

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Katedra ekonomie

Model socio-technického přechodu k alternativním pohonům v osobní dopravě v ČR

Bakalářská práce

Autor: Matyáš Kračmar
Studijní obor: Finanční management

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Režný, Ph.D.

Hradec Králové

březen 2021

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne: 28.4. 2021

.....
Matyáš Kračmar

Poděkování:

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Lukáši Režnému Ph.D. za jeho odborné vedení a cenné rady, které mi velmi pomohly s dokončením této práce. Také za jeho ochotu a efektivní konzultace.

Anotace

Předmětem práce „Model socio-technického přechodu k alternativním pohonům v osobní dopravě v ČR“ je představení nové modelovací metody – hybridního modelování a její nasazení na aktuální problém přechodu České republiky na alternativní pohony v osobní dopravě za účelem snižování emisí kvůli klimatické změně. Práce zahrnuje vztah státních subvencí na pořízení elektromobilů na státní rozpočet a závazek České republiky ke snižování emisí podle evropské směrnice. Dále je využito rozdělení příjmu obyvatel ČR k hodnocení dostupnosti elektromobility a je vysvětleno agentové modelování a modelování pomocí systémové dynamiky, která jsou na tuto práci využita. V poslední části je popsán využitý model a jeho funkce. Model je prezentován na stanovených scénářích zásahu státu do ekonomiky. První je volný trh (stát nijak nezasahuje) s výsledkem vozového parku na 22% podílu elektromobilů. Dále zákaz prodeje vozidel se spalovacími motory a následným snížením těchto vozidel na 17,7% podíl vozového parku. Třetí je finanční podpora ze strany státu s navýšením bateriových vozidel na 33,4% podíl a vozidel se spalovacími motory na 57,4 %. Poslední scénář je kombinace zákazu a finanční podpory s navýšením elektromobilů ve vozovém parku na 33,4 %, ale s celkovým podílem 48,9 % spotřebitelů bez osobní mobility. Za předpokladu konstantní ceny elektrických vozidel je závěrem modelu neschopnost nahrazení vozidel se spalovacími motory v plném rozsahu s uvažováním konkrétních podmínek pro ČR. Využití hybridního modelování se na tento problém osvědčilo a při rozšíření modelu je vhodné jeho užití.

Klíčová slova: státní rozpočet, finanční subvence, hybridní modelování, příjem obyvatel, elektromobil, klimatická změna

Annotation:

Subject of the Bachelor thesis “Model of socio-technical transition to alternative means of personal transport in the Czech republic“ is introduction of a new modeling method – hybrid modeling and its deployment on the current problem of the Czech Republic's transition to alternative means of personal transport in order to reduce emissions due to climate change. Bachelor thesis includes the relationship of state subsidies to the acquisition of electric cars to the state budget and the commitment of the Czech Republic to reduce emissions under the European directive. Furthermore, the distribution of income of the population of the Czech Republic is used to evaluate the availability of electromobility and agent modeling and modeling using system dynamics (which are used for this work) are explained. The last part describes the used model and its functions. The model is presented on established scenarios of state intervention in the economy: free market (the state does not intervene) with a fleet result of 22% of electric cars, a ban selling vehicles with internal combustion engines and subsequent reduction of those vehicles to 17.7% of fleet. Third is financial support from the state with an increase of battery cars to 33.4% and vehicles with internal combustion engines to 57.4%. The last scenario is a combination of a ban and financial support with an increase of battery vehicles to 33.4%, but a total share of 48.9% of consumers without personal mobility. Assuming a constant price of electric vehicles, the conclusion of the model is the inability to replace vehicles with internal combustion engines in full, considering specific conditions for the Czech Republic. The use of hybrid modeling has proved successful for this problem and its use is appropriate when extending the model.

Keywords: state budget, financial subsidies, hybrid modeling, income of the population, electric car, climate change

Obsah

1) Úvod.....	1
2) Teoretická část.....	3
2.1 Státní rozpočet	3
2.2 Redistribuční funkce a podpora BEV.....	4
2.3 Struktura daní státního rozpočtu ve vztahu k osobní mobilitě	5
2.4 Závazek ČR ke snižování emisí podle směrnice EU 2016/2284.....	6
2.5 Schéma podpory přechodu k elektromobilitě v jiných státech.....	6
2.6 Metody modelování	8
2.6.1 Systémová dynamika	8
2.6.2 Agentové modelování	11
2.7 Přehled modelů.....	13
2.7.1 Hybridní modely	13
2.7.2 Modely využívající systémovou dynamiku	15
2.7.3 Agentové modely.....	16
2.8 Průmyslové studie – stávající technický stav	18
3) Praktická část – popis struktury modelu	20
3.1 Struktura modelu – agentové modelování.....	20
3.2 Příjem obyvatelstva v ČR.....	20
3.3 Struktura modelu – systémová dynamika	25
4) Výsledky práce.....	29
4.1 Start simulace	29
1. scénář: Volný trh.....	30
2. scénář: Bez subvencí, se zákazem prodeje vozidel se spalovacími motory	31
3. scénář: Subvence bez zákazů prodeje.....	33
4. scénář: Kombinace subvencí a zákazu	35
4.2 Porovnání scénářů a diskuse	37
5) Závěr.....	40
Zdroje.....	42
Seznam obrázků:.....	45
Seznam tabulek:	45

Seznam zkratek

BEV (battery electric vehicle) = bateriové elektrické vozidlo

ICE (Internal combustion engine) = spalovací motor

DPH = daň z přidané hodnoty

AFV (alternative fuel vehicle) = vozidlo s alternativním pohonem

EV (electric vehicle) = elektrické vozidlo

FCEV (fuel cell electric vehicle) = hybridní vozidlo

PHEV (plug-in hybrid) = nabíjecí hybridní vozidlo

ABM (agent based modeling) = agentové modelování

SD = systémová dynamika

IEA (international energy agency) = mezinárodní agentura pro energii

SUV (sport utility vehicle) – vozidlo pro sportovní aktivity

AV = autonomní vozidla

SEK = švédská koruna

GBP = britská libra

PLN = polský zlotý

USD = americké dolary

1) Úvod

Jeden z hlavních problémů moderní doby je klimatická změna – globální zvyšování teplot po celém světě. Velkou zásluhu na tomto dlouhodobém zhoršování mají emise ze spalovacích motorů, jako jsou naftové či benzínové. Vzhledem k dlouholetému přetrvávání tohoto problému vydala Evropská unie směrnici o snižování emisí ze spalovacích motorů, ke které se zavázala i Česká republika. Současná situace napovídá, že se v blízké budoucnosti dostane EU do bodu, kdy budou vozidla se spalovacími motory přísně regulována nebo až zakázána. Česká republika by tedy měla podniknout kroky, které povedou k přechodu na využívání alternativních pohonů pro vozidla využívaná v osobní dopravě. IPCC uvádí, že je nutnost snížit dosavadní globální nárůst teplot minimálně na 1,5 stupně Celsia. (IPCC, 2018) Naopak UNEP a jejich studie tvrdí, že dosavadní závazky mnoha států na snižování emisí nestačí ani na dosažení cíle zvyšování teplot o 2 stupně Celsia. (UNEP, 2017)

Bakalářská práce Model socio-technického přechodu k alternativním pohonům v osobní dopravě v ČR je zaměřená na představení hybridní metody modelování jako manažerského nástroje pro podporu rozhodování s potenciálním využitím pro Ministerstvo financí, zejména k mapování a predikci důsledků přechodu na alternativní pohony pro státní rozpočet, včetně možného využití pro státní správu či Ministerstvo dopravy a životního prostředí. Tato práce byla vybrána, protože zkoumá zmíněný současný problém přechodu České republiky na alternativní pohony v osobní dopravě. Pomocí modelování vyobrazuje současnou a potenciálně budoucí situaci osobní mobility a ukazuje důsledky rozdělení příjmů ve společnosti na její budoucí dostupnost v České republice.

Teoretická část shrnuje funkci státního rozpočtu a dopady na jeho příjmy a výdaje při státní podpoře na přechod na alternativní pohony. Zároveň jedním z uvažovaných parametrů modelu jsou spotřebitelé v České republice a jejich příjem. Praktická část prezentuje modelování jako podpůrný rozhodovací nástroj při přechodu na alternativní paliva s možností zachycení těchto faktorů: nákupní rozhodování spotřebitelů a jejich příjem, komunikace agentů a pomoc ze strany státu, díky kterým se metoda jeví být lepší než pouhá naivní extrapolace. K prezentaci jsou využity

předem stanovené scénáře. Simulace ukazuje možnou rychlost přechodu České republiky k alternativním pohonům, pomocí využití státní podpory a úplného zákazu prodeje vozidel se spalovacími motory.

2) Teoretická část

2.1 Státní rozpočet

Státní rozpočet obsahuje odhad příjmů a rozdělení výdajů daného státu. Příjmy se rozdělují na daňové a nedaňové. Daňové příjmy jsou například daně z příjmu fyzických a právnických osob, DPH nebo daně z pohonných hmot či silniční daně. Velká část příjmů pak tvoří povinné pojistné na sociální zabezpečení.

Výdaje ze státního rozpočtu tvoří především sociální dávky, neinvestiční transfery veřejným rozpočtům územní úrovně, neinvestiční transfery veřejným rozpočtům ústřední úrovně či platy státním zaměstnancům a podobné související výdaje. Státní rozpočet je připravován ministerstvem financí a schvalován poslaneckou sněmovnou vždy na předem stanovené období, zpravidla jeden rok. (Ministerstvo financí ČR, 2021)

Podle schválených plánů – očekávaných příjmů, výdajů a aktuální situace, se státní rozpočet připravuje ve 3 variantách:

- rozpočet vyrovnaný
- rozpočet přebytkový
- rozpočet schodkový

Výdaje státního rozpočtu dělíme do 3 kategorií:

Mandatorní výdaje = výdaje, které jsou pro stát povinné ze zákona, například: sociální dávky, podpora v nezaměstnanosti či výdaje na volby.

Quasi-mandatorní výdaje = výdaje, které nejsou vyžadovány zákonem, ale jsou pro chod státu nezbytné, například: platy státních zaměstnanců, výdaje na obranu státu.

Nemandatorní výdaje = výdaje, které stát opět nemá ze zákona povinné, ale jsou v jeho zájmu, kvůli hospodářskému rozvoji, například: výstavba dopravní infrastruktury, školství či zdravotnictví. (Ministerstvo financí ČR, 2021)

Státní rozpočet plní 3 základní funkce

- 1) alokační funkce – jejím úkolem je soustředování finančních prostředků státního rozpočtu k zabezpečení potřebné produkce nebo financování veřejných statků jako je školství, armáda, zdravotnictví
- 2) redistribuční (přerozdělovací funkce) – jedná se především o přerozdělování příjmů od ekonomických subjektů, pomocí důchodů či sociálních dávek a transferů
- 3) stabilizační – příjmy a výdaje z veřejných rozpočtů jsou směřovány tak, aby stabilizovaly výkyvy hospodářského cyklu (Ministerstvo financí, 2018)

2.2 Redistribuční funkce a podpora BEV

Redistribuční funkce slouží k přerozdělování příjmů, především ve formě dávek či transferů a dotací. Přerozdělovací funkce se obvykle v ekonomice provádí přes daňovou či výdajovou politiku. Ukázkovým příkladem je progresivní daň, která se zvyšuje s ohledem na výši příjmu spotřebitele. Čím více spotřebitel vydělává, tím větší procentuální podíl musí odvést na daních.

Redistribuční funkce má základ především v myšlence, aby neexistovaly pouze 2 extrémy, kdy první patří mezi extrémně bohatou část společnosti a druhá část nemá ani na základní životní potřeby jako je jídlo, voda, hygienické potřeby nebo možnost bydlení. Přerozdělovací funkce státního rozpočtu je směřována tak, aby snižovala rozdíl mezi těmito dvěma skupinami. Nelze to zajistit úplně dokonale, ale díky těmto přiblížením se z velké části zamezuje vysoké úmrtnosti a zvyšuje se v celém státě životní standard. (Samuelson and Nordhaus, 2010)

V rámci přechodu na elektromobilitu v České republice, je jednou zamýšlených dotací státní subvence ke koupi vozidla s elektrickým motorem pro spotřebitele. Ceny elektromobilů jsou v tuto chvíli velmi vysoké, proto je potřeba, aby stát zasáhl a pomohl k přechodu na alternativní pohony. V níže představeném modelu jsou vládní subvence zakomponovány a zároveň je podtržena jejich důležitost, protože české domácnosti se svými příjmy na ceny vozů nedosahují. (ISPV, 2020)

U zmiňovaných subvencí je potřeba zamýšlet jakou formou budou tyto podpory umožněny. První případ je, že se vyplatí spotřebiteli až po nákupu zamýšleného vozidla. Kladná stránka této možnosti je, že se zamezí zneužívání vládní podpory na jiné zboží, případně jiná forma podvodu. Problémem se zde objevuje fakt, že spotřebitel musí nejdříve na vozidlo mít peníze v plné výši, aby si ho mohl koupit, a teprve potom dostane zaplacenou podporu zpětně. Tato cesta nahrává pouze a jenom bohatší vrstvě populace a vzniká tzv. ekošlechta, kdy spotřebitel sice nebude využívat spalovací motor, a sníží se tedy emise CO₂, ale aby k tomuto kroku mohlo dojít, musí nejdřív spotřebitel zaplatit plnou cenu pro koupi vozidla, na které, bez zmiňovaného příspěvku, nemá.

Druhá možnost je opačná. Stát vyplatí subvence například při doložení kupní smlouvy, technickým průkazem nebo jinou cestou. Tímto způsobem by na sebe stát vzal částečnou zodpovědnost za platbu vozidla a vznikla by možnost koupě vozu i přes zmiňovaný problém – nedostatek peněz pro nákup bateriového vozidla. Samozřejmě zde hrozí zmiňované podvody, ale to má řešení například právě v doložení kupní smlouvy či jiného dokladu potvrzující zamýšlený nákup vozidla.

2.3 Struktura daní státního rozpočtu ve vztahu k osobní mobilitě

Podpora na pořízení vozidla s elektromotorem není však jediný výdaj, který stát čeká. V případě, že se stát rozhodne podpořit přechod na elektromobilitu, potom jsou ovlivněny i příjmy do státního rozpočtu, konkrétně daňové – silniční daň a spotřební daň za pohonné hmoty. Spotřební daně v roce 2021 tvoří 11,8% podíl (163,3 mld. Kč v ČR) v příjmech do státního rozpočtu. (Ministerstvo financí ČR, 2021) A v případě navýšení vozového parku o bateriová vozidla rozhodně tyto příjmy klesnou. To stejné platí pro silniční daň, kdy velké množství států upouští od silniční daně, respektive odpouští silniční daň vlastníkům vozidel s elektrickým pohonem. Cílem je zvýšení počtu elektrických vozidel ve vozovém parku, což vede i ke snížení příjmů do státních rozpočtů.

2.4 Závazek ČR ke snižování emisí podle směrnice EU 2016/2284

Určitá forma podpory ze strany státu na přechod či zvýšení podílu elektrických vozidel v českém vozovém parku je motivována závazkem České republiky ke snižování emisí vybraných látek znečišťujících ovzduší, do čehož patří i právě emise ze spalovacích motorů. (Evropský parlament a rada Evropské unie, 2016)

O tento závazek se stará ministerstvo životního prostředí a konkrétně NPSE (Národní program snižování emisí České republiky). Tento program plní roli národního programu omezování znečišťování životního prostředí, které vyžaduje legislativa EU.

Nynější aktualizace NPSE splňuje požadavky evropské směrnice. Mezi její hlavní cíle patří dodržení sjednaných závazků ke snížení emisí vybraných látek znečišťujících životní prostředí v průběhu let 2020 až 2030. (Vláda České republiky, 2019)

2.5 Schéma podpory přechodu k elektromobilitě v jiných státech

European Automobile Manufacturers Association (ACEA) vytvořili dokument, který detailně mapuje schémata podpory pro státy Evropské Unie a Velkou Británii. Průzkum podpor zahrnuje koupi vozidla ať už s elektrickým pohonem nebo jinými alternativními pohony, daňové zvýhodnění a formy pobídky k nákupu z roku 2020.

Formu finanční podpory či úlevy v roce 2020 poskytují státy: Německo (od 5625 do 9000 EUR do konce roku 2021), Chorvatsko (9200 EUR), Estonsko (5000 EUR), Finsko (2000 EUR do konce roku 2021), Francie (od 2500 do 7000 EUR), Řecko (15 % z ceny vozu, maximálně do 5500 EUR), Maďarsko (od 1500 do 7350 EUR), Irsko (od 3800 do 5000 EUR), Lucembursko (od 2500 až 5000 EUR), Polsko (od 37500 do 90000 PLN), Portugalsko (3000 EUR), Rumunsko (10000 EUR), Slovensko (od 5000 do 8000 EUR), Slovinsko (od 3000 do 7500 EUR), Španělsko (od 1900 do 5000 EUR), Švédsko (od 10000 do 60000 SEK), Velká Británie (do 3000 GBP).

Většina z výše uvedených států využívá spolu s finanční podporou ještě daňové úlevy pro čistě elektrická vozidla. Popřípadě přidává finanční příspěvek na nabíjecí stanici k elektrickým vozidlům či jinou formu podpory. (ACEA, 2020)

Česká republika v tuto chvíli nemá žádnou formu finanční podpory pro nákup elektrického vozidla, s výjimkou odpuštění platby silniční daně pro čistě elektrická vozidla. (ACEA, 2020)

Níže popsaný model zahrnuje pomocí systémové dynamiky a agentového modelování případnou finanční podporu ze strany státu a zákaz prodeje vozidel se spalovacími motory k určitému datu. A simuluje zvýšení vozového parku elektrických vozidel České republiky.

2.6 Metody modelování

2.6.1 Systémová dynamika

Michael J. Radzicki popsal systémovou dynamiku jako metodu modelování, která se používá k analýze komplexních dynamicky nelineárních zpětnovazebních systémů za účelem získání porozumění či přehled a navrhování zásad, které zlepší výkon systému.

Vznik systémové dynamiky se váže k 50. létům 20. století a za hlavní motiv pro vznik systémové dynamiky se považuje snaha o zlepšení robustnosti korporací, kdy modely byly vytvářeny, aby ukazovaly alternativní scénáře a tím připravily korporátní firmy na možné stavy v budoucnosti. Dříve se modely vytvářely s cílem otestovat strukturu firmy, zlepšit její chování a zajistit větší robustnost. Dnešní stav systémové dynamiky se dá použít na velmi široké spektrum problematik. Ať už v oblastech ekonomiky či vědních disciplín. Modely systémové dynamiky se vytvářejí především za účelem poznávání a spojování relevantních částí systémové struktury a poté simulování chování generované onou strukturou.

Základní části systémové dynamiky

Hladina (ang. Stock) – tvoří naprostý základ modelování pomocí systémové dynamiky. Hladina kumuluje informace, které do ní vstoupí a opět vystoupí kdy se může jednat o hmatatelné jednotky, například materiál, zásoby na skladě a nehmataelné jednotky například kvalita produktu. Zároveň je zodpovědná za časové prodlevy (například naskladnění zboží na sklad, nebo doručení vozidla spotřebiteli) nebo oddělení toků. Je důležité, aby měl svou počáteční hodnotu, ale výhodou je, že se dá kdykoliv během simulace zjistit aktuální stav.

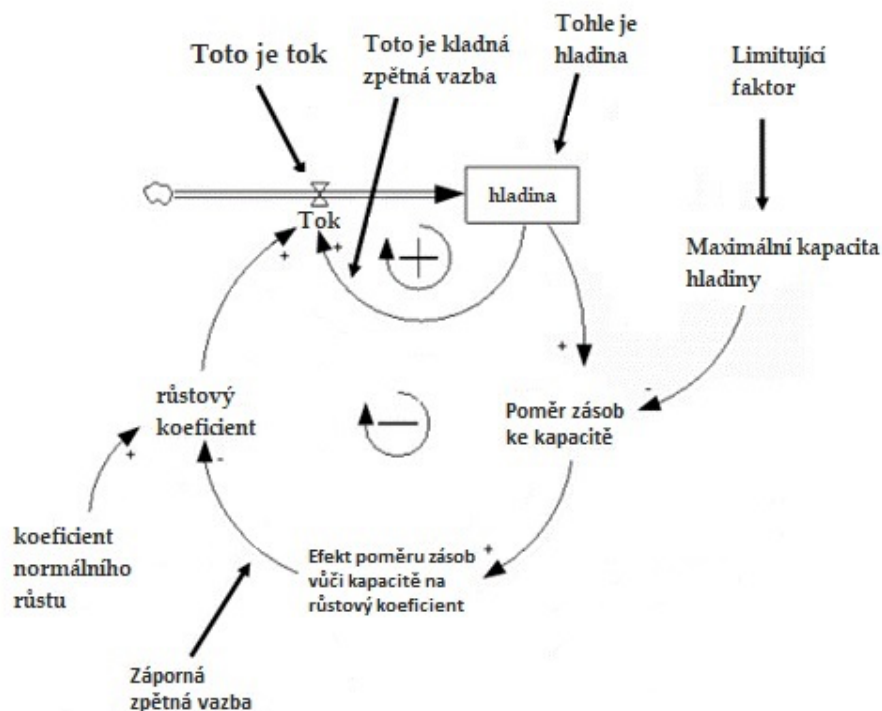
Tok (ang. Flow) – tok informací vstupuje do a odchází z hladiny. Tedy se jedná o proces, který naplňuje nebo vyprazdňuje hladiny. Můžeme říct, že rozdíl mezi vstupem a výstupem do hladiny je míra změny hladiny. Pokud se v systémové dynamice pokoušíme vyjádřit lidské chování, využívají se na to rovnice v tocích. V systémové dynamice může být soustava lineárních rovnic, ale systém jako celek bude vykazovat nelineární chování.

Stav a tok si můžeme představit jako plnění vany, kdy hladina je samotná vana, která se plní vodou a tok jsou trubky a kohoutek, které do vany buď vodu ženou nebo pomocí nich voda odtéká pryč. (Radzicki, 2010)

Vazby (ang. Feedback) - zobrazují se jako spoje, šipky nebo konektory s určenou polaritou, a to kladnou či zápornou. Jejich úkolem je přenos a návrat informací o množství zkoumaných jednotek, které se nahromadily v hladině. V případě, že se informace vrátí zpět a posílí systém nebo jeho chování, považuje se vazba za kladnou se znaménkem plus. Kladné vazby jsou zodpovědné za exponenciální růst výstupu systému v čase. Smyčky záporné vazby představují chování hledající cílový stav. Slouží zároveň jako nástroj na korekci chyb. V případě že záporná vazba zachytí chybné, rozdílné informace nebo materiál od požadovaných informací nebo materiálu v systémové hladině, zahájí nápravné opatření. (Radzicki, 2010)

V případě korekce chyby jsou dvě možnosti, jak systém nápravné opatření řeší

- 1) pokud nápravné opatření značně není zpožděno, systém se dokáže plynule přizpůsobit svému cíli
- 2) pokud však nápravné opatření je zpožděno, systém může nadhodnotit či podhodnotit svůj cíl a může oscilovat (Radzicki, 2010)



Obrázek č. 1 - popis systémové dynamiky (Radzicki, 2010)

Systemová dynamika v ekonomickém sektoru

V praxi se můžeme setkat se třemi principy modelování v ekonomickém sektoru pomocí systémové dynamiky. První zahrnuje přesné přeložení stávajícího modelu do formátu systémové dynamiky, přičemž druhý je přímo o vytvoření celého modelu od samotného začátku, kdy se pouze dodržují pravidla a pokyny paradigmatu dynamiky systému. Třetí přístup, jak může být systémová dynamika použita pro ekonomické modelování, je forma „hybridního“ modelu. Prozkoumaný ekonomický model je přeložen do formátu systémové dynamiky, podroben konstruktivní kritice, návrhům na jeho vylepšení a poté vylepšen a modifikován tak, aby blíže splňoval principy a pravidla systémové dynamiky.

Silná stránka prvního přístupu – přeložení stávajícího modelu do systémové dynamiky – je, že umožňuje ukázat známý ekonomický model v obecném formátu, což umožňuje porovnání a srovnávání jejich předpokladů, chování, ale také struktury či konceptů. Druhý princip ekonomického modelování – vytvoření celého modelu – je obvykle nejvíce realistický. Přináší nové pohledy a výsledky, které nejsou intuitivní a jsou tedy provokativní. Třetí postup/princip – hybridní model – spojuje výhody prvních dvou principů, ale stále zůstává mnohem více podobný překladu již existujícího modelu do systémové dynamiky, tedy prvnímu principu. (Radzicki, 2010)

Typy dynamické simulace

Z pohledu systémové dynamiky, pochopení dynamického modelu a jeho fungování, znamená determinování, kolik materiálu nebo informací se nahromadilo v každé ze systémových hladin, po celou dobu simulace. Toho lze dosáhnout dvěma způsoby – analyticky nebo simulací. U lineárně dynamických modelů to mohou být obě možnosti, nelineární modely mohou být řešeny pouze simulací. Pochopení základních myšlenek těchto dvou přístupů je nezbytné pro pochopení toho, jak probíhá ekonomické modelování v systémové dynamice. (Radzicki, 2010)

2.6.2 Agentové modelování

Struktura agentového modelování je vcelku strohá. Základní části se dělí na agenty a jejich prostředí. Nejčastěji se používá jako zvýraznění abstrakce něčeho ze skutečného světa nebo něčeho, co existuje v konceptuální podobě. Zároveň agentové modelování funguje jako zastoupení nějakého jevu nebo možnost vytvoření systému pro experimentování či vytváření různých scénářů. Tyto scénáře mohou být například ekonomické, kdy agenti představují populaci dané země či její vzorek. (Salgado and Gilbert, 2013)

Agenti

Představují výpočetní reprezentaci některých konkrétních sociálních aktérů, a to jednotlivé osoby, firmy nebo zvířata. Ale současně i takové subjekty jako jsou národní podniky – laicky řečeno se jedná o subjekty schopné vzájemné interakce, to znamená, že jsou schopni si mezi sebou předávat zprávy, a reagovat na co se naučili. Zároveň schopni reagovat na akce jiných agentů. Každý agent v modelu tedy představuje soběstačnou entitu. Uměle vytvořená populace může zahrnovat různorodé agenty. Na tomto lze stavět, pokud chceme vytvořit simulaci s agenty, u kterých je zapotřebí role, perspektiva či obecně modelujeme nějaký jev s různými možnostmi. V agentovém modelování jsou agenti popisováni čtyřmi důležitými charakterovými vlastnostmi.

- Vnímání = agenti vnímají jejich okolí, včetně ostatních agentů, kteří jsou umístěni v jejich okolí
- Chování = agenti mají několik možností chování a to, že jsou schopni se pohybovat, komunikovat s ostatními agenty či interagovat se svým prostředím
- Paměť = všechny subjekty mají paměť ve které zaznamenávají jejich předchozí pozice a akce
- Zásady = mají soubor pravidel či strategií, které určují jejich příští postupy podle jejich současné situace a podle historie

Pokud mají agenti tyto charakterové vlastnosti, je možné jejich široké využití. Mohou být použity v různých architekturách k širokému spektru účelů. V závislosti na účelu simulace je důležité najít a využít správnou architekturu, aby byla simulace provedená co nejpřesněji a co nejbližší požadovanému cíli. Různé architektury mají odlišné výhody. Aby agentové modelování fungovalo správně a byl využit jeho plný potenciál – agenti a jejich komunikace, je potřeba aby byl vytvořen mechanismus, který agentům umožní přijímat vstupy z prostředí, zároveň ukládat historické vstupy a akce, které budou následně využity pro rozhodování o následujícím postupu, akcích a distribuci výstupů. (Salgado and Gilbert, 2013)

Prostředí

Agentové modelování ovšem není pouze a jenom o agentech. Aby byl dodržen správný postup a zároveň správná funkčnost modelování, je potřeba zahrnout definici rozumně relevantního prostředí agentového modelování. Zmiňované prostředí je čistě virtuální svět, ve kterém se naši agenti vyskytují. Prostředí jako takové může mít na agenty obrovský vliv a představovat pro ně zásadní faktor, ale také pro agenty nemusí představovat prakticky nic a slouží pouze jako „něco“ kde agenti jsou. Toto záleží hlavně na cíli modelu. Pokud se jedná například o modelování, kde se autor zabývá ekologií nebo antropologií, je mnohem větší pravděpodobnost, že vytvoří či využije model s mnohem propracovanějším a důležitějším prostředím, který bude mít efekt na agenty. (Salgado and Gilbert, 2013)

Jak funguje agentové modelování a jeho případné varianty

Svým designem či obsahem bývají často vcelku jednoduché. Pro modelování stačí agenti a jejich prostředí. Lze říct, že ačkoliv je modelování samo o sobě méně obsahové tak se jedná o možnost komplexního popisování složitých nelineárních a samoorganizujících se systémů. Agenti jsou využíváni ke zpracování různých věcí či dat podle odvětví či problému, kvůli kterému byl model vyvinut. Agenti v ABM se téměř vždy používají ke zpracování dat nebo informací. (Gilbert, 2007)

2.7 Přehled modelů

Následný text je převzatý z „návrh projektu – model socio-technického přechodu k alternativním pohonům v osobní dopravě v ČR, Ing. Lukáš Režný, Ph.D., Hradec Králové 2019“

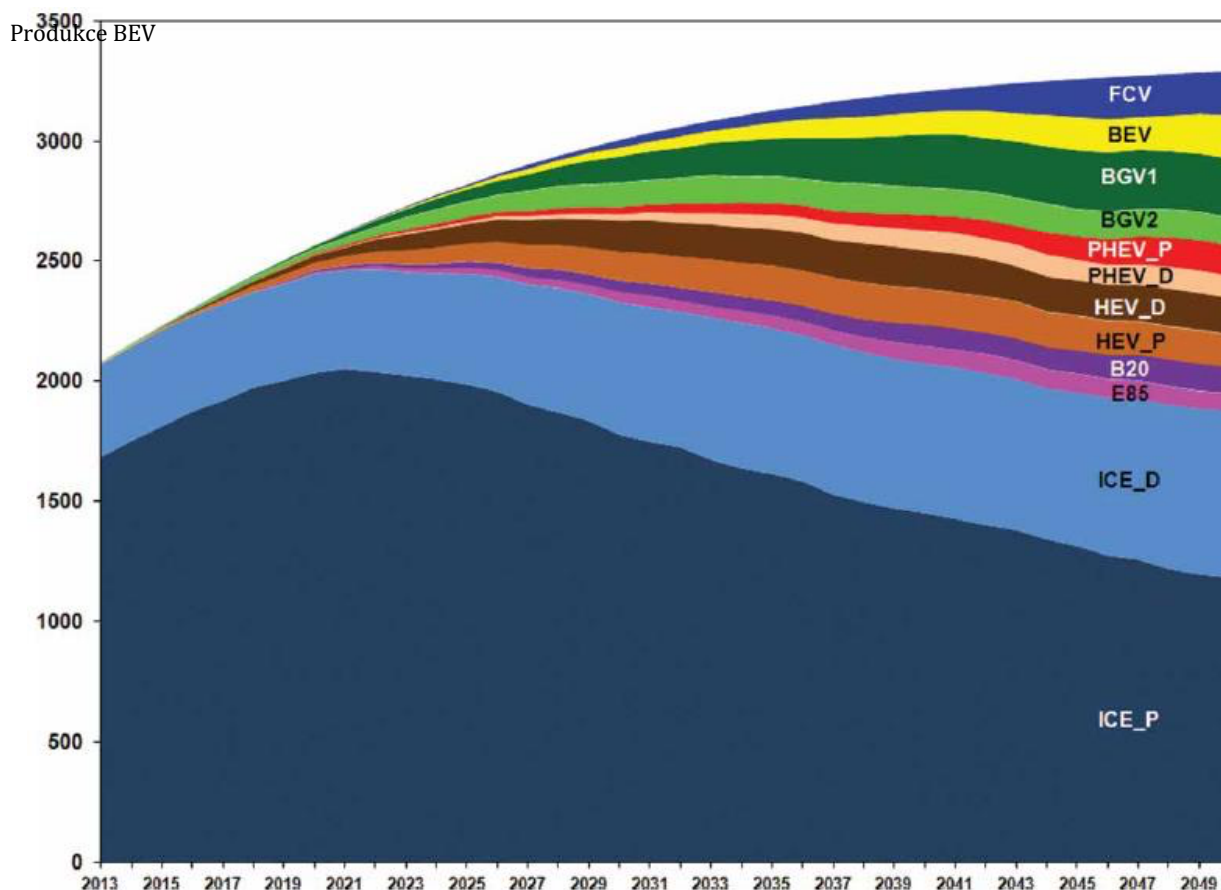
2.7.1 Hybridní modely

K danému tématu existují celkem dva modely, dle Lopez-Arboleda et al., využívající hybridní AB a SD přístup současně. (Lopez-Arboleda et al., 2019)

Integrované modelování založené na agentech a systémové dynamice pro simulaci udržitelné mobility

Shafiei et al. se zaměřují na Islandský vozový park do roku 2050 a prezentují hybridní model zaměřený na simulační scénář pro jeho složení, implementovaný v SW Anylogic. Obsah modelu je tvořen z částí integrovaných do jednoho celku (modelovací metoda použitá pro každou část systému uvedena v závorce): vozidla (ABM) spotřebitelé (ABM), výrobci automobilů (SD), prodejci automobilů (SD), vláda (exogenní ve formě politik) čerpací (dobíjecí) stanice (SD) (Shafiei et al., 2013).

Zároveň model obsahuje zastoupení těchto palivových technologií (dle zdroje): elektřina z vodní energie, elektřiny z geotermální elektrárny, bioplynu z komunálních zdrojů (odpady), bionafta z odpadních olejů, bioethanol z lignocelulózové biomasy, vodík z elektrolýzy, importované diesellové a benzínové palivo. (Shafiei et al. 2013) Shrnutí ukazuje graf 1, z kterého je jasně zřejmé, že dle daného scénáře a obsahu modelu mají převládat vozy se standardním spalovacím motorem i v roce 2050. (Shafiei et al., 2013) Model ovšem nijak nezahrnuje dostupnost fosilních paliv, ani ve formě exogenního předpokladu dostupnosti.



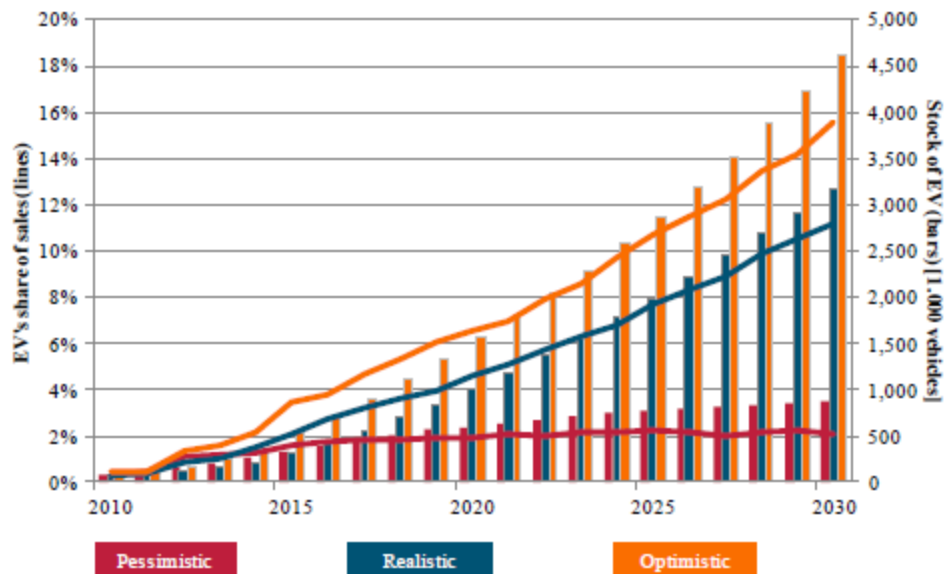
Obrázek č. 2 - Simulované zastoupení osobních vozidel – Island (Shafiei et al., 2013)

Simulované zastoupení osobních vozidel v Islandském vozovém parku – spalovací motor (ICE_P), dieselový spalovací motor (ICE_D), benzínový hybrid (HEV_P), dieselový hybrid (HEV_D), plug-in hybridní elektrické vozidlo, s benzínem (PHEV_P), plug-in hybrid elektrické vozidlo s naftou (PHEV_D), bateriové elektrické vozidlo (BEV), bio-etanol (E85), bio-diesel (B20), bioplyn (BGV1), spalovací motor s kombinací paliv benzín-bioplyn (BGV2) a vozidlo s palivovým článkem (FCV). (Shafiei et al., 2013)

Simulátor automobilového trhu

Autoři Kieckhäfer et al. implementovali svůj model opět v SW Anylogic. Mezi ostatními modely zaujímá unikátní postavení, protože předmětem jeho zkoumání není pouze obsah a složení vozového parku v budoucnu (model je parametricky zasazen do Německé ekonomiky), ale zároveň obsahuje produktový mix a zvolenou strategii výrobců osobních vozidel a jak právě tyto proměnné ovlivňují trh a míru adopce alternativních druhů pohonů v osobní dopravě. Spotřebitelé v modelu jsou reprezentováni pomocí AB modelu a výrobce vozů vyobrazují jako SD model.

Výsledkem základního scénáře modelu je 11% podíl EV v nově prodaných vozech v roce 2030. (uveden jako Realistic) Následující graf vyobrazuje tři scénáře, které se liší dle spotřebitelských postojů k elektromobilitě.



Obrázek č. 3 - Scénáře vývoje podílu vozidel s elektrickým pohonem (EV). (Kieckhäfer et al., 2017)

Dále autoři museli vytvořit citlivostní analýzu pro produktový mix, který nabízeli výrobci osobních vozidel. Ta se soustředila především na to, jaké druhy alternativních pohonů v různých třídách vozů jsou dostupné (dle velikosti vozu – malé, kompaktní, středně velká a velká vozidla) pro následující technologie: spalovací motor pro benzín, dieselové palivo, hybrid, PHEV, BEV, FCEV.

2.7.2 Modely využívající systémovou dynamiku

Faktory ovlivňující budoucí poptávku po elektrických vozidlech: Studie založená na modelech

Shepherd et al. vytvořili SD model na celkový vývoj složení vozového parku osobních vozidel do roku 2050 ve Spojeném království. Je zaměřený na vyhodnocení citlivosti různých atributů ovlivňujících míru adopce EV. Zahrnuté byly parametry jako provozní náklady, maximální dosažitelná rychlost, dostupnost paliva (dostupnost nabíjecích stanic) a další dotační schémata pro nákup EV (autoři zároveň počítají vyplacené dotace v jednotlivých scénářích a to kumulativně, zároveň spolu s ušlými daněmi způsobenými sníženou daňovou povinností pro EV vozidla ve srovnání s ICE). V roce

2050 by měl být tržní podíl prodaných EV vozidel pro první scénář 40 % a pro druhý scénář 57 %. (Shepherd et al., 2012).

Posouzení dopadů v automobilovém průmyslu: povinné uvedení alternativních technologií hnacího ústrojí na trh

U tohoto simulačního dynamického modelu, je především zkoumána strategie výrobců automobilů. A mezi faktory, které jsou hlavní a zahrnované patří především – odpovídající pokrytí infrastruktury, nabízené typy vozidel (resp. třídy vozidel, např. kompakty), vývoj technologií pohonných jednotek a také chování spotřebitelů. Zasažení modelu je na území Kalifornie. Jako hlavním předmětem zájmu pro výrobce, je optimální strategie zaměřená k dosahování zisku a minimalizaci případných postihů za neplnění emisních norem. Výsledky ukazují, že pro splnění požadavků je vyžadováno včasné zavedení alternativních pohonných jednotek a jejich integraci do nabídky co možná nejdříve, a to v mnoha segmentech vozidel současně. (Walther et al., 2010). Model, je svou perspektivou z pohledu výrobců vozidel unikátní.

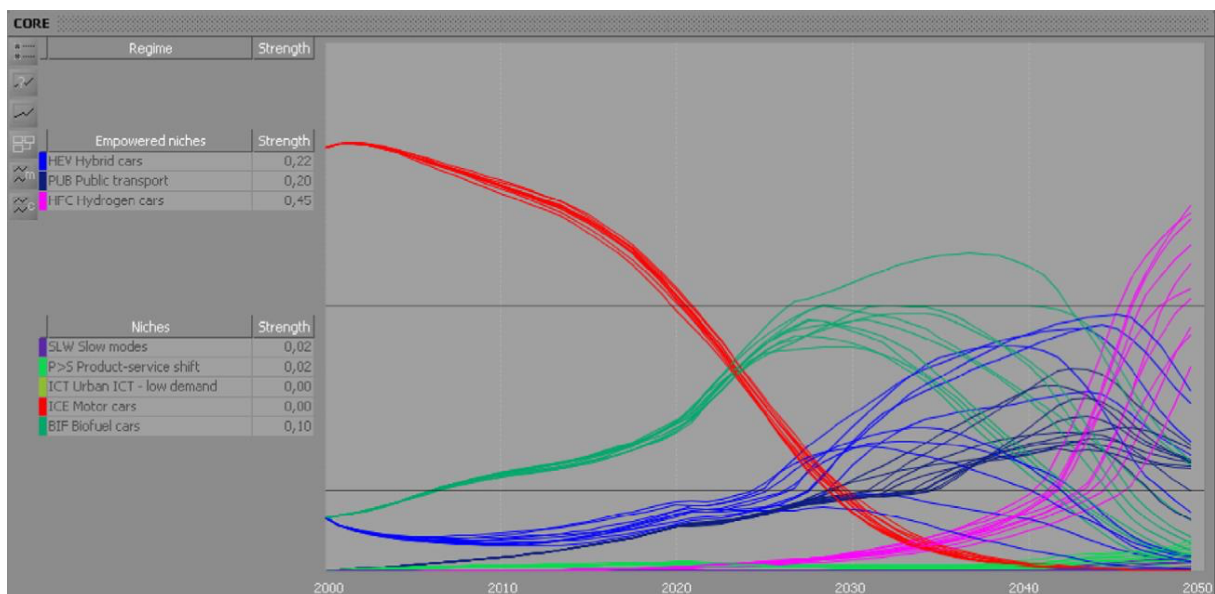
2.7.3 Agentové modely

Přechodný model pro udržitelnou mobilitu

V dříve zmiňované publikaci jsou popsány principy, které autoři využili k tvorbě tohoto modelu. Publikace popisuje socio-technické přechody v obecném modelu (Bergman et al., 2008). Model, o který se jedná je ABM a zachycuje sociální dynamiku přechodů technologií, které jsou různými společnostmi využívány (autoři model aplikují historicky, například na přechod od využívání koňmi tažené dopravy k technologii parních strojů). Obsahově můžeme model popsat jako několika typový agentový model, kdy základem jsou spotřebitelé, následují agenti, kteří reprezentují společenskou podporu a dominanci jednotlivých technologií ve třech úrovních, dle spotřebitelské podpory. Agenti, kteří reprezentují spotřebitele rozhodují o podpoře jednotlivých druhů technologií na základě mnoha parametrů, například ceny (autoři model aplikují na víc příkladů). Agenti vyšších úrovní reprezentující dominanci jednotlivých technologií, které jsou využívány různými společnostmi. Mají více parametrů, zejména sílu reprezentující jejich společenskou podporu, kterou následně rozdělují mezi investice do infrastruktury a institucionální podpory. Právě zmiňované investice mohou být důvodem k přetrvání dominance určité technologie i například

přes ztrátu společenské podpory. Zdá se však, že v modelu chybí konkrétní podrobné modelování např. kapitál reprezentující akumulované investice do jednotlivých investic, model je tedy velmi abstraktní. Model byl částečně vytvořen autory v Javě v rámci vývojářského prostředí Eclipse a byl implementován ve vlastním prostředí.

Jako konkrétní aplikaci výše uvedeného obecného modelovacího schématu je pak autory provedena kalibrace pro data zaměřující se na přechod k udržitelné osobní dopravě v Británii (Köhler et al., 2009). Jako závěr je pak autory uvažováno nad třemi alternativními technologiemi pro osobní dopravu: biopaliva, hybridní vozy (kombinace spalovacího motoru s elektromotorem a bateriemi) a elektromobily využívající vodíkové palivové články. Na začátku simulace je převažující technologií spalovací motor, kdy je nejprve nahrazován kombinací biopaliv a hybridních vozů, a to především z důvodu kompatibility se stávající infrastrukturou, a až teprve později se začínají prosazovat elektromobily s palivovými články.



Obrázek č. 4 - Projekce společenské podpory jednotlivých technologií pohonu (Köhler et al., 2009)

Model se soustředí především na postoje k jednotlivým technologiím spolu se společenskými normami, od zbylých problémů abstrahuje. Složení palivo-energetického mixu však není zřejmě možné z modelu odvodit. Vozidla jsou vyřazována po 10 letech používání, po celou dobu simulace. Zároveň chybí důležité zpětné vazby z prostředí jako například cena ropy. Dále je velmi abstraktní

reprezentace jednotlivých technologií (byť autoři zmiňují použití křivek učení pro jednotlivé technologie, které zřejmě reprezentují úspory z rozsahu, další popis chybí).

Studie o difúzi vozidel na alternativní palivo: přístup modelování založený na agentech

V rámci ABM modelu autoři (obsahově se jedná o celkem čtyři typy agentů: vozidla, vláda/y, výrobci, spotřebitelé) zkoumají u jednotlivých druhů vozidel vývoj spotřebitelských preferencí (benzínový sedan a SUV, hybridní sedan a SUV, EV sedan a SUV) v závislosti na jejich parametrech a ceně (na základně odpovědí od více než 3 tisíc respondentů v dotazníkovém šetření autoři zmiňují jako podstatné parametry pro preferenci vozu cenu a spotřebu vozidla). Agenti, kteří reprezentují výrobce na základě dostupné technologie a vládní regulace, tvoří jejich parametry v rámci submodelu, a zároveň nastavují jejich prodejní cenu. Autoři zjišťují důsledky různých opatření nebo vládních subvencí na výslednou spotřebitelskou preferenci vozu. Nejúspěšnější je scénář „*Technology push*“ ve změně spotřebitelských preferencí, kdy se na trhu nabízí pouze AFV a výrobci stáhnou ICE úplně z trhu. Výsledkem je růst preferencí hybridních vozidel, kdy je preferuje přes 72 % spotřebitelů, elektrická vozidla preferuje pouze okolo 1 % spotřebitelů (cena těchto vozů je vždy přes 100 000 USD) a podíl spotřebitelů bez preferovaného vozu (žádný nabízený vůz na trhu nejsou ochotni koupit) roste na 27,5 %. (Zhang et al., 2011)

2.8 Průmyslové studie – stávající technický stav

Podle scénáře „*New policies*“ v projekci IEA do roku 2030, který předpokládá, že oznámené politické ambice řady států budou splněny, prodej elektrických automobilů celosvětově dosahuje 23 milionů a v provozu počet elektromobilů celkem přesahuje 130 milionů (ve srovnání se současnými 5 miliony). Snížením poptávky po ropných produktech by došlo o 2,5 milionu barelů denně v roce 2030 a poptávka po elektřině pro pohon těchto elektrických vozidel by měla dosáhnout téměř 640 terawatthodin. (“*Global EV Outlook 2019*,” n.d.) CITI i IEA předpokládají masivní rozvoj BEV v budoucnu, s FCEV se příliš nepočítá. FCEV je v současnosti v poměru cca 1:460 PHEV a BEV, v současnosti je v provozu celkem 11 200 FCEV z toho 55 % v USA. Další plány na vývoj a investice do vodíkových FCEV oznámila Toyota, která zároveň prodává

jediný komerčně dostupný FCEV vůz – Toyota Mirai. Zákaz prodeje vozů ICE si dalo za cíl více států, konkrétně Norsko (do roku 2025), Island, Irsko, Dánsko, Slovinsko, Nizozemí, Izrael (do roku 2030). (“Global EV Outlook 2019,” n.d.)

Spolu s rozvojem autonomních vozidel (AV) je očekáván také pokles celkového počtu vozů. Velké množství výrobců očekává, že dostupnost AV bude od roku 2022 (např. VW) s očekávaným masivním zastoupením v celém vozovém parku po roce 2032. Očekáván je pokles vozu na domácnost a to z 1,6 až na 1. (“Car of the Future v4.0 - Citi Global Perspectives and Solutions,” 2019)

Je očekávaný výrazný růst poptávky po kobaltu a lithiu, protože související požadavky na masivně zvýšenou výrobu baterií znamenají také větší poptávku po nových materiálech v automobilovém sektoru. Provedení katod výrazně ovlivňuje citlivost poptávky zejména po kobaltu. Se zněkolikanásobením poptávky po kobaltu počítá dříve zmíněný scénář studie IEA „*New policies*“ (více než 10x), niklu (více než 30x), Lithia (až 15x) a manganu (“Global EV Outlook 2019,” n.d.) Nikl, Lithium a Kobalt jsou také kovy, které obdržely nejvyšší skóre SMI (Strategic Metal Index) ve studii „*Strategic metals ranking in the automobile sector*“ autorů Ortego et al. sestavené podle známých rezerv daných zdrojů a jejich budoucí předpokládané poptávce při dosahování v současnosti vytyčených cílů pro elektromobilitu. (Ortego et al., 2018) V případě vysoké hodnoty tohoto indexu to značí intenzitu nebezpečí, že rezervy těchto kovů nebudou postačovat pro potřeby automobilového průmyslu a plánované cíle v oblasti elektromobility. I přesto studie vypracovaná pro IEA počítá s tím, že současná cena baterií 175-260 USD/kWh se do roku 2030 sníží 80-120 USD/kWh v důsledku výnosů z rozsahu a pokroku v oblasti konstrukce baterií. O růstu ceny základních surovin pro jejich výrobu se neuvažuje. (“Global EV Outlook 2019,” n.d.) (“ návrh projektu – model socio-technického přechodu k alternativním pohonům v osobní dopravě v ČR, Lukáš Režný”)

3) Praktická část – popis struktury modelu

3.1 Struktura modelu – agentové modelování

Rozhodovací proces zákazníka

1) Potenciální zákazník

V modelu je nastavená populace vzorku agentů, kdy se jedná o populaci o tisíci agentech. Každý agent představuje potenciálního nákupčího vozidla, kdy si vybírá mezi možnostmi automobilu se spalovacího motorem a elektrického vozidla. Rozhodování agentů je znázorněno ve Statechartu, kdy 99 % agentů vlastní vozidlo se spalovacím motorem a 1 % agentů vlastní bateriové vozidlo. Na agenty následně působí dvě základní skutečnosti:

- a) Reklama: se základní hodnotou 0,1 (10 %) ročně, na agenta působí u obou možností jak spalovacího, tak elektrického vozidla.
- b) Zprávy od jiných agentů: v případě, že agent vlastní jedno či druhé vozidlo, posílá zprávu náhodnému agentovi, je tím znázorněn faktor doporučení, kdy v reálném světě jsme ovlivňováni jak reklamou, tak i doporučením a recenzemi ať už od blízkých či cizích osob. Agenti posílají zprávy pouze jednou ročně.

Jako vstup zde slouží rozložení příjmů jednotlivých agentů. Příjem jednotlivých agentů, je vypočítán váženým průměrem z průměrných mezd a platů za první pololetí roku 2020. A do detailu představen v následující kapitole.

3.2 Příjem obyvatelstva v ČR

Podle serveru ISPV je v České republice 642 100 osob v platové sféře a 2 897 000 osob ve mzdové sféře. Hrubý příjem i jeho rozdělení je vypočítáváno v prvním pololetí roku 2020.

Tabulka znázorňuje 1.-9. decil, včetně kvartilů a mediánu hrubé mzdy/platu ve dvou odlišných sféřích. Následně je vytvořen vážený průměr, protože zaměstnanců v platové sféře je násobně méně. Jako váha pro výpočet váženého průměru je brán počet zaměstnanců v dané sféře. Samozřejmě se jedná o hrubý příjem, který je tedy

nutný zdanit a odečíst zdravotní a sociální pojištění placené zaměstnanci. Proto je tedy poslední řádek čistý plat/mzda po zdanění a povinných odvodech. Tabulka nepočítá se srážkami ze mzdy, daňovými zvýhodněními ani slevami (pouze se slevou na poplatníka).

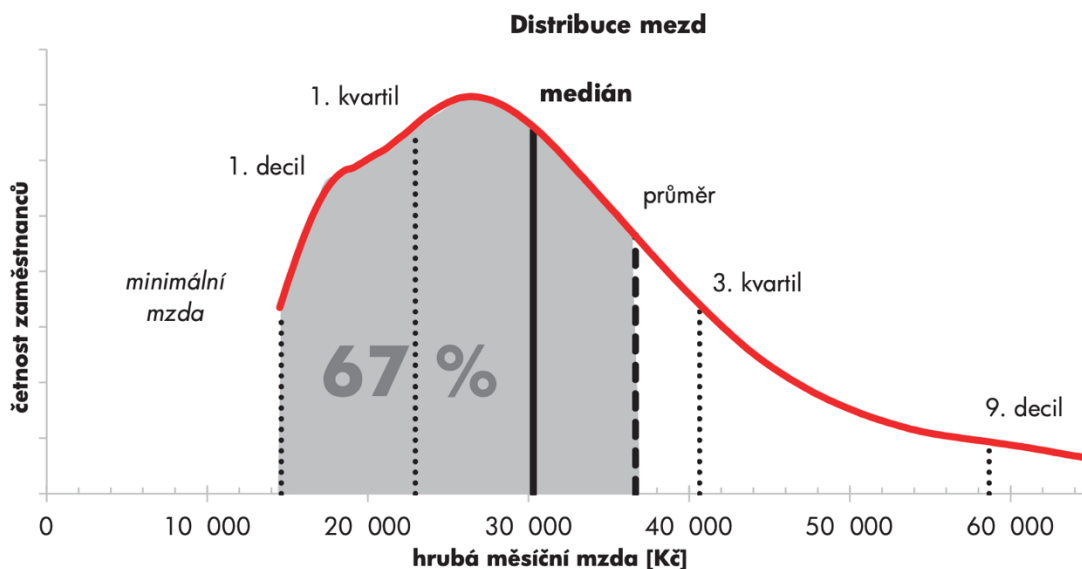
Příjem v modelu vystupuje jako podmínka pro nákup vozidel, kdy roční příjem daného agenta musí být menší než cena vozidla.

Rozdělení platů/mezd podle ISPV

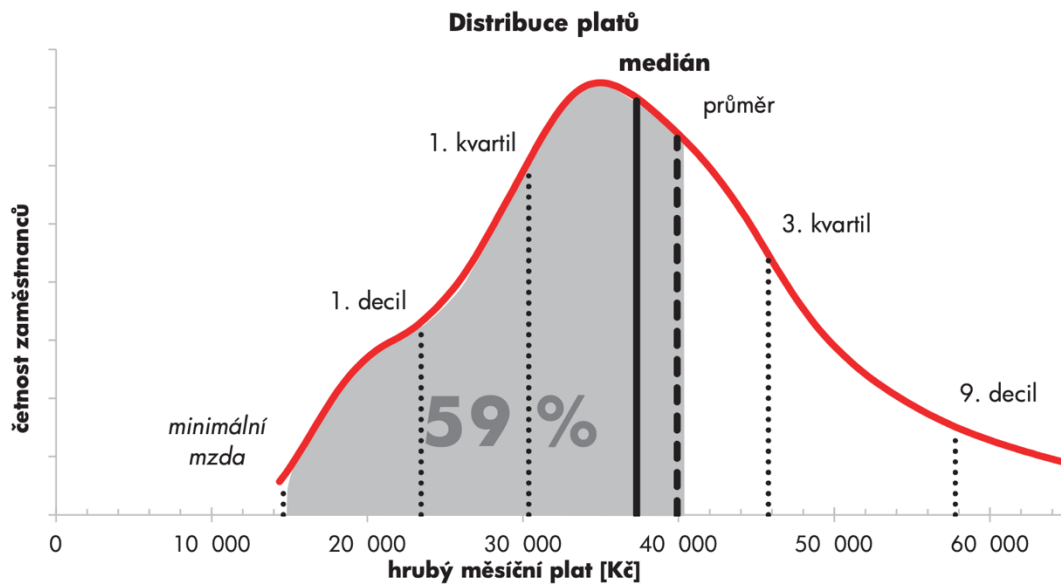
Tabulka č. 1 - rozložení platů/mezd v ČR

	1. decil	1. kvartil	Medián	3. kvartil	9. decil
Platová sféra	23 446 Kč/měsíc	30 357 Kč/měsíc	37 303 Kč/měsíc	45 760 Kč/měsíc	57 762 Kč/měsíc
Mzdová sféra	17 686 Kč/měsíc	22 944 Kč/měsíc	30 278 Kč/měsíc	40 638 Kč/měsíc	58 657 Kč/měsíc
Vážený průměr	18 731 Kč/měsíc	24 288 Kč/měsíc	31 552 Kč/měsíc	41 567 Kč/měsíc	56 500 Kč/měsíc
Po zdanění	16 168 Kč/měsíc	20 290 Kč/měsíc	25 660 Kč/měsíc	33 074 Kč/měsíc	44 129 Kč/měsíc

(ISPV, 2020)



Obrázek č. 5 - Distribuce mezd (ISPV, 2020),



Obrázek č. 6 - Distribuce platů (ISPV, 2020)

2) Zákazník poptávající vozidlo

Po působení těchto faktorů se agent dostává do stavu, kdy jedno z vozidel poptává. Zde hraje roli možnost nákupu vozidla, jestli je vozidlo na skladě a vyrobené. Dodavatelé reagují na poptávku se zpožděním. Pokud agent poptává vozidlo, vyplní se Statechart systémové dynamiky příslušnou barvou. Pro poptávku po spalovacím vozidle je toto naznačené jako:

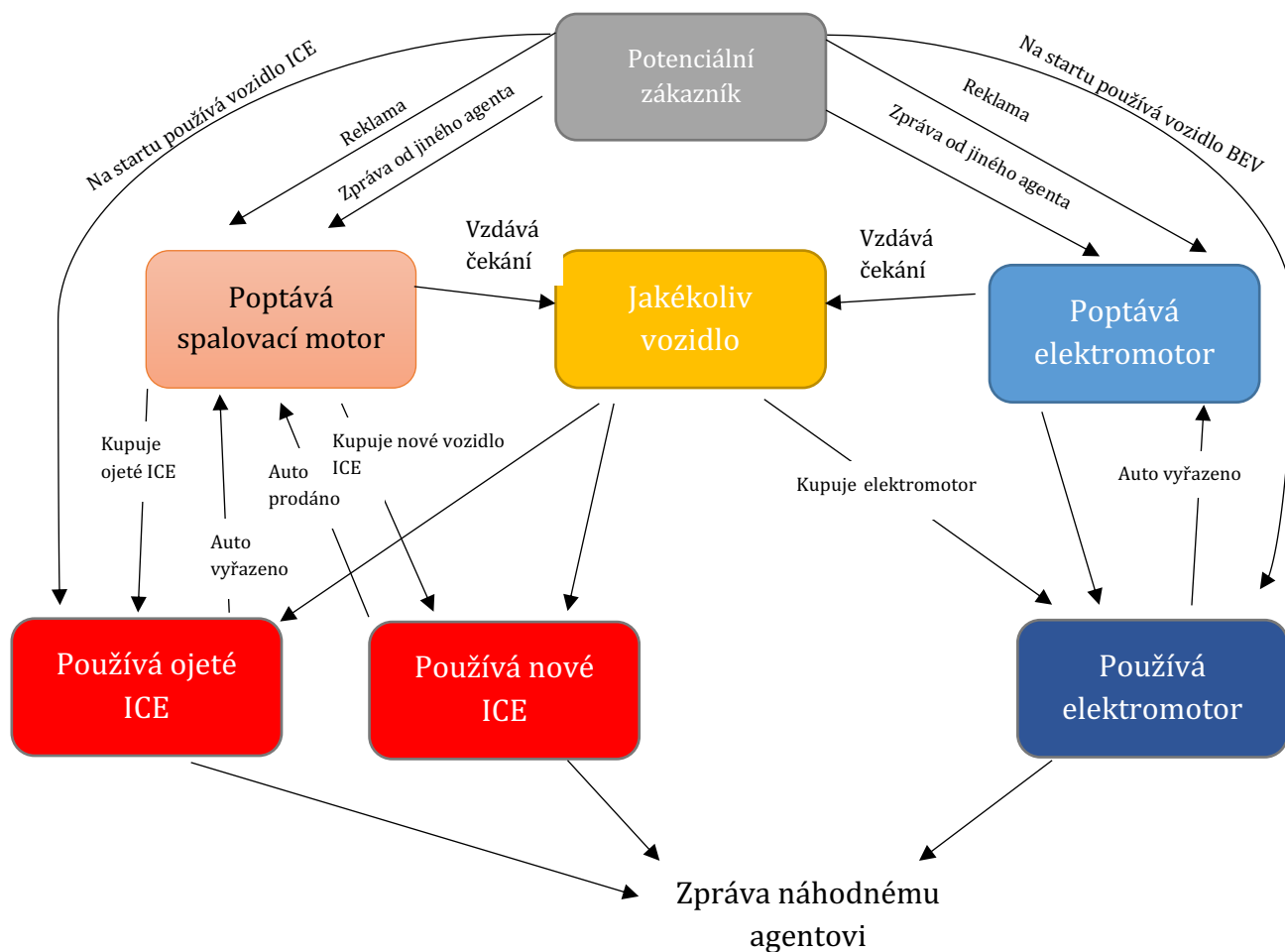
```
curve.setFillColor(pink);
main.NWantICE++;
```

A pro poptávku po elektrickém vozidle je to naznačené jako:

```
curve.setFillColor(lightBlue);
main.NWantBEV++;
```

Zároveň je časté, že u nových technologií, co zde představují elektromobily, je lhůta dodání obvykle delší. A proto se agent může dostat do stavu, kdy vzdává čekání na svůj vybraný typ vozidla a začíná monitorovat dostupnost obou eventualit. První vozidlo, které je dostupné ke koupi a pro agenta finančně dosažitelné, následně pořizuje. Jedná se o akci, kdy se cena vozidla odečítá od agentova ročního příjmu a zároveň se jedno auto odebírá ze skladu dodavatele:

```
main.RetailerStockBEV--;
IncomePerYear = IncomePerYear - main.PriceBEV;
```



3) Zákazník vlastní vozidlo

V případě, že je vozidlo k dispozici a agent je ve stavu poptávky přechází do stavu, kdy používá vozidlo s preferovanou motorizací. Přechod do stavu používání je limitovaný hodnotou 0,1 denně a musí být splněna parametrová podmínka, že cena vozidla je nižší než roční příjem agenta. Je-li agent ve stavu používání vozidla, je pomocí myCars připojeno auto k agentovi a ve Statechartu se vyplní příslušnou barvou.

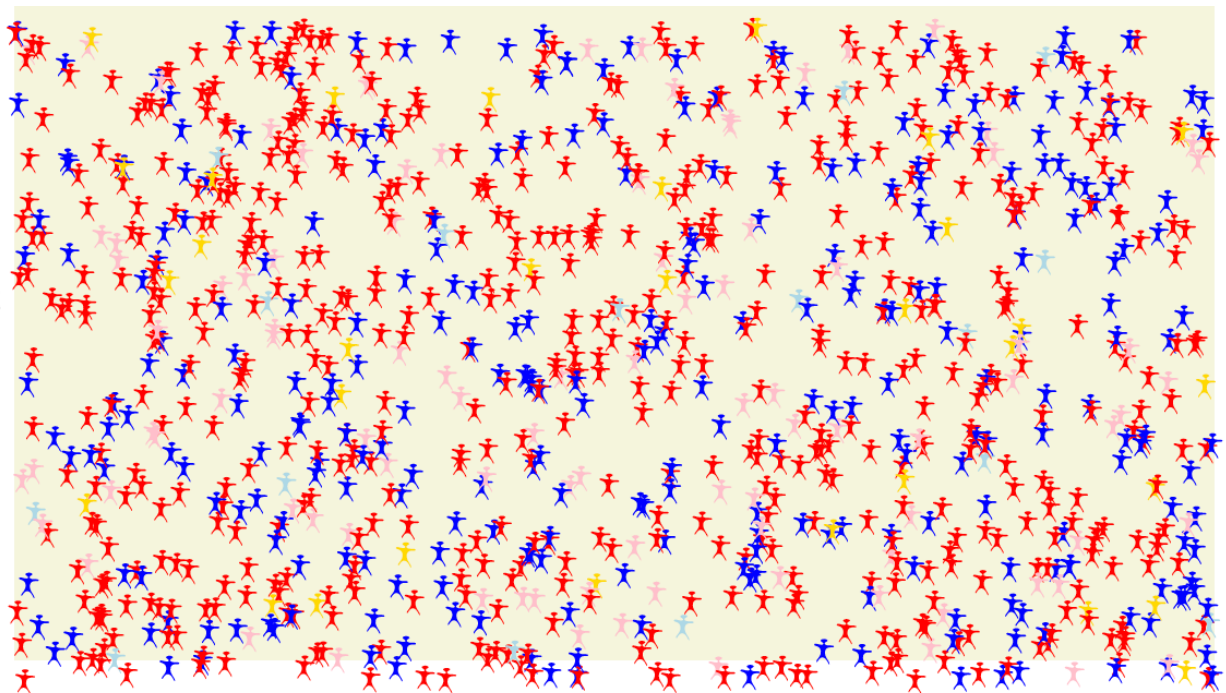
Connections (link to agent)

Každý agent, kterého je možné v prostředí nalézt, má neoddělitelný prvek „Connections“, který ukládá odkazy na kontakty tohoto agenta a definuje nastavení komunikace. Při doručení vozidla agentovi se pomocí Connections (link to agent) propojí vozidlo s agentem a zobrazí se jeho volba ve Statechartu, a zde se vracíme zpět do agentového modelování. Prvek Connections umožňuje komunikaci mezi agenty vlastníci vybrané vozidlo, kteří mohou poslat zprávy ostatním agentům, a tak ovlivňovat populaci v nákupu, nebo dokáže připojit daný typ vozidla k danému agentovi.

```
„curve.setFillColor(red);  
OwnedVehicle = main.add_vehicles().getIndex();  
myCars.connectTo(main.vehicles(OwnedVehicle));  
main.vehicles(OwnedVehicle).set_vehicleType("ICE");“
```

Pokud se agent dostal do fáze, kdy už používá vybrané vozidlo, stává se tak zároveň tím agentem, který jednou ročně posílá zprávu náhodnému agentovi, jako doporučení o nákupu vozidla, které on využívá. Naznačeno jako: *send ("Buy A!", RANDOM);*

Agenti jsou po vstoupení do jakéhokoliv stavu vybarveni příslušnou barvou v simulaci.



Obrázek č. 7 - Agentové modelování – mapa, zdroj: vlastní zpracování

Parametry

Tabulka č. 2 - Parametry agentů (spotřebitelé)

parametr	akce	jednotky	perioda
Příjem agenta	Znázorňuje příjem jednotlivých agentů	České koruny	Ročně
Členové domácnosti	Znázorňuje počet členů v domácnosti	Lidé	
Příjem členů domácnosti		České koruny	Ročně
Vlastněné vozidlo	Znázorňuje vlastněné vozidlo agentem	Kusy	

Zdroj: vlastní zpracování

Vozidla: parametry

Tabulka č. 3 - Parametry agentů (vozidla)

parametr	akce	jednotky	poznámka
Typ vozidla	Znázorňuje, o jaký typ vozidla se jedná, jestli bateriové nebo se spalovacím motorem	ks	
Stáří vozidla	Znázorňuje stáří vozidel ve vozovém parku	roky	
Ojeté vozidlo		ks	

Zdroj: vlastní zpracování

Model zároveň ukazuje průměrný věk vozidel ve vozovém parku přímo v simulaci, a to pomocí statistické funkce a parametru Stáří vozidla.

3.3 Struktura modelu – systémová dynamika

Toky

- Systémová dynamika je zde napojená na agentové modelování. Agent, který se dostane do stavu, kdy poptává vůz, ať už spalovací či s elektromotorem, projeví poptávku, kterou zaregistruje firma.

- První tok je tedy spojení poptávky po jednom či druhém typu vozidla a zároveň poptávka po jakémkoliv (třetí možnost, kdy agent vzdává čekání). Zároveň zde hraje roli parametr předpovědi (ang. forecast), pomocí kterého lze nastavit vyšší výrobu ve scénářích, kde automobilky čekají vyšší odbyt svých vozů.

V následujícím stavu se tedy nachází počet vyrobených aut určených k distribuci. Zde hraje roli jedna z hlavních úloh systémové dynamiky – časové zpoždění = „Čas doručení“ vyjádřené jako parametr s hodnotou 2.

Hladiny

1. Hladina je tedy počet vyrobených vozidel po reakci na poptávku.

Vyjádřeno jako součet poptávky po vozu se spalovacím motorem a „jakéhokoliv“ vozu a násobeno zvolenou předpovědí:

$$„(NWantICE + NWantAny) * ForecastICE“$$

Stejný postup je zastoupen u aut s elektromotorem:

$$„(NWantBEV + NWantAny) * ForecastBEV“$$

2. Hladina reprezentuje časové prodlení mezi výrobou a dodáním koncovému zákazníkovi, naznačeno jako: vyrobená vozidla/čas doručení = doručení vozidla

$$„FactoryStockICE/DeliveryTimeICE“$$

Parametry dodavatelského řetězce

Tabulka č. 4 - parametry dodavatelského řetězce

parametr	hodnota	jednotky	poznámky
Čas doručení vozidla se spalovacím motorem	2		
Čas doručení vozidla s elektromotorem	2		
Cena vozidla se spalovacím motorem	55000	Kč	
Předpověď prodeje vozidel se spalovacím motorem	0		
Předpověď prodeje vozidel s elektromotorem	0		
Subvence pro nákup elektromobilů	0		

Zdroj: vlastní zpracování

Subvence

Cena vozidla s elektromotorem není stanovena jako parametr, ale jako variabilní proměnná s počáteční hodnotou 850 000 korun. Na tuto proměnnou jsou napojeny parametry, které lze nastavit na zamýšlené státní subvence. Tyto subvence a jejich výše jsou důležitý faktor na finální ceny a prodeje vozidel s elektromotory. A zároveň je zde prvek, který simuluje spuštění a ukončení v předem určeném roce (například podpora od státu začne od roku 2030 a skončí v roce 2040).

Model zároveň počítá všechny poskytnuté subvence za dobu celé simulace, což je možné využít pro finální rozhodování – za jakou cenu by nastalo určité procentuální zvýšení elektromobilů ve vozovém parku České republiky za předem známý počet let.

Tabulka č. 5 - Parametry subvencí

parametr	hodnota	jednotky	poznámky
Výše subvence	0–350000	Kč	Určuje výši subvence pro simulaci
Subvence na BEV	0		
Vyplacené subvence celkem	0	Kč	V simulaci vyobrazuje celkem vyplacené subvence
Proměnná: Cena BEV	850 000 – Subvence na BEV	Kč	Cena BEV po odečtení nastavených subvencí

Zdroj: vlastní zpracování

Zákaz prodeje vozidel se spalovacími motory

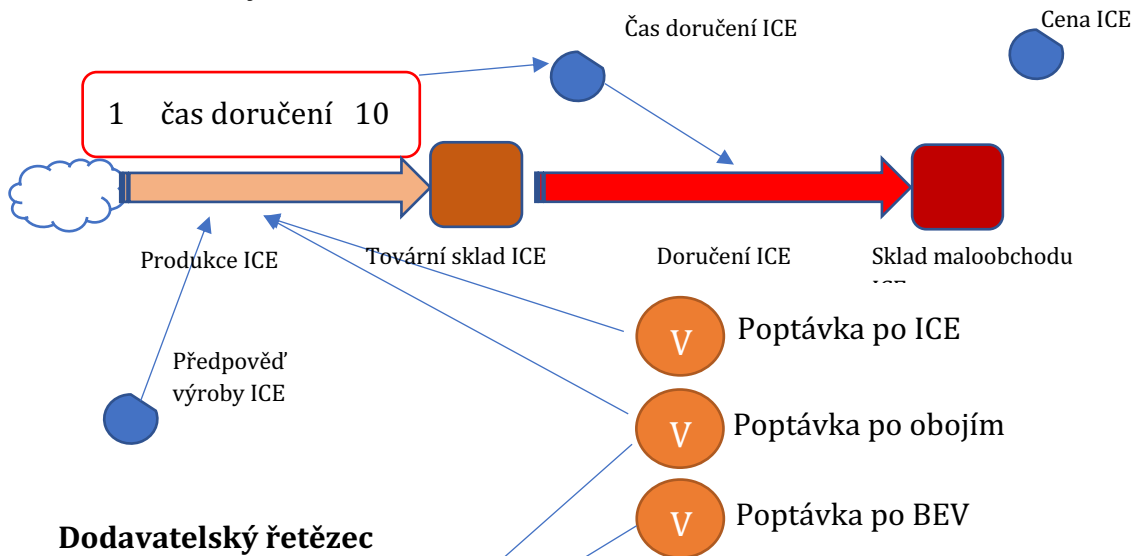
Tato část modelu má velký vliv na prodeje vozidel. Pomocí parametrů lze nastavit od jakého roku je nastaven zákaz prodeje vozidel se spalovacími motory. Počítá se zde se skutečností, že pokud by jednou zákaz nastal už by zůstal nastálo. Proto není modelována možnost od a do určitého roku. Zákaz prodeje vozidel se spalovacími motory je vyjádřen dvěma parametry a časovým spouštěčem, kdy jeden parametr nastavuje čas a druhý povoluje nastavení zákazu.

Tabulka č. 6 - Parametry zákazu prodeje vozidel ICE

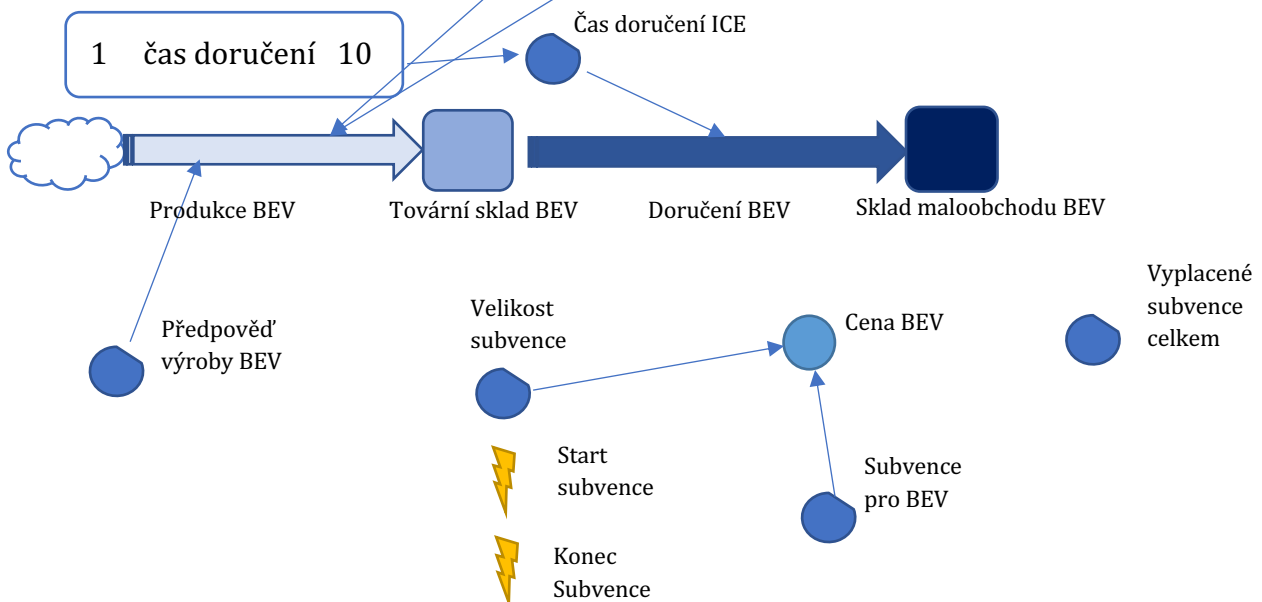
Parametr	Hodnota	Jednotky	poznámky
Čas zákazu prodeje spalovacích motorů	1-29	roky	Určuje, v jakém roce se projevíví zákaz v simulaci
Použití zákazu	false/true		

Zdroj: vlastní zpracování

Dodavatelský řetězec 1



Dodavatelský řetězec



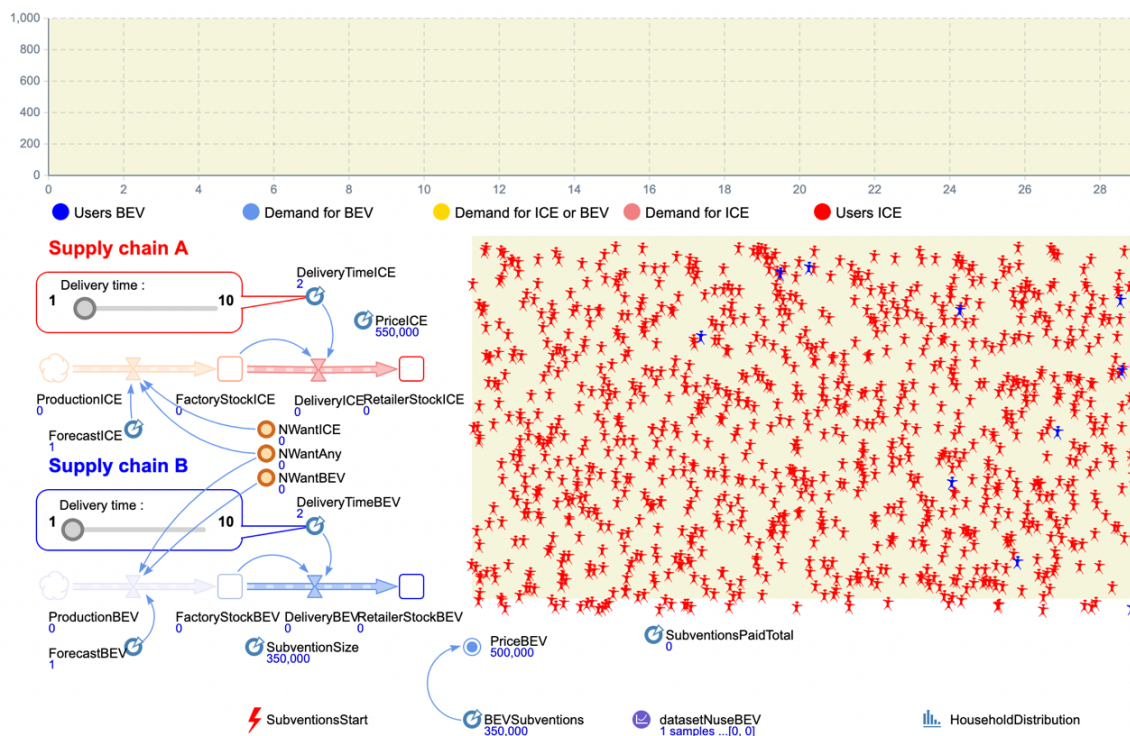
4) Výsledky práce

4.1 Start simulace

Celá simulace začíná ve stavu, kdy 99 % agentů vlastní vozidlo se spalovacím motorem a 1 % agentů vlastní bateriové vozidlo. Samotná simulace je vedena od roku 2021, konkrétně od 1.1. 2021 až do začátku roku 2050, konkrétně 1.1.2050. Jedná se tedy o odhad na 29 let.

Hlavní podstata celé simulace je představení nástroje na modelování či simulování možných scénářů, které predikují stav vozového parku elektrických vozidel za tuto dobu, a za předem stanovených vlivů, které by byly teoreticky v reálném světě možné. Cílem je tedy snaha o nastavení modelu tak, aby vyšel co možná největší procentuální a početní stav elektrických vozidel ve vozovém parku za akceptovatelných finančních podmínek pro stát a zároveň atraktivní nabídky pro koncové spotřebitele. Z toho důvodu jsou v modelu sčítány všechny poskytnuté subvence ze strany státu.

Součástí simulace je využíváno ostatních nástrojů v modelu, a to například zmiňovaný součet státních subvencí nebo ukazatel průměrného věku vozidel ve vozovém parku.

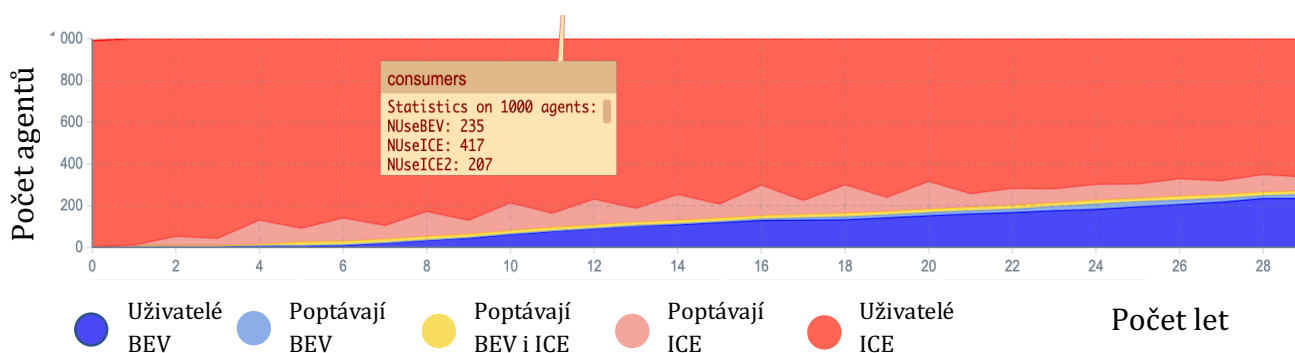


Obrázek č. 8 - Start simulace, zdroj: vlastní zpracování

V modelu je nastavitelná cena pro oba typy vozidel. Krom vlivů jako je reklama a doporučení či zpráva od jiných agentů, jsou hlavními vlivy v modelu – úplný zákaz prodeje nových vozidel se spalovacími motory k určitému datu a státní subvence v různé výši, na pořízení elektrického vozidla. Především protože mohou mít největší podíl na přechod k elektromobilitě. Model dokáže ukázat scénáře, jak by situace vypadaly, kdyby byl zákaz nastavený v různých časových obdobích.

1. scénář: Volný trh

V prvním scénáři je model nastaven tak, aby využil základního nastavení bez přidání nástrojů jako zákaz či podpora, které ovlivňují rozhodování agentů o nákupu. Stát tedy nijak nezasahuje do dění trhu, neposkytuje subvence na pořízení nového elektrického vozidla, a ani nepřikazuje zákaz prodeje nových vozidel se spalovacími motory ani jinak prodej neomezuje.



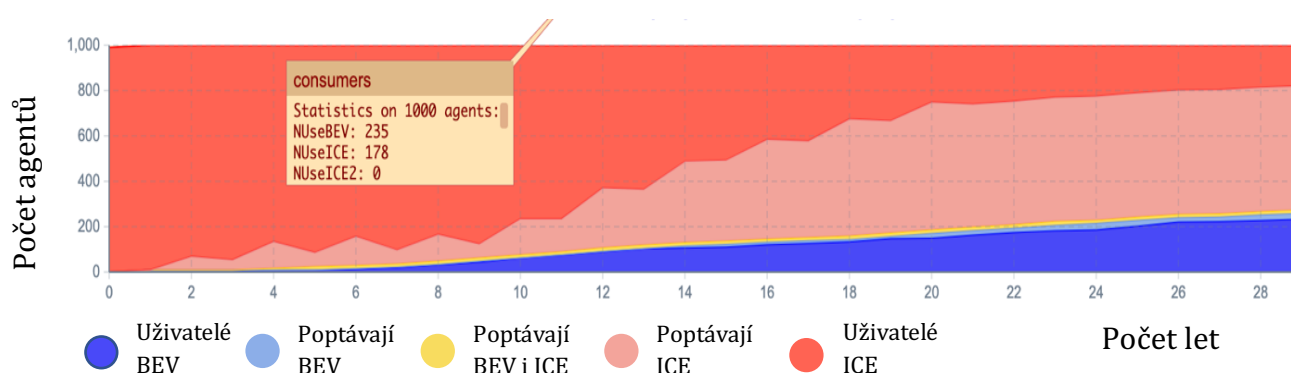
Obrázek č. 9 - 1. scénář: Volný trh,
zdroj: vlastní zpracování

V tomto nastavení, tedy v případě, že ponechá stát vše bez zásahů, se v roce 2050 dostaneme v této simulaci na hodnotu 27,3% podílu elektrických vozidel v celém vozovém parku České republiky a 23,5 % všech agentů vlastní elektrické vozidlo. A tedy z celkového počtu 859 vozidel, je 235 elektrických a 624 nových i ojetých vozidel se spalovacím motorem.

S tím, jak k přechodu na elektromobilitu přistupují jiné státy, je tento scénář nejméně pravděpodobný v České republice. Dříve či později bude nutnost zasáhnout do trhu jednou z níže zmiňovaných možností, ať už v podobné či jiné verzi.

2. scénář: Bez subvencí, se zákazem prodeje vozidel se spalovacími motory

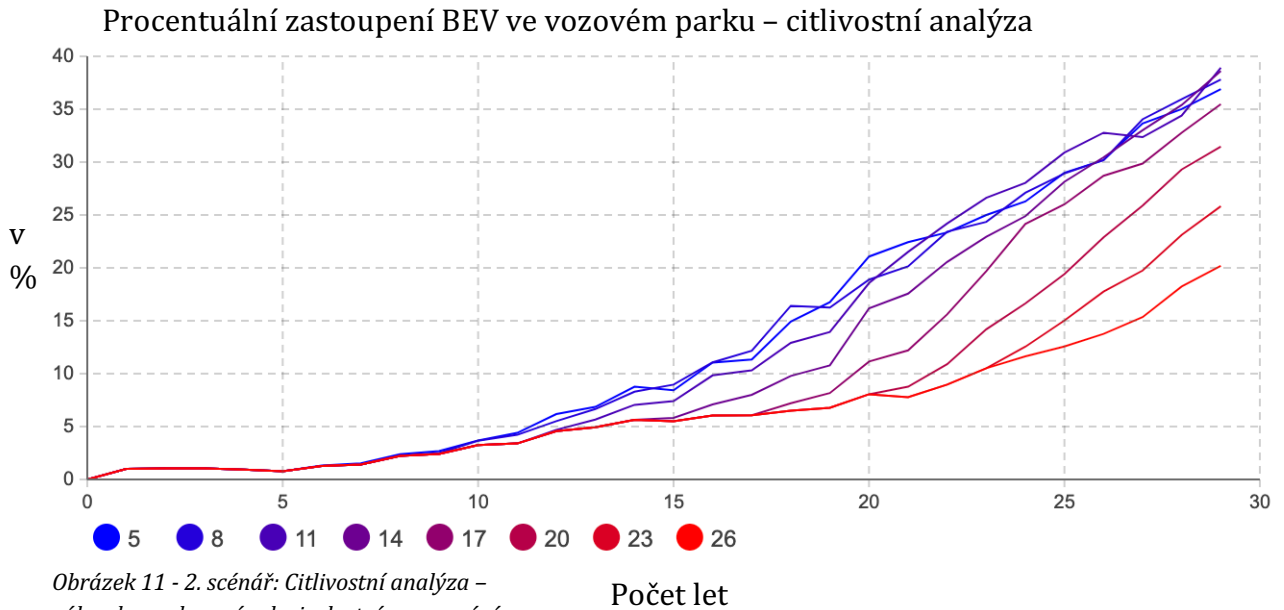
Druhá modelová simulace a ukázka přechodu k elektromobilitě je přes negativní přístup státu. Model je nastaven tak, že zařadí do simulace jeden ze zmiňovaných prvků, a to zákaz prodeje vozidel používající spalovací motory. Jinak řečeno stát odmítne finančně podpořit nákup elektrických vozidel a jsou tedy nastavené nulové subvence či jiná finanční podpora, ale naopak je zakázán prodej vozidel se spalovacími motory od roku 2030.



Obrázek č. 10 - 2. scénář: Zákaz prodeje ICE, zdroj: vlastní zpracování

S tímto nastavením se dostaneme na procentuální podíl BEV ve vozovém parku na 56,9 % a podíl agentů, kteří používají elektrické vozidlo na konci simulace je 23,5 %. Tento zákaz však způsobí, že od roku 2030 dojde k výraznému poklesu vozidel se spalovacími motory ve vozovém parku a zároveň dojde k poklesu vozidel v parku obecně, a to, protože tento scénář silně podtrhává skutečnost, že české domácnosti nejsou na takto drastický přechod připraveny. Cena elektrického vozidla je příliš vysoká a při kompletním zákazu spalovacích motorů je spousta agentů (obyvatel) pouze ve stavu kdy vozidlo poptávají, ale nemohou na něj finančně dosáhnout.

Ve vozovém parku v posledním roku simulace zůstalo ještě 178 vozů se spalovacím motorem vlastněny prvním majitelem, které ještě jezdí a nejsou vyřazeny stářím. Nejsou zde už žádné ojeté vozy se spalovacím motorem (model nepočítá s žádnými výjimkami) a drtivou většinu celého vozového parku tvoří elektrická vozidla, nicméně velká část populace (58,7 %) nevlastní vozidlo žádné.



Součástí modelu je citlivostní analýza, která dokáže ukázat více scénářů zmiňovaných prvků, které jsou potom vloženy do jednoho grafu. V tomto případě je využita na ukázání procentuálního podílů elektrických vozidel ve vozovém parku a jeho zvýšení či snížení podle toho, kdy se zákaz prodeje vozidel se spalovacími motory zavede. Citlivostní analýza vozového parku jinak využívá stejných podmínek.

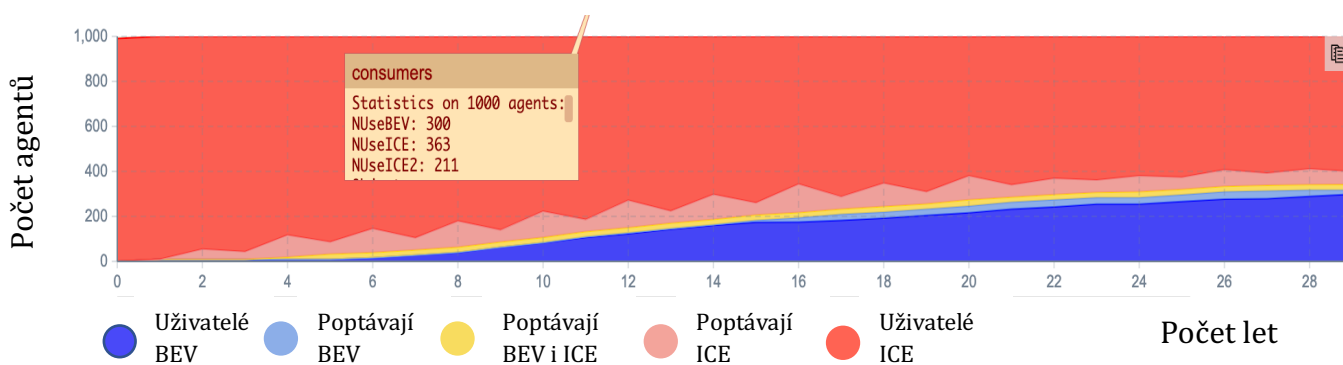
Citlivostní analýza nasazuje zákaz vždy po třech letech s výjimkou prvního nasazení. Zde je první nasazení zákazu v 5. roce simulace – 2026, a dále tedy 2029 (8. rok), 2032 (11. rok), 2025 (14. rok), 2028 (17. rok) a tak dále.

Z analýzy citlivosti roku nasazení se dá vyvodit, že čím dříve stát nastaví zastavení prodeje nových vozidel ICE, tím větší bude procentuální podíl elektrických vozidel ve vozovém parku. Podle porovnání prvního a posledního roku nasazení, je rozdíl skoro dvojnásobný. Musí se zde však počítat, že po zákazu je ve vozovém parku celkově méně vozidel.

3. scénář: Subvence bez zákazů prodeje

Následující scénář je založen na opačném nastavení než předchozí. Zde stát podporuje nákup elektrického vozidla subvencemi do výše 350 tisíc korun. A naopak nenastavuje vůbec žádný zákaz prodeje vozidel se spalovacími motory.

Ze simulace je zde velice výrazně vidět, jak důležitá je finanční podpora od státu ve věci přechodu na novou technologii. Na grafu níže je nastavená nejvyšší subvence a to zmiňovaných 350 tisíc korun od třetího roku simulace (2024) po dobu 19 let, tedy do roku 2040. To zapříčinilo, že se samostatná kategorie elektrických vozidel začala vyrovnávat početně jak novým, tak ojetým vozidlům se spalovacími motory.



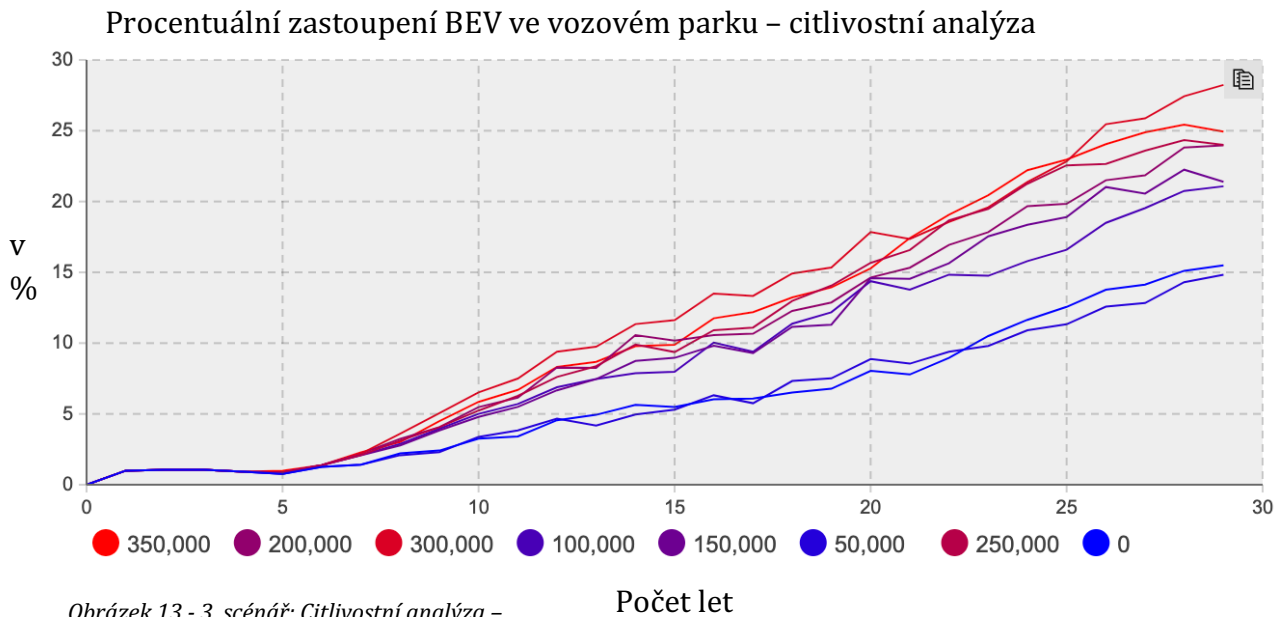
Obrázek č. 12 - 3. scénář: Subvence pro BEV,
zdroj: vlastní zpracování

V tomto případě počet elektromobilů dosahuje 300 kusů a obě kategorie spalovacích motorů jsou po součtu na 574 kusech. Z toho dostáváme podíl vozového parku tvořen elektromobily: 34,3 % v poměru všech vozidel a 30 % v poměr vůči všem agentům v simulaci.

Takto rozsáhlá podpora je celkově velice nákladná pro státní rozpočet. Celkový počet vyplacených subvencí zde u tohoto scénáře se pohybuje od 40 do 60 milionů korun na 1000 agentů v modelu na celých 19 let podpory. Přesný počet je vždy vypočítáván přímo v simulaci zmiňovaným součtem všech vyplacených podpor.

Stejně jako v minulém scénáři je zde využití modelové citlivostní analýzy. Tentokrát však zobrazuje, jak výše subvence ovlivňuje podíl elektrických vozidel ve vozovém parku České republiky. Pro nulovou nebo nízkou finanční podporu (0 a 50 tisíc korun)

ze strany státu je výsledek znázorněn jako spodní dvě linie v grafu. Protože se zde jedná o scénář bez zákazů, tak jediné, co může zajistit vyšší podíl elektrických vozidel ve vozovém parku, je vyšší podpora ze strany státu. Potom je částka od státu zásadní. Pro tento graf platí stejné podmínky jako pro předchozí – není nastaven žádný zákaz a subvence jsou od třetího roku simulace, tedy od roku 2024.

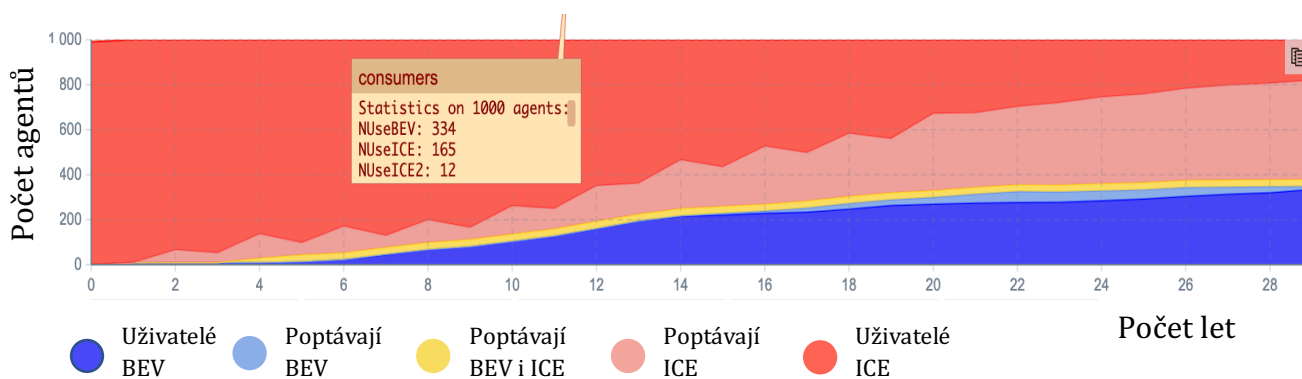


Obrázek 13 - 3. scénář: Citlivostní analýza – subvence bez zákazu, zdroj: vlastní zpracování

4. scénář: Kombinace subvencí a zákazu

V posledním přístupu se jedná o kombinaci výše zkoumaných scénářů, a tedy současné nastavení zákazu pro vozidla se spalovacími motory tak i povolených subvencí.

Simulace je zde mířena tak, aby zákaz prodeje benzínových a naftových vozidel nastal v blízké budoucnosti, ale zároveň byl dostatek času od chvíle, kdy stát začne podporovat nákup elektrických vozidel, na případný přechod. V následujícím grafu jsou velmi dobře pozorovatelné obě roviny zásahu státu. Zákaz spalovacích motorů velmi negativně ovlivní celkový počet vozidel ve vozovém parku České republiky, ale státní podpora dokáže zajistit, že si většina agentů, kteří kupují nové vozidlo, pořídí právě elektromobil.

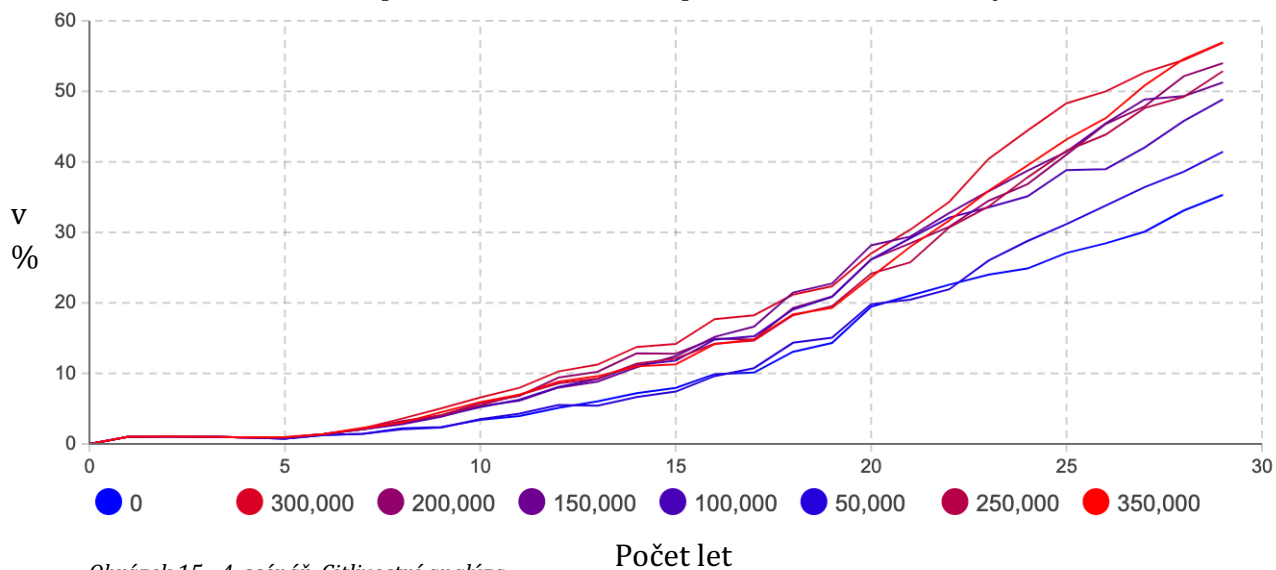


Obrázek č. 14 - 4. scénář: Kombinace subvence + zákaz prodeje ICE, zdroj: vlastní zpracování

Konkrétně zde se začalo se státní podporou velmi brzy, přesně od třetího roku simulace, tedy od roku 2024 až do roku 2040 (3.-19. rok simulace) a zákaz nastal v 9. roce (2030). To zapříčilo, že podíl vozového parku je značně ovlivněn zákazem, ale zároveň uvolněná státní podpora dokázala zvednout podíl elektrických vozidel ve vozovém parku a to natolik, že z 511 vozidel je 334 elektrických. Podíl všech agentů v simulaci, kteří vlastní právě elektrické vozidlo, je tedy 33,4 %.

Celkový počet vyplacených subvencí zde u tohoto scénáře se pohybuje od 40 do 60 milionů korun na 1000 agentů v modelu.

Procentuální zastoupení BEV ve vozovém parku – citlivostní analýza



Obrázek 15 - 4. scénář: Citlivostní analýza – kombinace subvencí a zákazu, zdroj: vlastní zpracování

Tento graf ukazuje, že při zavedení zákazu pro všechny částky subvence stejně, se podíl vozidel značně liší. Při nejnižší subvenci nula až padesát tisíc je podíl elektrických vozidel okolo 35-40 %, zato při nejvyšší možné částce tři sta padesát tisíc se dostáváme až nad 55 %.

4.2 Porovnání scénářů a diskuse

První dvě verze jsou spíše extrémní případy, kde se jedná o poukázání na situaci volného trhu, jak by Česká republika vypadala, kdyby stát vůbec nezasáhl v příštích 29 letech do přechodu k alternativním pohonům v osobní dopravě. Závěrem u této situace je, že vozový park elektrických vozidel by se zvýšil na přibližně 22 % z celkového počtu vozidel.

Dále se jedná o poukázání na důsledek zákazu prodeje vozidel s benzínovými a naftovými motory. Tento scénář je důležitý k simulaci jako celku, protože ukazuje, že s dnešními příjmy není Česká republika na tento krok připravena a české domácnosti nemají finanční prostředky na pořízení elektrického vozu. Proto pouze kompletní zákaz není správné řešení za předpokladu neklesající ceny BEV. Jak by vypadala situace při pouhém omezení, například naftových motorů a ponechání benzínových, od toho model abstrahuje.

Ve výsledcích třetí simulace, kdy jsou nastaveny státní subvence 350 tisíc korun a není nastaven žádný zákaz aut se spalovacími motory, je možné pozorovat značný nárůst elektrických vozidel ve vozovém parku. Díky tomu více agentů finančně dosáhlo na elektrické vozidlo, a mohli si přímo vybrat produkt, který preferují. Ubylo spalovacích motorů, a právě ty byly nahrazeny elektrickými vozidly. Mnohem více se zde promíchává vozový park, kdy oba druhy pohonů vozidel mají již své zákazníky. Je zde však znatelné zmírnění růstu po roce 2040, kdy skončí podpora ze strany státu. Zde existuje však několik eventualit, které mohou nastat, například: prodej levnějšího modelu elektrického vozidla, prodej již ojetých bateriových vozidel (kde je otázka nových baterií a finanční stránka tohoto problému) nebo prodej hybridních či jiných druhů alternativních pohonů vozidel. Od těchto eventualit model abstrahuje.

V rámci komparace třetího a čtvrtého scénáře (kdy třetí ukazuje potřebu vládní podpory a je v tomto scénáři nastavená subvence na 350 tisíc korun a čtvrtý je kombinace obou vlivů – nastavené subvence opět na 350 tisíc korun se současným stanovením zákazu prodeje vozidel se spalovacími motory od roku 2030) je zřejmé, že každý ze simulovaných vlivů má své opodstatnění a oba fungují nezávisle na sobě, ale pokud jsou spojeny a použity na jeden trh, potom dokážou kooperovat a částečně

na sebe navazovat. Myšleno, že státní podpora pomáhá finančně dosáhnout spotřebitelům na jejich vybraný produkt, avšak za cenu vyšších výdajů ze státního rozpočtu. Naopak zákaz zabraňuje pořízení možnému vybranému produktu, díky čemuž motivuje v pořízení zvýhodněného produktu zmiňovanou státní podporou.

Celá simulace podtrhává důležitost státní podpory v přechodu k alternativním pohonům. Minimálně ukazuje, že alespoň částečná pomoc ze strany státu je v tomto tématu nezbytná, ale čím vyšší částka bude uvolněna, tím větší podíl BEV ve vozovém parku nastane. To zobrazuje citlivostní analýza ve čtvrtém scénáři, kdy zákaz přijde vždy ve stejném roce, a proto podíl vozového parku ovlivňuje pouze výše o kterou je cena elektromobilu snížena. Nízký příspěvek zapříčiní 35% podíl elektrických vozidel ve vozovém parku, vysoký až 55% podíl ve vozovém parku.

Forma podpory v modelu je pouze jednotvárná – zlevnění vozidel pro koncové spotřebitele. Podpora však může být různorodá, ať už tedy formou zmiňovaných státních příspěvků, vystavění nabíjecí infrastruktury, bezplatné parkování ve městech nebo prominutí platby silniční a registrační daně. Od jiných zvýhodnění model abstrahuje, především protože cena bývá u pořízení vozidla jedním z hlavních rozhodovacích faktorů.

Případná podpora od státu navýší náklady státního rozpočtu. Nicméně podpoření přechodu na elektromobilitu v České republice bude mít ještě efekty druhého řádu, a to například pokles příjmů do státního rozpočtu, především kvůli sníženému počtu vybraných spotřebních daní za pohonné hmoty nebo sníženému počtu vybraných silničních daní. Následný pokles těchto příjmů se ještě zvýší z důvodu očekávaného poklesu osobní mobility, a to z více důvodů. První důvod je samotná cena elektromobilů, ačkoliv se v této modelové situaci počítá i se scénáři, kdy stát finančně podpoří své obyvatele, může se stát, že ceny elektromobilů klesnou vývojem a zjednodušením výroby nové technologie. Není novinkou, že nové technologie (v tomto případě elektrická vozidla) jsou dražší než technologie, která jí předchází (v tomto případě vozidla se spalovacími motory), proto je možné že v průběhu následujících let ceny elektrických vozidel klesnou samovolně, jak to bývá zvykem. Tomuto scénáři nenahrává fakt, že s nárůstem poptávky po elektrických vozidlech

ruku v ruce narůstá poptávka po bateriových kovech, a tedy spolu s nárůstem poptávky i jejich cena, která ovlivní ceny samotných bateriových vozidel. Otázkou tedy zůstává, jestli elektrická vozidla opravdu zlevní na ceně a popřípadě v jakém horizontu k tomu dojde. Druhý důvod pro snížení osobní mobility je samotná mobilita jako služba, kdy autonomní řízení by teoreticky mohlo snížit potřebné množství vozidel.

Vývoj cen elektromobilů (i s případným nárůstem cen materiálu pro výrobu) tak i snížení osobní mobility (autonomní vozidla či jiná forma) lze vyjádřit modelem samotným. Testovaných hypotéz může být velké množství, jejichž implementace by překročila rozsah bakalářské práce.

Výsledky simulace i zmiňovaných částí, které model nezahrnuje, podtrhávají důležitost využívání modelovacích nástrojů pro rozhodování. Díky modelování různých druhů scénářů můžeme mít alespoň představu, jak by určitá situace mohla přibližně vypadat. Hybridní modelování a nástroje na tom založené či podobné neudávají přesnou budoucnost ani údaje, které nastanou. Slouží především ke snaze přiblížit si možné eventuality, které potom pomáhají v rozhodování ať už státních rozhodnutí tak například důležitých kroků ve firmách, především vzhledem ke krokům hlavního regulátora – EU (nutnost odstoupení automobilových firem od vyrábění vozidel se spalovacími motory). Ulehčení rozhodování může zásadně ovlivnit vytváření státního rozpočtu, kdy modelování může predikovat vývoj daňové dynamiky nebo rozsah daňových výdajů při poskytnutí finanční podpory spotřebitelům na koupi vozu BEV.

Hybridní modelování jako nástroj pro podporu rozhodování může být využit i pro optimalizační problém, kdy jsou stanovené přesné požadavky, například cílový procentuální stav vozového parku BEV za co nejmenších výdajů ze státního rozpočtu, kdy s dalšími parametry se dá manipulovat (datum zákazu spalovacích motorů, výše maximální a minimální podpory, doba, po kterou bude podpora poskytována). Tímto se výrazně odlišuje od statistických metod, které s touto formou úpravy nepočítají, a proto nemohou být tolik efektivní jako hybridní modelování stejného problému. Prvky možného rozšíření jsou například: problematika nabíjecí infrastruktury, zatížení na státní rozpočet či využití spotřebitelského úvěru na pořízení vozidla. Podobný optimalizační problém může být námětem k diplomové práci.

5) Závěr

Často využívané statistické metody přinášejí pouze jeden výsledek s určitým rozmezím pravděpodobnosti, naopak hybridní modelování bere v potaz důležité aspekty a podle nich vyhodnocuje možné budoucí situace. Tyto důležité aspekty jsou například: rozdělení příjmů obyvatel České republiky, závazek ČR ke snižování emisí, nákupní chování spotřebitelů v závislosti na ceně vozidel, komunikace spotřebitelů, vliv vládní podpory na státní rozpočet a vybrané daně či problematika nabíjecí infrastruktury.

Model využitý v této práci může být rozšířen o široké množství parametrů a možností. Příklady možného rozšíření jsou účinnost šrotovného, výstavba nabíjecí infrastruktury nebo využití spotřebitelských úvěrů na pořízení nového vozidla spotřebitelem. Současný model je především schopný zjistit, jak velký vliv má poskytnutá státní podpora na státní rozpočet a nákupní chování spotřebitelů. Dále jak efektivní bude zákaz prodeje spalovacích motorů a vozidel, které tuto technologii využívají s ohledem na závazek České republiky na směrnici EU na snížení emisí. V modelu je také zahrnutý čistý průměrný příjem obyvatele České republiky, který v modelovaných scénářích ukazuje to, že při zákazu vozidel ICE, nebudou české domácnosti schopné dosáhnout osobní mobility kvůli vysoké ceně BEV.

Výsledkem modelu s parametry pro první scénář (při ponechání trhu tak jak je a bez zásahu stát do chodu či přechodu k elektromobilitě nebude nijak zasahovat), se nárůst elektromobilů v českém vozovém parku bude lineárně navyšovat a v roce 2050 vozidla BEV budou tvořit 22 % z celkového vozového parku. Při případném zákazu spalovacích motorů dojde k drastickému snížení vozidel se spalovacími motory ve vozovém parku a to na 17,8% podíl všech vozidel. Tento propad vozidel ICE nebude možné nahradit elektromobily kvůli jejich vysoké ceně. V opačném případě, kdy stát nezakáže vozidla se spalovacími motory, ale naopak podpoří nákup elektromobilů, se dostaneme na vyšší hodnotu bateriových vozů ve vozovém parku bez drastického snížení celkového počtu aut. Konkrétně se jedná o 30% podíl bateriových vozidel a 57,4% podíl vozidel ICE, zbytek agentů (12,6 %) je ve stavu, kdy nevlastní vozidlo žádné. Při kombinaci obou těchto vlivů dojde sice k navýšení elektrických vozidel více než u druhého scénáře

(úplný zákaz bez podpory) a to na 33,4% podíl všech vozidel. Stále je ale velká část populace úplně odříznuta od osobní mobility, konkrétně necelá polovina všech agentů v simulaci (48,9 %).

Při předpokladu konstantní ceny BEV je závěrem modelu neschopnost technologie nahradit v původním rozsahu ICE, s uvažováním konkrétních podmínek pro ČR, jako rozdělení příjmů, státní subvence a zákaz prodeje ICE vozidel od roku 2030.

Zdroje

- ACEA, 2020. Overview - Electric vehicles: Tax benefits & purchase incentives in the European Union | ACEA - European Automobile Manufacturers' Association [WWW Document]. URL <https://www.acea.be/publications/article/overview-of-incentives-for-buying-electric-vehicles> (accessed 4.22.21).
- Bergman, N., Haxeltine, A., Whitmarsh, L., Köhler, J., Schilperoord, M., Rotmans, J., 2008. Modelling Socio-Technical Transition Patterns and Pathways. *J. Artif. Soc. Soc. Simul.* 11.
- Car of the Future v4.0 - Citi Global Perspectives and Solutions, 2019. . CitiGPS. URL <https://www.citivelocity.com/citigps/car-future-v4-0/> (accessed 1.26.21).
- de Haan, P., Mueller, M.G., Scholz, R.W., 2009. How much do incentives affect car purchase? Agent-based microsimulation of consumer choice of new cars—Part II: Forecasting effects of feebates based on energy-efficiency. *Energy Policy* 37, 1083–1094. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.11.003>
- Evropský parlament a rada Evropské unie, 2016. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2016/2284.
- Gilbert, N., 2007. Agent-Based Models. *Cent. Res. Soc. Simul.* https://doi.org/10.1007/978-0-387-35973-1_39
- Global EV Outlook 2019 [WWW Document], n.d. . IEA Webstore. URL <https://webstore.iea.org/global-ev-outlook-2019> (accessed 1.26.21).
- Harrison, G., Thiel, C., 2017. An exploratory policy analysis of electric vehicle sales competition and sensitivity to infrastructure in Europe. *Technol. Forecast. Soc. Change* 114, 165–178. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.007>
- Holtz, G., Alkemade, F., de Haan, F., Köhler, J., Trutnevyte, E., Luthe, T., Halbe, J., Papachristos, G., Chappin, E., Kwakkel, J., Ruutu, S., 2015. Prospects of modelling societal transitions: Position paper of an emerging community. *Environ. Innov. Soc. Transit.* 17, 41–58. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2015.05.006>
- Informační systém o průměrném výdělků 2020, Informační systém o průměrném výdělků - 1. pololetí 2020 mzdová sféra (online), dostupné z: <https://www.ispv.cz/cz/Vysledky-setreni/Archiv/2020.aspx>
- Informační systém o průměrném výdělků 2020, Informační systém o průměrném výdělků - 1. pololetí 2020 platová sféra (online), dostupné z: <https://www.ispv.cz/cz/Vysledky-setreni/Archiv/2020.aspx>
- IPCC, 2018: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)] dostupné z:

- https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf
- Köhler, J., de Haan, F., Holtz, G., Kubeczko, K., Moallemi, E., Papachristos, G., Chappin, E., 2018. Modelling Sustainability Transitions: An Assessment of Approaches and Challenges. *J. Artif. Soc. Soc. Simul.* 21, 8.
- Köhler, J., Whitmarsh, L., Nykvist, B., Schilperoord, M., Bergman, N., Haxeltine, A., 2009. A transitions model for sustainable mobility. *Ecol. Econ.* 68, 2985–2995.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.06.027>
- Li, F.G.N., Trutnevyte, E., Strachan, N., 2015. A review of socio-technical energy transition (STET) models. *Technol. Forecast. Soc. Change* 100, 290–305.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.017>
- Lopez-Arboleda, E., Sarmiento, A.T., Cardenas, L.M., 2019. Systematic Review of Integrated Sustainable Transportation Models for Electric Passenger Vehicle Diffusion. *Sustainability* 11, 2513. <https://doi.org/10.3390/su11092513>
- Lukáš Režný, návrh projektu – model socio-technického přechodu k alternativním pohonům v osobní dopravě v ČR, Hradec Králové 2019, dostupné z: nepublikováno
- Ministerstvo financí ČR, 2021, Státní rozpočet 2021 v kostce. MFCR.cz [online]. Dostupné z: https://www.mfcr.cz/assets/cs/media/Informacni-letak_2021_Statni-rozpocet-v-kostce_v01.pdf
- Ministerstvo financí ČR, 2018, Studijní text ke zvláštní části úřednické zkoušky pro obor státní služby Finance (online), Praha, dostupné z: <https://www.mvcr.cz/sluzba/soubor/skripta-studijni-texty-2019--skripta-1-finance-20190806-pdf.aspx>
- Ortego, A., Valero, Alicia, Valero, Antonio, Calvo, G., Iglesias-Émbil, M., Villacampa, M., 2018. Strategic metals ranking in the automobile sector.
- Radzicki, M., 2010. System Dynamics and Its Contribution to Economics and Economic Modeling. pp. 727–737. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7701-4_39
- Salgado, M., Gilbert, N., 2013. Agent Based Modelling. pp. 247–265.
https://doi.org/10.1007/978-94-6209-404-8_12
- Samuelson, P.A., Nordhaus, W.D., 2010. Economics, 19th ed. ed, The McGraw-Hill series economics. McGraw-Hill Irwin, Boston.
- Shafiei, E., Stefansson, H., Asgeirsson, E.I., Davidsdottir, B., Raberto, M., 2013. Integrated Agent-based and System Dynamics Modelling for Simulation of Sustainable Mobility. *Transp. Rev.* 33, 44–70.
<https://doi.org/10.1080/01441647.2012.745632>
- Shepherd, S., Bonsall, P., Harrison, G., 2012. Factors affecting future demand for electric vehicles: A model based study. *Transp. Policy, URBAN TRANSPORT INITIATIVES* 20, 62–74. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2011.12.006>
- Steering group of the STRN, 2010. A mission statement and research agenda for the Sustainability Transitions Research Network (online) URL: [http://www.transitionsnetwork.org/files/STRN_research_agenda_20_August_2010\(2\).pdf](http://www.transitionsnetwork.org/files/STRN_research_agenda_20_August_2010(2).pdf)

- Struben, J., Sterman, J., 2008. Transition Challenges for Alternative Fuel Vehicle and Transportation Systems. *Environ. Plan. B Plan. Des.* 35, 1070–1097.
<https://doi.org/10.2139/ssrn.881800>
- UNEP (2017). The Emissions Gap Report 2017. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi, dostupné z: www.unenvironment.org/resources/emissions-gap-report
- Usnesení vlády ČR ze dne 16. prosince 2019 č. 917 – o aktualizaci Národního programu snižování emisí České republiky
- Walther, G., Wansart, J., Kieckhäfer, K., Schnieder, E., Spengler, T.S., 2010. Impact assessment in the automotive industry: mandatory market introduction of alternative powertrain technologies. *Syst. Dyn. Rev.* 26, 239–261.
<https://doi.org/10.1002/sdr.453>
- Zhang, T., Gensler, S., Garcia, R., 2011. A Study of the Diffusion of Alternative Fuel Vehicles: An Agent-Based Modeling Approach*: Diffusion of Alternative Fuel Vehicles. *J. Prod. Innov. Manag.* 28, 152–168. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2011.00789.x>

Seznam obrázků:

Obrázek č. 1 - popis systémové dynamiky (Radzicki, 2010)	9
Obrázek č. 2 - Simulované zastoupení osobních vozidel – Island (Shafiei et al., 2013).....	14
Obrázek č. 3 - Scénáře vývoje podílu vozidel s elektrickým pohonem (EV). (Kieckhäfer et al., 2017).....	15
Obrázek č. 4 - Projekce společenské podpory jednotlivých technologií pohonu (Köhler et al., 2009).....	17
Obrázek č. 5 - Distribuce mezd (ISPV, 2020),	21
Obrázek č. 6 - Distribuce platů (ISPV, 2020)	22
Obrázek č. 7 - Agentové modelování – mapa, zdroj: vlastní zpracování	24
Obrázek č. 8 - Start simulace, zdroj: vlastní zpracování.....	29
Obrázek č. 9 - 1. scénář: Volný trh, zdroj: vlastní zpracování	30
Obrázek č. 10 - 2. scénář: Zákaz prodeje ICE, zdroj: vlastní zpracování	31
Obrázek 11 - 2. scénář: Citlivostní analýza – zákaz bez subvencí, zdroj: vlastní zpracování	32
Obrázek č. 12 - 3. scénář: Subvence pro BEV, zdroj: vlastní zpracování.....	33
Obrázek 13 - 3. scénář: Citlivostní analýza – subvence bez zákazu, zdroj: vlastní zpracování.....	34
Obrázek č. 14 - 4. scénář: Kombinace subvence + zákaz prodeje ICE, zdroj: vlastní zpracování.....	35
Obrázek 15 - 4. scénář: Citlivostní analýza – kombinace subvencí a zákazu, zdroj: vlastní zpracování.....	36

Seznam tabulek:

Tabulka č. 1 - rozložení platů/mezd v ČR.....	21
Tabulka č. 2 - Parametry agentů (spotřebitelé).....	25
Tabulka č. 3 - Parametry agentů (vozidla).....	25
Tabulka č. 4 - parametry dodavatelského řetězce	26
Tabulka č. 5 - Parametry subvencí.....	27
Tabulka č. 6 - Parametry zákazu prodeje vozidel ICE	28

Zadání bakalářské práce

Autor: Matyáš Kračmar

Studium: I1800556

Studijní program: B6208 Ekonomika a management

Studijní obor: Finanční management

Název bakalářské práce: **Model socio-technického přechodu k alternativním pohonům v osobní dopravě v ČR**

Název bakalářské práce AJ: Model of socio-technical transition to alternative means of personal transport in the Czech republic

Cíl, metody, literatura, předpoklady:

1. Úvod – zasvěcení do problematiky přechodu České republiky na vozový park s alternativními pohony (klimatická změna, směrnice EU)

- Státní rozpočet a distribuční funkce, struktura daní ve vztahu k osobních mobilitě, závazek ČR o snižování emisí, schéma podpory přechodu k elektromobilitě jiných států EU, metody modelování (systémová dynamika a agentové modelování), přehled modelů

2. Model – návrh a vytvoření jednoduchého modelu kombinujícího metody systémové dynamiky a agentového modelování v softwaru Anylogic, jeho popis a struktura

3. Simulované scénáře: volný trh bez zásahu státu do vývoje ekonomiky, nastavení zákazu prodeje vozidel se spalovacími motory od roku 2030, poskytnutá finanční podpora od státu do výše 350 tisíc korun, kombinace nastavení zákazu a státní podpory ze scénářů 2 a 3; Výsledky modelovaných scénářů a diskuse

4. Závěr

John D. Sterman, Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World, McGraw-Hill Education, 2000

Radzicki M.J. (2009) System Dynamics and Its Contribution to Economics and Economic Modeling.

In: Meyers R. (eds) Complex Systems in Finance and Econometrics. Springer, New York, NY

KÖHLER, Jonathan, Fjalar DE HAAN, Georg HOLTZ, Klaus KUBECZKO, Enayat MOALLEMI, George

PAPACHRISTOS a Emile CHAPPIN. Modelling Sustainability Transitions: An Assessment of

Approaches and Challenges. Journal of Artificial Societies and Social Simulation [online]. 2018,

21(1) [cit. 2020-02-20]. DOI: 10.18564/jasss.3629. ISSN 1460-7425. Dostupné z:

<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/21/1/8.html>

Garantující pracoviště: Katedra ekonomie,
Fakulta informatiky a managementu

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Režný, Ph.D.

Datum zadání závěrečné práce: 24.6.2020

