

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

## Simulační studie Zavedení státních dotací na elektromobily Varianta 1: Uhlíková stopa v dopravě



9. prosince 2019

Bořek Reich (xreich06)  
Martin Chládek (xchlad16)

# 1 Úvod

Tato práce vznikla jako projekt do předmětu Modelování a simulace. Náplní je vytvoření modelu[[2], slide 7] státního útvaru poskytujícího dotace na elektromobily a jeho simulace[[2], slide 33]. Předmětem projektu je zjistit, jakou mírou by zavedení dotací na elektromobily v České republice ovlivnilo nákup nových automobilů a jaký by měl vozový park vliv na znečišťování životního prostředí produkováním CO<sub>2</sub> v intervalu 3 let. Smyslem je porovnat podíl elektromobilů v celkovém počtu koupených nových vozů při poskytování různých výší dotací. A zda by větší podíl elektromobilů opravdu snížil<sup>1</sup> produkci oxidu uhličitého do ovzduší vzhledem k neekologickým nárokům na výrobu baterií. Práce se setkává s velkým množstvím faktorů, které jsou při rozhodování o koupi brány v potaz.

## 1.1 Autoři projektu a zdroje informací

Tento projekt samostatně vypracovali studenti VUT FIT v Brně, Martin Chládek a Bořek Reich. Při tvorbě projektu bylo na jeho technickou realizaci využito znalostí ze zdrojů poskytnutých univerzitní fakultou FIT VUT v Brně, konkrétně slajdů z kursu Modelování a simulace [2] a dokumentace ke knihovně SIMLIB [1]. Pro získání potřebných faktických informací nutných pro navrhnutí a implementování modelu byly využity různé publikace dostupné na internetu. Reference na daný zdroj je vždy uvedena v poznámce pod čarou.

## 1.2 Ověření validity modelu

Námi navrhovaný model [[2], slide 44] byl validován [[2], slide 37] za pomoci případu zavedení dotací ve Spolkové republice Německo<sup>2</sup>. Ta poskytovala od roku 2016 do roku 2019 dotace na elektromobily ve výši 4000 Euro<sup>3</sup>. Na základě zjištěných informací o nárůstu počtu elektromobilů jsme model upravili tak, aby těmto změnám odpovídal.

Získali jsme informace, které s počtem elektrických automobilů souvisí:

- celkový počet automobilů v Německu<sup>4</sup>,
- průměrná cena nového automobilu prodaného v Německu<sup>5</sup>,
- průměrná mzda obyvatele Německa<sup>6</sup>,
- poměr mužů a žen v Německu,
- minimální mzda<sup>7</sup> a
- změny přírůstku nových aut za roky 2013 až 2018<sup>8</sup>.

Dále jsme zjistili jaký podíl elektromobilů byl v Německu v roce 2019<sup>9</sup>. Na základě těchto vstupních a výstupních údajů jsme model mohli nastavit tak, aby co nejlépe reflektoval skutečný vývoj.

## 2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Uvažujeme interval 3 let počínaje v současnosti. Zajímá nás počet elektromobilů a jejich vliv na vyprodukované CO<sub>2</sub> ke konci toho intervalu. V současnosti je v České republice podíl elektromobilů 0,38%<sup>10</sup>. Na

<sup>1</sup><https://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/923/dalsi-dukaz-ze-jsou-elektromobily-cistsi-nez-auta-na-ropu/>

<sup>2</sup>[https://www.irozhlaz.cz/zivotnistyl/auto/nemecko-elektromobilydotacemerkelovatelekomunikace\\_1911181728\\_elev](https://www.irozhlaz.cz/zivotnistyl/auto/nemecko-elektromobilydotacemerkelovatelekomunikace_1911181728_elev)

<sup>3</sup><https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/neuemobilitaet/immaikommtdie4000eurokaufpraemiefuerelektroautos-14202243.html>

<sup>4</sup>[https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2017/Fahrzeugzulassungen/pm01\\_2017\\_n\\_12\\_16\\_pm\\_komplett.html](https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2017/Fahrzeugzulassungen/pm01_2017_n_12_16_pm_komplett.html)

<sup>5</sup><https://www.statista.com/statistics/416207/averageannualwagesgermanyonyineuros/>

<sup>6</sup><https://www.finance.cz/519126prumernamzda2019creunemeckorakousko/>

<sup>7</sup><https://countryeconomy.com/nationalminimumwage/germany>

<sup>8</sup><https://www.acea.be/statistics/tag/category/bycountryregistrations>

<sup>9</sup><http://www.autoinstitut.de/emobilitystudien.htm>

<sup>10</sup><https://www.cdv.cz/tisk/historicky-nejvyssi-pocet-registraci-elektromobilu-v-cr-na-evropu-nestaci>

základě údajů o stabilitě trhu získaných z minulých let si za rok koupí nový vůz určitý počet zákazníků<sup>11</sup>. O zákazníkovi je ze statistických údajů rozhodnuto, zda se jedná o muže či ženu. V České republice je to 49,1 % mužů a 50,9 % žen<sup>12</sup>. V Německu pak 48,65 % mužů a 51,35 % žen<sup>13</sup>. Tato informace je důležitá kvůli tomu, že muži raději riskují a jsou více spontánní<sup>14</sup>. Tento fakt se projevuje i při nákupním chování, a proto je pro nás důležitý.

Na nákupní chování spotřebitelů má vliv i konformita. Pokud si výrobek koupí jeho/její okolí, je pravděpodobnější, že bude také inklinovat k nákupu tohoto výrobku<sup>15</sup>. V našem případě to znamená, že čím víc elektromobilů na území existuje, tím je pravděpodobnější, že bude spotřebitel okolím ovlivněn.

Pravděpodobnost, že by si Čech koupil elektromobil je 13%<sup>16</sup>. Zákazník je zařazen do věkové kategorie, do které spadá s určitou pravděpodobností podle statistik v jakém věku si lidé nejčastěji kupují nová auta<sup>17</sup>:

Věk kupujících	Podíl daného věku
18–25 let	2%
26–35 let	7%
36–45 let	12%
46–55 let	23%
56–65 let	26%
66 let a více	29%

Lidé ve věku nad 55 let jsou jako spotřebitelé více ovlivněni, inklinují ke konformnosti a tradicionalismu a tak se pravděpodobnost na nákup nezavedených elektromobilů snižuje<sup>18</sup>. U kupce je vymezena jeho měsíční mzda, která se řídí průměrnou mzdou v České republice – 31 851 Kč<sup>19</sup>.

Na výrobu jednoho průměrného vozu se **spalovacím motorem** je do atmosféry uvolněno 9,7 tuny CO<sub>2</sub>. Z toho přes 4 tuny je uvolněno při výrobě karoserie a 2 tuny na pohonnou jednotku<sup>20</sup>. Z toho vyplývá, že výroba vozu bez pohonné jednotky by měla uvolnit 9,7 – 2 tuny, tedy 7,7 tuny. To potvrzuje průměrný elektromobil Nissan Leaf, jehož výroba uvolní do ovzduší 7,7 tuny CO<sub>2</sub> ještě před osazením baterie<sup>21</sup>.

Vyprodukovaný oxid uhličitý na výrobu baterie pak závisí na její kapacitě. Průměrná kapacita baterie dnešního elektromobilu je 70,46 kWh. Tuto hodnotu jsme nemohli nikde najít a tak jsme ji získali výpočtem, tedy zprůměrováním hodnot baterií následujících vozidel, přičemž byli vybráni zástupci malých vozidel, středních sedanů i velkých SUV:

- Škoda Citigoe iV 39,8 kWh
- Hyundai Ioniq 38,3 kWh
- Renault Zoe 52 kWh
- Tesla Model 3 50 kWh
- Tesla Model 3 62 kWh
- Tesla Model 3 75 kWh
- Tesla Model S 75 kWh
- Tesla Model S 100 kWh
- Jaguar I-Pace 90 kWh
- Audi E-tron 95 kWh
- Mercedes EQC 98kWh

Při výrobě baterie pro elektromobil je na každou 1 kWh uvolněno do ovzduší 147 kg CO<sub>2</sub> (tato hodnota byla získána zprůměrováním hodnot pro USA, Čínu a Polsko<sup>22</sup>). Na 1 kilometr vyprodukuje auto se spalovacím motorem průměrně 120,5 g CO<sub>2</sub><sup>23</sup>. Auto s elektrickým pohonem poté emise neprodukuje žádné, na vyrobení elektrické energie však při průměrné spotřebě 18 kWh/100km je nutné vyrobit elektrickou energii.

<sup>11</sup><https://www.acea.be/statistics/tag/category/by-country-registrations>

<sup>12</sup>[https://www.czso.cz/csu/xp/analyza\\_zeny\\_a\\_muzy\\_v\\_krajich\\_cr\\_demografie](https://www.czso.cz/csu/xp/analyza_zeny_a_muzy_v_krajich_cr_demografie)

<sup>13</sup><https://www.statista.com/statistics/454338/population-by-gender-germany/>

<sup>14</sup><https://www.psychologicalconsultancy.com/blog/womentwikelikelycautiousriskmen/>

<sup>15</sup><https://pdfs.semanticscholar.org/3c96/48892f4c46d7d1a2c1346f21bd10c782c732.pdf>

<sup>16</sup><https://www.eon.com/de/ueber-uns/presse/pressemitteilungen/2019/nur-16-prozent-der-deutschen-wuerden-sich-ein-elektroauto-kaufen.html>

<sup>17</sup><https://www.autoforum.cz/zivot-ridice/kdo-dnes-kupuje-nova-auta-a-kdo-ta-ojeta-statistika-vysvetluje-mnohe/>

<sup>18</sup>[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=136323](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=136323)

<sup>19</sup><https://www.finance.cz/519126-prumerna-mzda-2019-cr-eu-nemecko-rakousko/>

<sup>20</sup><https://www.auto.cz/jizda-cista-ale-co-vyroba-kolik-co2-vznikne-pri-vyrobe-elektromobilu-131387>

<sup>21</sup><https://www.chytraauta.cz/jsou-elektromobily-ekologicke-201701/>

<sup>22</sup><https://www.auto.cz/jizda-cista-ale-co-vyroba-kolik-co2-vznikne-pri-vyrobe-elektromobilu-131387>

<sup>23</sup><https://www.jato.com/2021-co2-targets-would-generate-e34-billion-euros-in-penalty-payments-within-europe/>

Při výrobě tolika el. energie se v České republice vyprodukuje 8,3kg CO<sub>2</sub><sup>24</sup>, což odpovídá tomu, že automobil vyprodukuje 83g oxidu uhličitého na 1 kilometr. Průměrná cena elektromobilu je 34 091\$, což je v přepočtu zaokrouhlených 786 800 Kč<sup>25</sup>.

Obyvatel České republiky průměrně ročně najede 8000 km<sup>26</sup>, přičemž mění vůz za nový v průměru 1x za 10 let.

### 2.0.1 Použité postupy

Pro realizaci projektu byl zvolen programovací jazyk C++ protože je rychlý, přenosný a objektově orientovaný. Využita byla simulační knihovna SIMLIB[1]. Tato knihovna pro C++ poskytuje vhodné implementační prostředky simulačního modelu [[2], slide 44], což usnadňuje realizaci zadání.

### 2.0.2 Původ použitých metod/technologií

Při implementaci byly využity standardní třídy a funkce, které nabízí jazyk C++. Jako překladač byl využit GNU kompilér g++, který je určen pro C++. Knihovna SIMLIB byla stažena z oficiálních zdrojů<sup>27</sup>. Ke dni 8. 12. 2019 byla nejnovější dostupnou verzí toho nástroje verze 3.0.7.

Jako implementační prostředí byl využit fakultní server `merlin.fit.vutbr.cz` s operačním systémem CentOS/Linux.

## 3 Koncepce

V této sekci je popsáno formování konceptuálního (abstraktního) modelu [[2], slide 48]. Během modelování [[2], slide 8] je nutné ze všech informací vybrat pouze ty, které jsou pro model podstatné.

V naší práci se soustředíme pouze na nové vozy koupené od startu simulace[[2], slide 33] po její konec. Zanedbáváme tedy údaje o stavu aktuálního vozového parku. Rovněž je tento projekt zaměřen pouze na nové vozy a tak neuvažuje nákup ojetých vozů. Všechna fakta jsou tomuto přizpůsobena. Simulace bude spouštěna pouze pro krátké intervaly (v řádu let), zanedbáváme tedy emise vzniklé při likvidaci baterií, samotných vozů, či technologických pokroků.

### 3.1 Popis konceptuálního modelu

Český spotřebitel je generován dle postupu popsaném v sekci 4. U osoby jsou hlavní faktory pro rozhodování o koupi elektromobilu pohlaví, povahu, věk a měsíční příjem.

O kupujícím je rozhodnuto, zda se jedná o muže či ženu rovnoměrným rozložením[[2], slide 89] `Uniform(0,100)`, kdy v České republice jsou přibližně 49,1% muži, stejně tak je klasifikována povaha osoby. Rovnoměrným rozdělením je i o osobě rozhodnuto do jaké věkové kategorie spadá. Věk má vliv zejména u rozhodování starších osob. Následně je přiřazen plat, který je v České republice v průměru 31 851 Kč. Protože ale nemá každý stejný plat, ale jedná se o průměr, je kupujícímu vypočítán měsíční plat Gaussovým rozložením[[2], slide 93] `Normal(31851, 25000)`, kdy není připuštěno aby mzda byla nižší než minimální mzda v daném státě. Klíčovým bodem při rozhodování který pohon vybrat při koupi nového vozu je zarážka (v programu `electro_car_threshold`). Ta je vypočítána následovně:

$$zarazka = (prum\_cena\_eletromobilu - dotace) * mesicni\_procenta / (12 * roky\_setreni)$$

Průměrná cena elektromobilu je tedy 786 800 Kč. Podle pravidla šetření 10%<sup>28</sup> by člověk měl na nové auto ušetřit v průměru 10% svých měsíčních příjmů. Tento fakt je promítán v grafu proměnnou `mesicni_procenta`, která je tedy nastavena na hodnotu 10. Průměrný kupce nového vozu pořizuje vůz v průměru 1x za 10 let,

<sup>24</sup><https://fdrive.cz/clanky/je-provoz-elektrického-vozu-skutecne-ekologictesi-nez-toho-se-spalovacim-pohonem-539>

<sup>25</sup><https://www.jato.com/electric-cars-cost-double-the-price-of-other-cars-on-the-market-today/>

<sup>26</sup><https://www.odyssee-mure.eu/publications/efficiency-by-sector/transport/distance-travelled-by-car.html>

<sup>27</sup><https://www.fit.vutbr.cz/peringer/SIMLIB/>

<sup>28</sup><https://www.creditdonkey.com/spend-car.html>

to je promítnuto do proměnné `roky_setreni`. Zarážka tedy vypočítává jaký minimální plat musí zákazník mít, aby si při uvedeném šetření mohl dovolit nový elektrický vůz a její hodnota je v korunách českých.

Pokud měsíční plat daného kupujícího převyšuje částku zarážky, zvýší se jeho pravděpodobnost nákupu elektromobilu. Ovšem s rostoucím platem nad touto hranicí se pravděpodobnost nákupu elektromobilů kvůli dotacím snižuje, protože výška částky dotace pro něj není tak relevantní. Naopak pokud má kupující plat pod hranicí zarážky, jeho pravděpodobnost na nákup elektromobilu se s klesajícím platem snižuje.

Abychom lépe odhadli uhlíkovou stopu automobilu, který si

Pro vyjádření vlivu okolí na rozhodnutí o koupi spotřebitele je použit následující výraz:

$$electro\_car\_probability = electro\_car\_probability + 0,2 * \frac{electric\_car\_count}{(number\_cars + car\_count)}$$

Tento výraz ovlivní výslednou pravděpodobnost následujícím způsobem. Maximální vliv okolí na spotřebitele připouštíme ve výši 20 %. Toto rozhodnutí vychází ze studie: „Experimental Study of Consumer Behavior Conformity and Independence“<sup>29</sup>, která zkoumá právě vliv okolí na spotřebitele při jeho chování a připouští maximálně 20% vliv. Míra ovlivnění spotřebitele je pak vypočítána z podílu množství elektrických aut a celkového počtu aut. K celku je připočten aktuální přírůstek aut v čase simulace. Zanedbáváme úbytek automobilů, jelikož míříme na kratší časové úseky a neměl by být úbytek markantní.

Počet najetých kilometrů spotřebitelem po pořízení nového automobilu je vypočten na základě celkové doby simulace a času, kdy bylo auto zakoupeno. Na základě zjištěné ujeté vzdálenosti a typu automobilu jsou pak vypočteny vyprodukované emise.

Na závěr rozhodovacího procesu je do simulace vnesena jistá míra nejednoznačnosti a je tedy možné, že ne všichni spotřebitelé, kteří jsou jinak shodní, se rozhodnou identicky.

U elektromobilu je uvažována výroba karoserie, při které se uvolní do atmosféry CO<sub>2</sub> dané normálním rozložením `Normal(7.7tun, 2.5tun)` a výroba baterie, pro kterou je normálním rozložením `Normal(70.46, 15)` určena kapacita (kWh), kde 70.46 je průměrná velikost baterie elektromobilu. Ta je poté násobena hodnotou 147 000, která reprezentuje uvolnění 147 kg CO<sub>2</sub> do ovzduší.

U vozidel se spalovacími motory je hodnota vyprodukovaného CO<sub>2</sub> určena jednorázově normálním rozložením `Normal(9.7tun, 3tun)`.

## 4 Architektura simulačního modelu

K implementaci simulačního modelu jsme použili objektově orientovaný přístup za využití tříd z knihovny `Simlib`.

Použité třídy:

- Třída **Generator**: je použita pro generování správného počtu spotřebitelů. Podle zvoleného experimentu je vygenerován daný počet procesů, který odpovídá časovému úseku a dané zemi. Počítáme i se změnou přírůstků nových automobilů. Tato skutečnost je vyjádřena za pomoci normálního rozložení s parametry vypočítanými z dat minulých let. Po těchto operacích se již v pravidelných intervalech generují jednotlivé procesy.
- Třída **Process**: je využita pro reprezentaci spotřebitelů. Přesněji spotřebitelů, kteří si kupují automobil a rozhodují se, jestli si koupí elektromobil, nebo ne. Každý z těchto procesů nese informace a uskutečňuje výše stanovené rozhodnutí. Po svém vzniku jsou mu nastaveny jednotlivé atributy podle definovaných informací o zemi apod. Chování procesu spočívá v tom, že se na základě svých atributů rozhoduje, jestli si pořídí elektromobil, a to na základě pravděpodobnosti. Toto rozhodnutí je samozřejmě také ovlivněno dotacemi a jinými faktory jako například vlivem okolí. Rozhodovací proces je více popsán v sekci 3.

<sup>29</sup><https://pdfs.semanticscholar.org/3c96/48892f4c46d7d1a2c1346f21bd10c782c732.pdf>

## 4.1 Spouštění simulačního modelu

Simulační model je před jeho prvním spouštěním nejprve potřeba přeložit, toho může být dosaženo díky přítomnému souboru `Makefile` a spuštěním příkazu:

```
$ make
```

Ukázkové spuštění pro Českou republiku, délku simulace 3 roky a výši dotace 200 000 Kč je možné příkazem

```
$ make run
```

## 5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Cílem experimentování bylo zjistit jaký budou mít dotace na elektromobily v České republice vliv na množství vypuštěného oxidu uhličitého do ovzduší. Předpokládá se, že zavedení státních dotací na elektromobily bude mít pozitivní vliv na růst jejich podílu na trhu. Hlavní otázkou ale zůstává, zda nahrazení vozidel se spalovacími motory právě elektromobily bude mít pozitivní vliv na životní prostředí, obzvláště když při výrobě baterií je uvolněno do vzduchu velké množství  $\text{CO}_2$

### 5.1 Postup experimentování

Postupovali jsme tak, že jsme do modelu zadali různé časové úseky a maximální výšku dotací. Sledovali jsme vliv těchto dotací na počet a podíl elektroautomobilů v zemi. Dále pak množství emisí vyprodukovaných při výrobě elektromobilů a aut se spalovacím motorem. Důležitá je také informace o celkové uhlíkové stopě. Tento údaj v sobě skrývá jak emise z výroby, tak emise z následného provozu. Je to tedy celkový vliv nově koupených automobilů na životní prostředí za daný časový úsek.

### 5.2 Dokumentace jednotlivých experimentů

#### 5.2.1 Experiment č.1

Jaký důsledek by měla v České republice dotace ve výši 200 tisíc Kč, pokud by probíhala tři roky. Jak by se stav lišil oproti možnosti, kdy by nebyla elektrická auta dotována.

Délka simulace	Celkem vozidel	Elektromobily	Auta se spal. motorem	Celkové emise [1000 kg $\text{CO}_2$ ]
3 roky	761 197	10 742 (1,41 %)	750 455 (98,59 %)	8 937 171

Tabulka 1: Stav s dotacemi 200 tisíc Kč

Délka simulace	Celkem vozidel	Elektromobily	Auta se spal. motorem	Celkové emise [1000 kg $\text{CO}_2$ ]
3 roky	761 197	1 653 (0,22 %)	759 544 (99,78 %)	8 864 162

Tabulka 2: Stav bez dotací

Je vidět, že dotace mají vliv na nákup elektromobilů. Tento výsledek se však dal celkem snadno předpovědět. Zajímavější je však navýšení emisí plynoucích z výroby elektromobilů. Jedná se o 24 336 tun  $\text{CO}_2$  za rok, což není zanedbatelné množství. Jak se tento výsledek změní při simulaci delšího časového úseku?

### 5.2.2 Experiment č.2

Jak se nám změní uhlíková stopa, pokud prodloužíme simulovaný časový úsek na 5 let?

Délka simulace	Celkem vozidel	Elektromobily	Auta se spal. motorem	Celkové emise (1000 kg CO <sub>2</sub> )
5 let	1 556 188	22 095 (1,42 %)	1 556 188 (98,58 %)	19 754 997

Tabulka 3: Stav s dotacemi 200 tisíc Kč

Délka simulace	Celkem vozidel	Elektromobily	Auta se spal. motorem	Celkové emise (1000 kg CO <sub>2</sub> )
5 let	1 556 188	3 474 (0,22 %)	1 552 714 (99,78 %)	19 614 842

Tabulka 4: Stav bez dotací

Opět můžeme pozorovat nárůst emisí při dotování elektromobilů státem (o 28 031 tun CO<sub>2</sub>). Situace se oproti experimentu č.1 (5.2.1) dokonce zhoršila. Výroba elektromobilů produkuje příliš mnoho zplodin, a tak za pořád celkem krátký 5letý časový úsek není možné, aby svým provozem elektrická vozidla tento handicap dohnala.

### 5.2.3 Experiment č.3

Je vidět, že když je podíl elektromobility větší, stoupají s tím i emise. Při jaké délce simulace a s jaké výši dotace by se mohly výsledné emise CO<sub>2</sub> rovnat za předpokladu, že v druhé simulaci nebudeme poskytovat dotace?

Délka simulace	Celkem vozidel	Elektromobily	Auta se spal. motorem	Celkové emise [1000 kg CO <sub>2</sub> ]
6 let	2 025 693	1 222 701 (60,36%)	802 992 (39,64%)	35 438 523

Tabulka 5: Stav po 6 letech s dotací 600 tisíc Kč

Délka simulace	Celkem vozidel	Elektromobily	Auta se spal. motorem	Celkové emise [1000 kg CO <sub>2</sub> ]
7 let	2 401 297	5 364 (0,22%)	2 395 933 (99,78%)	32 596 451

Tabulka 6: Stav po 7 letech bez dotace

Experimentálním zkoušením různých hodnot se mi podařilo najít 2 simulace s podobnými celkovými emisemi. Rozdíl je však, že v první simulaci byly poskytovány vysoké dotace, takže podíl elektromobilů byl vysoký. Tato simulace trvala pouze 6 let. V druhém experimentu trvala simulace 7 let a navzdory delšímu trvání celkové emise byly dokonce nižší, než když simulace trvala o rok méně a měla větší podíl elektromobilů.

#### 5.2.4 Experiment č.4

Když budeme uvažovat různé délky simulace pro stejné hodnoty, změní se podíl elektromobilů na trhu? Uvažujeme stejnou výšku dotace pro obě simulace a to sice 200 000 Kč, rozdílné ale budou délky trvání – 2 a 4 roky.

Délka simulace	Celkem vozidel	Elektromobily	Auta se spal. motorem	Celkové emise [1000 kg CO <sub>2</sub> ]
2 roky	460 065	6 444 (1.40%)	453621 (98.60%)	5 179 535

Tabulka 7: Stav po 2 letech s dotací 200 tisíc Kč

Délka simulace	Celkem vozidel	Elektromobily	Auta se spal. motorem	Celkové emise [1000 kg CO <sub>2</sub> ]
4 roky	1 122 557	15 845 (1.41%)	1 106 712 (98.59%)	13 719 066

Tabulka 8: Stav po 4 letech s dotací 200 tisíc Kč

Podíl elektromobilů na trhu se za 2 roky zvětšil pouze o 0,01%. Pro tak malý počet vozů koeficient konformity nemá velký vliv na vývoj podílu elektromobility v čase. Změnilo by se to kdybychom zvýšili dotaci a tím i množství elektromobilů?

#### 5.2.5 Experiment č.5

Když tedy vezmeme údaje z předchozího experimentu 5.2.4 a zvýšíme dotace, jak se to promítne v rozdílu procentuálního zastoupení elektrických vozů?

Délka simulace	Celkem vozidel	Elektromobily	Auta se spal. motorem	Celkové emise [1000 kg CO <sub>2</sub> ]
2 roky	460 065	266 245 (57.87%)	193 820 (42.13%)	7 233 215

Tabulka 9: Stav po 2 letech s dotací 600 tisíc Kč

Délka simulace	Celkem vozidel	Elektromobily	Auta se spal. motorem	Celkové emise [1000 kg CO <sub>2</sub> ]
4 roky	1 122 557	661 989 (58.97%)	460 568 (41.03%)	18 630 991

Tabulka 10: Stav po 4 letech s dotací 600 tisíc Kč

Pro stejnou výši státní dotace je vidět podíl elektroaut na trhu rozdílný o 1,1% mezi oběma simulacemi a tedy funguje určitý „nátlak skupiny“. Když vezmeme jiný stát, například Německo, jak moc se budou výsledky lišit od České republiky?



### 5.2.6 Experiment č.6

Tento experiment zkoumá rozdíly mezi vývojem nákupu elektromobilů v Německu a v České republice. Zajímáme se o rozdíl po 3letém dotování státem a výše dotace je 200 tisíc Kč.

Délka simulace	Celkem vozidel	Elektromobily	Auta se spal. motorem	Celkové emise [1000 kg CO <sub>2</sub> ]
3 roky	10 408 542	425 013 (4,08 %)	9 983 529 (95,92 %)	139 197 042

Tabulka 11: Stav s dotacemi 200 tisíc Kč v Německu za 3 roky

Délka simulace	Celkem vozidel	Elektromobily	Auta se spal. motorem	Celkové emise [1000 kg CO <sub>2</sub> ]
3 roky	761 197	10742 (1,41 %)	750 455 (98,59 %)	8 937 171

Tabulka 12: Stav s dotacemi 200 tisíc Kč v České republice za 3 roky

Tento experiment ukazuje, že v Německu využilo dotace na nákup elektromobilu více lidí než v Česku. Tento jev je nejspíše určen vyšší průměrnou mzdou a přívětivějším názorem na elektromobilitu.

### 5.2.7 Experiment č.7

Simulace delších časových úseků ztrácí na přesnosti, jelikož auta by měla být postupně vyřazována. Zde můžeme sledovat výsledek pro simulaci 20letého fungování dotací o výši 200 tisíc Kč.

Délka simulace	Celkem vozidel	Elektromobily	Auta se spal. motorem	Celkové emise [1000 kg CO <sub>2</sub> ]
20 roků	6 023 672	86 109 (1,43 %)	5 937 563 (98,57 %)	119 851 426

Tabulka 13: Stav po 20 letech s dotací 200 tisíc Kč

## 5.3 Závěry experimentů

Bylo provedeno 6 experimentů (s tím souvisejících 12 simulací), kde byly zadávány rozdílné vstupy a zkoumaly se jednotlivé vlivy vstupů na výstupy. Simulační model [[2], slide 44] zdárně reflektuje společenské rozdíly v jednotlivých zemích. Z posledního experimentu 5.2.7 je vidět, že model je validní pouze pro kratší časové úseky v rámci několika let (max. 10 let), neboť delší časové úseky přestávají být přesné kvůli možnosti technologických pokroků v oblasti automobilismu a výroby (např. baterií), alternativnímu způsobu výroby el. energie v České republice, a tak by emise, se kterými počítáme nebyly správné.

## 6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

Studii provedenou na modelu jsme zjistili, že elektromobily se z krátkodobého hlediska nevyplatí, alespoň ne z pohledu uvolněného oxidu uhličitého do ovzduší. Uvolněné  $\text{CO}_2$  při výrobě baterií jsou příliš vysoké a aby se tak celkové množství vypuštěné do atmosféry vyrovnalo a předčilo auta se spalovacím motorem, musely by mít elektroauta vysoké nájezdy kilometrů. Druhým důležitým faktorem je, že v České republice je vyráběno 43 % elektrické energie<sup>30</sup> uhelnými elektrárnami, které nejsou příkladným zdrojem elektrické energie šetrným k přírodě. Spotřeba elektrického vozu v České republice vzhledem ke zdroji elektřiny není méně škodlivá velkým rozdílem. Navíc musí dohánět obrovský schodek  $\text{CO}_2$ , které vzniklo při výrobě baterie. V této práci není brána v potaz likvidace baterie, která je dalším ekologickým problémem současnosti.

V tuto chvíli je pro Českou republiku lepší volbou neposkytovat dotace na elektromobily. Dříve by měl být přehodnocen zdroj elektrické energie, do té doby nemá smysl přechod na elektrická vozidla uvažovat, zvláště když k roku 2019 dosahují spalovací motory nových vozů již poměrně nízkých emisí na 1 km.

---

<sup>30</sup><https://www.ceskenoviny.cz/zpravy/spotreba-elektriny-v-cr-loni-vzrostla-na-rekordnich-73-9-twh/1755702>

## Použitá literatura

- [1] PERINGER, P.: Popis simulační knihovny SIMLIB. [online]. 1997-12-8 [cit. 2019-12-7].  
URL <<https://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/doc/html-cz/>>
- [2] PERINGER, P.; HRUBÝ, M.: Slajdy k přednáškám předmětu Modelování a simulace. [online]. Verze 2019-10-24 [cit. 2019-12-07].  
URL <<https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>>