

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Elektromobilita jako řešení externalit způsobené automobilovým průmyslem.

Electromobility as a Solution to Externalities Caused by the Automotive Industry.

STUDIJNÍ PROGRAM

Ekonomika a management

VEDOUcí PRÁCE

Ing. Petr Makovský, Ph.D.

KUBAŠOVSKÝ

JAKUB

2022

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kubašovský** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **492743**
Fakulta/ústav: **Masarykův ústav vyšších studií**
Zadávající katedra/ústav: **Institut ekonomických studií**
Studijní program: **Ekonomika a management**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Elektromobilita jako řešení externalit způsobené automobilovým průmyslem

Název bakalářské práce anglicky:

Electromobility as a Solution to Externalities Caused by the Automotive Industry

Pokyny pro vypracování:

Závěrečná práce vysokoškolského studia musí naplňovat znaky vědecko-výzkumné práce. Cílem práce je předložit dokument sumarizující vývoj, přínosy a problematická místa elektromobility. Přínosem práce je zhodnocení elektromobility pohledem investora (podílové fondů). Činnosti v rámci práce musí sledovat analyticko-syntetickou a induktivně-deduktivní metodu. Práce musí mít jasně a srozumitelně definovaný cíl práce, který koresponduje s názvem práce. Cíl musí být splněn na základě potvrzení či odmítnutí stanovených hypotéz. Práce je zpravidla strukturována na teoretickou a na empirickou část. V teoretické části se student zabývá přínosem práce (research gap), rešerší literatury a popisem výzkumných metod. V empirické části provádíme desk research dat (primárních, sekundárních, anebo metadata) anebo field research (dotazování na relev. vzorku). V emp. části je nezbytné provést kritickou diskuzi závěrů, nastínit další výzkumné otázky, provést shrnutí (conclusion) a vypracovat abstrakt práce (důležitá součást práce, která má laika motivovat se samotnou prací dále zabývat). Je nutné mít práci a její části provázané. Celou práci píšeme v první osobě množného čísla.

Seznam doporučené literatury:

KAMEŠ, Josef, 2015. Hybridní a elektrický pohon automobilů. 2. Praha: BEN - technická literatura. ISBN 2013-11-14-1.
ŠKAPA, Petr, 2000. Vliv dopravy na životní prostředí. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita. ISBN 80-707-8805-4.
SERRA, João Vitor Fernandes, 2012. Electric vehicles: technology, policy and commercial development. 1. London: Routledge. ISBN 978-1-84971-415-0.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Petr Makovský, Ph.D. Masarykův ústav vyšších studií ČVUT v Praze

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **05.01.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **28.04.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Petr Makovský, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Mgr. František Hřebík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. PhDr. Vladimíra Dvořáková, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

KUBAŠOVSKÝ, Jakub. *Elektromobilita jako řešení externalit způsobené automobilovým průmyslem*. Praha: ČVUT 2022. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Masarykův ústav vyšších studií.



**MASARYKŮV ÚSTAV
VYŠŠÍCH STUDIÍ
ČVUT V PRAZE**

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně. Dále prohlašuji, že jsem všechny použité zdroje správně a úplně citoval a uvádím je v přiloženém seznamu použité literatury.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této závěrečné práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Praze dne: 22. 04. 2022

Podpis:

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval Ing. Petru Makovskému, Ph.D. za cenné rady, doporučení a oporu při vedení bakalářské práce. Rovněž bych chtěl poděkovat za pomoc všem expertům na dané téma, se kterými jsem přišel do styku v zaměstnání nebo na sociálních sítích. Velké díky patří také mojí rodině, které se podařilo mě udržet motivovaného k vypracování bakalářské práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá elektromobilitou z hlediska možnosti snížení externích nákladů ze znečištění ovzduší, které produkuje sektor individuální automobilové dopravy, respektive automobilový průmysl. Výzkum je založen na analýze sekundárních empirických dat, které vstupují do rovnic pro výpočet hodnot externích nákladů. Pro tento výpočet je použita metoda well-to-wheel. Ze zjištěných výsledků vyplývá, že elektromobilita ve státech Evropské unie skutečně vykazuje nižší externality než vozidla se spalovacími motory. Velikost externích nákladů plynoucích z elektromobility záleží na energetickém mixu země, přičemž vysoký podíl neobnovitelných zdrojů v energetice je pro elektromobilitu neprospěšný. Technologické pokroky v oblasti baterií a výkonu elektromotorů nemají takový vliv na velikost externích nákladů vznikajících ze znečištění ovzduší, jako energetický mix země.

Klíčová slova

Automobilový průmysl, elektromobilita, externality, emise, Evropská unie, doprava, externí náklady, znečištění ovzduší, well-to-wheel

Abstract

The bachelor thesis examines electromobility in terms of the possibility of reducing the external costs of air pollution produced by the individual car transport sector, respectively the automotive industry. The research is based on the analysis of secondary empirical data that enter the equations for calculating the values of external costs. The well-to-wheel method is used for this calculation. The results show that electromobility in the EU countries indeed exhibits lower externalities than vehicles with internal combustion engines. The magnitude of the external costs arising from electromobility depends on the energy mix of the country, with a high share of non-renewable energy sources being detrimental to electromobility. Technological advances in batteries and electric motor performance do not have as much impact on the magnitude of external costs from air pollution as the energy mix of a country.

Key words

Automotive industry, electromobility, externalities, emissions, European union, transport, external costs, air pollution, well-to-wheel

Obsah

Seznam použitých zkratk	5
Úvod	6
1 Externality	8
1.1 Tržní selhání.....	8
1.2 Definice externalit.....	9
1.3 Dělení externalit	10
1.3.1 Externality peněžní a technologické.....	10
1.3.2 Externality pozitivní a negativní	10
1.3.3 Další dělení externalit.....	12
1.4 Řešení externalit.....	13
1.4.1 Soukromé řešení.....	13
1.4.2 Veřejné řešení.....	14
1.5 Oceňování externalit.....	15
2 Externality v automobilovém průmyslu	16
2.1 Negativní externality v automobilové dopravě.....	17
2.1.1 Znečištění ovzduší.....	18
2.1.2 Znečištění vody	21
2.1.3 Hluk a vibrace	22
2.1.4 Dopravní nehody	22
2.1.5 Kongesce	23
2.1.6 Odpady	24
2.1.7 Další externí náklady automobilové dopravy.....	24
2.2 Řešení externalit v automobilovém průmyslu.....	25
2.2.1 Emisní normy.....	25
2.2.2 Mýtné a jiná zpoplatnění	27
2.2.3 Dotace, subvence a granty	27
2.2.4 Úprava a budování dopravních sítí.....	28
2.2.5 Další řešení externalit.....	29
2.2.6 Auta na elektrický pohon.....	29
3 Elektromobilita	30

3.1	Elektromotor	31
3.1.1	Motory s vnitřním spalováním	33
3.2	Galvanické elementy a nabíjení elektrických vozidel	34
3.2.1	Druhy bateríí.....	34
3.2.2	Dobíjecí stanice a síť	35
3.3	Prognózy a budoucnost.....	37
4	Metodologie	40
4.1	Well-to-Wheel index	41
5	Vývoj externalit EV a ICEV vozidel	44
5.1	Hodnoty vstupující do výpočtu	45
5.1.1	Proměnné ICEV vozidel.....	48
5.1.2	Proměnné EV vozidel	49
5.2	Výsledky měření a komparace	52
5.2.1	Externality v roce 2016 a 2020.....	52
5.2.2	Vliv technologického vývoje na změnu externalit EV	55
6	Diskuse výsledků a přínosů práce	58
	Závěr	62
	Seznam použité literatury	63
	Seznam použitých elektronických zdrojů	66
	Seznam obrázků	70
	Seznam grafů	70
	Seznam tabulek	71

Seznam použitých zkratek

BEV - Bateriové elektrické vozidlo
CBA - Analýza nákladů a přínosů
ČR - Česká republika
ECU - Elektrická kontrolní jednotka
EEA - Evropská agentura pro životní prostředí
EM - Elektrický motor
ES - Systémy dodávky energie
EU - Evropská unie
EV - Elektrické vozidlo
IAD - Individuální automobilová doprava
ICEV - Motorové vozidlo s vnitřním spalováním
LCA - Metoda posuzování životního cyklu
LLR - Míra ztráty na vedení
NEE - Emise bez výfukových plynů
OSN – Organizace spojených národů
PHEV - Plug-in hybridní elektrické vozidlo
PM - Pevné částice
TCO - Celkové náklady na vlastnictví
TTW - Tank-to-wheel
VOLY - Hodnota jednoho ztraceného roku
VP - Pohon vozidla
WTT - Well-to-tank
WTW - Well-to-wheel
ZEV - Bezemisní vozidlo

Úvod

Elektromobilita je pro automobilový průmysl hlavní téma 21. století, neboť se má za to, že vede k čistější dopravě. Výrobci elektromobilů a organizace zabývající se zlepšením životního prostředí rádi předkládají společnosti, že elektromobil vyprodukuje 0 gramů CO_2 a snižuje tak globální oteplování planety. Na jednu stranu jsou tato prohlášení relativně pravdivá, na stranu druhou je potřeba se podívat detailněji na emise skleníkových plynů během celého životního cyklu elektromobilu. Kromě toho jsou zde i další faktory jako prachové částice, hluk, vibrace, odpady nebo dopravní nehody, jež jsou produktem individuální automobilové dopravy, a které způsobují nadbytečné náklady na zdravotní potřeby, opravy obydlí nebo znehodnocují stavební parcely.

K zpracování bakalářské práce mě vede zejména touha po objasnění výhod a nevýhod elektromobility v porovnání s běžnými automobily tankující benzín, nebo diesel. Je jasné, že "0 gramů CO_2 " je pouze marketingová fráze a během čtení diskusí mezi odpůrci a podporovateli elektromobility je těžké se zorientovat, natož zjistit, na čí straně je pravda.

Cílem bakalářské práce je předložit dokument sumarizující vývoj, přínosy a problematická místa elektromobility. Cíl práce uchopíme z pohledu externích nákladů (externalit), které vytváří nejen elektromobilita, ale pro kontrast i běžné automobily využívající k pohybu spalovací motory na benzín, či diesel. Výzkumným předpokladem práce jsou stanovené hypotézy v návaznosti na zvolený cíl práce. Přínosem práce je dle zadání zhodnocení elektromobility pohledem investora, tedy jestli se vyplatí z pohledu externích nákladů investovat do rozvoje elektromobility.

Za účelem dosažení stanoveného cíle je bakalářská práce rozdělena na část teoretickou a část praktickou. V teoretické části jsou sumarizovány poznatky z rešerše odborné literatury týkající se problematiky externalit, automobilů a elektromobilů včetně jejich konstrukce a dalších prvků ovlivňující výrobu a provoz těchto vozidel. V úvodu praktické části je metodika práce, jež popisuje způsob sběru, analýzy a interpretace dat. Dále upřesňuje rozsah výzkumné práce a způsob výpočtu externích nákladů.

Hlavním obsahem praktické části je analýza a komparace externích nákladů pomocí sekundárních empirických dat získaných pro rok 2016 a pro rok 2020. Jako výzkumné prvky jsou zvoleny polutanty CO_2 , NO_x , SO_2 , NMVOC, $\text{PM}_{2,5}$ a PM_{10} vyprodukované bateriovým elektrickým vozidlem, plug-in hybridním vozidlem, vozidlem se vznětovým motorem a vozidlem se zážehovým motorem. Ohodnocení externích nákladů je zkoumáno pro oblast České republiky, Polska, Francie, Švédska a Evropské unie. Závěr praktické části je věnován diskusi nad výsledky a přínosy práce. Podstatné jsou rovněž doporučení pro další výzkum a také hodnocení stanovených hypotéz.

TEORETICKÁ ČÁST

1 Externality

Ve světě se v 21. století stále častěji a s větší pozorností řeší otázka udržitelnosti, kvality a stavu životního prostředí. Od druhé poloviny minulého století se těmito otázkami zabývají i ekonomové¹, čímž dali vzniknout environmentální ekonomii. Environmentální ekonomie se zabývá otázkou přírody zejména z pohledu tržního selhání a s tím spojenou nedokonalou konkurencí, veřejnými statky nebo také externalitami. Jeroen C.J.M. van den Bergh dále rozlišuje mezi environmentální ekonomii a environmentálně-zdrojovou ekonomii, která je hlavním zkoumatelem externalit a definuje je jako *"ekonomická aktivita způsobující degradaci (nebo regradaci) životního prostředí a využívání jejích zdrojů s výsledným negativním (nebo pozitivním) efektem jednoho subjektu na druhý, bez jakékoliv kompenzace* (Van den Bergh, 2001)."

Další, o něco podrobnější definice jsou představeny níže, nicméně před výkladem samotných externalit je potřeba porozumět termínu *tržní selhání*.

1.1 Tržní selhání

Pro uvedení do problematiky je potřeba definovat termín trh z ekonomického hlediska. Trh je institucí, kde jedinci nebo firma směňují nejen komodity, ale také práva disponovat těmito komoditami určitým způsobem po určitý čas (Čadil et. al, 2006). Jako jedna z dalších definic se nabízí: *"Trh je oblast ekonomiky, ve které dochází k výměně činností mezi jednotlivými ekonomickými subjekty prostřednictvím směny zboží* (Macáková, 2003)."

Subjekty na trhu se snaží efektivně alokovat zdroje, což funguje pouze v systému, který je plně konkurenční a je Pareto efektivní (Čadil et. al., 2006). Existují však situace, kdy dochází k neefektivní alokaci zdrojů a stát musí do procesů tržní ekonomiky zasahovat i jiným způsobem, než ochranou vlastnických práv a zajištěním stabilních pravidel pro účastníky trhu. Jestliže nastane situace, kdy stát zasáhne do procesu tržní ekonomiky, hovoříme o tržním selhání.

Mezi hlavní příčiny tržního selhání se podle Čadil et. al. (2006) řadí např. nedostatečná kontrola, informační a transakční náklady, nebo problém vyjednávání.²

Typy tržního selhání se dají rozdělit do čtyř základních skupin³: monopolní síla (nedokonalá konkurence), veřejné statky, nedokonalé informace a externality.

¹ Například americký ekonom William Nordhaus obdržel v roce 2018 Nobelovu pamětní cenu za ekonomii za zahrnutí změny klimatu do dlouhodobé makroekonomické analýzy. *Zdroj: The Prize in Economic Sciences 2018 - NobelPrize.org*

² Více se tématu příčin tržního selhání a Pareto efektivnosti věnuje ČADIL, Jan, Božena KADEŘÁBKOVÁ a Jan VORLÍČEK. *Analýza externalit: přístup ekonomické teorie*. Strana 33-38. Praha: PEF ČZU, 2006. ISBN 80-213-1596-2.

³ Podle HOŘEJŠÍ, Bronislava. *Mikroekonomie*. 4., rozš. vyd. Strana 507. Praha: Management Press, 2016. ISBN 80-726-1150-X.

Zajímavostí je, že externality nemusí být pouze tržním selháním, ale také tržním řešením. Toto nastane v případě, kdy náklady na organizaci trhu pro daný statek jsou menší než přínosy z obchodu s daným statkem. V případě, že transakční náklady jsou příliš vysoké, je tržním řešením právě nevytvoření patřičného subtrhu pro statek externality, a tím pádem i pokračování existence externality (Jindra, 2009). Podobně to vnímá Hyánek (1998), který místo "selhání trhu" externality vnímá jako "absence trhu."

1.2 Definice externalit

Protože externality jsou svým způsobem ne zcela probádané téma a rozhodně jsou poměrně komplexním a komplikovaným tématem, není stanovena jejich přesná definice a mnoho autorů je vysvětluje vlastními slovy. Často se však liší pouze drobnými detaily, a právě proto budeme na základě doložení několika definic schopni termínu externality plně porozumět.

Nejčastěji se setkáme s definicí britského ekonoma Jamese Meada, který říká že: "*Externalita je událost, která přináší významný přínos (či způsobuje významnou škodu) nějakému subjektu nebo subjektům, které neprojevily plný souhlas při přijímání rozhodnutí, které či která vedla přímo nebo nepřímo k posuzované události* (Cornes, 1996)."

Autor nejpoužívanější učebnice obecné ekonomie na světě definuje externality následovně: "*Externalita neboli efekt přelévání nastává, když výroba nebo spotřeba způsobuje nedobrovolné náklady, či zisky jiným; tj. náklady nebo přínosy jsou přenášeny na jiné, aniž ti, kdo náklady způsobují, nebo ti, kdo přínosy získávají, za to platí. Přesněji, externalita je dopad chování jednoho ekonomického subjektu na blahobyt jiného subjektu, přičemž tento dopad se neodráží v dolarech nebo v tržních transakcích* (Samuelson, 1992)."

Poněkud uchopitelnější definici nabízí Hořejší et. al. (2006): "*Výroba nebo spotřeba může přinášet prospěch nebo vyžadovat dodatečný náklad, který zvýhodňuje nebo zatěžuje subjekty, jež se těchto aktivit neúčastní. Takové vedlejší – externí – efekty výroby nebo spotřeby jsou nazývány externalitami,*" a dále doplňuje, "*externalita se objevuje tehdy, když výroba nebo spotřeba jednoho subjektu způsobuje nezamýšlené náklady nebo přínosy jiným subjektům, aniž by ti, kteří způsobili náklady či získali příjmy, za ně platili.*" Nutno zdůraznit, že Hořejší spojuje v definici externality s cenami, přičemž u externalit jde vždy o vztah subjektů, který není postižen systémem cen. To znamená, že kompenzace za externality nejsou přesně dané nebo nejsou funkční.

Na závěr velice jednoduchá definice, kterou Hyánek považuje za vyhovující: "*Externalita je přímá vazba mezi funkcemi užítku nebo produkčními funkcemi rozličných ekonomických subjektů, která nevzniká prostřednictvím trhu* (Hyánek, 1998)."

Jak můžeme vidět, definic externalit je mnoho, a přestože každá je trochu jiná, mají všechny mnoho společného. Ovšem člověk, který nedisponuje mnoha znalostmi z oblasti ekonomie, by jen z prosté definice mohl mít problémy s vyobrazením a představou o tom, co externalita doopravdy znamená.

Nejen z tohoto důvodu je potřeba vypsát, jak se externality dělí.

1.3 Dělení externalit

Externality se dají dělit mnoha způsoby. Nejzákladnější dělení externalit je na externality negativní a externality pozitivní. Nejprve je ale pro potřeby této práce důležité dělit externality i na technologické a peněžní.

1.3.1 Externality peněžní a technologické

Peněžní externality jsou velmi málo zmiňovaným příkladem i z toho důvodu, že se jedná o externality vytvářené cenovým systémem, kdy chování spotřebitelů má vliv na ceny, a to se projeví jako změna ceny statků a zisků ze statků vyplývající, přičemž technické možnosti produkce a spotřeby zůstávají nezměněny. Vítek (1998) pro lepší pochopení udává tento příklad: "*Jestliže si osoba A koupí nějaké zboží, či službu, následně dojde ke zvýšení jeho ceny (nebo se objeví tlak na její zvýšení), což se projeví v celkovém užitku (blahobytu) osoby B.*" Konkrétních příkladů lze nalézt několik, pro zajímavost uvedu: Bohatí lidé si začnou kupovat víkendové chalupy na venkově, což způsobí růst cen těchto nemovitostí a zapříčiní, že chalupy se stanou cenově nedostupné pro např. mladé rodiny. Z oblasti dopravy uvádí příklad Kutáček (2009): "*Výstavba silničního obchvatu města může vést k výraznému poklesu zisku obchodníku v centru města, zatímco obchodníci při obchvatu budou mít zisky větší.*" Peněžní externality ale podle všeobecné shody ekonomů ve třicátých letech 20. století nemají vliv na celkovou ekonomickou efektivnost, a proto jejich výkladem zde skončíme.

Naproti tomu, technologické externality můžeme chápat pomocí definic, které jsou uvedeny v kapitole 1.2, tedy, že činnost jednoho či více subjektů ovlivňuje spotřebu či produkci jiných subjektů. Důležitá vlastnost technologických externalit je, že mezi subjekty neprobíhá žádná tržní transakce a pokud nastane nějaká cenová aktivita, projeví se až v druhém kroku. *Příklad:* Sadař má nezvykle dobrou úrodu díky sousedícímu včelaři, a tak se rozhodne část svých zisků včelaři dát jako vyjádření díku.

Z technologických externalit vychází i další dělení na externality pozitivní⁴ a externality negativní⁵. V prvním případě je transferován externí užitek, zatímco v případě negativních externalit je transferován externí náklad.

1.3.2 Externality pozitivní a negativní

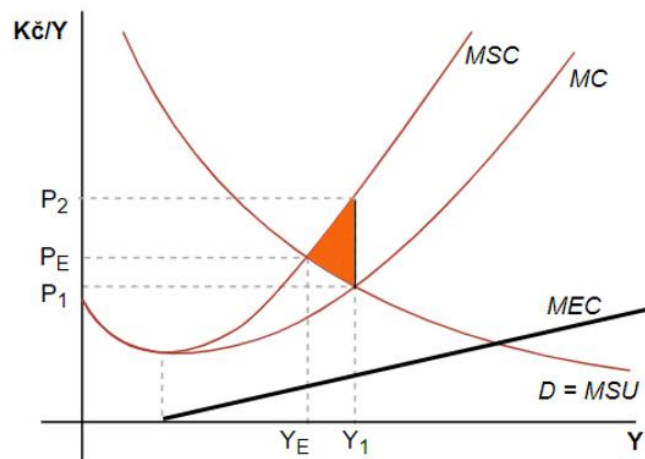
Negativní (záporné) externality jsou nejvýznamnějším a nejdiskutovanějším typem externalit kvůli negativním jevům, které způsobují. Jednoduchá definice záporných externalit: "*Když činnost jednoho subjektu přináší náklady subjektu jinému, které mu*

⁴ angl. external benefits

⁵ angl. external costs

nejsou hrazeny (přítom z nich nerealizuje žádnou výhodu) (Buchta, 1998)." Negativní externalita může nastat, když továrna vypouští škodlivé látky do řeky, kde kvůli této skutečnosti uhynou ryby, což způsobí škodu rybářům. Dalším příkladem může být automobilová doprava. Zatímco jeden subjekt těží z možnosti se rychle a komfortně někam přepravit, jiný subjekt je "poškozen" hlukem nebo škodlivými látkami. Negativní externality si vysvětlíme pomocí grafu společenských nákladů neefektivnosti.

Graf 1: Negativní externalita



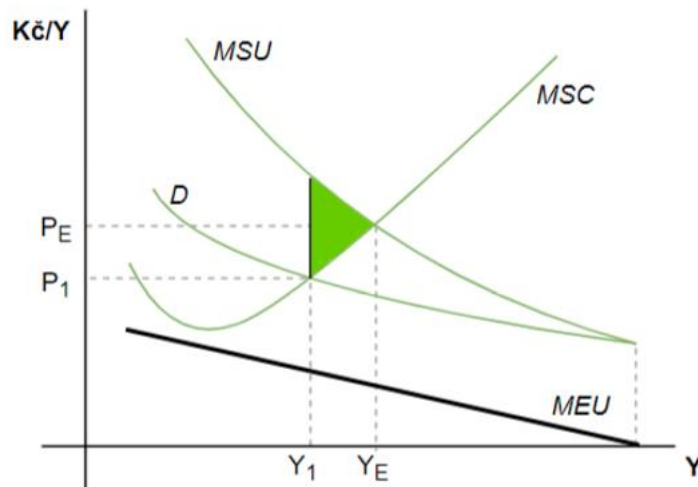
Zdroj: Hořejší et. al. (2010), str. 510, vlastní úprava

Mezní externí náklady (MEC) jsou v tomto grafu znázorněny jako rostoucí křivka (lze uvažovat i konstantní, v takovém případě na každou vyrobenou jednotku připadá externí efekt o stejném rozsahu). Průsečík křivek mezních soukromých nákladů (MC) a celkového mezního užitku (MSU) odpovídá množství (Y_1) a ceně (P_1) výrobku, který se vyrábí. Tento průsečík by rovněž odpovídal i optimální rovnováze, pokud by externalita neexistovala. Jestliže ale externalita existuje, je pro nalezení optimální rovnováhy ceny a množství statku, přičíst mezní externí náklady k mezním soukromým nákladům. Takto vzniká křivka celkových mezních nákladů (MSC) a její průsečík s celkovým mezním užitkem vyjadřuje optimální množství ceny (P_E) a množství (Y_E) za předpokladu produkce externality. Problém spočívá v tom, že cena P_1 je příliš nízká na to, aby uhradila celkové mezní náklady výroby Y_1 za předpokladu existence externality. Tento problém řeší až cena P_2 , která je ale příliš vysoká na to, aby firmy vyráběly výstup ve výši Y_E a její výše motivuje k výrobě nadbytečného rozsahu Y_1 . Znárodněná plocha vyjadřuje celkové náklady této neefektivnosti. Jinými slovy aktivita Y_1 přináší větší náklady, než je přínos této aktivity pro jedince a zároveň zvýrazněná plocha zobrazuje čistou ztrátu pro společnost. Zjednodušeně řečeno, společenské náklady jsou vyšší než soukromé náklady právě o zvýrazněnou plochu.

Pozitivní, nebo také kladné, externality jsou v běžném světě méně častým a kvůli své podstatě ne příliš diskutovaným jevem. Jednoduchá definice kladných externalit: "Když činnost jednoho ekonomického subjektu přináší prospěch jinému, přičemž jej tento nemusí hradit (Buchta, 1998)." Jako pozitivní externalitu můžeme uvést příklad

sadaře a včelaře jehož včely opylovávají sadařovy stromy, avšak ten za to včelaři neplatí. Kladné externality lze rovněž vyjádřit pomocí celkových nákladů neefektivnosti, které z nich plynou (Hořejší et. al., 2010).

Graf 2: Pozitivní externalita



Zdroj: Hořejší et. al. (2010), str. 509, vlastní úprava

V případě kladných externalit znázorňujeme křivku mezního externího užtku jiným subjektům (MEU), která může být jak konstantní, tak klesající. Firma na základě průsečíku křivek mezních nákladů (MSC) a poptávky (D) volí množství produkce Y_1 při ceně P_1 . V případě existence pozitivní externality se optimální výrobní množství Y_E za cenu P_E nachází v průsečíku mezních nákladů s celkovým mezním užtkem (MSU), který je dán součtem poptávky a mezního externího užtku. V tomto případě neefektivnost vzniká, protože cena P_1 je pro výrobce příliš nízká na to, aby vyráběla optimální množství aktivity Y_E , a tak bude poskytovat pouze výstup Y_1 . Na problém se dá dívat i z jiného úhlu pohledu a sice, že společenský výnos je vyšší než soukromý výnos.

Z grafu tedy vyplývá, že na rozdíl od záporných externalit dochází v případě kladné externality k příliš nízké produkci, protože není brán ohled na určitou část kladného přínosu dané činnosti (Hořejší et. al., 2010).

1.3.3 Další dělení externalit

Pro úplnost kapitoly uvedeme další možnosti dělení externalit, které ale z praktického hlediska nejsou příliš často používány.

Podle D.W. Pearce jsou externality rozdělovány na mezní a inframezní. V prvním případě malé změny v úrovni aktivity generující externalitu mají dopad na výrobu nebo užitek strany, která je externalitou ovlivněna. V druhém případě daná aktivita sice generuje externalitu, její malé změny však nemají dopad na výroby nebo užitek strany, která je externalitou ovlivněna (Buchta, 1998).

Externality výrobní a spotřební se rozlišují podle toho, kdo je za jejich vznik odpovědný (jestli firma nebo spotřebitel).

Externality parciální se týkají menšího množství osob, naproti tomu externality globální se týkají např. celé společnosti. *Příklad:* Zápach z kravína ovlivňuje obyvatele vesnice, zatímco nadměrná produkce pevných částic do ovzduší v Číně ovlivňuje klima na celém světě.

Trvalé a občasné externality se rozlišují na základě doby, po kterou působí externality na trh. *Příklad:* Externality způsobené pouze během výstavby obchodního centra trvají kratší dobu než hluk z vozidel na silnici před obchodním centrem.

Poslední dělení, které si představíme, je na externality vyčerpatelné a nevyčerpatelné. Nevyčerpatelnou externalitou rozumíme externalitu, jejíž spotřeba jedním subjektem neovlivní spotřebu druhého subjektu. Jako příklad může být dýchání znečištěného vzduchu obyvatelem města, který nijak výrazně svým dýcháním nesníží množství tohoto vzduchu v atmosféře. Naproti tomu, jako vyčerpatelnou externalitu můžeme chápat vylévání toxických látek do přírody, kdy škodícímu pak zbývá méně a méně objemu těchto látek, které do přírody vypouští.

1.4 Řešení externalit

Moderní ekonomie a její významné publikace zpravidla rozlišují dvojí řešení externalit: soukromé (privátní) a veřejné. Soukromá řešení se v čistě tržním prostředí odehrávají mezi mikroekonomickými tržními jednotkami. Jak ale uvádí Ježek (1998), *"posunem k realitě však dospějeme ke smíšené ekonomice za účasti státu a netržních mikroekonomických jednotek (neziskový státní sektor), takže vznik externalit se rozšíří i na mimořádné prostředí."*

V rámci této kapitoly si nejprve představíme privátní řešení a poté i řešení veřejná, která jsou v praxi více využívána.

1.4.1 Soukromé řešení

Otázkou soukromého řešení pozitivních externalit se nemá cenu příliš zabývat. Může za to fakt, že jejich výskyt je méně častý, je méně vnímán a ani se za příliš velký problém nepovažují. *"V privátní sféře je pozitivní externalita zpravidla důsledkem selhání konkrétního původce než trhu jako takového,"* uvádí Ježek (1998) a dále dodává, *"nelze pochybovat o prvotní snaze firmy i domácností maximalizovat své výnosy, naproti tomu nelze očekávat, že by beneficent přišel za původcem s poděkováním, natož s ekvivalentní náhradou."* Z uvedeného zjevně vyplývá, že neexistuje žádný pádný argument pro nutnost řešení pozitivních externalit.

Naproti tomu negativní externality se považují za velmi nepříjemný efekt a nutnost jejich řešení se tak přímo nabízí. Mnoho autorů při zkoumání soukromého řešení dospívá k názoru, že se v tomto případě má spíše hovořit o tzv. smíšeném řešení, které vyžadují jako podmínku účinnosti podstatnou veřejnou aktivitu. O výrazný přínos do tohoto tématu se zasloužil britský ekonom Ronald H. Coase, který ve svém článku *The*

problem of social cost z roku 1960 mimo jiné dochází k názoru, že pro platnost čistě soukromého řešení musí být vyjednávání spojeno s velmi nízkými transakčními náklady a precizně vymezenými vlastnickými právy. V praxi reálného světa jsou tyto podmínky ale velice optimistické a zřídka kdy dochází k jejich naplnění. Proto mnoho autorů ve svých publikacích pokládá otázku, zdali existuje čistě soukromé řešení externalit. Ježek (1998) shrnuje, že "*mnohdy uváděná soukromá řešení jsou spíše smíšená.*" Otázkou tedy zůstává, jaká jsou uváděná řešení?

Jednou z možností je uplatnění majetkových práv, kdy příjemce (poškozený) u soudu sleduje vynucení efektivní náhrady, jíž by došlo k internalizaci⁶. Toto řešení je smíšené už jen z podstaty původu majetkových práv, která jsou veřejného původu a definitivně moc soudní se nedá považovat jako moc privátní.

Další privátní možností jsou sociální sankce. Obdobně jako u majetkových práv nejde o privátní, ale o smíšené řešení, kde se kombinuje privátní iniciativa a veřejný mechanismus (Ježek, 1998). Výsledek veřejného skandalizování původce externality však nelze dobře předvídat, neboť může dojít k popularizaci stejně dobře jako k jejímu odstranění.

Posledním možným soukromým řešením jsou kompenzace. I když se uvádí jako učebnicový příklad soukromého řešení, jejich aplikování není vždy jednoduché i kvůli odlišné představě subjektů o její konečné výši. Dochází tak často k nákladným vyjednáváním, a když pomineme možnou aktivitu soudu, kompenzace pak za takových podmínek neodpovídají Coasova teorému.

Soukromé, nebo tedy už spíše smíšené, řešení není vždy jednoznačné a adekvátně efektivní narozdíl od veřejných řešení.

1.4.2 Veřejné řešení

Jak již bylo zmíněno v úvodu první kapitoly, externality vznikají jako důsledek tržního selhání a tržní selhání vzniká, když stát zasahuje do ekonomiky. Proto je jasné, že stát nabízí několik možností řešení externalit, které souhrnně označujeme jako veřejné řešení.

Na počátku 20. století, kdy se externality stávaly stále vážnějším tématem, přišel anglický ekonom Arthur Cecil Pigou s vytvořením systému daní, které budou uvaleny na původce externalit. Pokud subjekt vytváří pozitivní externalitu, bude odměněn dotacemi. Piguovskou daní máme na mysli jakýkoliv mechanismus, který zvýší náklady spojené s činností jednotlivce nebo firmy (u dotací platí analogický opak). Může sem patřit jak daň, tak i platba, kdy v zájmu snížení úrovně znečištění, je možné zdanit produkovaní emisí, nebo odměňovat firmy za snížení jejich úrovně (Malý, 1998). Je však obecně

⁶ Internalizace = vytvoření velkých ekonomických celků, kde se externality projevují pouze v rámci této jednotky.

známým faktem, že tento způsob řešení externality je nejméně vhodný. Malý (1998) to podkládá tvrzením: "*Jednotlivý producent totiž bude daní postižen bez ohledu na velikost úrovně znečištění. Bude tedy motivován maximálně k omezení množství produkce zdaněné komodity, nikoliv k hledání co nejúspěšnější cesty ke snížení úrovně znečištění.*" Nicméně hlavní argument v neprospěch Piguovských daní je, že rozsah externích nákladů se nedá vždy přesně změřit, protože trh v případě externalit nefunguje (selhává) a tak není jasné, kdo kolik získává a ztrácí, a proto vládní intervence nemohou mít správný rozsah.

Malý (1998) uvádí na základě ekonomů Davise a Kamienu další možnosti veřejného řešení externalit. Jsou jimi: Zákazy (zákaz používání freonů, zákaz řízení motorového vozidla pod vlivem omamných látek...), příkazové řešení (nebo také povolenky, kdy je každému subjektu stanoveno, kolik externality může vyprodukovat), státní regulace (povinnost vybudovat čističku, mít ve vozidle katalyzátor...), jednorázová finanční podpora a vlastní činnost (aplikované zejména v oblasti pozitivních externalit, kdy stát vlastní a provozuje instituce zaměřené na vzdělávání, vědu a výzkum).

Tímto jsme vyřešili otázku, jak se externality v praxi řeší. Pro účely této práce je nezbytné i zmínit, jak se externality oceňují.

1.5 Oceňování externalit

V první řadě je potřeba zdůraznit, že i přes některé případy, kdy je možné externalitu dobře vyčíslit a vyřešit ji s minimálními transakčními náklady (úhyn zvířete), je ve mnoha ostatních případech ocenění velký problém, který postihuje jak Coase tak Pigoua. Nejčastěji se udává příklad, kdy továrna bude produkovat externalitu v podobě vypouštění škodlivých látek do ovzduší. Poškozený subjekt by tak mohl požadovat po továrně vyšší odškodnění, avšak tuto výši by si subjektivně upravil (většinou nadhodnotil). Továrna na druhou stranu může tvrdit, že škoda, kterou způsobuje, není tolik velká a vlastně je zanedbatelná, tudíž o nějaké kompenzaci by ani neuvažovala anebo jen ve velmi nízkých částkách. K vyjádření obtížnosti otázky oceňování externalit si můžeme vzít příklad z automobilové dopravy. Rostoucí počet aut na silnicích způsobuje znečištění vzduchu. Ale po kom požadovat kompenzaci za vzniklou škodu (např. na zdraví)? Po řidičích, kteří by platili chodci ve městě A kolem kterého projeli a zároveň i obyvateli ve městě B bydlícím v panelovém domu u silnice? Nebo po automobilkách? A pokud by se viník našel, určitě by si každý vyšší odškodného představoval jinak a je možné, že by došlo k jednání popsané v teorii černého pasažera⁷. I přestože je kapitola oceňování externalit problémem na spíše samostatnou diplomovou práci, shrneme zde některé metody dohledatelné v publikacích.

⁷ Více například v: OLSON, Mancur. The Logic of Collective Action: Public Goods and the Theory of Groups. United States: Harvard University Press, 1971. ISBN 0-674-53751-3.

Malý (1998), uvádí na základě francouzského ekonoma J. Bénarda tyto metody oceňování:

Metoda přímého oceňování negativních externalit: Na základě specifických průzkumů a studií se stanoví náklady záporných externalit. Toto vyčíslení lze pak využít při oceňování škod způsobených znečištěním ovzduší, kdy tato externalita může způsobovat problémy v oblastech zdraví, bydlení, podnikání, zemědělství, koroze materiálů atp.

Metoda funkce škod: Do relace se uvádí parametry škod s tržní hodnotou nějakého statku, který je jimi záporně ovlivňován. V případě znečištění ovzduší a hluku jako důsledku provozu letiště se negativní důsledky promítají do ceny stavebních parcel. Existuje-li možnost měřit znečištění v různých místech a postupně vzdálenosti od producenta externality a tato skutečnost se odráží ve výsledných cenách, je možné danou externalitu vyčíslit. V takovém případě je stavební parcela použita jako referenční statek pro ocenění externality.

S dalšími metodologickými přístupy oceňování externalit v praxi přichází Melichar (2006):

Přístup nákladů na zamezení: Zjišťuje náklady na kontrolu či snížení škod nebo náklady vynaložené na dosažení legislativních limitů. Tyto náklady považuje za implicitní hodnotu škod, kterým se podařilo zamezit. Ovšem opět tento přístup je v praxi nereálný, neboť subjekty odhadnuté náklady na zamezení nereflektují reálnou výši škod.

Přístup ekonomických škod: Přístup škod zjišťuje na základě preferencí výši čistých ekonomických škod, které jsou spojeny s negativními externalitami. Tento přístup je rozdělen do dvou kategorií: top-down a bottom-up. Top-down přístup využívá pro hodnocení externích nákladů (např. určité znečišťující látky) agregátní údaje, zatímco bottom-up sleduje škody jen pro jeden zdroj znečišťování.

Jak z nabízených možností vyplývá, externality se konečně kalkulovat dají, ale vzhledem k obrovskému množství proměnných a neznámých, které do funkce přicházejí, není hodnota externality vždy stoprocentně přesná.

2 Externality v automobilovém průmyslu

V následujících kapitolách se dostaneme blíže k předmětu této akademické práce, tedy externalit v automobilové dopravě a průmyslu. Nejprve je důležité si vysvětlit význam slova doprava, kdy dopravou rozumíme pohyb dopravních prostředků po dopravních cestách, konaný za účelem přemístění osob nebo věcí (Folprecht, 1984). Automobilová doprava⁸ je konkrétnějším pojmem, který specifikuje, jakým dopravním

⁸ Lze uvažovat též o silniční dopravě

prostředkem se přemístění osob nebo věcí uskutečňuje. Stále lze však automobilovou dopravu rozdělit například na osobní a nákladní.

Externality vyprodukované dopravou jsou v dnešní době asi nejvíce diskutované téma napříč společnostmi jimi se zabývající vzhledem k jejich rozsahu, množství a dlouhodobého vlivu nejen na životní prostředí. Předmětem zkoumání bývají zejména negativní externality, které jsou snáze odhalitelné a bez pochyby mají ten největší vliv. Za zmínku stojí rovněž pozitivní externality, jejichž přínos pocítujeme každým dnem, avšak bereme je jako samozřejmé. Typicky se jedná například o pohodlí osob (díky kvalitní dopravní cestě a rozšiřování infrastruktury), úspora času (doprava autem je rychlejší než chůzí), snižování nákladů na přepravu osob a věcí (na základě modernizace dopravních prostředků a komunikací) a v neposlední řadě můžeme jako pozitivní externalitu vnímat i včasnější příjezd vozidel záchranného systému díky větší dostupnosti cest (Voborská, 2010). Nicméně otázkou pozitivních externalit se nemá cenu příliš zabývat, vzhledem k jejich spíše lokálním vlivům, nerovnoměrném zastoupení a nezájmu společnosti na jejich řešení.

V následujících kapitolách budou představeny typy negativních externalit, co zejména ovlivňují a jaké jsou dnešní jejich možnosti řešení.

2.1 Negativní externality v automobilové dopravě

Jak již bylo zmíněno, v dopravě vzniká mnoho externích přínosů ale i externích nákladů. "Externí náklady se vztahují na situace, kdy uživatel dopravy neplatí úplné náklady své dopravní činnosti (ekologické náklady, náklady z kongescí a nehod) a v mnoha případech tento uživatel, zasahuje do práv jiných (znečištění ovzduší, hluk apod.), aniž by jim zaplatil, což pro dopravně činnou osobu představuje náklady externí," uvádí Škapa (2000) a zároveň předkládá tabulku klasifikace externích nákladů:

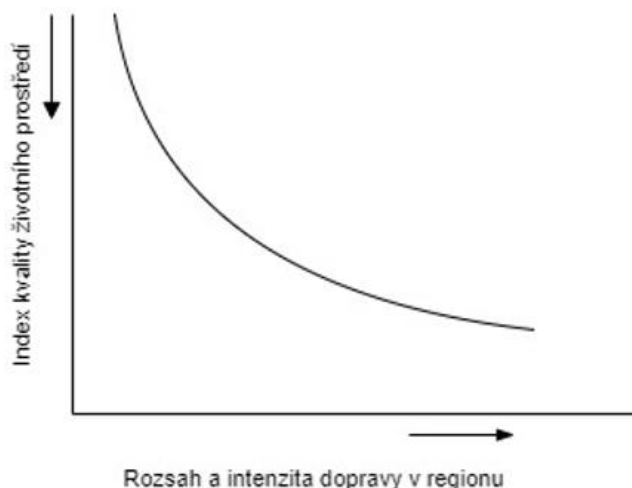
Tabulka 1: Klasifikace externích nákladů

Kategorie nákladů	Externí náklady
Výdaje na dopravu	Náklady placené ostatními (neplacené používání parkovacích prostor apod.)
Náklady na infrastrukturu	Neuhrazené náklady infrastruktury (dopravní policie, údržba dopravní cesty u silniční dopravy apod.)
Náklady z nehod	Neuhrazené náklady z nehod (bolestné apod.)
Ekologické náklady	Neuhrazené ekologické náklady (znečištění ovzduší, hluk apod.)
Náklady z kongescí	Zpoždění (náklady času uvalené na jiné apod.)

Zdroj: Škapa (2000), str. 56, vlastní úprava

V tabulce 1 je zmíněno několik základních a hlavních externalit, které doprava produkuje. Nejpalčivějším tématem je rozhodně znečišťování životního prostředí čímž v našem případě rozumíme každé vnášení fyzikálních, chemických nebo biologických činitelů do životního prostředí, které je přímo nebo nepřímo vyvoláno lidskou činností (Škapa, 2000). Účinky dopravy na životní prostředí jsou podle druhu a intenzity dlouhodobé a kumulativní. Zároveň mají globální charakter a logicky čím větší je rozsah a intenzita dopravy v regionu, tím horší je index kvality životního prostředí. Tuto závislost prezentuje následující graf 3:

Graf 3: Závislost kvality životního prostředí na rozsahu a intenzitě dopravy v regionu



Zdroj: Škapa (2000), str. 3

Ve výsledku tak dochází k znehodnocení složek životního prostředí v důsledku vzniku externalit. V našem případě zkoumáme škodu ze znehodnoceného životního prostředí z ekonomického hlediska, což lze chápat tak, že škoda vznikla v důsledku nevytvořeného národního (nebo domácího) produktu v důsledku neracionálního využívání přírody. K této škodě připočítáváme i materiální náklady na odstranění těchto externalit (Hranaiová, 1998).

Dále pokračujeme výčtem nejčastějších a nejvýznamnějších externalit produkovaných dopravou, zejména tou automobilovou.

2.1.1 Znečištění ovzduší

Od dob průmyslové revoluce byly největším producentem negativních externalit znečišťující ovzduší továrny, které kvůli spalování uhlí vypouštěly do ovzduší oxid siřičitý. Postupným nahrazováním uhlí zemním plynem a taky technologickými úpravami spalovacího procesu včetně odsiřovacích látek, se výrazně zvýšil podíl dopravy na celkovém znečištění ovzduší. Z dopravy pak největší podíl na produkci skleníkových plynů drží silniční doprava a to ze 72% (European Environment Agency, 2021).

Znečišťováním ovzduší rozumíme produkování látek různých skupenství, které přímo a/nebo po chemické nebo fyzikální změně v ovzduší nebo po spolupůsobení s jinou látkou nepříznivě ovlivňují ovzduší, a tím ohrožují a poškozují zdraví lidí nebo ostatních organismů, zhoršují jejich životní prostředí, nadměrně je obtěžují nebo poškozují

majetek (Škapa, 2000). Nutno podotknout, že ke znečištění ovzduší přispívají dopravní prostředky po celou dobu svého tzv. životního cyklu, tedy i při výrobě, doplňování paliva nebo jeho likvidaci.

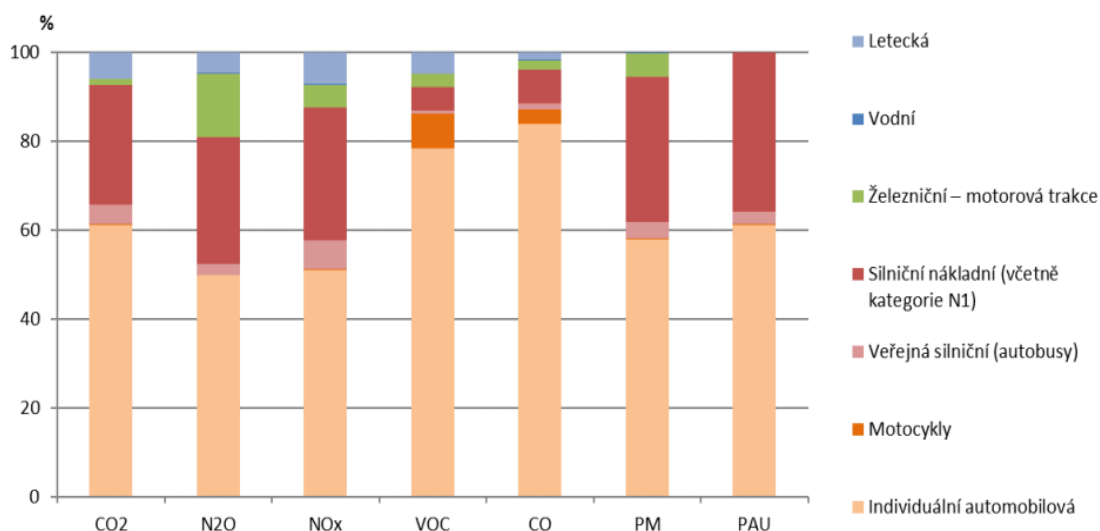
Mezi hlavní polutanty patří:

- Oxid uhelnatý (CO)
Vzniká spalováním motorových paliv, nejčastěji benzínu, obsahujících uhlík za nedostatečného přístupu vzduchu nebo za vysokých teplot. Ačkoliv tento plyn není považován za škodlivý vůči neživé přírodě, vůči organismům je silně jedovatý. Oxid uhelnatý produkovaný dopravou se podílí na znečištění ovzduší zhruba z 50% (Kompendium ochrany kvality ovzduší, 2005).
- Oxid uhličitý (CO₂)
Oxid uhličitý vzniká spalováním fosilních paliv obsahujících uhlík nebo oxidací oxidu uhelnatého. Nemá vliv na lidské zdraví, ale jde o nejdůležitější skleníkový plyn způsobující asi z 50% celkové oteplování atmosféry (Novák, 1993).
- Uhlovodíky (C_nH_n)
Vznikají při nedokonalém spalování paliva. Benzinové motory vylučují větší množství těchto látek než motory diesellové. Některé uhlovodíky jsou karcinogenní (benzen), jiné způsobují ospalost, dráždění očí a kašel (Novák, 1993). V práci se budeme detailněji zabývat nemetanovými těkavými organickými sloučeninami (NMVOC), které spadají do této kategorie polutantů.
- Oxidy dusíku (NO_x, N₂O)
V dopravě vzniká při spalování směsi paliva a vzduchu oxidací vzdušného dusíku kyslíkem za vysokých teplot. Jejich poměrové zastoupení je mezi 10-20% ve výfukových plynech diesellových motorů a přibližně 2% u benzinových motorů (Rievaj, 2017). Tyto plyny hrají spolu s oxidy síry hlavní roli při tvorbě kyselého deště (Novák, 1993). Nadto mají výrazný vliv na lidský organismus, převážně na dýchací, cévní, a nervovou soustavu (Rievaj, 2017).
- Oxid siřičitý (SO₂)
Oxid siřičitý se uvolňuje spalováním paliva obsahujícím síru. Jeho výrazný vliv je zejména na neživou přírodu, kde kromě vytváření kyselých dešťů například mění nerozpustný vápenec na rozpustný sádrovec (Škapa, 2000).
- Pevné částice (PM)
Částice sazí a kovu jejichž hlavním zdrojem jsou naftové motory mají za následek kalnost smogu. Jsou potencionálně karcinogenní, neboť jsou schopné na sebe vázat karcinogenní aromatické uhlovodíky (Novák, 1993). V grafech a tabulkách se sledují nejčastěji pod označením PM_{2,5}, či PM₁₀, kde indexové číslo udává hrubost těchto částic v mikrometrech (µm).

Seznam polutantů by mohl být větší a obsahovat i další znečišťující složky jsou například těžké kovy, karcinogeny, či toxiny, avšak přesné údaje jsou k nim těžce dohledatelné, a navíc je obtížné vyjádřit jejich externí účinky v penězích zejména proto, že některé znečišťující faktory, jako například zinek nebo měď, se vyskytují přirozeně v lidském těle a jsou nebezpečné pouze v opravdu vysokých dávkách (Roosen et. al., 2015b).

Emise znečišťujících látek a skleníkových plynů z dopravy jsou závažnou zátěží životního prostředí s dopady na zdraví obyvatelstva, ekosystémy a klimatický systém. Pro ukázkou, kolik jaký druh dopravy emituje škodlivých látek, poslouží následující graf 4⁹:

Graf 4: Emise znečišťujících látek a skleníkových plynů z dopravy v ČR dle druhů dopravy [%], 2018



Zdroj: Ministerstvo životního prostředí (2018), str. 235

Největší poměr v každé kategorii škodlivých plynů a částic představuje individuální automobilová doprava. Právě externalitám produkovaných individuální automobilovou dopravou se budeme zabývat i v praktické části akademické práce.

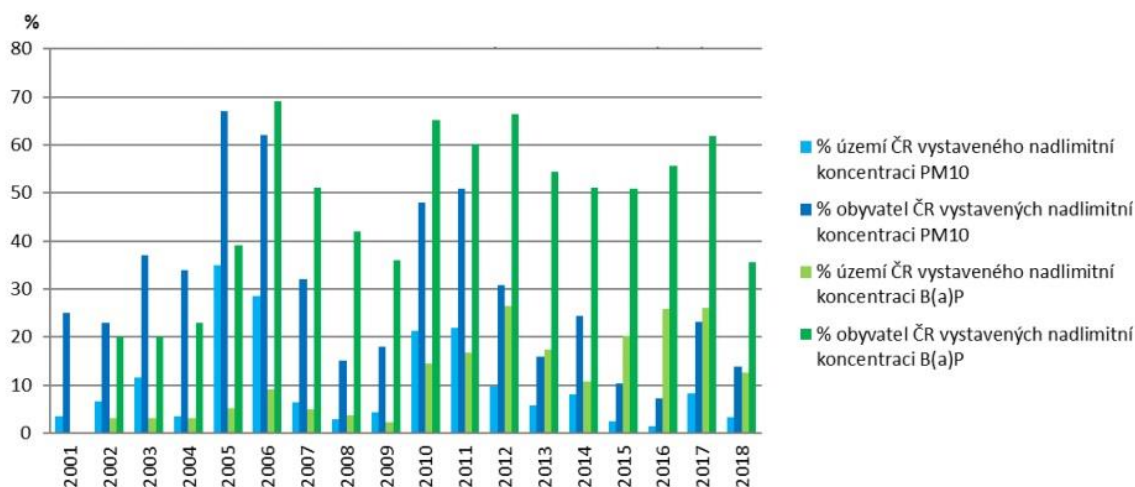
Z výčtu hlavních polutantů je zřejmé, že jejich nadlimitní množství v atmosféře dokáže z dlouhodobého hlediska ovlivnit zdraví člověka. Například v České republice je nadlimitnímu množství pevných částic PM₁₀¹⁰ vystaveno více jak 10% obyvatelstva. U karcinogenního polyaromatického uhlovodíku Benzo(α)pyrenu¹¹ je to dokonce více jak 30%, což dokazuje graf 5.

⁹ VOC = těkavé organické sloučeniny (uhlovodíky); PM (particulate matter) = pevné částice; PAU = aromatické uhlovodíky.

¹⁰ PM₁₀ = hrubší pevné částice o velikosti menší než 10 μm.

¹¹ Benzo(a)pyren se nachází mimo jiné v automobilových výfukových plynech.

Graf 5.: Podíl území ČR a obyvatel ČR vystavených nadlimitní průměrné 24hodinové koncentraci suspenzovaných částic PM10 a nadlimitní roční průměrné koncentraci B(a)P [%], 2001–2018



Zdroj: Ministerstvo životního prostředí (2018), str. 49

Jako další ovlivňují škodlivé látky v atmosféře například zemědělskou produkci nebo způsobují škody na materiálech. V konečném důsledku tak externí náklady vznikají subjektům právě z ušlé úrody, častějších opravám na objektech, nebo zvýšeným výdajům na lékařskou a zdravotní péči (Maibach, 2007).

Působení negativních externalit na kvalitu ovzduší se všeobecně projevuje nejvíce, protože na rozdíl od vody či krajiny lze velmi obtížně definovat vlastnická práva k určité části ovzduší. Zatím neumíme stanovit cenu za 1 m³ čistého vzduchu a na základě toho požadovat od příslušného subjektu odpovídající náhradu za příslušné množství spotřebovaného nebo znečištěného vzduchu (PiIný, 1998).

2.1.2 Znečištění vody

Dalším významným důsledkem dopravou produkováných externalit je znečištění vody. Škodlivé látky v tomto případě způsobují kontaminaci, změnu kvality nebo povahy povrchových či podzemních vod, což má za následek ovlivnění lidského zdraví, flóry a fauny. Doprava přispívá k znečišťování vod emisemi motorových vozidel, technickým stavem vozidel, provedením a technickým stavem skladů a tankovacích stanic paliv a/nebo technickým a technologickým zázemím pro údržbu a opravy dopravních prostředků (Škapa, 2000). Typickými příklady vzniku externality může být dopravní nehoda, při které unikají provozní kapaliny, anebo i mytí aut chemickými prostředky.

Ve spojitosti se znečišťováním ovzduší je důležité zmínit oxidy dusíku jež způsobují asi jednu třetinu okyselení dešťových srážek v Evropě (Kompendium ochrany kvality ovzduší, 2005). Kyselý déšť (kromě oxidů dusíku ho tvoří také oxid siřičitý a jiné látky reagující v atmosféře) způsobuje širokou destrukci evropských jezer a řek tam, kde okolní soli nemohou neutralizovat kyselost. Zároveň kyselý déšť způsobuje odumírání lesa a snižují výnosy sklizní (Růžička, 1993).

2.1.3 Hluk a vibrace

Hluk je nežádoucí zvuk, který vyvolává nepříjemný nebo rušivý vjem anebo škodlivý vjem na člověka (Škapa, 2000). Zvuk se nejčastěji měří v jednotkách decibelů (dB). Čím vyšší je naměřená hodnota, tím spíše člověk vnímá zvuk jako hluk a zároveň způsobuje nejen fyzickou ale i psychickou újmu na zdraví. Samozřejmě o negativním působení hluku nerozhoduje jen jeho intenzita, ale důležité je i jeho trvání.

Hlučnost automobilové dopravy je zapříčiněna například činnostmi hnacích a pomocných agregátů, odvalováním kol po dopravní cestě, aerodynamickým hlukem vznikajícím z pohybu vozidla, vibrace karoserie a jinými intervalově se vyskytujícími hluky (klakson, alarm) (Škapa, 2000). Naopak spíše lokální externalitu hluku produkuje z hlediska životního cyklu dopravního prostředku například jeho výroba. Ekonomické následky nadměrného dopravního hluku lze vypočítat jako ztráty z pracovní nečinnosti častěji nemocných osob v produktivním věku a jako náklady na léčbu častěji nemocných (Zeman, 1993).

Hluk v životním prostředí působí většinou v kontextu s ostatními fyzikálními, chemickými a biologickými činiteli (Růžička, 1993). Jedním z jeho "spolupracovníků" jsou vibrace, tedy mechanické kmitání vzduchu způsobujícím mechanické otřesy, které jsou charakteristické při průjezdu vozidel po dopravní cestě. Vibrace se projevují škodlivě na člověku, zvířatech, půdách a materiálech budov a jiných staveb (Škapa, 2000). Problém této externality spočívá v dosud nevymezené mezní hodnotě vibrací, což vede k obtížnému vyjádření skutečných škod.

2.1.4 Dopravní nehody

Dopravní nehody jsou dalším typem externality vznikající v automobilové dopravě, která je úzce spojená i s dalšími vlivy (znečištění vody, vznik kongescí apod.). O externalitě z dopravních nehod jako takových hovoříme v momentě, kdy škoda, jež vznikne, není krytá pojištěním. Rozsah externích nákladů nehod je tak určen podobou systému a dostupnou paletou pojištění v každé zemi zvlášť. Individuální automobilová doprava je v tomto ohledu nejnebezpečnější, což je dáno amatérismem¹² většiny řidičů (Zeman, 1993).

¹² V ostatních druzích dopravy je při řízení dopravního prostředku nutná profesionalita. Například pilot pro získání leteckého průkazu skládá náročné zkoušky a psychotesty. Řidič kamionu má rovněž často profesní průkaz řidiče.

Externí náklady z dopravních nehod se hradí ze státních peněz, tedy výdajů z veřejných financí, což ve výsledku zatěžuje všechny obyvatele státu. Vznikající náklady se rozdělují na přímé jako jsou *náklady na zdravotní péči, náklady na HZS, náklady na policii, hmotné škody včetně nákladů pojišťoven, soudní a správní náklady* a nepřímé, například: *ztráty na produkci, sociální výdaje, náhrada škody a nemajetkové újmy stanovená soudy* (Centrum dopravního výzkumu, 2020).

Tabulka 2: Celkové ekonomické ztráty v ČR z dopravní nehodovosti za rok 2018

Výše ztrát	Počet osob (nehod)	Ztráta na osobu (nehodu) v Kč	Celkové ztráty v tis. Kč
na lidských životech (zemřelí do 30 dnů po DN)	658	22 534 000	14 800 000
v důsledku těžkých zranění	2 395	5 983 000	14 300 000
v důsledku lehkých zranění	25 195	739 700	18 700 000
z nehod jen s hmotnou škodou	82 875	389 800	32 300 000
Celkové ztráty za rok 2018 v tis. Kč			80 100 000

Zdroj: Výpočet Centrum dopravního výzkumu (2020)

V tabulce 3 na základě výpočtu Centra dopravního výzkumu, v. v. i., vidíme, že celkové ekonomické ztráty v České republice představovali za rok 2018 přes 80 milionů korun neboli v přepočtu na eura přibližně 3 275 372 eur (kurz k 6.4. 2022).

2.1.5 Kongesce

Kongesce¹³ je specifickým druhem externality, kterou je potřeba správně uchopit a objasnit, aby skutečně dopravní externalitou byla. Totiž externí náklady zde představují náklady, které si uživatelé silniční sítě způsobují sobě navzájem, nikoliv náklady zpoždění celé společnosti, jak bychom se mohli domnívat. Důvodem proč se objevují náklady kongescí je skutečnost, že uživatelé dopravy sledují pouze svůj vlastní užitek a náklady cesty, ale přehlížejí náklady, které způsobují ostatním uživatelům silniční sítě. Typickým příkladem kongesce u automobilové dopravy je kolona vozidel, přičemž mezní externí náklady se diametrálně liší v závislosti na intenzitě dopravy. Jestliže je nízká intenzita dopravy, mezní náklady se rovnají nule, neboť v takovém případě nemá dodatečné vozidlo v systému vliv na plynulost ostatních. S růstem intenzity dopravy přibývají vozidla v systému, kterému postupně dochází kapacita a rostou tak externí náklady kongesce. Jakmile se objeví kolona vozidel vznikají i interní náklady (množství času, které osoba ztratí v koloně). Pokud jsou interní náklady velmi vysoké, uživatelé dopravy se rozhodnou koloně vyhnout. V případě, kdy kolona již dál neroste, jsou si

¹³ Angl. congestion = ucpání, neprůjezdnost

interní a externí náklady rovné (Kutáček, 2009). Kolona je tak z ekonomického pohledu tvoření nákladů velmi zajímavým, avšak z našeho pohledu negativním jevem.

2.1.6 Odpady

Poslední externalitou, které věnujeme samostatnou kapitolu, je odpad. Odpady¹⁴ jsou movitá věc, která se stala pro vlastníka nepotřebnou a vlastník se jí zbavuje s úmyslem ji odložit, nebo která byla vyřazena na základě zvláštního právního předpisu. Odpady členíme na ostatní odpady (nemají nebezpečné vlastnosti z hlediska působení na jednotlivé složky životního prostředí) a nebezpečné odpady (mají jednu nebo více nebezpečných vlastností). Některé nebezpečné odpady mohou svými nebezpečnými vlastnostmi představovat mimořádně vážné riziko pro životní prostředí (Škapa, 2000).

O odpadech by se dala napsat jedna velká kapitola, nicméně pro naše účely bude postačující si představit pár příkladů. Typickou externalitou je obyčejně odstavené vozidlo, jehož majitel je nedopátratelny, nebo je po smrti. Před nálezem takového vozidla vznikají externí náklady například ze záboru parkovacího místa, nebo ovlivňování ekosystému. Pokud se rozhodne někdo externí externalitu odstranit, bude muset za odtah a likvidaci zaplatit z vlastních zdrojů, čímž subjektu vzniknou externí náklady. Dalším odpadem, v případě elektromobility, mohou být nerecyklovatelné baterie, které se prozatím skládají, než se najde jejich vhodné řešení a zpracování.

2.1.7 Další externí náklady automobilové dopravy

Samozřejmě existují i další významné příklady externích nákladů automobilové dopravy, avšak pro praktickou část této práce nejsou tolik podstatné.

- *Zábor půdy.* Pod pojmem zábor půdy si můžeme představit jakkoliv obsazené území silniční dopravou jako celkem. Nejčastěji se tak jedná o výstavbu silniční sítě na zemědělských, či lesních pozemcích, kdy se neuplatňují náhrady za nevyrobenou zemědělskou či lesní produkci. Taktéž nedostatkem daňové politiky je nesprávné zdanění půdy, na které jsou dopravní stavby (Zeman, 1993). Pod vznikem této externality si můžeme rovněž představit například nesprávné parkování aut, které překáží chodcům, cyklistům a zejména pak složkám integrovaného záchranného systému, jejichž pozdní příjezd může mít fatální následky (Kutáček, 2009).
- *Fragmentace krajiny.* Například malíř, který léta měl zisky z malování určité lokality, teď musí s rizikem změnit lokalitu kvůli degradaci prostředí.
- *Vizuální rušení.* Člověk, kterého vyrušují různé pohyby a světla, může vykazovat horší výsledky v práci.

¹⁴ Za odpad není považována náplň zařízení, pokud je zařízení provozováno, nebo je určeno k opravě (Škapa, 2000).

- *Rozdělení komunit.* V důsledku rozdělení komunit mohou vzniknout externí náklady ve spojitosti se zpožděním významných projektů, nebo ve spojitosti s nekompetencí vlády.

Všechny výše uvedené externality jsou velmi obtížně uchopitelné, a tedy i obtížně kvantifikovatelné, nicméně jejich existence by se však neměla přehlížet a měla by být řešena se stejným úsilím jako jiné externality.

2.2 Řešení externalit v automobilovém průmyslu

Silniční doprava se stává stále efektivnější a levnější než jiné druhy dopravy i z důvodu, že cena dopravy neodráží dostatečně všechny výše zmíněné externí náklady. V první kapitole této práce jsme si představili z obecného hlediska, jak se s externalitami snaží různé subjekty a autority bojovat. Víme již, co si představit pod pojmem veřejné řešení externalit a soukromé řešení externalit.

V následujících podkapitolách jsou popsány konkrétní nástroje, pomocí nichž se dané externality řeší. Podkapitoly jsou koncipovány v návaznosti na již zmíněné externality v automobilové dopravě.

Nástroje se dají rozdělit na technické a legislativní (Pilný, 1998). Obecně se nedá říct, který nástroj je nejlepší, neboť každý funguje jako regulátor určitých specifických externích nákladů (například emisní normy nemají téměř žádný vliv na regulaci hluku). Mezi legislativní nástroje patří různé zákony, vyhlášky, nařízení nebo směrnice. Jedná se tedy prioritně o veřejné řešení externalit, kde na jedné straně vystupuje stát nebo uskupení větších celků (Evropská unie).

Mezi technologické nástroje řadíme takové způsoby řešení, který mají přímý a mnohdy okamžitý vliv na snižování dopadů externalit. Lze si pod nimi představit jednak fyzické věci (protihluková stěna) nebo změny v procesu a technologiích (vznik hybridních nebo elektrických vozidel).

2.2.1 Emisní normy

Zdaleka nejvíce používaným legislativním nástrojem jsou emisní normy, tedy soubor regulací určující maximální množství emitovaných škodlivých látek nově prodaných vozidel. Pro členy Evropské unie, EEA prostoru a Spojeného království jsou tyto normy nazývané Euro¹⁵ zavedeny již od roku 1992. V současnosti rozeznáváme šest kategorií od Euro 1 až po Euro 6, ale od roku 2025 by se měla škála rozšířit o Euro 7 (Transport & Environment, 2021). Logika číslování je jednoduchá – čím vyšší je číslo emisního standardu, tím menší jsou limitní hodnoty škodlivin (CO, C_xH_y, NO_x, PM) ve výfukových

¹⁵ Evropské emisní standardy

exhalacích motorových vozidel v závislosti hmotnosti škodliviny na ujeté vzdálenosti (g/km).

Tabulka 3: Emisní limity EURO 1 - EURO 6

Emisní norma	CO (g/km)		NO _x (g/km)		HC + NO _x (g/km)		HC (g/km)	PM _x (g/km)
	3,16	3,16	-	-	1,13	1,13	-	0,18
Euro 2	2,20	1	-	-	0,5	0,7	-	0,08
Euro 3	2,30	0,64	0,15	0,5	-	0,56	0,2	0,05
Euro 4	1	0,5	0,08	0,25	-	0,3	0,1	0,025
Euro 5	1	0,5	0,06	0,18	-	0,23	0,1	0,005
Euro 6	1	0,5	0,06	0,08	-	0,17	0,1	0,005

Zdroj: Mokříš (2021), vlastní úprava

V tabulce 3 můžeme vidět emisní limity Euro od první vydané normy až po tu současnou, tedy Euro 6. Žlutě vyznačené hodnoty jsou platné pro benzínové motory, černě pro motory naftové.

Emisní normy se vztahují na vozidla nově uváděná na trh a zároveň jsou rozčleněna do mnoha kategorií. Emisní normy jsou tak jistým nástrojem, který nutí automobilky investovat do výzkumu technologií, aby vyráběli vozidla v zrovna platné emisní normě (pokud platí norma Euro 6, automobilky už nemůžou prodávat nová vozidla spadající do kategorie Euro 5).

Kromě Evropy se podobné emisní požadavky na nová vozidla uplatňovali i na Americkém kontinentu již od sedmdesátých let minulého století, kdy začala ve státě Kalifornie velká inovační vlna se zaváděním katalyzátorů výfuku. Dokonce první vzniklý program ZEV, schválený již v roce 1990, předpokládal, aby postupně v letech 1998, 2001 a 2003 bylo prodáno 2%, 5%, respektive 10% nových vozidel bez emisí. Pochopitelně se to nepodařilo i z důvodu nedostatečné znalosti a pokroku technologií v elektromobilovém průmyslu, ale program i přesto dal dobrý základ k emisním požadavkům u budoucích norem (Kameš, 2004).

S emisemi obecně souvisí také obchodovatelná emisní povolení, jejichž podstatou je převod individuálních emisních povolení (kolik jaký subjekt může vyprodukovat emisí) do obchodovatelné podoby. Poté dochází tržní cestou na základě nabídky a poptávky k minimalizaci nákladů na snížení emisí. V praxi jsou tyto náklady minimalizovány například tak, že subjekt, pro který je jednotkové snížení emisí nejdražší, kupuje obchodovatelná emisní povolení od subjektů, pro které je snížení emisí levnější nebo vynucené jinými okolnostmi (například nutná modernizace technologie). Cílem nástroje je efektivnější alokování prostředků používaných pro snižování vlivu jednotlivých podnikatelských subjektů na životní prostředí (Kameš, 2004). V praxi tak tržní transakce s emisními povolenkami pozorujeme zejména u elektráren na neobnovitelné zdroje, které v mnoha státech mají většinové zastoupení a v našem případě jejich produkci škodlivých látek budeme sledovat u výroby elektrické energie do nabíjecích stanic elektromobilů.

2.2.2 Mýtné a jiná zpoplatnění

Dalším ryze legislativním nástrojem řešení externalit je zavedení různých poplatků, konkrétněji dálniční poplatek, poplatek za parkování, mýtné nebo zpoplatnění vjezdu. Cílem těchto řešení je internalizace externích nákladů, což v praxi znamená převod části nákladů na provozovatele osobního, nákladního či užitkového vozidla.

- *Dálniční poplatek* se dá obecně rozdělit podle času (předplatný kupón na určitý čas), nebo podle vzdálenosti (podle ujetých kilometrů - poplatek je vybírán u mýtných bran). V mnoha zemích je tak přístup k vybírání odlišný a jinak jsou nastaveny i sazby. V České republice se dálniční poplatek platí podle času, přesněji lze zakoupit kupón na 10 dní, 30 dní a 1 rok. Od poplatku jsou osvobozeny elektrická vozidla, hybridy a vozidla na vodík (Edalnice, 2021).
- *Mýtné* platí provozovatel vozidla s celkovou hmotností nad 3,5t. Označení mýtné bývá rovněž používáno jako souhrnné označení pro poplatky za používání silniční sítě, tedy nejen dálnic, ale i silnic 1. třídy. Dalším specifickým mýtem může být poplatek za jízdu v noci. Vše v závislosti na externalitách, které trápí danou oblast. V České republice jsou sazby mýtného udávány dle počtu ujetých kilometrů a zároveň dle emisní normy vozidla. Od poplatků jsou osvobozena vozidla vykonávající veřejnou činnost (vozidla IZS, vězeňské služby, přeprava nemocných osob) a dále vozidla používající výlučně elektrickou energii nebo vodík nebo jakákoliv jiná alternativní paliva, je-li hodnota emisí CO₂ v kombinovaném provozu menší než 50 g/km (MYTO CZ, 2019).
- *Poplatek za parkování* představuje možné řešení externality způsobené záborom půdy. Tento u řidičů velmi nepopulární poplatek způsobuje dva, z pohledu řešení externalit, pozitivní důsledky. Jednak představují příjem do veřejných rozpočtů (měst, obcí), a jednak nutí domácnosti místo vozidel používat hromadnou dopravu. Zejména druhý případ přispívá k snižování emisí, menšímu množství kongesce a snížení množství dopravních nehod.
- *Zpoplatnění vjezdu* je řešení dopravní obsazenosti (kongesce) a vysokého množství škodlivých látek v ovzduší využívaným zejména ve velkých městech západní Evropy, jako je Oslo, Stockholm nebo Berlín, kde se dokonce uvažuje o celkovém zrušení vjezdu aut do určité zóny centra města (Jones, 2021).

Výše zmíněná řešení mají jedno společné a sice, že subjekt musí odvádět část svého důchodu na náhradu externalit, kterou svojí činností způsobuje. Ideální by však bylo, pokud by žádnou externalitu vůbec neprodukoval, k čemuž je zapotřebí i pozitivní motivace, například v podobě dotace.

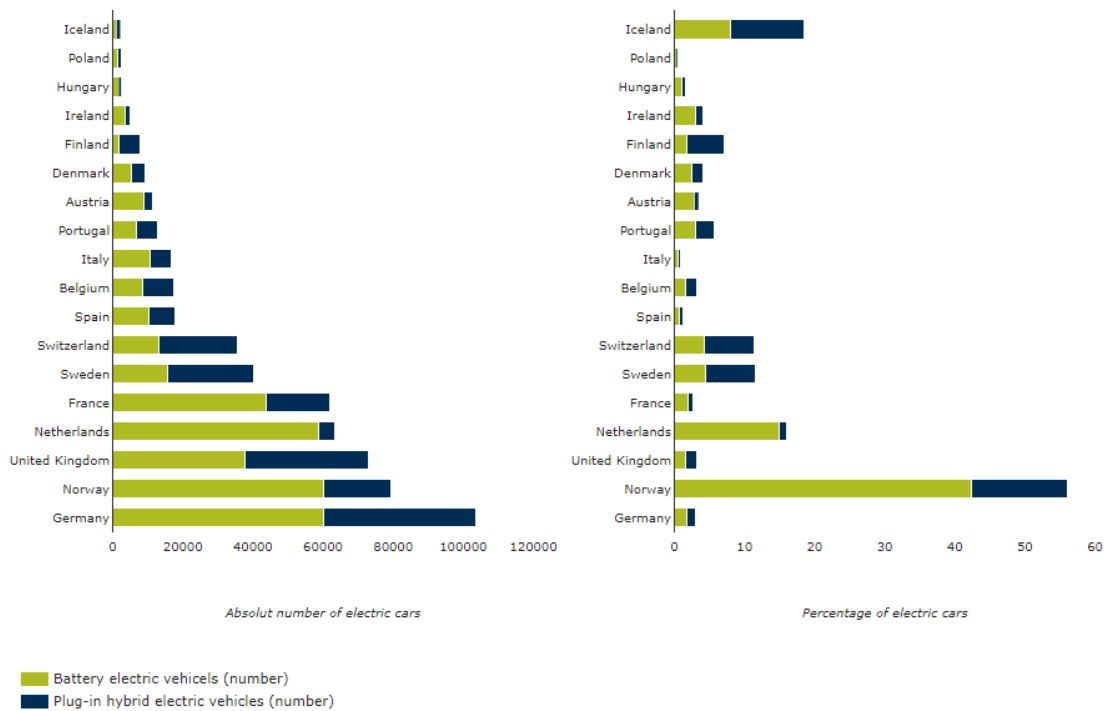
2.2.3 Dotace, subvence a granty

Finanční podpora, přesněji řečeno cizí zdroje financování těch subjektů, kteří svojí činností přispívají k dotovanému záměru, je další možností řešení externalit. V případě přidělení financí subjektům, kteří mají blízko k elektromobilitě, dokonce tuto dotaci

chápeme jako prostředek k zamezení vzniku externalit jinak způsobených auty se spalovacími motory (Knápek, 2000).

Velkým tématem je hlavně dotace na nákup elektromobilů, kdy záměrem je snížit cenu tak, aby cenově konkurovaly benzínovým, či naftovým automobilům. Bohužel, v České

Graf 5: Nově registrovaná elektrická vozidla podle států za rok 2020



Zdroj: European Environment Agency (2021), online

republice se tyto dotace týkají pouze veřejné správy a podle Ministerstva životního prostředí se zatím neplánuje uvolnění finanční podpory i soukromým subjektům. V jiných zemích Evropy jsou však dotace i soukromým osobám běžné (v Norsku už od roku 1990) a to ve výsledku reflektuje i množství prodaných elektromobilů (Mokříš, 2021). Jak můžeme z údajů grafu 6 vidět, procentuální počet nově registrovaných BEV a PHEV vozidel vzhledem k celkovému počtu nově registrovaných aut, je v Norsku daleko větší než v jiných zemích. Slibně se vyvíjí i Nizozemsko nebo Island. V Německu se sice v absolutních číslech registruje nejvíce elektrických vozidel, avšak z celkového počtu je to méně než 5 %.

2.2.4 Úprava a budování dopravních sítí

- *Protihlukové stěny* lemující intenzivně vytižené silniční sítě v okolí obydlí představují způsob vypořádání se s nepříjemným hlukem a vibracemi. Protihlukové stěny mají podobu nejčastěji dlouhé zdi vyrobené ze skla, betonu, nebo dřeva. Podle jejich účinnosti je rozdělujeme na odrazné, absorpční a vysoko absorpční (Hotový, 2014). Protihlukové stěny bývají často vnímány negativně i přestože se při jejich výstavbě maximálně zohledňuje jejich šetrné začlenění do krajiny.

Jako další způsob zabraňování hluku se nabízí zemní valy osazené vegetací také známé jako zelené protihlukové hradby.

- *Silniční obchvaty* jsou další z možností, jak řešit intenzitu hluku a vibrací automobilové dopravy ve velkých městech či aglomeracích. Nadto přesměrování dopravy mimo město může mít za následek snížení množství škodlivých látek v centrech často představujícím tzv. horké skvrny, nebo snížení pravděpodobnosti vzniku kongesce. Je však potřeba si uvědomit, že výstavbou silničních obchvatů negativně fragmentujeme krajinu a způsobujeme tak další externalitu bez pochyby související s dopravou.
- *Ekodukty*, neboli mosty, či podchody pro zvěř, představují řešení fragmentace krajiny způsobené výstavbou silniční sítě, která ve výsledku omezuje na životě a životním prostoru živočichy nehledě na skutečnost, že srážka řidiče automobilu jedoucí vysokou rychlostí se zvířetem může skončit tragicky pro oba subjekty. V České republice k červnu 2021 evidujeme na dálnicích 26 ekoduktů a další 4 jsou ve výstavbě (ŘSD ČR, 2021).

2.2.5 Další řešení externalit

Veřejná silniční doprava napadne jako řešení externalit snad každého, kdo se zamyslí nad možnostmi odstranění kongescí, snížení emisí, a přitom zachování si mobility. Vzhledem k struktuře vozového parku dopravců je samozřejmé, že i veřejná doprava emituje (Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.) škodlivé látky a skleníkové plyny do ovzduší. Nicméně pokud autobus převeze 30 lidí na nějaké místo, vyprodukuje poměrově méně emisí, je zde menší pravděpodobnost vzniku dopravní nehody, a koncentrovaný hluk bude nižší, než kdyby se těchto 30 lidí přepravovalo individuálně na stejné místo (Mrzena, 2010). K této silné stránce veřejné dopravy musíme přičíst i fakt, že se stále více a více investuje do autobusů jezdících na alternativní paliva (CNG, LPG) a elektřinu (trolejbusy), a zároveň se zkoumají možnosti v oblasti pohonu na vodík.

Optimalizace pohonných hmot je technologický nástroj řešení externalit. Pod tímto označením máme namysli zbavení olovnaté složky v palivech pro spalovací motory. Příměs olova (tetraethylolova) se přidávala od roku 1921 za účelem zabraňování samovolnému vznícení paliva. Nevýhodou však bylo uvolňování olova do vzduchu, kde společně s dalšími pevnými částicemi tvořili externí náklady domácnostem hlavně z pohledu výdajů na zdravotnictví, neboť olovo je jedovatý kov. Česká republika přestala distribuovat palivo s olověnou složkou jen o rok později než Čína, a to v roce 2001 (Dohnal, 2021).

2.2.6 Auta na elektrický pohon

Elektrický pohon vozidel je jednou z možností řešení externalit, neboť prakticky neprodukuje žádné škodlivé emise, má nízkou hladinu hluku, příznivou výkonovou charakteristiku, avšak menší jízdní výkon, omezený dojezd, vyšší cenu a případně větší

nebezpečí při havárii vyvolává skeptičnost u mnoha lidí (Kameš, 2004). Samozřejmě nesmíme zapomenout, že během životního cyklu elektromobilů se přeci jen nějaké emise vyskytují například z výroby, dobíjení, či likvidace. Ale už i na toto myslí automobilky, konkrétně třeba Mercedes-Benz, jenž vyrábí třídu S a EQS v Továrně 56, která nezanechává žádnou uhlíkovou stopu (Havlina, 2020).

V návaznosti na předchozí výklad, lze za určitých předpokladů elektromobilitu vnímat i jako řešení kongesce. Pravděpodobně v nejbližších letech budou elektromobily velmi drahé a běžní lidé si je nebudou moci tolik dovolit, jako v současnosti levná stará vozidla na konvenční pohon. Logicky by pak mohl klesnout počet aut na silnicích, a tedy by se minimalizoval vznik kongescí.

Jako další externality automobilové dopravy a průmyslu jsme zmínili i hluk a vibrace, a právě i těchto externalit by mohlo být méně s rozvojem elektromobility. Elektrický motor totiž nevydává hlasité zvuky ani vibrace do okolí na rozdíl od běžných spalovacích motorů.

Více o tématu elektromobility jako řešení externalit se zabývá praktická část této práce, nicméně v následující kapitole si přiblížíme a ujasníme některé pojmy s elektromobilitou spojené.

3 Elektromobilita

Téma elektromobility nabývá v automobilovém průmyslu stále většího a většího významu, kdy automobilky jsou tlačeny k snižování emisí nejen z výroby, ale především z aut samotných. I přestože o elektromobilitě slyšíme dnes a denně ve zprávách, zatímco před patnácti lety se mluvilo maximálně o Toyotě Prius, samotná elektromobilita má hlubší historický základ než auta se spalovacími motory. Kameš (2015) rozděluje historii elektrického pohonu vozidel na 3 fáze (doplňeno o (Serra, 2012) a (Rand et. al., 2013)):

1. Fáze: První zmínka o elektromobilech se datují do roku 1835, kdy na základě prvního vyrobeného vozidla Roberta Andersona vznikají další konkurenční elektromobily, jejichž elektromotor byl poháněn energií z baterií bez možnosti dobíjení. O pár desítek let později, 26. března 1860, Francouz Gaston Planté představuje elektromobil s olověnými bateriemi, jež bylo možné dobíjet. Elektromobilový "boom" pokračoval i v následujících letech. V roce 1884 začala produkce taxíků a doručovacích vozidel Electrobat a v roce 1899 byla založena společnost Baker Electric zaměřující se pouze na výrobu bateriových elektrických vozidel (BEV).auta poháněná elektromotorem se postupně probíjela do každého sektoru dopravy a služeb až do roku 1908, kdy Henry Ford představil legendární Ford model T a odstartoval tak jinou cestu pohonu automobilů využívající motor s vnitřním spalováním (ICEV).

2. Fáze: Jisté rozšíření elektrických vozidel je možno datovat se vznikem velkých strojírenských závodů (ČKD, Tatra, Škoda) v podobě velkých pojízdných plošin nebo jiných dopravních pracovních vozidel.

3. *Fáze*: Nedostatek ropy a problém s emisemi spalovacích motorů startuje třetí fázi historického vývoje elektromobilů. Koncem minulého století začínají automobilky investovat do výzkumu technologie, která by nahradila auta na konvenční pohon. Přes počáteční nástup hybridních vozidel jako jistý kompromis se v současnosti automobilové společnosti zaměřují na představení portfolia vozidel na čistě elektrický pohon. Pokud vezmeme v potaz skutečnost, že dojez elektromobilů na jedno nabití neustále roste a zároveň klesá jejich cena na trhu, lze si domyslet, jaký osud může v budoucnosti potkat vozidla se spalovacími motory.

V současné době existuje na trhu mnoho typů elektrických vozidel. Mezi nejoblíbenější patří bateriové elektromobily (BEV) a plug-in hybrid vozidlo (PHEV). BEV je plně elektrické vozidlo, ve kterém se nenachází žádný typ spalovacího motoru a elektromotor je zodpovědný za pohon vozidla a napájení palubních systému. PHEV je vozidlo založeno na motoru s vnitřním spalováním, který je doplňován elektromotorem, jemuž dodává energii externě nabíjená baterie. Těmito dvěma kategoriemi elektrických vozidel se budeme zabývat v rámci zkoumání externalit z elektromobility v praktické části této práce.

3.1 Elektromotor

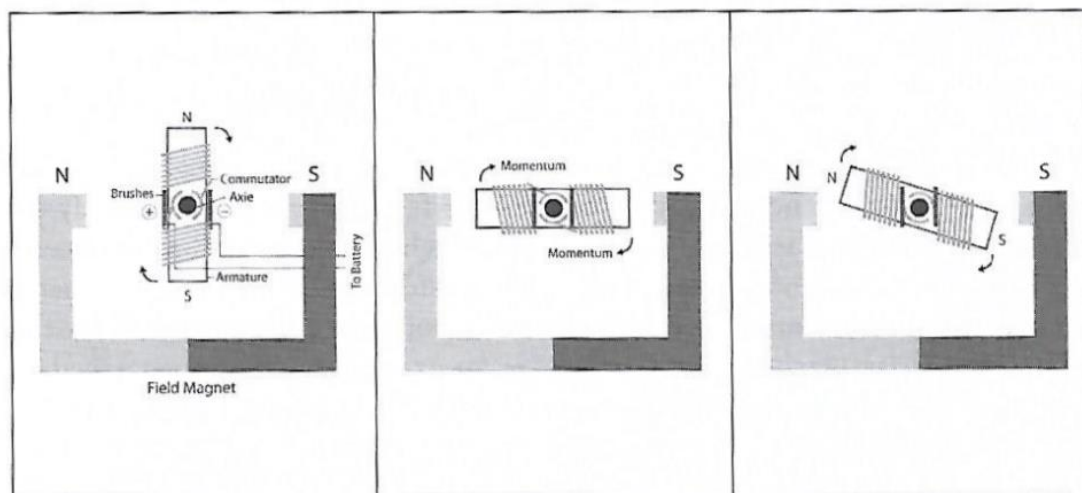
Elektromobily jsou poháněny elektromotorem. Zásadně je možno ve stavbě elektromotorů použít celé řady principů činnosti, využitelných pro trakční pohony, kde ve výsledku je důležitější hodnota momentu než hodnota výkonu. Samozřejmostí je, že konstrukce musí být spolehlivá a ve velkém rozsahu otáček musí být k dispozici dostatečný výkon (Kameš, 2004). V porovnání se spalovacími motory fungujícími zjednodušeně na komplexní bázi rychle se pohybujících komponent, elektromotor disponuje větší účinností, špičkovým výkonem, a především šetrností k životnímu prostředí, a to díky interakci mezi elektromotorem (EM), elektronickými řídicími jednotkami (ECU) a velmi zjednodušenému převodovému ústrojí (Serra, 2012).

Hlavní operační princip elektromotoru je vyobrazen na obrázku 6– elektrický proud proudící drátem zamotaným do cívky vytváří díky elektromagnetickému poli elektromagnet. Jestliže takto vzniklý elektromagnet rotuje v okolí jiného, pevně umístěného magnetu, vytváří¹⁶ kinetickou energii, jež udává elektromobil do pohybu. Za rozvoj elektromobilů od konce 20. století mohou ECU jednotky, které řídí množství energie dodané a spotřebované elektromotorem, a dále mění hodnotu napětí a frekvence, což zajišťuje správnou reakci automobilu na řidičovy příkazy (jak moc řidič šlápne na plyn).

¹⁶ Princip rotoru (elektromotoru) a statoru (pevně umístěný magnet).

Jako první se využíval zejména kartáčový elektromotor¹⁷. Později se s vývinem ECU pře-

Obrázek 1: Schéma kartáčového elektromotoru



Zdroj: Serra (2012), str. 62

šlo na jiné elektromotory, avšak aby mohli být použity do elektromobilů, musí splňovat požadavky (Serra, 2012):

- Výkon kolem 100kW
- Točivý moment kolem 200Nm
- Spojení s kvalitním brzdovým systémem rekuperující kinetickou energii zpět na energii elektrickou
- Životnost alespoň 10 let.

Právě výše zmíněným požadavkům v současnosti nejvíce vyhovují následující střídavé elektromotory (Serra, 2012):

1. *Asynchronní motor* – výhodou těchto motorů je nízká cena a vysoká spolehlivost. Nicméně výkonné jsou jen při nízké zátěži a mají velký tepelný výstup což vyžaduje také velké množství energie na jeho chlazení
2. *Řízený reluktanční motor* – rovněž levné a spolehlivé elektromotory mající vyšší výkon než asynchronní motory, avšak stále čelí potížím v oblasti řízení výkonu.
3. *Stejnoseměrný motor bez kartáčů*¹⁸ – poskytuje nejvyšší hodnotu účinnosti v porovnání s jinými elektromotory. Jeho hlavní výhodou je mimo jiné obyčejný rotující magnet, který produkuje vysokou hustotu magnetického toku, aniž by vyžadoval vysoké množství energie. Magnet motory jsou komplexní a drahé jednotky, neboť magnety se vyrábí z velmi vzácných materiálů, a dále tyto motory disponují jen úzkým rozmezím výkonu.

Závěrem této kapitoly se podíváme na jedinečný aspekt, který svojí podstatou elektromotor nabízí řidičům, a sice akceleraci. Elektromobil dokáže nabídnout maximální

¹⁷ Nebo také "stejnoseměrný motor s cizím buzením".

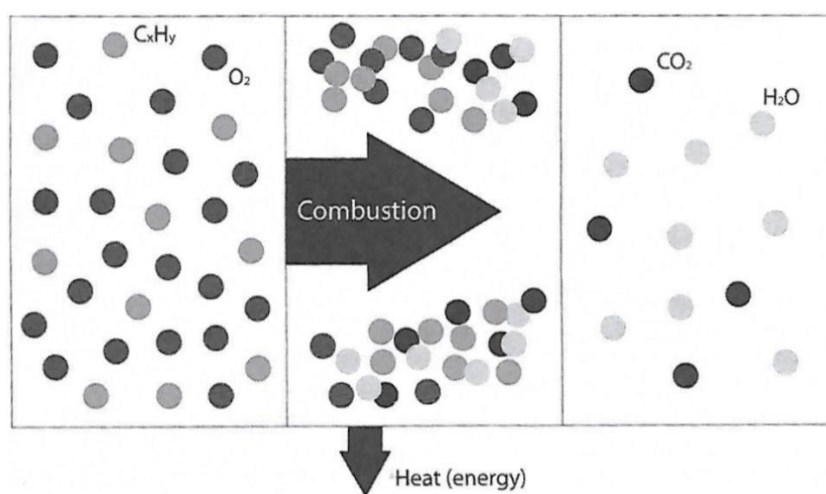
¹⁸ Z angl. permanent magnet motors. K dokonalosti je tento motor doveden firmou Magnet-Motors (Kameš, 2004)

točivý moment okamžitě po sešlápnutí akceleračního pedálu, zatímco vozidla se spalovacím motorem musí tyto otáčky budovat postupně skrze různé převodové stupně. Nadto elektromobil dokáže udržovat stálé otáčky i ve vysokých rychlostech a nabídnout tak plynulejší jízdu (Serra, 2012).

3.1.1 Motory s vnitřním spalováním

Z kapitoly o automobilech fungující na principu motoru s vnitřním spalováním (ICEV) se budeme věnovat pouze té části, kdy motor dává vznik kinetické energie a zároveň automobil emituje škodlivé látky do ovzduší skrze výfukový systém.

Obrázek 2: Spalovací proces



Zdroj: Serra (2012), str. 57

Základní princip fungování vznětového, zážehového, či jakéhokoliv jiného spalovacího motoru spočívá v přeměňování chemicky uložené energie spalováním příslušné palivové směsi na tepelnou energii, která působí na motorové písty a udává tak vozidlo do pohybu. Palivová směs je složena z různých uhlovodíků jejichž vazby se během spalovacího procesu rozdělují, reagují se vzduchem, formují nové substance (CO_2 , NO_x , H_2O) a uvolňují tepelnou energii. Cíl každého spalovacího motoru je uvolnit více kinetické energie díky rozkladu uhlovodíkových vazeb a jejich reakce se vzduchem, než je spotřebováno na produkci jiných substancí (CO_2 , NO_x), které jsou vypouštěny do výfukového systému. V každém případě však vždy vznikají tyto "odpadní" látky, které následně končí v atmosféře a způsobují externí náklady (Serra, 2012).

Ze zjednodušeně popsaných procesů výroby kinetické energie elektromotorem, nebo motorem s vnitřním spalováním, jež udává elektromobil, respektive automobil do pohybu je zjevné, že během práce elektromotoru nevznikají žádné jiné substance. Jakýkoliv elektromotor tak v podstatě z elektromobilu dělá ZEV, tedy bezemisní vozidlo. Stále však nemůžeme hovořit o absolutní bezemisnosti elektromobilů, neboť stále musíme uvažovat všudypřítomné pevné částice z opotřebování pneumatik, vozovky

a jiných prvků nesouvisejících s vytvářením kinetické energie. V další kapitole se podíváme, jak vzniká a kam se ukládá spotřebovávaná elektrická energie.

3.2 Galvanické elementy a nabíjení elektrických vozidel

Galvanickým elementem se rozumí baterie, akumulátory a jiné palivové články mající schopnost přímo přeměnit elektrickou energii na energii elektrickou. Baterie a akumulátory mají podle funkce následující principy: dvě elektrody z různých materiálů ponořené do kapaliny nebo pevné látky (elektrolytu), obsahující pohyblivé elektricky nabitě částičky. To umožňuje uvnitř článku vodivé spojení mezi oběma elektrodami. Elektrolyt je obvykle zředěná kyselina nebo zásada či rozpuštěná sůl (Kameš, 2004).

Jakékoliv vozidlo individuální automobilové dopravy je složeno z tisíce komponentů od karoserie, podvozku, sedaček, zrcátek a další, avšak to, díky čemuž automobil skutečně funguje, se dá rozdělit na pohon vozidla (VP) a systém uchovávání a poskytování energie (ES). U aut se spalovacím motorem se jedná o motor a nádrž na palivo. Naopak u elektromobilů je pohonem vozidla elektromotor, jemuž se energie dostává z baterií. Právě na vlastnosti baterií u elektromobilů a řešení jejich nabíjení se podíváme blíže v této kapitole.

3.2.1 Druhy baterií

Na začátek je důležité si objasnit rozdíl mezi baterií a akumulátorem. Zjednodušeně akumulátorem rozumíme takový galvanický element, který lze znovu dobít (avšak ne donekonečna). Avšak pro akumulátory je částečně používáno i označení "baterie", neboť v odborné literatuře vozidlové techniky, a koneckonců i v terminologii výrobců elektromobilů, se setkáváme zejména s tímto označením zásobníku energie pro elektromotor (Kameš, 2004).

Při hodnocení kvality, přesněji řečeno použitelnosti baterie u elektrovozidel se sledují dvě jednotky, a sice měrný výkon (W/kg) a měrná kapacita (Wh/kg). Požadavky na akumulátor se pak liší podle způsobu užívání elektromobilu, ale minimálně pro rozvoz zboží je požadovaný dojezd 100 až 200 km a rychlost zpravidla asi 90 km/h. Toto by zpravidla měly zajišťovat baterie:

- *Akumulátory olověné* – nejstarší akumulátory běžně používané v autě za účelem nastartování. U elektromobilů je jejich využití značně omezené už jenom pro jejich velmi vysokou hmotnost. Další nevýhodou je jejich nízká měrná energie (30-40 Wh/kg), životnost zhruba 4 roky nebo 300 cyklů nabíjení a dojezd kolem 25 000 km, přičemž reálný dojezd tohoto akumulátoru je 50 km na jedno nabití (Kameš, 2015).
- *Alkalické akumulátory* – souhrnné označení pro baterie nikl-kadmiové, či nikl-metalhydridové. Poslední jmenované prokazovali velký potenciál v elektromobilovém odvětví, neboť jejich měrný výkon je až 80 Wh/kg. Baterie nikl-metalhydrid jsou neškodné k prostředí, mají vyšší výkon i energetickou hustotu než

dříve jmenované baterie. Na druhou stranu však nemohou být tak často nabíjeny a vybity kvůli paměťovému efektu¹⁹. Dále pozorujeme problémy s relativně vysokou cenou a nákladnou recyklací na konci životnosti (Kameš, 2015).

- *Lithium-iontové baterie* – dosud nejpoužívanější typ akumulátorů v elektromobilech 21. století je akumulátor složený z lithia a niklu (případně kobaltu, nebo mědi). Jako anoda je využíván jemně mletý grafit a katoda nejčastěji ferofosfát lithia. Tyto akumulátory dnes disponují hustotou energie mezi 100-265 Wh/kg, hustotou výkonu až 420 W/kg, životností 5-10 let nebo 3000-5000 cyklů. Nevýhodou je samozřejmě vysoká cena a teplota (mezi 5 a 30 °C) ve které je kapacitně nejobjemnější, což znamená dodatečný výdej energie na chlazení při vyšších, či nižších, teplotách (hodnoty k roku 2021) (Kameš, 2015).
- *Lithium-polymerový akumulátor* – baterie do jejíž výzkumu a výroby automobilky v současnosti investují nejvíce peněz. Hlavním rozdílem oproti lithio-iontové baterii je pevný elektrolyt. I proto se tento akumulátor často označuje jako pevný akumulátor²⁰. U těchto baterií bychom snad kromě její nákladné výroby a, vzhledem k nové technologii, zatím těžko odhadovatelnému způsobu/dopadu recyklace, jen stěží hledali další nevýhody. Od lithio-polymerových akumulátorů se očekává až 2,5krát větší měrná kapacita (což znamená zmenšení baterie a odlehčení vozidla), rychlejší dobíjení a také větší bezpečnost nejen na silnicích, ale i ve výrobě, neboť vzhledem k pevné stavbě je baterie nehořlavá (Dragonfly Energy, 2021).

Jak můžeme vidět, baterie využívané v elektromobilovém průmyslu potkalo v průběhu let mnoho změn, stejně jako jejich dobíjecí infrastrukturu.

3.2.2 Dobíjecí stanice a síť

Pohledem zpět k historickému okénku na začátku této kapitoly se dostaneme k vůbec prvnímu řešení problému s vybitou baterií, tedy výměny. Nedostatečná technologie nabíjení baterií elektrických vozidel byl jeden z dalších důvodů, proč se raději přešlo na vozidla s konvenčním pohonem. Dnes si v jakékoliv zemi, téměř na každém rohu, koupíme benzín či naftu, abychom natankovali. Pro velký rozvoj elektromobility je proto potřeba napodobit tuto možnost, tedy zavádět co nejvíce dobíjecích bodů²¹ (Serra, 2012).

Dobíjení baterií elektrických vozidel je možné jak střídavým (AC), tak stejnosměrným proudem (DC), který se i v baterii uchovává. Z toho vyplývá, že dobíjení ze stanic disponujícími stejnosměrným proudem je mnohem rychlejší (pár desítek minut), než

¹⁹ Jedná se o zkrácení životnosti baterie, pokud je dobíjena dříve, než je zcela vybita.

²⁰ Z angl. solid-state battery.

²¹ Dobíjecí stanice může představovat jeden nebo více dobíjecích bodů = zařízení na které se auto může napojit.

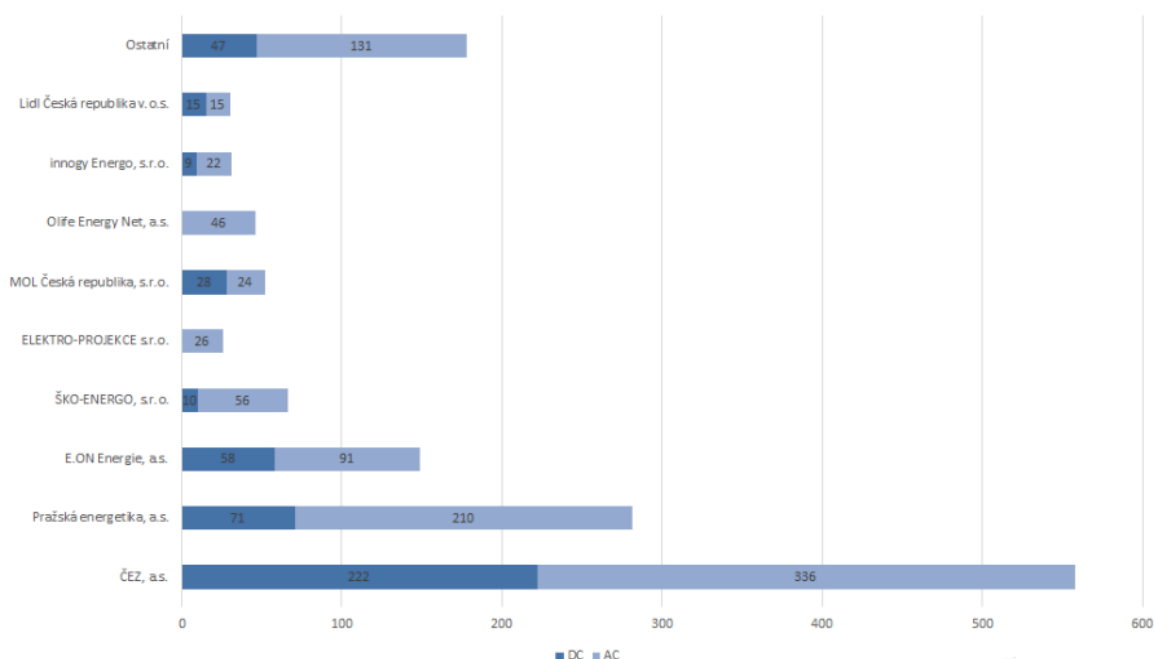
dobíjení vozidla z domácí zásuvky nebo běžných, zpravidla méně výkonných, dobíjecích stanic.

Jak již bylo zmíněno, dobíjet lze i z pohodlí domova z obyčejné 230 V zásuvky. Ovšem jedná se o nejméně pohodlnou variantu, kdy se standardně za jednu hodinu nabíjení zvýší dojezd jen o 14 km. Další možností je nabíjení z vícefázové 16 A zásuvky (55 km/hodinu nabíjení), kterou disponují moderní rodinné domy. Nejúčinnější domácí variantou jsou pak wallboxy, tedy domácí nástěnná dobíjecí stanice, jejíž výkon může být až 22kW, a která pohodlně dobije baterii přes noc na plný dojezd.

Stejnoseměrný proud poskytují tzv. rychlonabíječky s hodnotou výkonu od 50kW až do 350kW od společnosti IONITY. Nicméně je vždy potřeba brát ohled i na možnost elektromobilu, neboť výkon, kterým mohou nabíjet je omezený. Například Audi e-tron zvládá nabíjení maximálně do 150kW (Březinová, 2020). Největší výhodou rychlonabíjecích stanic je možnost dobití akumulátoru na 80% zhruba za 10-20 minut.

Síť dobíjecích stanic všude ve světě jen a jen roste. Nejvýkonnější a nejčastější jsou dobíjecí stanice od společnosti IONITY a Tesla. V České republice se setkáme v hojném počtu i mimo jiné s dobíjecími stanicemi přímo od hlavních tuzemských distributorů elektrické energie ČEZ, E.ON a Pražská energetika (PRE), jak ukazuje graf 7.

Graf 6: Počet AC/DC dobíjecích bodů v České republice dle provozovatele (30.6. 2021)



Zdroj: Centrum dopravního výzkumu (2021)

Rozšiřování množství dobíjecích bodů nese se sebou i jisté riziko, že energetická síť může být nestabilní a kolabovat. Proto před každým vznikem nových dobíjecích míst se pečlivě monitorují a zkoumají možnosti distribuce elektrické energie do dobíjecích stanic tak, aby to nenarušilo okolní subjekty od jejich dodávky energie. Jak co nejdříve a bez negativních dopadů lze rozšiřovat dobíjecí síť v České republice, řeší

pravidelně aktualizovaný Národní akční plán pro chytré sítě²² od Ministerstva průmyslu a obchodu.

3.3 Prognózy a budoucnost

Elektromobilita je beze sporu významným bodem v strategických plánech světových uskupení, či jednotlivých států směrem k ochraně životního prostředí. Již v roce 1992 OSN vydala rámcovou úmluvu o změně klimatu. Následovala Pařížská dohoda z roku 2015, kde každý signatář musel předložit plány na snížení emisí do roku 2050. Evropská unie jako jeden z největších znečišťovatelů a zástupce nejvyspělejších států předkládá nejambicióznější plány, a tak v roce 2019 představila tzv. European Green Deal, neboli soubor politických iniciativ Evropské komise, jejichž hlavním cílem je dosáhnout klimaticky neutrální Evropy do roku 2050. Z pohledu dopravy to představuje zejména internalizaci externích nákladů dopravy, což zajistí, že subjekt používající dopravní prostředky bude nést plnou zodpovědnost a tíhu veškerých externích nákladů, nikoliv společnost za něj. Těmito externality jsou myšleny hlavně skleníkové plyny, pevné částice, hluk, nehody a kongesce (European Commission, 2019).

Je jasné, že k naplnění cílů Green Dealu výrazně napomůže čistá mobilita. V České republice se strategií čisté mobility zabývá Národní akční plán čisté mobility (NAP CM), zpracováváný Ministerstvem životního prostředí. Poslední aktualizace z roku 2019 se na dvanácti stránkách věnuje ryze elektromobilitě v silniční dopravě, kdy v tomto případě je předpoklad úzká spolupráce s již zmíněným Národním akčním plánem pro chytré sítě. NAP CM předpovídá rozvoj počtu osobních vozidel k roku 2030 (74 000 pro nízký scénář až 800 000 pro vysoký scénář), věnuje se rozvoji dobíjecích stanic, vozového parku veřejných dopravců, předpovídá nárůst prodeje elektromobilů v případě podpory fyzických osob a určuje klíčová opatření pro naplnění těchto cílů (Ministerstvo životního prostředí, 2019). Podklady pro rozvoj elektromobility tedy jistě existují, nicméně vozidlo jako takové je složeno z mnoha komponentů, hlavně baterií.

V současnosti brání většímu rozšíření elektromobilů zejména cena a neexistence efektivních baterií, které jsou z hlediska intenzity uložené energie velmi nedokonalé. Kameš (2015) uvádí, že vynález v oblasti nanotechnologií může být pro elektromobilitu klíčový. Proto se valná část vědy a výzkumu v dopravě věnujeme právě možnostem akumulátorů pro elektrická vozidla. Na Slovensku společnost InoBat Auto pracuje na vývoji lithium-polymerových baterií. Jejich nejnovější baterie disponuje dojezdem až do 600km, vydrží zhruba 1300-1350 cyklů a po 600 cyklech ztratí pouze 9% ze své původní kapacity (Šimovič, 2021). Jedním z největších hráčů v automobilovém průmyslu je i společnost Mercedes-Benz a její nejnovější plně elektrický model EQS nabídne maximální dojezd 770 km, přičemž v České republice bylo toto maximum, byť za

²² Národní akční plán pro chytré sítě 2019-2030 / Aktualizace NAP SG | Databáze strategií - portál pro strategické řízení (databaze-strategie.cz)

specifických podmínek, překonáno na 852,9 km (Hybrid.cz, 2021). Tyto čísla už jsou velice slibné už jen z toho důvodu, že podobný, dokonce často i menší dojezd nabídne běžné vozidlo s plnou nádrží paliva ropného původu. Vývoj baterií je tak jistě na dobré cestě.

Rozvoj trhu s elektromobily pozitivně přispívá k snížení poptávky po ropě, tedy neobnovitelném zdroji energie, jehož předpovídaná vyčerpatelnost a zároveň geograficky omezená těžba měla za následek již mnoho světových ropných krizí. O to více však stoupá poptávka po elektrické energii. Do dobíjecích stanic putuje elektřina z domácích nebo zahraničních výrobců, avšak v otázce čisté mobility je potřeba se detailněji podívat na složení energetického mixu dané země, neboť čistá mobilita nepočítá jen s nulovými emisemi vozidla samotného (všechny BEV mají emise CO₂ v kombinovaném provozu 0 g/km), ale s nulovými emisemi související i s dobíjením elektromobilů (stejně jako s jejich výrobou a likvidací). Vše pak závisí na tom, ze které složky se energie získává. Pro výrobu elektrické energie tak bývají nejlepší obnovitelné zdroje (vítr, voda, sluneční záření, geotermální teplo) a jádro, jejichž zpracováním a získáváním se neemitují žádné skleníkové plyny či jiné škodlivé látky do atmosféry a povrchu země. Hůře je pak na tom zemní plyn, ropa, a především hnědé a černé uhlí s jejichž použitím na výrobu elektrické energie je spojeno mnoho environmentálních, ekonomických a sociálních problémů. V praktické části této práce bude energetický mix státu důležitým faktorem pro jeho výběr k analýze, neboť rozdíly v poměru fosilních a obnovitelných zdrojů energetického sektoru může mít zásadní vliv na konečnou hodnotu externích nákladů plynoucí z elektromobility.

Tímto jsme zakončili literární rešerši a shrnuli tak vše podstatné, co budeme potřebovat pro praktickou část této práce.

PRAKTICKÁ ČÁST

4 Metodologie

V praktické části práce budeme řešit a zkoumat množství externalit vyprodukované vozidly v závislosti na typu jejich pohonu. Z teoretické části již známe mnoho typů externalit, které individuální automobilová doprava vyprodukuje, nicméně v této práci se budeme zabývat pouze externalitami souvisejícími se znečištěním ovzduší, neboť v této kategorii jsou rozdíly nejlépe měřitelné a dobře rozeznatelné. Otázkou vlivu elektromobility na znečištění ovzduší se zabývalo mnoho prací, konkrétně do roku 2015 jich bylo i pro naši práci relevantních 44, a další samozřejmě následovaly (Roosen et. al., 2015a). Údaje o externalitách z těchto výzkumů použijeme pro komparaci s údaji, které budeme analyzovat sami níže. Zjištěné výsledky a rozdíly nám pomohou při řešení stanovených hypotéz a dalších vědeckých otázkách.

V rámci metodologické kapitoly autor deklaruje, že:

- Pro praktickou část bakalářské práce jsou využita sekundární empirická data, jež vstupují do výpočtů. Tyto data pocházejí z nezávislých zdrojů, a tudíž nejsou jakkoliv politicky zaměřená pro, či proti tématu elektromobility. Hodnoty, které mohou být zkresleny inflací nebo hospodářským růstem jsou o tyto prvky očištěny. Veškeré vstupy jsou znázorněny v tabulkách s citovaným zdrojem.
- Z časového hlediska se výzkum opírá o data pro rok 2016 a rok 2020. Územní vyčlenění je vybráno autorem na základě aktuálnosti a získaných poznatků z teoretické části. Jedná se o čtyři svrchované státy a jednu politicko-ekonomickou unii, jmenovitě: Evropská unie, Česká republika, Polsko, Francie a Švédsko.
- Hlavním výzkumným prvkem jsou externality vznikající v automobilovém průmyslu individuální automobilovou dopravou. Přesněji řečeno se jedná o porovnání výstupních dat čtyřech rozdílných objektů: bateriová elektrická vozidla (BEV), plug-in hybridní vozidla (PHEV), vozidla s benzínovým motorem (ICEV_b), vozidla s dieselovým motorem (ICEV_d).
- Rozsah měření je stanoven na základě průměrného počtu ujetých kilometrů na daný pohon za jeden kalendářní rok a dále množství vyrobené elektrické energie za jeden kalendářní rok. Průměrný počet ujetých kilometrů vozidla je stanoven na 15 000.
- Na základě výše uvedeného bylo stanoveno, že metodologie práce je založena na komparaci výsledků hodnot čtyř variant vozidel, zjištěných za pomoci matematických vzorců, které jsou uvedeny v další části bakalářské práce. Při komparaci se používají jednak ukazatele rozdílu (absolutní rozdíl mezi hodnotou například plug-in hybridu a hodnotou naměřenou u vozidla s benzínovým motorem) a dále ukazatele podílu, tedy relativní rozdíl aplikovatelný při komparaci dvou sledovaných období.

Cílem bakalářské práce je předložit dokument sumarizující vývoj, přínosy a problematická místa elektromobility.

Na základě studia odborné literatury, sekundárních dat a metody výpočtu je výzkumným cílem určit hodnotu externalit vyprodukovanou elektromobily a automobily se spalovacím motorem v rámci individuální automobilové dopravy, a to na základě určeného indexu, který pokrývá nejen provoz ale i výrobu, zpracování a distribuci pohonných hmot a elektrické energie.

Přínosem práce je dle zadání zhodnocení elektromobility pohledem investora, tedy jestli se vyplatí z pohledu externích nákladů investovat do rozvoje elektromobility a zároveň, zdali jsou legislativní opatření environmentálního zaměření účinná.

V návaznosti na vytyčený cíl práce jsou stanoveny tři hypotézy, které se autor snaží na základě vlastních výsledků výzkumu společně s nabytými poznatky, vycházejícími z odborné literatury, vyvrátit či potvrdit.

- Hypotéza 1: Elektromobilita vykazuje vyšší externality ze znečištění ovzduší než automobily se spalovacími motory.
- Hypotéza 2: Kvůli energetickému mixu zemí Evropské unie elektromobilita neřeší externality ze znečištění ovzduší.
- Hypotéza 3: Investice automobilového průmyslu do vývoje elektromobility společně s přechodem k čisté energii nepřináší snížení externalit ze znečištění ovzduší.

V neposlední řadě je potřeba uvést i limity výzkumu této bakalářské práce. Mezi výrazné limitující faktory lze zařadit nekomfortní vyhledávání adekvátních vstupů, kdy se za důkladné a přesné hodnoty od specializovaných projektů platí v řádech stovek euro. Rovněž se za limitující považuje omezený rozsah práce, který nepokrývá kompletní životní cyklus zkoumaných objektů.

4.1 Well-to-Wheel index

Metody evaluace externalit v automobilovém průmyslu lze rozdělit do čtyř kategorií: Posuzování životního cyklu (LCA), well-to-wheel index (WTW), analýza nákladů a přínosů (CBA) a celkové náklady vlastnictví (TCO), přičemž podle Roosen et. al. (2015) je pro samotné porovnávání externích nákladů nejlepší použití well-to-wheel indexu.

Metoda well-to-wheel se od LCA přístupu liší zejména tím, že nezohledňuje energii a emise spojené s výstavbou zařízení a vozidel, ani aspekty ukončení životnosti vozidla, což pro naši práci měření externalit ze znečišťování ovzduší bude i tak dostačující, neboť emise při montáži a recyklaci vozidla představují pouze 20% celkových emisí během životního cyklu automobilu. Pokud bychom těchto 20% chtěli zahrnout do analýzy, museli bychom použít LCA přístup, a i tak by to byla zdoluhavá práce s ohledem na fakt, že výroba a recyklace se liší stát od státu a od legislativních až po geografických podmínek země (Roosen et. al., 2015a).

Well-to-wheel index se skládá ze dvou podindexů a sice well-to-tank²³ (WTT) a tank-to-wheel²⁴ (TTW). První část vyčísluje emise spojené s výrobou, produkcí a distribucí paliva nebo elektřiny k místu, odkud uživatel palivo čerpá. Druhá část jsou emise spjaté pouze s provozem vozidla (Torchio, 2010). Zjednodušeně tak well-to-wheel hodnoty pro ICEV vozidla zjistíme z rovnice (1) (Wu, 2017):

$$WTW_b \left[\frac{g}{l} \right] = WTT_b \left[\frac{g}{l} \right] + TTW_b \left[\frac{g}{l} \right] \quad (1)$$

tedy hmotnost emisí na litr paliva emitované vozidly tankující benzín, pro vozy na diesel použijeme index d . Ovšem pro vozy na plně či částečně elektrický pohon mají podindexy poněkud upravenou strukturu (2) (Wu, 2017):

$$WTW_e \left[\frac{g}{kWh} \right] = WTT_e \left[\frac{g}{kWh} \right] + TTW_e \left[\frac{g}{kWh} \right] \quad (2)$$

kde WTT_e představuje množství emisí spojené s výrobou elektrické energie a TTW_e se vypočte v rovnici (3) (Wu, 2017) jako:

$$TTW_e \left[\frac{g}{kWh} \right] = \frac{WTT_e \left[\frac{g}{kWh} \right]}{(1 - LLR) \times LLR} + NEE \quad (3)$$

kde LLR ²⁵ vyjadřuje poměr energie ztracené na přenosových vedeních v porovnání s celkovým množstvím dodané elektřiny, a NEE ²⁶ značí emise nepocházející z výfukových plynů, tedy v případě elektrovozidla se jedná zejména o pevné částice PM_{10} a $PM_{2,5}$ vznikající třením brzd, opotřebením pneumatiky a opotřebením vozovky.

Dále je potřeba uvést, kolik litrů paliva či kolik kilowatthodin energie vozidlo spotřebuje za určitou ujetou vzdálenost. Pro čtyři druhy zkoumaných vozidel tak dostáváme nemonetární vyjádření externalit ve čtyřech různých rovnicích (4), (5), (6) a (7) (Wu, 2017):

$$WTW_{benzin} \left[\frac{g}{km} \right] = WTW_b \left[\frac{g}{l} \right] \times SP_{benzin} \left[\frac{l}{km} \right] \quad (4)$$

$$WTW_{diesel} \left[\frac{g}{km} \right] = WTW_d \left[\frac{g}{l} \right] \times SP_{diesel} \left[\frac{l}{km} \right] \quad (5)$$

²³ Volný překlad jako: *Od zdroje k pumpě/dobíjecímu bodu*

²⁴ Volný překlad jako: *Od pumpy/dobíjecího bodu k provozu*

²⁵ Z angl. Line-loss rate

²⁶ Z angl. Non-exhaust emissions

$$WTW_{BEV} \left[\frac{g}{km} \right] = WTW_e \left[\frac{g}{kWh} \right] \times SE_{BEV} \left[\frac{kWh}{km} \right] \quad (6)$$

$$WTW_{PHEV} \left[\frac{g}{km} \right] = WTW_r \left[\frac{g}{l} \right] \times SP_r \left[\frac{l}{km} \right] + WTW_e \left[\frac{g}{kWh} \right] \times SE_{PHEV} \left[\frac{kWh}{km} \right] \quad (7)$$

kde SP značí *průměrnou spotřebu paliva* a SE znamená *průměrná spotřeba energie*. Pro hybridní vozidla (7) je zvolen index r znamenající *ropný produkt*. U hybridních vozidel si toto nekonkrétní označení paliva můžeme dovolit, neboť budeme počítat, že vozidlo pojede na benzín či diesel jen určitý zlomek celkově ujetých kilometrů²⁷. Rovnicemi (4) až (7) vypočteme hmotnost emitovaných emisí vždy pro jeden polutant (například pro CO_2 , SO_2 , NO_2 apod.).

V rámci smyslu a cíle práce je potřeba tyto externality převést a vyjádřit v ekonomické hodnotě. Cenu externalit získáme díky příručce o externích nákladech z dopravy vydávané Evropskou komisí (European Commission, 2020). Díky monetárnímu vyjádření každého polutantu můžeme zjistit přesnou hodnotu celkových externalit každého vozidla skrze následující rovnici (8) (Torchio, 2010):

$$WTW_{p,€} \left[\frac{€}{km} \right] = WTW_{p,vozidlo} \left[\frac{g}{km} \right] \times c_p \left[\frac{€}{g} \right] \quad (8)$$

kde c představuje cenu, p znamená *polutant*, a za index *vozidlo* lze dosadit *benzín*, *diesel*, *BEV* a *PHEV*. Po vypočtení hodnot pro jednotlivé vozidlo je možné vypočítat celkové externality prostřednictvím (9) (Torchio, 2010):

$$WTW_{Ex,vozidlo} = \sum_{p=1}^{NP} WTW_{p,€} \left[\frac{€}{km} \right] \quad (9)$$

kde NP znamená celkový počet polutantů, které bereme v úvahu, respektive je zkoumáme. Takto vypočtené externality jsou hlavním výzkumným prvkem této praktické části a vstupují do komparací a další analýzy. V následující kapitole si představíme vstupní data potřebná pro výpočet z rovnic (1) - (9).

²⁷ Nemyslíme tím delší vzdálenosti, ale obecně ujetou vzdálenost za rok na elektrický pohon. Při současné technologii a řešení pohonu hybridních vozidel by tento poměr nemohl být aplikován na delší, jednorázové vzdálenosti.

5 Vývoj externalit EV a ICEV vozidel

Jak již bylo představeno v metodologické části výše, externí náklady budeme v této práci analyzovat pro omezenou oblast a jen pro čtyři druhy pohonů vozidel individuální automobilové dopravy.

Abychom získali lepší představu o posunu a impaktu technologických změn v automobilovém a energetickém průmyslu, budeme údaje sledovat za rok 2016 a za rok 2020²⁸.

Výpočet externalit budeme provádět pro pět oblastí, které autor vybral na základě osobních preferencí (EU, Česká republika) nebo rozdílné struktury energetického sektoru (Francie, Švédsko, Polsko). Poměrové zastoupení zdrojů vstupující do energetiky vybrané a analyzované oblasti zachycuje tabulka 4:

Tabulka 4: Procentuální poměr zdroje elektrické energie na celkové výrobě v roce 2020

Oblast	Fosilní palivo (%)	Jádro (%)	Obnovitelné zdroje (%)
EU	37	25	38
ČR	51	37	12
Polsko	83	0	17
Francie	9	67	23
Švédsko	2	30	68

Zdroj: Agora Energiewende (2020), vlastní úprava

Evropská unie bude pro analýzu zajímavá nejen z hlediska relativně rovnoměrného zastoupení obnovitelných a neobnovitelných zdrojů, ale i protože její orgány mají zásluhu na regulaci emisí z energetiky a dopravy. Zástupci jako je Polsko, Francie a Švédsko byli vybráni na základě výrazné dominance konkrétního zdroje energie oproti ostatním zemím. Nutno zdůraznit, že se jedná o státy, které jsou součástí Evropské unie, jinak bychom z hlediska obnovitelných zdrojů uvažovali spíše o Norsku, jakožto kolébce elektromobility.

Do analýzy vstupují rovněž zástupci čtyřech různých pohonů: elektrický, plug-in hybridní, pohon za pomoci zážehového spalovacího motoru a vznětového motoru. Zatímco vozidla s vnitřním spalováním budeme označovat ICEV_b a ICEV_d a rovněž je budeme dávat i do stejné kategorie, za elektromobil (EV) budeme považovat nejen vozidlo poháněné čistě elektrickou energií, ale i plug-in hybridní vozidlo, jež se musí dobít z dobíjecích bodů a elektrický pohon v průměrném ročním nájezdu představuje velkou část celkově ujetých kilometrů.

V analýze budeme uvažovat průměrný roční nájezd vozidla o vzdálenosti 15 000 kilometrů na svůj pohon. U plug-in hybridu se bude jednat o průměrnou vzdálenost 3 000 kilometrů na palivo ropného původu a 12 000 kilometrů na elektrický pohon ročně,

²⁸ Poslední rok, pro který jsou data celistvá a získatelná.

vztaženo na zkoumaný rok 2020. Pro rok 2016 budeme uvažovat stejný nájezd 7 500 kilometrů za pomoci konvenčního motoru a 7 500km za pomoci elektromotoru. Tento rozdíl je způsoben vývojem baterií, kdy novější plug-in hybridní vozidla jsou schopné na jedno nabití ujet na elektrickou energii průměrně 80 km, zatímco v roce 2016 byla průměrná elektrifikovaná vzdálenost pouhých 30 km (Plötz, 2020).

Externí náklady v následující analýze představují přímé a nepřímé náklady ze znečištění ovzduší, které jsou vyjádřeny v enviromentálním, ale zejména pro nás důležitějším monetárním vyjádření. Znečišťující složky vstupující do analýzy jsou CO₂, SO₂, NO_x, PM_{2,5}, PM₁₀ a NMVOC (důkladně seznámeno v kapitole 2.1.1).

5.1 Hodnoty vstupující do výpočtu

Nyní přejdeme k samotným výpočtům externalit, a tedy jádru praktické části této práce. Do rovnic (1) - (9) je potřeba postupně vždy dosadit hodnoty do patřičných částí rovnice. Zatímco u well-to-tank indexu jsou hodnoty poměrně zřejmé a dobře získatelné, analýza tank-to-wheel indexu vyžaduje už přímý a přesný objekt vstupující svými hodnotami do podindexu, čímž máme na mysli konkrétní značku a model vozidla. Pro zjednodušení a zároveň pro objektivnost výpočtů definujeme tři kategorie vozidel (*malé, SUV a kompaktní*) do kterých dosadíme nejprodávanější zástupce této kategorie ve zkoumaném roce v Evropě. Samozřejmě každé vozidlo ať už z důvodu váhy, či odlišné motorizace vykazuje také odlišné hodnoty průměrné spotřeby paliva, emitovaných částic CO₂, NO_x, SO₂ a NMVOC. Proto tyto hodnoty pro 4 druhy sledovaných motorizací zprůměrujeme. Pro roky 2016 a 2020 dostáváme následující tabulku 5, respektive tabulku 6:

Tabulka 5: Vlastnosti nejprodávanějších vozidel ve vybraných kategoriích za rok 2016

2016	ICEV _b	ICEV _d	PHEV	BEV
<i>Malé</i>	Volkswagen Golf	Volkswagen Golf	Volkswagen Golf GTE	Volkswagen E-Golf
<i>SUV</i>	Nissan Qashqai	Nissan Qashqai	Mitshubishi Outlander	Mercedes-Benz B ED
<i>Kompaktní</i>	Škoda Octavia	Škoda Octavia	Mercedes-Benz C 350e	Tesla Model S
Kapacita baterie (kWh)	-	-	9	37,5
Průměrná spotřeba paliva (l/100 km)	6	4,8	2	-
Průměrná spotřeba energie (kWh/100km)	-	-	14,6	15,4
CO ₂ (g/km)	124,7	118,6	43,3	0
NO _x (mg/km)	27	52	4,6	0
SO ₂ (mg/km)	0,76	0,85	0	0
NM _{VOC} (mg/km)	50	68	0	0

Zdroj: Demandt (2016), fdrive.cz (2022), NextGreencar (2022), vlastní úprava

Tabulka 6: Vlastnosti nejprodávanějších vozidel ve vybraných kategoriích za rok 2020

2020	ICEV _b	ICEV _d	PHEV	BEV
<i>Malé</i>	Volkswagen Golf	Volkswagen Golf	Mercedes-Benz A250e	Renault Zoe
<i>SUV</i>	Volkswagen T-Roc	Volkswagen T-Roc	Mitshubishi Outlander	Volkswagen ID 4
<i>Kompaktní</i>	Škoda Octavia	Škoda Octavia	Volkswagen Passat GTE	Tesla Model 3
Kapacita baterie (kWh)	-	-	14,1	70
Průměrná spotřeba paliva (l/100 km)	5,6	4,2	1,7	-
Průměrná spotřeba energie (kWh/100km)	-	-	15,6	16,2
CO ₂ (g/km)	128,3	114,3	38	0
No _x (mg/km)	27	52	0	0
SO ₂ (mg/km)	0,76	0,85	0	0
NM _{VOC} (mg/km)	50	68	0	0

Zdroj: Demandt (2020), fdrive.cz (2022), NextGreencar (2022), vlastní úprava

Seznam nejprodávanějších modelů jsme zpracovali ze stránky carsalesbase.com (Demandt, 2016) (Demandt, 2020), jejich údaje o spotřebách a emitovaných škodlivin jsme získali analýzou ze stránek fdrive.cz (Fdrive.cz, 2022), respektive nextgreencar.com (NextGreencar, 2022). Důležité je upozornit na fakt, že v některých kategoriích v roce 2020 nejsou totožné modely jako v roce 2016, což je způsobeno jednoduše jinými preferencemi domácností, nové dominanci jiné automobilky na trhu, nebo

protože se daný model v dané kategorii již dále nevyrábí. Také není možné uhlídat parametry jako je hmotnost vozidla z důvodu technologického pokroku. Jiné hodnoty u kapacity baterie jsou zde zobrazeny pro představu o pokroku v oblasti baterií u elektromobilů, kdy větší kapacita baterie představuje vyšší celkový dojezd vozidla na jedno nabití. Tento fakt bude podstatný zejména u PHEV vozidel, kde zvýšená kapacita baterie ovlivňuje poměr najetých kilometrů na elektrický, respektive konvenční pohon. Na druhou stranu zvýšený výkon baterie představuje i zvýšenou průměrnou spotřebu energie elektrického vozidla, což se projeví u well-to-tank emisí.

Poslední podstatná informace, která je však společná pro všechny druhy vozidel analyzované v práci, je ohodnocení externalit danou zemí. Každá země odhaduje externí náklad polutantů jinak z důvodu odlišné hodnoty VOLY²⁹ tedy hodnoty ztraceného roku jednoho obyvatele. Hodnoty v tabulce 7 jsou postaveny na analýze VOLY projektu NE-EDS³⁰, který zjišťuje hodnotu změny očekávané délky života spíše než změny v míře úmrtnosti. Hodnoty jsou uvedeny ve stálých cenách roku 2016 a upraveny o inflaci a HDP růst (European Commission, 2020). Pro jednoduchost budeme uvažovat o stejném ocenění polutantů i v roce 2020 přestože by hodnota měla být pravděpodobně vyšší. Avšak my nesledujeme vývoj ocenění externalit na vývoj elektromobility, nýbrž externality nám pouze pomáhají zvýraznit vývoj elektromobility, tedy o kolik klesnou, nebo se zvýší externí náklady z elektromobilů a dalších vozidel, pokud zůstane ocenění na stejné úrovni. Ocenění jednotlivých polutantů zemí a oblastí vstupující do analýzy vidíme v tabulce 7:

Tabulka 7: Hodnota externích nákladů v eurech na gram emitovaného polutantu

Oblast	SO ₂ (€/g)	NO _x (€/g)	PM _{2.5} (€/g)	PM ₁₀ (€/g)	NM VOC (€/g)	CO ₂ (€/g)
EU	0,0109	0,0167	0,1791	0,0212	0,0014	0,0001
Česká republika	0,0116	0,0198	0,1830	0,0201	0,0011	0,0001
Polsko	0,0082	0,0118	0,1417	0,0161	0,0007	0,0001
Francie	0,0139	0,0217	0,2083	0,0247	0,0015	0,0001
Švédsko	0,0055	0,0078	0,1773	0,0102	0,0007	0,0001

Zdroj: European Commission (2020), vlastní úprava

V tabulce 7 vidíme i rozdělení pevných částic na PM_{2,5} a PM₁₀, přičemž hodnota externích nákladů na gram PM_{2,5} je mnohonásobně vyšší než u PM₁₀. To je dáno faktem, že menší částice jsou více škodlivé pro dýchací systém a jsou spojeny s vyššími externími zdravotními náklady (Roosen et. al., 2015b). Hodnoty NO_x a PM_{2,5} jsou v původním zdroji rozčleněné v závislosti na jejich výskytu, totiž drobné prachové částice jako je PM_{2,5} jsou mnohým nákladnější v metropolitních oblastech než v oblastech maloměst. Tyto hodnoty jsou pro objektivnost práce zprůměrovány.

²⁹ Z angl. Value of one year lost

³⁰ The Network for Enhanced Electoral and Democratic Support

Další hodnoty, které nám vstupují do výpočtu, budou z hlediska struktury a rozdělení dobře srozumitelné, a tak si je můžeme představit v následujících kapitolách rozdělených dle typu pohonu.

5.1.1 Proměnné ICEV vozidel

V této podkapitole uvedeme hodnoty vstupující do výpočtů pro vozidla s konvenčním pohonem, konkrétně budeme uvažovat dvě paliva a sice obecně benzín a diesel.

V tabulce 5 a tabulce 6 jsme udávali spotřebu paliva v litrech na 100 km kvůli výpočtu WTT emisí, kdy hmotnost emitovaných škodlivin v gramech na litr paliva zachycuje následující tabulka 8:

Tabulka 8: Well-to-tank emise ICEV

Palivo	CO ₂ (g/l)	NO _x (g/l)	SO ₂ (g/l)	NMVOC (g/l)	PM _x (g/l)
Benzin	15	1,264	0,968	1,845	0,049
Diesel	12	1,416	1,14	0,919	0,055

Zdroj: Anthes (2022), vlastní úprava

Nutno podotknout, že původní zdroj uvádí hodnoty jako hmotnost emitovaných škodlivin v kilogramech na množství energie obsažené v palivu vyjádřené terajouly (Anthes, 2022). Pro potřeby práce jsme provedly převod jednotek založen na množství energie v jednom litru paliva. Jeden litr automobilového benzínu představuje energii o velikosti přibližně $3,4807 \times 10^{-5}$ joule, zatímco litr dieselu přibližně $3,8706 \times 10^{-5}$ joule (Hextobinary.com, 2022). Problém z hlediska monetárního ohodnocení představují emise pevných částic (PM), které zde nejsou přesně rozděleny na PM₁₀ a PM_{2,5}, nicméně toto ošetříme alespoň částečně zprůměrováním ceny těchto dvou externalit ve zkoumaných oblastech.

Pro hodnoty tank-to-wheel externalit využijeme tabulky 5 a 6, odkud budou pro nás stěžejní údaje o množství škodlivin CO₂, NO_x, SO₂ a NMVOC které vozidla uvolní na 100 kilometrů jízdy. Samotným provozem vozidla se uvolňují i pevné částice, které pro benzínové, respektive dieselové pohony nabývají hodnot z tabulky 9 pro PM_{2,5} a tabulky 10 pro PM₁₀:

Tabulka 9: Množství emitovaných pevných částic PM_{2,5} ICEV vozidly

Druh vozidla	Výfukové plyny	Opotřebení pneumatiky	Opotřebení brzd	Opotřebení vozovky	Resuspenze	Celkem
Benzín	3 mg/km	2.9 mg/km	2.2 mg/km	3.1 mg/km	12 mg/km	23.2 mg/km
Diesel	2.4 mg/km	2.9 mg/km	2.2 mg/km	3.1 mg/km	12 mg/km	22.6 mg/km

Zdroj: Timmers, & Achten (2016), vlastní úprava

Tabulka 10: Množství emitovaných pevných částic PM₁₀ ICEV vozidly

Druh vozidla	Výfukové plyny	Opotřebení pneumatiky	Opotřebení brzd	Opotřebení vozovky	Resuspenze	Celkem
Benzín	3.1 mg/km	6.1 mg/km	9.3 mg/km	7.5 mg/km	40 mg/km	66 mg/km
Diesel	2.4 mg/km	6.1 mg/km	9.3 mg/km	7.5 mg/km	40 mg/km	65.3 mg/km

Zdroj: Timmers, & Achten (2016), vlastní úprava

Jediným zásadním rozdílem mezi emitovanými částicemi vznětového a zážehového motoru jsou výfukové plyny. Oba druhy vozidel mají přibližně stejnou hmotnost, proto nevidíme výrazné výkyvy u ostatních faktorů.

Tímto jsme vypsali vše potřebné pro výpočet well-to-wheel emisí vozidel na konvenční pohon. Získané údaje zbývá jen vynásobit s ročním průměrným nájездem (15 000 km) a propočtem průměrné spotřeby paliva, což je zobrazené v tabulkách 5 a 6.

5.1.2 Proměnné EV vozidel

V podkapitole o hodnotách vozidel na elektrický pohon, které vstupují do rovnic výpočtů well-to-wheel emisí budeme muset rozlišovat mezi množstvím vyprodukovaných emisí v letech 2016 a 2020. Energetický průmysl si prochází velkými technologickými změnami, které mají vliv na množství uvolněných polutantů, stejně jako už zmíněný pokrok v oblasti elektromobility, který má zase vliv nejen na kvalitu a výdrž baterií ale i jejich výkon a průměrnou spotřebu.

Začneme nejprve well-to-tank emisemi, což v případě elektromobility představuje emise elektráren v dané zemi, a to konkrétně množství polutantů v gramech na kilowatthodin vyrobené elektrické energie. Hodnoty pro rok 2016 a pro rok 2020 ve sledované oblasti zachycuje tabulka 11 a tabulka 12:

Tabulka 11: Emise vyprodukované energetickým sektorem v roce 2016 v gramech na kilowatthodin elektrické energie

Oblast	CO ₂ (g/kWh)	SO ₂ (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	PM _{2.5} (g/kWh)	PM ₁₀ (g/kWh)	NM VOC (g/kWh)
EU mix	305	0.348	0.441	0.037	0.050	0.033
Česká republika	505	0.712	0.553	0.017	0.024	0.058
Polsko	794	1.613	1.104	0.030	0.056	0.016
Francie	60	0.014	0.052	0.002	0.003	0.001
Švédsko	12	0.020	0.080	0.006	0.008	0.020

Zdroj: OECD (2021), & Agora Energiewende (2021), vlastní úprava

Tabulka 12: Emise vyprodukované energetickým sektorem v roce 2020 v gramech na kilowatthodin elektrické energie

Oblast	CO ₂ (g/kWh)	SO ₂ (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	PM _{2.5} (g/kWh)	PM ₁₀ (g/kWh)	NM VOC (g/kWh)
EU mix	226	0.263	0.39	0.042	0.053	0.032
Česká republika	386	0.468	0.438	0.015	0.022	0.056
Polsko	724	1.234	0.862	0.020	0.037	0.016
Francie	55	0.008	0.045	0.002	0.003	0.001
Švédsko	13	0.015	0.075	0.005	0.008	0.018

Zdroj: OECD (2021), & Agora Energiewende (2021), vlastní úprava

Hodnoty pro CO₂ jsme získali přímo ze zdroje zabývajícího se energetickým sektorem v Evropské unii (Agora Energiewende, 2021), avšak pro další polutanty jsme museli kombinovat informace z environmentální databáze OECD (OECD, 2021), kde jsou uvedeny emise polutantů energetickým sektorem v tisíci tunách za rok, a informace z již zmíněného zdroje Agora Energiewende, odkud jsme vzali údaje o produkci elektrické energie v terawatthodinách za rok. Převodem jednotek jsme dospěli k hodnotě gramu na kilowatthodinu.

Barevné zvýraznění čísel v tabulce 10 upozorňuje na zlepšení, či zhoršení hodnot oproti naměřeným hodnotám v roce 2016. Až na výjimečné případy, které navíc nevykazují dramatické zhoršení, můžeme konstatovat, že energetický sektor zemí Evropské unie prošel pozitivními změnami z environmentálního hlediska, což je jeden z nejdůležitějších aspektů rozvoje elektromobility.

Přímé emise elektromobilů (ne plug-in hybridů) jsou nulové. S tímto vyjádřením by se dala ukončit debata o množství emitovaných škodlivin do ovzduší, avšak z rovnice (3) víme, že přeci jen se nějaké tank-to-wheel emise dají vypočítat. Well-to-tank emise elektromobilů jsme si představili o odstavec výše, zbývá nám tak vyřešit otázku lane-loss rate (LLR). Pro rok 2016, respektive 2020 jsme získali údaje zobrazené v tabulce 13:

Tabulka 13: Ztráty při přenosu v % v roce 2016 a 2020

Oblast	LLR v % (2016)	LLR v % (2020)
EU	1,78	1,745
ČR	1,51	1,70
Polsko	1,62	1,48
Francie	2,33	2,27
Švédsko	2,80	2,55

Zdroj: Council of European Energy Regulators (2020), vlastní úprava

I přestože by se opět dalo demonstrovat zlepšení či zhoršení hodnot LLR, ušetříme si na tomto práci, neboť z monetárního vyjádření TTW emisí tento rozdíl nemá zásadní vliv na celkovou cenu externích nákladů.

Zbývá tak vyjádřit ještě emise pevných částic. Myšlenka, že elektrovozidla jsou kvůli hmotnosti baterií těžší, a tudíž by měli emitovat větší množství pevných částic, je zcela logická, nicméně technologie rekuperačních brzd, kterou elektromobily disponují, snižuje hmotnost emitovaných pevných částic na nulu (Timmers, 2016). Tabulka 14 a 15 tak představují hmotnost emitovaných pevných částic PM_{2,5} respektive PM₁₀ pro elektromobily.

Tabulka 14: Množství emitovaných pevných částic PM_{2,5} EV vozidly

Druh vozidla	Výfukové plyny	Opotřebení pneumatiky	Opotřebení brzd	Opotřebení vozovky	Resuspenze	Celkem
BEV	0 mg/km	3.7 mg/km	0 mg/km	3.8 mg/km	14.9 mg/km	22.4 mg/km
PHEV	1,3 mg/km	3.5mg/km	0 mg/km	3.6 mg/km	14 mg/km	22.4 mg/km

Zdroj: Timmers, & Achten (2016), vlastní úprava

Tabulka 15: Množství emitovaných pevných částic PM₁₀ EV vozidly

Druh vozidla	Výfukové plyny	Opotřebení pneumatiky	Opotřebení brzd	Opotřebení vozovky	Resuspenze	Celkem
BEV	0 mg/km	7.2 mg/km	0 mg/km	8.9 mg/km	49.6 mg/km	65.7 mg/km
PHEV	1,3 mg/km	7,1 mg/km	1.9 mg/km	8.7 mg/km	48,6 mg/km	65,7 mg/km

Zdroj: Timmers, & Achten (2016), vlastní úprava

Všimněme si, že i přes nulové hodnotě u opotřebení brzd, je celková hmotnost emisí elektrovozidel téměř totožná jako u vozidel na konvenční pohon. To je způsobeno jejich vyšší hmotností, což ovlivňuje baterie a což se nutně musí promítnout například do zvýšeného opotřebení pneumatik, vozovky a resuspenzí (Timmers, 2016).

Na závěr zmíníme, že do výpočtů well-to-tank a tank-to-wheel emisí plug-in hybridních vozidel vstupují údaje jednak z podkapitoly 5.1.1, a jednak z podkapitoly 5.1.2, avšak pokaždé v jiném poměru v závislosti na zkoumaném období, což jsme definovali v úvodu kapitoly 5.

5.2 Výsledky měření a komparace

V předešlé kapitole jsme si představili vstupní hodnoty získané ze sekundárních dat, jejichž zpracováním za pomoci uvedených rovnic (1) až (9) budeme schopni graficky prezentovat výsledky výzkumných prvků a poté vyvrátit, či potvrdit stanovené hypotézy.

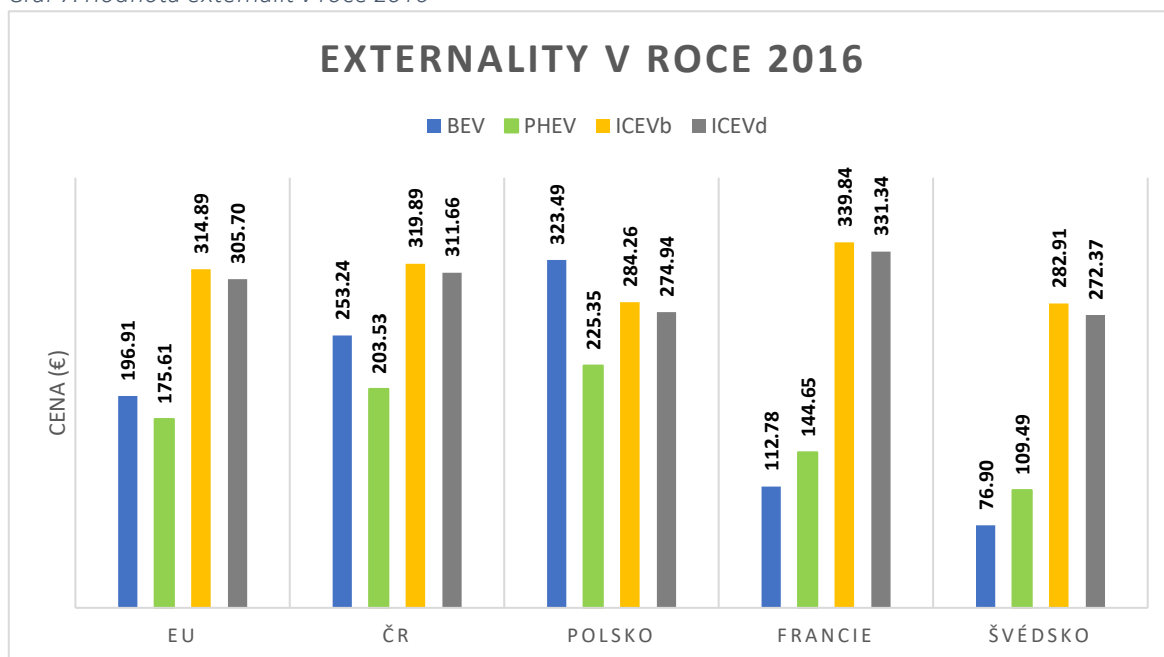
Předmětem této kapitoly je představit výsledky výpočtů a provést komparaci mezi externalitami jednotlivých vozidel v letech 2016 a 2020. Dále budeme analyzovat i vývoj externalit z elektromobilového průmyslu v závislosti na energetickém mixu a pokroku v oblasti baterií.

Jako hlavní nástroj pro odvození závěrů nám poslouží grafické zobrazení.

5.2.1 Externality v roce 2016 a 2020

Jako první jsme provedli výpočet externích nákladů ze všech typů vozidel pro rok 2016. Pro tyto účely jsme použili údaje z tabulek 5, 6, 7, 8, 9 a 10. Výsledná hodnota pro pět vymezených geografických oblastí je prezentovaná graficky prostřednictvím sloupcového grafu 7:

Graf 7: Hodnota externalit v roce 2016



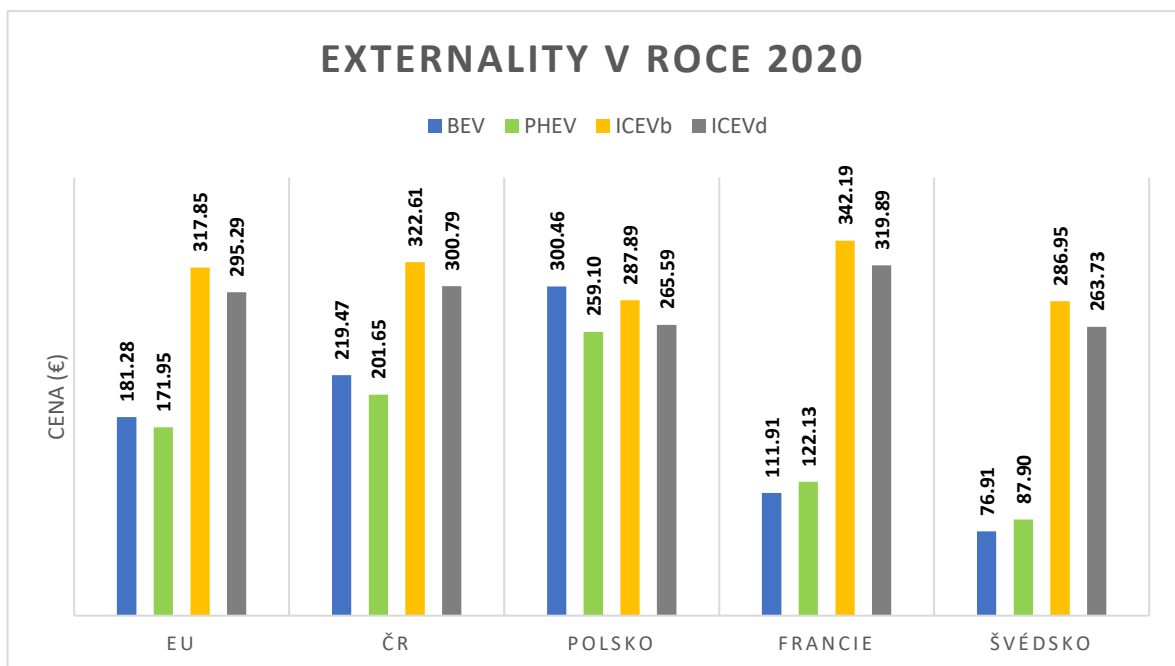
Zdroj: Vlastní zpracování na základě matematických rovnic a sekundárních dat

Na vodorovné ose grafu 7 jsou uvedeny geografické oblasti ve kterých externality zkoumáme. Postupně pro oblast Evropské unie a států Česká republika, Polsko, Francie a Švédsko vycházejí ve sloupcích hodnoty externích nákladů pro BEV (modrá), PHEV (zelená), ICEV_b (žlutá) a ICEV_d (šedá). Cena těchto nákladů je uvedena na svislé ose v eurech zaokrouhleno na dvě desetinná místa. Součet externích nákladů plně elektrického a částečně elektrického vozidla je pro všechny země nižší než součet externích nákladů vozidel s vnitřním spalováním. Elektromobilita je tak pro společnost méně

nákladná. Nejmenší poměr mezi těmito dvěma skupinami je ve Švédsku kde se elektromobilita na celkových externalitách z individuální automobilové dopravy podílí s hodnotou 186,39€ (součet hodnoty BEV a PHEV) pouze z 25,13%. Naopak v Polsku v roce 2016 elektromobilita způsobovala 49,53% celkových externích nákladů IAD. Všimněme si také, že v Polsku BEV s hodnotou 323,49€ představuje vůbec nejvyšší externalitu mezi ostatními vozidly. Externality z benzínového a dieselového vozidla jsou tak nižší, avšak stále vyšší než z PHEV, který se v Polsku v roce 2016 vyplatí nejvíce. Pro země, kde jsou v energetice poměrně dost zastoupená fosilní paliva (EU, Česká republika) vychází plug-in hybridní vozidla (PHEV) z pohledu externích nákladů lépe než BEV. Naopak v zemích závislých na jaderné energii a energii z obnovitelných zdrojů, tedy v našem případě Francie a Švédsko, produkuje BEV vůbec nejnižší externí náklady. Dále můžeme vidět, že vždy externí náklady ICEV_b jsou vyšší než u ICEV_d, s rozdílem od 8 do 10 euro.

Máme okomentované výsledky pro rok 2016, pojďme se nyní podívat na hodnoty v roce 2020 (graf 8), kdy v mezeře těchto čtyřech let vcházela plně v platnost Pařížská dohoda a od roku 2019 i Zelená dohoda pro Evropu³¹.

Graf 8: Hodnota externalit v roce 2020



Zdroj: Vlastní zpracování na základě matematických rovnic a sekundárních dat

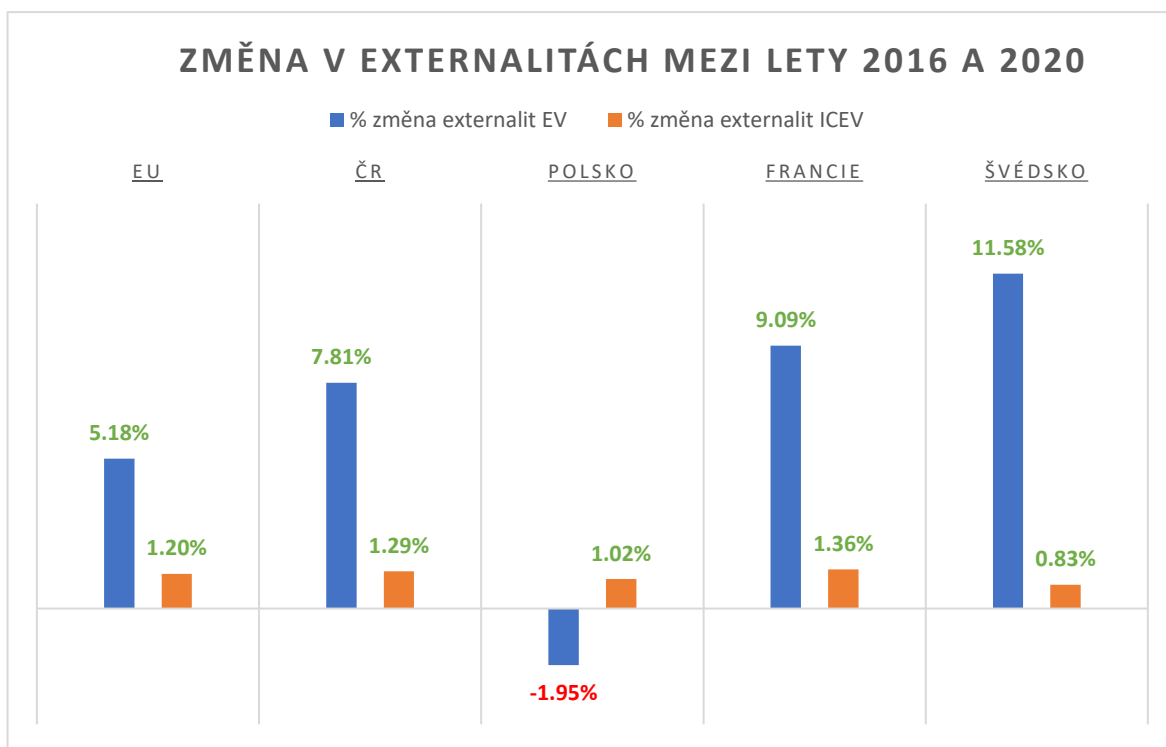
Struktura a význam os je stejná, jako u předešlého grafu 7. V roce 2020 je tendence podobná, tedy že součet externích nákladů BEV a PHEV je nižší než součet externích nákladů ICEV_b a ICEV_d. Toto však už nadále neplatí v Polsku, kde EV představují s 50,27% většinu externích nákladů IAD, pokud se omezíme na zkoumané objekty. Nejméně se podílí elektromobilita na celkových externích nákladech opět ve Švédsku, konkrétně s 23,03% zde podíl klesl o 2,1 procentního bodu oproti roku 2016. Podíváme-li se blíže

³¹ Znamé jako *Green Deal*

na ceny externalit a celkový vzhled sloupců grafu 8, zjistíme, že celkové externality jak EV, tak ICEV v daných oblastech kromě Polska klesly. Jednotlivě pozorujeme pokles externalit BEV ve všech zemích, kromě Švédska, kde se naopak externí náklady z BEV zvedly o 0,01€. Plug-in hybridní vozidlo vykazuje rovněž nižší externí náklady za jeden rok, než v roce 2016, avšak v Polsku se hodnota ve sloupci zvedla o 33,75€, což je také důvodem již zmíněného většinového podílů elektromobility na celkových externalitách z IAD v této zemi. Automobil tankující benzín produkoval v roce 2020 průměrně ve všech oblastech o 3€ více externích nákladů, než v roce 2016. Naopak automobil tankující diesel vyprodukoval o 4€ až 12€ méně externích nákladů v závislosti na ohodnocení externalit danou zemí.

Představili jsme si některé významné aspekty grafu 7 a grafu 8, provedli částečnou komparaci vypočtených hodnot a poukázali na možné tendence. Nejlépe nám však pro představu o rozdílu mezi externími náklady v jednotlivých sledovaných obdobích poslouží graf 9:

Graf 9: Změna v externích nákladech v sledovaných letech 2016 a 2020



Zdroj: Vlastní zpracování na základě matematických rovnic a sekundárních dat

Graf 9 ukazuje změnu v externích nákladech mezi lety 2016 a 2020 pro dvě skupiny vozidel a sice EV (BEV a PHEV) a ICEV (ICEV_b a ICEV_d) v jednotlivých vymezených oblastech. Na vodorovné ose jsou, podobně jako v předchozích grafech, uvedeny geografické oblasti. Na svislé ose pak procentuální změna v ceně externích nákladů mezi obdobími zaokrouhlená na dvě desetinná místa. Modrý sloupec odpovídá změně v hodnotě EV a oranžový sloupec změně v hodnotě ICEV. Jestliže změnou je pokles externích nákladů, procentuální změna je napsána zelenou barvou a číslo je kladné, neboť pokles externích nákladů představuje kladnou, vítanou skutečnost. Například v České

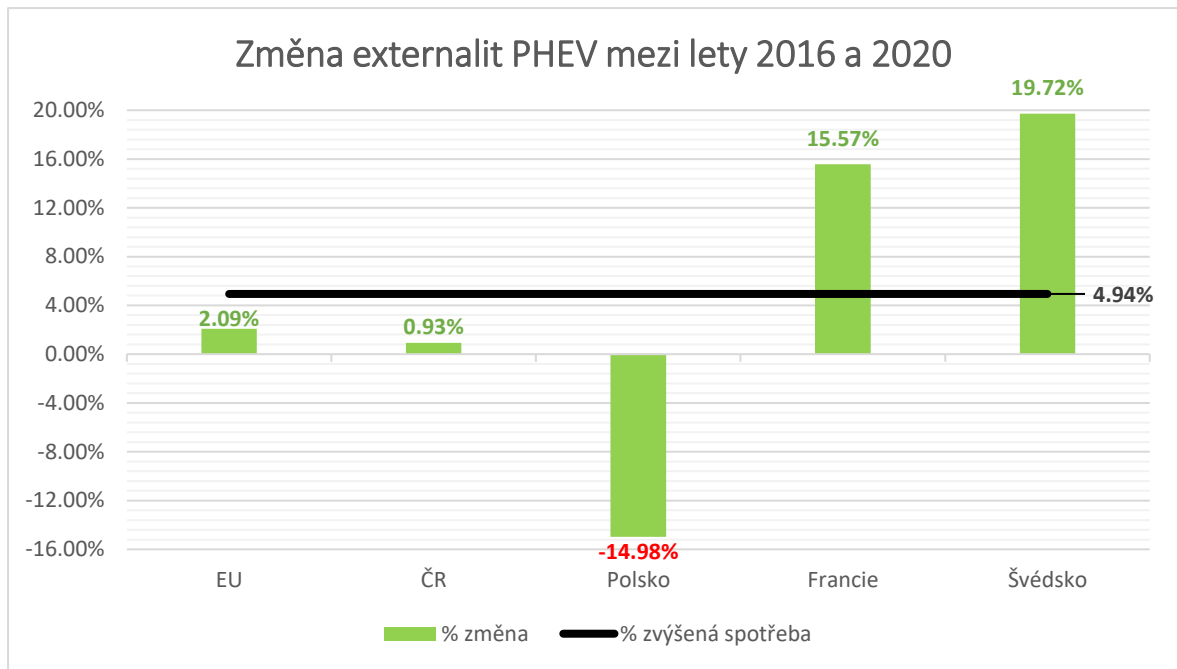
republice v roce 2016 představoval součet hodnot externích nákladů částku 456,77€, zatímco v roce 2020 to bylo 421,12€. Jedná se tedy o pokles 7,81% oproti hodnotě získané pro rok 2016. Nejvyšší pokles externalit zaznamenalo opět Švédsko přesněji o 11,58% z 186,39€ na 164,81€ na čemž má ale zásluhu hlavně plug-in hybrid. V Evropské unii, jakožto jakéhosi představitele průměrné hodnoty, byl celkový pokles z 372,52€ na 353,23 € tedy přibližně 5,18%. Nárůst externích nákladů ale opět registrujeme v Polsku, kde sice náklady BEV klesly o 23,03€, ale náklady PHEV se zvýšili o 33,75€. Z tohoto důvodu vznikl nárůst o 1,95%. Pro vozidla s vnitřním spalováním evidujeme také kladná procenta, tedy pokles externích nákladů v průměru o zhruba 1%. Pokles je dán zejména přechodem automobilek z emisní normy Euro 5 na Euro 6, avšak stále se jedná o malý pokles, neboť technologie u těchto motorů je na samém vrcholu možností, a tak výrazné zlepšení z pohledu externalit se nedá očekávat. Technologický vrchol elektromobility je však v nedohlednu a v současnosti je hodně prostoru pro vývoj zejména v oblasti konstrukce vozidla a baterií. Právě baterie se mezi lety 2016 a 2020 výrazně změnila, čehož jsme si mohli všimnout porovnáním tabulky 5 s tabulkou 6, kdy se sice zvýšila průměrná spotřeba energie na 100 kilometrů jízdy, zároveň se však zvýšila kapacita baterie, čímž se zvýšil dojezd. Jak se změnila externalita PHEV, respektive BEV vzhledem k zvýšené průměrné spotřebě elektrické energie popisuje následující kapitola.

5.2.2 Vliv technologického vývoje na změnu externalit EV

Jak jsme již uvedli, v této kapitole budeme za pomoci grafického zobrazení zkoumat změnu externích nákladů i přes změnu průměrné spotřeby elektrické energie. Zvýšená spotřeba elektrické energie představuje pro elektromobilitu nebezpečí, neboť čím více elektromobil spotřebuje elektrické energie, tím více kilowatthodin musí při stejném ročním průměrném nájezdu uživatel nabít. Z představení well-to-wheel indexu víme, že hlavním zdrojem externalit u elektromobility jsou elektrárny, respektive jejich emise polutantů na kilowatthodin vyrobené elektrické energie. Z podstaty věci, čím více elektrovozidlo spotřebovává elektrickou energii, tím více externích nákladů z BEV nebo PHEV vzniká. Pokládáme si tedy otázku: Změní se pozitivně³² hodnota externalit i přes zvýšenou spotřebu elektromobilů? Nejprve se podívejme na odpověď pro případ plug-in hybridního vozidla demonstrovaném v grafu 10:

³² Opět myslíme, zdali hodnota klesne.

Graf 10: Změna externalit PHEV mezi lety 2016 a 2020 i přes změnu v průměrné spotřebě vozidla

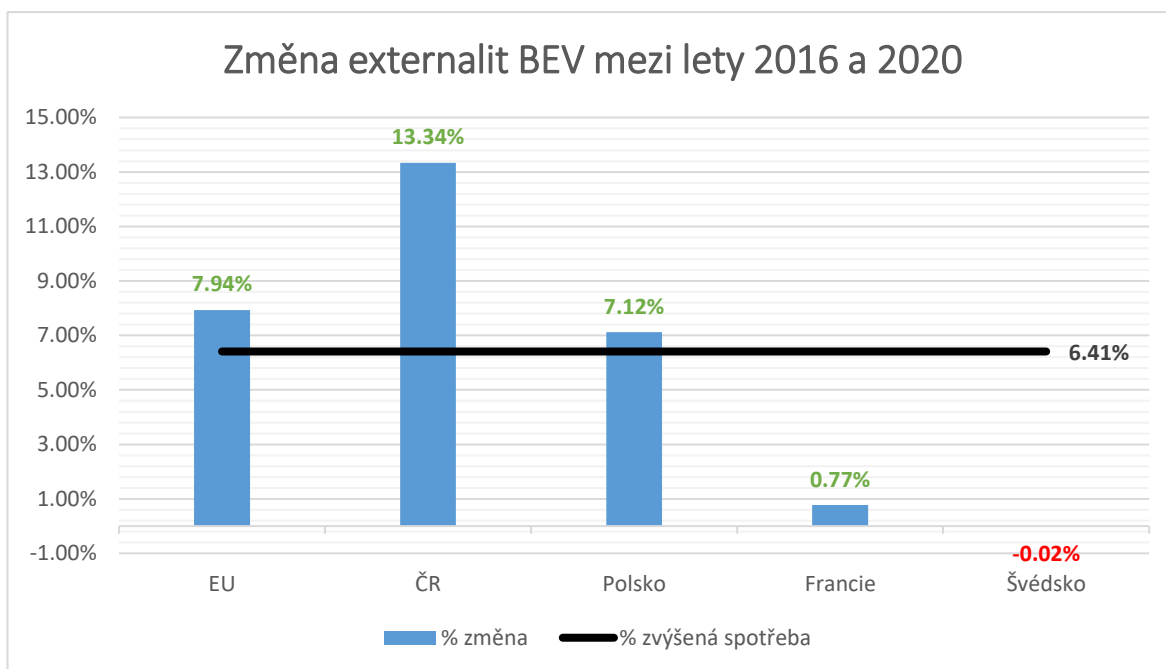


Zdroj: Vlastní zpracování na základě matematických rovnic a sekundárních dat

Průměrná spotřeba se u PHEV zvýšila ze 14,6 na 15,6 kWh/100km, což odpovídá zvýšení o přibližně 4,94% zaneseným v grafu vodorovnou čarou, neboť tato hodnota je pro všechny oblasti stejná. Pokles externalit je, podobně jako v předchozích grafech, vnímáno pozitivně, a tak dodržujeme stejnou logiku značení. Z porovnání cen externích nákladů PHEV v grafu 7, respektive grafu 8, zjistíme, že k roku 2020 klesly pro státy Evropské unie náklady o 2,09%. Pro Českou republiku to bylo o pouhých 0,93%, pro Francii však o 15,57% a pro Švédsko úplně nejvíce a sice 19,72%. Naopak Polsku změna ve výkonu elektromotoru, který vykazuje vyšší průměrnou spotřebu, neprospěla a externality plug-in hybridu se zvýšily o 14,98%. Čím jsou tyto výsledky dané? Je nutné si uvědomit, že vyšší spotřeba je dána vyšším výkonem elektromotoru, který automobily instalují, neboť si to díky pokroku v oblasti galvanických článků mohou dovolit. Tím se dostáváme k bateriím, respektive k jejich zvýšené kapacitě. Zvýšená kapacita baterií znamená vyšší elektrifikovaný dojezd, což u plug-in hybridu snižuje TTW emise (vlivem poklesu TTW emisí spalovacího motoru) a pakliže je energetický mix země dostatečně "zelený", tato změna v poměru elektrifikovaného/spalovacího dojezdu může být z hlediska externalit vítaná. Proto ve státech jako jsou Francie a Švédsko vykazuje PHEV velký pokles externích nákladů, naopak v Polsku velký nárůst. Pro Českou republiku je z důvodu zastoupení fosilních paliv z 51% pokles pouhých 0,93% přes zvýšenou spotřebu PHEV. Zdá se tedy, že lehce nadpoloviční poměrové zastoupení neobnovitelných zdrojů by dále nemusel prospívat plug-in hybridnímu vozidlu.

Podobnou analýzu provedeme i na grafu 11, který zachycuje změnu v externích nákladech bateriových elektrických vozidel i přes změnu v průměrné spotřebě vozidla.

Graf 11: Změna externalit BEV mezi lety 2016 a 2020 i přes změnu v průměrné spotřebě vozidla



Zdroj: Vlastní zpracování na základě matematických rovnic a sekundárních dat

Průměrná spotřeba se u BEV zvýšila z 15,4 kWh/100km na 16,2 kWh/100km, což odpovídá zvýšení o přibližně 6,41%. I přes tuto změnu pozorujeme pokles externích nákladů, které BEV způsobuje téměř u všech zemí, kromě Švédska, kde však nárůst externích nákladů je již zmíněných 0,01€, což při velmi nízkých celkových sumách externích nákladů v této zemi odpovídá zvýšení o 0,02%. Podobně BEV ve Francii nevykazuje výrazné zlepšení, kde registrujeme pokles 0,77% oproti hodnotě získané v roce 2016. Naopak překvapivě velký pokles zjišťujeme v Polsku (7,12%), EU (7,94%) a České republice (13,34%). Jak vysvětlíme tento jev, který je zcela odlišný oproti změně prezentované v grafu 10? Zde můžeme odhadnout, že dobře zareagovali energetické společnosti a vláda v dané oblasti, a to tak, že dokázali zlepšit proces výroby z hlediska emitovaných polutantů nebo změnit strukturu energetického mixu, což potvrzují i čísla v tabulce 12. Samozřejmě nejvíce se mohou zlepšit ty země, které mají ve svém energetickém mixu značné zastoupení fosilních paliv, tedy v našem případě nejen Polsko, ale i Česká republika. Francie a Švédsko používají na výrobu elektrické energie minimum fosilních paliv, a tak jejich zlepšení se neprojevuje v takové míře, aby opodstatňoval vyšší průměrnou spotřebu plně elektrických elektromobilů. Nutno však podotknout, že v případě těchto zemí není nízké procento poklesu, či dokonce nárůstu externích nákladů nijak závažné, neboť hodnota externalit BEV je v případě Francie (111,91€) a Švédska (76,91€) o mnoho nižší než hodnota externalit ICEV v daných zemích nebo dokonce nižší než jakékoliv hodnoty v ostatních zemích vystupujících v této bakalářské práci.

6 Diskuse výsledků a přínosů práce

Cílem bakalářské práce je předložit dokument sumarizující vývoj, přínosy a problematická místa elektromobility. Cíl práce je uchopen z pohledu externích nákladů (externalit), které vytvoří nejen elektromobilita, ale pro kontrast i běžné automobily využívající k pohybu spalovací motory na benzín, či diesel. Za účelem naplnění cíle práce bylo nejprve nutné vyhledat vhodné matematické nástroje, následně dohledat vhodná sekundární empirická data, a nakonec tato data správně dosadit do vybraných rovnic. Při výzkumu jsme pracovali s daty získanými na základě rešerše vědecko-výzkumných odborných prací a sekundárních empirických dat z portálů OECD a Evropské komise. Tato data jsme shrnuli do tabulek, které vstupují do konečných výpočtů a pomáhají při hodnocení stanovených hypotéz.

V úvodu praktické části je definováno, jak se bude postupovat při analýze externích nákladů z automobilového průmyslu. Jsou konkretizovány hlavní výzkumné prvky, geografické oblasti a další rozsahy nutné pro maximální objektivnost a přesnost práce. Dále je představen hlavní výpočetní index, takzvaný well-to-wheel index, který nás skrze nemonetární a následně monetární vyjádření dovedl ke konečným výsledkům. Jako první jsme provedli komparaci výsledků pro rok 2016 s rokem 2020. Sledovali jsme trendy v poklesu, či růstu externích nákladů ze znečištění ovzduší pro jednotlivé kategorie vozidel a pro jednotlivé státy, respektive politicko-ekonomické uskupení států. V roce 2016 byly hodnoty externalit vyšší, než tomu bylo v roce 2020, což jsme v případě elektromobility přisoudili faktu, že energetický sektor prošel změnami, které měly pozitivní vliv na množství emitovaných polutantů během procesu výroby elektrické energie. V případě spalovacích motorů se pokles dá přičíst legislativnímu opatření Evropské unie, kdy se přešlo z emisních norem Euro 5 na přísnější emisní normu Euro 6. Jak ale uvádíme v grafu 9, externí náklady způsobené spalovacími motory byly v průměru nižší pouze o jedno procento oproti hodnotám z roku 2016. Naopak pro elektromobily kategorie BEV a PHEV byl pokles v hodnotách daleko vyšší. Pro země Evropské unie je dáno průměrné zlepšení 5,18%.

Ačkoliv snížení externích nákladů ze znečištění ovzduší sektoru individuální automobilové dopravy může být nižší i o desítky procent, pro země, které ve svém energetickém mixu využívají jako hlavní zdroj energie fosilní paliva (černé uhlí, lignit), nemusí být elektromobilita nutně prospěšná. V praktické části nám toto demonstrovaly zjištěné údaje pro Polsko, který jako hlavní zdroj používá fosilní paliva, a to až z 83%. Při detailnějším rozboru jsme zjistili, že hodnoty BEV mezi těmito lety klesly, a to vlivem zlepšení emisí u elektráren na fosilní paliva, avšak stále byly tyto externí náklady vyšší než u spalovacích motorů. Zároveň vlivem změny v kapacitách baterií a výkonu elektromotoru se u PHEV změnil poměr elektrifikovaných kilometrů, což ve výsledku zhoršilo externí náklady z této kategorie v Polsku až o 33,75€. Česká republika, kde jsou fosilní paliva jakožto hlavní zdroj energie zastoupená z 51%, však vykazovala pokles externích nákladů jak pro BEV, tak pro PHEV. Ačkoliv jsme nezkoumali hranici, od které je poměr fosilních paliv v energetice daného státu pro elektromobilitu neprospěšný,

můžeme usoudit, že ne nutně nadpoloviční zastoupení je škodlivé. Zjištění přesné hodnoty procenta by mohlo být zajímavé téma pro další vědecký výzkum.

V neposlední řadě jsme zkoumali i vliv technologického vývoje na změnu externalit elektrovozidel. Od roku 2016 se baterie instalované do BEV a PHEV vozidel zlepšily ve své kapacitě, aniž by si to vyžádalo zvýšení hmotnosti vozidla. Díky tomu si automobilový průmysl mohl dovolit vyvinout výkonnější elektromotory, které zprostředkovávají cestujícím větší komfort a zážitek z jízdy. Na druhou stranu, se zvýšením výkonu přichází i zvýšená průměrná spotřeba elektrické energie, což při pevně daném průměrném ročním nájezdu představuje celkově více dobité energie do baterií. U elektromobilů jsou hlavním zdrojem externalit elektrárny, které tuto elektrickou energii musí vyrobit. Zkoumali jsme tedy nejprve pro PHEV vozidla, zdali se snížily externí náklady i přes zvýšenou spotřebu. Následně jsme stejný výzkum provedli i pro bateriová elektrická vozidla (BEV).

U plug-in hybridů jsme zjistili, že vyšší elektrifikovaný průměrný roční nájezd na úkor ujeté vzdálenosti na spalovací motor, je velmi účinný téměř ve všech zemích Evropské unie, kde byl pokles v externích nákladech o 2,09%. Nejúčinněji se tato změna projeví v zemích, kde je jako hlavní palivo v energetice používáno jádro nebo neobnovitelné zdroje. Česká republika se svým podílem fosilních paliv vykazovala zlepšení pouhých 0,93%. Polsko naopak zhoršení o dramatických 14,98%. Zde můžeme říct, že pro Polsko se technologický vývoj elektromobility nevyplatil, stále však plug-in hybridní vozidlo zde v roce 2020 vytvořilo nejméně externích nákladů ze znečištění ovzduší než ostatní druhy vozidel.

Pro bateriová elektrická vozidla byl technologický pokrok velmi přínosný, neboť externí náklady z BEV se razantně snížili ve všech zemích používající fosilní zdroje pro výrobu elektrické energie. Menší snížení externích nákladů bylo v zemích používající jádro, jako je Francie (0,77%) a v zemi používající obnovitelné zdroje (Švédsko) jsme dokonce zaregistrovali i mírné zhoršení o 0,02%. Tím jsme přišli na dvě skutečnosti, které ovlivňují konečné množství externalit. Na jedné straně se jedná o pokrok v oblasti technologie tepelných elektráren, které tak emitují méně polutantů na kilowatthodin vyrobené elektrické energie každým rokem. Na straně druhé, pokud je energetika státu už velmi "čistá", tak pokrok v technologii již externality elektrovozidel razantně nesníží. Tento fakt by mohl být zajímavý podnět pro další výzkumnou práci, ve které by se zkoumaly minimální externí náklady ze znečištění ovzduší, které může za optimálních podmínek BEV vyprodukovat v rámci individuální automobilové dopravy.

Výše jsme oddiskutovali dosažené výsledky praktické části a úkolem této kapitoly je i provést potvrzení či vyvrácení stanovených hypotéz.

Hypotéza 1: Elektromobilita vykazuje vyšší externality ze znečištění ovzduší než automobily se spalovacími motory.

Na základě sekundárních empirických dat, které byly dosazeny do patřičných rovnic, byly zjištěny takové externí náklady ze znečištění ovzduší elektromobilů v individuální automobilové dopravě, které dosahují nižší částky než externí náklady automobilů se

spalovacími motory. V tomto případě mluvíme o bateriových elektrických vozidlech a plug-in hybridních vozidlech, kdy obě kategorie dosahují nižších externalit pro 27 států Evropské unie. Při zaměření na konkrétní státy bylo zjištěno, že v některých případech mohou být externí náklady elektromobility nižší i o stovky euro. Pouze v jednom případě (Polsko) bylo zjištěno, že BEV vykazovala vyšší, dokonce nejvyšší externí náklady. Plug-in hybrid naopak zde vykazoval nejnižší externality, a tak při celkovém hodnocení hypotézy, i přes zajímavé poznatky tohoto výsledku, budeme považovat Polsko za jakýsi statisticky odlehlý bod. Hypotézu 1 na základě zmíněných argumentů zamítáme.

Hypotéza 2: Kvůli energetickému mixu zemí Evropské unie elektromobilita neřeší externality ze znečištění ovzduší.

Výsledky výzkumu, kde jsme se zaměřili i na energetický sektor zkoumaných oblastí, ukázaly, že elektromobilita produkuje výrazně nižší množství externalit ve státech, kde se z poměrové většiny pro výrobu elektrické energie používá jádro nebo obnovitelné zdroje. Avšak i Česká republika, která využívá neobnovitelné zdroje z nadpoloviční většiny (51%), dosahuje v oblasti elektromobility nižších externalit než běžné automobily se spalovacími motory. Pokud je však podíl fosilních paliv v energetice státu příliš vysoký, jako tomu je v případě Polska (83%), mohou být externí náklady některých elektromobilů vyšší než externí náklady vozidel se spalovacími motory. Hypotéza 2 je stanovena na země Evropské unie jako celek, což znamená průměr externích nákladů všech 27 členů této politicko-ekonomické unie, jejichž energetický mix je poměrově vyvážený³³. Hypotézu 2 zamítáme, neboť není jednoznačně prokázáno, že kvůli energetickému mixu zemí EU elektromobilita neřeší externality ze znečištění ovzduší, přičemž z výsledků plyne, že externí náklady elektromobilů jsou ve skutečnosti nižší.

Hypotéza 3: Investice automobilového průmyslu do vývoje elektromobility společně s přechodem k čisté energii nepřináší snížení externalit ze znečištění ovzduší.

Třetí hypotéza byla zaměřená na neustálý pokrok ve vývoji elektromobility, zejména baterií a elektromotorů. Otázkou bylo, jak se změnily externality mezi zkoumanými lety 2016 a 2020 i přes zvýšenou průměrnou spotřebu elektromobilů a zároveň přes zvýšenou kapacitu baterií. Výsledná komparace ukázala, že v případě bateriových elektrických vozidel nezáleží na zvýšené spotřebě tolik, jako na technologii tepelných elektráren a energetickém mixu dané země. Jestliže země disponuje elektrickou energií zejména z obnovitelných zdrojů a jádra, externí náklady příliš neklesnou. Naopak země se zvýšeným podílem fosilních paliv v energetice vykazují nižší externí náklady i přes zvýšenou průměrnou spotřebu elektrické energie elektrovozidly, avšak tento pokles je spíše důsledkem zlepšení technologického procesu tepelných elektráren. U plug-in hybridních vozidel hraje významnou roli zejména zvýšená kapacita baterie, která zaručuje zvýšený elektrifikovaný dojezd. V zemích s čistou energetikou je tento jev velice žádoucí, neboť externality mohou klesnout i o desítky procent. Státy s podílem

³³ 37% energie z fosilních paliv, 25% z jádra, 38% z obnovitelných zdrojů, jak uvádí tabulka 4.

fosilních paliv na energetice okolo 50% rovněž vykazují nižší externality. Pro PHEV v Polsku, kde jsou fosilní paliva zastoupena z 83%, je zvýšený elektrifikovaný dojezd z hlediska externích nákladů nepřínosný. Hypotézu 3 v rozsahu jejího znění zamítáme, neboť v zemích s již čistou energií jsou externí náklady velmi nízké a v zemích, kde je možná změna energetického mixu, mohou externality klesat o několik procent. Investice automobilového průmyslu do elektromobility je tak možné a z hlediska externích nákladů pro společnost i přínosné.

V zadání bakalářské práce je jako přínos práce uvažováno zhodnocení elektromobility pohledem investora. Z pohledu externích nákladů se vyplatí v dnešní době investovat do prudce se rozvíjející elektromobility, která ve většině případů zaručuje snížení externích nákladů ze znečištění ovzduší. Zvýšená kapacita baterií a zvýšený výkon elektromotoru výrazně nebrzdí pokles externích nákladů, ale naopak zvyšuje užitek spotřebitele a investora z vlastnění elektromobilu.

Elektromobilita, jakožto nový trend nahrazující běžné pohony vozidel, rozděluje společnost na dva tábory a sice na nadšence, a zarputilé odpůrce. Výsledky této práce by mohly být pádnými argumenty pro zavádění elektromobility, pokud se na problém budeme dívat z pohledu externích nákladů. Přínosem práce z tohoto hlediska je tak objasnění environmentálních problémů spojených s individuální automobilovou dopravou a možnost pohledu na jejich řešení prostřednictvím elektromobility a čisté energie.

Závěrem je důležité i poukázat a upozornit na nedostatky, které zabránily dosažení přesného výsledku. Všechny tyto nedostatky lze odvodit z metodologické části i z výzkumu samotného.

Externalit vznikajících v individuální automobilové dopravě je několik druhů (roze-psáno v teoretické části). V předkládané bakalářské práci jsme se zaměřili na externí náklady ze znečištění ovzduší, a to konkrétně jenom určitými polutanty.

Z toho vyplývá, že pokud bychom chtěli zjistit přesný výsledek externích nákladů, které jednotlivé vozidlo v závislosti na svém pohonu způsobuje, bylo by potřeba výzkum rozšířit o další polutanty, o měření hluku a vibrací v různém prostředí, o přesné vyjádření negativních vlivů z odpadu a znečišťování vod. Dále by bylo potřeba analyzovat dopravní nehody, kongesce a negativní vlivy spojené s defragmentací krajiny. Jako poslední by pro maximálně přesnou hodnotu externích nákladů bylo potřeba použít metodu LCA, aby byl zahrnut veškerý životní cyklus vozidla. Toto vše by nejspíše vyžadovalo velké úsilí a rozsáhlou rešerši mnoha zdrojů, jenž by ve výsledku dalo vzniknu kvalitní disertační práci.

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo předložit dokument sumarizující vývoj, přínosy a problematická místa elektromobility. Po rešerši literárních zdrojů v teoretické části zvolil autor pro dosažení cíle výzkumu metodu well-to-wheel indexu, který zkoumá externalitu ze znečištění ovzduší vozidlem za provozu a zároveň výrobou, zpracováním a distribucí paliva, respektive elektrické energie.

Aplikace výpočtu byla prováděna na datech získaných pro rok 2016 a pro rok 2020. Jako výzkumné prvky byly zvoleny polutanty CO_2 , NO_x , SO_2 , NMVOC, $\text{PM}_{2,5}$ a PM_{10} vyprodukované bateriovým elektrickým vozidlem, plug-in hybridním vozidlem, vozidlem se vznětovým motorem a vozidlem se zážehovým motorem. Ohodnocení externích nákladů metodou VOLY bylo zkoumáno pro Českou republiku, Polsko, Francii, Švédsko a Evropskou unii, jakožto představitele průměrné hodnoty.

Výsledky výpočtů na základě sekundárních empirických dat a následně provedené komparace mezi naměřenými hodnotami za rok 2016 a 2020 ukázaly, že elektromobilita vykazuje méně externích nákladů ze znečištění ovzduší než běžná vozidla se spalovacími motory. Externality mezi lety klesaly, a to zejména vlivem zlepšení technologického procesu tepelných elektráren a restrukturalizací energetického mixu zemí. Plug-in hybridnímu vozidlu prospěl i pokrok v oblasti baterií, který snížil externí náklady této kategorie díky vyššímu elektrifikovanému průměrnému ročnímu nájezdu. Všechny hypotézy, které byly v rámci této bakalářské práce stanoveny, se podařilo zamítnout. Hlavní výstupní myšlenkou díky provedenému výzkumu může být, že elektromobilita je řešením externalit způsobených automobilovým průmyslem.

V návaznosti na předkládanou práci autor doporučuje provést další primární empirický výzkum v oblasti ostatních externalit, jako jsou hluk, vibrace, odpady, znečištění vod, kongesce a další. Další možností rozšíření by mohla být analýza životního cyklu vozidla metodou LCA a její přesný výpočet externích nákladů. V neposlední řadě výzkum v oblasti energetického sektoru a jeho vlivu na elektromobilitu by mohl být velice prospěšný pro investory, politické organizace a společnosti celkově.

Seznam použité literatury

1. BUCHTA, Miroslav, 1998. *Externality a možnosti jejich řešení : sborník referátů z teoretického semináře pořádaného Katedrou veřejné ekonomiky ESF MU v Brně ve spolupráci s Asociací veřejné ekonomie: Praktické pojetí pojmu externality*. 1. Brno: Masarykova Univerzita. ISBN 80-210-1884-4.
2. CORNES, Richard a Todd SANDLER, 1996. *The theory of externalities, public goods, and club goods*. 2. New York: Cambridge University Press. ISBN 05-214-7718-2.
3. ČADIL, Jan, Božena KADEŘÁBKOVÁ a Jan VORLÍČEK, 2006. *Analýza externalit: přístup ekonomické teorie*. Praha: PEF ČZU. ISBN 80-213-1596-2.
4. FOLPRECHT, Jan, 1984. *Doprava I*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů. ISBN 31-018-84-05-94.
5. HOŘEJŠÍ, Bronislava, 2006. *Mikroekonomie*. 4., rozš. vyd. Praha: Management Press. ISBN 978-80-7261-218-5.
6. HOŘEJŠÍ, Bronislava, 2010. *Mikroekonomie*. 5., aktualiz. vyd. Praha: Management Press. ISBN 978-80-7261-218-5.
7. HRANAIOVÁ, Mária, 1998. *Externality a možnosti jejich řešení : sborník referátů z teoretického semináře pořádaného Katedrou veřejné ekonomiky ESF MU v Brně ve spolupráci s Asociací veřejné ekonomie: Kvantifikácia externalít environmentálneho charakteru*. 1. Brno: Masarykova Univerzita. ISBN 80-210-1884-4.
8. HYÁNEK, Vladimír, 1998. *Externality a možnosti jejich řešení : sborník referátů z teoretického semináře pořádaného Katedrou veřejné ekonomiky ESF MU v Brně ve spolupráci s Asociací veřejné ekonomie: Externality - možnosti řešení*. 1. Brno: Masarykova Univerzita. ISBN 80-210-1884-4.
9. JEŽEK, Petr, 1998. *Externality a možnosti jejich řešení : sborník referátů z teoretického semináře pořádaného Katedrou veřejné ekonomiky ESF MU v Brně ve spolupráci s Asociací veřejné ekonomie: Externality, problémy a jejich řešení*. 1. Brno: Masarykova Univerzita. ISBN 80-210-1884-4.
10. JINDRA, Miroslav, 2009. *Externality v ekonomické teorii a jejich dopad na ekologii České republiky po roce 1989*. Brno. Diplomová práce. Masarykova univerzita.
11. KAMEŠ, Josef, 2004. *Alternativní pohon automobilů*. 2004. Praha: BEN - technická literatura. ISBN 80-730-0127-6.

12. KAMEŠ, Josef, 2015. *Hybridní a elektrický pohon automobilů*. 2. Praha: Nakladatelství. ISBN 2013-11-14-1.
13. KNÁPEK, Jaroslav a Erik GEUSS, 2000. *Životní prostředí a ekonomika*. Praha: České vysoké učení technické. ISBN 80-010-2203-X.
14. KUTÁČEK, Stanislav, 2009. *Aplikace teorie externalit na vybraný segment odvětví dopravy*. Brno. Dizertační práce. Masarykova univerzita.
15. MACÁKOVÁ, Libuše, 2003. *Mikroekonomie: základní kurs*. 8. Slaný: Melandrium. ISBN 80-861-7538-3.
16. MAIBACH, M., C SCHREYER, D BOON, H.P. SMOKERS, A SCHROTEN, C DOLL, B PAWLOWSKA a M BAK, 2007. *Handbook on estimation of external cost in the transport sector: Produced within the study Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport (IMPACT)* [online]. Delft: CE [cit. 2021-09-19]. Dostupné z: <https://transportpublic.org/images/pdf/20071219-delft.pdf>
17. MALÝ, Ivan, ed., 1998. *Externality a možnosti jejich řešení : sborník referátů z teoretického semináře pořádaného Katedrou veřejné ekonomiky ESF MU v Brně ve spolupráci s Asociací veřejné ekonomie: Externality - omezení pro veřejné řešení*. 1. Brno: Masarykova Univerzita. ISBN 80-210-1884-4.
18. MELICHAR, J., 2006. Hodnocení externích nákladů z dopravy: pohled metodologie ExternE. *Doprava, zdraví a životní prostředí: Sborník přednášek* [online]. 1. Lázně Bohdaneč: Centrum dopravního výzkumu, s. 57-62 [cit. 2021-09-01]. ISBN 80-86502-33-3. Dostupné z: <https://dzzp.cdv.cz/file/archiv-2006-sbornik/>
19. NOVÁK, Jiří, 1993. *Doprava, životní prostředí a politika: sborník názorů na věc*. Brno: Český a Slovenský dopravní klub. ISBN 80-901-3392-4.
20. PILNÝ, Jaroslav, 1998. *Externality a možnosti jejich řešení : sborník referátů z teoretického semináře pořádaného Katedrou veřejné ekonomiky ESF MU v Brně ve spolupráci s Asociací veřejné ekonomie: Vliv externalit na životní prostředí a zemědělství*. 1. Brno: Masarykova Univerzita. ISBN 80-210-1884-4.
21. PLÖTZ, Patrik, Cornelius MOLL, Peter MOCK a Yaoming LI, 2020. Real-World Usage of Plug-in Hybrid Electric Vehicles: Fuel consumption, electric driving, and CO2 emissions. *White Paper* [online]. International Council on Clean Transportation, 1-57 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/PHEV-white%20paper-sept2020-0.pdf>

22. RAND, D., R. WOODS a Ronald DELL, 2013. *Batteries for electric vehicles*. 4. Research Studies Press: Wiley,. ISBN 08-638-0205-2.
23. RIEVAJ, Vladimír a František SYNÁK, 2017. Does electric car produce emissions. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport* [online]. **94**, 187-197 [cit. 2021-04-10]. ISSN 0209-3324. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.20858/sjsutst.2017.94.17>
24. ROOSEN, Jorg, Wim MARNEFFE a Lode VEREECK, 2015b. A Review of Comparative Vehicle Cost Analysis. *Transport Reviews* [online]. **35**(6), 720-748 [cit. 2021-04-11]. ISSN 0144-1647. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1052113>
25. ROOSEN, Jorg a Lode VEREECK, 2015a. A Review of Comparative Vehicle Cost Analysis. *Transport Reviews* [online]. **35**(6), 720-748 [cit. 2021-04-10]. ISSN 0144-1647. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1052113>
26. RŮŽIČKA, Jiří, 1993. *Doprava, životní prostředí a politika: Sborník názorů na věc*. 1. Brno: Český a Slovenský dopravní klub. ISBN 80-901-3392-4.
27. SAMUELSON, Paul a William NORDHAUS, 1992. *Ekonomía*. 13. Bratislava: Bradlo. ISBN 80-712-7031-8.
28. SERRA, João Vitor Fernandes, 2012. *Electric vehicles: technology, policy and commercial development*. 1. London: Routledge. ISBN 978-1-84971-415-0.
29. ŠKAPA, Petr, 2000. *Vliv dopravy na životní prostředí*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita. ISBN 80-707-8805-4.
30. TIMMERS, Victor a Peter ACHTEN, 2016. Non-exhaust PM emissions from electric vehicles. *Atmospheric Environment*, [online]. (134), 10-17 [cit. 2022-04-03]. ISSN 1352-2310. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.017>
31. TORCHIO, Marco a Massimo SANTARELLI, 2010. Energy, environmental and economic comparison of different powertrain/fuel options using well-to-wheels assessment, energy and external costs – European market analysis. *Energy* [online]. **35**(10), 4156-4171 [cit. 2021-04-10]. ISSN 0360-5442. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544210003609>
32. VAN DEN BERGH, Jeroen C.J.M., 2001. Ecological economics: themes, approaches, and differences with environmental economics. *Tinbergen Institute Discussion* [online]. **3**(80), 1-25 [cit. 2021-08-12]. Dostupné z: doi:<http://hdl.handle.net/10419/85678>

33. VÍTEK, Leoš, 1998. *Externality a možnosti jejich řešení: sborník referátů z teoretického semináře pořádaného Katedrou veřejné ekonomiky ESF MU v Brně ve spolupráci s Asociací veřejné ekonomie: Ronald H. Coase: Společenské náklady, teorie externalit a jejich řešení*. 1. Brno: Masarykova Univerzita. ISBN 80-210-1884-4.
34. VOBORSKÁ, Petra V, 2010. *Externality v dopravě a možnosti jejich řešení*. České Budějovice. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
35. WU, Ya a Li ZHANG, 2017. Can the development of electric vehicles reduce the emission of air pollutants and greenhouse gases in developing countries?. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* [online]. (51), 129-145 [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.12.007>
36. ZEMAN, Jan, 1993. *Doprava, životní prostředí a politika: Sborník názorů na věc*. 1. Brno: Český a Slovenský dopravní klub. ISBN 80-901-3392-4.

Seznam použitých elektronických zdrojů

37. ANTHES, R., 2022. Environmental Methodology and Data Update 2020. In: *EcoTransIT World* [online]. Německo: EcoTransIT World [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: https://www.ecotransit.org/wordpress/wp-content/uploads/20200828_Methodology_Report_EcoTransIT_World.pdf
38. AGORA ENERGIEWENDE, 2021. *The European Power Sector in 2020: Up-to-Date Analysis of the Electricity Transition* [online]. Berlín: Agora Energiewende [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.agora-energiewende.de/en/publications/the-european-power-sector-in-2020-data-attachment/>
39. BŘEZINOVÁ, Jana, 2020. *Kolik stojí nabíjení elektromobilů?* [online]. elektrina.cz [cit. 2021-10-23]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/kolik-stoji-nabijeni-elektromobilu>
40. CENTRUM DOPRAVNÍHO VÝZKUMU, 2020. Celkové ztráty z dopravních nehod na pozemních komunikacích v roce 2018 překročily 80 mld. Kč. *Centrum dopravního výzkumu* [online]. Brno: Centrum dopravního výzkumu [cit. 2021-09-24]. Dostupné z: <https://www.cdv.cz/tisk/celkove-ztraty-z-dopravnich-nehod-na-pozemnich-komunikacich-v-roce-2018-prekrocily-80-mld-kc>

41. CENTRUM DOPRAVNÍHO VÝZKUMU, 2021. *V Česku je 1 525 dobíjecích bodů, na jeden připadá devět elektrických vozidel* [online]. Ostrava/Brno: Centrum dopravního výzkumu [cit. 2021-09-24]. Dostupné z: <https://www.cdv.cz/tisk/v-cesku-je-1-525-dobijecich-bodu-na-jeden-pripada-devet-elektrickyh-vozidel/>
42. COUNCIL OF EUROPEAN ENERGY REGULATORS, 2020. *2nd CEER Report on Power Losses* [online]. Brusel: Council of European Energy Regulators [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/fd4178b4-ed00-6d06-5f4b-8b87d630b060>
43. DEMANDT, Bart, 2016. *European Car Sales Analysis Full Year 2016 – Models*. In: *Car Sales Base* [online]. Rotterdam: carsalesbase [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://carsalesbase.com/european-car-sales-analysis-full-year-2016-models/>
44. DEMANDT, Bart, 2020. *European Car Sales Analysis 2020 – Models*. In: *Car Sales Base* [online]. Rotterdam: carsalesbase [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://carsalesbase.com/european-car-sales-analysis-2020-models/>
45. DOHNAL, Radomír, 2021. *Svět je konečně bez olovnatých paliv. Trvalo to 97 let* [online]. Praha: Občanské sdružení BEZK [cit. 2021-10-16]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/svet-je-konecne-bez-olovnatych-paliv.trvalo-to-97-let>
46. DRAGONFLY ENERGY, 2021. *What is a Solid-State Battery And Why You Will Want One* [online]. Nevada: Dragonfly energy [cit. 2021-10-15]. Dostupné z: <https://dragonflyenergy.com/solid-state-battery/>
47. EDALNICE, 2021. *Elektronická dálniční známka* [online]. Praha: Státní fond dopravní infrastruktury [cit. 2021-10-16]. Dostupné z: <https://edalnice.cz/>
48. EUROPEAN COMMISSION, 2019. *Transport and the Green Deal* [online]. ec.europa.eu: European Commission [cit. 2021-10-24]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/transport-and-green-deal_en
49. EUROPEAN COMMISSION, 2020. *Handbook on the external costs of transport* [online]. 1.1. Luxembursko: Publications Office of the European Union [cit. 2022-03-28]. ISBN 978-92-76-18184-2. Dostupné z: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9781f65f-8448-11ea-bf12-01aa75ed71a1>

50. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2021. *Greenhouse gas emissions from transport in Europe* [online]. Kodaň: European Environment Agency [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emissions-from-transport>
51. *Fdrive.cz* [online], 2022. 24net s.r.o. [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/katalog>
52. HAVLINA, Daniel, 2020. *Bez uhlíkové stopy a snadno přizpůsobivá. Taková je Továrna 56 Mercedesu* [online]. Praha: Novinky.cz [cit. 2021-10-09]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/auto/clanek/bez-uhlikove-stopy-a-snadno-prizpusobiva-takova-je-tovarna-56-mercedesu-40335329>
53. *Hextobinary.com* [online], 2022. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://hextobinary.com/unit/energy>
54. HOTOVÝ, Pavel, 2014. Účinná obrana před hlukem (1.část). *Asb-portal* [online]. AGC Flat Glass Czech, a. s. [cit. 2021-10-09]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrsk-stavby/doprava/ucinna-obrana-pred-hlukem-1-část>
55. HYBRID.CZ, 2021. *Mercedes-Benz EQS má rekord: elektromobil ujel 852,9 km* [online]. hybrid.cz [cit. 2021-10-24]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/mercedes-benz-eqs-ma-rekord-elektromobil-ujel-8529-km/>
56. JONES, Leander, 2021. *Berlin's car ban campaign: It's about how we want to live, breathe and play* [online]. The Guardian: Guardian News & Media Limited [cit. 2021-10-16]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/world/2021/oct/06/berlins-car-ban-campaign-its-about-how-we-want-to-live-breathe-and-play>
57. *Kompedium ochrany kvality ovzduší: Znečištění ovzduší z dopravy* [online], 2005. Praha: Občanské sdružení Ochrana kvality ovzduší [cit. 2021-09-19]. Dostupné z: <https://www.cdv.cz/file/clanek-znecisten-ovzdusi-z-dopravy/>
58. MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, 2018. *Zpráva o životním prostředí České republiky 2018* [online]. 1. Praha: Ministerstvo životního prostředí [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news__20191209__Zprava-o-zivotnim-prostredi-2018/\\$FILE/Zprava_o_zp-2018.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news__20191209__Zprava-o-zivotnim-prostredi-2018/$FILE/Zprava_o_zp-2018.pdf)

59. MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, 2019. Aktualizace Národního akčního plánu čisté mobility (NAP CM). In: *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha [cit. 2021-04-10].
60. MOKŘÍŠ, Jakub, 2021. Dotace na elektromobily v zahraničí. *Portalridice.cz* [online]. Portál řidiče [cit. 2021-10-16]. Dostupné z: <https://www.portalridice.cz/clanek/dotace-na-elektromobily-v-zahranici>
61. MRZENA, Rudolf, 2010. *Porovnání vlivu individuální a hromadné dopravy na životní prostředí* [online]. 50, 218-227 [cit. 2021-10-16]. Dostupné z: <https://adoc.pub/porovnani-vlivu-individualni-a-hromadne-dopravy-na-ivotni-pr.html>
62. MYTO CZ [online], 2019. Praha: Ředitelství silnic a dálnic ČR [cit. 2021-10-16]. Dostupné z: <https://mytocz.eu/cs>
63. *NextGreencar* [online], 2022. United Kingdom: Next Green Car Ltd [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: www.nextgreencar.com
64. OECD, 2021. *Environment Database - Emissions of air pollutants* [online]. Francie: OECD [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=AIR_GHG#
65. ŘSD ČR, 2021. Ekodukty na dálniční a silniční síti ČR. In: *Ředitelství silnic a dálnic ČR* [online]. Praha: ŘSD ČR [cit. 2021-10-09]. Dostupné z: <https://www.rsd.cz/wps/wcm/connect/3f3f4e98-21b4-4c46-9a29-828354207c34/rsd-mapa-A3-ekodukty.pdf?MOD=AJPERES>
66. ŠIMOVIČ, Mário, 2021. *Očarili sme svet. Slovenské batérie pre elektromobily porážajú špičku, vydržia vyše 600 000 km* [online]. FonTech.sk [cit. 2021-10-24]. Dostupné z: <https://fontech.startitup.sk/ocarili-sme-svet-slovenske-baterie-pre-elektromobily-porazaju-spicku-vydrzia-vyse-600-000-km/>
67. TRANSPORT & ENVIRONMENT, 2021. *Euro 7* [online]. European Federation for Transport and Environment AISBL [cit. 2021-10-16]. Dostupné z: <https://www.transportenvironment.org/challenges/air-quality/the-euro-7/>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma kartáčového elektromotoru	32
Obrázek 2: Spalovací proces	33

Seznam grafů

Graf 1: Negativní externality	11
Graf 2: Pozitivní externality	12
Graf 3: Závislost kvality životního prostředí na rozsahu a intenzitě dopravy v regionu	18
Graf 4: Emise znečišťujících látek a skleníkových plynů z dopravy v ČR dle druhů dopravy [%], 2018.....	20
Graf 5: Nově registrovaná elektrická vozidla podle států za rok 2020.....	28
Graf 6: Počet AC/DC dobíjecích bodů v České republice dle provozovatele (30.6. 2021)	36
Graf 7: Hodnota externalit v roce 2016.....	52
Graf 8: Hodnota externalit v roce 2020.....	53
Graf 9: Změna v externích nákladech v sledovaných letech 2016 a 2020.....	54
Graf 10: Změna externalit PHEV mezi lety 2016 a 2020 i přes změnu v průměrné spotřebě vozidla	56
Graf 11: Změna externalit BEV mezi lety 2016 a 2020 i přes změnu v průměrné spotřebě vozidla.....	57

Seznam tabulek

Tabulka 1: Klasifikace externích nákladů	17
Tabulka 2: Celkové ekonomické ztráty v ČR z dopravní nehodovosti za rok 2018.....	23
Tabulka 3: Emisní limity EURO 1 - EURO 6.....	26
Tabulka 4: Procentuální poměr zdroje elektrické energie na celkové výrobě v roce 2020	44
Tabulka 5: Vlastnosti nejprodávanějších vozidel ve vybraných kategoriích za rok 2016	46
Tabulka 6: Vlastnosti nejprodávanějších vozidel ve vybraných kategoriích za rok 2020	46
Tabulka 7: Hodnota externích nákladů v eurech na gram emitovaného polutantu	47
Tabulka 8: Well-to-tank emise ICEV.....	48
Tabulka 9: Množství emitovaných pevných částic PM _{2,5} ICEV vozidly	48
Tabulka 10: Množství emitovaných pevných částic PM ₁₀ ICEV vozidly	49
Tabulka 11: Emise vyprodukované energetickým sektorem v roce 2016 v gramech na kilowatthodin elektrické energie	49
Tabulka 12: Emise vyprodukované energetickým sektorem v roce 2020 v gramech na kilowatthodin elektrické energie	50
Tabulka 13: Ztráty při přenosu v % v roce 2016 a 2020.....	51
Tabulka 14: Množství emitovaných pevných částic PM _{2,5} EV vozidly	51
Tabulka 15: Množství emitovaných pevných částic PM ₁₀ EV vozidly	51

Evidence výpůjček

Prohlášení:

Dávám svolení k půjčování této bakalářské práce. Uživatel potvrzuje svým podpisem, že bude tuto práci řádně citovat v seznamu použité literatury.

Jméno a příjmení: Jakub Kubašovský

V Praze dne: 22. 04. 2022

Podpis:

Jméno	Oddělení/ Pracoviště	Datum	Podpis