VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta informačních technologií

**Modelování a simulace**

Projekt

Varianta 1: Uhlíková stopa v dopravě

Sabína Gregušová (xgregu02)

Filip Weigel (xweige01) 1.12.2019

# Úvod

Cílem této Simulační studie je sestavit model středně velkého evropske města a simulovat pohyb osob dopravními prostředky, které produkuj emise CO2. Investice do infrastruktury a nákupy nových vozidel představuj nemalé Peníze pohybujících se v řádek desítek, stovek milionu, případně i miliard korun. Pomocí simulace jednoho, či více pracovních dní budeme moci pozorovat, jak mohou rozhodnutí jednotlivců přispět k tvorbě uhlíkové stopy a budeme se snažit najít optimální řešení, které by mohlo pomoci k jejich snížení. Vyplatí se investovat do nových autobusů a vozidel, které mají nižší emise? Jak se změní emise CO2, Pokud provozovatel MHD snižuje cenu jízdného a bude hromadnou dopravu využívat více obyvatel? Tyto a mnoho dalších otázek Můžeme díky simulaci zodpovědět.

# Rozbor tématu a fakta

Uhlíková stopa se stala v poslední době fenoménu, který pohltil téměř celý svět. Téměř v každém koutu světa se konají summity na téma znečištění ovzduší automobily. V Evropě tvoří 30 \% z celkové produkce CO2 doprava a transport zboží na základě průzkumu Evropského parlamentu z roku 2017 \cite {co2\_eu}. Evropská Unie se podílí produkci oxidu uhličitého 13 \% z celého světa. Paradoxně nejvýrazněji bojovníci je Greta Thunberg pocházející ze Švédska, která šokovala svět při svém projevu. Apelovala na občany všech zemí, že by Melia přestat jezdit automobily, neboť osobní vozidla způsobují asi 60.7 \% CO2 emisí z celkového množství emisí, které produkuje doprava \cite {co2\_eu}, což je asi 12 \% z celkového množství emisí, které produkuje Evropa \cite {co2\_eu\_law}.

Evropská unie se snaží redukovat produkci CO2 emisí nových modelů osobních automobilů pod hranici 130 g/Km; v některých zemích se již podařilo snížit tento průměr na 120.4 g/Km. Emise CO2 má tedy při různých modelech osobních automobilů různou odchylku. Musíme brát v úvahu, že tento nový zákon se týká nových osobních automobilů, zatímco lidé stále využívají osobní automobily, které byly vyrobeny více než 10 let dozadu. Můžeme se proto domnívat, že skutečná průměrná produkce CO2 se pohybuje okolo 135 g/Km \cite{ultimatespecs.com}.

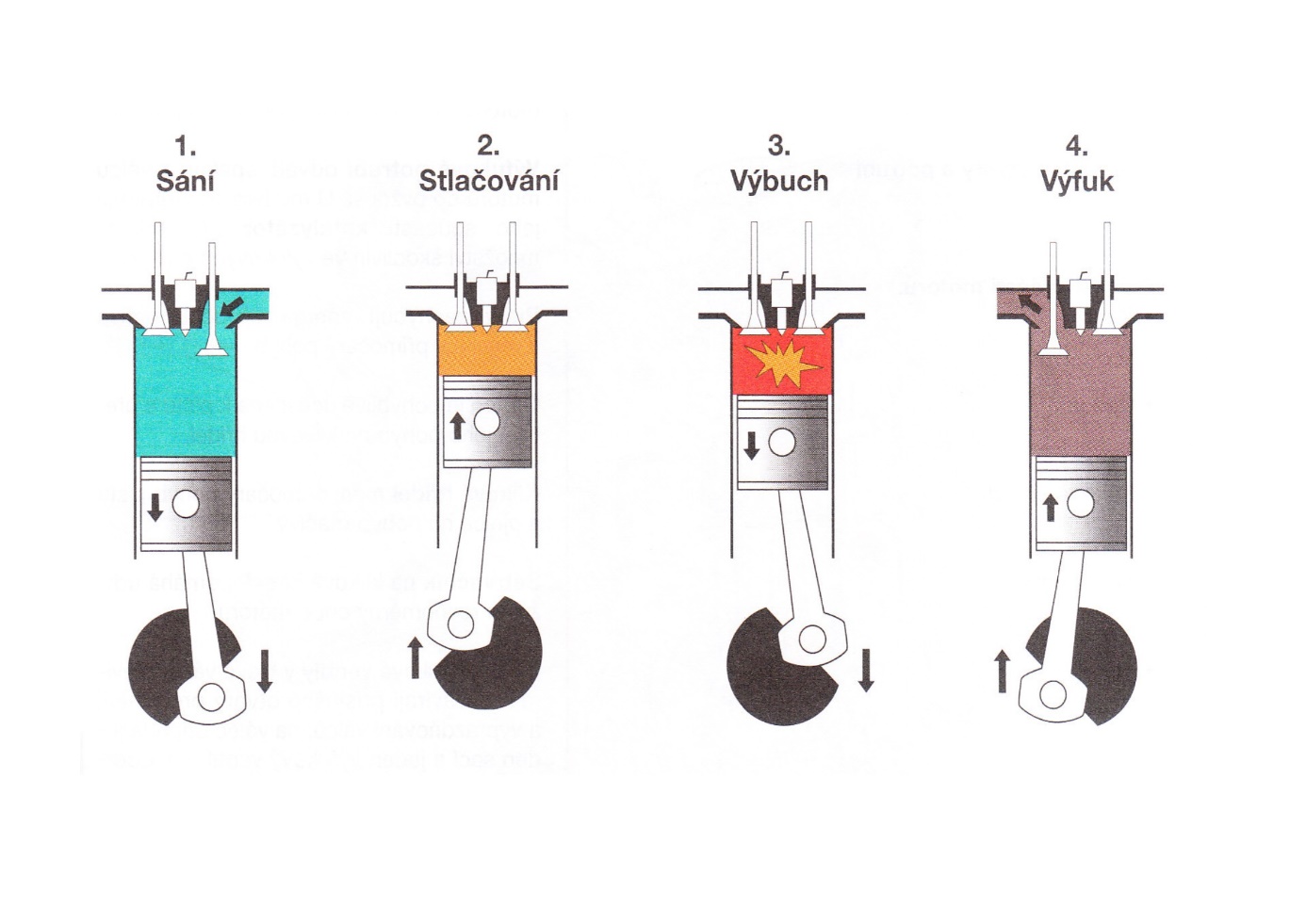
V rámci fakt je třeba si taktéž přiblížit princip spalovacího motoru. Spalovací motor je druh stroje, který přeměňuje chemickou energii obsaženou v palivě především na teplo a mechanickou energii. Teplo tvoří asi 75 % přeměněné energie a je v automobilovém průmyslu využito jen pro vytápění prostoru pro cestující. Je to tedy nechtěný produkt. Zbylých 25 % je přeměněno na mechanickou práci. Hlavní částí motoru je válec, píst, ventily umístěné v hlavě motoru a kliková hřídel. Všechny ze zmíněných součástí tvoří tzv. spalovací prostor.

Píst se pohybuje ve válci nahoru a dolů v posuvném pohybu. V případě, že je píst ve válci úplně nahoře, tak tuto událost nazýváme horní úvrať, pokud je píst úplně dole tak dolní úvrať. Při posuvném pohybu pístu se zároveň otáčí kliková hřídel, která převádí posuvný pohyb na otáčivý.

Budeme uvažovat obyčejný atmosférický motor, který nemá žádné pomocné součásti typu turbodmychadlo a kompresor.

Fáze

1. Píst nachází v horní úvrati a posunuje se směrem dolů a nasává vzduch otevřeným sacím ventilem.
2. Píst pohybuje směrem nahoru, stlačuje nasátý vzduch v spalovacím prostoru a způsobuje jeho zahřátí.
3. Těsně před horní úvratí se pomocí vstřikovače stříkne do spalovacího prostoru přesně odměřená dávka paliva, která se vznítí a tlačí píst dolů. Zde dochází k velmi patrné ztrátě účinnosti, jelikož palivo vybuchuje ještě ve fázi, kdy píst jde nahoru.
4. Píst je setrvačností tlačen nahoru a probíhá výfuk. Výfukový ventil je otevřen a ven ze spalovacího prostoru jsou tlačeny spaliny.



Spaliny jsou z valné většiny tvořeny oxidem uhličitým a různými prvky/sloučeninami, jež jsou produkty hoření paliva.

3 Koncepce modelu

## 3.1 Popis konceptuálního modelu

Cieľom modelu, viz PETRIHO SIEŤ, je simulovať bežný pracovný deň v stredne veľkom európskom meste, a ako rozhodnutia jednotlivcov ovplyvňujú celkovú dennú produkciu CO2 emisií. Vstupným parametrom modelu je počet osôb, ktoré majú byť prepravené vrámci jedného dňa. Pre zjednodušenie modelu predpokladáme, že vrámci tohto jedného dňa musia byť úspešne prepravené všetky osoby. V Európskej únii vlastní asi 60\% obyvateľstva aspoň 1 vozidlo, preto predpokladáme, že každá osoba má 60\% šancu, že vlastní aspoň jedno vozidlo \cite{rss}. Osoby, ktoré auto nevlastnia idú hneď na zastávku autobusu MHD. Predpokladáme, že soby, ktoré auto vlastnia sa rozhodnú použiť MHD s pravdepodobnosťou približne 25\% na základe prieskumu. Tento údaj vznikol spriemerovaním hodnôt európskych krajín, kde respondenti povedali, že využijú MHD 1 a viac krát za týždeň. Výsledný údaj bol 37.2 \%, musíme však brať do úvahy, že tento údaj sa vzťahuje na všetkých občanov, takže odhadujeme, že asi 25\% ľudí, čo vlastnia osobný automobil využívajú MHD. Toto percento je použité iba na verifikáciu, keďže jeho hodnota je vstupným parametrom modelu, pretože chceme byť schopní simulovať situáciu, kedy sa MHD stane veľmi žiadúca (napríklad rapídne zníženie ceny) a toto \% sa bude vtedy meniť. Dle

# Popis experimentu a modelu

Zdroj uvádí ( https://www.cdv.cz/file/clanek-produkce-emisi-co2-ch4-a-n2o-dopravou-v-cr/ ), že v roce 2015 se za rok v celé ČR vyprodukovalo celkem 6 634 769 tun CO2, které byly vyprodukovány individuální osobní dopravou a městskou hromadnou dopravou. Předpokládejme tedy, že se vyprodukuje 18 177 tun CO2 denně. Pokud toto číslo vydělíme počtem obyvatel, dostaneme číslo, které vypovídá o znečistění jednoho obyvatele na den. Z výpočtu vyplývá, že každý obyvatel ČR zanechává uhlíkovou stopu rovnu 173,1 gramu.

Průměrný počet zastávek autobusu: 28 zastávek, průměrná vzdálenost mezi zastávkami 550 metrů – vypočítáno na základě 10 linek MHD v Brně. Doba potřebná pro ujetí jednoho km: 97 sekund – průměrná rychlost ve větším městě: 37 km/h (https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/nejpomalejsi-je-londyn-praha-prumerna.A071029\_132052\_automoto\_fdv). //TODO for Sabule ----- tady musíš přesně popsat jak se generují ti lidé, jak jdou na zastávku, to ze jdou 5 minut a jeste popsat jak se pocita to auto -----Časový údaj, kdy se má generovat autobus je dán číslem 79 200 vyděleným počtem autobusů, abychom docílili stavu, že se vygenerují vždy všechny autobusové okruhy s dostatečnou časovou rezervou.

Okruh je tedy vygenerován a autobus stojí v depu. Předpokládáme, že autobus je třeba nastartovat, tlakovat vzduchové okruhy a dojet na první zastávku. Pro zmíněný účel poslouží normální rozdělení se střední hodnotou 500 sekund a rozptylem 100 sekund. Autobus dojel na první zastávku a cestující nastupují. průměrný čas nastoupení jednoho cestujícího je dán normálním rozdělením se středem 2,5s a rozptyl je roven 0,5 sekundy. V modelu nastupuje jede pasažér po druhém. Model nereflektuje situaci, že reálný autobus má více dveří, proto je zmíněná hodnota nižší.

Po nastoupení a vystoupení všech cestujících se autobus rozjede na další zastávku. Doba jízdy je dána normálním rozdělením se středem 84 sekund a rozptylem 10 sekund. Autobus poté jezdí v cyklu mezi zastávkami. Na konečné zastávce jsou všichni cestující nuceni vystoupit a autobus jede zpět do depa dle normálního rozdělení se střední hodnotou 500 sekund a rozptyl opět 100 sekund. Dle ujeté vzdálenosti model počítá, kolik CO2 autobus/automobil vyprodukoval a číslo je přičteno k celkovému znečistění za den. Na konci simulace je vypsána statistika o celkovém znečistění.

## Experiment 1

Předpokládáme normální pracovní den. Dále bude cestovat celkem 250 000 lidí. Autobusů bude k dispozici celkem 370 a počet dostupných aut bude 60 000. Pravděpodobnost na použití MHD, pokud obyvatel vlastní automobil je 25 %.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Cestující autobusem | Cestující automobilem | Emise autobusů | Emise automobilů | Emise dle zdroje | Emise dle experimentu |
| 205 214 osob | 44 786 osob | 6 289 kg | 59 663 kg | 43 278 kg | 65 953 kg |

V prvním experimentu se snažíme porovnat reálné hodnoty uvedené ve zdroji s hodnotami, které produkuje simulovaný model města. Emise dle modelu jsou o 52 % vyšší než skutečné emise.

## Experiment 2

Provozovatel se rozhodl snížit cenu jízdného a zvýšil celkový počet autobusů na 500. Více lidí tedy využívá městskou hromadnou dopravu. Pravděpodobnost, že obyvatel použije na svoji cestu MHD místo automobilu je zvýšena z původních 25 % na 50 %. Ostatní parametry zůstaly nezměněné.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Autobus | Automobil | Emise autobusů | Emise automobilů | Emise dle experimentu | Původní emise dle exp. |
| 220 353 osob | 29 647 osob | 7 827 kg | 39 559 kg | 47 387 kg | 65 953 kg |

Z experimentu je zřejmé, že emise v porovnání s prvním experimentem klesly o necelých 29 %.

## Experiment 3

Nastala extrémní situace. Vyhláška města zakazuje vjezd osobních vozidel do města. Všichni obyvatelé jsou tedy nuceni využít MHD. Dopravce zvýšil počet autobusů na 800, aby zvládl větší nápor na autobusových zastávkách.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Autobus | Automobil | Emise autobusů | Emise automobilů | Emise dle experimentu | Původní emise dle exp |
| 250 000 osob | 0 osob | 13 744 kg | 0 kg | 13 744 kg | 65 953 kg |

Dle výsledku experimentu s velmi nepravděpodobnou situací, že místní vyhláška zakázala jízdu automobilů ve městě jsme docílili snížení emisí o necelých 80 %.

## Experiment 4

Ekonomické výsledky dopravce jsou znepokojující, proto se rozhodl dramaticky zvýšit cenu jízdného. Pro některé obyvatele se to stává nepřijatelné. Tudíž se více obyvatel rozhodne, že si pořídí vlastní automobil a nebude cestu realizovat pomocí MHD. Dostupných aut je 100 000 kusů, pravděpodobnost na využití MHD, pokud vlastní obyvatel automobil je stejná jako v prvním experimentu, 25 %.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Autobus | Automobil | Emise autobusů | Emise automobilů | Emise dle experimentu | Původní emise dle exp |
| 175 416 osob | 74 584 osob | 5 855 kg | 99 259 kg | 105 114 kg | 65 953 kg |

Experiment ukazuje poměrně znepokojivé hodnoty emisí, jež oproti prvnímu experimentu vzrostly téměř o 60 %, což je poměrně alarmující.

# Závěr

Dle výsledku prvního experimentu jsme mohli zjistit, že simulovaný model města poměrně dobře reflektuje reálnou situaci. Z následných experimentů odvodíme, že městská hromadná doprava je zcela nepostradatelnou věcí. Lidé většinou cestují sami v automobilu, a to je z hlediska uhlíkové stopy velmi znepokojivé. Autobusy produkují téměř 7x vyšší emise než automobil, ale cestuje nimi podstatně více lidí. Z experimentů vyplývá, že nejmenší znečistění nastane, pokud všichni lidé budou cestovat MHD.

Sabína Gregušová

Filip Weigel