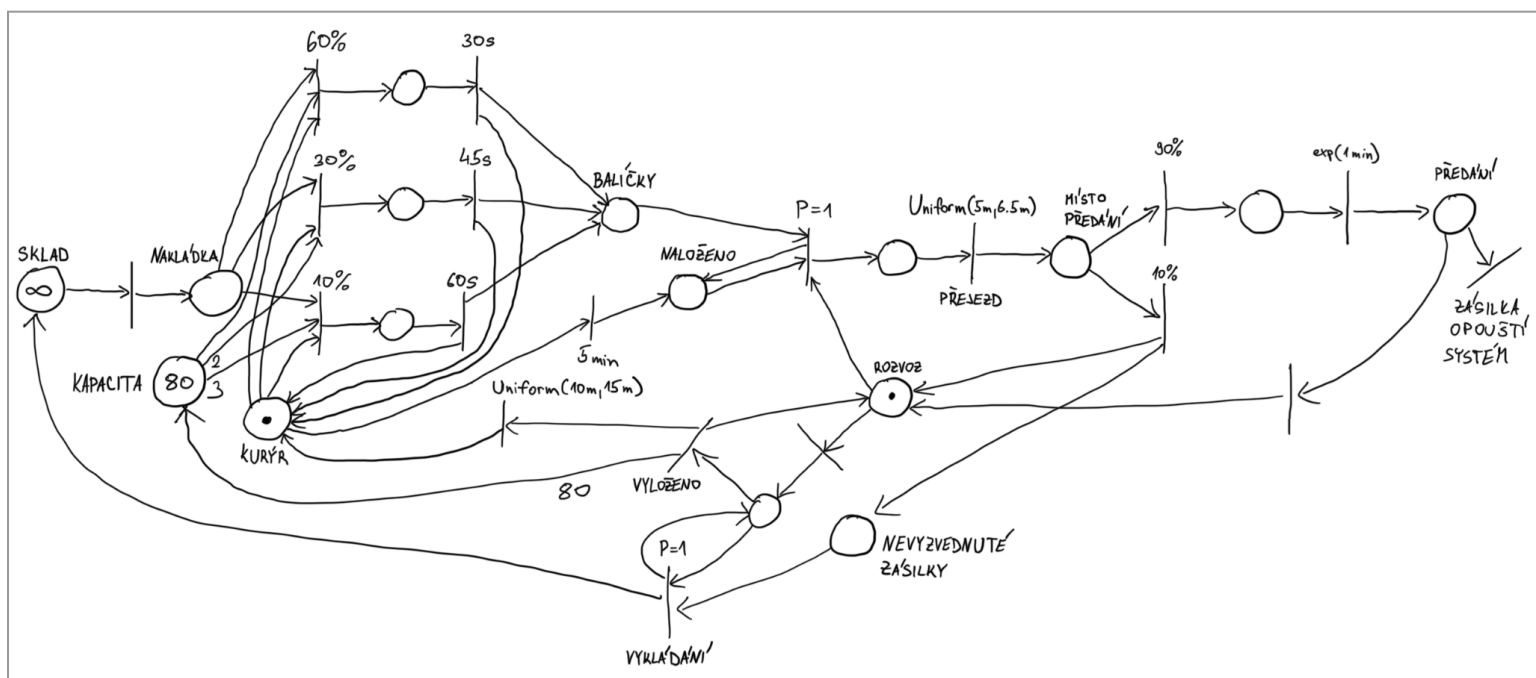
3.1 Model

Obr. 1 ukazuje náš model kurýra zobrazen pomocí Petriho sítě.

Model máme rozdělený na 3 části. Těmi jsou proces nakládání zásilek do auta, rozvoz zásilek, a navrácení nevyzvednutých zásilek zpět na sklad. Všechny části jsou detailněji popsány v kapitole 3.2 (vizte obrázky 2, 3 a 4).

Synchronizační procesy jsou stavy:

- Kurýr - vazba mezi všemi procesy
- Rozvoz - vazba mezi rozvážkou zásilek, a navrácení nevyzvednutých zásilek



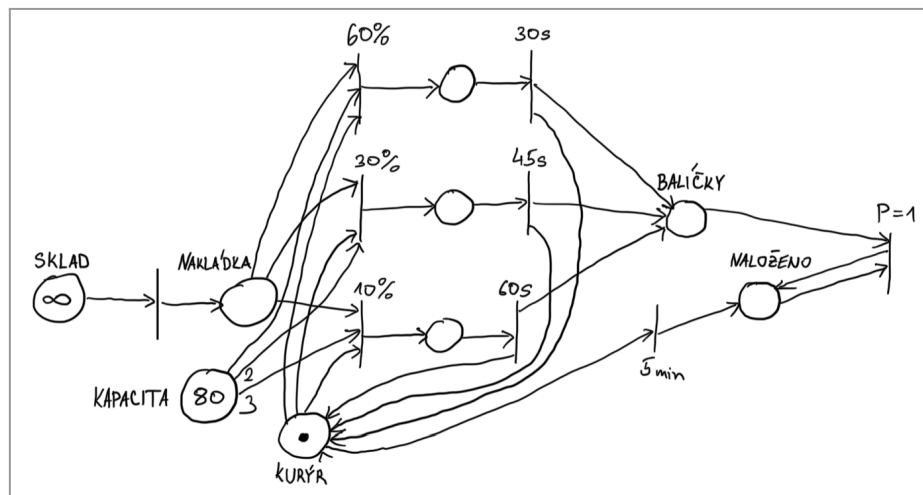
Obr. 1 Petriho síť modelu dnu kurýra

3.2 Detailní popis modelu

V této kapitole bude podrobnější popis jednotlivých částí modelu.

V části nakládání je ve stavu SKLAD znázorněn dostatek zásilek, které může kurýr nakládat. Tyto zásilky chodí do stavu NAKLÁDKA, kde zvolí jejich velikost podle pravděpodobnosti vstupu do přechodu. Tato velikost hraje roli v době naložení zásilky a využití kapacity nákladního prostoru. Každý naložený balíček se skladuje ve stavu BALÍČKY.

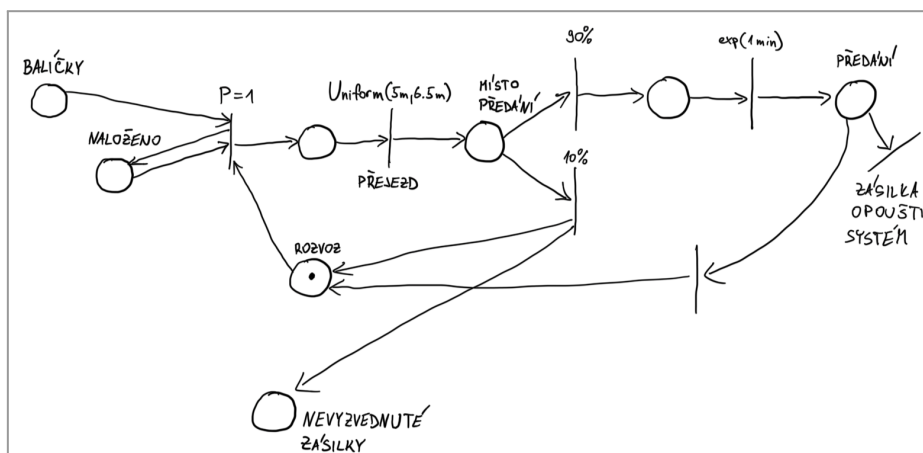
V případě že je vyčerpána kapacita nákladového prostoru, přechází kurýr do stavu naloženo, kam se počítá i 5 minutová příprava k odjezdu.



Obr. 2 - Část nakládání

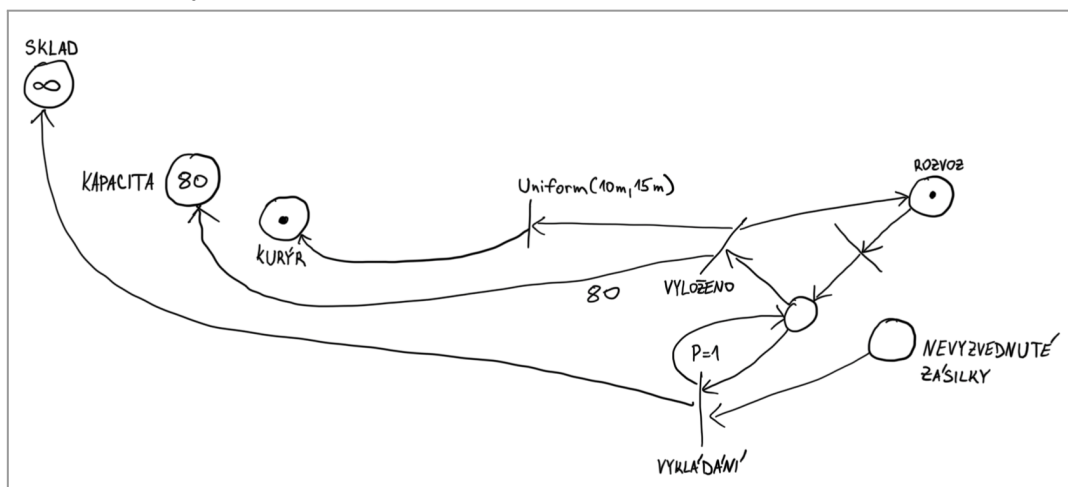
Následuje část rozvozu zásilek. Zde se postupně ze stavu BALÍČKY berou zásilky, které kurýr následně rozváží (kurýr je znázorněn stavem NALOŽENO). Stav ROZVOZ slouží k zajištění serializace rozvozu zásilek.

Poté co se kurýr dostaví na místo doručení, je 90% šance že zastihne zákazníka, a předá mu zásilku, v tuto chvíli zásilka opouští systém. V případě že zákazníka nezastihne, uloží se zásilka do stavu NEVYZVEDNUTÉ ZÁSILKY, který se zpracuje v následující části.



Obr. 3 Část rozvozu

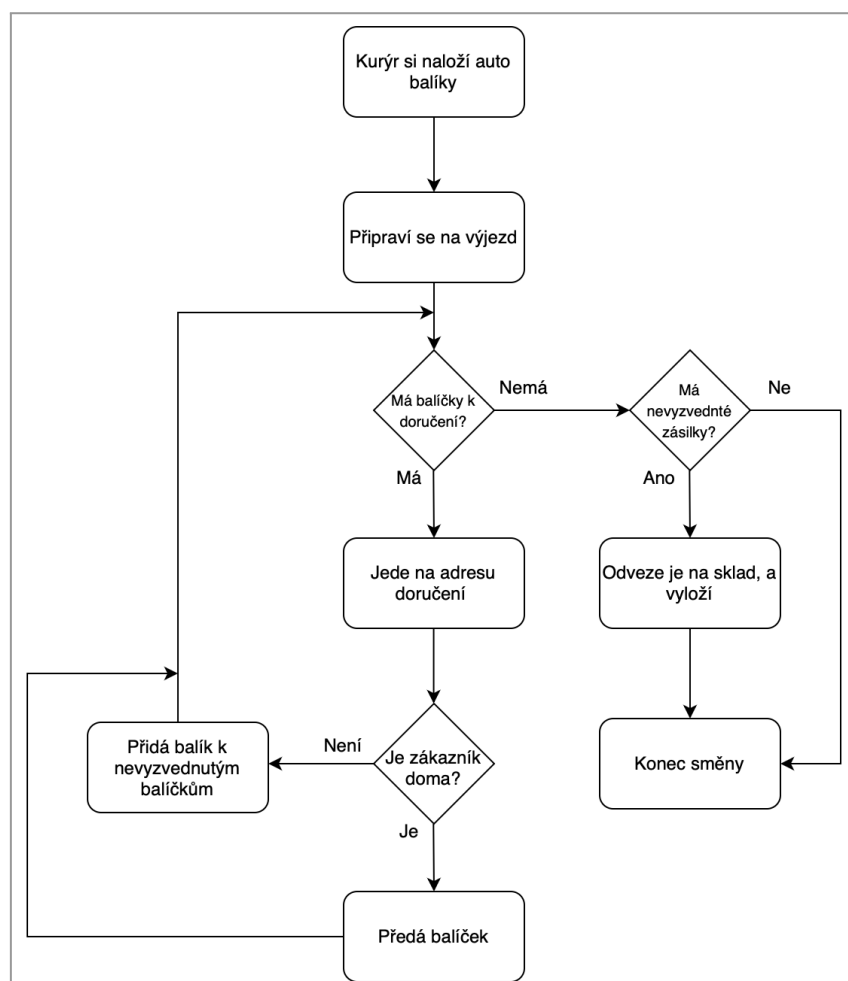
V poslední části všechny nevyzvednuté zásilky přiveze kurýr zpět na sklad. Protože již nemá v autě žádné zásilky, obnoví se kapacita na původní hodnotu.



Obr. 4 Část navracení zásilek

3 Koncepce - implementační témata

Pro abstraktnější chování systému jsme se rozhodli vytvořit vývojový diagram (vizte obr. 5).



Obr. 5 - Vývojový diagram chování modelu

4 Architektura simulačního modelu/simulátoru

4.1 Popis architektury

Programová třída *nakladka* odpovídá procesu nakládání zásilek kurýrem do auta. Pro počítání naložených zásilek jsme využili proměnnou s názvem *baliky*, která se po každé naložené zásilce inkrementuje. Zásilky si kurýr bere z obslužné linky s kapacitou [1, slajd 187] pod názvem *sklad*. Kapacitu této linky jsme nastavili na hodnotu 9999, aby byl zajištěn dostatek balíků pro všechny kurýry (zásilek je na reálných skladech vždy přebytek).

Pro znázornění kapacity auta jsme využili obslužnou linku s kapacitou, pod názvem *kapacita_auta*. Z této kapacity se po každém naložení zásilky odečte hodnota příslušné velikosti. Kurýr nakládá do doby, kdy je v obslužné lince s kapacitou ještě volná kapacita.

Proces nakládání si na začátku zabere kurýra (obslužná linka s výlučným přístupem [1, slajd 183]), a po dokončení nakládání ho zase uvolní.

Programová třída *rozvazeni* odpovídá procesu rozvážení zásilek, a následného navrácení nevyzvednutých zásilek zpět do skladu. Tento proces využívá obslužnou linku s kapacitou pod názvem *balicky_v_aute*. Zde je kapacita nastavena podle proměnné *balicky* uz předchozí třídy.

Proces si na začátku zabere kurýra a rozvoz (obslužné linky s výlučným přístupem). Následně probíhá rozvoz zásilek, dokud obslužná linka *balicky_v_aute* je neprázdná. Po dokončení rozvážky se zpět na sklad dovezou všechny nevyzvednuté zásilky, a všechny zabrané linky se uvolní. Tímto končí kurýrova směna.

5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Pro náš výzkum potřebujeme zjistit průměrný počet najetých kilometrů každého kurýra, abychom mohli vyvodit, kolik rozvážením vznikne emisí a kolik firma zaplatí za náklady spojené s palivem.

Model potřebujeme z důvodu mnoha proměnných prvků v našem systému, například doba doručení, ujetá vzdálenost, počet zásilek atd., které by při analytickém výpočtu z velké míry zkreslovaly výsledek.

5.1 Popis experimentů

Experimenty jsme se snažili najít slabiny našeho systému, ve smyslu námi zadaných hodnot, aby celkový výstup systému lidsky proveditelný a smyslný. Aby například výstup nenaznačoval, že kurýr rozveze 1000 zásilek za 30 minut.

5.2 Experimentování

5.2.1 Kapacita dodávky

Začali jsme experimentováním s nastavováním kapacity dodávky, mířili jsme přitom na průměrné množství 65 zásilek. Vizte tabulku 1.

| Kapacita | Průměrný počet zásilek |
|----------|------------------------|
| 65 | 43.6 |
| 80 | 53.0 |
| 100 | 66.7 |
| 97 | 65.0 |

Tabulka 1 - Nastavení kapacity dodávky

Při tomto experimentu jsme zjistili, že ideální kapacita dodávky pro 65 zásilek je 97.

5.2.1 Doby jednotlivých rozvážek

Dalšími experimenty jsme chtěli zjistit ideální rozložení pro dobu jednoho rozvozu.. Vizte tabulku 2.

| | Exponential (5min) | Uniform (5min, 6.5min) | Normal (6min, 1min) |
|---------|--------------------|------------------------|---------------------|
| Minimum | 0.1 | 5.0 | 1.9 |
| Maximum | 43 | 6.5 | 9.5 |
| Průměr | 4.5 | 5.7 | 6.0 |

Tabulka 2 - Zobrazení doby doručení jednotlivých zásilek, uvedeno v minutách

Jak můžete vidět, exponenciální rozložení [1, slajd 91] má obrovský rozptyl mezi rozvozy, takové hodnoty nejsou v realitě přípustné, značilo by to špatné plánování cesty. Rovnoměrné rozložení [1, slajd 89] již takový rozptyl nemá, ale takto rovnoměrně rozvozy nebývají rozloženy. Zato normální rozložení [1, slajd 93] je více realistické, 2 adresy od sebe mohou být kousek, například rozvážka v jedné obci, nebo kousek větší (rozvážka mezi obcemi).

5.2.2 Celkové doby rozvážek

Dalším experimentem jsme chtěli zjistit ideální rozložení pro dobu rozvozu.. Vizte tabulku 3.

| | Exponential (5min) | Uniform (5min, 6.5min) | Normal (6min, 1min) |
|---------|--------------------|------------------------|---------------------|
| Minimum | 6.4 | 7.9 | 7.7 |
| Maximum | 10.0 | 10.0 | 10.2 |
| Průměr | 7.9 | 8.8 | 8.9 |

Tabulka 3 - Zobrazení doby celkového rozvozu, uvedeno v hodinách

Náš původní odhad, že jedna dovoz jedné zakázky trvá okolo 5 minut byl sice správný a průměrná hodnota doby v práci sice sedí s námi požadovaným průměrem, ale použití exponenciálního rozložení způsobilo, že bylo příliš velké časové rozpětí mezi minimální a maximální dobou celkové rozvážky. Rovnoměrné rozložení má námi požadovanou dobu rozvozu i s rozptylem, ale chybí ji realističnost při pohledu na jednotlivé rozvážky. Normální rozložení nám přijde jako nejvíce realistické, proto zůstaneme u něj.

5.3 Statistiky modelu

Po výše uvedených experimentech jsme dosáhli toho, že náš model již vypisoval data, která byla důvěryhodná a blízká skutečnosti. Takže jsme mohli z těchto dat vyvodit nějaké reálné závěry.

Simulaci [1, slajd 8] dne kurýra jsme provedli 172 krát, aby data, která jsme získali, byli co nejvíce proveditelné, a také, počítáme s tím, že naše fiktivní firma má okolo 150 kurýrů.

| | Pracovní doba (h) | Čas jízdy (h) | Doba naložení (min) |
|---------|-------------------|---------------|---------------------|
| Minimum | 7.7 | 5.8 | 38.0 |
| Maximum | 10.2 | 7.7 | 43.0 |
| Průměr | 8.9 | 6.7 | 40.3 |

Tabulka 4 - Statistiky dne kurýra

Do pracovní doby kurýra je narozdíl od času jízdy započítána 30 minutová pauza po 4 odpracovaných hodinách, doba nakládání balíků (vizte poslední sloupec tabulky 4) a také doba předání balíků z dodávky zákazníkovi.

| | Najeté kilometry (km) |
|---------|------------------------------|
| Minimum | 174.1 |
| Maximum | 231.5 |
| Průměr | 202.2 |

Tabulka 5 - Počet najetých kilometrů

Počítáme s předpokladem, že kurýr průměrně ujede 30 kilometrů za hodinu. Tento předpoklad jsem získali z vlastního výzkumu, kdy jsme jezdili osobním automobilem po okolí Brna a zastavovali v intervalech, které jsme modelovali. Nejezdili jsme např. 8 hodin v kuse, ale průběžně jsme kontrolovali průměrnou rychlost a z toho jsme odvodili výše uvedenou průměrnou rychlost.

6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

Zde přichází hlavní podstata tohoto projektu, ve které spočítáme množství ušetřených emisí na základě výsledků experimentování s naším modelem, při přechodu na elektrický pohon.

6.1 Informace o spalovacích dodávkách

Z informací, které jsme našli z obrázků na internetu, a pozorování na ulici, jsme zjistili, že mezi nejpoužívanější modely patří Mercedes-Benz Sprinter⁵, Peugeot Boxer⁶ a Fiat Ducato⁷. Nejprve vyvodíme průměrnou množství vytvořených emisí, a spotřebu paliva.

V níže uvedené tabulce (tabulka 6) jsou uvedeny potřebné informace pro náš výpočet o jednotlivých dodávkách. Volíme vždy tu větší hodnotu z důvodu častých zastávek a rozjezdů.

| | Kombinovaná spotřeba (l/100km) | Kombinované emise CO ₂ (g/km) |
|------------------------|-----------------------------------|---|
| Mercedes-Benz Sprinter | 9.6 | 253 |
| Peugeot Boxer | 9.8 | 257 |
| Fiat Ducato | 9.8 | 258 |

Tabulka 6 - Porovnání vybraných dodávek

Po průměrování hodnot tabulek budeme pracovat s hodnotou u průměrné spotřeby **9,73 l/100km** a hodnotou u emisí **256 g/km**.

6.2 Dodávky na spalovací pohon

6.2.1 Výpočet vytvořených emisí u spalovacích dodávek

Nejprve potřebujeme spočítat průměrné množství vytvořených emisí každým kurýrem.

$$Najeté\ km * emise\ na\ km = 202,2 * 256 = 51\ 763,2\ g/den = 51,7632\ kg/den$$

Následující výpočet je množství emisí vytvořené naší firmou o 150 kurýrech.

$$51,7632 * 150 = 7\ 764\ kg/den$$

Došli jsme k výsledku 7 764 kg vytvořených emisí za den. Tato hodnota se možná nezdá tak děsivá, ale musíte brát v úvahu, že tato firma nepatří počtem kurýrů do větších přepravních firem v ČR.

⁵ URL <https://www.mercedes-benz.cz/vans/models/sprinter/panel-van/overview.html#technical-data> - zvolena varianta s extra dlouhým nákladovým prostorem, a motorizací Sprinter 311 CDI / KAWA / XL

⁶ URL <https://peugeot.ecpaper.cz/uzitkove/Boxer/Novy-Boxer-Furgon/Peugeot-Boxer-Furgon-cenik/?page=8> - zvolena varianta Furgon 4350 L4H3 s motorizací BlueHDI 140k

⁷ URL <https://www.fiatprofessional.com/cz/ceniky-a-katalogy> - zvoleno Ducato pro přepravu zboží, motorizace 2.2 MTJ 180k

Například firma PPL měla v roce 2020 zhruba 2000 kurýrů⁸, a od té doby se toto číslo určitě zvětšilo. Pro tento zaměstnanců je to již 103,526 tuny každý pracovní den, kdy pro 250 pracovních dnů v roce 2023 by to činilo přes 25 881 tun emisí. To už je signifikantnější množství jen pro jednu firmu, kdy v ČR, a po celé Evropě je počet takových (i mnohem větších) firem v řádech milionů⁹.

6.2.2 Výpočet pohonných hmot u spalovacích dodávek

Následující výpočet slouží k získání spotřeby pohonných hmot jedním kurýrem za den:

$$\text{Najeté km} / \text{kombinovaná spotřeba} = 202,2 / 9,73 = 20,8 \text{ l/den}$$

Podle aktuální ceny benzínu¹⁰, by tato spotřeba provozovatele stála:

$$20,8 * 37,0 = 769,6 \text{ Kč}$$

6.3 Dodávky na alternativní pohon

Našli jsme několik možností pro dodávky na alternativní pohon, které by vyhovovaly této části logistiky. Tím myslíme, že by nebylo potřeba v průběhu pracovní doby zastavit pro dobíjení baterie. Vhodné dodávky, které jsme našli jsou například Ford E-Transit¹¹, Mercedes-Benz E-Sprinter¹², Peugeot E-Boxer¹³.

Provozovatel by taktéž ušetřil **526,16 Kč** (~ 68%) z nákladů na pohonné hmoty za kurýra, a za den, které by například pro Ford E-Transit s velikostí akumulátoru 68 kWh činili **243,44 Kč** při ceně 3,58 Kč za kWh (říjen 2023), a využití celého dojezdu (309 km). Tyto ušetřené náklady by se daly využít například pro výstavbu solárních panelů, pro ještě větší úsporu nákladů, a životního prostředí.

Víme také, že ne každý bude své elektromobily nabíjet z čistých zdrojů elektřiny, takže přece jenom nějaké emise vznikat budou, ale už ne v takové míře.

Například firma Zásilkovna využívá dodávku poháněnou vodíkem¹⁴. Pokud by došlo k významnému pokroku a rozšíření v této oblasti, byla by to také skvělá alternativa s nulovými emisemi.

⁸ URL <https://www.ppl.cz/o-nas> - sekce O společnosti

⁹ URL <https://bolddata.nl/en/companies/europe/logistics-companies-europe/>

¹⁰ URL <https://www.kurzy.cz/komodity/benzin-nafta-cena/>

¹¹ URL <https://www.ford.cz/dodavky-pick-upy/e-transit>

¹² URL <https://www.mercedes-benz.cz/vans/models/esprinter/new/panel-van.html> - ještě není v prodeji

¹³ URL <https://www.peugeot.cz/modelova-rada/boxer-furgon.html> - ještě není v prodeji, těsný dojezd

¹⁴ URL <https://www.zasilkovna.cz/blog/vodikova-dodavka-packeta-otevreni-vodikove-cerpacky>

6.4 Závěr

Vypočítané hodnoty z kapitoly 6.2.1 by v případě elektrických dodávek spadly na 0. Vzhledem k nařízení Evropské Unie kdy po roce 2035 nebude možno koupit nové spalovací auto¹⁵, tyto logistické firmy budou stejně muset toto nařízení splňovat, takže by tato práce pro ně mohla být motivací, a mohly by tedy přejít na dopravu s alternativním pohonem, co nejdříve.

¹⁵URL

<https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/economy/20221019STO44572/zakaz-prodeje-novych-benzinovyh-a-naftovyh-aut-od-roku-2035>

Zdroje

[1] Peringer, P.; Hrubý, M.: Modelování a simulace, Text k přednáškám kurzu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně. [online], 14. září 2023, [vid. 2022-12-10].

Dostupné z: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>

[2] Peringer, P.; Leska, D.; Martinek, D.: SIMLIB/C++ (SIMulation LIBrary for C++). [online], 26. září 2023, [vid. 2023-12-10]. Dostupné z: <https://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>